

Aportes para el uso pastoril sustentable de los pastizales de altura de las
Sierras Chicas de Córdoba

*Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires,
Área Recursos Naturales*

Torcuato Tessi

Ingeniero Agrónomo - Universidad Nacional de Córdoba - 2015

Lugar de trabajo: INTA EEA Manfredi



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO

Directora de Tesis

Elizabeth Juliana Jacobo

Ingeniera Agrónoma (Universidad de Buenos Aires)
Magister en Recursos Naturales (Universidad de Buenos Aires)
Doctorado en Agroecología (Universidad de Antioquia, Colombia)

Co-directora de Tesis

Amanda Cora

Bióloga (Universidad Nacional de Córdoba)
Magister en Ciencias Agropecuarias (Universidad Nacional de Córdoba)

Consejero de Estudios

Sebastián Gabriel Ormaechea

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Córdoba)
Magister en Recursos Naturales (Universidad de Buenos Aires)
Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

JURADO DE TESIS

JURADO

Diego Ezequiel Gurvich

Biólogo (Universidad Nacional de Córdoba)
Doctor en Ciencias Biológicas (Universidad Nacional de Córdoba)

JURADO

Axel Von Müller

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Córdoba)
Magister en Ciencias Agropecuarias (Universidad Nacional de Córdoba)
Doctor en Ciencias Biológicas (Universidad Nacional de Córdoba)

JURADO

Jorge Gonzalo Nicolás Irisarri

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)
Magister en Recursos Naturales (Universidad de Buenos Aires)
Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

Fecha de defensa de la tesis: 27 de Agosto de 2021

DEDICATORIA

A mi padre, el Médico Veterinario Mariano José Tessi (1958-2006), por legarme el amor por la ganadería extensiva y por nuestras sierras cordobesas.

AGRADECIMIENTOS

- A Lina Seisdedos, Héctor Pérez y Horacio Valdez por abrirme las puertas que sin saberlo me trajeron hasta aquí.
- A mi comité de tesis, Elizabeth Jacobo, Amanda Cora y Sebastián Ormaechea, por el tiempo, la paciencia y el conocimiento brindado.
- A quienes me abrieron las tranqueras de sus campos, Michael Ingrey y la Familia Campos: Ricardo, Roberto y Francisco Campos.
- A Oscar y Hernán García por su predisposición y colaboración en la colocación y recuperación de los collares GPS, porque dificultaron su trabajo diario para facilitar el mío.
- A quienes me ayudaron en el trabajo de campo: Timoteo Tessi y Ramón Oliva. Y en el procesamiento de muestras en el laboratorio: Jorge Gómez, Julio Nievas, Claudio Castellanos, Marcos Fernández, Horacio Ludueña, Laura Gálvez y Alejandra Brunetti.
- A mi madre María Eugenia Insua y a mi hermana Catalina Tessi por su constante apoyo.
- A Pedro Gundel y Ludmila Bubica por abrirme las puertas de su laboratorio.
- A Oscar Ariel Herrera Conegliano por sus sugerencias sobre el uso de los collares GPS en bovinos.
- A Analía Echeverría, Andrés Rolhauser y Nicolás Mari por sus sabios consejos y sugerencias.
- A Francisco Carranza y Guillermo Jewsbury por su constante apoyo y entusiasmo en todo lo que tenga que ver con nuestros pastizales serranos.
- A mis compañeros y profesores de la EPG por todo lo aprendido con ellos.
- A toda el Área de Producción Animal de la EEA Manfredi por el apoyo.
- A los tres revisores cuyos comentarios y sugerencias enriquecieron las versiones finales de esta tesis.
- A todos los distintos autores cuya lectura enriqueció tanto el proceso de escribir esta tesis como mi formación.

DECLARACIÓN

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE IMÁGENES	xi
ABREVIATURAS.....	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos e hipótesis del trabajo	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Caracterización del área de estudio	5
1.4. Organización de la tesis	7
CAPITULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LA HETEROGENEIDAD DE LA VEGETACIÓN.....	8
2.1. Introducción	8
2.2. Materiales y Métodos	11
2.2.1. Área de Estudio	11
2.2.2. Metodología	12
2.3. Resultados	15
2.4. Discusión	25
2.5. Conclusiones	29
CAPITULO 3: CLASIFICACIÓN UTILITARIA DE LA VEGETACIÓN	30
3.1. Introducción	30
3.2. Materiales y Métodos	33
3.3. Resultados	38
3.3.1. Productividad primaria neta aérea	38
3.3.2. Calidad forrajera	41
3.3.3. Biomasa combustible	44
3.4. Discusión	46
3.4.1. Productividad primaria neta aérea	46
3.4.2. Calidad forrajera	49
3.4.3. Biomasa combustible	51
3.5. Conclusiones	53
CAPITULO 4: DISTRIBUCIÓN DEL GANADO EN PASTOREO	54
4.1. Introducción	54
4.2. Materiales y Métodos	55
4.3. Resultados	61
4.4. Discusión	66
4.5. Conclusiones	71
CAPITULO 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES.....	72
5.1. Discusión general	72
5.2. Conclusiones generales	77
BIBLIOGRAFÍA.....	78

APÉNDICES	87
Apéndice 1: Tabla de especies con valor indicador resultado de la aplicación del método IndVal ($p \leq 0,05$).	87
Apéndice 2: Estudio de caso: Receptividad de potreros y de establecimientos citado en esta tesis.	88
Introducción	88
Materiales y Métodos	88
Resultados	89
Discusión	91
Conclusiones	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Escala de abundancia-cobertura de Braun-Blanquet.....	14
Tabla 2.2: Tabla Resumen de los censos, sus condiciones de sitio y agrupamientos según los métodos aglomerativos utilizados.....	18
Tabla 3.1: PPNA diaria por comunidad para el primer periodo de muestreo (Valores expresados en kg MS.ha ⁻¹ . día ⁻¹).....	38
Tabla 3.2: Parámetros biométricos de las series temporales de Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) de cada comunidad.....	40
Tabla 4.1: Porcentaje de superficie ocupada por cada comunidad en los potreros analizados en este capítulo.....	61
Tabla 4.2: Índice de preferencia (IP) para cada comunidad por potrero y temporada.....	65
Tabla 4.3: Índice de Ivlev (IV) para cada comunidad por potrero y temporada.....	65
Tabla 4.4: Porcentaje de Uso (% Uso) para cada comunidad por potrero y temporada.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Provincia de Córdoba, en negro se indica el cordón de las Sierras Chicas (A) y detalle ampliado de este cordón donde se indica en negro el piso de pastizales de altura (B).....	7
Figura 2.1: Ubicación de los establecimientos (A), en gris piso de pastizales de altura de las Sierras Chicas, sobre la división departamental provincial. Ubicación de los potreros citados en este capítulo de los establecimientos “Casa de Piedra” (B) y “Las Pampillas” (C).	12
Figura 2.2: Diagrama de los censos realizados. Los censos se numeran de 1 a 30. La fisonomía de cada censo se indica como C: Césped, PB: Pastizal bajo y PJ: Pajonal	13
Figura 2.3: Ordenamiento (Escalamiento Multidimensional Métrico “EMD”) de los censos florísticos a partir de los valores de abundancia-cobertura de 111 especies. Se destacan con diferentes símbolos los censos realizados en stands de distinta fisonomía.	16
Figura 2.4: Dendrograma resultante del análisis de conglomerados con el método de Ward, la fisonomía de cada censo se indica al lado del número entre paréntesis (C: Césped, PB: Pastizal bajo y PJ: Pajonal).	17
Figura 2.5: Gráfico Biplot del Análisis de Componentes Principales (ACP). Se representan además de los 30 censos, las 63 especies con valor indicador significativo.	21
Figura 2.6: Profundidad del horizonte A en cada comunidad. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ($P < 0,0001$). Se representan la mediana (línea horizontal interior a la caja), los cuantiles 0,25 y 0,75 (bordes de la caja) y los cuantiles 0,05 y 0,95 (extremos de los bigotes).....	23
Figura 2.7: Contenido hídrico del horizonte A (humedad gravimétrica) en invierno (temporada seca) en cada comunidad. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ($P < 0,0001$). Se representan la mediana (línea horizontal interior a la caja), los cuantiles 0,25 y 0,75 (bordes de la caja) y los cuantiles 0,05 y 0,95 (extremos de los bigotes).....	23
Figura 2.8: Pedregosidad en cada comunidad. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ($P < 0,0001$). Se representan la mediana (línea horizontal interior a la caja), los cuantiles 0,25 y 0,75 (bordes de la caja) y los cuantiles 0,05 y 0,95 (extremos de los bigotes).....	24
Figura 2.9: Resultado del Análisis de Componentes Principales (ACP) donde se representan los 30 censos y las tres variables edáficas evaluadas.	25
Figura 3.1: Distribución de las jaulas de exclusión en los diferentes potreros y comunidades.	34
Figura 3.2: Productividad primaria neta aérea (PPNA) de las comunidades Césped y Pastizal bajo a lo largo de un año. Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades para cada periodo ($p < 0,05$). La barra vertical indica + 1 desvío estándar de la media.	39
Figura 3.3: Series temporales de Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) de las tres comunidades a lo largo de un año.	40
Figura 3.4: Climograma del área de estudio, precipitaciones mensuales registradas en el Establecimiento “Las Pampillas”, y temperatura media histórica de la localidad más cercana a dicho establecimiento (Los Cocos).	41
Figura 3.5: Proteína bruta (% de la MS) de cada comunidad en la temporada estival (a) e invernal (b). Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades para cada temporada ($p < 0,05$). La línea horizontal marca el umbral de 7% de proteína bruta, considerado limitante para el consumo individual (Minson 1990). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media. (i): intermata (m): mata	42
Figura 3.6: Fibra detergente neutro (% de la MS) de cada comunidad en la temporada estival (a) e invernal (b). Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades para cada temporada ($p < 0,05$). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media. . (i): intermata (m): mata.....	42
Figura 3.7: Fibra detergente ácido (% de la MS) de cada comunidad en la temporada estival (a) e invernal (b). Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades para cada temporada ($p < 0,05$). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media. . (i): intermata (m): mata.....	43

- Figura 3.8: Digestibilidad in vitro de la materia seca (% de la MS) de cada comunidad en la temporada estival (a) e invernal (b). Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades para cada temporada ($p < 0,05$). La línea horizontal marca el 55% de digestibilidad (Leng 1990). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media. . (i): intermata (m): mata 43
- Figura 3.9: Digestibilidad in vitro de la fibra detergente neutro (% de la FDN) de cada comunidad en la temporada estival (a) e invernal (b). Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades para cada temporada ($p < 0,05$). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media. . (i): intermata (m): mata 43
- Figura 3.10: Distintas categorías en las que se clasifico el combustible. Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades para cada categoría ($p < 0,05$). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media. En D) las líneas horizontales marcan los umbrales de 820 kg MS.ha-1 (Leonard 2009) y 1500 kg MS.ha-1 (Cruz et al., 2017). 44
- Figura 3.11: Porcentaje de combustible muerto. Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades ($p < 0,05$). Las líneas horizontales marcan los umbrales de 50% (Cheney et al., 1998) y 60% (Leonard 2009). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media. 45
- Figura 3.12: Porcentaje de combustible muerto a lo largo del año. Las líneas horizontales marcan los umbrales de 50% (Cheney et al., 1998) y 60% (Leonard 2009). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media. 46
- Figura 4.1: Ubicación del establecimiento “Las Pampillas” (A). En gris se destaca el piso de pastizales de altura de las Sierras Chicas, sobre la división departamental provincial. Ubicación y superficie de los potreros I, E y F del establecimiento “Las Pampillas” (B)..... 58
- Figura 4.2: Mapa de vegetación y mapa de calor de pastoreo generado a partir de las posiciones registradas por los collares GPS (07/03/2020-23/03/2020). Potrero **F**. Temporada estival. Carga 4 ha/EV. 62
- Figura 4.3: Mapa de vegetación y mapa de calor de pastoreo generado a partir de las posiciones registradas por los collares GPS (07/03/2020-19/03/2020). Potrero **I**. Temporada estival. Carga 1,5 ha/EV. 62
- Figura 4.4: Mapa de vegetación y mapa de calor de pastoreo generado a partir de las posiciones registradas por los collares GPS (31/08/2019-17/09/2019). Potrero **F**. Temporada invernal. Carga 2,8 ha/EV. 63
- Figura 4.5: Mapa de vegetación y mapa de calor de pastoreo generado a partir de las posiciones registradas por los collares GPS (31/08/2019-18/09/2019). Potrero **E**. Temporada invernal. Carga 1,9 ha/EV. 63
- Figura 4.6: Disponibilidad de forraje (kg MS.ha^{-1}) en cada comunidad previo a los periodos de monitoreo con GPS. Monitoreo estival: 07/03/2020 al 23/03/2020, Carga animal: 4 ha/EV (**F**) y 1,5 ha/EV (**I**). Monitoreo invernal: 31/08/2019 al 18/09/2019, Carga animal: 2,8 ha/EV (**F**) y 1,9 ha/EV (**E**). Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre las comunidades en un mismo potrero y temporada. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre temporadas en una misma comunidad para el potrero **F** ($p < 0,05$). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media. 64

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 2.1: Imagen de Google Earth de un sector dentro del área de estudio (Establecimiento “Casa de Piedra”, 1447 m s. n. m.) donde se observa el mosaico de tipos fisonómicos. Se encuadran sectores representativos de los tipos fisonómicos de I) Césped, II) Pastizal bajo y III) Pajonal.	10
Imagen 2.2: Imagen de Google Earth de otro sector dentro del área de estudio (Establecimiento “Las Pampillas”, 1615 m s. n. m.) donde se observa el mosaico de tipos fisonómicos. Se encuadran sectores representativos de los tipos fisonómicos de I) Césped, II) Pastizal bajo y III) Pajonal.	10
Imagen 2.3: De izquierda a derecha fotografías de los tipos fisonómicos Césped, Pastizal bajo y Pajonal.....	11
Imagen 3.1: De izquierda a derecha jaulas de exclusión sobre stands de las comunidades Césped, Pastizal bajo y Pajonal.	33
Imagen 4.1: Los dos lotes de bovinos en los corrales con los collares GPS recién colocados previo al periodo de monitoreo invernal.	60
Imagen 4.2: Vaca con collar GPS en el potrero F durante el monitoreo estival.	60
Imagen 4.3: Grupo de bovinos pastando en el potrero F durante el monitoreo invernal. Dentro del mismo se encuentran 5 animales con collares GPS.....	60

ABREVIATURAS

% USO: Porcentaje de Uso
 ACP: Análisis de componentes principales
 ANOVA: Analysis of variance
 ANPP: Aboveground net primary production
 cm: centímetro
 DIVFDN: Digestibilidad *in vitro* de la Fibra Detergente Neutro
 DIVMS: Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca
 DS: Desvío Estándar
 EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
 EMD: Escalamiento Multidimensional Métrico
 EV: Equivalente Vaca
 EV/ha: Equivalente Vaca por hectárea
 FDA: Fibra Detergente Ácido
 FDN: Fibra Detergente Neutro
 GIS: Sistema de Información Geográfica (Geographic Information System)
 GPS: Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System)
 ha: hectárea
 ha/EV: hectárea por Equivalente Vaca
 IC: Índice de Cosecha
 IP: Índice de Preferencia
 IV: Índice de Ivlev
 kb: kilobyte
 kg MS.ha⁻¹.año⁻¹: kilogramo de materia seca por hectárea por año
 kg MS.ha⁻¹.día⁻¹: kilogramo de materia seca por hectárea por día
 kg MS.ha⁻¹: kilogramo de materia seca por hectárea
 kg MS: kilogramo de materia seca
 kg: kilogramo
 m s. n. m.: metros sobre el nivel del mar
 m: metro
 m²: metro cuadrado
 mAh: miliamperio
 mm: milímetro
 MS: Materia Seca
 NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada (Normalized difference vegetation index)
 °C: grados Celsius
 PB: Proteína Bruta
 PPN: Productividad primaria neta
 PPNA: Productividad primaria neta aérea
 QGIS: Quantum Geographic Information System
 SCP: Semi-automatic Classification Plugin
 V: volt

RESUMEN

Aportes para el uso pastoril sustentable de los pastizales de altura de las Sierras Chicas de Córdoba

Los pastizales de altura de las Sierras Chicas tienen una historia de pastoreo bovino de 400 años y la mayor frecuencia de fuego de todo el sistema serrano cordobés. Son el principal recurso forrajero de los sistemas de cría bovina y cumplen una importante función eco-hidrológica, paisajística y de conservación de la biodiversidad. El objetivo de la presente tesis es contribuir al ajuste de carga y al manejo del pastoreo en estos pastizales a través de la caracterización de su vegetación y de la distribución de los bovinos en pastoreo. Se realizaron censos florísticos, muestreos de suelo, estimaciones de PPNA, análisis de calidad forrajera y estimaciones de biomasa combustible para caracterizar la vegetación. Se utilizaron collares GPS para estudiar la distribución de los bovinos en pastoreo, con el fin de determinar el grado de preferencia por cada comunidad vegetal. Los resultados revelaron que cada una de las tres fisonomías presentes en los potreros está asociada a una comunidad vegetal distinta y estas, a su vez, a determinadas condiciones edáficas. Las comunidades identificadas presentaron diferencias en aspectos forrajeros, como PPNA y calidad forrajera, que implican diferente capacidad de carga y necesidad de suplementación. Se observó una marcada heterogeneidad en la distribución del pastoreo. Los bovinos prefirieron pastorear la comunidad de mayor calidad forrajera por sobre las de menor calidad, independientemente de la cantidad de forraje disponible. Las comunidades también se diferenciaron en aspectos referidos a la biomasa combustible, como combustible total y porcentaje de combustible muerto, que implican diferencias en el potencial de incendios. La preferencia/aversión por parte de los bovinos junto con la productividad de cada comunidad determinaron las diferencias en la acumulación de biomasa combustible.

Palabras clave: comportamiento animal, ganadería de cría, montaña, Chaco Serrano, semiárido

ABSTRACT

Contributions for sustainable pastoral use of highlands grasslands in Sierras Chicas, Córdoba

Sierras Chica's highland grasslands have 400 years of cattle grazing history and the highest wildfire frequency in Córdoba's mountain system. They are the main forage resource for cow-calf systems, and play an important ecohydrological, scenic and conservation role. The objective of the present thesis is to contribute to stocking rate adjustment and grazing management in this grasslands through the characterization of its vegetation and grazing distribution. Floristic surveys, soil sampling, ANPP estimations, forage quality analysis and fuel biomass estimations were performed to characterize vegetation. GPS tracking collars were used to study grazing distribution, in order to determine plant community preference. Results showed that each physiognomy in these paddocks was associated with a plant community, and these to specific edaphic conditions. Communities showed differences in forage conditions such as ANPP and forage quality, affecting the carrying capacity and supplementation requirements. Cattle preferred the highest forage quality community over those with lowest quality regardless of the amount of forage available. Plant communities also showed differences in fuel load, such as total fuel load and percentage dead fuel, which imply different fire potential. Preference/aversion by cattle together with ANPP of each community determined the differences in fuel load.

Keywords: animal behaviour, livestock breeding, mountain, Sierra Chaco, semiarid

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Las Sierras de Córdoba tienen una historia de pastoreo con grandes herbívoros domésticos de más de 400 años (Díaz *et al.*, 1994). Las Sierras Chicas, uno de los cordones montañosos que las componen, tienen además la mayor frecuencia de fuego de todo el sistema serrano cordobés (Argañaraz 2016). Los pastizales de altura de este cordón pertenecen al último piso de vegetación del distrito chaqueño serrano, del que aún existe escaso conocimiento florístico (Giorgis *et al.*, 2017). Estos pastizales son el principal recurso forrajero de los sistemas de cría bovina de las Sierras Chicas, y además cumplen una importante función hidrológica, paisajística y de conservación de la biodiversidad. En ambientes semiáridos, como el Chaco Serrano, los sistemas montañosos juegan un papel clave como proveedores de agua líquida (Jobbágy *et al.*, 2011; Cingolani *et al.*, 2015). El rendimiento hídrico, fracción de la precipitación caída en una cuenca que abandona la misma en forma líquida (Jobbágy *et al.*, 2013), no solo depende del clima, la topografía y la geología de la cuenca, sino que también de la vegetación que la tapiza. En este sentido, los pastizales serranos tienen un mayor rendimiento hídrico que alternativas en el uso del suelo como las forestaciones (Jobbágy *et al.*, 2013). Estudios realizados en las Sierras Grandes, en un piso superior de pastizales de altura de linaje andino (Cabido *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2016), demuestran que el uso del ambiente serrano por parte de los bovinos con cargas moderadas permite mantener un mosaico de comunidades con distinta fisonomía (Von Müller 2010, Cingolani *et al.*, 2014), contribuyendo así a la conservación de la biodiversidad y la heterogeneidad estructural del paisaje. En cambio, el sobrepastoreo podría desencadenar fenómenos erosivos (Cingolani *et al.*, 2013), y la exclusión del

pastoreo la dominancia de comunidades de pajonal que colonizan los parches de pastos cortos (Von Müller 2010). Al aumentar la biomasa y disminuir la heterogeneidad del paisaje la expansión de los pajonales podría aumentar la frecuencia e intensidad de los fuegos (Leonard *et al.*, 2010). En potreros heterogéneos, donde conviven distintas comunidades vegetales y los herbívoros pueden expresar toda su capacidad de selección, procesos de sub y sobrepastoreo podrían estar teniendo lugar al mismo tiempo (Von Müller 2010). Por esta razón, el uso sustentable de estos pastizales requiere un correcto ajuste de carga y manejo del pastoreo. Sin embargo, para los pastizales de altura de las Sierras Chicas se carece de información básica para realizarlo.

Si bien la comunidad característica de este ambiente es el pajonal dominado por *Festuca hieronymi* Hack. (Giorgis *et al.*, 2017), gramínea en mata, pirófila y de baja palatabilidad, el paisaje está compuesto por un mosaico donde se alternan parches de este pajonal con parches de distintas características estructurales, tales como pastizales bajos y céspedes (Cabido *et al.*, 2010). Estas fisonomías son identificables visualmente sin necesidad de conocimiento botánico, así como también a través de imágenes de satélite de alta resolución. Para una clasificación utilitaria, la definición de unidades de vegetación debería basarse en este tipo de características estructurales de la vegetación, capaces de ser mapeadas con sensores remotos y factibles de ser utilizadas para aspectos de manejo y/o de conservación (Cingolani *et al.*, 2004; Cingolani *et al.*, 2010). Sin embargo, es necesario primero definir cómo se relaciona, en este ambiente, la fisonomía con la composición florística, ya que la relación entre ambas no siempre es estrecha. Sería relevante entonces establecer si las fisonomías de Pajonal, Pastizal bajo y Césped se corresponden a una o más de una comunidad y cómo se asocian esas comunidades con distintas condiciones edáficas, dada la estrecha correspondencia que

en los sistemas serranos de Córdoba existe entre composición botánica y suelo (Cabido *et al.*, 1987; Menghi *et al.*, 1993).

Para determinar si unidades de vegetación florísticamente diferentes representan también unidades significativamente distintas en aspectos utilitarios que justifiquen mantenerlas como unidades independientes dentro de una clasificación utilitaria, es necesario compararlas mediante parámetros que hacen a la utilización y manejo. Para la actividad ganadera la provisión de forraje es fundamental, ya que tanto la calidad como la cantidad de forraje son determinantes de la capacidad de carga (Golluscio 2009) y la selección de sitio de pastoreo (Bailey y Provenza 2008). Pero, además, las Sierras Chicas son el cordón cordobés más afectado por el fuego, y los pastizales naturales la cubierta vegetal que más los sufre (Argañaraz *et al.*, 2015, Argañaraz 2016). Gestionar mejor este disturbio depende en gran parte de la gestión de la biomasa combustible (Leonard *et al.*, 2010). Entonces, caracterizar y comparar las comunidades según su productividad primaria neta aérea (PPNA), calidad forrajera y biomasa combustible sería relevante para definir unidades de vegetación de una clasificación utilitaria.

En sistemas extensivos la capacidad de selección que poseen los grandes herbívoros puede determinar un uso heterogéneo de la superficie (Laca *et al.*, 2010). Dado el impacto que pueden generar los grandes herbívoros sobre los recursos que utilizan, la distribución del pastoreo es un aspecto crítico para la sustentabilidad de estos sistemas (Bailey y Provenza 2008). Conocer la heterogeneidad de la distribución del ganado en pastoreo permitiría identificar las comunidades sujetas a mayor y menor presión de herbivoría (Swain *et al.*, 2011), información básica para el desarrollo de estrategias de manejo que prevengan el sobre y subpastoreo. La selección de sitios de pastoreo a escala de paisaje está determinada principalmente por factores bióticos

(Senft *et al.*, 1987). La calidad y la cantidad de forraje son los que más influyen, aunque los parches de alta calidad forrajera son a menudo preferidos más allá de la cantidad disponible (Bailey y Provenza 2008). Podría esperarse entonces que los bovinos en estos pastizales pasen más tiempo en aquellas comunidades de mayor calidad forrajera y menos en las de peor calidad, afectando el porcentaje de la PPNA que es consumido y en consecuencia también el que se acumula y queda disponible como combustible en cada comunidad (Leonard *et al.*, 2010). Determinar si existe una relación entre la selección de sitios de pastoreo y la acumulación de biomasa combustible mediada por la calidad forrajera, sería relevante tanto para la gestión del pastoreo como para la de biomasa combustible. Permitiría por ejemplo, el diseño de estrategias de manejo o suplementación que incentiven o desalienten el uso de las distintas comunidades.

La información generada está enfocada en el cordón de las Sierras Chicas de Córdoba, pero podría aportar, con los recaudos correspondientes, a la gestión del pastoreo en toda la superficie de pastizales de altura del Chaco Serrano en el mismo rango altitudinal.

1.2. Objetivos e hipótesis del trabajo

1.2.1. Objetivo general

Caracterizar las comunidades vegetales y la heterogeneidad de la distribución del ganado en los pastizales de altura de las Sierras Chicas para contribuir al ajuste de carga y al uso pastoril sustentable.

1.2.2. Objetivos específicos

Objetivo 1: Caracterizar la heterogeneidad de la vegetación del pastizal.

Como hipótesis se postula que los parches de vegetación de distinta fisonomía (Céspedes, Pastizales bajos y Pajonales) presentes en los pastizales de altura de las Sierras Chicas están asociados a distintos tipos florísticos, y estos a su vez, a las distintas condiciones edáficas presentes.

Objetivo 2: Agrupar las comunidades dentro de una clasificación utilitaria.

Como hipótesis se postula que las comunidades presentes podrán agruparse en una clasificación utilitaria según sus valores de PPNA, calidad forrajera y biomasa combustible.

Se predice que existirán grupos de comunidades que no presentarán diferencias significativas en cuanto a PPNA, calidad forrajera y biomasa combustible.

Objetivos 3: Determinar la heterogeneidad de la distribución del ganado en pastoreo y su efecto sobre la acumulación de biomasa combustible de las comunidades.

Como hipótesis se postula que la preferencia diferencial de los bovinos por las comunidades del pastizal de altura de las Sierras Chicas, asociada a la calidad forrajera de las mismas, determina distinta acumulación de combustible.

Predicción A: Se predice que la permanencia de los bovinos en pastoreo será mayor en las en las comunidades de mayor calidad forrajera.

Predicción B: Se predice que la acumulación de biomasa combustible será menor en las comunidades preferidas por los bovinos.

1.3. Caracterización del área de estudio

El cordón montañoso oriental del sistema serrano cordobés, conocido como Sierras Chicas, se extiende en dirección N/NE-S/SO desde el cerro El Pajarillo al norte hasta las márgenes del Río Tercero al sur, con una superficie estimada de 550.000 ha (Figura 1.1

A). La vertiente occidental es abrupta y áspera, mientras que la oriental presenta pendientes suaves que descienden progresivamente hasta la llanura (Capitanelli 1979). El clima de las Sierras Chicas es semiárido templado, con lluvias de régimen monzónico (Capitanelli 1979). La precipitación anual promedio es 954 mm y la temperatura media 17,5 °C (Giorgis *et al.*, 2013). Los suelos en general pertenecen al orden taxonómico de los Entisoles, suelos jóvenes y de escaso desarrollo, salvo en las pampas de altura donde es posible encontrar Molisoles de mayor desarrollo. Sin embargo, la mayoría de los suelos presenta contacto lítico o paralítico (Cabido *et al.*, 2003).

La vegetación corresponde al Distrito Chaqueño Serrano (Cabrera 1976) o Parque Chaqueño Serrano (Ragonese y Castiglione 1970) que se extiende en los faldeos de las Sierras Pampeanas y Subandinas. Las descripciones tradicionales mencionan los siguientes pisos altitudinales: a) bosque serrano, b) arbustal o romerillal y c) pastizal de altura (Luti *et al.*, 1979; Cabido y Zak 1999). El pastizal de altura se encuentra en cumbres y planicies por encima de los 900 m s. n. m. (Giorgis *et al.*, 2017) y presenta una matriz de pajonales, céspedes y pastizales (Cabido *et al.*, 2010) donde dominan las gramíneas *F. hieronymi*, *Nassella tenuissima*, *N. trichotoma*, *Paspalum dilatatum* y *P. notatum* (Luti *et al.*, 1979; Cabido y Zak 1999). Estudios recientes del Distrito Chaqueño Serrano indican que, si bien la fisonomía de pastizal no estaría restringida exclusivamente a un piso altitudinal, estaría más asociada al piso superior (900-1800 m s. n. m.), y en este, a tipos florísticos dominados por *F. hieronymi* (Giorgis *et al.*, 2017).

Las elevaciones por encima de los 1800 m s. n. m. son raras en las Sierras Chicas, encontrándose ausentes los pisos de vegetación que ocupan esa franja altitudinal en el cordón de las Sierras Grandes (Cabido *et al.*, 1989; Pucheta *et al.*, 1997; Nai-Bregaglio

et al., 2002; Márquez *et al.*, 2002) cuya flora está más relacionada con las floras andina y patagónica que con la chaqueña (Cabido *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2016).

El presente estudio se centra en el piso de pastizales de altura (900-1800 m s. n. m.) de las Sierras Chicas (Figura 1.1 B, aprox. 185.500 ha.). Sin embargo, la información generada podría ser de utilidad, a falta de datos locales, en pastizales de altura de todo el Distrito Chaqueño Serrano en el mismo rango altitudinal.

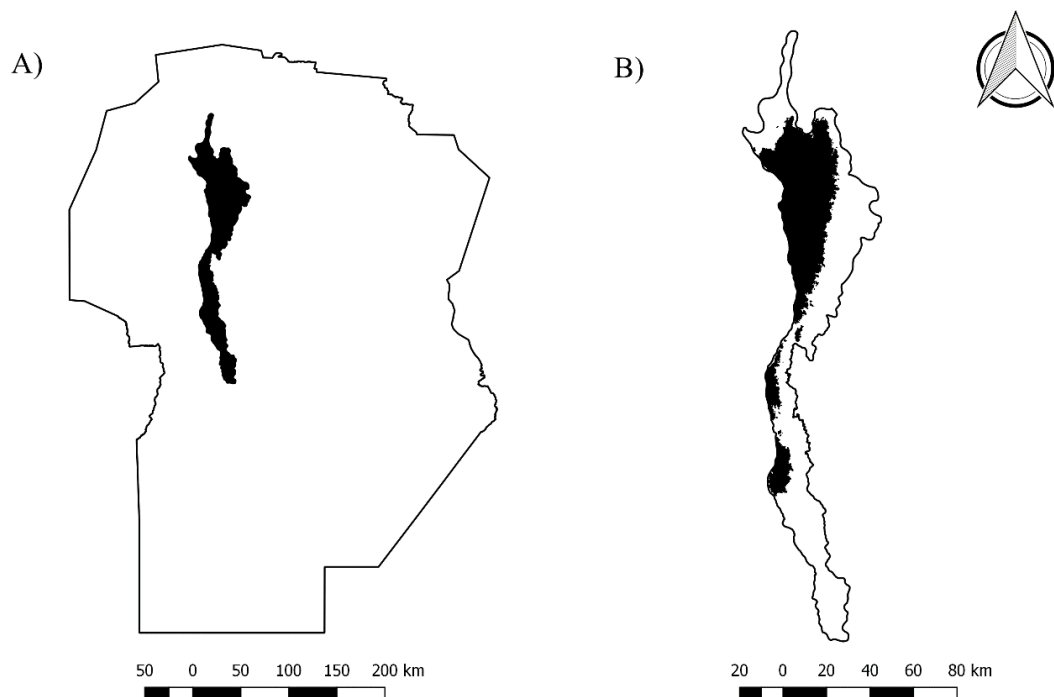


Figura 1.1: Provincia de Córdoba, en negro se indica el cordón de las Sierras Chicas (A) y detalle ampliado de este cordón donde se indica en negro el piso de pastizales de altura (B).

1.4. Organización de la tesis

La presente tesis se desarrolla en 5 capítulos, el primero de los cuales corresponde a la introducción y el último a la discusión y conclusiones generales. Los tres capítulos intermedios responden a cada uno de los tres objetivos específicos de la tesis. En los apéndices se incluye, como estudio de caso (Apéndice 2), el cálculo de la receptividad y su comparación con carga actual para los campos donde se llevó adelante esta tesis.

CAPITULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LA HETEROGENEIDAD DE LA VEGETACIÓN

2.1. Introducción

Las clasificaciones utilitarias de la vegetación son herramientas necesarias para el diseño de estrategias de uso sustentable y/o de conservación de los recursos naturales (Paruelo *et al.*, 2004). El piso de pastizales de altura de las Sierras Chicas (900-1800 m s. n. m.), carece de una clasificación utilitaria enfocada en la gestión sustentable de esa vegetación como recurso forrajero. El paisaje es un mosaico donde los pajonales típicos de este piso altitudinal dominados por *F. hieronymi* (Giorgis *et al.*, 2017), alternan con céspedes y pastizales bajos (Acosta *et al.*, 1992, Cabido *et al.*, 2010). Estas diferencias fisonómicas permiten identificarlos fácilmente a partir tanto de imágenes multi-espectrales de alta definición (Imágenes 2.1 y 2.2) como visualmente a campo (Imagen 2.3). Las unidades de vegetación de una clasificación utilitaria deberían poder mapearse con sensores remotos con el objeto de ser utilizadas para aspectos de manejo y/o de conservación (Cingolani *et al.*, 2004; Cingolani *et al.*, 2010). Sin embargo, es necesario a priori definir cómo se relaciona, en el piso de pastizales de altura de las Sierras Chicas, la fisonomía con la composición florística, ya que la relación entre ambas no siempre es estrecha. Factores abióticos, como gradientes ambientales, pueden implicar un remplazo florístico bajo una misma fisonomía (Whittaker 1956), mientras que disturbios como el pastoreo y el fuego pueden hacer que sitios de similar composición florística presenten diferente fisonomía (Giorgis *et al.*, 2010). Determinar entonces si las distintas fisonomías están asociadas o no a diferentes comunidades (homogeneidad florística) sería un primer paso para generar una clasificación utilitaria de la vegetación.

Las condiciones edáficas están entre los principales controles de la heterogeneidad florística a escala de paisaje (Clark 2002), y cobran especial relevancia en el paisaje de altura de las Sierras de Córdoba (Cabido *et al.*, 1987, Acosta *et al.*, 1992, Menghi *et al.*, 1993). Las distintas comunidades podrían estar asociadas a distintas condiciones edáficas como la profundidad del suelo, la humedad y/o la pedregosidad. En este ambiente serrano caracterizado por suelos jóvenes y de escaso desarrollo (Cabido *et al.*, 2003), la profundidad del horizonte A, aquel donde enraíza la vegetación herbácea, podría ser un condicionante para alguna/as comunidades. Además, la geomorfología interactúa con los procesos erosivos generando un mosaico de distintas condiciones edáficas a partir del flujo de materiales que son trasladados desde áreas convexas del paisaje hacia las concavidades (Menghi *et al.*, 1993). De forma similar se ve afectado el movimiento superficial y subsuperficial del agua. Esta tiende a acumularse en determinadas posiciones topográficas y a escurrir de otras, determinando sitios con mayor o menor humedad, diferencias que se magnificarían durante el transcurso de la temporada seca (invierno) y que podrían estar asociadas a comunidades contrastantes en sus requerimientos hídricos (Cingolani *et al.*, 2015). La pedregosidad (presencia de piedras en superficie) podría facilitar el reclutamiento de ciertas especies (Munguía-Rosas y Sosa 2008), a través de su efecto sobre el microambiente y los recursos a nivel de micrositio (Pascual *et al.*, 2017). Determinar las condiciones edáficas asociadas a cada comunidad contribuiría a caracterizar la heterogeneidad de la vegetación en general y las potenciales unidades de vegetación de una clasificación utilitaria en particular.

El objetivo de este capítulo es, como primer paso para el desarrollo de una clasificación utilitaria, caracterizar la heterogeneidad de la vegetación del pastizal de altura en dos establecimientos típicos de las Sierras Chicas de Córdoba. Se buscó probar la hipótesis que las distintas fisonomías (céspedes, pastizales bajos y pajonales) presentes

en estos pastizales, potenciales unidades de vegetación dentro de una clasificación utilitaria, están asociadas a distintas comunidades (homogeneidad florística), y estas a su vez, a distintas condiciones edáficas.



Imagen 2.1: Imagen de Google Earth de un sector dentro del área de estudio (Establecimiento “Casa de Piedra”, 1447 m s. n. m.) donde se observa el mosaico de tipos fisonómicos. Se encuadran sectores representativos de los tipos fisonómicos de I) Césped, II) Pastizal bajo y III) Pajonal.



Imagen 2.2: Imagen de Google Earth de otro sector dentro del área de estudio (Establecimiento “Las Pampillas”, 1615 m s. n. m.) donde se observa el mosaico de tipos fisonómicos. Se encuadran sectores representativos de los tipos fisonómicos de I) Césped, II) Pastizal bajo y III) Pajonal.



Imagen 2.3: De izquierda a derecha fotografías de los tipos fisonómicos Césped, Pastizal bajo y Pajonal.

2.2. Materiales y Métodos

2.2.1. Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en dos establecimientos ganaderos, “Casa de Piedra” (CP) y “Las Pampillas” (LP). Los establecimientos se ubican en el límite del departamento Punilla con los departamentos Colón y Totoral respectivamente (Figura 2.1) y a distinta altura sobre el nivel del mar (1400 y 1600 m s. n. m.) dentro del rango altitudinal del piso Pastizal de altura (900 a 1800 m s. n. m.). CP se encuentra a los 30° 59,544' de latitud Sur, 64° 25,582' de longitud Oeste y LP a los 30° 54,847' de latitud Sur, 64° 27,583' de longitud Oeste. Fueron seleccionados por poseer varios potreros donde están representados, en cada uno de ellos, todas las fisonomías características del pastizal de altura (Césped, Pastizal bajo y Pajonal).

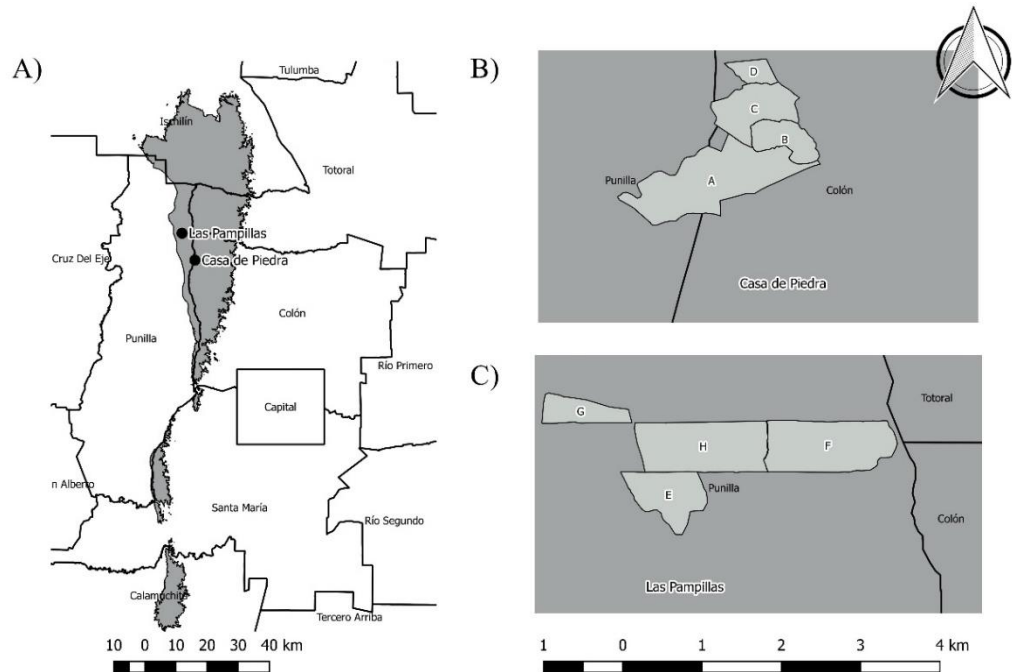


Figura 2.1: Ubicación de los establecimientos (A), en gris piso de pastizales de altura de las Sierras Chicas, sobre la división departamental provincial. Ubicación de los potreros citados en este capítulo de los establecimientos “Casa de Piedra” (B) y “Las Pampillas” (C).

2.2.2. Metodología

Para caracterizar la heterogeneidad de la vegetación, se realizaron censos florísticos, uno por sitio, en primavera (2018) y otoño (2019) por ser las épocas en que se encuentran en estado de floración y/o fructificación la mayoría de las especies, haciendo más rápida y precisa su identificación (Fiandino 2019). En cuatro potreros de cada establecimiento se identificaron, a partir de imágenes satelitales y recorridas a campo, 1 o 2 parches representativos de cada fisonomía (Césped, Pastizal bajo y Pajonal) por potrero (Figura 2.2). Dentro de cada parche elegido se demarcaron parcelas de 5 x 5 m sobre las cuales se realizó un censo florístico. Parcelas de estas dimensiones han sido utilizadas para caracterizar la vegetación en pastizales de la provincia de Buenos Aires (Burkart *et al.*, 1990) y de las sierras grandes en Córdoba (Pucheta y Cabido 1992).

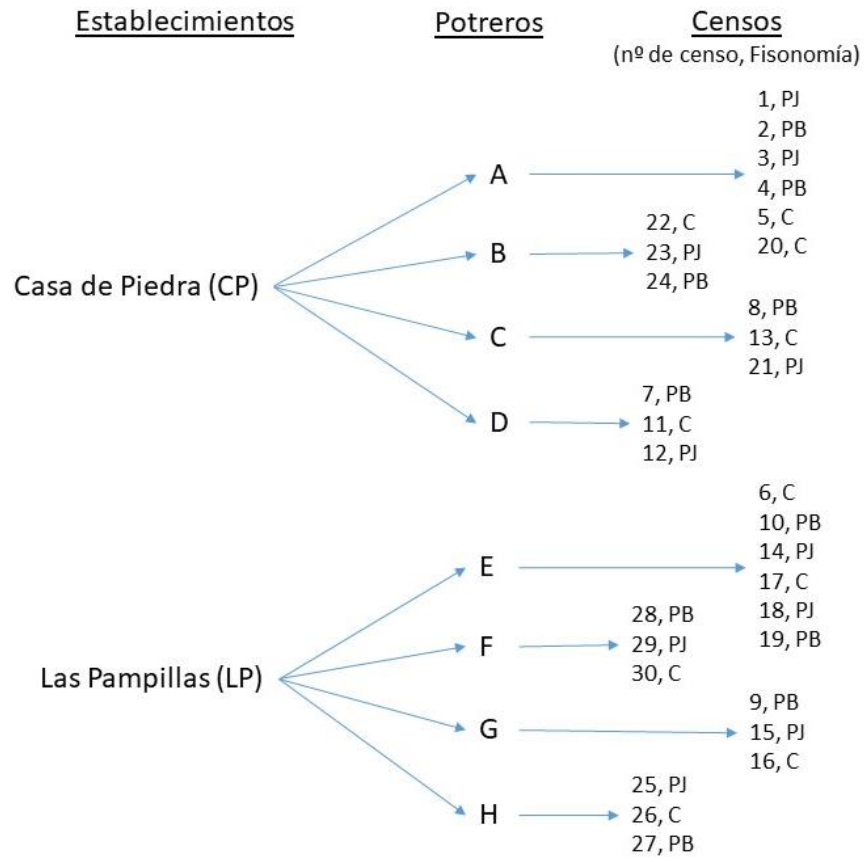


Figura 2.2: Diagrama de los censos realizados. Los censos se numeran de 1 a 30. La fisonomía de cada censo se indica como C: Césped, PB: Pastizal bajo y PJ: Pajonal

El censo consistió en registrar cada especie presente y asignarle un valor de apreciación visual de abundancia-cobertura basado en la escala de Braun-Blanquet (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974) (Tabla 2.1). La lista de especies se completó mediante una recorrida por el resto del parche para registrar las especies que no aparecieron en la parcela pero que podrían ser importantes para la caracterización florística del parche. Aquellas especies que no pudieron ser identificadas a campo fueron herborizadas y fotografiadas para su identificación en gabinete. Para corroborar y actualizar la nomenclatura de las especies se consultó el Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur (Zuloaga *et al.*, 2008) en su versión online (www.darwin.edu.ar).

Tabla 2.1: Escala de abundancia-cobertura de Braun-Blanquet.

Escala Braun-Blanquet	Significado
r	Un solo individuo, cobertura despreciable
+	Más de un individuo, cobertura muy baja
1	Cobertura menor del 5%
2	Cobertura del 5 al 25%
3	Cobertura del 25 al 50%
4	Cobertura del 50 al 75%
5	Cobertura igual o superior al 75%

Para el análisis de los datos se transformó la escala de Braun-Blanquet en una escala numérica: $r \rightarrow 0,1$; $+ \rightarrow 0,5$; $1 \rightarrow 1$; $2 \rightarrow 15$; $3 \rightarrow 37,5$; $4 \rightarrow 62,5$ y $5 \rightarrow 87,5$, siguiendo la metodología utilizada por Batista *et al.* (2014). Se eliminaron las especies con constancias (porcentaje de ocurrencia en la totalidad de los censos) menores al 10% y mayores al 80%. Las presentes en muy pocos (<10%) censos porque se consideran ocurrencias accidentales y aquellas presentes en casi todos los censos (>80%) porque al ser características de toda la serie de censos son de poca utilidad para separar grupos de censos (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974). Sobre la tabla resultante, en adelante “tabla reducida”, se realizó a modo exploratorio un Escalamiento Multidimensional Métrico (EMD) para observar el ordenamiento de los censos en un espacio de dos dimensiones. Se utilizó el método aglomerativo jerárquico de Ward (1963) para identificar agrupamientos de censos y relaciones jerárquicas entre estos (Distancia de Jaccard y $\sqrt{1-S}$). Estos agrupamientos se confirmaron con la aplicación del método aglomerativo no jerárquico K-means (MacQueen 1967) para obtener las comunidades definitivas. Para identificar las especies con valor indicador para cada comunidad (las especies más características) se utilizó el método de agrupamiento jerárquico divisivo “IndVal” (Dufrêne y Legendre, 1997). Donde:

$$\text{IndVal}_{ij} = \text{Especificidad}_{ij} * \text{Fidelidad}_{ij} * 100.$$

Siendo: IndVal_{ij} : el valor indicador de la especie i en la comunidad j ;

$\text{Especificidad}_{ij}$: la proporción de los sitios de la comunidad j con presencia de la especie

i ; Fidelidad_{ij} : la proporción del número de individuos de la especie i que están presentes

en sitios de la comunidad j. Se seleccionaron como indicadoras las especies con valor de “IndVal” significativo ($p \leq 0,05$). Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para observar, a modo exploratorio, la relación entre las especies indicadoras y los agrupamientos de censos de cada comunidad en un espacio de dos dimensiones.

En cada parcela donde se llevó a cabo un censo se midió la profundidad del horizonte A, su contenido hídrico y la pedregosidad. La profundidad del horizonte A, definida por el cambio de coloración entre este horizonte, rico en materia orgánica, y los horizontes inferiores, fue obtenida con barreno, como el promedio de 3 muestras dentro de cada parcela. El contenido hídrico se determinó en invierno (temporada seca) por el método gravimétrico (diferencia de peso antes y después de secar a estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$), a partir de muestras obtenidas con barreno. La pedregosidad se obtuvo como porcentaje de cobertura de suelo a través de estimaciones visuales sobre marcos de 1 m^2 . Para evaluar si existen diferencias en las variables medidas se realizó un análisis de la varianza (ANOVA), utilizando para la comparación de las medias la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Además se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para observar en un espacio de dos dimensiones los casos (censos), las variables (condiciones edáficas evaluadas) y sus correlaciones. Para corroborar estas correlaciones numéricamente se realizó un análisis de correlaciones lineales utilizando el coeficiente de Pearson. Para todos los análisis estadísticos se utilizó el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2008), y su interface en R para el método “IndVal”, paquete “labdvs”.

2.3. Resultados

La realización de los censos florísticos derivó en una tabla “bruta” de 30 censos x 211 especies. Al eliminar especies de muy baja y muy alta constancia se obtuvo una tabla “reducida” de 30 censos x 111 especies. El ordenamiento a partir de la tabla reducida

muestra tres agrupamientos de censos que coinciden con los censos realizados en parches de distinta fisonomía (Figura 2.3).

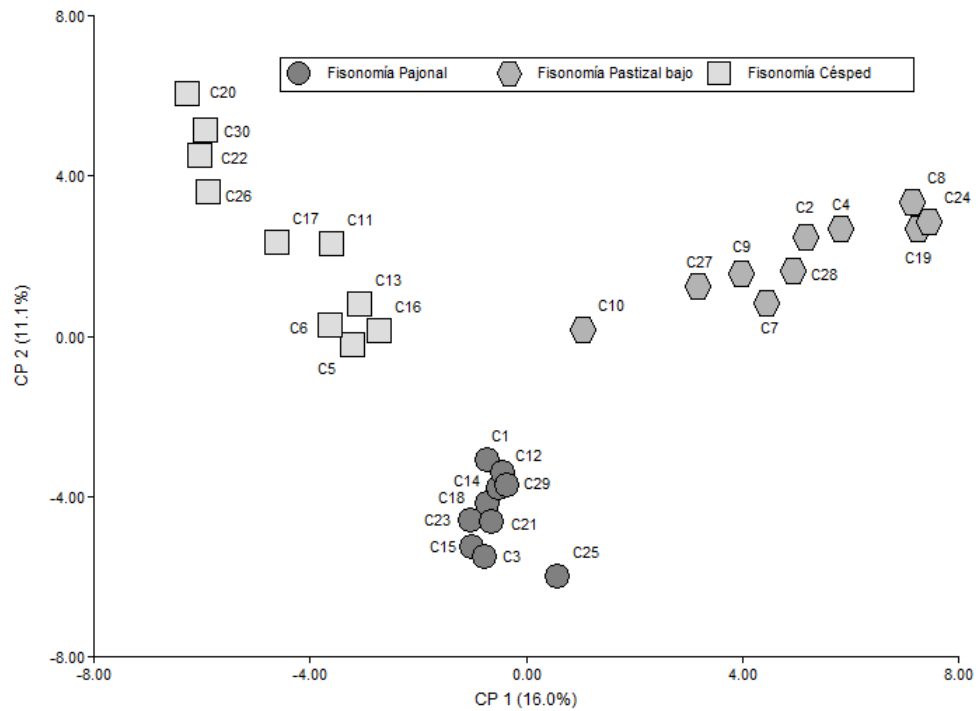


Figura 2.3: Ordenamiento (Escalamiento Multidimensional Métrico “EMD”) de los censos florísticos a partir de los valores de abundancia-cobertura de 111 especies. Se destacan con diferentes símbolos los censos realizados en stands de distinta fisonomía.

El resultado del agrupamiento de los censos mediante el método aglomerativo jerárquico (Ward) respalda lo observado en el EMD (Figura 2.4) dado que los censos en cada agrupamiento del dendrograma coinciden con los que se observan agrupados en el espacio de dos dimensiones creado por los CP1 y CP2 en el EMD.

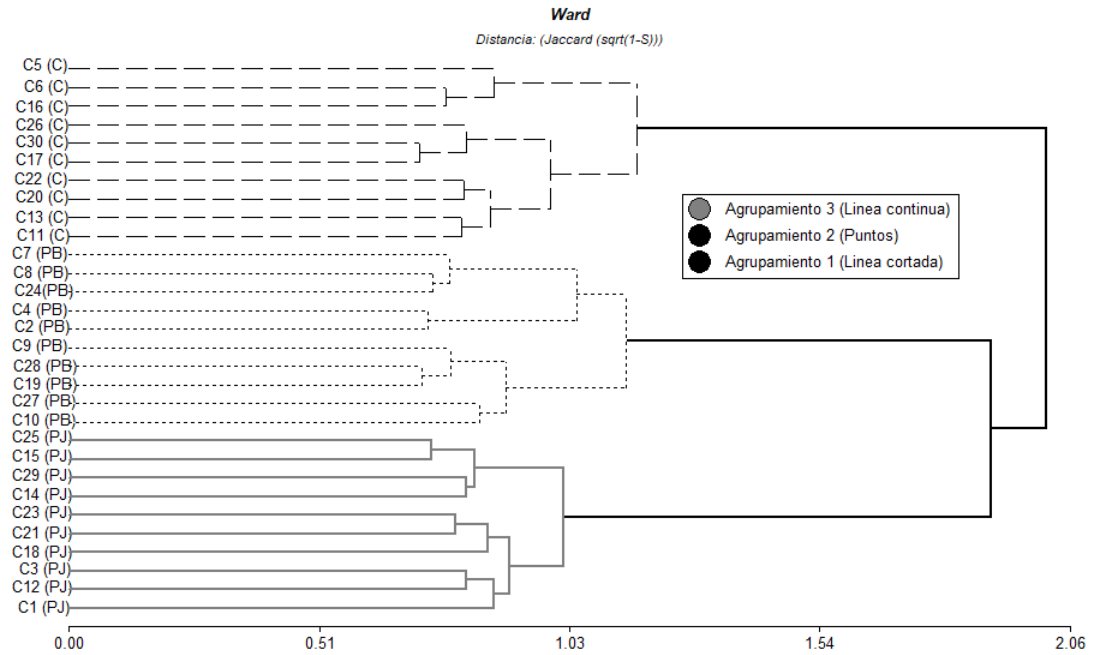


Figura 2.4: Dendrograma resultante del análisis de conglomerados con el método de Ward, la fisonomía de cada censo se indica al lado del número entre paréntesis (C: Césped, PB: Pastizal bajo y PJ: Pajonal).

El agrupamiento de los censos mediante el método no jerárquico (K-means) confirma los resultados del método jerárquico y lo observado en el EMD.

En la Tabla 2.2 se resumen algunos datos de cada censo y los resultados de los métodos aglomerativos. Los tres agrupamientos obtenidos mediante el método jerárquico y confirmados mediante el método no jerárquico, coinciden a su vez con cada uno de los tipos fisonómicos. Por ende serán denominados en adelante como comunidades utilizando la misma nomenclatura que para fisonomías, es decir, Césped, Pastizal bajo y Pajonal respectivamente.

Tabla 2.2: Tabla Resumen de los censos, sus condiciones de sitio y agrupamientos según los métodos aglomerativos utilizados.

Censo	Latitud (S)	Longitud (O)	Altitud (m s.n.m.)	Establecimiento	Potrero	Prof. Hz A (cm)	Cont. hídrico Hz A (Hg%)	Pedregosidad (%)	Fisonomía	Agrupamiento (Ward)	Agrupamiento (K-means)
1	30° 59,919'	64° 26,504'	1405	CP	A	18	8%	5%	Pajonal	3	1
2	30° 59,969'	64° 26,567'	1438	CP	A	7	4%	10%	Pastizal b.	2	2
3	30° 59,854'	64° 26,119'	1485	CP	A	16	13%	2%	Pajonal	3	1
4	30° 59,759'	64° 26,012'	1488	CP	A	8,5	4%	20%	Pastizal b.	2	2
5	30° 59,652'	64° 25,813'	1419	CP	A	30	22%	5%	Césped	1	3
6	30° 55,205'	64° 28,125'	1702	LP	E	34	19%	0%	Césped	1	3
7	30° 59,019'	64° 25,751'	1448	CP	D	4	3%	40%	Pastizal b.	2	2
8	30° 59,161'	64° 25,574'	1417	CP	C	8	4%	45%	Pastizal b.	2	2
9	30° 54,633'	64° 28,712'	1669	LP	G	4	8%	10%	Pastizal b.	2	2
10	30° 55,118'	64° 28,142'	1760	LP	E	6	11%	20%	Pastizal b.	2	2
11	30° 59,101'	64° 25,749'	1446	CP	D	45	29%	5%	Césped	1	3
12	30° 59,071'	64° 25,736'	1461	CP	D	22	15%	10%	Pajonal	3	1
13	30° 59,135'	64° 25,602'	1410	CP	C	49	28%	5%	Césped	1	3
14	30° 55,324'	64° 27,830'	1681	LP	E	24	18%	5%	Pajonal	3	1
15	30° 54,630'	64° 28,734'	1698	LP	G	16,5	12%	0%	Pajonal	3	1
16	30° 54,633'	64° 28,624'	1712	LP	G	26	13%	0%	Césped	1	3
17	30° 55,274'	64° 27,870'	1668	LP	E	42	35%	5%	Césped	1	3
18	30° 55,250'	64° 27,841'	1694	LP	E	13,5	13%	0%	Pajonal	3	1
19	30° 55,329'	64° 27,858'	1714	LP	E	7	6%	25%	Pastizal b.	2	2
20	31° 00,051'	64° 26,313'	1427	CP	A	55	42%	10%	Césped	1	3
21	30° 59,375'	64° 25,717'	1461	CP	C	15	9%	5%	Pajonal	3	1
22	30° 59,449'	64° 25,719'	1431	CP	B	34	46%	5%	Césped	1	3
23	30° 59,412'	64° 25,638'	1441	CP	B	13	9%	0%	Pajonal	3	1
24	30° 59,468'	64° 25,667'	1448	CP	B	7,5	5%	20%	Pastizal b.	2	2
25	30° 54,938'	64° 26,556'	1685	LP	H	12	10%	15%	Pajonal	3	1
26	30° 54,828'	64° 26,630'	1637	LP	H	26	37%	5%	Césped	1	3
27	30° 54,895'	64° 26,840'	1721	LP	H	3,5	10%	45%	Pastizal b.	2	2
28	30° 54,972'	64° 28,046'	1749	LP	F	8	14%	15%	Pastizal b.	2	2
29	30° 54,895'	64° 28,068'	1742	LP	F	14	9%	5%	Pajonal	3	1
30	30° 54,865'	64° 28,038'	1697	LP	F	29	57%	10%	Césped	1	3

La aplicación del método “IndVal” resultó en una lista de 63 especies con valor indicador significativo (Apéndice 1), lo que representa el 56% de las 111 especies de la tabla reducida, 20 para la comunidad Césped, 29 para la comunidad Pastizal bajo y 14 para la comunidad Pajonal.

En la comunidad Césped dominan poáceas cespitosas y graminoides. Entre las especies con valor indicador para esta comunidad se destacan las poáceas cespitosas

Paspalum dilatatum, *Sporobolus indicus*, *Paspalum notatum*, *Piptochaetium medium*, *Lolium multiflorum*, *Steinchisma hians* y *Bromus catharticus*. Los gramíneos con valor indicador son las ciperáceas *Eleocharis pseudoalbibracteata*, *Bulbostylis contracta*, *Bulbostylis juncooides*, *Cyperus aggregatus*, *Bulbostylis communis* y la juncácea *Juncus imbricatus*. También las especies rastreras que toleran o evitan el pastoreo como la fabácea *Trifolium repens* o la apiácea *Eryngium elegans*. Además acompañan estos stands especies características de bordes de arroyos como por ejemplo matas aisladas de la poácea *Cortadeira selloana*, la apiácea *Hydrocotyle bonariensis*, la brasicácea *Nasturtium officinale*, la lamiácea *Prunella vulgaris* o la calicerácea *Acicarpa tribuloides*.

La comunidad Pastizal bajo se caracteriza por presentar muchas especies indicadoras dicotiledóneas, principalmente asteráceas. Entre las especies con valor indicador encontramos, las asteráceas *Lucilia acutifolia*, *Baccharis crispa*, *Chaptalia integerrima*, *Facelis retusa*, *Gnaphalium gaudichaudianum*, *Bidens triplinervia*, *Hypochaeris caespitosa*, *Noticastrum marginatum* y *Baccharis articulata*, las poáceas *Eustachys retusa*, *Nassella filiculmis*, *Eragrostis lugens*, *Piptochaetium montevidensis*, *Schizachyrium spicatum*, *Nassella cordobensis*, y *Bouteloua megapotamica*, las fabáceas *Galactia glaucophylla*, *Adesmia cordobensis* y *Stylosanthes guianensis*, la rosácea *Margyricarpus pinnatus*, la convolvulácea *Dichondra sericea*, la verbenácea *Glandularia dissecta*, la amarantácea *Alternanthera pumila*, la cactácea *Gymnocalycium monvillei*, la euforbiácea *Croton argentinus*, la ramnácea *Colletia spinosissima*, la licófito *Selaginella peruviana* y el líquen saxícola *Usnea amblyoclada*.

La comunidad Pajonal presenta como principal especie indicadora a la poácea en mata *Festuca hieronymi*. Entre las matas de esta última aparecen algunas otras poáceas con valor indicador como *Bothriochloa alta*, *Nassella sanluisensis* o *Chascolytrum*

subaristatum. La asterácea *Tajetes minuta* de porte alto aparece en el espacio intermata. El resto de las especies indicadoras de esta comunidad, o son trepadoras como la fabácea *Cologania broussonetii* que utiliza la estructura de las matas, o son especies muy tolerantes a la sombra que crecen debajo de estas, como la malvácea *Krapovickasia flavescens*, la oxalidácea *Oxalis conorrhiza*, la amarantácea *Pfaffia gnaphalioides*, la rubiácea *Galium richardiarium*, las asteráceas *Hieracium paleziuxii*, *Chevreulia acuminata* y *Chevreulia sarmentosa*, y la geraniácea *Geranium berteroanum*.

El análisis de componentes principales (ACP) de los censos florísticos utilizando únicamente las especies indicadoras (63 especies) explica el 37,1 % de la variabilidad, este método permite observar en un espacio de dos dimensiones la relación de las especies con valor indicador significativo con los censos correspondientes a cada comunidad (Figura 2.5). Se observa como las especies indicadoras se alinean con los agrupamientos de censos de cada comunidad. Si incluyéramos otras especies, el ACP explicaría un menor porcentaje de la variabilidad, y esas especies aparecerían ubicadas entre los distintos agrupamientos de censos.

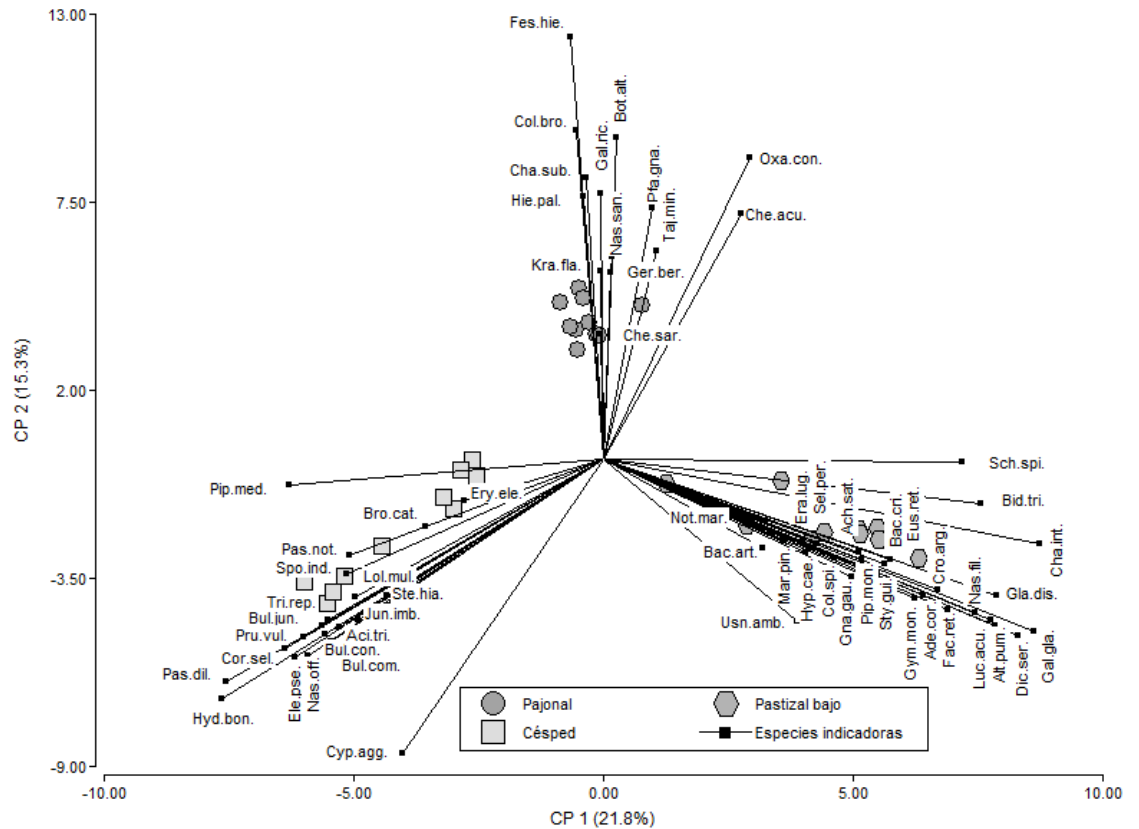


Figura 2.5: Gráfico Biplot del Análisis de Componentes Principales (ACP). Se representan además de los 30 censos, las 63 especies con valor indicador significativo.

De las tres, la comunidad Pastizal bajo resultó la más diversa, con un promedio de 42,9 especies por censo, y la menos invadida con un promedio de 0,9 especies exóticas por censo. La comunidad Césped resultó la menos diversa promediando 29,1 especies por censo y la más invadida, con un promedio de 5,3 especies exóticas por censo. Muchas de ellas especies forrajeras como *Trifolium repens*, *Festuca arundinacea*, *Lolium multiflorum* y *Medicago lupulina*, algunas malezas comunes de la agricultura como *Cardus acanthoides*, *Cardus thoermeri*, *Cynodon dactylon* y *Conyza sumatrensi*, y un par de especies leñosas invasoras como *Rubus ulmifolius* y *Pyracantha angustifolia* (Giorgis y Tecco 2014). Cuatro exóticas aparecen entre las especies indicadoras de esta comunidad, *Lolium multiflorum*, *Trifolium repens*, *Nasturtium officinale* y *Prunella vulgaris*. La comunidad Pajonal resultó tanto en diversidad como en nivel de invasión en

valores intermedios entre las otras comunidades, con promedios de 31,3 especies por censo y 2,3 especies exóticas por censo.

En cuanto a las condiciones edáficas, se observaron diferencias significativas entre todas o al menos entre algunas de las comunidades para las tres variables relevadas. Las tres comunidades se diferenciaron en la profundidad del horizonte A. La comunidad Césped presentó los mayores valores de profundidad ($37,00 \pm 2,02$ cm), seguida por la comunidad Pajonal ($16,40 \pm 2,02$ cm.) y por la comunidad Pastizal bajo que presentó los suelos más someros ($6,35 \pm 2,02$ cm.) (Figura 2.6). En cuanto al contenido hídrico de este horizonte en la temporada seca (invernal), los sitios pertenecientes a la comunidad Césped presentaron mayor humedad gravimétrica ($32,71 \pm 2,60$ %) que las comunidades Pastizal bajo ($6,93 \pm 2,60$ %) y Pajonal ($11,35 \pm 2,60$ %) (Figura 2.7). Con respecto a la pedregosidad la comunidad Pastizal bajo presentó los sitios con mayor porcentaje de cobertura de piedras ($25,00 \pm 2,69$ %) y con una diferencia estadísticamente significativa con respecto a los sitios de las comunidades Césped y Pajonal, con medias de $4,70 \pm 2,69$ % y $5,00 \pm 2,69$ % respectivamente (Figura 2.8).

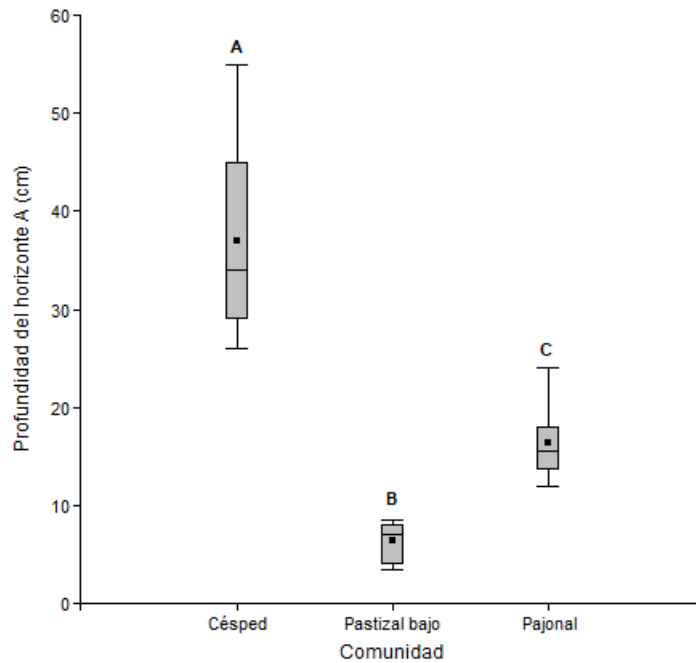


Figura 2.6: Profundidad del horizonte A en cada comunidad. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ($P < 0,0001$). Se representan la mediana (línea horizontal interior a la caja), los cuantiles 0,25 y 0,75 (bordes de la caja) y los cuantiles 0,05 y 0,95 (extremos de los bigotes).

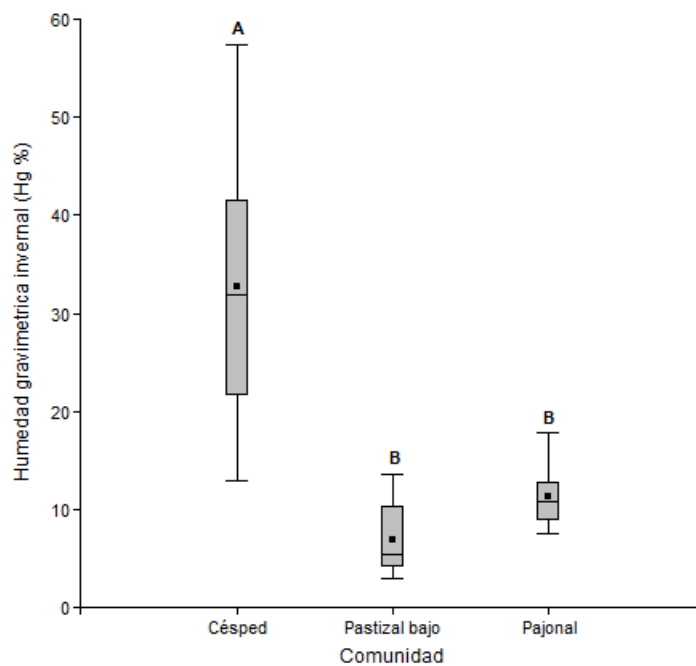


Figura 2.7: Contenido hídrico del horizonte A (humedad gravimétrica) en invierno (temporada seca) en cada comunidad. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ($P < 0,0001$). Se representan la mediana (línea horizontal interior a la caja), los cuantiles 0,25 y 0,75 (bordes de la caja) y los cuantiles 0,05 y 0,95 (extremos de los bigotes).

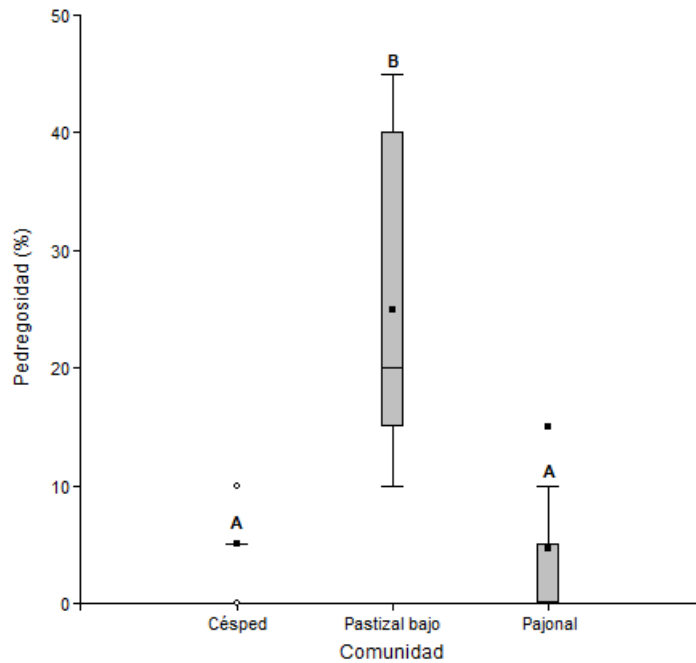


Figura 2.8: Pedregosidad en cada comunidad. Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey ($P < 0,0001$). Se representan la mediana (línea horizontal interior a la caja), los cuantiles 0,25 y 0,75 (bordes de la caja) y los cuantiles 0,05 y 0,95 (extremos de los bigotes).

El gráfico biplot del ACP conformado por las componentes principales (CP) 1 y 2 explica el 93% de la variabilidad total (Figura 2.9). La CP1 (69,7 % de la variación total) permite separar los sitios pertenecientes a las tres comunidades a lo largo del eje x. A la derecha se ubican los sitios de la comunidad Césped, en el centro los de la comunidad Pajonal y hacia la izquierda los de la comunidad Pastizal bajo. La variable Profundidad del horizonte A es la que mayor incidencia tiene sobre CP1 por presentar la mayor proyección sobre el eje x, orientada hacia la derecha, le sigue Humedad gravimétrica invernal con proyección también hacia la derecha y por último Pedregosidad, pero con proyección hacia la izquierda. Los ángulos entre las proyecciones de las variables muestran correlación positiva entre Profundidad del horizonte A y Humedad gravimétrica (ángulo agudo), correlación negativa entre Profundidad del horizonte A y Pedregosidad (ángulo obtuso) y ausencia de correlación entre Humedad gravimétrica y Pedregosidad (ángulo recto). Esta interpretación de las correlaciones en el espacio de dos dimensiones del ACP se corroboró con el análisis de correlaciones lineales (Pearson) que resultó en

un $r: 0,77$ y $p < 0,001$ para la relación entre Profundidad del horizonte A y Humedad gravimétrica, $r: -0,5$ y $p = 0,01$ para la relación entre Profundidad del horizonte A y Pedregosidad, y $r: -0,34$ y $p = 0,07$ para la relación entre Humedad gravimétrica y Pedregosidad.

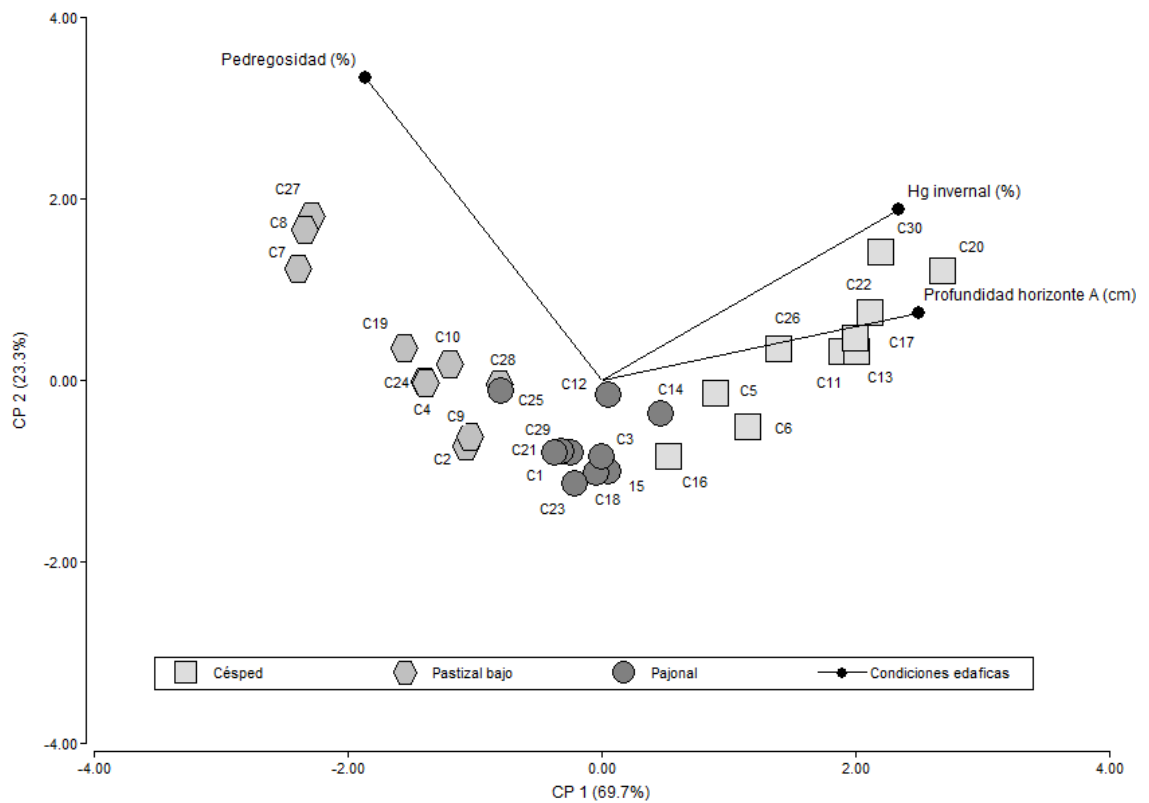


Figura 2.9: Resultado del Análisis de Componentes Principales (ACP) donde se representan los 30 censos y las tres variables edáficas evaluadas.

2.4. Discusión

Se observó una relación estrecha entre la fisonomía y la composición florística de los pastizales de altura de las Sierras Chicas. El pastoreo es un disturbio tan antiguo y constante en las Sierras de Córdoba que podría ser considerado un factor intrínseco del ecosistema (Díaz *et al.*, 1994). Su efecto sobre la vegetación herbácea, luego de tanto tiempo, ya no sería únicamente fisonómico, sino que habría sido acompañado ya, de cambios florístico (Pucheta *et al.*, 1998). Esto explicaría porque no se observaron sitios de distinta fisonomía y similar composición florística a pesar de que el pastoreo como

disturbio podría generarlos. El fuego en cambio es un disturbio que suele ocurrir con un período de retorno de entre 5 y 6 años (Argañaraz *et al.*, 2015). Como todos los censos fueron realizados en potreros que no habían sufrido incendios en los últimos 6 años, se puede suponer que el efecto del último evento sobre la fisonomía ya habría sido largamente superado. Por otro lado, existen gradientes ambientales en sistemas serranos muy relacionados a la altitud, que por reemplazo de especies podrían resultar en sitios de similar fisonomía y distinta composición florística. Si bien este fenómeno de reemplazo de especies se da a lo largo de todo el gradiente altitudinal de las sierras de Córdoba (350 -2100 m s. n. m.; Cabido *et al.*, 1997), nuestra área de estudio se limita a una porción de este gradiente. En el rango altitudinal en el que se realizaron los censos (1405 – 1760 m s. n. m.), las diferencias florísticas entre fisonomías son mucho mayores que las diferencias florísticas dentro de una misma fisonomía (Ver Figuras 2.3 y 2.4).

Estos resultados permiten afirmar que cada fisonomía está asociada a una comunidad (Tabla 2.2). La fisonomía Césped corresponde a la comunidad homónima en la que dominan gramíneas cespitosas y graminoides. Esta comunidad coincide con la breve descripción florística de los céspedes en el mismo rango altitudinal en los trabajos de Acosta *et al.* (1992) y de Cabido *et al.* (2010) en los que se nombran únicamente las especies poáceas más representativas como las del género *Paspalum* o *Steinchisma*. Presenta las mismas características, vegetación herbácea e hidrófila, dominada por poáceas y ciperáceas que describieran Andreazzini *et al.* (2020) para mallines (humedales) en el mismo rango altitudinal en las Sierras de Comechingones (Sierras Pampeanas). La fisonomía Pastizal bajo corresponde a la comunidad homónima, en la que las poáceas comparten protagonismo con asteráceas, fabáceas y otras dicotiledóneas, muchas de las cuales son utilizadas con fines medicinales y/o alimenticios, típicas “yerbas o yuyos” de las sierras de Córdoba. Además, aparecen en esta comunidad cactáceas,

licófitas y líquenes saxícolas propios de condiciones de escasa humedad y pedregosidad. Esta comunidad comparte muchas especies con las descripciones florísticas de las zonas sujetas a procesos erosivos en el trabajo de Menghi *et al.* (1993). La fisonomía Pajonal está asociada a su comunidad homónima, en la que domina la poácea en mata *Festuca hieronymi*. Esta comunidad es la más representativa de este ambiente serrano (Giorgis *et al.*, 2017). Algunas de las especies indicadoras encontradas también fueron incluidas en los tipos florísticos dominados por *Festuca hieronymi* en el trabajo, a otra escala, de Giorgis *et al.* (2017).

Cada una de estas comunidades está asociada a distintas condiciones edáficas, con diferencias estadísticamente significativas entre todas (Figura 2.6) o al menos entre algunas de las comunidades (Figuras 2.7 y 2.8) para cada una de las tres condiciones relevadas. La comunidad Césped está asociada a ambientes con las mejores condiciones edáficas, ya que su horizonte A muy desarrollado presenta durante la temporada seca mayor contenido hídrico que el resto de los ambientes y además muy baja pedregosidad. Sitios de estas características ocurren en posiciones topográficas que reciben y sostienen materiales aluviales y coluviales que llegan desde posiciones superiores y se depositan en depresiones y fondos de valles (Menghi *et al.*, 1993). La escasa pendiente y la acumulación de estos depósitos de granulometría fina ralentizan la circulación del agua (Andreazzini *et al.*, 2020). Como resultado el perfil de suelo se satura manteniendo el nivel freático muy cerca de la superficie y dentro del alcance de las raíces de las plantas incluso durante la temporada seca (Cingolani *et al.*, 2015). Este tipo particular de humedales son comúnmente denominados Mallines o Vegas (Collantes y Faggi, 1999). En las Sierras Pampeanas (Sierras de Comechingones) han sido recientemente caracterizados geológica-geomorfológicamente por Andreazzini *et al.* (2020) dentro del mismo rango altitudinal de este estudio. Todas las características estudiadas y observadas

en los sitios de la comunidad Césped coinciden con el citado estudio. La comunidad Pastizal bajo está asociada a las condiciones edáficas más pobres, ya que su horizonte A muy somero presenta el menor contenido hídrico durante la temporada seca y la mayor pedregosidad de las tres comunidades descritas. Estos sitios corresponden a las posiciones topográficas que ceden materiales, convexidades del terreno que a lo largo del tiempo aportaron y aportan suelo y humedad hacia concavidades (Menghi *et al.*, 1993, Cingolani *et al.*, 2015). Por último, la comunidad Pajonal está asociada a condiciones edáficas intermedias. La posición topográfica donde se encuentra, eso es pendientes suaves que no se caracterizan por una marcada concavidad o convexidad, determinan que exista un balance entre las tasas de acumulación y de pérdida de materiales sólidos. En estos sitios, cuyo horizonte A presento un desarrollo intermedio entre las otras comunidades, el agua que infiltra durante la temporada de precipitaciones es eventualmente consumida por la importante biomasa de estos pajonales (Cingolani *et al.*, 2015) y por lo tanto avanzada la temporada seca presentan un contenido hídrico que no se diferencia estadísticamente de los sitios más pobres.

De las tres condiciones edáficas evaluadas, la profundidad del horizonte A es la única que presentó diferencias significativas entre las tres comunidades (Figura 2.6) y es la variable que mejor explica la diferencia entre los sitios, según evidencia el Análisis de Componentes Principales (Figura 2.9). La profundidad del horizonte superficial esta correlacionada positivamente con la humedad gravimétrica invernal (temporada seca) ya que determina una mayor capacidad de almacenar agua (Noy-Meir 1973). También porque en las Sierras Chicas los flujos de materiales y de agua siguen patrones similares (Menghi *et al.*, 1993) llegando a transformarse en un único flujo (erosión hídrica). En cambio, la profundidad del horizonte superficial está negativamente correlacionada con la pedregosidad, ya que los procesos erosivos que determinan la acumulación o remoción

de suelo entierran o descubren respectivamente piedras en superficie. Es probable que al evaluar la pedregosidad en sitios que se caracterizan por una profundidad del horizonte A intermedia (Comunidad Pajonal), el volumen de la vegetación (Pajonales) y no tanto el suelo, hayan ocultado parte de las piedras en superficie impidiendo detectar diferencias significativas en pedregosidad entre las comunidades Césped y Pajonal (Figura 2.8). No se encontró correlación entre Pedregosidad y Humedad gravimétrica invernal, aunque podría haberse esperado una correlación negativa al reducir las piedras la superficie efectiva de infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua.

2.5. Conclusiones

A escala de paisaje, en el piso altitudinal de pastizales de altura de las Sierras Chicas, cada una de las distintas fisonomías presentes (Césped, Pastizal bajo y Pajonal) está asociada a una comunidad distinta, y estas a su vez, a distintas condiciones edáficas. Los céspedes a los suelos más profundos y húmedos, con la menor cobertura de piedras en superficie, los pastizales bajos a los suelos más someros, con menor humedad y con mayor cobertura de piedras en superficie, y los pajonales a condiciones intermedias entre las mencionadas.

CAPITULO 3: CLASIFICACIÓN UTILITARIA DE LA VEGETACIÓN

3.1. Introducción

Para determinar si unidades de vegetación fisonómica y florísticamente diferentes representan también unidades significativamente distintas en aspectos utilitarios, es necesario compararlas en parámetros que hacen a la utilización y manejo de estos pastizales.

La ganadería extensiva tiene más de 400 años de historia en las sierras cordobesas (Díaz *et al.*, 1994) y sigue siendo la principal actividad agropecuaria (Ghida Daza y Sánchez 2009). Para el resultado de esta actividad la provisión de forraje es fundamental. Este es uno de los principales servicios ecosistémicos que brindan los pastizales naturales (Zhao *et al.*, 2020) y pueden considerarse dos aspectos: cantidad (producción de biomasa) y calidad (valor nutricional) (Berri *et al.*, 2007). Ambos parámetros son determinantes en la capacidad de carga, que es la densidad de animales que puede sostener sustentablemente un ambiente (Golluscio 2009). Además, son los factores bióticos que más influyen en la selección de sitio de pastoreo (Bailey y Provenza 2008).

Una forma de determinar la cantidad de forraje que produce un ambiente es a través de la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA). Esta es la fracción aérea de la productividad primaria total, y es la que es accesible al pastoreo, y está directamente asociada a la capacidad de carga tanto de herbívoros silvestres en ecosistemas naturales como de herbívoros domésticos en agroecosistemas (Oesterheld *et al.*, 1992). La PPNA presenta variabilidad espacial y temporal (Baeza *et al.*, 2010). La primera asociada a la composición florística y a la disponibilidad de recursos en cada stand, y la variabilidad temporal tanto intra-anual, asociada a las condiciones climáticas estacionales como interanual, asociada a las condiciones climáticas particulares de cada año. La

transformación de la radiación fotosintéticamente activa en biomasa vegetal (PPN) se alejará del máximo posible en la medida en que recursos como el agua, temperatura o nutrientes limiten la actividad fotosintética (Chapin *et al.*, 2002). En regiones semiáridas como las sierras pampeanas, el agua pasa a ser uno de los principales controladores (Jobbágy *et al.*, 2002). En el capítulo 2 se determinó que las distintas comunidades están asociadas a sitios con diferentes condiciones edáficas, entre ellas de disponibilidad de agua, que podrían resultar en diferencias en PPNA entre comunidades. El régimen monzónico que caracteriza el clima de la región (Cabido *et al.*, 2003) y su interacción con la variación anual de la temperatura podría generar diferencias estacionales en PPNA cuyo efecto podría variar entre comunidades.

Si bien la PPNA es el principal control de la capacidad de carga en sistemas pastoriles (Oesterheld *et al.*, 1998), en pastizales de altura la producción animal suele estar más limitada por la calidad del forraje que por su cantidad (Falczuk 2002; Von Müller 2010). La calidad forrajera también podría presentar variabilidad espacial, asociada a la composición florística, y temporal, asociada a las variaciones estacionales. El valor nutricional de un forraje depende de su composición química y de su digestibilidad (proporción de nutrientes que incorpora efectivamente el animal). Las determinaciones de laboratorio más comunes para evaluar estos parámetros son: Proteína Bruta (PB), Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Acido (FDA), Digestibilidad *In Vitro* de la Materia Seca (DIVMS) y Digestibilidad *In Vitro* de la FDN (DIVFDN) (Weiss y Hall 2020). Una clasificación utilitaria que contribuya a la gestión de este recurso debería permitir diferenciar unidades de vegetación según sus características forrajeras, teniendo también en cuenta las diferencias estacionales.

El pastoreo no es el único disturbio que se busca gestionar mejor en los pastizales de altura de las Sierras Chicas. Si bien los incendios son una problemática recurrente en

todo el sistema serrano cordobés, las Sierras Chicas son las más afectadas por el fuego (Argañaraz 2016). El citado estudio también indica que este cordón presenta la mayor frecuencia de incendios, el mayor número total de incendios y de grandes incendios por unidad de área de todas las sierras de Córdoba. Los pastizales son la cubierta vegetal que más sufre estos eventos, representando el 42% del área quemada en las Sierras Chicas, siendo además los que mayor superficie y perímetro quemado presentan (Argañaraz *et al.*, 2015).

Históricamente se utilizó el fuego, a través de quemas controladas, como herramienta para mejorar la calidad forrajera de los pastizales (Fischer *et al.*, 2012). Actualmente dicha práctica se encuentra prohibida en la provincia de Córdoba por la ley 8751 de Manejo del Fuego. Los incendios, son combatidos por los productores rurales por el impacto que estos tienen sobre sus animales (afecta tanto la vida como el sustento forrajero de los mismos) y sobre su infraestructura, principalmente alambrados, pero también tendidos eléctricos, instalaciones de manejo, galpones y viviendas.

La gestión de la biomasa combustible es un aspecto relevante para la prevención y el combate de incendios (Argañaraz *et al.*, 2017). Una clasificación utilitaria de la vegetación que contribuya también al mapeo y la gestión de la biomasa combustible debería diferenciar y caracterizar unidades de vegetación según aspectos que hacen a su potencialidad como combustible.

Los pastizales se caracterizan por presentar lo que en el estudio del fuego se denomina combustibles finos, material vegetal de diámetro inferior a 0,5 cm, principalmente hojas y algunos tallos de especies herbáceas no lignificados, que encienden fácilmente y son consumidos por el fuego rápidamente si se encuentran secos. Estos se presentan tanto en pie (matas de pasto), como en forma de mantillo, en distintos grados de descomposición, dispuesto sobre la superficie del suelo y la base de las plantas

(Kunst y Bravo 2003). A diferencia del mantillo, el material en pie está compuesto tanto por material vivo como por material muerto (necromasa) que presentan distintas condiciones como combustible. Tanto el combustible muerto como el combustible total, y la relación entre ambos, son relevantes a la hora de comparar el riesgo potencial de incendio en pastizales (Leonard 2009; Leonard *et al.*, 2010).

El objetivo de este capítulo es caracterizar y diferenciar las comunidades definidas en el capítulo 2 según sus condiciones utilitarias (PPNA, calidad forrajera y biomasa combustible) para definir unidades de vegetación de una clasificación utilitaria.

3.2. Materiales y Métodos

Para determinar la PPNA de cada comunidad, se realizaron cortes de biomasa acumulada durante un periodo de un año, entre enero de 2019 y enero de 2020. Para ello, se utilizaron jaulas de exclusión de pastoreo (de 1 m² de base por 1 m de altura) (Imagen 3.1). En 4 potreros distintos, dos por establecimiento, se instaló una jaula en cada comunidad (Figura 3.1).



Imagen 3.1: De izquierda a derecha jaulas de exclusión sobre stands de las comunidades Césped, Pastizal bajo y Pajonal.

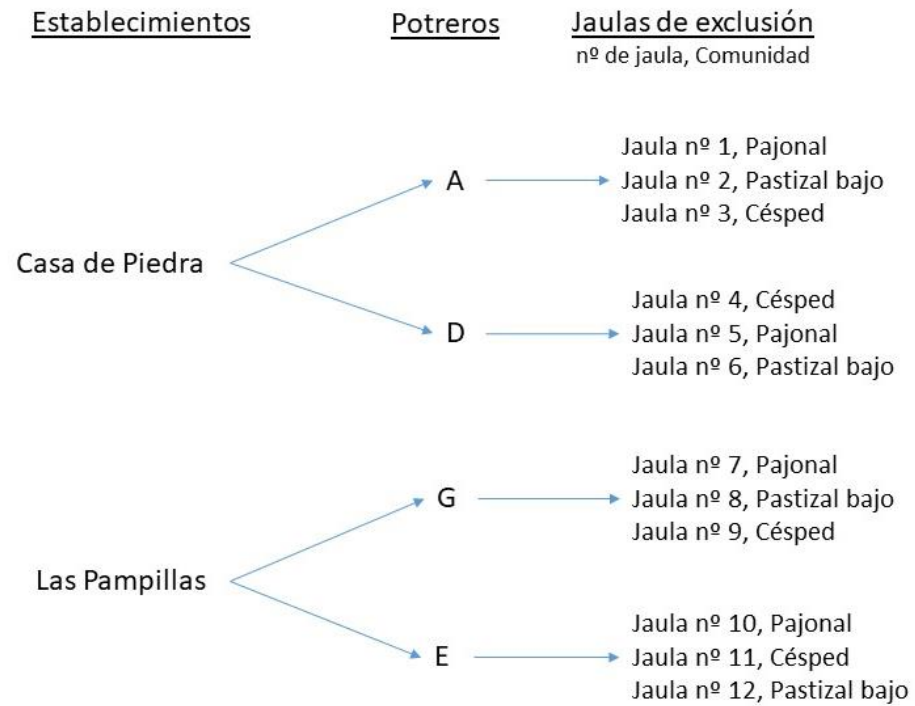


Figura 3.1: Distribución de las jaulas de exclusión en los diferentes potreros y comunidades.

La vegetación dentro de cada jaula fue cortada cada 45 días en primavera, verano y otoño y cada 90 días en invierno. Para cada uno de estos periodos de muestreo, previo a la instalación (o reinstalación) de las jaulas, se seleccionaron en cada stand dos cuadrantes, de 1m² de superficie, que no habían sido cortados previamente, y que presentaran un volumen de biomasa lo más parecido posible. Se eligió al azar uno de ellos que representó el tiempo 0 (t_0) de ese periodo de muestreo para ese sitio, una estimación de la biomasa existente dentro de la jaula (que se instaló en el otro cuadrante) al inicio del periodo de exclusión (Pezzani *et al.*, 2017). Se cosechó todo el material en pie (cortando a ras de suelo) y el mantillo presente. El material cosechado se clasificó en mata (para las comunidades que presenten matas) e intermata, para análisis posteriores, y en material en pie verde, en pie seco y mantillo para el cálculo de PPNA (Sala y Austin 2000). Se secó en estufa a 100°C hasta peso constante para obtener materia seca (MS). En el otro cuadrante se instaló la jaula de exclusión. La cosecha del material de las jaulas

(a los 45 días en primavera, verano y otoño y 90 días en invierno) correspondió al tiempo 1 (t_1) para cada periodo de muestreo. Luego de cada cosecha las jaulas se reubicaron a un sitio distinto que no haya sido intervenido, dentro del mismo stand, para iniciar un nuevo periodo de exclusión repitiendo todo el proceso. La PPNA para cada periodo se calculó mediante la suma de las diferencias positivas entre la biomasa total final (t_1) y la total inicial (t_0) de cada fracción vegetal por separado, dividido por el número de días de crecimiento (modificado de Sala *et al.*, 1981; Sala y Austin 2000). Este resultado fue expresado como $\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$. Para cada periodo se realizó análisis de la varianza (ANOVA), utilizando la prueba de Tukey ($p < 0,05$) para la comparación de medias entre las distintas comunidades. A partir de las medias de todos los periodos se calculó, para cada comunidad, la PPNA diaria promedio de todo el año ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$) y la PPNA anual ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$).

Se generó una serie temporal de índice de vegetación de diferencia normalizada, NDVI por sus siglas en inglés (Rouse *et al.*, 1974), para cada comunidad para el mismo periodo de tiempo que el muestreo de PPNA. El NDVI se determinó para 24 pixeles (10 m x 10 m) de la grilla del satélite Sentinel 2, correspondientes a los 12 stands donde se colocaron jaulas de exclusión (4 por comunidad), y a otros 12 stands más próximos a cada jaula y de la misma comunidad. El índice, que se define a partir de la ecuación: $\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$, se calculó a partir de las bandas 8 (NIR) y 4 (RED) de todos los registros sin nubes del satélite Sentinel 2 en el periodo considerado, con el programa Google Earth Engine. A las series temporales de NDVI de cada comunidad resultantes se les aplicó la técnica de suavizado tipo media móvil para minimizar el ruido residual (Balzarini *et al.*, 2008) con el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2008). De estas series se obtuvieron los parámetros biométricos a) MEDIA: Media de toda la serie temporal b) MAX: NDVI máximo c) MIN: NDVI mínimo d) INI: inicio de

estación de crecimiento, e) FIN: fin de estación de crecimiento, f) tMAX: momento de máximo NDVI. Se consideró inicio de estación de crecimiento cuando el NDVI, en crecimiento sostenido, alcanza un valor 20% superior al NDVI mínimo. Se consideró fin de la estación de crecimiento cuando el NDVI disminuye sostenidamente por debajo de ese mismo valor (Vázquez *et al.*, 2013).

A partir de registros pluviométricos del Establecimiento “Las Pampillas” (1998-2020) y de temperatura media de la localidad más cercana, Los Cocos (1982-2012; climate-data.org 2020) se generó un climograma del área de estudio.

Para determinar la calidad forrajera de las comunidades se tomaron muestras del material en pie cosechado de las jaulas de exclusión durante la temporada de activo crecimiento (estival) y durante la temporada de reposo (invernal). Estos muestreos se efectuaron en marzo y en septiembre respectivamente, en 3 jaulas (repeticiones) de cada comunidad, coincidiendo con los muestreos para PPNA. Se tomó una submuestra de aproximadamente 200 g (peso húmedo) del material cosechado para PPNA, tanto de intermata como de mata, en la única comunidad que presenta matas (Pajonal). Este material fue colocado en bolsas plásticas y mantenido en una conservadora durante su traslado al laboratorio de forrajes de la Estación Experimental Agropecuaria Manfredi de INTA, donde se conservó a -18 °C hasta su procesamiento. Cada muestra se pesó y se colocó en estufa de aire forzado a 55 °C hasta lograr peso constante. Cada muestra seca se molió utilizando un molino Thomas Willey Model 4, con una malla de 2 mm, y se separó en submuestras para someter el material a distintos tipos de análisis: fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutro (FDN), proteína bruta (PB), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y digestibilidad *in vitro* de la FDN (DIVFDN). El análisis de FDN y FDA se realizó mediante el método propuesto por Goering y Van Soest (1970), en un equipo Ankom 220 Fiberanalyzer. Para la

determinación de PB, se utilizó la metodología de Kjeldahl, por la cual el porcentaje de la PB se expresa como el contenido de nitrógeno (N) de la muestra multiplicado por 6,25 (Bremmer y Breitenke 1983). La determinación se realizó con un equipo Kjeltec 8400 de FOSS. La determinación de la DIVMS y DIVFDN se realizó a 48 horas, con la metodología propuesta por Van Soest *et al.* (1966).

Los datos obtenidos al inicio de cada periodo de muestreo de PPNA en cada uno de los cuadrantes t_0 (condición inicial de cada stand previo a la exclusión), fueron utilizados para caracterizar la biomasa que sostiene cada comunidad y determinar diferencias entre comunidades en cuanto a las fracciones de biomasa combustible y la relación entre ellas. Con los datos de materia seca de mantillo, material en pie verde y material en pie seco se calcularon para cada comunidad distintas categorías. Estas permiten caracterizar las cantidades de combustible vivo y muerto (Bianchi *et al.*, 2014), el total de combustible, aspecto determinante en la capacidad de sostener incendios (Leonard 2009) y la proporción de combustible muerto, aspecto determinante en la probabilidad de ignición (Leonard *et al.*, 2010):

- Mantillo ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$): material vegetal muerto que ya no está en pie, en distintas etapas del proceso de descomposición.
- Combustible muerto en pie ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$): Material vegetal en pie muerto, se determina separando el material visiblemente muerto del material vivo.

Esta categoría permite ilustrar, y comparar con otras comunidades, el volumen de material muerto que existe dentro de las matas de *Festuca hieronymi* en el pajonal, matas enteras o partes de matas que perduran en pie una vez muertas y que luego de años pasaran a formar parte del mantillo

- Combustible muerto (kg MS.ha^{-1}): Material vegetal muerto, tanto en pie como mantillo. Categoría que incluye las dos primeras, y que se utiliza para el cálculo del porcentaje de combustible muerto.
- Combustible total (kg MS.ha^{-1}): Todo el material vegetal, vivo y muerto, incluido el mantillo.
- Porcentaje de combustible muerto (%): Relación entre el combustible muerto y el combustible total.

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante análisis de la varianza (ANOVA), test de Tukey, con el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2008).

3.3. Resultados

3.3.1. Productividad primaria neta aérea

La metodología para la determinación de PPNA fue adecuada para las comunidades Césped y Pastizal bajo. Pero, como la metodología se basa en encontrar visualmente dos cuadrantes que presenten similar peso seco de biomasa, en la comunidad Pajonal la biomasa presente ($20197 \pm 5898 \text{ kg MS.ha}^{-1}$, Figura 3.14) imposibilitó realizar esta tarea con la precisión necesaria. Las diferencias en el peso seco de la biomasa de estos cuadrantes generaron para cada periodo de muestreo valores de PPNA con desvíos altos comparados con los de las comunidades Césped y Pastizal bajo. La Tabla **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 3.1 ilustra esto para el primer periodo de muestreo. Debido a que fue imposible subsanar el problema, se procedió a descartar todas las estimaciones de PPNA para la comunidad Pajonal.

Tabla 3.1: PPNA diaria por comunidad para el primer periodo de muestreo (Valores expresados en $\text{kg MS.ha}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$).

Comunidad	PPNA Periodo ENE-MAR	
	Media	Desvío estándar
Césped	14,74	3,59
Pastizal bajo	6,05	3,71

Pajonal 74,52 90,23

La PPNA de la comunidad Césped fue superior significativamente a la de la comunidad Pastizal bajo en todos los periodos de muestreo, a excepción de los periodos de otoño tardío (MAY-JUN) e invierno (JUN-SEP) (Figura 3.2). Si bien se observó que los valores de PPNA de ambas comunidades siguen una tendencia similar a lo largo del año, las variaciones estacionales son más marcadas en la comunidad Césped, por lo que la diferencia entre ambas disminuyó hacia el invierno y se amplió hacia el verano.

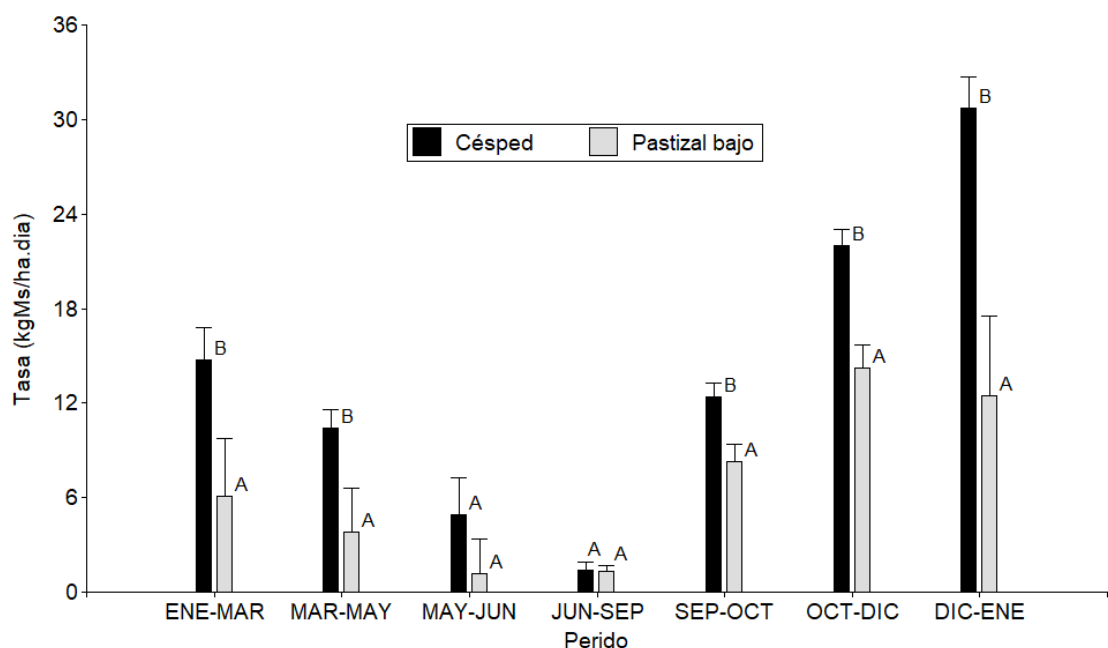


Figura 3.2: Productividad primaria neta aérea (PPNA) de las comunidades Césped y Pastizal bajo a lo largo de un año. Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades para cada periodo ($p < 0,05$). La barra vertical indica + 1 desvío estándar de la media.

La PPNA diaria promedio fue $11,64 \pm 1,80 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ y $5,72 \pm 0,62 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ para las comunidades Césped y Pastizal bajo respectivamente, las cuales presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p=0,0008$, Test de Tukey). Esta PPNA diaria promedio equivale a una PPNA anual de $4250 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y $2088 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ respectivamente.

Las tres series temporales de NDVI siguieron una tendencia similar a lo largo de todo el año (Figura 3.3). Sin embargo, la serie de la comunidad Césped superó en todo el periodo de muestreo a las de las comunidades Pastizal bajo y Pajonal, con media,

máximos y mínimos superiores (Tabla 3.2). Las comunidades Pastizal bajo y Pajonal presentaron valores de NDVI muy cercanos a lo largo de todo el año, con medias y mínimos muy similares, y máximos iguales. Sin embargo, estas series (Figura 3.3), a lo largo del año fueron alternándose. El inicio de la estación de crecimiento (Tabla 3.2) ocurrió con diferencia de un día entre las comunidades. Sin embargo el fin ocurrió primero para la comunidad Pastizal bajo, 8 días después para la comunidad Césped, pero casi un mes más tarde para la comunidad Pajonal. El momento de máximo NDVI (tMAX) coincidió en las tres comunidades en fecha 19/12/2019. Sin embargo las comunidades Pastizal bajo y Pajonal tuvieron otros picos a lo largo de la serie temporal en el que alcanzaron también su máximo NDVI.

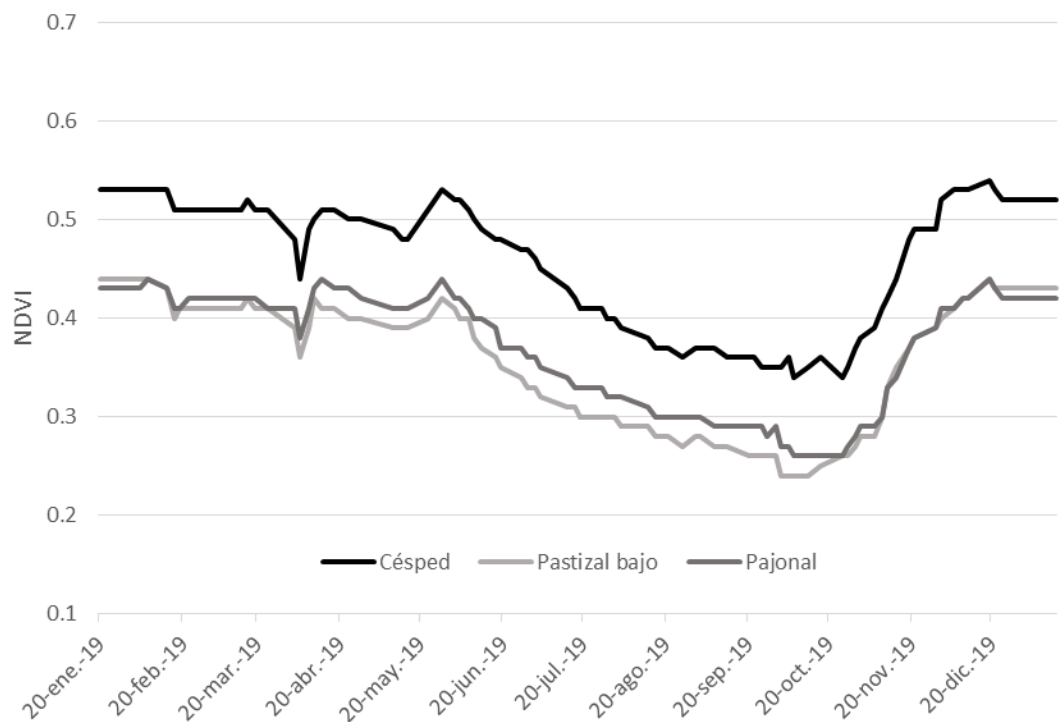


Figura 3.3: Series temporales de Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) de las tres comunidades a lo largo de un año.

Tabla 3.2: Parámetros biométricos de las series temporales de Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) de cada comunidad.

NDVI	Césped	Pastizal bajo	Pajonal
MEDIA	0,46	0,36	0,37
MAX	0,54	0,44	0,44
MIN	0,34	0,24	0,26
INI	9/11/2019	10/11/2019	11/11/2019
FIN	27/7/2019	19/7/2019	13/8/2019
tMAX	19/12/2019	20/01/2019 al 07/02/2019 19/12/2019	07/02/2019 13/04/2019 28/05/2019 19/12/2019

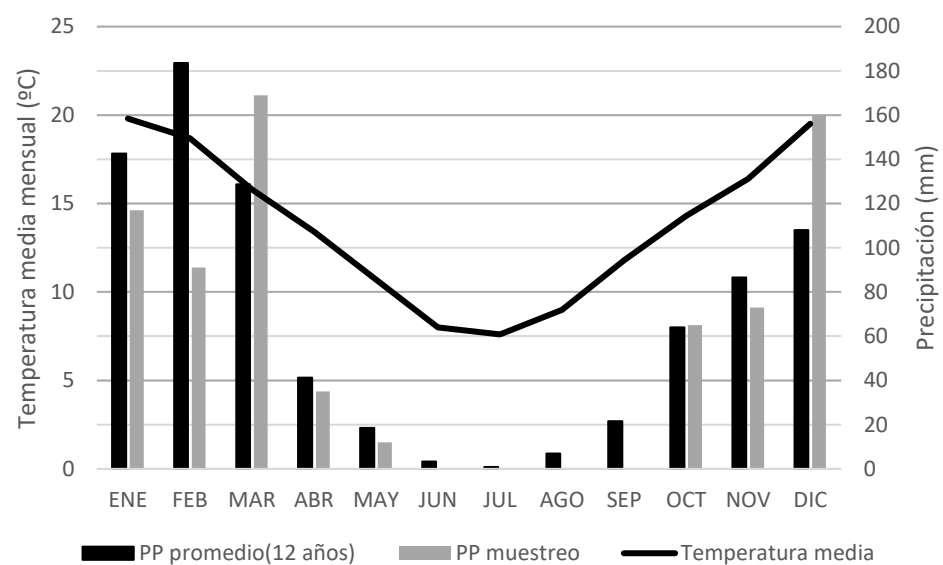


Figura 3.4: Climograma del área de estudio. Precipitaciones mensuales (promedio histórica y del año de estudio) registradas en el Establecimiento "Las Pampillas". Temperatura media histórica de la localidad más cercana a dicho establecimiento (Los Cocos).

Las precipitaciones registradas en el Establecimiento "Las Pampillas" durante el periodo de muestreo (2019) tuvieron un comportamiento estacional normal (Figura 3.4), pero con un acumulado anual de 722 mm, 97 mm por debajo de la media anual de los últimos 12 años (819 mm) y 64 mm por debajo de la mediana para el mismo periodo (786 mm).

3.3.2. Calidad forrajera

Los distintos parámetros que caracterizan a la calidad forrajera (Figuras 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9) se hicieron diferenciando el material de la intermata y de la mata para la

comunidad Pajonal, única comunidad que presenta una estructura de ese tipo. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en ninguna de estas variables en ambas estaciones analizadas, entre estos dos componentes de la comunidad Pajonal.

La comunidad Césped presentó mejores condiciones de calidad forrajera que la mata y la intermata de la comunidad Pajonal (Figura 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9). La comunidad Pastizal bajo presentó valores intermedios entre los de la comunidad Césped y Pajonal, si bien las únicas variables que se diferenciaron significativamente con respecto a ambas comunidades fueron la digestibilidad estival de la materia seca y de la fibra detergente neutro (Figuras 3.8 y 3.9).

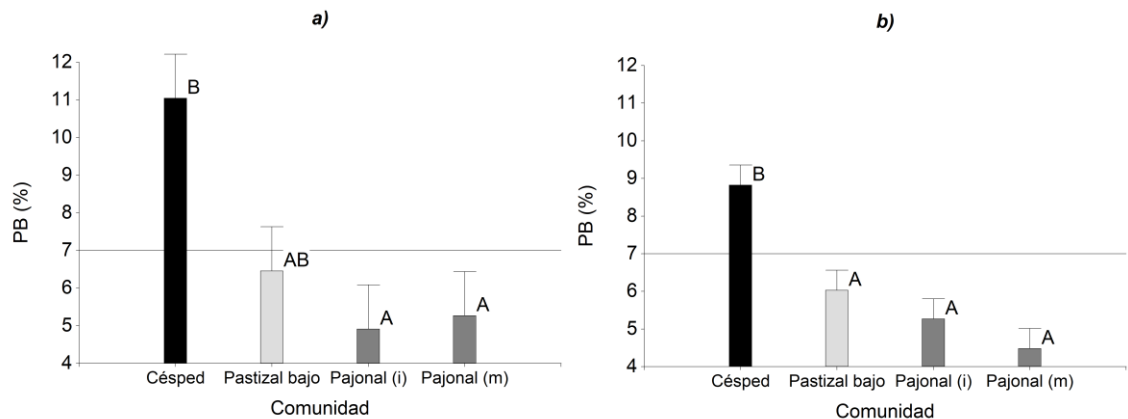


Figura 3.5: Proteína bruta (% de la MS) de cada comunidad en la temporada estival (a) e invernal (b). Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades para cada temporada ($p < 0,05$). La línea horizontal marca el umbral de 7% de proteína bruta, considerado limitante para el consumo individual (Minson 1990). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media. (i): intermata (m): mata

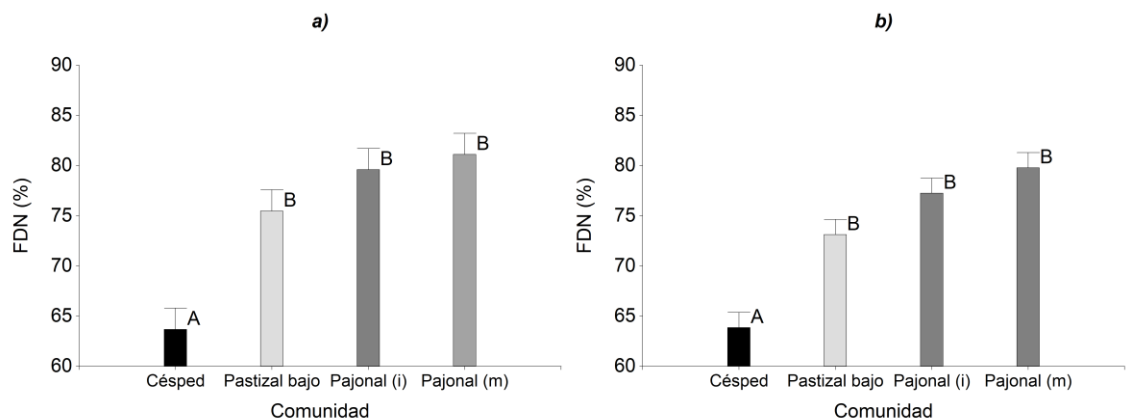


Figura 3.6: Fibra detergente neutro (% de la MS) de cada comunidad en la temporada estival (a) e invernal (b). Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades para cada temporada ($p < 0,05$). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media. (i): intermata (m): mata

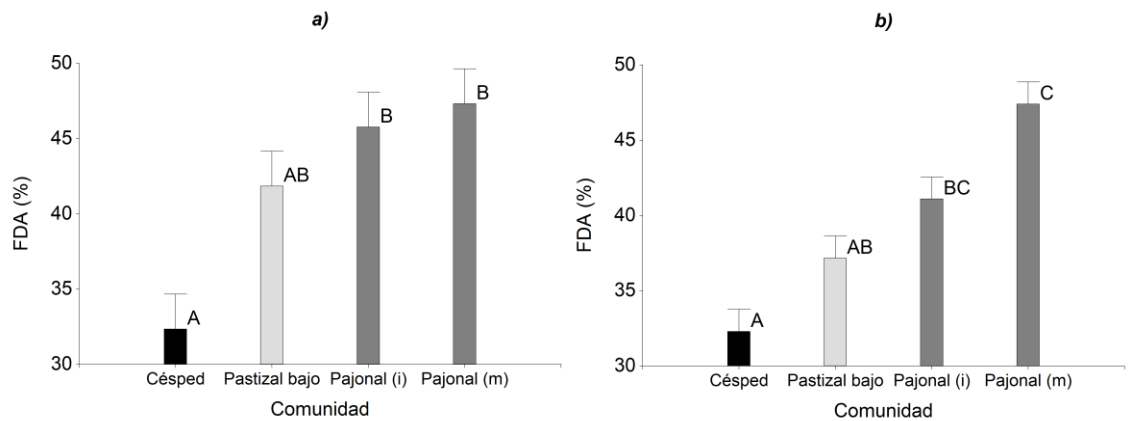


Figura 3.7: Fibra detergente ácido (% de la MS) de cada comunidad en la temporada estival (a) e invernal (b). Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades para cada temporada ($p < 0,05$). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media. (i): intermata (m): mata

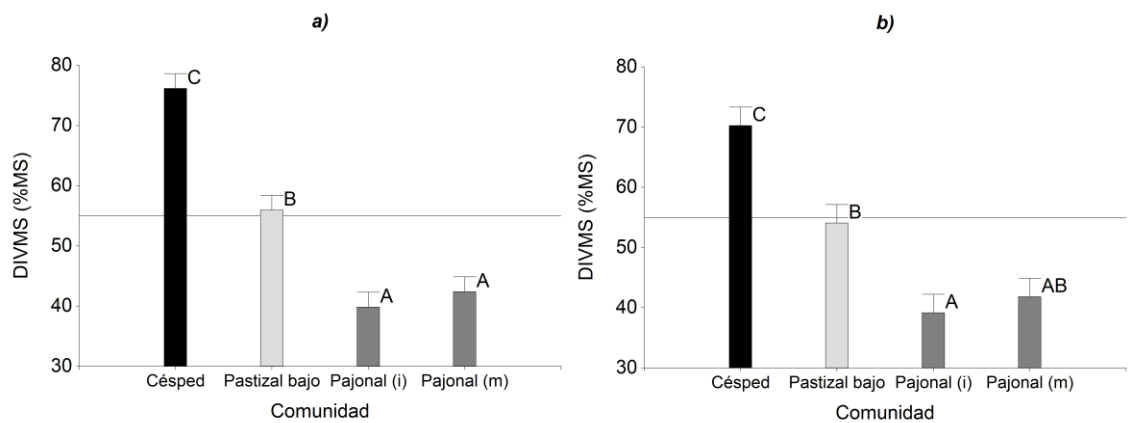


Figura 3.8: Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (% de la MS) de cada comunidad en la temporada estival (a) e invernal (b). Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades para cada temporada ($p < 0,05$). La línea horizontal marca el 55% de digestibilidad (Leng 1990). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media. (i): intermata (m): mata

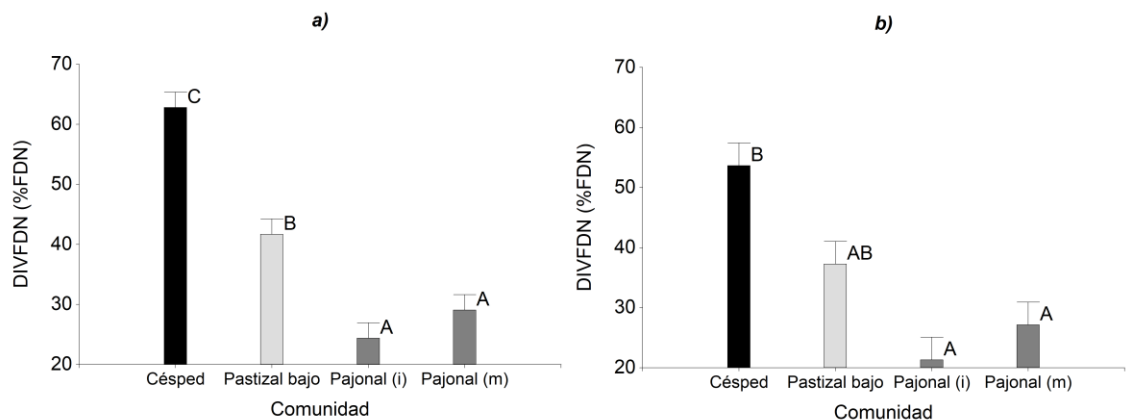


Figura 3.9: Digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro (% de la FDN) de cada comunidad en la temporada estival (a) e invernal (b). Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades para cada temporada ($p < 0,05$). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media. (i): intermata (m): mata

3.3.3. Biomasa combustible

La biomasa combustible que sostiene cada comunidad resultó en diferencias significativas entre la comunidad Pajonal y las otras dos comunidades (Césped y Pastizal bajo), en todas las categorías en las que se clasificó el combustible (Figura 3.10). Las comunidades Césped y Pastizal bajo presentaron menores valores para todas las categorías.

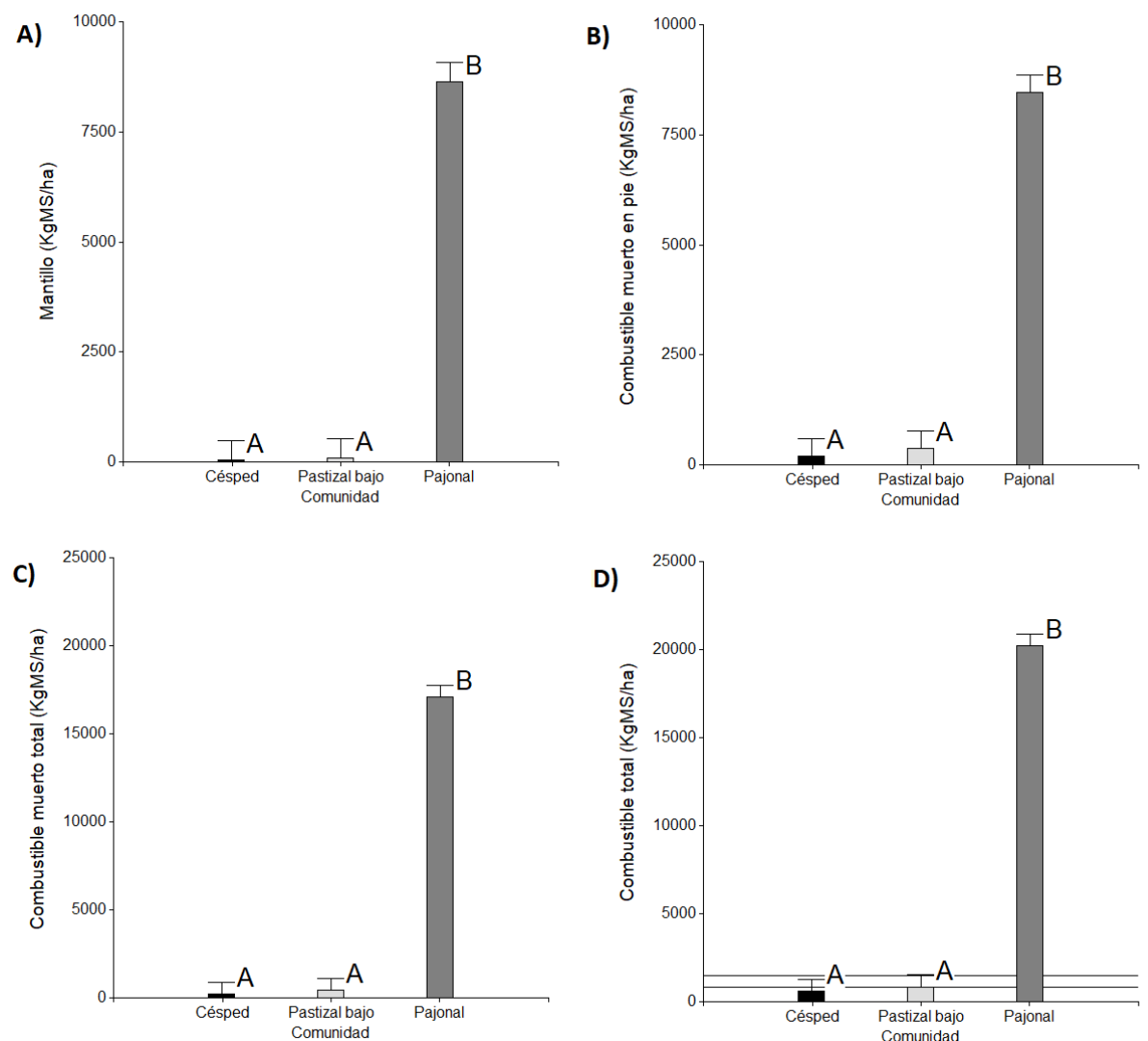


Figura 3.10: Distintas categorías en las que se clasificó el combustible. Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades para cada categoría ($p < 0,05$). La barra vertical indica $+ 1$ error estándar de la media. En D) las líneas horizontales marcan los umbrales de $820 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Leonard 2009) y $1500 \text{ kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Cruz et al., 2017).

En la relación entre combustible muerto y combustible total, expresada como porcentaje de combustible muerto, la comunidad Pajonal presentó el valor más alto, $84 \pm 5\%$, seguida por la comunidad Pastizal bajo con $53 \pm 14\%$ y la comunidad Césped con $41 \pm 24\%$. Se destaca el altísimo valor y el muy bajo desvío que presenta la comunidad Pajonal a pesar de que se utilizaron datos de t_0 obtenidos a lo largo de todo el año (Figura 3.11). Esta relación varía muy poco a lo largo del año en la comunidad Pajonal, en cambio la comunidad Césped sufre variaciones estacionales muy marcadas, y la comunidad Pastizal bajo tiene un comportamiento intermedio (Figura 3.12).

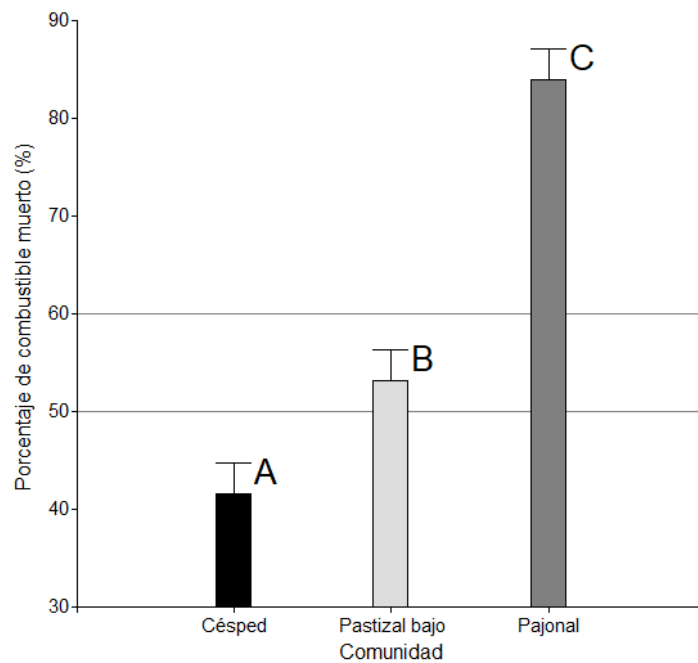


Figura 3.11: Porcentaje de combustible muerto. Letras distintas indican diferencias significativas entre las comunidades ($p < 0,05$). Las líneas horizontales marcan los umbrales de 50% (Cheney *et al.*, 1998) y 60% (Leonard 2009). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media.

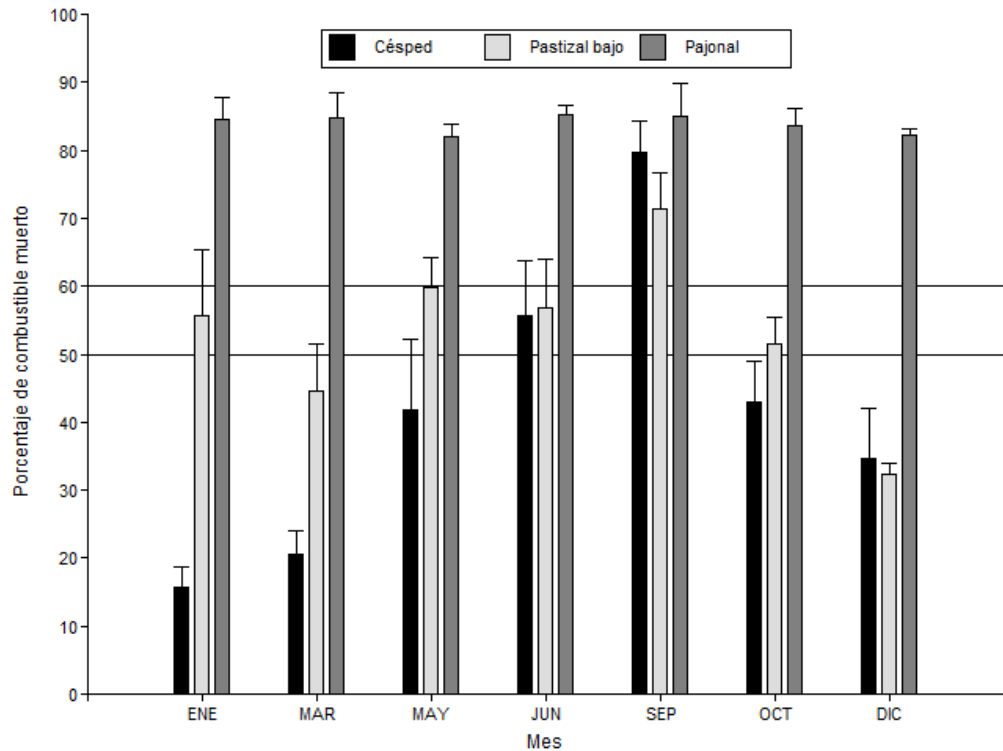


Figura 3.12: Porcentaje de combustible muerto a lo largo del año. Las líneas horizontales marcan los umbrales de 50% (Cheney *et al.*, 1998) y 60% (Leonard 2009). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media.

3.4. Discusión

3.4.1. Productividad primaria neta aérea

La PPNA anual de la comunidad Césped, $4250 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, duplicó a la de la comunidad Pastizal bajo que alcanzó $2088 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, mientras que la de la comunidad Pajonal no se pudo estimar por dificultades metodológicas. En el capítulo 2, se determinó que existen sitios con diferentes condiciones edáficas, entre ellas de disponibilidad de agua, siendo este uno de los principales controladores de la actividad fotosintética en regiones semiáridas (Jobbágy *et al.*, 2002). Por esta razón las comunidades asociadas a los sitios más ricos en este recurso escaso han sido las que presentaron mayor PPNA y las asociadas a los sitios más pobres las menores.

La diferencia en PPNA entre estas dos comunidades se expresó durante gran parte del año, a excepción de los meses de invierno, cuando la temperatura empezó a limitar la actividad fotosintética, afectando por igual a todas las comunidades, y enmascarando en

parte el efecto de la disponibilidad hídrica, que fue diferente entre comunidades aun durante la temporada seca (Capítulo 2). Más allá de que la caída de la temperatura pueda enmascarar diferencias entre sitios en disponibilidad hídrica, juntas temperatura y disponibilidad hídrica (Figura 3.4), serían responsables de la caída generalizada de la PPNA entre mediados de mayo y mediados de septiembre (Figura 3.2).

La diferencia en PPNA entre comunidades determinó diferente capacidad de carga entre estas. El Equivalente vaca (EV) es el promedio anual de los requerimientos de una vaca de 400 kg de peso, que gesta y cría un ternero hasta el destete a los 6 meses con 160 kg de peso, incluyendo el forraje que consume ese ternero. Representa en términos de energía metabolizable 18,54 mega calorías diarias (Cocimano *et al.*, 1975). Considerando una digestibilidad del 55%, digestibilidad por debajo de la cual se restringe el consumo (Leng 1990), y que es representativa del promedio de las digestibilidades de las tres comunidades (52,5%, Figura 3.8), calculamos el aporte energético por kilogramo de materia seca con la fórmula (Boetto *et al.*, 2012):

$$EM \text{ (Mcal/kgMS)} = 3,6 \times (DMS / 100)$$

Siendo: EM: Energía Metabolizable; DMS: Digestibilidad de la Materia Seca

El aporte calórico resultó en 1,98 megacalorías de energía metabolizable por kilogramo de materia seca. El consumo para cubrir los requerimientos calóricos de un EV será entonces de 9,36 kg MS.día⁻¹. Considerando un índice de cosecha en pastoreo sustentable según la fórmula propuesta por Golluscio (2009), IC (%) = $-5,71 + 0,7154 \times (PPNA \text{ (kg MS.ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}))^{0,5}$, la comunidad Césped (PPNA: 11,64 kg MS.ha⁻¹.día⁻¹ - IC:42%) podría sostener un EV cada 2 ha y la comunidad Pastizal bajo (5,72 kg MS.ha⁻¹.día⁻¹ - IC:27%) uno cada 6,1 ha.

La PPNA de la comunidad Pastizal bajo resultó apenas superior a los 1715 kg MS.ha⁻¹.año⁻¹ de la comunidad dominada por “Stipas” para el mismo rango altitudinal en

las Sierras Chicas (Menghi *et al.*, 1978), superior a los 1288 kg MS.ha⁻¹.año⁻¹ promedio de pastizales en el mismo rango altitudinal en la provincia de La Rioja, y apenas inferior a los 2281 kg MS.ha⁻¹.año⁻¹ para ese mismo ambiente en la provincia de Catamarca (Blanco *et al.*, 2019). Por su parte, la comunidad Césped, que por los sitios que ocupa en el paisaje podría definirse como una vega o mallín, superó los 4181 kg MS.ha⁻¹.año⁻¹ promedio de las vegas de la puna y los 3874 kg MS.ha⁻¹.año⁻¹ de los mallines de la Patagonia (Blanco *et al.*, 2019).

En las series temporales de NDVI (Figura 3.3) se observó la misma tendencia estacional descrita para PPNA, con una marcada caída entre mayo y septiembre en todas las comunidades. Las diferencias entre las comunidades Césped y Pastizal bajo en PPNA se observaron también como diferencias en los parámetros biométricos (Tabla 3.2) y en las series de NDVI (Figura 3.3), aún durante el invierno, cuando las diferencias en PPNA perdieron significancia (Figura 3.2). Estas series permitieron observar el comportamiento de la comunidad Pajonal, cuya PPNA no pudo estimarse. Su serie se mantuvo en valores mucho más cercanos a la comunidad Pastizal bajo que a la comunidad Césped (Figura 3.3) incluso en sus parámetros biométricos (Tabla 3.2). Esto coincide con la estimación de PPNA para la comunidad Pajonal de Menghi *et al.* (1978), un promedio anual de 6,4 kg MS.ha⁻¹.día⁻¹ que la ubica apenas por encima de nuestros resultados para la comunidad Pastizal bajo (5,72 kg MS.ha⁻¹.día⁻¹) y bastante por debajo de los de la comunidad Césped (11,64 kg MS.ha⁻¹.día⁻¹). Las series temporales de NDVI son utilizadas para estimar PPNA a partir de modelos matemáticos como el modelo de Monteith (1977). Para ello es necesario establecer la eficiencia en el uso de la radiación de cada comunidad, parámetros de los cuales no disponemos, ya que esperábamos contar con el dato de campo de PPNA de todas las comunidades.

Entre la comunidad Pajonal y Pastizal bajo se alternaron a lo largo del año en cuanto a cual presentaba valores de NDVI superiores. Esto podría explicarse a partir de la relación entre la temperatura y las vías metabólicas C3 y C4 (Cabido *et al.*, 1997). Los valores superiores que alcanzo la comunidad Pajonal en otoño e invierno, así como la mayor extensión de su estación de crecimiento, se explicarían en que la gramínea dominante en dicha comunidad (*Festuca hieronymi*) presenta metabolismo C3, mejor adaptado a bajas temperaturas. No obstante, en verano, la comunidad Pastizal bajo presento valores mayores de NDVI, dada la mayor preponderancia de gramíneas C4 en esa comunidad, especies mejor adaptadas a condiciones cálidas.

3.4.2. Calidad forrajera

En la comunidad Pajonal, se separaron sus dos componentes, mata e intermata, debido a que se esperaba encontrar diferencias en calidad forrajera entre estos. Las poáceas que forman matas sustentan el crecimiento en altura en un alto contenido de fibras (pared celular) en sus hojas (Laterra 2003), carácter que está asociado también a una pobre calidad forrajera. Si bien la mata presentó una tendencia a superar a la intermata en FDA y FDN, y por lo tanto a presentar menor calidad forrajera, tanto en la temporada estival como en la invernal, las diferencias nunca fueron estadísticamente significativas (Figuras 3.6 y 3.7). En el resto de los parámetros evaluados tampoco se encontraron diferencias significativas entre estos dos componentes de la comunidad Pajonal (Figuras 3.5, 3.8 y 3.9).

La comunidad Césped presentó los mejores parámetros de calidad, diferenciándose significativamente de la comunidad Pajonal, que presento las peores. Por su parte, la comunidad Pastizal bajo presentó valores intermedios entre las otras dos comunidades. La Proteína Bruta es un aspecto importante de la calidad forrajera, ya que a valores inferiores al 7% el nitrógeno pasa a ser limitante del proceso de degradación bacteriana

en el rumen (Leng 1990). La comunidad Césped presentó valores muy por encima de este umbral durante todo el año y la comunidad Pastizal bajo presentó una media muy cercana al umbral en temporada estival y bastante inferior en temporada invernal. Para la comunidad Pajonal la PB fue limitante independientemente de la temporada del año. Esto significa que durante el invierno únicamente la comunidad Césped sostiene valores de PB que no son limitantes para la actividad ruminal de los bovinos (Figura 3.5). Tanto la FDN, que expresa la proporción de materia seca de todos los componentes de la pared celular de las plantas, como la FDA, que expresa solo la cantidad de celulosa y lignina de la pared celular, resultaron significativamente superiores en la comunidad Pajonal que en las otras comunidades, como consecuencia del requerimiento de pared celular para sostener su estructura de mata y la función de la lignina que brinda fuerza y rigidez a la pared celular (Moore y Jung 2001).

Por estas razones la digestibilidad de la materia seca (DIVMS) de la comunidad Césped fue mayor que la de las otras comunidades y sus valores siempre superaron el umbral del 55%, por debajo del cual se genera un efecto de llenado físico del rumen que no permite completar los requerimientos para mantenimiento en pastoreo (Leng 1990). Por su parte, la comunidad Pastizal bajo presentó una media apenas superior al umbral en verano y apenas inferior en invierno, y la comunidad Pajonal presentó siempre valores muy por debajo del 55%. La baja digestibilidad de esta comunidad promovió (hasta su prohibición) el uso del fuego por los productores ganaderos como una estrategia para mejorar la calidad forrajera (Fischer *et al.*, 2012). A modo de ejemplo, la DIVMS del rebrote estival (45 días post corte) de la mata de la comunidad Pajonal (dato no publicado) fue del 70%, muy por encima del umbral del 55% y del 42% de media estival de ese componente sin disturbar (Figura 3.8). Esto implica que en las comunidades Pastizal bajo y Pajonal la producción animal estaría más limitada por la calidad del forraje que por su

cantidad, tal como sucede en otros ambientes de pastizales de altura de las Sierras Pampeanas (Falczuk 2002, Von Müller 2010).

3.4.3. Biomasa combustible

La comunidad Pajonal presentó valores muchísimo más altos de combustible para todas las categorías, en especial para las de combustible muerto (Figura 3.10). Se han determinado umbrales para pastizales a partir de los cuales el combustible total es suficiente para sostener incendios bajo determinadas condiciones climáticas. Los valores umbrales para pastizales de Tasmania y Australia continental se han establecido en 820 kg MS.ha⁻¹ (Leonard 2009) y 1500 kg MS.ha⁻¹ (Cruz *et al.*, 2017) respectivamente. La comunidad Césped se encontró por debajo y la comunidad Pastizal bajo en el límite del menor de estos umbrales, la comunidad Pajonal en cambio los superó ampliamente (Figura 3.10 D), aun si se hubiese tenido en cuenta únicamente la fracción combustible muerto (Figura 3.10 C), o incluso fracciones de esta, como el combustible muerto en pie (Figura 3.10 B) o el mantillo (Figura 3.10 A).

Además de la cantidad de combustible, otras características del mismo lo hacen más o menos propenso a incendios, como aquellas relacionadas a la proporción de combustible muerto y vivo. Al aumentar la proporción de material vegetal muerto aumenta la posibilidad de incendios (Leonard *et al.*, 2010) y su sostenibilidad en el tiempo (Leonard 2009). Las relaciones que permiten ilustrar el porcentaje de combustible muerto en cada comunidad (Figura 3.11) son entonces una aproximación importante para comparar la potencialidad de ignición y sostenimiento de incendios. El porcentaje de combustible muerto fue menor significativamente en la comunidad Césped, seguido por la comunidad Pastizal bajo con valores intermedios y por la comunidad Pajonal con los mayores valores. Si bien estos porcentajes varían a lo largo del año como resultado de las condiciones climáticas y/o del ciclo fenológico de las especies que componen cada

comunidad, la comunidad Pajonal presentó altos porcentajes con la menor variabilidad a lo largo del año (Figura 3.12), incluso en la temporada estival cuando en las restantes comunidades disminuyó al aumentar la biomasa verde. En pastizales de otras regiones, se ha determinado valores umbral de porcentaje de combustible muerto entre 50% (Cheney *et al.*, 1998) y 60% (Leonard 2009). La comunidad Césped estuvo por debajo y la comunidad Pastizal bajo en el límite de estos umbrales la mayor parte del año (solo los superaron en invierno), mientras que la comunidad Pajonal los superó ampliamente todo el año (Figura 3.12). Esto significó un potencial constante de ignición y sostenimiento de incendios a lo largo del año para esta comunidad. En síntesis, la comunidad Pajonal presentó no solo la mayor cantidad de combustible, superando ampliamente los umbrales mínimos determinados para pastizales (Figura 3.10 D), sino también el tipo de combustible más propenso a los incendios superando los umbrales de porcentaje de combustible muerto (Figura 3.11).

El fuego y la herbivoría pueden considerarse dos disturbios que compiten por la biomasa, el fuego con un carácter generalista, y la herbivoría con limitaciones en relación a la calidad forrajera (Bond y Keeley, 2005). Se puede identificar entonces un espectro de condiciones en donde, dependiendo de la calidad forrajera, en un extremo la biomasa es toda utilizada como forraje y en el otro se acumula como combustible (Leonard *et al.*, 2010). En los pastizales de altura de las Sierras Chicas, las comunidades Césped y Pajonal serían las más extremas dentro de ese espectro. En un extremo, la comunidad Césped que ocupa las posiciones del terreno con más recursos edáficos, presenta la mayor PPNA, pero también la mejor calidad forrajera, por lo que estaría sometida a la mayor presión de herbivoría y como resultado acumularía muy poco combustible. En el otro extremo, la comunidad Pajonal que ocupa sitios con condiciones intermedias de recursos edáficos, pero por presentar menor calidad forrajera, estaría sometida a una muy baja presión de

herbivoría. Entonces, una gran parte de la biomasa que produce esta comunidad, al no ser consumida, cumple su ciclo fenológico y termina convertida en combustible muerto, primero en pie y luego como mantillo. La comunidad Pastizal bajo se podría ubicar en algún lugar intermedio del espectro, pero muy cercano a la comunidad Césped. Esta comunidad ocupa los sitios más pobres del paisaje, presenta la PPNA más baja y estaría sometida a una presión de herbivoría intermedia (calidad forrajera intermedia entre las restantes comunidades) pero suficiente para impedir la acumulación de la escasa biomasa que produce (Figura 3.2).

3.5. Conclusiones

Las tres comunidades se diferenciaron significativamente en aspectos utilitarios relevantes como digestibilidad y porcentaje de combustible muerto. Para todos los demás parámetros evaluados siempre se encontraron diferencias significativas al menos entre dos comunidades, pero no siempre entre las mismas. Esto implica que deberían mantenerse las tres comunidades como unidades independientes dentro de una clasificación utilitaria.

CAPITULO 4: DISTRIBUCIÓN DEL GANADO EN PASTOREO

4.1. Introducción

En sistemas extensivos la capacidad de selección que poseen los grandes herbívoros, como los bovinos, puede determinar un uso heterogéneo de la superficie (Laca *et al.*, 2010). La distribución de estos herbívoros en libre pastoreo es un tema relevante en la gestión tanto de animales como del paisaje (Bailey *et al.*, 1996), ya que tienen la capacidad de generar grandes impactos sobre los recursos que utilizan (Bailey y Provenza 2008). Si bien cierto nivel de heterogeneidad en la distribución del pastoreo contribuye a preservar la biodiversidad de los ecosistemas (Bailey *et al.*, 1996, Cingolani *et al.*, 2008), en ciertas circunstancias potencia procesos degenerativos, como la erosión del suelo (Cingolani *et al.*, 2013). Es por ello que conocer la heterogeneidad en la distribución del ganado en pastoreo es un aspecto crítico para mantener la productividad y diversidad de los pastizales (Bailey y Provenza 2008).

Existe una relación proporcional entre el tiempo que pasan los grandes herbívoros en una determinada comunidad y su disponibilidad de recursos forrajeros (calidad y cantidad). Esta relación denominada “matching” (Senft *et al.*, 1987) ha sido observada en varias especies, incluido el ganado doméstico. Si bien la calidad y la cantidad de forraje son los factores bióticos que más influyen en la selección de sitio de pastoreo, los parches de alta calidad forrajera son a menudo preferidos más allá de la cantidad disponible (Bailey y Provenza 2008). En libre pastoreo el ganado inicialmente selecciona los parches de mayor calidad forrajera, y una vez consumido todo el forraje en estos sitios pastorea los de mayor cantidad y menor calidad (Ganskopp y Bohnert 2006). En el capítulo 3 se determinó que existen diferencias significativas en calidad forrajera entre las comunidades de los pastizales de altura de las Sierras Chicas, siendo la comunidad Césped la de mejor calidad, seguida por la comunidad Pastizal bajo y finalmente la

comunidad Pajonal con la peor calidad forrajera. Podría esperarse entonces que los bovinos en estos pastizales pasen más tiempo en aquellas de mayor calidad forrajera y menos en las de peor calidad.

Esta heterogeneidad de pastoreo afectaría el porcentaje de la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) que es consumido y en consecuencia también el que se acumula como combustible en cada comunidad (Leonard *et al.*, 2010). Si bien la herbivoría y el fuego han sido definidos como dos fenómenos que compiten por consumir biomasa, el fuego no está limitado por requerimientos de calidad nutricional, a diferencia de la herbivoría (Bond y Keeley 2005). Por ende, podría esperarse que las comunidades preferidas y evitadas por los bovinos sean las que presenten la menor y la mayor acumulación de biomasa combustible respectivamente.

La hipótesis sobre la que se estructura este capítulo postula entonces que la preferencia diferencial de los bovinos por las comunidades del pastizal de altura de las Sierras Chicas, asociada a la calidad forrajera de las mismas, determina distinta acumulación de biomasa combustible. Para poner a prueba esta hipótesis intentaremos verificar dos predicciones, primero que la preferencia de los bovinos en pastoreo será mayor por las comunidades de mayor calidad forrajera, y segundo que las comunidades preferidas serán las que menor biomasa combustible acumularán. El objetivo de este capítulo es determinar la heterogeneidad en la distribución del ganado en pastoreo y su efecto sobre la acumulación de biomasa combustible en las comunidades del pastizal de altura de las Sierras Chicas.

4.2. Materiales y Métodos

Para determinar la heterogeneidad de la distribución del ganado en pastoreo se seleccionaron potreros del establecimiento “Las Pampillas” (Figura 4.1) lo más representativos posible de los utilizados en las Sierras Chicas de Córdoba (superficie,

forma, topografía y representación de las comunidades estudiadas). Se seleccionaron inicialmente dos potreros (**E** y **F**) que se utilizarían simultáneamente en cada temporada (estival e invernal). Por cuestiones operativas del establecimiento el monitoreo de verano en el potrero **E** no pudo realizarse. Por esa razón fue necesario seleccionar un tercer potrero (**I**), donde se realizó un monitoreo en verano para completar el set de datos. En cada potrero se monitorearon simultáneamente 5 bovinos de la misma categoría (vacas), que fueron considerados una unidad experimental, ya que los individuos dentro de un grupo o manada no pueden considerarse una unidad experimental debido a que su comportamiento puede verse afectado por la interacción con otros (Rook y Penning 1991). Estos animales fueron elegidos al azar dentro del grupo que pastó en cada potrero, con cargas instantáneas de entre 1,5 y 4 ha/EV y fueron equipados con collares con un receptor GPS y baterías (Imágenes 4.1, 4.2 y 4.3). Los collares, fabricados por el laboratorio de agro-electrónica del Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar (Gorandi *et al.*, 2016) están compuestos por un microcontrolador con arquitectura interna de 8 bits que almacena las coordenadas en una memoria no volátil EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) de 64 kb. Son alimentados por un paquete de baterías, compuesto por seis pilas AA recargables que proporcionan una capacidad energética de 4000 mAh a una tensión de 3,6 V. El peso del equipo (800 g, 0,2% del peso vivo de una vaca) es muy inferior al 3% sugerido como límite para no afectar el comportamiento del animal (Anderson 2011). Los collares proporcionaron información de la ubicación del animal (latitud y longitud) a intervalos prefijados de 5 minutos, en adelante “locaciones”. Con esta frecuencia, recomendada por Johnson y Ganskopp (2008), el tiempo de funcionamiento promedio de los equipos es de 10 días, pero permanecieron instalados durante 15 días para asegurar la mayor cantidad de lecturas posibles (Ormaechea *et al.*, 2018). Las locaciones GPS tienen una precisión que está dentro de los 5 metros de la

posición verdadera (Wing *et al.*, 2005). La información almacenada en los collares fue transferida a una computadora para su análisis.

Previo a cada periodo de medición, en tres sitios de cada comunidad por potrero (Figuras 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5) se estimó disponibilidad forrajera inicial a partir del corte de 1 cuadro de $\frac{1}{4}$ de m^2 , representativo de la disponibilidad forrajera de cada stand. En la comunidad Pajonal se cortó únicamente la intermata, por considerarse la fracción forrajera de esa comunidad.

La preferencia entre las comunidades vegetales se determinó para cada potrero usando un shapefile de todas las ubicaciones registradas, pero utilizando únicamente aquellas que corresponden al periodo diurno, por concentrar las actividades de pastoreo (Tofastrud *et al.*, 2018). Se consideró período diurno a la franja horaria entre los crepúsculos civiles matutino y vespertino de cada día de muestreo obtenidos a partir de tablas, para la longitud y latitud del área de estudio. Se descartaron del análisis las locaciones obtenidas en las primeras 24 horas de colocados los collares, dado el efecto que podría tener en el comportamiento el estrés por la colocación de los mismos y el arreo entre potreros y las instalaciones de manejo.

Se generó un mapa de vegetación de cada potrero a partir de la clasificación supervisada de una imagen multiespectral del sensor SPOT 6, con el plugin SCP del programa QGIS 2.14 (Congedo, 2016) realizada para la superficie completa de los dos establecimientos citados en este trabajo. Previo a la clasificación, a través de un proceso de refinado pancromático se mejoró la resolución espacial de la imagen multiespectral. Como resultado la clasificación supervisada presentó una resolución espacial de 1,5 metros. Una vez obtenida la clasificación, se la sometió a un proceso de filtrado con el mismo software, utilizando un tamaño umbral de 5 píxeles, para eliminar píxeles aislados dentro de parches de otra comunidad. Se calculó la precisión global de la clasificación a

partir de 200 puntos de control, asegurando un mínimo de 50 puntos de control por comunidad. Se calculó el área ocupada por cada comunidad en cada potrero y el área total del potrero para establecer el porcentaje de participación de cada comunidad.

Finalmente se solaparon las locaciones diurnas registradas por los GPS con el mapa de vegetación, generando una base de datos de tipo de vegetación para cada locación de un mismo collar.

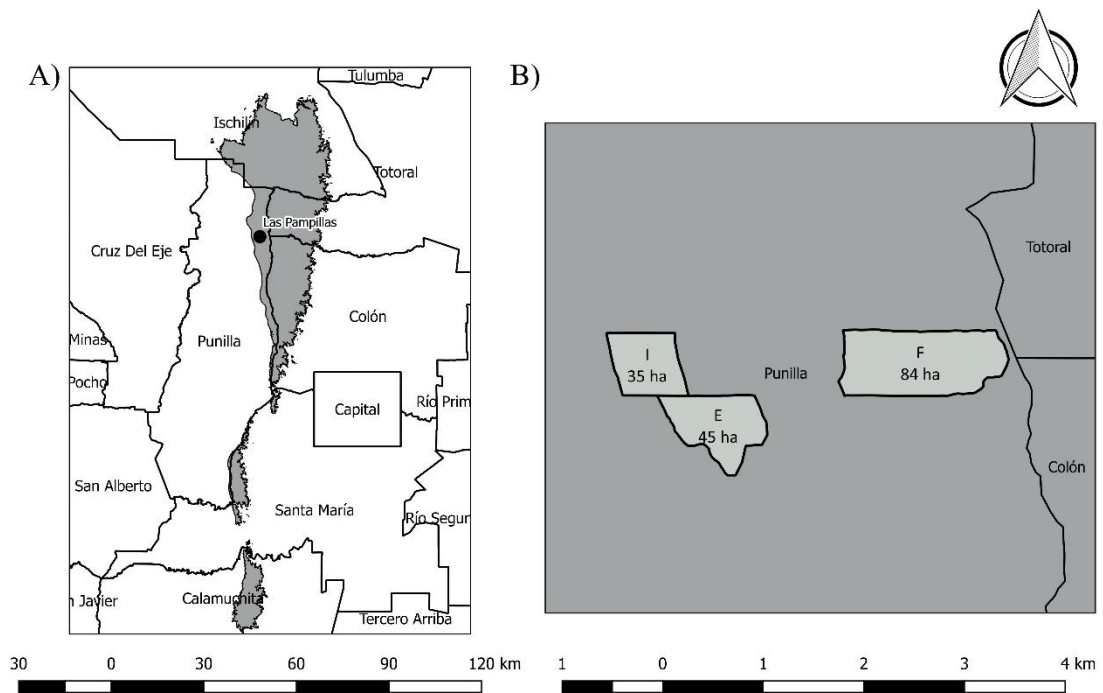


Figura 4.1: Ubicación del establecimiento “Las Pampillas” (A). En gris se destaca el piso de pastizales de altura de las Sierras Chicas, sobre la división departamental provincial. Ubicación y superficie de los potreros I, E y F del establecimiento “Las Pampillas” (B).

La preferencia de los animales por las distintas comunidades se determinó mediante tres índices: Índice de preferencia (IP) (Black Rubio *et al.*, 2008), Índice de Ivlev (IV) (Ivlev, 1961) y porcentaje de uso (% Uso). Estos fueron calculados para cada collar y potrero, obteniendo un promedio de los 5 collares para cada potrero (unidad experimental), en base a las siguientes ecuaciones:

$$IP_i = f \text{ loc } i / p_{ai}$$

$$IV_i = f \text{ loc } i - p_{ai} / f \text{ loc } i + p_{ai}$$

$$\% \text{ Uso}_i = (n^\circ \text{ loc } i / \text{loc totales}) \times 100$$

Siendo: IP_i : Índice de preferencia de la comunidad i ; IV_i : Índice de Ivlev de la comunidad i ; % Uso_i : Porcentaje de uso de la comunidad i ; $n^\circ loc i$: número de locaciones en la comunidad i ; $loc\ totales$: locaciones totales; $f\ loc\ i$: frecuencia de locaciones en la comunidad i ; pai : participación de la comunidad i .

El IP, representa la relación entre el porcentaje de tiempo que los bovinos pasan en una comunidad ($f\ loc\ i$) y el porcentaje de participación de esa comunidad en la superficie del potrero (pai) (Black Rubio *et al.*, 2008), puede variar desde 0 (máxima aversión) hasta infinito (máxima preferencia), siendo 1 el valor central que indica indiferencia. El IV, relaciona las mismas variables, pero a través de una fórmula distinta que resulta en un índice simétrico puede variar entre - 1 (máxima aversión) y +1 (máxima preferencia), siendo 0 el valor central que indica indiferencia por esa comunidad (Atienza 1994). El % Uso, representa el porcentaje de tiempo que los bovinos pasan en una comunidad, se calcula a través de la relación entre el número de locaciones registradas en una comunidad ($n^\circ loc i$) y el total de locaciones ($loc\ totales$). Puede variar entre 0% y 100%.

Para el potrero en el que existía un bosque implantado de *Salix viminalis* para sombra (Potrero I), se procedió a determinar todos los índices también para ese ambiente, aunque, como no se trata de una comunidad vegetal de pastoreo sino de descanso (observación personal), dominada por una especie exótica, sin un estrato herbáceo (por pisoteo y sombra), y por no estar significativamente presente en los restantes potreros, no se lo comparó con las comunidades seleccionadas por los animales para el pastoreo.

Además, se graficaron las ubicaciones tomadas por los GPS a través de mapas de densidad de locaciones, (mapas de calor o heatmaps de locaciones) para cada potrero y temporada. Estos se generaron con el complemento “heatmap” del software QGIS 2.14, que utiliza una estimación de densidad de kernel para crear un mapa de densidad a partir de una capa vectorial de puntos (QGIS Development Team 2017).



Imagen 4.1: Los dos lotes de bovinos en los corrales con los collares GPS recién colocados previo al periodo de monitoreo invernal.



Imagen 4.2: Vaca con collar GPS en el potrero **F** durante el monitoreo estival.

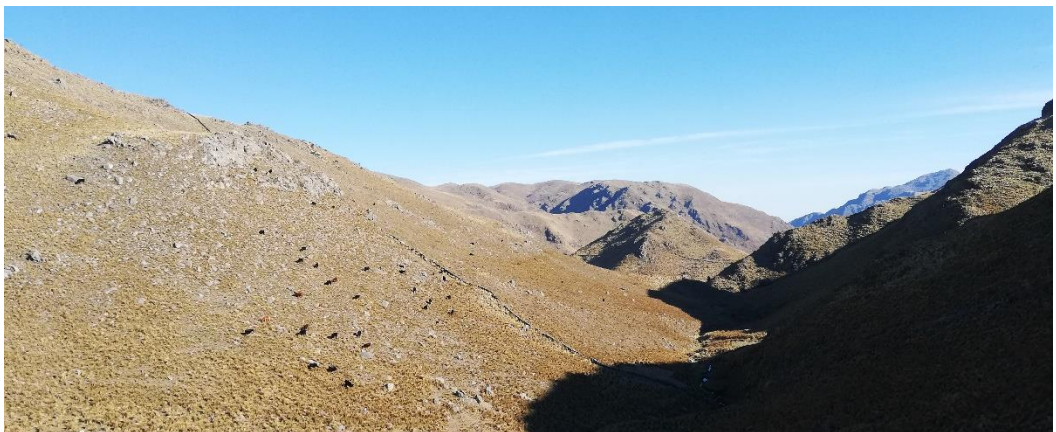


Imagen 4.3: Grupo de bovinos pastando en el potrero **F** durante el monitoreo invernal. Dentro del mismo se encuentran 5 animales con collares GPS.

4.3. Resultados

La clasificación supervisada de la vegetación alcanzó una precisión global del 89,5% y arrojó diferencias en los porcentajes de participación de cada comunidad en los potreros utilizados en este capítulo que se resumen en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Porcentaje de superficie ocupada por cada comunidad en los potreros analizados en este capítulo.

Comunidad	Potrero		
	F	E	I
Césped	6,44%	14,97%	63,17%
Pastizal bajo	37,05%	21,83%	5,66%
Pajonal	56,42%	63,20%	28,86%
Bosque	0,08%	0,00%	2,32%

Los mapas de vegetación, generados a partir de la clasificación supervisada, y de densidad de locaciones GPS (o mapas de calor) permiten observar los patrones de distribución de la vegetación y de los bovinos en pastoreo (Figuras 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5). Se destaca el potrero I (Figura 4.3) por ser el único en el que la comunidad Césped ocupa mayor superficie que las comunidades Pastizal bajo y Pajonal (Tabla 4.1).

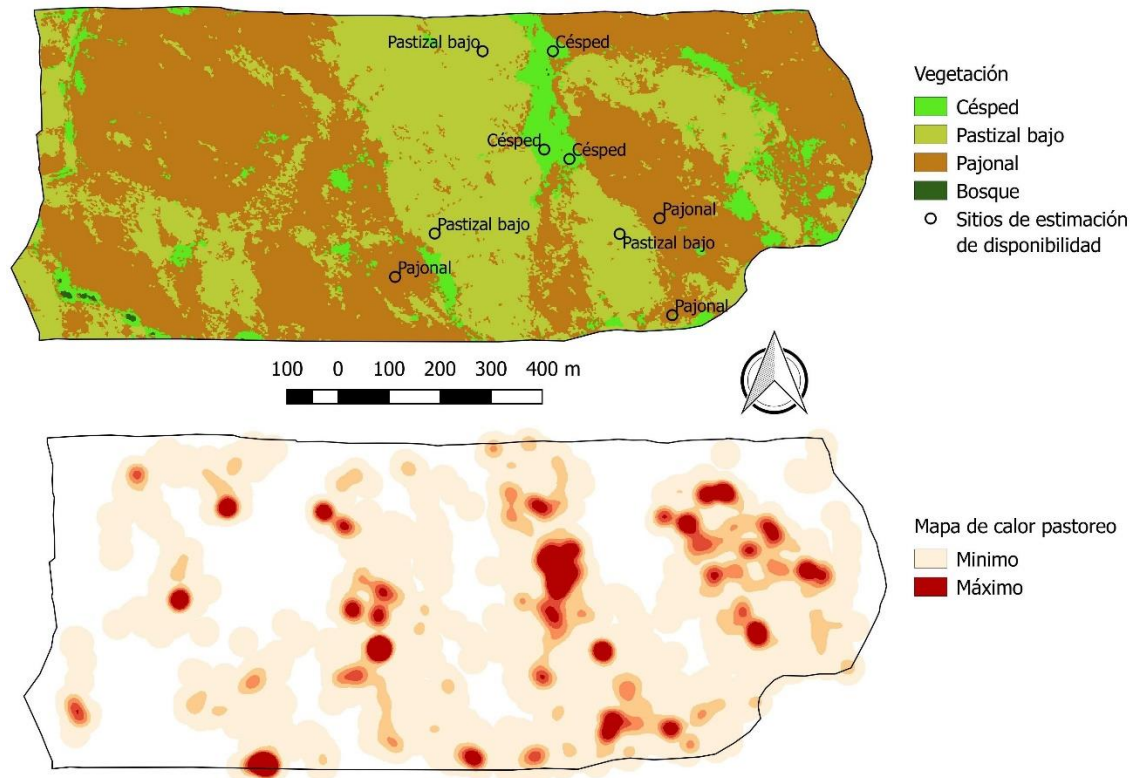


Figura 4.2: Mapa de vegetación y mapa de calor de pastoreo generado a partir de las posiciones registradas por los collares GPS (07/03/2020-23/03/2020). Potrero **F**. Temporada estival. Carga 4 ha/EV.

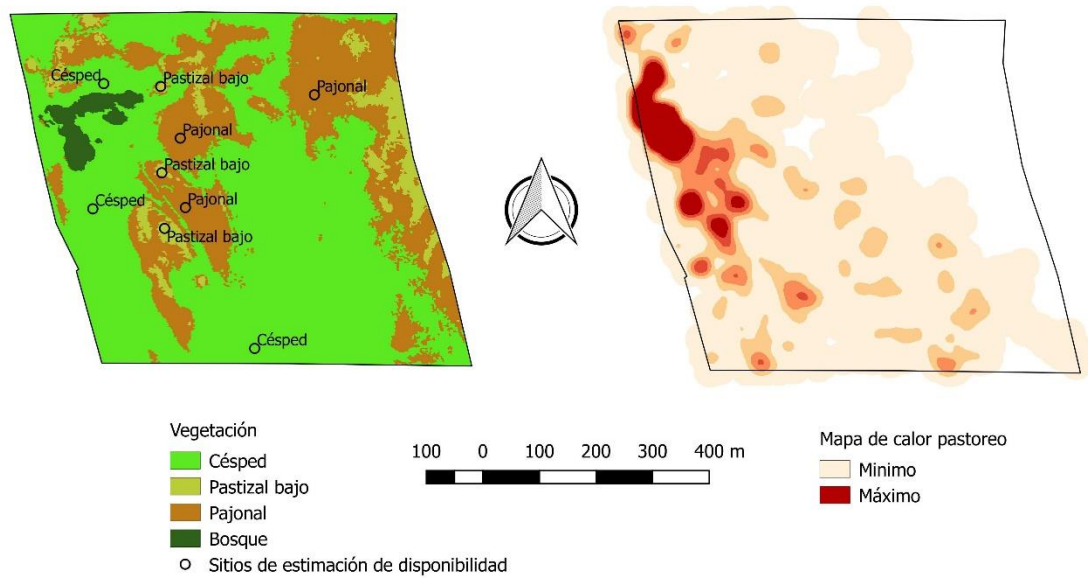


Figura 4.3: Mapa de vegetación y mapa de calor de pastoreo generado a partir de las posiciones registradas por los collares GPS (07/03/2020-19/03/2020). Potrero **I**. Temporada estival. Carga 1,5 ha/EV.

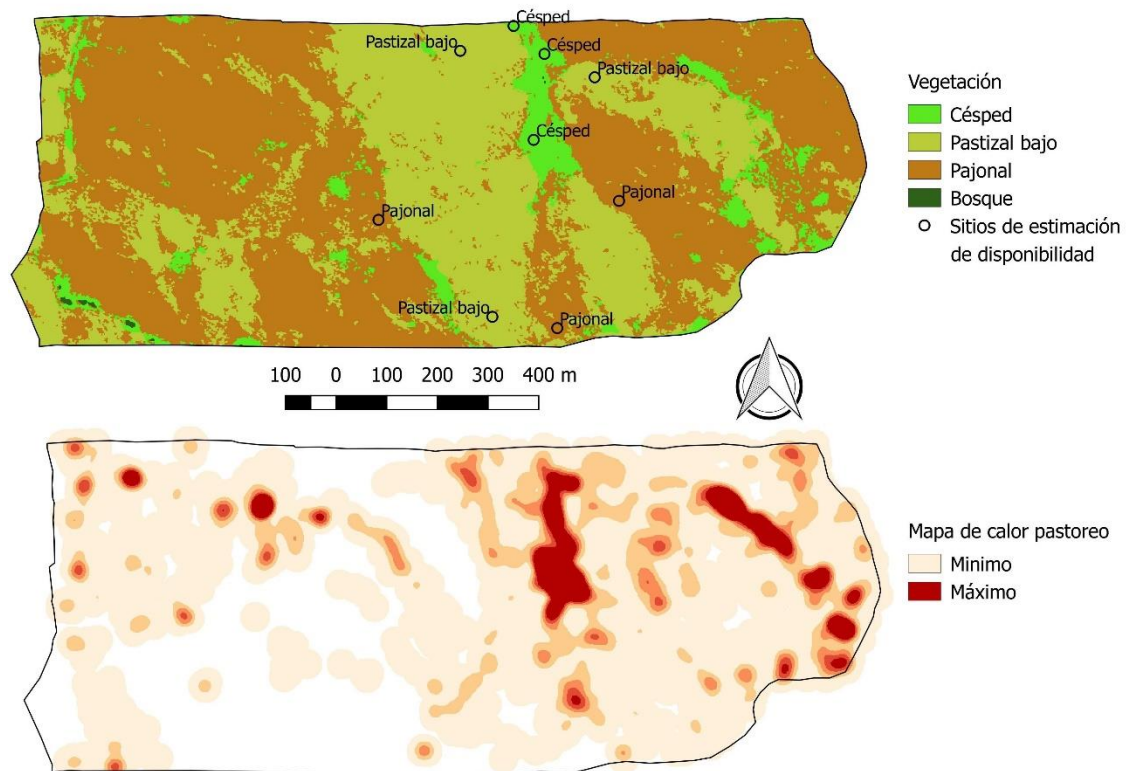


Figura 4.4: Mapa de vegetación y mapa de calor de pastoreo generado a partir de las posiciones registradas por los collares GPS (31/08/2019-17/09/2019). Potrero **F**. Temporada invernal. Carga 2,8 ha/EV.

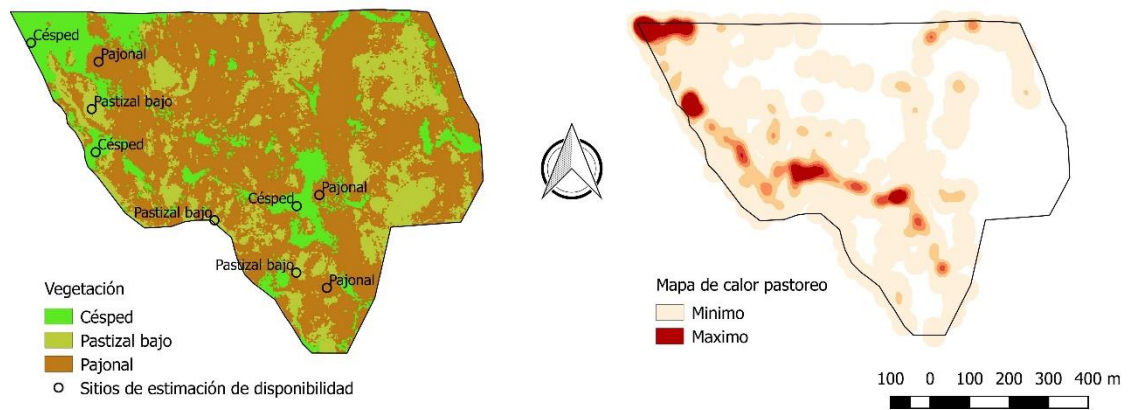


Figura 4.5: Mapa de vegetación y mapa de calor de pastoreo generado a partir de las posiciones registradas por los collares GPS (31/08/2019-18/09/2019). Potrero **E**. Temporada invernal. Carga 1,9 ha/EV.

En los tres potreros analizados la disponibilidad forrajera inicial (tanto en verano como en invierno) resultó significativamente más baja en la comunidad Césped con respecto a las otras dos comunidades (Figura 4.6). En el potrero donde se repitieron las

mediciones en ambas temporadas (**F**), todas las comunidades presentaron una menor disponibilidad en la temporada invernal. No obstante, esta diferencia solo resultó estadísticamente significativa en la comunidad Césped (Figura 4.6).

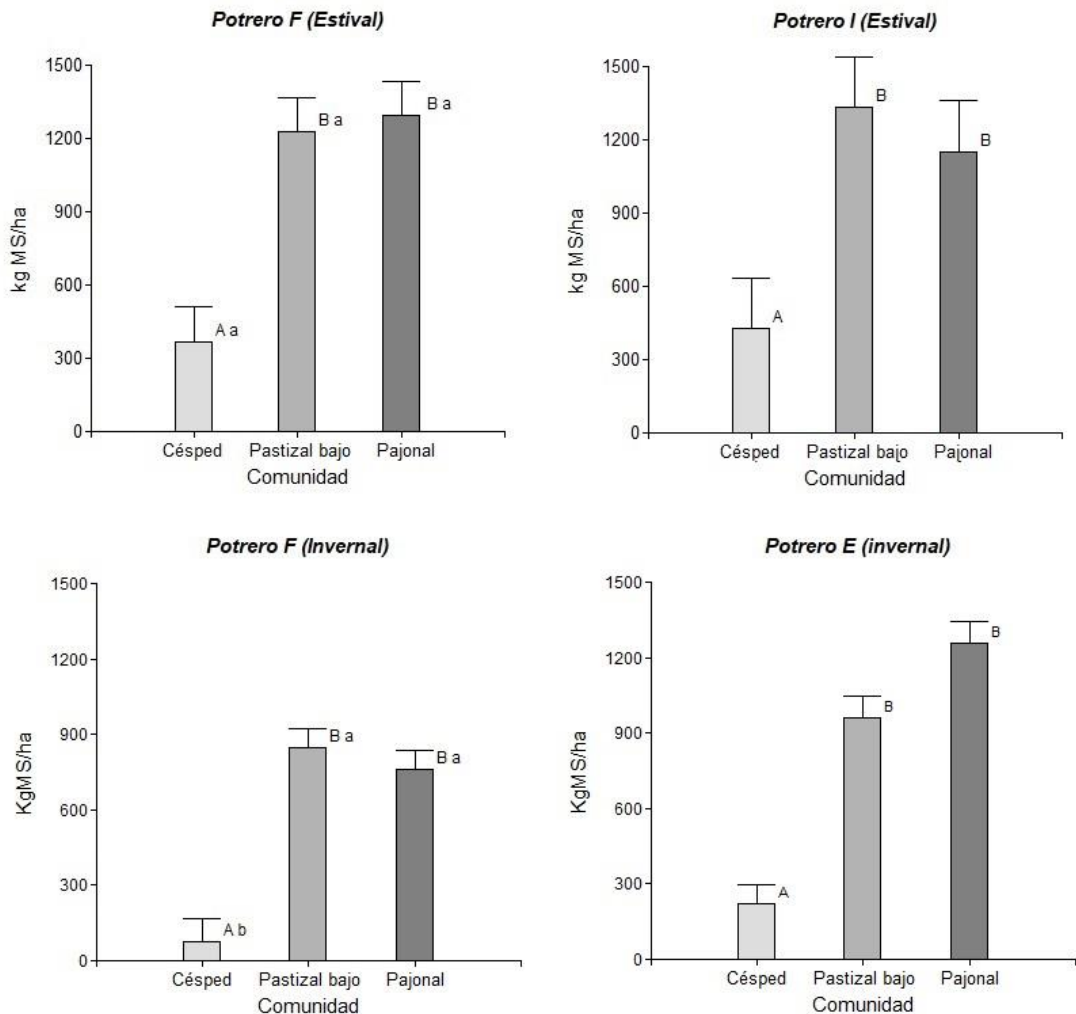


Figura 4.6: Disponibilidad de forraje (kg MS.ha⁻¹) en cada comunidad previo a los periodos de monitoreo con GPS. Monitoreo estival: 07/03/2020 al 23/03/2020, Carga animal: 4 ha/EV (**F**) y 1,5 ha/EV (**I**). Monitoreo invernal: 31/08/2019 al 18/09/2019, Carga animal: 2,8 ha/EV (**F**) y 1,9 ha/EV (**E**). Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre las comunidades en un mismo potrero y temporada. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre temporadas en una misma comunidad para el potrero **F** ($p < 0,05$). La barra vertical indica + 1 error estándar de la media.

El índice de preferencia de la comunidad Césped presentó los valores más altos en ambas temporadas y potreros (Tabla 4.2). Para esta comunidad el IP indicó siempre preferencia ($IP > 1$) salvo para el potrero **I** para el que indicó indiferencia ($IP \approx 1$). El IP de

las comunidades Pastizal bajo y Pajonal fue siempre menor a 1, indicando aversión por dichas comunidades.

Tabla 4.2: Índice de preferencia (IP) para cada comunidad por potrero y temporada.

Temporada	Potrero	IP					
		Césped		Pastizal bajo		Pajonal	
		Media	DS*	Media	DS*	Media	DS*
Verano	F	5,912	2,801	0,797	0,213	0,572	0,179
	I	1,090	0,102	0,099	0,113	0,263	0,021
Invierno	F	6,517	1,757	0,599	0,079	0,634	0,156
	E	3,774	0,447	0,473	0,157	0,525	0,063

*Desvío estándar.

El índice de Ivlev presentó valores positivos únicamente para la comunidad Césped (mayor preferencia en la medida en que se acercan a 1) en ambas temporadas y potreros (Tabla 4.3). En el caso del potrero I, el valor de IV para la comunidad Césped es muy cercano a 0 indicando indiferencia. Para las comunidades Pastizal bajo y Pajonal el índice fue negativo en todos los potreros, indicando aversión por estas comunidades, sin observar una tendencia clara entre ambas que permita identificar cual es la menos seleccionada.

Tabla 4.3: Índice de Ivlev (IV) para cada comunidad por potrero y temporada.

Temporada	Potrero	IV					
		Césped		Pastizal bajo		Pajonal	
		Media	DS*	Media	DS*	Media	DS*
Verano	F	0,682	0,105	-0,124	0,142	-0,284	0,156
	I	0,042	0,047	-0,833	0,183	-0,584	0,027
Invierno	F	0,723	0,061	-0,253	0,062	-0,233	0,123
	E	0,579	0,040	-0,368	0,137	-0,313	0,056

*Desvío estándar.

El porcentaje de uso de la comunidad Césped resultó siempre el mayor, seguida por la comunidad Pajonal y por último la comunidad Pastizal bajo (Tabla 4.4). Los

casos en que la suma de los porcentajes de uso difiere de 100 se deben al uso de los bosques implantados para sombra.

Tabla 4.4: Porcentaje de Uso (% Uso) para cada comunidad por potrero y temporada.

Temporada	Potrero	% Uso					
		Césped		Pastizal bajo		Pajonal	
		Media	DS*	Media	DS*	Media	DS*
Verano	F	38,07	18,04	29,52	7,89	32,29	10,07
	I	68,88	6,47	0,56	0,64	7,59	0,62
Invierno	F	41,97	11,31	22,21	2,94	35,76	8,82
	E	56,50	6,69	10,32	3,43	33,18	4,00

*Desvío estándar.

El bosque implantado para sombra presente en el potrero I, presentó un IP de 9,92 \pm 2,67, un IV de 0,81 \pm 0,04 y un % Uso del 22,98 \pm 6,18. Los valores de IP e IV indican preferencia por encima de todas las comunidades de pastoreo en dicho potrero, y un porcentaje de uso que supera a las comunidades Pastizal bajo y Pajonal, aunque por debajo de la comunidad Césped.

4.4. Discusión

Los resultados encontrados demuestran que la distribución del pastoreo por parte del ganado bovino en los pastizales de altura de las Sierras Chicas es sumamente heterogénea. A pesar de las diferencias de la participación de las distintas comunidades entre los potreros (Tabla 4.1) y las diferentes temporadas del año consideradas, siempre la comunidad Césped fue la más preferida (Tablas 4.2, 4.3 y 4.4) y las comunidades Pastizal bajo y Pajonal las menos preferidas por los bovinos.

Como el tiempo que los animales pasan en una comunidad es proporcional a la disponibilidad de recursos forrajeros (Senft *et al.*, 1987), podría esperarse que los mismos pasaran más tiempo en las comunidades con mayor cantidad y/o calidad de forraje. En estos pastizales la calidad del forraje resultó más determinante que la cantidad en la

selección de sitio de pastoreo. Los animales prefirieron y pasaron más tiempo (Tablas 4.2, 4.3 y 4.4) en la comunidad de mayor calidad forrajera (Figuras 3.5 a 3.9- Capítulo 3), si bien su disponibilidad de forraje fue significativamente menor (Figura 4.6). Este comportamiento, donde la calidad es mucho más determinante en la selección de sitio de pastoreo que la cantidad (Bailey y Provenza 2008), fue descrito también en las Sierras Grandes (Von Müller 2010, Von Müller *et al.*, 2017) en pastizales de altura que ocupan el piso altitudinal superior al del presente estudio (> 1800 m s.n.m.) y cuya flora está más relacionada con las floras andina y patagónica que con la chaqueña (Cabido *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2016).

El ganado inicialmente selecciona stands de alta calidad forrajera y los utiliza hasta consumir todo el forraje disponible (Ganskopp y Bohnert 2006). En un monitoreo de varios días, comunidades de muy alta calidad, pero que por la escasa superficie que ocupan en el potrero o por baja productividad presenten una escasa disponibilidad de forraje, tal como la comunidad Césped, podrían agotarse rápidamente durante los primeros días. Los bovinos seleccionarían durante los restantes días del monitoreo, otras comunidades por estar agotado el forraje en la comunidad de mayor calidad. En consecuencia, los índices de preferencia o aversión podrían resultar diferentes a los de una situación donde hubiese disponibilidad forrajera en todas las comunidades durante todo el monitoreo.

Si bien la PPNA (Figura 3.2- Capítulo 3) y la calidad forrajera (Figuras 3.5 a 3.9- Capítulo 3) de la comunidad preferida disminuyeron en invierno, esta comunidad siguió siendo la preferida durante esta estación. Este fenómeno, que también fue descrito en las Sierras Grandes (Von Müller 2010, Von Müller *et al.*, 2017), se explica porque, a pesar de la disminución de su calidad, la comunidad Césped mantuvo una calidad superior a las restantes comunidades, siendo la única con valores invernales de PB (Figura 3.5- Capítulo

3) y de DIVMS (Figura 3.8- Capítulo 3) superiores a los valores que limitan el consumo en los bovinos.

En los pastizales de altura de las Sierras Chicas, existen posiciones topográficas donde coinciden las mejores condiciones bióticas y abióticas para el ganado en pastoreo. La comunidad preferida (Césped), además de ser la que mayor calidad forrajera presenta (Figuras 3.5 a 3.9 – Capítulo 3), está asociada a posiciones cóncavas del paisaje como fondos de valles y depresiones (Capítulo 2), sitios que se caracterizan por tener las menores pendientes del paisaje y por ser cauces naturales de pequeños arroyos, única fuente de agua de bebida en estos potreros. Este tipo de factores abióticos podrían ser determinantes en los patrones de distribución de herbívoros a escalas espaciales mayores a aquellas en las que priman los factores bióticos relacionados con las condiciones forrajeras (Bailey *et al.*, 1996) como la escala de paisaje utilizada en este capítulo. En la misma línea, Von Müller *et al.* (2017) encontraron que, a escala de paisaje en potreros de las sierras grandes de Córdoba, la selección de sitio de pastoreo estaría determinada principalmente por factores bióticos. Entonces, si bien a la escala utilizada en este capítulo la selección de sitio estaría determinada por factores bióticos, no podemos dejar de mencionar que los sitios de mejor calidad forrajera (mejores condiciones bióticas) son además los de mejores condiciones abióticas.

Donde hubo un bosque implantado para sombra (Potrero I) los bovinos prefirieron dicha comunidad por sobre las comunidades de pastoreo. Sin embargo esta comunidad no fue tomada en cuenta en el análisis de sitios de pastoreo porque no presenta un estrato herbáceo (la sombra y el impacto animal mantienen el suelo descubierto). Además, este potrero fue utilizado en verano, cuando la sombra reduce la temperatura y la carga de calor en bovinos en pastoreo. Por esta razón, a partir de ciertos umbrales térmicos los bovinos eligen la sombra para las actividades que no implican pastoreo, como la rumia y

el descanso (Foust y Headlee 2017). La preferencia por la sombra observada en este potrero pone en evidencia la necesidad de implantar especies arbóreas para sombra en los potreros de los pastizales de altura de las Sierras Chicas, dada la ausencia de árboles espontáneos. Siempre teniendo la precaución de no implantar especies invasivas (Giorgis y Tecco 2014)

La heterogeneidad en la distribución de los bovinos en pastoreo afecta el porcentaje de la PPNA que es consumido y en consecuencia el que se acumula como combustible en cada comunidad (Leonard *et al.*, 2010). Por ende, podría esperarse que las comunidades preferidas sean las que menos biomasa combustible acumulen. En el presente estudio la comunidad preferida por los bovinos fue una de las que menos combustible total acumuló (Figura 3.10 D - Capítulo 3) y la que menor porcentaje de combustible muerto presentó (Figura 3.11 - Capítulo 3). Por lo tanto, la mayor presión de herbivoría determina no solo una menor acumulación de biomasa combustible, sino que afecta también otros aspectos que hacen a la propensión a incendios como el porcentaje de combustible muerto, debido al consumo del forraje antes de que alcance la senescencia.

Las comunidades menos seleccionadas por los bovinos en pastoreo (Pastizal bajo y Pajonal) presentaron distinta acumulación de biomasa combustible. La comunidad Pastizal bajo se ubica en los sitios más pobres en recursos edáficos (Figuras 2.6 a 2.9 - Capítulo 2) y presenta especies adaptadas a estas condiciones. Muchas de las características, que representan una ventaja para las plantas frente a la aridez, son también beneficiosas frente al pastoreo, constituyendo presiones de selección convergentes (Milchunas *et al.*, 1988). Sin embargo, también limitan la capacidad de aprovechar pulsos inusuales de agua (Paruelo *et al.*, 1999) reduciendo su potencial PPNA. Todo esto contribuiría a explicar la pobre calidad forrajera que presenta la comunidad Pastizal bajo, la aversión de los bovinos por la misma y su muy baja PPNA (Figura 3.2 – Capítulo 3).

De las dos comunidades menos elegidas por los bovinos la comunidad Pastizal bajo es la que menor biomasa combustible acumulo, debido a su baja PPNA. La comunidad Pajonal, que se ubica en posiciones más ricas en recursos edáficos (Figuras 2.6 a 2.9 - Capítulo 2), tiene una PPNA mayor (Menghi *et al.*, 1978) y presentó la mayor acumulación de biomasa combustible. En este tipo de fisonomías dominadas por matas donde se va acumulando mucha biomasa senescente de baja calidad, los herbívoros concentran su pastoreo sobre el poco material verde disponible contribuyendo a aumentar la proporción de material muerto (Leonard *et al.*, 2010). Para seleccionar una dieta mejor que la del promedio de estos pajonales (la comunidad de peor calidad en Sierras Chicas, Figuras 3.5 a 3.9 – Capítulo 3), los animales deben realizar más cantidad de bocados de menor tamaño (Bremm *et al.*, 2012) y por lo tanto el esfuerzo de pastoreo es alto. Esto permite entender por qué esta comunidad es una de las menos elegidas por los bovinos y también porque presenta el mayor porcentaje de combustible muerto (Figura 3.11 – Capítulo 3).

La heterogeneidad en la distribución del pastoreo lleva a la sobreutilización de las comunidades preferidas, mientras las menos preferidas son subutilizadas (Bailey *et al.*, 1998). En los pastizales estudiados, la comunidad preferida (Césped) está asociada a ambientes riparios (Capítulo 2) donde el riesgo de erosión hídrica es alto y el sobrepastoreo lo potencia (Scopel *et al.*, 2017). Se han observado evidencias de erosión hídrica prácticamente en todos los sitios de esta comunidad donde se trabajó (Observación personal). Por su parte, la aversión de los bovinos por la comunidad Pajonal contribuye a la acumulación de biomasa combustible en una magnitud que puede sostener incendios a lo largo de todo el año (Figuras 3.10 D y 3.11– Capítulo 3). En estos pastizales sería necesaria una distribución más homogénea del pastoreo, que mantenga cierto nivel de heterogeneidad para preservar la biodiversidad de los ecosistemas (Bailey *et al.*, 1996,

Cingolani *et al.*, 2008), pero que permita evitar o reducir procesos erosivos como los desencadenados por el sobrepastoreo o los incendios. Existen para ello distintas herramientas de manejo (Bailey *et al.*, 1998) que podrían ser evaluadas y adaptadas al ambiente particular de los pastizales de altura de las Sierras Chicas. Por ejemplo, podría evaluarse aumentar el atractivo de las comunidades subutilizadas a través de la ubicación estratégica de aguadas, saleros, suplementos proteicos o sombra. Como se determinó en el capítulo 3, la proteína es un factor limitante en las comunidades menos preferidas. Su aporte a través de suplementación podría incentivar el consumo de estas comunidades, tanto por cubrir su déficit proteico como por atraer los animales hacia las mismas si los sitios de suplementación son ubicados estratégicamente. En este capítulo la sombra ha demostrado ser un factor importante en la distribución de los animales, la ubicación estratégica de nuevas plantaciones podría contribuir, además de a reducir el estrés térmico, a redistribuir el pastoreo. Se podrían evaluar también estrategias que hacen a la mejora de la calidad de las comunidades menos preferidas, como la remoción de biomasa muerta en pie a través de quemas controladas, medios mecánicos o impacto animal mediante altas cargas instantáneas. Por último se podría evaluar la clausura temporal, a través de alambrado eléctrico por ejemplo, de las comunidades preferidas para evitar su sobreuso y favorecer la utilización de las subutilizadas.

4.5. Conclusiones

En los pastizales de altura de las Sierras Chicas se observó una marcada heterogeneidad en la distribución del pastoreo. Los bovinos prefirieron pastorear la comunidad de mayor calidad forrajera, aun siendo la de menor disponibilidad de forraje. La preferencia/aversión por parte de los bovinos junto con la productividad de cada comunidad determinan la acumulación de biomasa combustible y sus características.

CAPITULO 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

5.1. Discusión general

Las características del ambiente serrano restringen las posibilidades de uso del suelo (Cabido *et al.*, 2003). En los pastizales naturales del piso superior de las Sierras Chicas la ganadería extensiva es el uso del suelo predominante, y se considera que tiene impactos mucho menores sobre los servicios ecosistémicos que otras alternativas productivas como la silvicultura (Jobbágy *et al.*, 2013). Optimizar el manejo pastoril en este ambiente permitirá reducir el impacto ecológico de la ganadería y aumentar la rentabilidad de la actividad frente al avance de otras alternativas de uso del suelo que podrían alterar la provisión de bienes y servicios ecosistémicos de forma persistente (Sala *et al.*, 2017). El presente estudio aporta información que posibilitará optimizar el manejo pastoril de los pastizales de altura de las sierras chicas contribuyendo a la sustentabilidad de la actividad.

En este sentido, el mapeo de la vegetación es una herramienta fundamental para la planificación de estrategias de manejo y conservación, así como para el monitoreo de sus resultados. En el capítulo 2 se determinó que, en los pastizales de altura de las Sierras Chicas, las distintas fisonomías presentes en los potreros (Céspedes, Pastizales bajos y Pajonales) están asociadas a una comunidad distinta y estas, a su vez, a distintas condiciones edáficas. Estos resultados apoyan la hipótesis planteada en dicho capítulo. La asociación entre comunidades y fisonomías permite utilizar a estas últimas, tanto por el contraste evidente a la vista como a partir de imágenes de satélite de alta resolución, para identificar y mapear unidades de vegetación de una manera más sencilla, con la certeza de que representarán unidades florísticas asociadas a distintas condiciones edáficas.

La utilidad práctica de diferenciar y mapear unidades de vegetación para el manejo de pastizales depende, en gran medida, de que estas se diferencien en aspectos utilitarios, justificando así el esfuerzo. En este sentido, en el Capítulo 3 se determinó que las tres comunidades estudiadas se diferenciaban en aspectos utilitarios, tanto referidos a sus condiciones forrajeras de productividad y calidad, como también a la biomasa combustible que acumulan. Estas diferencias justifican la utilización de las tres comunidades como unidades independientes dentro de una clasificación utilitaria. Por ello, es que se rechaza la hipótesis propuesta en dicho capítulo que plantea la existencia de comunidades con condiciones utilitarias similares que podrían agruparse en una única unidad dentro de una clasificación utilitaria.

Senft *et al.* (1987) establecen que el tiempo que pasan los grandes herbívoros en pastoreo en una determinada comunidad es proporcional a su disponibilidad de recursos forrajeros. Esto determina heterogeneidad en la distribución de los herbívoros en pastoreo y en consecuencia también en el impacto sobre los recursos que utilizan. Se considera que este comportamiento por parte de los animales puede ser una de las principales causas de degradación del pastizal en sistemas áridos y semiáridos (Fuls 1992). Los resultados obtenidos en el Capítulo 4 confirman una marcada heterogeneidad en la distribución del pastoreo. Los bovinos prefirieron la comunidad de mayor calidad forrajera, aun siendo la de menor disponibilidad de forraje, por sobre las otras dos de menor calidad. La productividad de cada comunidad junto con la preferencia/aversión por parte de los bovinos, mediada por la calidad forrajera, determinaron las diferencias en la acumulación de biomasa combustible. Esto permite aceptar parcialmente lo planteado en la hipótesis del capítulo 4, dado que la preferencia/aversión por parte de los bovinos no explica por sí sola las diferencias en acumulación de biomasa combustible, sino que depende también de la productividad de cada comunidad.

La fisonomía, la calidad forrajera y la preferencia mostrada por los bovinos en pastoreo, hacen que la comunidad Césped sea lo que se considera un césped de pastoreo (Posse *et al.*, 2000; Von Müller 2010). Este tipo de césped se corresponden con áreas (normalmente las más fértiles del paisaje), donde la estructura de la vegetación ha sido moldeada por una alta presión de pastoreo (Cingolani *et al.*, 2002). Los herbívoros seleccionan los sitios que presentan mejor calidad y al consumirlos promueven el rebrote, manteniendo o mejorando la calidad forrajera del sitio, que volverá entonces a ser seleccionado, estableciéndose una retroalimentación positiva (McNaughton 1984). Cingolani *et al.* (2003) mencionan que la presión de pastoreo en estos sitios podría ser responsable de que no sean colonizados por gramíneas en mata, tal como sucede en el Pajonal. Estas no colonizarían los sitios de la comunidad Pastizal bajo dado el escaso perfil de suelo asociado a los mismos, una restricción que no encontrarían para ocupar los sitios de suelos más profundos de la comunidad Césped. Entonces, el pastoreo contribuye a mantener la comunidad Césped, e incluso podría evaluarse el utilizarlo para reducir la cobertura de matas en la comunidad Pajonal con pulsos de alta carga instantánea y/o la interacción con otros disturbios (Von Müller 2010).

El diagnóstico de la heterogeneidad de la vegetación constituye un primer paso para su gestión, ya que permite un adecuado ajuste de carga al estimar la receptividad de cada potrero a partir de la superficie que ocupa cada comunidad, su PPNA y su proporción consumible (IC) (Golluscio 2009). Esto significa un considerable avance sobre el ajuste de carga tradicional basado en la superficie total del potrero y una estimación de la receptividad general de la zona serrana. Así será posible diferenciar la receptividad de potreros que presenten diferentes superficies relativas de cada comunidad, aspecto que actualmente no se tiene en cuenta. Si bien no se pudo determinar la PPNA de la comunidad Pajonal por cuestiones metodológicas, las estimaciones disponibles en la

bibliografía (Menghi *et al.*, 1978), sustentadas con la aproximación que significan la series temporales de NDVI, podrían complementar los datos obtenidos en este estudio para las demás comunidades (Ver Apéndice 2).

Sin embargo, por más preciso que resulte el ajuste de carga, la heterogeneidad en la distribución del pastoreo implica que sea prácticamente imposible alcanzar una utilización completamente homogénea del recurso forrajero en estos potreros. Extremo que tampoco sería saludable ya que cierto nivel de heterogeneidad es necesario para preservar la biodiversidad de estos ecosistemas (Bailey *et al.*, 1996, Cingolani *et al.*, 2008). La marcada preferencia por una comunidad por sobre las demás determina que, aun ajustando la carga, siempre se someterá la comunidad preferida a una mayor presión de pastoreo (Von Müller 2010). Esto puede implicar que se consuma la comunidad preferida por encima del IC considerado sustentable, mientras que las restantes comunidades sufrirán menor presión de herbivoría, el consumo de una proporción de la PPNA menor a la planificada y la acumulación de biomasa. Tomar conciencia de esto significa un primer paso para empezar a manejar el problema, lo cual implicaría necesariamente modificar el manejo tradicional que gestiona cada potrero como unidad mínima y avanzar hacia un manejo de la vegetación y el pastoreo por ambiente o comunidad vegetal. Con el amplio abanico de herramientas actuales para dirigir el pastoreo (Bailey *et al.*, 2019) la solución dependerá de la realidad de cada establecimiento y de cada potrero.

El manejo por ambientes permitiría aprovechar estratégicamente las diferencias forrajeras entre comunidades, tanto en lo que se refiere a la distribución de la PPNA a lo largo del año como en lo que respecta a la calidad forrajera. Sobre esta última, por ejemplo, la distinta calidad forrajera de las comunidades determina diferentes necesidades de suplementación. El aprovechamiento de distintas comunidades con distintas categorías

bovinas o incluso con distintas especies (mulares, equinos, bubalinos, ovinos o caprinos) podría contribuir tanto a mejorar aspectos productivos como a lograr objetivos de manejo de la vegetación, como la disminución de la biomasa combustible (Bailey *et al.*, 2019).

Actualmente se evidencia que el aumento de la población en las sierras chicas genera un riesgo de incendios cada vez mayor (Argañaraz *et al.*, 2015), que las condiciones climáticas son cada vez más desfavorables (Jolly *et al.*, 2015) y que las políticas de contención y combate de incendios han fracasado (Colautti 2020). Durante la temporada de incendios del 2020, la de mayor superficie quemada en la provincia en las últimas dos décadas, los dos establecimientos donde se llevó adelante el experimento sufrieron incendios. Ocho de los nueve potreros utilizados se quemaron. El muestreo llevado a cabo entre enero de 2019 y enero de 2020 evidenció que la comunidad Pajonal superaba ampliamente los umbrales establecidos, tanto en lo que respecta a la cantidad de biomasa combustible como al porcentaje de biomasa combustible muerta. A partir de esta información, propongo considerar un enfoque agronómico del problema, basado en la gestión de la biomasa combustible, que implicaría un cambio de paradigma en la gestión de los incendios serranos. Actualmente, los incendios son considerados por la población como producto exclusivamente de la negligencia humana, y por ello solo se enfrentan con medidas de emergencia, en lugar de identificar y manejar los elementos que predisponen a la ocurrencia de focos de ignición. En esta línea de pensamiento, la caracterización de la vegetación y del comportamiento de los bovinos en pastoreo son insumos necesarios para el diseño de estrategias de manejo que permitan interrumpir la continuidad y/o reducir la acumulación de biomasa combustible. La discontinuidad en la distribución espacial de la biomasa combustible puede afectar la velocidad de propagación del fuego (Cheney *et al.*, 1993) y contribuir de manera importante a su extinción. En este trabajo se determinaron condiciones de biomasa combustible muy

contrastantes, ya que existen comunidades que acumulan mucho combustible y son muy propensas a incendios, pero también otras que, por la baja disponibilidad de biomasa, interrumpen la continuidad de la biomasa combustible. Conocer estas diferencias y poder mapearlas, permitirá, por ejemplo, utilizar estratégicamente los parches de las comunidades que bajo pastoreo casi no acumulan biomasa para diseñar sistemas de cortafuegos y/o planes de combate de incendios. También permitirá enfocar los esfuerzos para reducir la biomasa combustible en la comunidad donde se requiere. Es posible diseñar estrategias de pastoreo dirigido, enfocadas en la reducción del material combustible, utilizando alambrado eléctrico (u otro tipo de cerca física) y/o atrayentes para dirigir el impacto animal sobre las comunidades objetivo (Bailey *et al.*, 2019). Con el tiempo, en la medida en que el impacto animal remueva la biomasa senescente y favorezca el rebrote, se logrará mejorar también la calidad forrajera de estas comunidades, resultando en un proceso virtuoso en el que la vegetación que antes alcanzaba la senescencia y se acumulaba como biomasa combustible termine siendo aprovechada como forraje.

5.2. Conclusiones generales

Las diferentes fisonomías presentes en potreros bajo pastoreo en los pastizales de altura de las sierras chicas, fácilmente identificables tanto visualmente como a partir de imágenes de satélite, están asociadas a diferentes comunidades vegetales y estas a diferentes condiciones edáficas. Estas comunidades presentan diferencias en aspectos utilitarios que, en el caso de la calidad forrajera, se traducen en distinta preferencia por parte de los bovinos, resultando en una marcada heterogeneidad en su distribución durante el pastoreo. La preferencia/aversión por parte de los bovinos junto con la productividad de cada comunidad determina diferencias en la acumulación de biomasa combustible y en sus características.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta A, Diaz S, Menghi M, Cabido M (1992) Patrones comunitarios a diferentes escalas espaciales en pastizales de las Sierras de Córdoba, Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*, 65:195-207
- Anderson DM (2011) Tools to study and manage grazing behaviour at multiple scales to enhance the sustainability of livestock production systems. *Proceedings IX International Rangeland Congress*. Rosario, Argentina, pp 559-564
- Andreazzini MJ, Degiovanni SB, Prieto AR, Tripaldi A, Luque ME (2020) Mallines en la Sierra de Comechingones, Sierras Pampeanas, Argentina. Caracterización geológico-geomorfológica y reconstrucción paleoambiental durante el Holoceno. *Andean geology*, 47:77-109
- Argañaraz JP (2016) Dinámica espacial del fuego en las Sierras de Córdoba. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Argañaraz JP, Pizarro GG, Zak M, Bellis LM (2015) Fire regime, climate, and vegetation in the Sierras de Córdoba, Argentina. *Fire Ecology*, 11:55-73
- Argañaraz JP, Radeloff VC, Bar-Massada A, Gavier-Pizarro GI, Scavuzzo CM, Bellis LM (2017) Assessing wildfire exposure in the wildland-urban interface area of the mountains of central Argentina. *Journal of environmental management*, 196: 499-510
- Atienza JC (1994) La utilización de índices en el estudio de la selección de recursos. *Ardeola*, 41:173-175
- Baeza S, Lezama F, Piñeiro G, Altesor A, y Paruelo JM (2010) Spatial variability of above-ground net primary production in Uruguayan grasslands: a remote sensing approach. *Applied Vegetation Science*, 13: 72-85
- Bailey DW, Gross JE, Laca EA, Rittenhouse LR, Coughenour MB, Swift DM, Sims PL (1996) Mechanisms that result in large herbivore grazing distribution patterns. *Journal of Range Management*, 49:386-400
- Bailey DW, Dumont B, Wallisdevries MF (1998) Utilization of heterogeneous grasslands by domestic herbivores: Theory to management. *Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences*, 47:321-333.
- Bailey DW, Provenza FD (2008) Mechanisms determining large-herbivore distribution. En: Prins HHT, Van Langevelde F (eds.) *Resource Ecology: Spatial and Temporal Dynamics of Foraging*. Springer, pp 7-28
- Bailey DW, Mosley JC, Estell RE, Cibils AF, Horney M, Hendrickson JR, Walker JW, Launchbaugh KL, Burritt EA (2019) Synthesis Paper: Targeted Livestock Grazing: Prescription for Healthy Rangelands. *Rangeland Ecology & Management*, 72:865-877
- Balzarini MG, Gonzalez LA, Tablada EM, Casanoves F, Di Rienzo JA, Robledo CW (2008). *InfoStat*, versión 2008: manual del usuario. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina

Batista WB, Rolhauser AG, Biganzoli F, Burkart SE, Goveto L, Maranta A, Pignataro AG, Morandeira NS, Rabadán M (2014) Savanna plant community types at El Palmar National Park (Argentina). *Darwiniana, nueva serie* 2:5-38

Beeri O, Phillips R, Hendrickson J, Frank AB, Kronberg S (2007) Estimating forage quantity and quality using aerial hyperspectral imagery for northern mixed-grass prairie. *Remote Sensing of Environment* 110:216-225

Bianchi L, Defossé G, Dentoni M, Kunst C, Ledesma R, Bravo S (2014). Dinámica de la humedad de los combustibles y su relación con la ecología y el manejo de fuego en la región chaqueña occidental (Argentina) I: conceptos básicos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 40:154-164

Black-Rubio CM, Cibils A, Endecott R, Petersen M, Boykin DK (2008) Piñon-Juniper woodland use by cattle in relation to weather and animal reproductive state. *Rangeland Ecology and Management* 61:394-404

Blanco LJ, Durante M, Ferrante D, Quiroga RE, Demaria MR, Di Bella CM (2019) Red nacional de monitoreo de pastizales naturales de Argentina: productividad forrajera de la vegetación extrapampeana. Ediciones INTA

Boetto C, Gómez Demmel A (2012) Balance de nutrientes para bovinos: 10 pasos. Editorial de la Universidad Católica de Córdoba. Córdoba, Argentina.

Bond WJ, Keeley JE (2005) Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, 20:387-394

Bremm C, Laca EA, Fonseca L, Mezzalira JC, Elejalde DAG, Gonda HL, de Faccio Carvalho PC (2012) Foraging behaviour of beef heifers and ewes in natural grasslands with distinct proportions of tussocks. *Applied Animal Behaviour Science*, 141:108-116

Bremmer J, Breitenke G (1983) A simple method for the determination of ammonium in semimicro-kjeldahl analysis of soil and plant material using a block digester. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 14:905-913

Burkart S, Leon RJC, Movia CP (1990). Inventario fitosociológico del pastizal de la depresión del Salado (prov. Bs. As.) En un área representativa de sus principales ambientes. *Darwiniana*, 30:27-69.

Cabido D, Cabido MR, Garré SM, Gorgas JA, Miatello RA, Ravelo A, Rmabaldi S, Tassile JL (2003) Regiones naturales de la provincia de Córdoba. Agencia Córdoba D.A.C.yT.- Dirección de Ambiente. Córdoba, Argentina

Cabido M, Breimer R, Vega G (1987) Plant Communities and Associated Soil Types in a High Plateau of the Cordoba Mountains, Central Argentina. *Mountain Research and Development*, 7:25-42

Cabido M, Acosta A, Díaz S (1989) Estudios fitosociológicos en los Pastizales de las Sierras de Córdoba, Argentina. *Las comunidades de la Pampa de San Luis. Phytocoenologia* 17:569-592

Cabido M, Ateca N, Astegiano M, Anton A (1997) Distribution of C3 and C4 grasses along an altitudinal gradient in Central Argentina. *Journal of Biogeography*, 24:197-204

Cabido M, Funes G, Pucheta E, Vendranimi F, Díaz S (1998) A chorological analysis of the mountains from Central Argentina. Is all what we call Sierra Chaco

really Chaco? Contribution to the study of the flora and vegetation of the Chaco. XII. *Candollea* 53:321-331

Cabido M, Zak MR (1999) Vegetación del Norte de Córdoba. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de Córdoba. Córdoba, Argentina

Cabido M, Giorgis M, Monica T (2010) Guía para una excursión botánica en las sierras de Córdoba. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 45:209-219.

Cabrera AL (1976) Regiones fitogeográficas argentinas. En: Kugler WF (ed) *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería*. Tomo 2. Editorial Acme, Buenos Aires, pp 1-85

Capitanelli J (1979) Geomorfología. En: Vazquez J, Miatello R, Roque M (eds) *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Editorial Boldt, Buenos Aires, pp 213-296

Chapin FS, Matson PA, Mooney HA (2002) *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer-Verlag, New York.

Cheney NP, Gould JS, Catchpole WR (1993) The influence of fuel, weather and fire shape variables on fire-spread in grasslands. *International Journal of Wildland Fire*, 3:31-44

Cheney NP, Gould JS, Catchpole WR (1998) Prediction of fire spread in grasslands. *International Journal of Wildland Fire*, 8:1-13

Cingolani AM, Anchorena J, Stoffella SL, Collantes MB (2002) A landscape-scale model for optimal management of sheep grazing in the Magellanic steppe. *Applied Vegetation Science*, 5:159-166

Cingolani AM, Cabido MR, Renison D, Solís Neffa V (2003) Combined effects of environment and grazing on vegetation structure in Argentine granite grasslands. *Journal of Vegetation Science*, 14:223-232

Cingolani AM, Renison D, Zak MR, Cabido MR (2004) Mapping vegetation in a heterogeneous mountain rangeland using landsat data: An alternative method to define and classify land-cover units. *Remote Sensing of Environment*, 92:84-97

Cingolani AM, Noy-Meir I, Renison DD, Cabido M (2008) La ganadería extensiva, ¿es compatible con la conservación de la biodiversidad y de los suelos? *Ecología austral*, 18:253-271

Cingolani AM, Vaieretti MV, Gurvich DE, Giorgis MA, Cabido M (2010) Predicting alpha, beta and gamma plant diversity from physiognomic and physical indicators as a tool for ecosystem monitoring. *Biological Conservation*, 143:2570-2577

Cingolani AM, Vaieretti MV, Giorgis MA, La Torre N, Whitworth-Hulse JI, Renison D (2013) Can livestock and fires convert the sub-tropical mountain rangelands of central Argentina into a rocky desert? *Rangeland Journal*, 35:85-297

Cingolani AM, Vaieretti MV, Giorgis MA, Poca M, Tecco PA, Gurvich DE (2014) Can livestock grazing maintain landscape diversity and stability in an ecosystem that evolved with wild herbivores? *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 16:143-153

Cingolani AM, Poca M, Giorgis MA, Vaieretti MV, Gurvich DE, Whitworth-Hulse JI, Renison D (2015) Water provisioning services in a seasonally

dry subtropical mountain: identifying priority landscapes for conservation. *Journal of Hydrology*, 525:178-187

Clark DB (2002) Los factores edáficos y la distribución de las plantas. En: Guariguata M, Kattan G (eds) *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Editorial LUR, Cartago, Costa Rica, pp 193-221.

Climate-data.org (2020) <https://es.climate-data.org/amercia-del-sur/argentina/cordoba/loscocos-144201/> Recuperado el 4/11/2020

Cocimano M, Lange A, Menvielle E (1975) Estudio sobre equivalencias ganaderas. *Producción Animal*, 4:161-190

Colautti F (2020) Incendios en Córdoba: van 300 mil hectáreas quemadas, en el peor año de las últimas décadas. *Diario La Voz*. <https://www.lavoz.com.ar/ Ciudadanos/incendios-en-cordoba-van-300-mil-hectareas-quemadas-en-peor-ano-de-ultimas-decadas?> Fecha de acceso: 15/01/2021

Collantes MB, Faggi AM (1999) Los humedales del sur de Sudamérica. En: Malvarez AI (ed) *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. UNESCO, Montevideo, Uruguay, pp 15-25

Congedo L (2016) Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>

Cruz MG, Sullivan AL, Hurley RJ, Plucinski MP, Gould JS (2017) The effect of fuel load and structure on grassland fire behaviour and fire danger. Tech. rep., CSIRO Land and Water, Client Report No EF178976, Canberra, Australia.

Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW (2008) *InfoStat software estadístico, versión 2008*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Díaz S, Acosta A, Cabido MR (1994) Community structure in montane grasslands of central Argentina in relation to land use. *Journal of Vegetation Science*, 5:483-488

Dufrêne M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67:345-366

Falczuk V (2002) Relaciones entre selección de dieta de grandes herbívoros, disponibilidad y características físico-químicas de las plantas en un pastizal de altura de las Sierras de Córdoba. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

Fiandino SI (2019) Efecto de los recursos agua y radiación sobre la productividad del pastizal natural en sistemas silvopastoriles de la Sierra de Comechingones. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

Fischer MA, Di Bella CM, Jobbágy EG (2012) Fire patterns in central semiarid Argentina. *Journal of Arid Environments*, 78:161-168

Foust AM, Headlee WL (2017) Modeling shade tree use by beef cattle as a function of black globe temperature and time of day. *International journal of biometeorology*, 61:2217-2227

Fuls ER (1992) Semi-arid and arid rangelands: a resource under siege due to patch-selective grazing. *Journal of Arid Environments*, 22:191-193

Ganskopp D, Bohnert D (2006) Do pasture-scale nutritional patterns affect cattle distribution on rangelands? *Rangeland Ecology & Management*, 59:189-196

Ghida Daza C, Sánchez C (2009) Zonas Agroeconómicas Homogéneas: Córdoba, área de influencia de la EEA INTA MANFREDI. Manfredi, Córdoba

Giorgis MA, Cingolani AM, Teich I, Renison R (2010) Do *Polylepis australis* trees tolerate herbivory? Seasonal patterns of biomass production and its consumption by livestock. *Plant Ecology* 207:307-319

Giorgis MA, Cingolani AM, Cabido M (2013) El Efecto del fuego y las características topográficas sobre la vegetación y las propiedades del suelo en la zona de transición entre bosques y pastizales. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 48:493-513

Giorgis MA, Tecco PA (2014) Árboles y arbustos invasores de la Provincia de Córdoba (Argentina): una contribución a la sistematización de bases de datos globales. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 49: 581-603

Giorgis MA, Cingolani AM, Gurvich DE, Tecco PA, Chiapella J, Chiarini F, Cabido M (2017) Changes in floristic composition and physiognomy are decoupled along elevation gradients in central Argentina. *Applied Vegetation Science*, 20:558-571

Goering HK, Van Soest PJ (1970) Forage fiber analyses: (apparatus, reagents, procedures, and some applications). Agricultural Research Service, U.S. Dept. of Agriculture. Washington, D.C.

Golluscio R (2009) Receptividad ganadera: marco teórico y aplicaciones prácticas. *Ecología Austral*, 19:215-232

Gorandi ER, Moltoni AF, Clemares N (2016) Desarrollo y evaluación de un sistema de monitoreo animal georreferenciado para ganadería de precisión. III Congreso Argentino de Ingeniería – IX Congreso de enseñanza de la ingeniería. Resistencia, Chaco, Argentina

Ivlev VS (1961) Experimental ecology of the feeding of fishes. Yale University Press, New Haven.

Jobbágy EG, Sala OE, Paruelo JM (2002) Patterns and controls of primary production in the Patagonian steppe: a remote sensing approach. *Ecology*, 83:307-319

Jobbágy EG, Noretto MD, Villagra PE, Jackson RB (2011) Water subsidies from mountains to deserts: Their role in sustaining groundwater-fed oases in a sandy landscape. *Ecological Applications*, 21:678-694

Jobbágy EG, Acosta AM, Noretto MD (2013) Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdoba (Argentina). *Ecología Austral*, 23:87-96

Johnson DD, Ganskopp DC (2008) GPS collar sampling frequency: effects on measures of resource use. *Rangeland Ecology & Management*, 61:226-231

Jolly W, Cochrane M, Freeborn P, Holden ZA, Brown TJ, Williamson GJ, Bowman DMJS (2015) Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature communications*, 6:7537

Kunst C, Bravo S (2003) Fuego calor y temperatura. En: Kunst C, Bravo S, Panigatti JL (eds) Fuego en los ecosistemas argentinos. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, pp 39-45

Laca EA, Sokolow S, Galli JR, Cangiano CA (2010) Allometry and spatial scales of foraging in mammalian herbivores. *Ecology Letters*, 13:311-320

Laterra P (2003) Desde el Paspaleto: bases ecológicas para el manejo de pajonales húmedos con quemas prescriptas. En: Kunst C, Bravo S, Panigatti JL (eds) Fuego en los ecosistemas argentinos. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina, pp 93-107

Leng RA (1990) Factors affecting the utilization of “poor-quality” forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutrition Research Reviews*, 3:277-303

Leonard S (2009) Predicting sustained fire spread in Tasmanian native grasslands. *Environmental Management*, 44:430-440

Leonard S, Kirkpatrick J, Marsden-Smedley J (2010) Variation in the effects of vertebrate grazing on fire potential between grassland structural types. *Journal of Applied Ecology*, 47:876-883

Luti R, Bertrán de Solís MA, Galera MF, Müller de Ferreira N, Berzal M, Nores M, Herrera MA, Barrera JC (1979) Vegetación. En: Vázquez J, Miatello R, Roque M (eds) Geografía Física de la provincia de Córdoba. Editorial Boldt, Buenos Aires, pp 297-368

MacQueen JB (1967) Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability* 1:281-297

Márquez S, Funes G, Cabido M, Pucheta E (2002) Efectos del pastoreo sobre el banco de semillas germinable y la vegetación establecida en pastizales de montaña del centro de Argentina. *Revista chilena de historia natural*, 75:327-337

Martínez GA, Arana MD, Oggero AJ, Natale ES (2016) Biogeographical relationships and new regionalisation of high-altitude grasslands and woodlands of the central Pampean Ranges (Argentina), based on vascular plants and vertebrates. *Australian Systematic Botany*, 29:473-488

McNaughton SJ (1984) Grazing lawns: animals in herds, plant form, and coevolution. *The American Naturalist*, 124:863-886

Menghi M, Bertran De Solis, AB, Galera FM, Herrera MA, Luti R (1978) Productividad primaria de los pastizales de altura de las Sierras Chicas, Córdoba. *Ecología*, 3:101-111

Mengui M, Peco B, Pineda FD (1993) Spatial organization of gneissic grasslands related to relief and soil variability. *Ber. Geobot. Institut ETH, Stiftung Rübel, Zürich*, 59:106-123

Milchunas DG, Sala OE, Lauenroth WK (1988) A generalized model of the effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. *The American Naturalist*, 132:87-106

Moore KJ, Jung HJG (2001) Lignin and fiber digestion. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 54:420-430

Mueller-Dombois D, Ellenberg H (1974) Aims and methods of vegetation ecology. Jhon Wiley & Sons, New York.

Munguía-Rosas MA, Sosa VJ (2008) Nurse plants vs. nurse objects: effects of woody plants and rocky cavities on the recruitment of the *Pilosocereus leucocephalus* columnar cactus. *Annals of Botany*, 101:175-185.

Nai-Bregaglio M, Pucheta E, Cabido M (2002) El efecto del pastoreo sobre la diversidad florística y estructural en pastizales de montaña del centro de Argentina. *Revista chilena de historia natural*, 75:613-623

Noy-Meir I (1973) Desert ecosystems: environment and producers. *Annual review of ecology and systematics*, 4:25-51

Oosterheld M, Sala OE, McNaughton SJ (1992) Effect of animal husbandry on herbivore-carrying capacity at a regional scale. *Nature*, 356:234-236

Oosterheld M, DiBella CM, Kerdules H (1998) Relation between NOAA-AVHRR satellite data and stocking rate of rangelands. *Ecological applications*, 8:207-212

Ormaechea SG, Cipriotti PA, Peri PL (2018) Selección de hábitat por ovinos en paisajes del sur patagónico con bosque nativo. *Actas IV Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles*. Ediciones INTA, San Carlos de Bariloche. pp 251-262

Paruelo JM, Lauenroth WK, Burke IC, Sala OE (1999) Grassland precipitation-use efficiency varies across a resource gradient. *Ecosystems*, 2:64-68

Paruelo JM, Golluscio RA, Guerschman JP, Cesa A, Jouve V, Garbulsky MF (2004) Regional scale relationships between ecosystem structure and functioning: the case of the Patagonian steppes. *Global Ecology Biogeography*, 13:385-395

Pascual MS, Negrín EF, Vega GQ, del Arco Aguilar MJ (2017) Efecto de la inclinación y pedregosidad sobre el reparto del agua de lluvia, su cuantificación y aplicación al estudio de la vegetación en zonas áridas. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 92:51-63

Pezzani F, Lezama F, Gallego F, López-Mársico L, Leoni E, Costa B, Parodi G, Mello A (2017) El método de corte de biomasa genera mayores diferencias en la estimación de la productividad de pastizales que el tipo de pastizal. *Revista argentina de Producción Animal*, 37:21-32

Posse G, Anchorena J, Collantes MB (2000) Spatial micro-patterns in the steppe of Tierra del Fuego induced by sheep grazing. *Journal of Vegetation Science*, 11:43-50

Pucheta E, Cabido M (1992) Comunidades de pastizales serranos del centro de Argentina y su relación con el uso pastoril. *Phytocoenologia*, 21:333-346.

Pucheta E, Cabido M, Díaz S (1997) Modelos de estados y transiciones para los pastizales de altura de las Sierras de Córdoba, Argentina. *Ecotrópicos*, 10:151-160

Pucheta E, Cabido M, Díaz S, Funes G (1998) Floristic composition, biomass, and aboveground net plant production in grazed and protected sites in a mountain grassland of central Argentina. *Acta Oecologica*, 19:97-105

QGIS Development Team (2017) QGIS 2.14 Geographic Information System User Guide. Open Source Geospatial Foundation Project. http://docs.qgis.org/2.14/es/docs/user_manual

Ragonese AE, Castiglioni JC (1970) Vegetación del parque Chaqueño. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 11:133-160

Rook AJ, Penning PD (1991) Synchronisation of eating, ruminating and idling activity by grazing sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 32:157-166

Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW (1974) Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA special publication, 351:1-309

Rovira J (1996) Consumo. En: Rovira J (ed) Manejo Nutritivo de los Rodeos de cría en pastoreo. Editorial Hemisferio Sur, Montevideo, pp 29-42

Sala O, Deregibus VA, Schlichter T, Alippe H (1981) Productivity dynamics of a native temperate grassland in Argentina. *Journal of Range Management*, 34:48-51

Sala OE, Austin AT (2000) Methods of Estimating Aboveground Net Primary Productivity. En: Sala OE, Jackson RB, Mooney HA, Howarth RH (eds) *Methods in Ecosystem Science*. Springer, New York, pp 31-43

Sala OE, Yahdjian L, Havstad K, Aguiar MR (2017) Rangeland Ecosystem Services: Nature's Supply and Humans' Demand. En: Briske D (eds) *Rangeland Systems*. Springer, Cham, pp 467-489

Scopel AL, Cantero JC, Silva MP (2017) Región Humedales Valliserranos. Subregión Arroyos y mallines de las sierras centrales. En: Benzaquén L, Blanco D, Bo R, Kandus P, Lingua G, Minotti P, Quintana R (eds) *Regiones de humedales de la Argentina*. Buenos Aires, pp 173-183

Senft RL, Coughenour MB, Bailey DW, Rittenhouse LR, Sala OE, Swift DM (1987) Large herbivore foraging and ecological hierarchies. *BioScience*, 37:789-799

Swain DL, Friend MA, Bishop-Hurley GJ, Handcock RN, Wark T (2011) Tracking livestock using global positioning systems - are we still lost? *Animal Production Science*, 51:167-175

Tofastrud M, Hegnes H, Devineau O, Zimmermann B (2018) Activity patterns of free-ranging beef cattle in Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science*, 68:39-47

Van Soest PJ, Wine RH, Moore LA (1966) Estimation of the true digestibility of forages by the in vitro digestion of cell walls. *Proceedings of the Xth International Grassland Congress, Finland Grassland Association, Helsinki*, pp 438-441

Vázquez P, Adema E, Fernández B (2013) Dinámica de la fenología de la vegetación a partir de series temporales de NDVI de largo plazo en la provincia de La Pampa. *Ecología Austral*, 23:77-86

Von Müller AR (2010) Selección de hábitat de herbívoros domésticos en las Sierras Grandes de Córdoba. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

Von Müller AR, Renison D, Cingolani AM (2017) Cattle landscape selectivity is influenced by ecological and management factors in a heterogeneous mountain rangeland. *The Rangeland Journal*, 1:1-14

Ward JH Jr (1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association* 58:236-244

Weiss WP, Hall MB (2020) Laboratory methods for evaluating forage quality. *Forages: The Science of Grassland Agriculture*, 2:659-672

Whittaker RH (1967) Gradient analysis of vegetation. *Biological Reviews* 42:207-264

Wing MG, Eklund A, Kellogg LD (2005) Consumer-grade global positioning system (GPS) accuracy and reliability. *Journal of forestry*, 103:169-173

Zhao Y, Liu Z, Wu J (2020) Grassland ecosystem services: A systematic review of research advances and future directions. *Landscape Ecology*, 35:1-22.

Zuloaga FO, Morrone O, Belgrano MJ (2008) *Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur*. Editorial Missouri Botanical Garden Press. St. Louis, Missouri.

APÉNDICES

Apéndice 1: Tabla de especies con valor indicador resultado de la aplicación del método IndVal ($p \leq 0,05$).

Especie	Código	Comunidad	IndVal	Valor p	Frecuencia
Eleocharis pseudoalbibracteata	Ele.pse.	Césped	1,000	0,001	10
Eryngium elegans	Ery.ele.	Césped	1,000	0,001	10
Juncus imbricatus	Jun.imb.	Césped	0,983	0,001	12
Bulbostylis contracta	Bul.con.	Césped	0,900	0,001	9
Paspalum dilatatum	Pas.dil.	Césped	0,900	0,001	9
Trifolium repens	Tri.rep.	Césped	0,900	0,001	9
Sporobolus indicus	Spo.ind.	Césped	0,888	0,001	17
Bulbostylis juncoides	Bul.jun.	Césped	0,863	0,001	15
Cortadeira selloana	Cor.sel.	Césped	0,700	0,002	7
Hydrocotyle bonariensis	Hyd.bon.	Césped	0,700	0,001	7
Paspalum notatum	Pas.not.	Césped	0,699	0,001	8
Cyperus aggregatus	Cyp.agg.	Césped	0,663	0,001	18
Bulbostylis communis	Bul.com.	Césped	0,600	0,001	6
Piptochaetium médium	Pip.med.	Césped	0,567	0,005	12
Prunella vulgaris	Pru.vul.	Césped	0,500	0,007	5
Lolium multiflorum	Lol.mul.	Césped	0,500	0,006	5
Acicarpa tribuloides	Aci.tri.	Césped	0,400	0,028	4
Steinchisma hians	Ste.hia.	Césped	0,400	0,019	4
Bromus catharticus	Bro.cat.	Césped	0,400	0,017	4
Nasturtium officinale	Nas.off.	Césped	0,400	0,019	4
Eustachys retusa	Eus.ret.	Pastizal b.	0,966	0,001	15
Margyricarpus pinnatus	Mar.pin.	Pastizal b.	0,938	0,001	16
Dichondra serícea	Dic.ser.	Pastizal b.	0,900	0,001	9
Nassella filiculmis	Nas.fil.	Pastizal b.	0,896	0,001	10
Lucilia acutifolia	Luc.acu.	Pastizal b.	0,869	0,001	11
Galactia glaucophylla	Gal.gla.	Pastizal b.	0,800	0,001	8
Eragrostis lugens	Era.lug.	Pastizal b.	0,764	0,003	12
Baccharis crispa	Bac.cri.	Pastizal b.	0,754	0,001	10
Glandularia dissecta	Gla.dis.	Pastizal b.	0,722	0,001	9
Chaptalia integérrima	Cha.int.	Pastizal b.	0,700	0,001	12
Facelis retusa	Fac.ret.	Pastizal b.	0,700	0,001	7
Selaginella peruviana	Sel.per.	Pastizal b.	0,700	0,002	7
Alternanthera pumila	Alt.pum.	Pastizal b.	0,681	0,001	8
Piptochaetium montevidensis	Pip.mon.	Pastizal b.	0,624	0,029	15
Schizachyrium spicatum	Sch.spi.	Pastizal b.	0,624	0,006	15
Adesmia cordobensis	Ade.cor.	Pastizal b.	0,600	0,001	6
Gymnocalcium monvillei	Gym.mon.	Pastizal b.	0,600	0,001	6
Gnaphalium gaudichaudianum	Gna.gau.	Pastizal b.	0,584	0,002	7
Bidens triplinervia	Bid.tri.	Pastizal b.	0,508	0,010	12
Hypochaeris caespitosa	Hyp.cae.	Pastizal b.	0,500	0,011	5
Croton argentinus	Cro.arg.	Pastizal b.	0,500	0,003	5
Usnea amblyoclada	Usn.amb.	Pastizal b.	0,477	0,008	10
Nassella cordobensis	Nas.cor.	Pastizal b.	0,461	0,046	7
Stylosanthes guianensis	Sty.gui.	Pastizal b.	0,400	0,026	4
Colletia spinosissima	Col.spi.	Pastizal b.	0,400	0,029	4
Noticastrum marginatum	Not.mar.	Pastizal b.	0,400	0,021	4
Baccharis articulata	Bac.art.	Pastizal b.	0,400	0,017	4
Bouteloua megapotamica	Bou.meg.	Pastizal b.	0,400	0,028	4
Achyrocline satuireioides	Ach.sat.	Pastizal b.	0,385	0,020	5
Festuca hieronymi	Fes.hie.	Pajonal	1,000	0,001	10
Bothriochloa alta	Bot.alt.	Pajonal	0,726	0,001	12
Krapovickasia flavescens	Kra.fla.	Pajonal	0,720	0,004	13
Cologania broussonetii	Col.bro.	Pajonal	0,700	0,001	7
Oxalis conorrhiza	Oxa.con.	Pajonal	0,644	0,001	18
Pfaffia gnaphalioides	Pfa.gna.	Pajonal	0,600	0,006	10
Hieracium paleziuxii	Hie.pal.	Pajonal	0,600	0,005	6
Nassella sanluisensis	Nas.san.	Pajonal	0,593	0,010	12
Chevreulia acuminata	Che.acu.	Pajonal	0,582	0,004	12
Galium richardiarium	Gal.ric.	Pajonal	0,517	0,012	11
Chascolytrum subaristatum	Cha.sub.	Pajonal	0,510	0,017	17
Chevreulia sarmentosa	Che.sar.	Pajonal	0,484	0,015	7
Tajetes minuta	Taj.min.	Pajonal	0,405	0,026	8
Geranium bertereanum	Ger.ber.	Pajonal	0,400	0,033	4

Apéndice 2: Estudio de caso: Receptividad de potreros y de establecimientos citado en esta tesis.

Introducción

Como estudio de caso, ejemplo de aplicación y devolución hacia los establecimientos que nos abrieron sus tranqueras, se utilizaron los resultados alcanzados para estimar la receptividad de cada potrero y la global de cada establecimiento, y comparar esta última, con la carga actual.

Materiales y Métodos

A partir de la clasificación supervisada de la vegetación descrita en el capítulo 4, que abarco la superficie completa de los establecimientos “Casa de Piedra” y “Las Pampillas”, se generaron mapas de vegetación y se calculó la participación de cada comunidad en la superficie de cada potrero de pastizal natural. A partir de la participación relativa de cada comunidad y de su receptividad por hectárea (EV/ha) calculamos la receptividad de cada potrero en ha/EV. La receptividad de cada comunidad fue definida en el capítulo 3 para las comunidades Césped (2 ha/EV) y Pastizal bajo (6,1 ha/EV). La receptividad de la comunidad Pajonal se calculó igual que en el capítulo 3, pero a partir de un dato de PPNA de bibliografía. Menghi *et al.* (1978), estimaron la PPNA promedio de esa comunidad en $6,4 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$, considerando un índice de cosecha en pastoreo sustentable según la fórmula propuesta por Golluscio (2009) y un consumo diario de 9,36 Kg MS por EV, la comunidad Pajonal podría sostener una receptividad de 5 ha/EV (IC =29%). La comunidad Bosque, implantada para sombra y de escasa superficie, tanto por el impacto animal como por el nivel de sombra, no presenta un estrato herbáceo forrajeable (observación personal) por lo que no se le asignó receptividad. Una vez determinada la receptividad de cada potrero se determinó la receptividad global de cada establecimiento y se comparó con la carga actual.

Resultados

Como resultado se obtuvo un mapa de vegetación para cada potrero de pastizal natural de los dos establecimientos. El establecimiento Casa de Piedra cuenta con tres potreros, los que presentan mayor superficie con suelos de suficiente desarrollo, donde se realizan cultivos forrajeros estivales y/o verdes de invierno. Dadas las intervenciones que sufren, en estos potreros no se clasificó su vegetación.

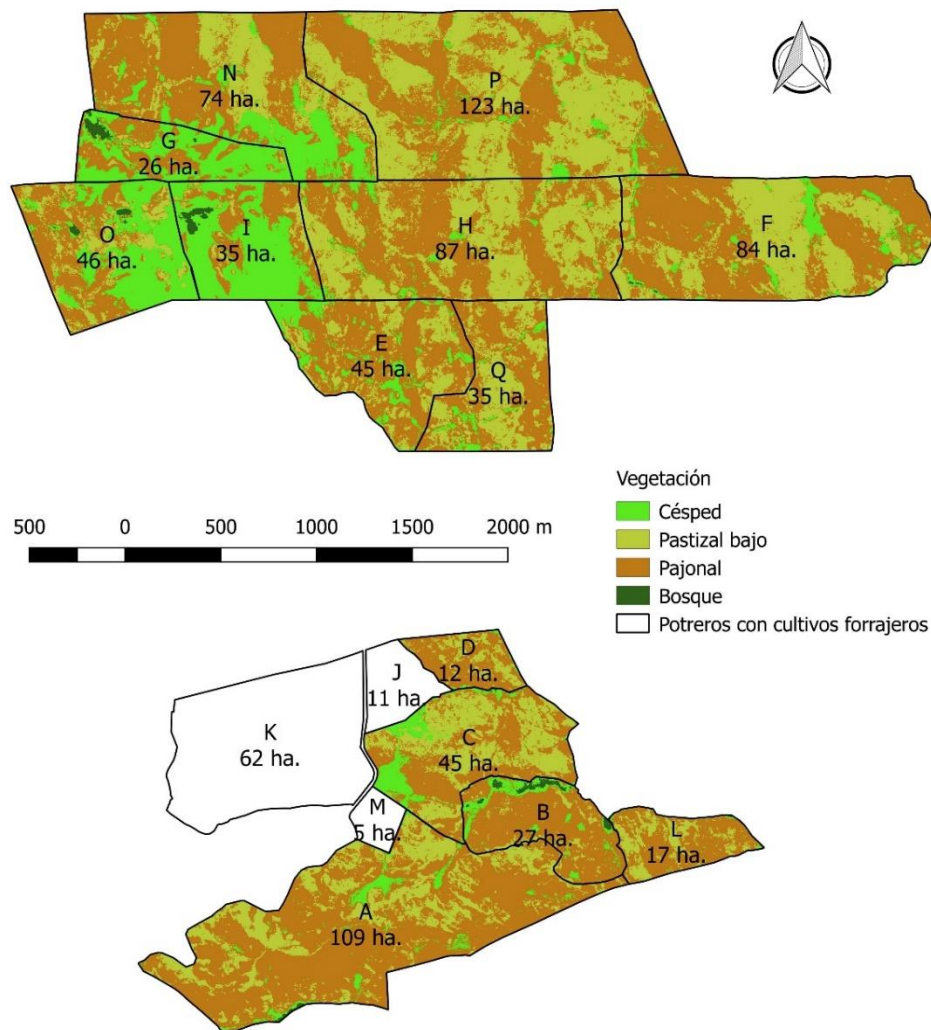


Figura: Mapas de vegetación de Las Pampillas (arriba) y Casa de Piedra (abajo). En blanco potreros donde, en los sectores de suelos más profundos se implantan cultivos forrajeros estivales o verdes invernales.

En la tabla a continuación se resumió la participación relativa de cada comunidad en cada potrero, la superficie total y la receptividad de cada potrero, así como los

promedios para los 14 potreros. Se detalló en negrita y cursiva tres potreros del establecimiento “Las Pampillas” que ocupan la zona que se denomina propiamente “Pampillas”, donde la comunidad Césped tuvo una participación muy superior al promedio. Estos tres potreros presentaron, en promedio, una participación relativa del 54,54% para la comunidad Césped, 8,37% para Pastizal bajo, 34,99% para Pajonal y 2,10% para Bosque. Tuvieron una superficie promedio de 35,60 ha y una receptividad promedio de 2,82 ha/EV. Excluyendo estos potreros, la receptividad promedio de los potreros “estándar” resultó en 4,76 ha/EV.

Tabla: Porcentaje de participación de cada comunidad, superficie y receptividad por potrero para todos los potreros de pastizal natural de los establecimientos “Casa de Piedra” y “Las Pampillas”.

Campo	Potrero	Participación (%)				Superficie (ha)	Receptividad ha/EV
		Césped	Pastizal b.	Pajonal	Bosque		
CP	A	3.74	26.18	69.87	0.21	109.00	4.97
CP	B	12.39	8.30	75.69	3.62	26.60	4.41
CP	C	11.69	43.80	44.38	0.13	44.80	4.57
CP	D	2.62	27.25	70.05	0.08	11.90	5.05
CP	L	2.05	29.56	68.14	0.26	16.80	5.13
LP	E	14.97	21.83	63.20	0.00	45.00	4.22
LP	F	6.44	37.05	56.42	0.08	84.00	4.86
LP	G	58.50	2.24	36.18	3.07	25.80	2.71
LP	H	3.95	43.25	52.80	0.00	87.00	5.10
LP	I	63.17	5.66	28.86	2.32	35.00	2.61
LP	N	20.15	24.51	55.33	0.00	74.20	3.97
LP	O	41.94	17.22	39.93	0.90	46.00	3.15
LP	P	3.78	48.19	48.04	0.00	123.00	5.16
LP	Q	5.52	40.09	54.39	0.00	34.60	4.95
Promedio:		17.92	26.80	54.52	0.76	54.55	4.35

Los potreros que presentaron mayor participación de la comunidad Césped (tipo “Pampillas” propiamente dichas), son los que presentan entonces una mayor superficie de los suelos de más desarrollo (Capítulo 2). Es, por ello, el tipo de potreros que se utilizan para la siembra cultivos forrajeros estivales y/o verdeos invernales. Se calculó la receptividad global del establecimiento “Casa de Piedra” asignándoles la receptividad

promedio de ese tipo de potreros, a los potreros que se siembran. La receptividad global de ese establecimiento resultó en 4,04 ha/EV, y la del establecimiento “Las Pampillas” en 4,20 ha/EV. Como este último establecimiento maneja rodeos y cargas distintas, dividiendo el campo en dos sectores, se calculó también la receptividad para cada sector. Para la zona de las “Pampillas” propiamente dichas resultó en 2,85 ha/EV y para el resto del campo en 4,74 ha/EV.

Discusión

El establecimiento “Casa de Piedra” presentó una carga de 1,80 ha/EV, superando la receptividad estimada de 4,04 ha/EV. Los cultivos forrajeros deben estar superando la productividad que tendrían esos potreros como pastizales, contribuyendo a sostener la carga actual. Aun así, este establecimiento suplementa cada invierno su rodeo con rollos de alfalfa y semilla de algodón o similares. Esto refuerza la conclusión de que presenta una carga por encima de su receptividad, aun con el aporte extra (no estimado) de la superficie cultivada.

El establecimiento “Las Pampillas” presentó una carga global de 3,90 ha/EV que también se ubicó por encima, pero más cerca, de la receptividad calculada (4,20 ha/EV). Este establecimiento maneja dos rodeos con cargas distintas en sectores del campo de diferente receptividad. En ambos presentó cargas superiores, pero cercanas, a las distintas receptividades estimadas. Para el sector de Pampillas propiamente dichas presentó una carga de 2,50 ha/EV y para el resto del campo presentó una carga de 4,50 ha/EV.

Conclusiones

Ambos establecimientos presentaron cargas superiores a las receptividades estimadas, sin embargo el establecimiento que presentó un manejo más adaptado a la realidad de sus diferentes ambientes y que tuvo como único recurso forrajero el pastizal, presentó cargas mucho más cercanas a las estimadas.