



Productividad de los pastizales naturales en diferentes unidades geomorfológicas de las Sierras Pampeanas de Argentina

Juan A. Scaglia^{1,2,*} , Daniel G. Flores^{2,3} , Mariana Martinelli^{1,3}

(1) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. EEA-San Juan. Calle 11 y Vidart CP 5427 Villa Aberastain, San Juan, Argentina.

(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

(3) Departamento de Biología. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan. Av. José I. de la Roza y Meglioli, Rivadavia, San Juan J5402DSC, Argentina.

* Autor de correspondencia: Juan A. Scaglia [joposcaglia@gmail.com]

> Recibido el 01 de marzo de 2021 - Aceptado el 18 de junio de 2021

Como citar: Scaglia, J. A., Flores, M., Martinelli, M. 2021. Productividad de los pastizales naturales en diferentes unidades geomorfológicas de las Sierras Pampeanas de Argentina. *Ecosistemas* 30(2): 2104. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2104>

Productividad de los pastizales naturales en diferentes unidades geomorfológicas de las Sierras Pampeanas de Argentina

Resumen: En las zonas semiáridas de Argentina existe una variación de los pastizales naturales asociados a diferentes unidades de paisaje. Los modelos digitales de terreno son herramientas que han permitido el estudio entre las variables físicas del ambiente y la dinámica y patrones de los ecosistemas semiáridos. Por tal motivo el objetivo de nuestro trabajo fue determinar si existen diferencias en la productividad y composición botánica del pastizal natural en las diferentes unidades geomorfológicas identificadas. La cuantificación de la cantidad de biomasa se realizó por el método del doble muestreo y composición botánica mediante el método de asignación de rangos. Para la determinación de las propiedades geomorfológicas se utilizó un modelo digital del terreno en donde se consideró: pendiente, orientación de laderas, altitud, índice de rugosidad del terreno e índice de humedad topográfica. Se encontraron diferencias en cuanto a la productividad y composición botánica del pastizal natural, influenciado de forma directa e indirecta por las características geomorfológicas como la altura, pendiente y rugosidad. La historia de sobrepastoreo a lo largo de décadas en el piedemonte del área de estudio ha contribuido a la degradación del pastizal mediante la pérdida de especies perennes palatables y la instalación de especies anuales y de baja calidad. Es necesario agregar estaciones de muestreo con escalas temporales más amplias teniendo en cuenta la presión de pastoreo.

Palabras clave: composición botánica; modelo digital del terreno; semiárido; variables topográficas

Productivity of natural grasslands in different geomorphological units of the Sierras Pampeanas of Argentina

Abstract: In the semi-arid areas of Argentina there is a variation of the natural grasslands associated with different landscape units. Digital terrain models are tools that have allowed the study of the physical variables of the environment and the dynamics and patterns of semi-arid ecosystems. For this reason, the objective of our work was to determine if there are differences in the productivity and botanical composition of the natural grassland in the different geomorphological units identified. The quantification of the amount of biomass was carried out by the method of double sampling and botanical composition by the method of assigning ranges. To determine the geomorphological properties, a digital model of the terrain was used, where the following were considered: slope, slope orientation, altitude, terrain roughness index and topographic humidity index. Differences were found in terms of the productivity and botanical composition of the natural grassland, influenced directly and indirectly by geomorphological characteristics such as height, slope and roughness. The decades-long history of overgrazing in the foothills of the study area has contributed to grassland degradation through the loss of palatable perennials and the installation of low-quality and annual species. It is necessary to add sampling stations with broader time scales taking into account grazing pressure.

Keywords: botanical composition; digital terrain model; semi-arid; topographic variables

Introducción

Los pastizales son ecosistemas que han sido ampliamente estudiados desde el punto de vista fisonómico-florístico, teniendo en cuenta la heterogeneidad y productividad en diversas áreas y a diferentes escalas (Borelli y Oliva 2001; Calella y Corzo 2006; Distel 2013; Rusch et al. 2017). Sin embargo, la información sobre la productividad de pastizales en zonas semiáridas es escasa. Estimar la productividad de los pastizales naturales no es una tarea sencilla debido a la gran heterogeneidad espacial y temporal de la vegetación (Blanco et al. 2019).

La dinámica y los patrones en los ecosistemas a escala regional están determinados por el clima; principalmente temperatura y humedad. A escala local la geomorfología y los procesos formadores de relieve influyen en la dinámica de la vegetación asociada (Kathleen et al. 1996). En las zonas áridas y semiáridas el recurso más limitante es el agua; la influencia de la geomorfología se atribuye a los efectos sobre el balance hídrico (Acebes et al. 2010). En la microtopografía del terreno, los sitios bajos son más húmedos y registran menos temperatura que las posiciones altas (Cowles et al. 2018). Estos cambios en la disponibilidad del agua crean diferencias en las propiedades físicas y químicas del suelo, que generan

diferencias en la composición botánica de las diferentes unidades del paisaje (Holtmeier y Broll 2012). En consecuencia, en los ambientes áridos existen diferencias en la vegetación de los interfluvios y los cauces activos respondiendo principalmente a la escorrenría real y, por lo tanto, a la disponibilidad de agua edáfica a largo plazo (Le Houérou et al. 2006). A su vez estos cambios en la micro topografía pueden estar relacionados con procesos erosivos vinculados a cambios climáticos o actividades antrópicas (Świntoniak 2014).

Los modelos digitales de terreno han permitido el estudio que relacionan las variables físicas del ambiente, con la dinámica y patrones de los ecosistemas (Yetemen et al. 2010). Las características utilizadas para tales estudios son la pendiente, curvatura, orientación y área de captación de escorrenría que impactan en la humedad del suelo y productividad de las diferentes unidades de paisaje (Flores Cervantes et al. 2014). Es necesario conocer las relaciones que involucran a procesos geomorfológicos con patrones dinámicos de la vegetación, ya que los procesos actúan condicionados por distintos factores, tales como la estructura de la morfología de la cuenca, erodabilidad del material y de la vegetación (Flores et al. 2015).

Existe un interés en la degradación de los pastizales como consecuencia de la actividad humana, sumado al cambio climático; principalmente en las regiones áridas y semiáridas. La composición botánica, desertificación y productividad se utilizan como indicadores de la condición de las comunidades de pastizales (Dongmei Han et al. 2018). La condición de un pastizal va a estar definida por la situación actual de una comunidad en relación con la comunidad clímax (Dyksterhuis 1949). Para determinar la condición del estado de los pastizales se han utilizado diferentes métodos, que en general se centran en la determinación de la productividad y la composición botánica del mismo (Westoby et al. 1989; Borelli y Oliva 2001; Calella et al. 2006; Diaz 2007; Wiegand, et al. 2008; Distel 2013; Rusch et al. 2017). Por otro lado, también se han utilizado indicadores como componentes observables de un ecosistema que están relacionados con uno o más atributos. Pyke et al. (2002) describen tres atributos del ecosistema que pueden ser evaluados utilizando múltiples indicadores. Ellos son: 1) estabilidad del suelo para evitar la erosión, 2) capacidad del sitio para capturar, almacenar y de forma segura liberar agua que entra en el sistema, y 3) poder soportar una integridad biológica en cuanto a su estructura y funcionalidad dentro de una variabilidad normal, sumado a la capacidad para recuperarse luego de una perturbación.

La variabilidad en las precipitaciones, y los periodos de sequias forman parte de las características de las regiones áridas y semiáridas (Illius et al. 1998). Esto, sumado a la variación a escala espacial, determina que en las zonas áridas exista una variación en la dinámica espacio temporal de la vegetación asociada. Por tal motivo el objetivo de nuestro trabajo fue determinar si existen diferencias en la productividad y composición botánica del pastizal natural en las diferentes unidades geomorfológicas identificadas. En el sitio de estudio el pastoreo, la explotación forestal y los incendios han sido los principales modeladores del paisaje. Estas acciones en interacción con factores naturales climáticos y geomorfológicos han delimitado comunidades vegetales con diferentes estructura y composición. Bajo este contexto la hipótesis de nuestro trabajo es que existen diferencias en la distribución, composición florística y productividad de los pastizales en las diferentes unidades de paisaje. Conocer la productividad y composición botánica del pastizal nos permitirá obtener criterios de manejo, con el objeto de lograr una producción del ganado domestico sustentable biológica y económicamente.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el departamento Valle Fértil entre los paralelos 30°47' y 30°44' S y los meridianos de 67°27' y 67°22' O ocupando una superficie de 900 ha. aproxi-

madamente (Fig. 1). El clima, según la clasificación propuesta por Köppen (1936), se considera de estepa (BSwk). La temperatura media anual es inferior a 18 ° C, y la media del mes más caluroso superior a 18°C (Pereyra 1996). Para las sierras de Valle Fértil se citan precipitaciones apenas por encima de 400 mm con valores puntuales de 505 mm (Poblete y Minetti 1999). El 70 % de las precipitaciones ocurren en el periodo de la primavera y verano entre los meses de octubre y marzo.

Desde el punto de vista fitogeográfico pertenece a la provincia del Chaco, distrito Chaqueño Serrano (Cabrera 1994). La fisonomía de la vegetación es un bosque abierto que se ubica entre 800 y 1400 msnm, encontrándose bosques aislados principalmente en valles, quebradas y laderas escarpadas compuestos por molle de beber (*Lithraea ternifolia*), tala (*Celtis tala*), quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*), entre otras especies de Prosopis y Vachellia.

Uso actual y estado del pastizal

El sitio de estudio ha sido utilizado mayormente para la producción caprina y bovina de cría; el pastoreo, la explotación forestal y los incendios para el rebrote de los pastizales, han sido las principales actividades económicas en el pasado. En la actualidad y en el pasado reciente (6 años aproximadamente), no ha existido una utilización del pastizal natural para la cría de ganado doméstico en las zonas de las sierras, no siendo así en el piedemonte que ha sido utilizado para el pastoreo hasta la actualidad.

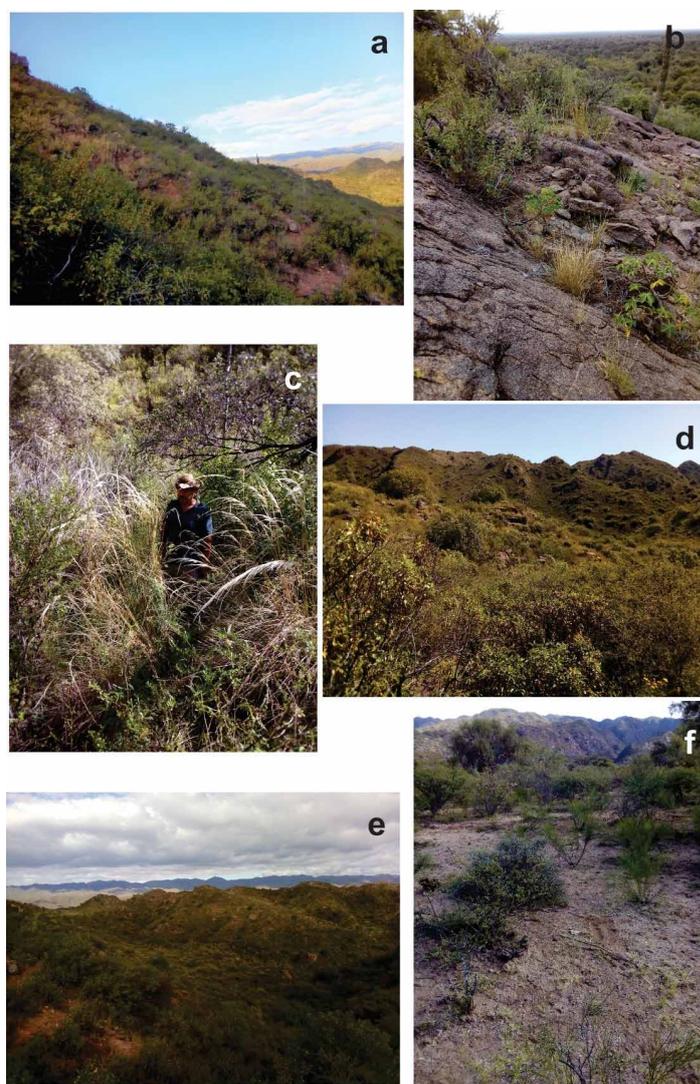


Figura 1. a) Sierras Ladera Oeste (SLO), b) Sierras Bajas Ladera Este (SBLE), c) Cauces activos (AC), d) Sierras Ladera Este (SLE), e) Vista panorámica del área de estudio, f) Piedemonte.

Figure 1. a) Active Channels (AC), d) Sierras Ladera Este (SLE), e) Panoramic view of the study area, f) Piedemonte.

Marco Geomorfológico

A escala semidetallada, el área de estudio presenta una variedad de unidades geomorfológicas. Los sectores que se diferenciaron fueron: Sierras Ladera Oeste (SLO), Ladera Este (SLE), Cauces Activos (AC), Sierras Bajas Ladera Este (SBLE) y Piedemonte (PM) (Fig. 1). Una breve descripción de cada una se presenta a continuación.

Sierras Bajas Ladera Este (SBLE)

Están ubicadas en los puntos más bajos de la sierra, contiguo a la bajada pedemontana; se observa una elevada exposición de la roca madre fragmentada de forma angular. Los tamaños de los fragmentos de rocas en general son mayores a 10 cm de eje mayor. Entre las grietas de la roca madre se observa acumulación de sedimentos arenosos gruesos y finos. Los principales procesos geomorfológicos observados son erosión superficial, acumulación de sedimentos junto con materia orgánica en grietas.

Sierras Laderas Este (SLE)

Están ubicadas en los puntos más elevados del área de estudio en los 1200 msnm aproximadamente, poseen menos pendiente que las laderas oeste, con valores que oscilan entre los 20 a 30 %. Se observa menos exposición de la roca madre en comparación con las Sierras Bajas Ladera Este (SBLE). Los tamaños de los fragmentos de roca oscilan entre los 5 y 40 cm de eje mayor. Se observa mayor desarrollo de suelo y acumulación de materia orgánica en relación con las otras áreas serranas del área de estudio.

Sierras Ladera Oeste (SLO)

Están ubicadas en los puntos más elevados de la sierra, cerca de la cima y corresponden a sitios con elevada pendiente y con una pequeña cubierta de rocas fragmentadas, angulares y con poca selección producto de la meteorización hídrica y termoclastismo. Los tamaños de los fragmentos de rocas oscilan entre 5 y 40 cm de eje mayor. Por otro lado, entre los fragmentos de rocas se acumula sedimentos finos areno-arcillosos.

Cauces activos (AC)

Esta unidad corresponde a los canales temporales que transportan agua y sedimento producto de las precipitaciones torrenciales de la región. Posee una actividad hídrica moderada evidenciada por la presencia de bloques de tamaño medio, angulares y gravas gruesas sin selección. Los procesos como escorrentía superficial, erosión concentrada, erosión lateral se evidencian en estas unidades geomorfológicas. La cobertura de la vegetación es alta dada por los árboles que se han instalado en estas unidades y han superado las grandes crecidas que bajan por estos sectores en épocas estivales.

Piedemonte (PM)

Esta unidad está formada por depósitos de abanicos aluviales que conforman más de un nivel de deposición. Sus depósitos integrados, principalmente por rocas que provienen de la sierra de diversos tamaños. Los fragmentos de rocas de mayor tamaño se concentran en la parte proximal y, a medida que se avanza hacia la parte distal.

Sitios de muestreos

En el presente estudio se consideraron parcelas de referencia para el Piedemonte (PM), Cauces Activos (AC) y Sierras (SLE, SLO y SBLE) por separado (Fig. 1). Para determinar el aporte de materia seca y la composición botánica de la misma se utilizaron 100 unidades muestrales de 0.25 m² cada una (0.5 x 0.5 m) por cada área homogénea identificada. Para mejor representación del área de estudio las muestras se dividieron en 10 transectos de 10 muestras separadas cada metro (entre muestra y muestra) de forma sistemática. Cada transecto tenía una longitud de 15 m en donde tomaban las coordenadas de inicio y final; las mismas se encuen-

tran representadas en la Figura 2 en el mapa que muestra la variación de altura de la zona de estudio.

Propiedades topográficas de las unidades geomorfológicas

Una vez identificadas y clasificadas las unidades geomorfológicas, se procedió a determinar para cada una la pendiente, orientación de laderas, altitud, índice de rugosidad del terreno e índice de humedad topográfica.

La pendiente es un parámetro importante porque aporta información sobre la energía que pueden tener los procesos hídricos de la región como la intensidad de flujo de detritos, zonas con probable caída de rocas. Además, este parámetro ha sido utilizado para estudiar sus efectos de procesos como erosión superficial y erosión del suelo sobre la variación en la composición de la vegetación y la pérdida de suelos (Renard et al. 2011). Esta variable, juntamente con la orientación de laderas son consideradas las más importantes para estudiar los efectos de la topografía sobre el desarrollo de la vegetación (Chang y Tsai 2015; Carson y Kirby 1972).

$$SLOPE = \sqrt{H^2 + G} \text{ (Hengl y Reuter 2009).}$$

Donde:

S = pendiente

G = la primera derivada en la dirección x (df / dx) y

H = la primera derivada en la dirección y (df / dy)

La fórmula para el cálculo de la orientación de ladera (Aspect) es la siguiente:

$$A = 270^\circ + \arctan \frac{f_y}{f_x} - 90^\circ \frac{f_x}{[f_x]'} \text{ (Zhou y Liu 2004).}$$

El índice de humedad topográfica se utiliza como medida indirecta de procesos hidrológicos como los patrones espaciales de humedad del suelo y zonas probables a saturarse con agua (Bárdossy y Lehmann 1998). En relación con la vegetación, algunos estudios consideran que este parámetro es muy importante en la predicción de la riqueza y diversidad de especies (Zinko et al. 2005; Sørensen et al. 2006).

$$TWI = \ln ((TCA / FW) / \tan(S)) \text{ (Beven y Kirkby 1979).}$$

Donde:

TWI = Índice de humedad topográfica

TCA = Área total de captación de la cuenca

FW = Tamaño del flujo

S = Pendiente

Por otro lado, se calculó el índice de rugosidad del terreno, que es una medida indirecta de la irregularidad de la superficie y puede aportar información rápida sobre la heterogeneidad del territorio y de la disponibilidad de hábitats para las especies de plantas (Hobson 1972). Riley et al. (1999) proponen un modelo que calcula los valores del TRI para cada celda de la cuadrícula de un DEM. Este modelo ayuda a calcular el cambio total de elevación entre una celda de la cuadrícula y sus ocho celdas vecinas de la cuadrícula (Riley et al. 1999).

Extracción de datos del modelo digital de elevación

Para la obtención de los datos de los parámetros anteriormente descritos, se utilizó un DEM Alos Palsar de 12.5 m de resolución de pixel (Alaska Satellite Facility, 2018).

En general para extraer datos desde modelos digitales de elevación es necesario realizar un preprocesamiento, el mismo se realizó mediante el software SAGA GIS (Conrad et al. 2015). Una vez obtenido el DEM normalizado, se procesó mediante un "análisis bá-

sico del terreno” con el mismo software. Posteriormente, se seleccionaron los mapas Raster de cada una de las variables topográficas mencionadas y, posteriormente, se superpuso la capa de los puntos de muestreo en el campo. Luego, mediante el método de extracción de puntos, se obtuvo el valor de cada una de las variables topográficas por cada punto de muestreo (Fig. 2).

Análisis de los Datos

Determinación de biomasa y composición botánica

En el mes de abril (principios del otoño), luego de la etapa de crecimiento, se evaluó la oferta forrajera promedio del estrato de gramíneas del área de estudio, mediante doble muestreo. Este método consiste en fijar cinco unidades muestrales (parcela) de re-

ferencia y corte, una por cada cantidad estimada de materia seca. Luego con la escala fijada se estima la biomasa y la composición botánica. Se establecieron 100 parcelas por unidades paisajes identificadas utilizando transectas al azar sistematizadas (Díaz 2007, Blanco et al. 2020).

Para determinar la composición botánica de la forrajimasa del estrato graminoso se utilizó el método de asignación de rangos. El método es considerado apropiado para la estimación de la composición botánica de la materia seca de pastizales heterogéneos, utilizando líneas de muestreos de forma sistemática y colocadas al azar, todo esto organizadas en un muestreo estratificado según clases de condición forrajera del pastizal y en cada una de ellas. Para ordenar los cálculos se utilizó una planilla como la siguiente (Díaz 1999):

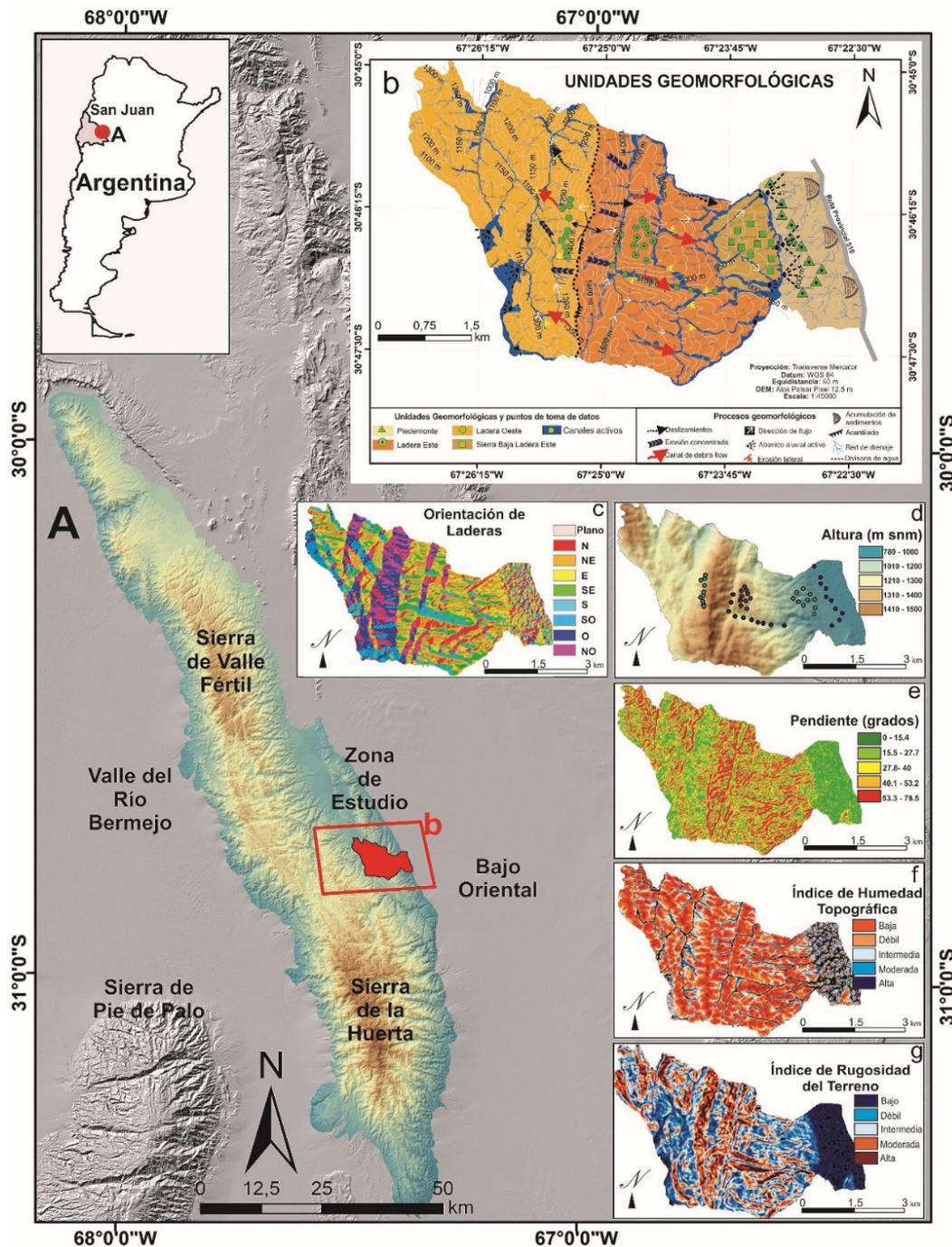


Figura 2. Ubicación del área de trabajo, a) La sierra de Valle Fértil – La Huerta está ubicada en el este de San Juan y pertenece en su mayoría a la Provincia Fitogeográfica del Chaco b) mapa geomorfológico del área de estudio, c) mapa de orientación de laderas, d) mapa que muestra la variación de altura de la zona de estudio, e) mapa de pendientes, f) mapa del índice de humedad topográfica del terreno, g) mapa del índice de rugosidad del terreno.

Figure 2. Location of the work area, a) The Sierra de Valle Fértil - La Huerta is located in the east of San Juan and belongs mostly to the Phytogeographic Province of Chaco b) geomorphological map of the study area, c) map slope orientation, d) map showing the variation in height of the study area, e) slope map, f) map of the topographic humidity index of the land, g) map of the terrain roughness index.

Especie	R1	R1*K1	R2*K2	R3*K3	$\sum R_i * K_i / \sum \sum R_i * K_i$
---------	----	-------	-------	-------	--

En donde:

R1: Especie que tiene el primer lugar o rango, por la cantidad de materia seca estimada en los cuadros observados.

R2: Especie que tiene el segundo lugar o rango, por la cantidad de materia seca estimada en los cuadros observados.

R3: Especie que tiene el tercer lugar o rango, por la cantidad de materia seca estimada en los cuadros observados.

K1= 8.04= Coeficiente empírico de ponderación para el rango R1.

K2=2.41= Coeficiente empírico de ponderación para el rango R2.

K3= 1 = Coeficiente empírico de ponderación para el rango R3.

K1, K2 y K3 Coeficientes comprobados empíricamente por matemáticos Sudamericanos (Díaz 1999).

Análisis Estadísticos

Los datos de biomasa se transformaron mediante la herramienta de suavizado y ajustes de regresión localmente ponderada (LOWESS). Para detectar diferencias en cuanto a la cantidad de materia seca por hectárea se realizó análisis de la varianza no paramétrico Kruskal Wallis debido a que los datos no cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza.

La variación en la composición botánica de las diferentes áreas se analizó utilizando un análisis de componentes principales (ACP) basado en una matriz de correlación entre las diferentes especies presentes y su aporte a la materia seca forrajera (expresada en kilogramos de materia seca por especie). Las variables explicativas

de los resultados del ACP fueron las que tuvieron un coeficiente de correlación mayor al 50% con los primeros ejes de ordenación.

Para determinar si la productividad, riqueza de especies y ordenación de las especies vegetales podía ser explicada mediante la respuesta diferencial de las variables geomorfológicas analizadas, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre los resultados de la ordenación y las variables geomorfológicas del Modelo Digital de Terreno (MDT) de altura, pendiente, humedad, rugosidad y orientación.

Para detectar diferencias en las variables geomorfológicas se realizó un análisis de la varianza entre la altura, pendiente, humedad, rugosidad y orientación. Debido a que algunos conjuntos de datos no eran normales, ni presentaban homogeneidad de varianza, fueron previamente transformados a raíz cuadrada. El mismo proceso tuvieron los datos de riqueza de especies correspondientes a las diferentes áreas. Las medias se compararon utilizando las pruebas de Tukey. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software Infostat versión 2020 (Di Rienzo et al. 2020).

Resultados

Composición botánica del pastizal

En el área de estudio se relevaron 25 especies correspondientes al estrato herbáceo de gramíneas y una especie de la familia de las *Cyperaceae*. Los géneros con más especies son: *Setaria*, *Pappophorum*, *Leptochloa*, *Bouteloua*, *Aristida* y *Bothriochloa*. Las 26 especies relevadas esta distribuidas en 17 géneros de las cuales el más del 90 % son perennes y más del 7% aproximadamente son anuales (Tabla 1).

Tabla 1. Composición botánica del pastizal expresada en kilogramos de materia seca por hectárea, para las áreas: Pie de Monte (PM), Sierras Bajas Ladera Este (SBLE), Cauces Activos (AC), Sierras Ladera Este (SLE) y Sierras Ladera Oeste (SLO).

Table 1. Botanical composition of the grassland expressed in kilograms of dry matter per hectare, for the areas: Pie de Monte (PM), Sierras Bajas Ladera Este (SBLE), Active Channels (AC), Sierras Ladera Este (SLE) and Sierras Ladera West (SLO).

Especie	Unidades Geomorfológicas					Ciclo de Vida
	PM	SBLE	SLO	SLE	AC	
	Productividad (kg MS ha ⁻¹)					
<i>Bouteloua aristoides</i>	81.9	13.5				Anual
<i>Setaria leucopila</i>	8.7	6.6		9.1		Perenne
<i>Neobouteloua lophostachya</i>	32.5					Perenne
<i>Leptochloa crinita</i>	1.7					Perenne
<i>Pappophorum philippianum</i>	4.9					Perenne
<i>Digitaria californica</i>	8.7	6.6		9.1		Perenne
<i>Sporobolus pyramidatus</i>	8.4					Perenne
<i>Setaria sp</i>	8.1					Perenne
<i>Bothriochloa springfieldii</i>				9.1		Perenne
<i>Aristida mendocina</i>		27.3	159.9	346		Perenne
<i>Heteropogon contortus</i>		104.5	151.2	299.6		Perenne
<i>Pappophorum pappiferum</i>		6.6		18.1		Perenne
<i>Bouteloua curtipendula</i>			136.9	18.1	31.5	Perenne
<i>Pycneus niger</i>				27.2		Perenne
<i>Eragrostis lugens</i>				18.1		Perenne
<i>Cottea pappophoroides</i>				23.6		Perenne
<i>Leptochloa dubia</i>				11.8		Perenne
<i>Leptochloa pluriflora</i>				45.4		Perenne
<i>Pappophorum caespitosum</i>			33.5	20.8		Perenne
<i>Setaria lachnea</i>				18.1	78.9	Perenne
<i>Gouinia latifolia</i>				9.1	157.9	Perenne
<i>Schizachyrium spicatum</i>			67	18.1		Perenne
<i>Aristida adscensionis</i>		109.4				Anual
<i>Jarava ichu</i>					1252.5	Perenne
<i>Bothriochloa alta</i>					47.3	Perenne
<i>Paspalum malacophyllum</i>					3.1	Perenne
Riqueza total	8	7	5	16	6	

El análisis de componentes principales mostro un patrón de variación de la composición botánica de la forrajimasa proveniente de las diferentes unidades geomorfológicas seleccionadas para el muestreo. Las dos primeras componentes principales permitieron explicar el 72% de la variabilidad total de las especies presentes y separó en cuatro las áreas seleccionadas: Piedemonte (PM), al mismo tiempo de separar los Cauces Activos (AC), Sierras Ladera Oeste (SLO) y Sierras Ladera Este (SLE). Mientras que las Sierras Bajas Ladera Este (SBLE) en comparación con las otras áreas no presenta una alta relación con la composición botánica de la biomasa (Fig. 3).

Las comunidades que se encuentran en las sierras estuvieron dominadas por las especies *Aristida mendocina* y *Heteropogon contortus*, al mismo tiempo de tener contribuciones de las especies *Leptochloa pluriflora*, *Pappophorum caespitosum*, *Pappophorum pappiferum*, *Bothriochloa springfieldii* y *Leptochloa dubia*. Entre los valores negativos más bajos del CP1 se encuentran las especies *Bouteloua aristoides*, *Neobouteloua lophostachya*, *Sporobolus pyramidatus* y *Pappophorum philippianum* correspondientes al área del Piedemonte. Otras especies que también tuvieron valores negativos en el CP1 fueron *Jarava ichu*, *Bothriochloa alta* y *Paspalum malacophyllum* asociadas a los Cauces Activos. En el CP2 también explica la variación de la composición botánica, en donde se observan valores positivos y una alta presencia de *Bouteloua aristoides*, *Setaria leucopila*, *Neobouteloua lophostachya*, *Leptochloa crinita*, *Pappophorum philippianum*, *Digitaria californica* y *Sporobolus pyramidatus* en el Piedemonte, mientras que en los Cauces Activos dominaron las especies *Jarava ichu* y *Gouinia latifolia*; con la presencia de *Setaria lachnea*, *Paspalum malacophyllum* y *Bothriochloa alta* los cuales obtuvieron los valores más negativos en el CP2 (Tabla 2).

Productividad del pastizal en las unidades geomorfológicas

En la evaluación de la cantidad de materia seca por hectárea se encontraron diferencias significativas ($X^2= 202.98$, $p=0.0001$) en

Tabla 2. Composición botánica del pastizal expresada en kilogramos de materia seca por hectárea, para las áreas: Pie de Monte (PM), Sierras Bajas Ladera Este (SBLE), Cauces Activos (AC), Sierras Ladera Este (SLE) y Sierras Ladera Oeste (SLO).

Table 2. Botanical composition of the grassland expressed in kilograms of dry matter per hectare, for the areas: Pie de Monte (PM), Sierras Bajas Ladera Este (SBLE), Active Channels (AC), Sierras Ladera Este (SLE) and Sierras Ladera West (SLO).

Especie	CP1	CP2
<i>Aristida adscensionis</i>	-0.07	0.05
<i>Aristida mendocina</i>	0.96	-0.05
<i>Bothriochloa alta</i>	-0.43	-0.67
<i>Bothriochloa springfieldii</i>	0.93	0.09
<i>Bouteloua aristoides</i>	-0.47	0.87
<i>Bouteloua curtipendula</i>	0.04	-0.48
<i>Cottea pappophoroides</i>	0.93	0.09
<i>Digitaria californica</i>	0.4	0.83
<i>Eragrostis lugens</i>	0.93	0.09
<i>Gouinia latifolia</i>	-0.38	-0.67
<i>Heteropogon contortus</i>	0.98	-0.05
<i>Jarava ichu</i>	-0.43	-0.67
<i>Leptochloa crinita</i>	-0.44	0.83
<i>Leptochloa dubia</i>	0.93	0.09
<i>Leptochloa pluriflora</i>	0.93	0.09
<i>Neobouteloua lophostachya</i>	-0.44	0.83
<i>Pappophorum caespitosum</i>	0.57	-0.24
<i>Pappophorum pappiferum</i>	0.93	0.12
<i>Pappophorum philippianum</i>	-0.44	0.83
<i>Paspalum malacophyllum</i>	-0.43	-0.67
<i>Pycnus niger</i>	0.93	0.09
<i>Schizachyrium spicatum</i>	0.27	-0.29
<i>Setaria lachnea</i>	-0.22	-0.67
<i>Setaria leucopila</i>	0.4	0.83
<i>Setaria sp</i>	-0.44	0.83
<i>Sporobolus pyramidatus</i>	-0.44	0.83

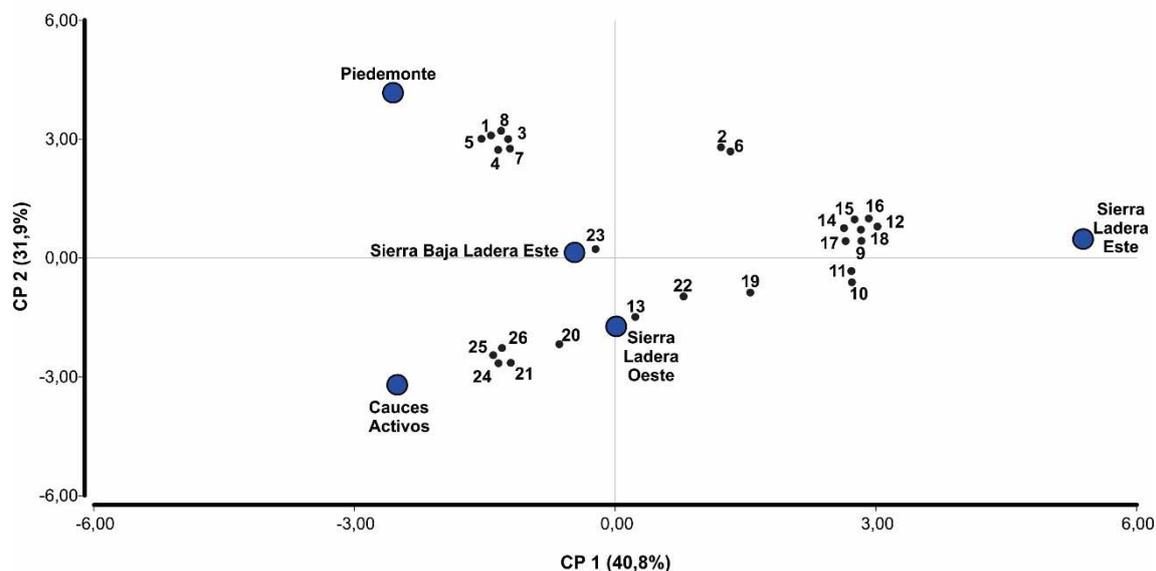


Figura 3. Diagrama de la ordenación del Análisis de Componentes Principales, de las diferentes áreas homogéneas identificadas: Piedemonte (PM), Sierras Ladera Oeste (SLO), Sierras Ladera Este (SLE), Sierras Bajas Ladera Este (SBLE) y Cauces Activos (AC). *Bouteloua aristoides* (1), *Setaria leucopila* (2), *Neobouteloua lophostachya* (3), *Leptochloa crinita* (4), *Pappophorum philippianum* (5), *Digitaria californica* (6), *Sporobolus pyramidatus* (7), *Setaria sp* (8), *Bothriochloa springfieldii* (9), *Aristida mendocina* (10), *Heteropogon contortus* (11), *Pappophorum pappiferum* (12), *Bouteloua curtipendula* (13), *Pycnus niger* (14), *Eragrostis lugens* (15), *Cottea pappophoroides* (16), *Leptochloa dubia* (17), *Leptochloa pluriflora* (18), *Pappophorum caespitosum* (19), *Setaria lachnea* (20), *Gouinia latifolia* (21), *Schizachyrium spicatum* (22), *Aristida adscensionis* (23), *Jarava ichu* (24), *Bothriochloa alta* (25) y *Paspalum malacophyllum* (26); representadas en el plano definido por las dos primeras componentes (CP1 y CP2).

Figure 3. Diagram of the arrangement of the Principal Component Analysis of the different homogeneous areas identified: Piedemonte (PM), Sierras Ladera Oeste (SLO), Sierras Ladera Este (SLE), Sierras Bajas Ladera Este (SBLE) and Active Channels (AC). *Bouteloua aristoides* (1), *Setaria leucopila* (2), *Neobouteloua lophostachya* (3), *Leptochloa crinita* (4), *Pappophorum philippianum* (5), *Digitaria californica* (6), *Sporobolus pyramidatus* (7), *Setaria sp* (8), *Bothriochloa springfieldii* (9), *Aristida mendocina* (10), *Heteropogon contortus* (11), *Pappophorum pappiferum* (12), *Bouteloua curtipendula* (13), *Pycnus niger* (14), *Eragrostis lugens* (15), *Cottea pappophoroides* (16), *Leptochloa dubia* (17), *Leptochloa pluriflora* (18), *Pappophorum caespitosum* (19), *Setaria lachnea* (20), *Gouinia latifolia* (21), *Schizachyrium spicatum* (22), *Aristida adscensionis* (23), *Jarava ichu* (24), *Bothriochloa alta* (25) and *Paspalum malacophyllum* (26); represented in the plane defined by the first two components (CP1 and CP2).

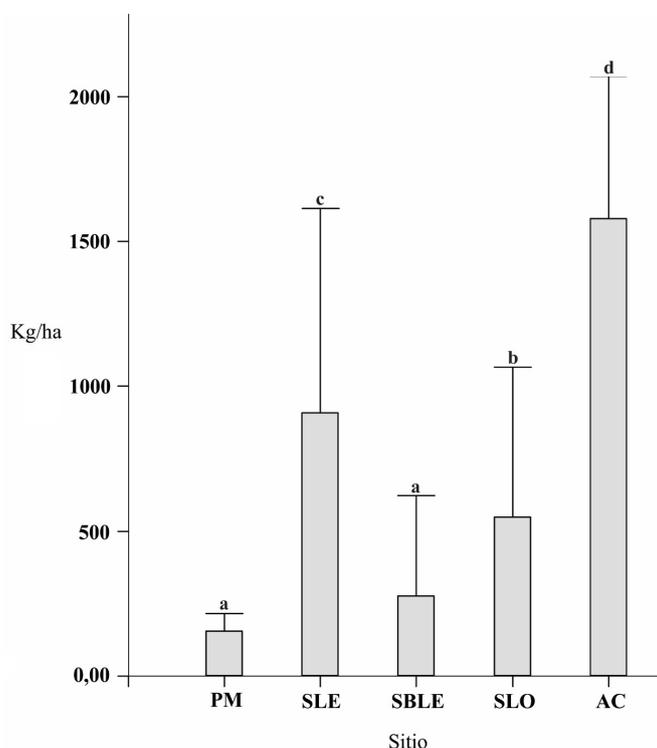


Figura 4. Kilogramos de materia seca por hectárea (Kg/ha), en el Piedemonte (PM), Sierras Bajas Ladera Este (SBLE), Cauces Activos (AC), Sierras Ladera Este (SLE) y Sierras Ladera Oeste (SLO). Letras distintas indican diferencias significativas entre las diferentes áreas (Kruskal Wallis; $p=0.0001$).

Figure 4. Kilograms of dry matter per hectare (Kg / ha), in the Piedmont (PM), Sierras Bajas Ladera Este (SBLE), Active Channels (AC), Sierras Ladera Este (SLE) and Sierras Ladera Oeste (SLO). Different letters indicate significant differences between the different areas (Kruskal Wallis; $p = 0.0001$).

tres de las cinco áreas evaluadas (Tabla 3 y Fig. 4). Existe una amplia variación, siendo las de mayor productividad los cauces activos (AC) seguido de las sierras ladera este (SLE), sierras ladera oeste (SLO), sierras bajas ladera este (SBLE) y piedemonte (PM) respectivamente. (Tabla 3 y Fig. 4).

Características topográficas de las unidades geomorfológicas

Existen diferencias significativas en las variables geomorfológicas de las áreas evaluadas, la altura fue significativamente mayor

Tabla 3. Promedio y error estándar de la altura, pendiente, humedad, rugosidad, exposición y Riqueza de cada una de las áreas muestreadas ($n=10$). Kilogramos de materia seca por hectárea y desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.0001$).

Table 3. Average and standard error for height, slope, moisture, roughness, exposure and richness of each of the sampled areas ($n=19$). Kilograms of dry matter per hectare and standard deviation. Different letters indicate significant differences ($p < 0.0001$).

	Unidades Geomorfológicas				
	PM	AC	SBLE	SLE	SLO
Altura (m asl)	795.5 / 0.82 a	1075.4 / 36.94 c	866.1 / 15.64 b	1 229.3 / 10,18 d	1 283 / 10.49 d
Pendiente (grados)	2.35 / 0.55 a	15.25 / 2.46 b	16.71 / 0.85 b	21.18 / 2.24 bc	29.85 / 2.66 c
Humedad	8.76 / 1.1 b	11.23 / 0.37 c	5.2 / 0.45 c	4.58 / 5.02 a	5.02 / 0.23 a
Rugosidad	0.57 / 0.08 a	3.03 / 0.43 b	2.79 / 0.28 b	4.12 / 0.52 b	6.34 / 0.46 c
Aspect (grados)	179.87 / 38.65 a	92.49 / 21.33 a	89.9 / 12.18 a	124.36 / 26.72 a	282.3 / 12.24 b
Riqueza	3.7 / 0.42 b	3.3 / 0.3 ab	2.2 / 0.44 a	4.6 / 0.64 b	3 / 0.26 ab
Kgms/ha	155.82 / 60.98 a	1 579.88 / 801.33 c	275,81 / 348.45 a	908.13 / 772.31 c	548.09/ 518.09 b

en las SLO y SLE respecto de las otras áreas, que también presentaron diferencias entre ellas. Para la pendiente los valores más bajos fueron los del PM mientras que los más altos fueron para SLO, existiendo una transición en las AC, SLE y SBLE que se diferenciaron significativamente de los anteriores. Los mayores índices de humedad se registraron en los AC y PM, no encontrándose diferencias entre las SLE y SLO. En cuanto a la rugosidad hubo diferencias, siendo mayor en las SLO, luego SLE, AC y SBLE y el valor más bajo se encuentra en el PM. También existieron diferencias significativas en cuanto a la exposición diferenciándose las SLO del resto de las áreas (Tabla 3).

Relaciones entre los parámetros geomorfológicos y las propiedades del pastizal

La altura es la propiedad topográfica que posee una correlación positiva y significativa con la productividad ($cc=0.61$, $p=0.001$). Las especies que muestran una alta productividad a medida que aumenta la altura topográfica son *Bothriochloa springfieldii*, *Aristida mendocina*, *Heteropogon contortus*, *Pappophorum pappiferum*, *Pycnus niger*, *Eragrostis lugens*, *Cottea pappophoroides*, *Leptochloa dubia* y *Leptochloa pluriflora*. Por otro lado, no se observa relaciones significativas con la riqueza de especies.

La humedad obtiene sus valores más altos en el piedemonte (Tabla 3) y en los canales activos de la sierra. Sin embargo, la productividad muestra diferencias significativas entre estos sitios siendo los canales activos más productivos, y con menor número de especies que el piedemonte (6 y 8 respectivamente). Estos sitios no comparten ninguna especie de herbáceas y las especies más productivas de cada unidad muestran valores muy diferentes (piedemonte: *Bouteloua aristoides* 81.9 kg/ha; canales activos: *Jarava ichu*; 1252.5 kg/ha). La humedad del terreno, además, muestra una correlación negativa con la altura, por tanto, la ladera oeste y la ladera este muestran los valores más bajos de humedad.

Respecto a la orientación de las laderas, existe una diferencia significativa en cuanto a la productividad, entre las laderas oeste respecto a las del este (Tabla 3). La ladera oeste posee una mayor pendiente que condicionaría la retención del agua de las precipitaciones, sumado a las horas de exposición a la radiación solar aumentaría la aridez del sitio condicionando la productividad de las especies aquí presentes.

Discusión

En el presente trabajo se encontraron diferencias en la producción y en la composición florística de la biomasa del estrato herbáceo de gramíneas en las diferentes áreas geomorfológicas

evaluadas. En los AC la especie que domina es *Jarava ichu con una producción de 1252.5 kg MS/ha*, seguido de *Gouinia latifolia con una producción de 157.9 kg MS/ha*. En las SLE la dominancia del pastizal está dada por *Aristida mendocina* y *Heteropogon contortus con una producción de 346 y 299.6 kg MS/ha* respectivamente. En las SLO más del 80 % de la materia seca del pastizal está formado por *Aristida mendocina*, *Heteropogon contortus* y *Bouteloua curtipendula con una producción de 159.9, 151.2 y 136.9 kg MS/ha* respectivamente. En las SBLE casi el 80 % de la forrajimasa está compuesta por *Aristida adscensionis* y *Heteropogon contortus con 109.4 y 104.5 kg MS/ha* respectivamente. El área de menor productividad es el piedemonte dominado por la especie *Bouteloua aristoides con un aporte de 81.9 kg MS/ha*, seguido de *Neobouteloua lophostachya con un aporte de 32.5 kg MS/ha* representado estas dos especies el 70 % de la materia seca del pastizal.

Los valores de materia seca obtenidos en este estudio oscilan entre 150 a 1500 kg MS/ha. Estos resultados coinciden con lo hallado en otras provincias fitogeográficas áridas y semiáridas de la Patagonia (Borelli y Oliva 2001), Puna, Monte y la región más seca del Chaco Árido, donde en general producen menos de 1000 kilogramos de materia seca por hectárea (Blanco et al. 2019). Sin embargo, nuestros resultados no coinciden con los valores hallados en otra región del Chaco Serrano con mayores precipitaciones, en donde la materia seca acumulada en un año a fue de 3400 kg/ha (Pucheta et al. 1998).

De las unidades geomorfológicas evaluadas, el piedemonte tiene los valores más bajos de biomasa (155.8 kg MS/ha), estos valores concuerdan con los datos informados por Anderson et al. (1980) y Díaz (2007) en donde mencionan que la productividad obtenida en sitios en condición pobre debido al sobrepastoreo está en un rango entre 150 y 300 kg MS/ha. En el piedemonte del área de trabajo, existe una alta presión de pastoreo debido a la ganadería extensiva bovina y caprina principalmente. El área pedemontana se encuentra con indicadores de sobrepastoreo: alta densidad de guano, dominio de especies anuales y relictos de especies perennes forrajeras bajo la protección de especies leñosas (Bacha et al. 2020). Además, diversos estudios realizados en diferentes áreas con sobrepastoreo, se ha determinado la proliferación de especies anuales con poca o nula calidad forrajera como *Neobouteloua lophostachya*, *Sporobolus pyramidatus*, *Boteloua aristoides*, *Eragrostis cilianensis* y *Aristida adscensionis*; en detrimento de las especies perennes más palatables y de mejor calidad (Caella y Corzo 2006; Díaz, 2007; de Villalobos, 2016). Los resultados obtenidos por Vavra et al. (2007), podrían explicar este patrón, mencionando que las especies anuales de ciclo corto son capaces de aprovechar las condiciones de pastoreo, mientras que las perennes se benefician de ambientes menos perturbados a lo largo del tiempo. Esto coincide con de Villalobos (2016), donde determinó que la presión de pastoreo de caballos salvajes favorecía la proliferación de especies que escapan al pastoreo, como ser especies de ciclo corto, de crecimiento en roseta o rastro, arbustos achaparrados afilos y el crecimiento de especies no forrajeras.

Se encontró que existe una correlación entre la CP1 y la altura, la rugosidad y los kilogramos de materia seca por hectárea, al mismo tiempo de existir una relación negativa entre la CP2 con la pendiente, y una relación positiva con la humedad. Esto coincide con los resultados de otras investigaciones en zonas áridas y semiáridas, donde la elevación fue una de las variables topográfica más fuerte que explica la distribución de las especies (Hoare et al. 1999; Yetemen et al. 2010; Casalini et al. 2019; Flores et al. 2019). Los efectos del relieve sobre la distribución de la vegetación son indirectos (Lin et al. 2011; Armas-Herrera et al. 2020). Las especies no responden directamente a la elevación sino a variables bióticas y abióticas (Casalini et al. 2019; Armas-Herrera et al. 2020). En zonas áridas la hidrología está determinada por la topografía, al mismo tiempo que la red de drenaje natural del terreno influye en los procesos formadores de relieve, condicionando de esta forma la distribución de la vegetación asociada (Buxbaum et al. 2007).

Respecto a la dirección de exposición, las laderas orientadas hacia el oeste muestran valores más bajos de productividad que las orientadas al este. La exposición al oeste influye en que esas laderas reciban mayor intensidad y tiempo de radiación solar (Hidalgo et al. 1993; Bennie et al. 2006). En cuanto a la riqueza de especies no hay una diferencia significativa respecto a la orientación de la ladera; esto coincide con Bennie et al. (2006) en donde los cambios en la orientación de las laderas hacia mayores radiaciones tuvieron menores cambios en la composición florística y fueron más tolerantes al estrés.

Por otro lado, la pendiente es mayor en la ladera oeste (SLO) respecto de las otras unidades geomorfológicas. Esta propiedad topográfica es muy importante en la distribución del agua proveniente de las precipitaciones favoreciendo la escorrentía superficial y disminuyendo la infiltración (Rossi 2013). Estos procesos geomorfológicos condicionan el almacenamiento de agua en superficie y de esta forma condicionan la distribución de las especies e influyen de manera indirecta en la productividad de las mismas. Nuestros resultados coinciden con estudios realizados por Bennie et al. (2006) en donde mencionan, para pastizales serranos, que la fertilidad y humedad del suelo disminuyen con el aumento de la pendiente.

Conclusiones

En el presente trabajo se encontraron diferencias en cuanto a la productividad y composición botánica del pastizal natural, influenciado de forma directa e indirecta por las características geomorfológicas como la altura, pendiente y rugosidad. La altura es la variable geomorfológica que mayor influencia tuvo en la productividad. Sin embargo, el efecto del índice de humedad en la producción de biomasa puede estar influenciado de forma negativa por la degradación del pastizal a causa del sobrepastoreo.

El piedemonte tiene las características geomorfológicas (mayores índices de humedad, poca pendiente) para favorecer la productividad de especies herbáceas, sin embargo, la historia de sobre pastoreo a lo largo de décadas ha contribuido a la degradación del pastizal mediante la pérdida de especies perennes forrajeras y la instalación de especies anuales y de baja calidad forrajera. Por tal motivo, es necesario determinar la receptividad ganadera de las diferentes unidades de paisaje; con el fin de optimizar la distribución de las aguadas y potreros. Y de esta forma poder planificar la producción de manera sustentable biológica y económicamente.

Es necesario establecer los estados ecológicos del pastizal en las diferentes unidades geomorfológicas con el fin de conocer el grado de resiliencia de los mismo. De esta forma se podrán tener criterios de manejo que evite la degradación de estados ecológicos buenos, mejorar estados regulares y malos, al mismo tiempo de evitar la extinción de poblaciones locales.

El estudio de la vegetación en interacción con las características geomorfológicas nos permitió avanzar en la comprensión de cómo influyen las características abióticas del ambiente en la dinámica espacial del mismo. Haciéndose necesario en el futuro agregar estaciones de muestreo con escalas temporales más amplias teniendo en cuenta, además, la presión de pastoreo. Esto, nos permitirían avanzar en estudios de la variabilidad espacio-temporal del recurso forrajero herbáceo de zonas semiáridas como el área estudio.

Agradecimientos

Se agradece a la Ley 26331/2007 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de Bosques por brindar el financiamiento para las campañas de campo, a Ramón por la colaboración como guía del área de estudio, a la familia Lozano por permitirnos trabajar en el campo de su propiedad, así como a los dos revisores anónimos por las valiosas sugerencias que enriquecieron este manuscrito.

Contribución de los autores

Juan A. Scaglia: Conceptualización, Investigación, Metodología, Recursos, Redacción - borrador original, Visualización, Redacción - revisión y edición. Daniel G. Flores: Conceptualización, Investigación, Metodología, Recursos, Redacción - borrador original, Visualización, Redacción - revisión y edición. Mariana Martinelli: Conceptualización, Investigación, Metodología, Recursos, Redacción - borrador original, Visualización, Redacción - revisión y edición.

Referencias

- Acebes, P., Traba, J., Peco, B., Reus, M.L., Giannoni, S.M., Malo, J.E. 2010. Abiotic gradients drive floristic composition and structure of plant communities in the Monte Desert. *Revista Chilena de Historia Natural* 83(3): 395-407.
- Alaska Satellite Facility. 2018. ASF Data Search Vertex. Disponible en: <https://search.asf.alaska.edu>
- Armas-Herrera, C.M., Badía-Villas, D., Mora, J.L., Gómez, D. 2020. Plant-soil relationships underlying subalpine grassland patchiness. *Science of The Total Environment* 712: 134483.
- Anderson, D.L., Del Aguila, J.A., Marchi, A., Vera, J.C., Oriente E.L., Bernardón, A. 1980. Manejo racional de un campo en la región árida de los Llanos de La Rioja, (República Argentina), Parte I: Manejo del pastizal natural y producción ganadera, pp. 1-61. INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Bacha, E.F., Privitello, M.J., Gabutti, E.G., Cozzarin, G.I., Ruiz, M.O., Vetore, O.S., Garbulsky, M. 2020. Gradiente de pastoreo bovino desde la aguada según la permanencia animal en *Digitaria eriantha* diferida. *Semiárida*, 22, 9-15.
- Bennie, J., Hill, M.O., Baxter, R., Huntley, B. 2006. Influencia de la pendiente y el aspecto en el cambio de vegetación a largo plazo en los pastizales de creta británica. *Revista de ecología* 94(2): 355-368.
- Beven, K.J., Kirkby, M.J. 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Journal* 24(1): 43-69.
- Blanco, L.J., Durante, M., Ferrante, D., Quiroga, R.E., Demaria, M.R., Di Bella, C.M. 2019. Red nacional de monitoreo de pastizales naturales de Argentina: productividad forrajera de la vegetación extrapampeana. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 45(1): 89-108.
- Blanco, L.J., Quiroga, E. 2020. *Manual para evaluación de pastizales naturales del Chaco Árido con fines ganaderos*. INTA Ediciones. Estación Experimental Agropecuaria La Rioja. Buenos Aires, Argentina.
- Bárdossy, A., Lehmann, W., 1998. Spatial distribution of soil moisture in a small catchment. Part 1: geostatistical analysis. *Journal of Hydrology* 206(1-2): 1-15.
- Borrelli, P., Oliva, G. 2001. Evaluación de Pastizales. En: Borrelli, P., Oliva, G. *Ganadería ovina sustentable en la Patagonia Austral. Tecnología de manejo extensivo*. Pp. 161-182. Ediciones INTA. Buenos Aires. Argentina.
- Buxbaum, C.A.Z., Vanderbilt, K. 2007. Soil heterogeneity and the distribution of desert and steppe plant species across a desert-grassland ecotone. *Journal of Arid Environments* 69(4): 617-632.
- Cabrera, A.L. 1994. *Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería, Tomo II, Fascículo 1: regiones fitogeográficas Argentinas*. ACME 85. Buenos Aires. Argentina.
- Calella, H.F., Corzo, R.R., Gómez, J.C., Reynoso, A.A., Zalazar, A., Murúa, S., Ricarte, A. 2006. *El Chaco árido de La Rioja: vegetación y suelos. Pastizales naturales*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Carson, M.A., Kirby, M.J. 1972. *Hillslope Form and Process*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Casalini, A.I., Bouza, P.J., Bisigato, A.J. 2019. Patrones de geomorfología, suelo y vegetación en un ecotono árido. *Catena* 174: 353-361.
- Chang, K.T., Tsai, B.W. 2015. The effect of DEM resolution on slope and aspect mapping. *Cartography and geographic information systems* 18(1): 69-77.
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., Böhner, J., 2015. System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geosci. Model Dev.* 8, 1991-2007.
- Cowles, J., Boldgiv, B., Liancourt, P., Petraitis, P.S., Casper, B.B. 2018. Effects of increased temperature on plant communities depend on landscape location and precipitation. *Ecology and evolution* 8(11): 5267-5278.
- De Villalobos, A.E. 2016. Efectos de los caballos cimarrones sobre la composición y la estructura de los pastizales naturales en las Sierras Australes Bonaerenses. *Ecología austral* 26(3): 264-274.
- Díaz, R O 1999. Determinación de la forrajimasa con Doble Muestreo. Serie Apuntes, Curso Utilización de Pastizales. Área Pastizales Naturales. FCA-UNC. En: Díaz Raúl Osvaldo, 2007. Utilización de Pastizales Naturales - 1ª ed - Córdoba: Encuentro Grupo Editor. Pp. 73.
- Díaz R.O., 2007. *Utilización de Pastizales Naturales*. Encuentro Grupo Editor. Córdoba, Argentina.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W. 2020. *InfoStat versión 2020*. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Distel, R.A. 2013. Manejo del pastoreo en pastizales de zonas áridas y semiáridas. *Revista Argentina de Producción Animal* 33(1): 53-64.
- Dongmei, H., Guoqiang, W., Baolin, X., Tingxi, L., Yinglan, A., Xinyi, X. 2018. Evaluation of semiarid grassland degradation in North China from multiple Perspectives. *Ecological Engineering*, 112: 41-50.
- Dyksterhuis, E.J. 1949. Condition and management of range land based on quantitative ecology. *Rangeland Ecology & Management / Journal of Range Management Archives* 2(3): 104-115.
- Flores, D.G., Suvires, G., Dalmasso, A. 2015. El Análisis Geomorfológico como base para el estudio de la vegetación nativa: Sierra Chica de Zonda, Precordillera Oriental de Argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 41(2): 427 - 444.
- Flores, D., Ocaña, E., Rodríguez, A.I. 2019. Relaciones entre las propiedades del relieve y los patrones de vegetación en el Cerro Zonda, Precordillera Central de San Juan. Argentina. *Revista de Ciencias de la Tierra de América del Sur* 96: 102359.
- Flores Cervantes, J.H., Istanbuluoglu, E., Vivoni, E.R., Holifield Collins, C.D., Bras, R.L. 2014. Una perspectiva geomórfica sobre la organización modulada por el terreno de la productividad de la vegetación: análisis en dos ecosistemas de pastizales semiáridos en el suroeste de los Estados Unidos. *Ecohidrología* 7(2): 242-257.
- Hengl, T., Reuter, H.I. (Eds.) 2009. *Geomorphometry: concepts, software, applications*. Developments in Soil Science, 33. Elsevier, Amsterdam, Países Bajos.
- Hidalgo, J.G., Bonvehi, J.R. 1993. Efecto de la exposición de ladera y pendiente en la evaluación de la demanda atmosférica potencial. Un ejemplo de cálculo en el semiárido aragonés (La Violada, Huesca). *Cuadernos Investigación Geográfica* 18-19: 29-46.
- Holtmeier, F.K., Broll, G. 2012. Landform influences on treeline patchiness and dynamics in a changing climate. *Physical Geography* 33: 403-437.
- Hoare, D.B., Bredenkamp, G.J. 1999. Grassland communities of the Amatola/Winterberg mountain region of the Eastern Cape, South Africa. *South African Journal of Botany* 65(1): 75-82.
- Hobson, R.D. 1972. Surface roughness in topography: quantitative approach. En: Chorley, R.J. (Ed.), *Spatial Analysis in Geomorphology*. pp. 221-245. Methuen and Co., Londres, Reino Unido.
- Illius, A.W., Derry, J.F., Gordon, I.J. 1998. Evaluation of strategies for tracking climatic variations in semi-arid grazing systems. *Agricultural Systems* 57: 381-398.
- Kathleen, C., Parker, K.C. Bendix, J. 1996. Influencias geomórficas a escala de paisaje en los patrones de vegetación en cuatro ambientes. *Geografía física* 17(2): 113-141.
- Köppen, W. 1936. Das geographische System der Klimate. En: Köppen, W., Geiger, G. (Eds.) *Handbuch der Klimatologie*. Pp. 1-44. Gebrüder Borntraeger, Stuttgart, Alemania.
- Le Houérou, H.N., Martínez-Carretero, E., Guevara, J.C., Berra, A.B., Estevez, O.R. Stasi, C.R. 2006. El verdadero desierto del Centro Oeste Argentino. *Biotecnología, geomorfología y vegetación. Multequina* 15: 1-15.
- Lin, Y.C., Chang, L.W., Yang, K.C., Wang, H.H., Sun, I.F. 2011. Patrones puntuales de distribución de árboles determinados por la heterogeneidad del hábitat y la limitación de la dispersión. *Oecología* 165(1): 175-184.
- Pereyra, B. 1996. Clima de la provincia de San Juan. En: Mendoza-CONICET (Ed.) *Catálogo de Recursos Humanos e Información Relacionada con la Temática Ambiental en la Región Andina Argentina*. Disponible: <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap10.htm>
- Poblete, G., Minetti, J. 1999. Configuración espacial del clima de San Juan. Síntesis del cuaternario de la provincia de San Juan. Instituto de Geología Universidad Nacional de San Juan. San Juan. Argentina.

- 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(2): 97-105.
- Pyke, D. A., Herrick, J. E., Shaver, P., Pellant, M. 2002. Rangeland health attributes and indicators for qualitative assessment. *Journal of Range Management*, 55(6), 584-597
- Renard, K.G., Yoder, D.C., Lightle, D.T., Dabney, S.M., 2011. Universal soil loss equation and revised universal soil loss equation. En: Morgan, R.P.C., Nearing, M.A. (Eds.) *Handbook Erosion Modelling*, pp. 135–167. Blackwell Publishing, Chichester, Reino Unido.
- Riley, S.J., De Gloria, S.D., Elliot, R. 1999. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Science* 5(1-4): 23–27.
- Rossi, M.J. 2013. Análisis de la variabilidad espacial y modelación de los procesos de escorrentía e infiltración del agua en ambientes semiáridos (Monte Patagónico). *Cuadernos de Investigación Geográfica* 39(2): 243–258.
- Rusch, V.E., López, D.R., Cavallero, L., Rusch, G.M., Garibaldi, L.A., Grosfeld, J., Peri, P. 2017. Modelo de estados y transiciones de los firantales del NO de la Patagonia como herramienta para el uso silvopastoril sustentable. *Ecología austral* 27(2): 266-278
- Sörensen, R., Zinko, U., Seibert, J., 2006. On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. *Hydrology and Earth System Science* 10(1): 101-112.
- Świtoniak, M. 2014. Use of soil profile truncation to estimate influence of accelerated erosion on soil cover transformation in young morainic landscapes, North-Eastern Poland. *Catena* 116: 173-184.
- Vavra, M., Parks, C.G., Wisdom, M.J. 2007. Biodiversity, exotic plant species, and herbivory: the good, the bad, and the ungulate. *Forest Ecology and Management* 246(1): 66-72.
- Westoby, M., Walker, B., Noy-Meir, I. 1989. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Rangeland Ecology and Management/Journal of Range Management Archives* 42(4): 266-274.
- Wiegand, T., Wiegand, K., Pütz, S. 2008. Grazing models. En: Jørgensen, S.V., Fath, B.D. *Encyclopedia of Ecology*. pp. 1773-1782. Academic Press, Cambridge, EE.UU.
- Yetemen, O., Istanbuluoglu, E., Vivoni, E.R. 2010. Las implicaciones de la geología, los suelos y la vegetación en la morfología del paisaje: inferencias de cuencas semiáridas con patrones de vegetación complejos en el centro de Nuevo México, EE. UU. *Geomorfología* 116 (3-4): 246-263.
- Zhou, Q., Liu, X., 2004. Analysis of errors of derived slope and aspect related to DEM data properties. *Computers and Geosciences* 30(4): 369–378.
- Zinko, U., Seibert, J., Dynesius, M., Nilsson, C., 2005. Plant species numbers predicted by a topography-based groundwater flow index. *Ecosystems* 8(4): 430–441.