

Variación espacial y temporal de la productividad primaria de mallines y estepas patagónicas.

*Trabajo final presentado para optar al título de
Especialista en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica aplicados al estudio de los
recursos naturales y la producción agropecuaria*

Claudia C. Marengo

Ingeniera Agrónoma – Universidad de Buenos Aires

Lugar de trabajo: Tribunal de Tasaciones de la Nación



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

TUTOR

Tutor

Mariano Oyarzabal

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

JURADO DE TRABAJO FINAL

Jurado

Patricia S. Cornaglia

Ingeniera Agrónoma (Universidad de Buenos Aires)

Magister Scientiae Recursos Naturales (Universidad de Buenos Aires)

Jurado

Martín Durante

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

Fecha de defensa del Trabajo Final: 12 de abril de 2022

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Alejandra Orrasch, Ana Segovia y Andrea Novoa, Ingenieras Agrónomas y compañeras del Tribunal de Tasaciones de la Nación por impulsarme a realizar esta Especialización y acompañarme en su proceso. A través de ellas extiendo el agradecimiento al Tribunal de Tasaciones por su apoyo imprescindible.

INDICE GENERAL

Título.....	1
Resumen.....	7
Abstract.....	7
1. Introducción.....	8
2. Metodología.....	9
2.1. Área de estudio.....	9
2.2. Procesamiento de datos espectrales.....	12
2.3. Estimación de la PPNA.....	12
2.4. Análisis estadístico.....	13
3. Resultados.....	13
3.1. Variación temporal.....	13
3.2. Variación espacial.....	16
3.3. Variación de la PPNA con la precipitación y la temperatura.....	17
4. Discusión.....	18
5. Bibliografía.....	21

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Área de estudio, unidades de vegetación, y mallines y estepas seleccionadas para el trabajo.....**10**
- Figura 2.** Ampliación del área de mallines en estudio. Los mallines 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 se ubican sobre la unidad de vegetación graminosa y el 1 y 2 en la arbustiva graminosa.....**11**
- Figura 3.**Ampliación del área de estepas en estudio. Las estepas 1, 2 y 3 se encuentran en la unidad de vegetación arbustiva, la 7, 8 y 9 en la graminosa y la 4, 5 y 6 en la arbustiva serrana.....**11**
- Figura 4.**Variación de la PPNA mensual de mallines de dos unidades de vegetación de la Patagonia, unidad arbustivo graminosa (línea rayada) y graminosa (línea llena).....**13**
- Figura 5.** Coeficiente de variación (CV) de la PPNA mensual de mallines en dos unidades de vegetación de la Patagonia, graminosa (línea llena) y arbustivo graminosa (línea rayada). El CV de cada mes corresponde al calculado a partir de 18 temporadas de crecimiento (n=18).....**14**
- Figura 6.** PPNA mensual de estepas de tres unidades de vegetación de la Patagonia, arbustiva (línea gris punteada), graminosa (línea llena) y arbustiva serrana (línea rayada).....**14**
- Figura 7.** Coeficiente de variabilidad de la PPNA mensual de estepas de tres unidades de vegetación de la Patagonia: arbustiva (línea gris), graminosa (línea llena) y arbustiva serrana (línea rayada). El CV de cada mes corresponde al calculado a partir de 18 temporadas de crecimiento (n= 18)**15**
- Figura 8.** PPNA por temporada de crecimiento de los mallines de dos unidades de vegetación de la Patagonia: arbustivo graminosa (línea naranja) y graminosa (línea negra). Las barras son más/menos un DS. Las unidades se indican en $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, pero estrictamente se trata de todo lo producido en una temporada/estación de crecimiento, desde julio a junio.....**15**
- Figura 9.** Variación de la PPNA interanual por temporada de crecimiento para estepas de tres unidades de vegetación de la Patagonia: graminosa (línea negra), arbustiva (línea roja) y arbustiva serrana (línea azul). Las barras son más/menos un DS. Las unidades se indican en $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, pero estrictamente se trata de todo lo producido en una temporada/estación de crecimiento, desde julio a junio.....**16**
- Figura 10.** Variación de la PPNA acumulada anual de los mallines por estación de crecimiento. Letras distintas indican diferencias significativas ($p<0,05$). Las barras de error son el DS de la PPNA anual de las 18 temporadas de crecimiento para cada sitio. Las unidades se indican en $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, pero estrictamente se trata de todo lo producido en una temporada/estación de crecimiento, desde julio a junio.....**16**
- Figura 11.** Variación de la PPNA acumulada anual de las estepas por estación de crecimiento. Letras distintas indican diferencias significativas ($p<0,05$). Las barras de error son el DS de la PPNA anual de las 18 temporadas de crecimiento para cada sitio. Las unidades se indican en $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, pero estrictamente se trata de todo lo producido en una temporada/estación de crecimiento, desde julio a junio.....**17**
- Figura 12.** Relación de la PPNA anual de estepas con la precipitación acumulada anual para la unidad arbustiva serrana. Cada rombo es una estación de crecimiento (n= 18) compuesta por 12 meses (julio-junio). La línea ajusta relaciones lineales significativas entre variables ($p<0,05$; $\text{PPNA} = -0,226 \text{ precipitación} + 662,3$; $R^2=0,22$). Las unidades se indican en $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, pero estrictamente se trata de todo lo producido en una temporada/estación de crecimiento, desde julio a junio.....**17**

Figura 13. Relación entre la PPNA anual de estepas y la precipitación acumulada anual para el Sitio N° 7-graminosa (triángulos) y para el Sitio N° 6- arbustiva serrana (rombos). Cada triángulo o rombo es una estación de crecimiento (n= 18) compuesta por 12 meses (julio-junio). Las líneas ajustan relaciones lineales significativas entre variables (Sitio N°7: $p < 0,05$; $PPNA = -0,317 \text{ precipitación} + 966,4$; $R^2 = 0,42$. Sitio N°6: $p < 0,05$; $PPNA = -0,283 \text{ precipitación} + 695,4$; $R^2 = 0,25$). Las unidades se indican en $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, pero estrictamente se trata de todo lo producido en una temporada/estación de crecimiento, desde julio a junio.....**18**

Figura 14. Relación entre el CV interanual de la PPNA y la PPNA acumulada anual pastizales (Irisarri *et al.*, 2012). Se muestran en color los datos de este trabajo final: mallines (rojo) y estepas (azul).....**19**

RESUMEN

Los mallines y las estepas son dos tipos de vegetación esenciales para la producción animal en la Patagonia semiárida, ambos de producción estival. Los mallines son un tipo de vegetación azonal, y tienen una producción primaria neta aérea (PPNA) de 10 a 20 veces mayor que las estepas, que son un tipo de vegetación zonal que predomina en las planicies áridas y semiáridas. Varios estudios estimaron la PPNA de mallines y estepas, y su variabilidad, algunos con sensores remotos mediante el uso de índices de vegetación. Este estudio amplía el análisis a 10 mallines y 9 estepas para 18 estaciones de crecimiento y evalúa con más detalle la variabilidad espacial y temporal de la PPNA en 4 unidades de vegetación. El objetivo de este trabajo fue analizar la variabilidad espacial, entre sitios y unidades de vegetación, y temporal entre estaciones y años, de mallines y estepas, y la relación de la PPNA anual con la precipitación y la temperatura. Se estimó la PPNA de mallines y estepas con el modelo radiativo de Monteith (1972) para 18 estaciones de crecimiento a partir del índice de vegetación (EVI) obtenido del compuesto MODIS. Se relevaron 10 mallines en 2 unidades de vegetación y 9 estepas en 3 unidades. La PPNA de mallines ($8000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) fue 10 veces mayor que la de estepas ($800 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). La variabilidad interanual de la PPNA de mallines fue menor al 10% y el de estepas alrededor del 15%. En todos los casos, la variabilidad interanual de la PPNA disminuyó con el aumento de la PPNA. La variabilidad intra- anual de la PPNA de mallines fue menor (12%) que la de estepas (20%). En mallines no se encontró relación de la PPNA con la temperatura ni con la precipitación. En estepas la PPNA se relacionó negativamente con la precipitación, con mayor ajuste a nivel de sitio ($25 < R^2 < 42$) que de unidad de vegetación ($R^2 = 22$).

ABSTRACT

Meadows and steppes are two different types of vegetation essentials for animal production in semiarid Patagonia, both of them with summer production. Meadows are an azonal type of vegetation which has a 10 to 20 times higher aboveground net primary production (ANPP) than steppes, which are a zonal type of vegetation that predominates in arid and semiarid plains. Several studies have estimated the ANPP of meadows and steppes and described their variability, some of them with remote sensing, through the use of vegetation indices. This study extends the analysis to 10 meadows and 9 steppes for 18 growing stations to evaluate in more detail the spatial and temporal variability of the ANPP in 4 vegetation units. The objective of this study was to analyze the spatial variability, of sites and vegetation units, and the temporal variability, intra and inter-annual, of meadows and steppes, and the relationship of the annual ANPP with precipitation and temperature. ANPP of meadows and steppes was estimated with the radiative model of Monteith (1972) for 18 growing seasons using vegetation index (EVI) obtained from MODIS. Ten meadows were surveyed in 2 vegetation units and 9 steppes in 3 units. The ANPP of meadows ($8000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) was 10 times higher than the steppes ($800 \text{ kg ha}^{-1} \text{ years}^{-1}$). The interannual variation of the ANPP of meadows was less than 10% and around 15% for steppes. In all cases, the interannual variation of the ANPP decreased when ANPP increased. The intra-annual variation of the ANPP of meadows was lower (12%) than the steppes (20%). In meadows, no relationship between ANPP and temperature or precipitation was found. In steppes, ANPP was positively associated to precipitation, and the association was better at the site level ($25 < R^2 < 42$) than at the vegetation units level ($R^2 = 22$).

1- INTRODUCCION

En la Patagonia semiárida o esteparia la aridez es consecuencia de la presencia de la Cordillera de los Andes. Este cordón montañoso es una barrera para las masas de aire húmedo arrastradas por los vientos del Oeste desde el océano Pacífico. El agua se descarga en las laderas occidentales y el aire se seca y calienta al descender por las laderas orientales. De este modo, se genera un gradiente de precipitaciones. El gradiente abarca desde 600 mm en el Oeste a 250 mm en la mayor parte del Este (Paruelo *et al.*, 1998). En esta región, son frecuentes las lluvias o nevadas de invierno; las sequías de verano y las heladas durante casi todo el año.

En la región, los pastizales naturales son la principal fuente de alimento de los animales. Los pastizales son de dos tipos muy diferentes: estepas y mallines. Están presentes en prácticamente todas las unidades de vegetación (León *et al.*, 1998; Oyarzabal *et al.*, 2018). Las estepas son vegetación zonal, tienen crecimiento estival, dominan las unidades en planicies áridas y semiáridas, con suelos poco fértiles y bajo contenido de humedad. Están compuestas por pastos y arbustos y presentan una cobertura aérea que oscila entre 40 y 60%. La productividad primaria neta aérea (PPNA) de estepas precordilleranas es de entre 600 y 900 kg ha⁻¹ año⁻¹, y la de estepas de semidesiertos del monte de alrededor de 390 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Paruelo *et al.*, 1998).

En cambio, los mallines, son una vegetación azonal donde su funcionamiento depende más de factores locales que regionales. De crecimiento estival, ocupan áreas mucho más húmedas que las ocupadas por las estepas, con agua que aflora sub-superficialmente o a la vera de los ríos, y sus suelos son fértiles. Se trata de praderas con abundante vegetación que difieren marcadamente de las estepas que las rodean. La vegetación de los mallines está compuesta principalmente por gramíneas, juncos y ciperáceas (Buono, 2005; Utrilla *et al.*, 2006; Collantes *et al.*, 2009). La PPNA es 10 a 20 veces mayor que la de las estepas, entre 4000 y 9000 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Ayesa *et al.*, 1999; Buono, 2005; Utrilla *et al.*, 2005; Bonvissuto *et al.*, 2008; Irisarri *et al.*, 2012). Los mallines, por sus características hídricas, edáficas y florísticas, concentran entre el 20 y el 50% de la PPNA (Siffredi, 2005; Buono, 2005, 2007) en sólo el 2 - 3 % de la superficie (Bran *et al.*, 2004). A diferencia de la estepa, los mallines presentan abundante disponibilidad de agua en la época de crecimiento cuando las precipitaciones son escasas.

La PPNA puede ser estimada a partir de índices de vegetación obtenidos de sensores remotos. La estimación de PPNA por cortes de biomasa tiene dificultades que se pueden sortear mediante el uso de sensores remotos. El modelo radiativo de Monteith (1972) permite cuantificar la PPNA a partir del triple producto entre la radiación fotosintéticamente activa incidente (RFAi), la fracción de la radiación fotosintéticamente activa que es absorbida (fRFAA) y la eficiencia de uso de la radiación (EUR). La RFAi se obtiene de estaciones meteorológicas y representa el 48% de la radiación global incidente (McCree 1972; Blackburn & Proctor, 1983). La fRFAA puede ser estimada a partir del índice de vegetación normalizado (NDVI) o el índice de vegetación mejorado (EVI; Paruelo *et al.*, 2008). Este último es más apto para estudios de paisaje con canopeos abiertos como los sistemas semiáridos (Huete *et al.*, 2002). Y la EUR puede ser estimada a partir de un modelo de regresión lineal entre la PPNA y la radiación fotosintéticamente activa absorbida (RFAA), producto entre la RFAi y la fRFAA (Piñeiro *et al.*, 2006; Irisarri *et al.*, 2012).

La PPNA de estepas y mallines presenta una alta variabilidad temporal y espacial en respuesta a las precipitaciones y temperatura (Oesterheld *et al.*, 1998; Paruelo *et al.*, 1998). Las precipitaciones explican el 50% de la variabilidad de la PPNA y su efecto es mayor en ambientes con menor precipitación media

(Oosterheld *et al.*, 1999), por ello se espera mayor respuesta de parte de las estepas que de los mallines, sumado a la condición azonal de éstos últimos. En otros estudios de monitoreo de pastizales naturales (Blanco *et al.*, 2019) se encontró una alta relación entre la PPNA de mallines y el gradiente regional de precipitación media anual, no ocurriendo lo mismo ($p < 0,05$) en estepas. Distintos trabajos mostraron, desde el sitio a la región, que la PPNA aumentó significativamente con la precipitación media anual (Lauenroth, 1979 y Sala *et al.*, 1988), al igual que en estepas áridas y semiáridas del noroeste de Chubut (Caruso, 2019). La PPNA a escala de sitio fue explicada por la precipitación anual y la capacidad de retención de agua del suelo en pastizales de Norteamérica (Sala *et al.*, 1988), pero no en pastizales de la Patagonia (Caruso, 2019). La temperatura determina el comienzo de la temporada de crecimiento cuando el suelo está húmedo, mientras que la precipitación, a través de la disponibilidad de agua, controla la PPNA durante el resto de la temporada de crecimiento (Jobbágy *et al.*, 2002). En cuanto a la temperatura media anual, no se encontró relación con la PPNA de estepas, con la de mallines se observó un incremento significativo (Lauenroth, 1979; Blanco *et al.*, 2019).

En estudios anteriores se estimó la PPNA de mallines y estepas, y se describió su variabilidad. Se analizó la dinámica de la PPNA de estepas y mallines durante la estación de crecimiento en distintas latitudes de la Patagonia (ej. Utrilla *et al.*, 2005; Cremona *et al.*, 2007; Buono *et al.*, 2010). Y también se estimó la PPNA de mallines y estepas con sensores remotos, mediante el uso de índices de vegetación (Paruelo *et al.*, 1998, 2004; Irisarri, 2008; Fabricante *et al.*, 2009; Irisarri *et al.*, 2012; Gaitán *et al.*, 2013; Oliva *et al.*, 2019). Pero estos estudios se realizaron en pocos sitios y sólo durante 3-5 estaciones de crecimiento, lo que no permitió evaluar con mucho detalle la variabilidad espacial y temporal de la PPNA. Las imágenes satelitales facilitan el estudio de la dinámica temporal y espacial de los ecosistemas para una serie de estaciones de crecimiento más extensa. El presente trabajo estudia 18 estaciones de crecimiento para 10 mallines y 9 estepas que se encuentran distribuidos a lo largo del gradiente de precipitación este-oeste y norte-sur. De esta forma se puede realizar una descripción de la variabilidad espacial y temporal de la PPNA de estepas y mallines, y su relación con la precipitación y temperatura, según las unidades de vegetación a las que pertenecen (Oyarzabal *et al.*, 2018).

Los objetivos de este estudio fueron, a lo largo de 18 estaciones de crecimiento: 1) Analizar la variabilidad espacial y temporal de la PPNA de 10 mallines en 2 unidades de vegetación, y 9 estepas en 3 unidades de vegetación y 2) analizar la relación de la PPNA anual con la precipitación y la temperatura.

2- METODOLOGÍA

2.1- Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la Provincia Fitogeográfica Patagónica (Oyarzabal *et al.*, 2018), al oeste de la provincia de Chubut (Figura 1), entre las latitudes $-42,16$ y $-44,19$ S y longitudes $-69,54$ y $-71,39$ O. El área es una zona montañosa, con una altitud que va desde 500 a 900 msnm, surcada por varios ríos y arroyos. El clima es templado frío, con nevadas en invierno, una temperatura media anual de $6,5^{\circ}\text{C}$, temperatura media del mes más frío (julio) de entre 0 y 1°C y del mes más cálido (enero) de 13°C . La precipitación anual, de régimen mediterráneo, varía entre 300 y 700 mm. El 46% ocurre en invierno, el 27% en otoño, el 16% en primavera y el 11% en verano (Jobbágy *et al.*, 1995). Los mallines tienen suelos arcillosos, con alta porosidad efectiva, conductividad hidráulica y horizontes gleyzados, e importantes contenidos de materia orgánica (Irisarri y Schmid, 2004; Collantes *et al.*, 2009; Horne, 2010). Las estepas se

encuentran en sierras bajas, mesetas y llanuras donde predominan los suelos rocosos, de textura franco arenosa, como Aridisoles y Entisoles, pobres en materiales finos y materia orgánica (Matteucci, 2012).

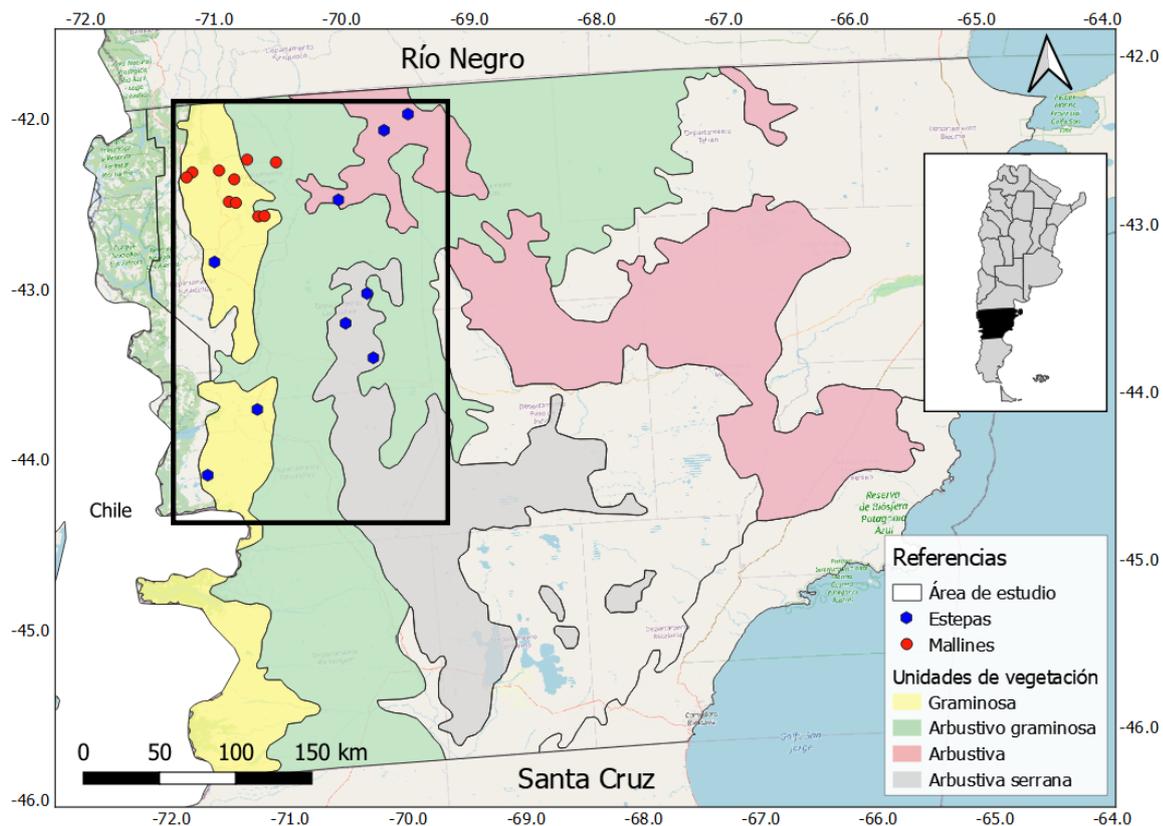


Figura 1. Área de estudio, unidades de vegetación, y mallines y estepas seleccionadas para el trabajo.

Se eligieron 10 mallines en 2 unidades de vegetación (Figura 2) al noroeste de la provincia de Chubut, al pie de la cordillera de los Andes, y 9 estepas en 3 unidades de vegetación ubicadas al norte y centro oeste de la misma provincia (Figura 3; Oyarzabal *et al.*, 2018). Los sitios fueron escogidos en función de incluir distintas unidades de vegetación con un gradiente de precipitación para su comparación. Las unidades de vegetación en las que se trabajó fueron Estepa graminosa de *Festuca pallescens* o Estepa de coirón blanco, en adelante “Graminosa”, Estepa arbustiva graminosa, en adelante “Arbustiva graminosa”, Estepa arbustiva con *Chuquiraga avellanadae*, en adelante “Arbustiva”, y Estepa arbustiva serrana con *Colliguaja integerrima*, en adelante “Arbustiva serrana” (Figura 2).

Graminosa (Distrito Subandino; Figura 1): Se encuentra en áreas con precipitación anual entre 300 y 600 mm e ingresa en el sector oriental del bosque caducifolio en un amplio ecotono en forma de parches o mosaicos, con suelos relativamente ricos de materia orgánica y con buena capacidad de retención hídrica. La vegetación típica es una estepa graminosa con alta cobertura (64% en promedio), dominada por *Festuca pallescens*, y acompañada por unos pocos arbustos bajos dispersos (*Senecio sericeonitens*, *Mulinum spinosum*; Soriano, 1956; Golluscio *et al.*, 1982).

Arbustivo graminosa (Distrito Occidental; Figura 1): Se encuentra en áreas con precipitación anual entre 200 y 300 mm. La vegetación típica es una estepa dominada por las gramíneas *Pappostipa speciosa*, *Pappostipa humilis*, *Poa ligularis* y *Poa lanuginosa*, y los arbustos *Adesmia volckmannii* y *Berberis microphylla*, que alcanzan entre 60 y 180 cm de altura (Golluscio *et al.*, 1982). Parte de esta unidad se ubica en la meseta de Somuncurá, una formación basáltica que supera los 1200 m.s.n.m.

Arbustiva (Distrito Central; Figura 1): Esta estepa presenta una cobertura de entre 30 y 50% y dos estratos, el inferior de hasta 20 cm y el superior de hasta 1m. En el estrato inferior se encuentran *Acantholippia seriphioides*, *Nassauvia ulicina*, *N. glomerulosa*, entre otras. En el superior domina *Chuquiraga avellanadae*, con *Lycium ameghinoi*, entre otras (Oyarzabal et al. 2018).

Arbustiva serrana (Distrito Central; Figura 1). Esta unidad se ubica en áreas serranas del centro de Chubut y está caracterizada por una estepa arbustiva de 1,70 m de altura, dominada por *Colliguaja integerrima* (Oyarzabal et al. 2018).

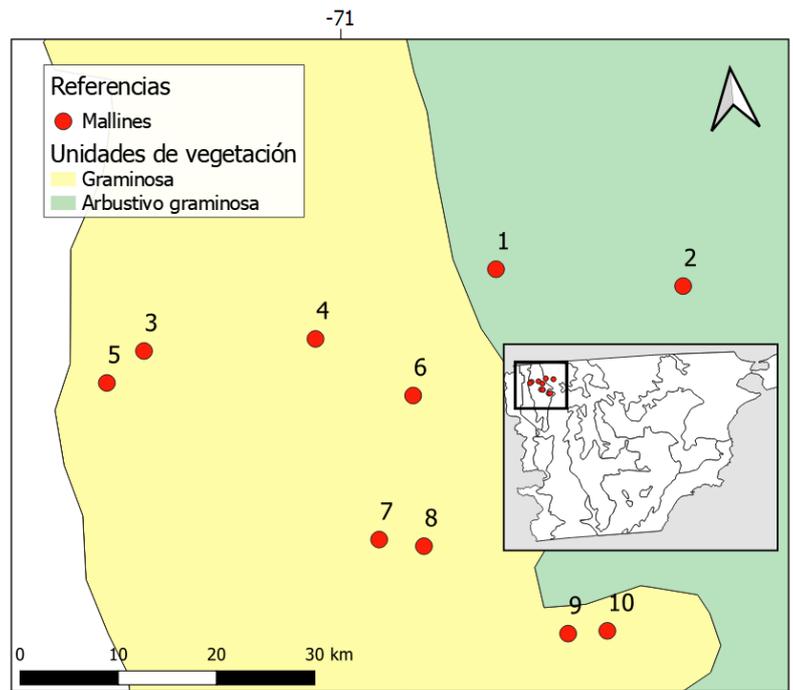


Figura 2. Ampliación del área de mallines en estudio. Los mallines 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 se ubican sobre la unidad de vegetación gramínea y el 1 y 2 en la arbustiva gramínea.

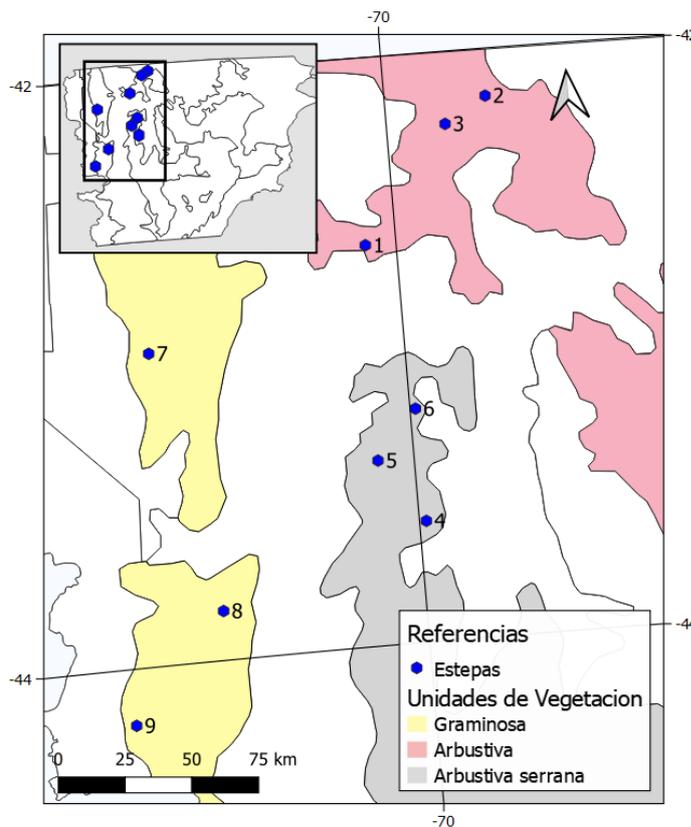


Figura 3. Ampliación del área de estepas en estudio. Las estepas 1, 2 y 3 se encuentran en la unidad de vegetación arbustiva, la 7, 8 y 9 en la gramínea y la 4, 5 y 6 en la arbustiva serrana.

2.2- Procesamiento de datos espectrales

El índice EVI se obtuvo del compuesto MODIS13Q1, derivado del sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) a bordo del satélite TERRA, junto a la banda de QA (Banda de calidad). Las imágenes son de una resolución temporal de 16 días y una resolución espacial de 250m (pixel: 6,25ha) desde el 1/1/2001 al 30/12/2019. A los datos de EVI se les aplicó un filtro de calidad con el fin de descartar aquellos datos que contaran con la presencia de nubes, sombras, nieve y/o aerosoles en la atmósfera. Para ello se utilizó la banda QA, y se reemplazaron los valores de EVI de los píxeles de mala calidad (3%) por el valor promedio de las imágenes correspondientes a las fechas inmediatamente anterior y posterior.

Se obtuvieron píxeles con al menos un 95% de cobertura de mallines y estepas a partir de una imagen de EVI de alta actividad fotosintética -MODIS- junto a la de alta resolución de Google Earth. En mallines se seleccionaron píxeles individuales que comprendían cada una de las 10 áreas elegidas, y en estepas se tomaron dos píxeles cercanos a cada punto GPS relevado.

2.3- Estimación de la PPNA

Se estimó la PPNA de mallines y estepas con el modelo radiativo de Monteith (1972) para una serie de 18 estaciones de crecimiento (julio - junio):

$$PPNA \text{ (gm}^{-2}\text{t}^{-1}\text{)} = RFAi \text{ (MJ m}^{-2}\text{t}^{-1}\text{)} * fRFAA * EUR \text{ (g MS MJ}^{-1}\text{)},$$

Donde, como se detalló más arriba:

PPNA es la productividad primaria neta aérea,

RFAi es la radiación fotosintéticamente activa incidente,

fRFAA es la fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida y

EUR es la eficiencia del uso de la energía.

La RFAi se obtuvo del producto entre la radiación incidente (R_i) promedio y el coeficiente 0,48; porcentaje de radiación considerando que es captado por la planta. Los valores diarios de R_i se obtuvieron de la fuente GEWEX/SRB y CERES Flash Flux (proyecto POWER de la NASA) para el mismo periodo citado anteriormente. La fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida (fRFAA) se la estimó como una función lineal del EVI, por medio del modelo EVI-fRFAA, donde no hay absorción (fRFAA=0) en valores de EVI igual a 0,0159 y la máxima absorción (fRFAA=0,95) se da en 0,8412 EVI. La RFAA surge del producto entre la RFAi y la fRFAA. Finalmente la EUR usada para mallines fue de 0,7g MS MJ⁻¹ (Irisarri *et al.*, 2012), que se estimó también a partir de un modelo de relación lineal entre EVI y FPAR, con EVI= 0,08 para fPAR=0, y EVI=0,62 para fPAR=0,95 (Irisarri *et al.*, 2012). La EUR utilizada para estepas fue de 0,29 g MS MJ⁻¹ (Baldassini *et al.*, 2012), también calculada a partir de un modelo de relación lineal entre EVI y FPAR, con EVI= 0,09 para fPAR=0, y EVI=0,95 para fPAR=0,95 (Grigera y Oesterheld, 2006).

La precipitación y temperatura se obtuvieron del producto meteorológico GMAO MERRA 2 / GEOS 5.12.4 (FP-IT). Se tomó un pixel de precipitación y temperatura por mallín y estepa para la misma serie de años. Para analizar la relación de la PPNA con las variables meteorológicas, en el caso de los mallines, de acuerdo a la escasa variación observada en los datos de precipitación y temperatura media anual, se promediaron los valores mensuales de estas variables y se utilizó una misma serie de datos para las dos unidades de vegetación. En el caso de las estepas, los puntos de relevamiento se encontraban más distanciados (Figura 3) por lo que se analizó la relación de la PPNA con las variables en 2 niveles: sitio y unidad de vegetación.

Se obtuvo la PPNA por pixel y por fecha MODIS y se analizó la variabilidad de la PPNA de mallines y estepas por sitio y unidad de vegetación a través de las temporadas de crecimiento, de julio a junio. Se observó la dinámica estacional y anual. Y se analizó la relación entre la variabilidad interanual de la PPNA con la precipitación y temperatura a nivel de sitio y de unidad de vegetación.

2.4- Análisis estadístico

La variación de la PPNA interanual ($\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) surge de la PPNA acumulada anual a partir de la suma de los promedios de la PPNA mensual. Luego se calculó el Desvío Estándar para la misma serie de datos. La variación estacional de la PPNA ($\text{kg ha}^{-1}\text{mes}^{-1}$) surge del promedio de la PPNA mensual para cada año. El Coeficiente de Variación de la PPNA surge del producto del DS de la PPNA media mensual ($N^{\circ} 18$) y la PPNA media mensual.

La variación espacial de la PPNA por año se obtuvo de la suma de la PPNA media mensual. Luego se realizó un ANOVA seguido de análisis de Tuckey para encontrar las diferencias ($p\text{-valor} < 0,0001$) entre sitios.

La relación de la PPNA con la precipitación y la temperatura se analizó a partir de la regresión lineal entre la PPNA acumulada anual y la precipitación acumulada anual y la temperatura media anual.

3- RESULTADOS

3.1- Variación temporal

La PPNA de mallines presentó una *variación intra-anual* con picos entre 1200 a $1500 \text{ kg ha}^{-1}\text{mes}^{-1}$ durante las estaciones de crecimiento, primavera verano, con mínimos de 0 en el invierno (Figura 4). Ambas unidades de vegetación presentaron el mismo comportamiento estacional, la estepa gramínea alcanzó picos mayores.

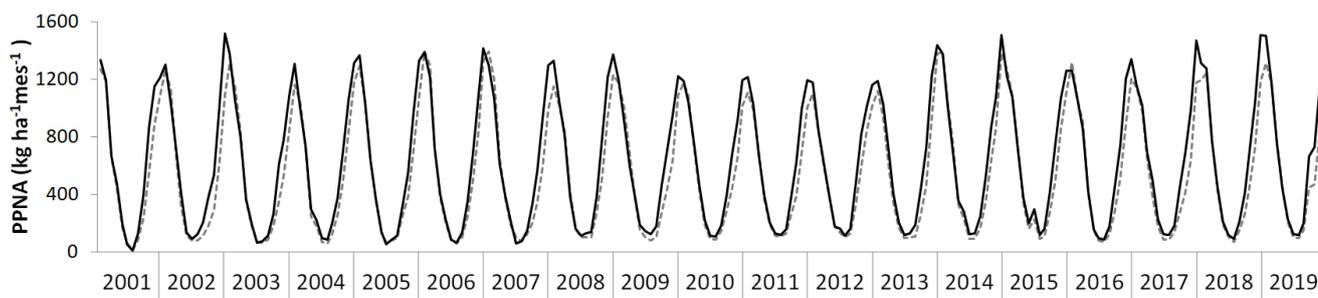


Figura 4. Variación de la PPNA mensual de mallines de dos unidades de vegetación de la Patagonia, unidad arbustivo gramínea (línea rayada) y gramínea (línea sólida).

La PPNA mensual promedio de mallines presentó mayor *variabilidad interanual* en la unidad de vegetación arbustivo-gramínea que en la gramínea (Figura 5). En los meses de baja productividad, invierno, se observó una variabilidad de entre el 30% y 45% para las dos unidades de vegetación, y en los meses de primavera verano la variabilidad disminuyó al 15% promedio. La unidad arbustivo gramínea presentó en la temporada de crecimiento mayor variabilidad de la PPNA mensual promedio.

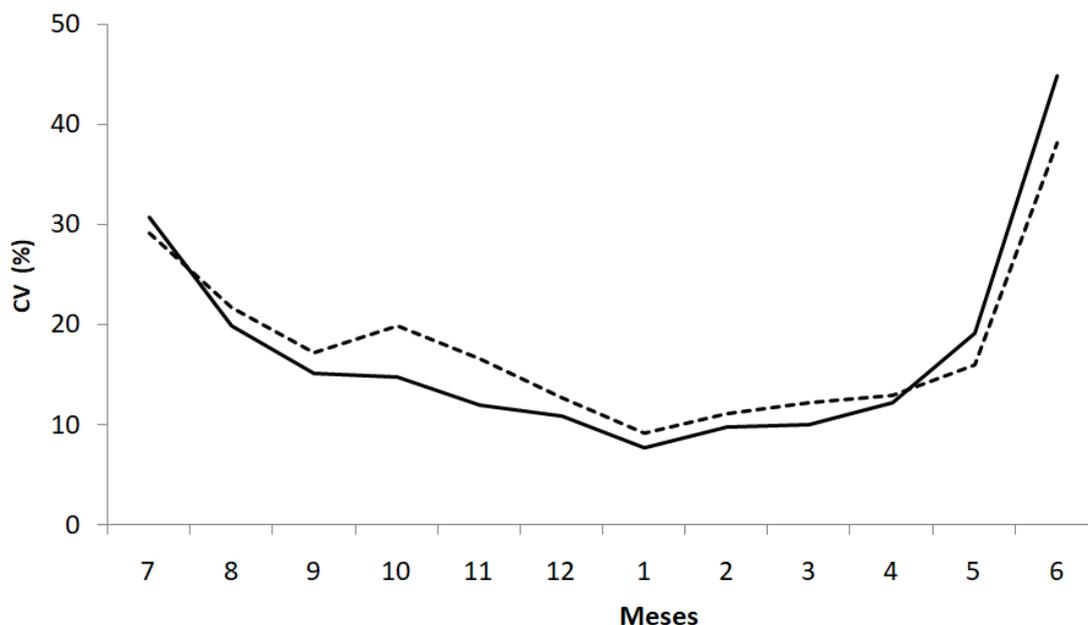


Figura 5. Coeficiente de variación (CV) de la PPNA mensual de mallines en dos unidades de vegetación de la Patagonia, gramínea (línea llena) y arbustivo gramíneo (línea rayada). El CV de cada mes corresponde al calculado a partir de 18 temporadas de crecimiento ($n=18$).

La variación intra-anual de la PPNA en estepas fue diferente entre las unidades de vegetación (Figura 6). La unidad gramínea presentó en los meses de primavera verano, máximos de entre 120 y 180 $\text{kg ha}^{-1}\text{mes}^{-1}$, mientras que la arbustiva y la arbustiva serrana no sobrepasaron los 100 $\text{kg ha}^{-1}\text{mes}^{-1}$. Entre años la PPNA para las tres unidades de vegetación presentó un leve aumento a partir de la temporada 2008-2009. La variabilidad de la PPNA mensual fue mayor en la unidad gramínea (45 y 55%) y arbustiva serrana (35 y 45%) en los meses de menor productividad, junio y julio (Figura 7). La arbustiva presentó mayor variabilidad de la PPNA mensual en los meses de crecimiento (septiembre a marzo).

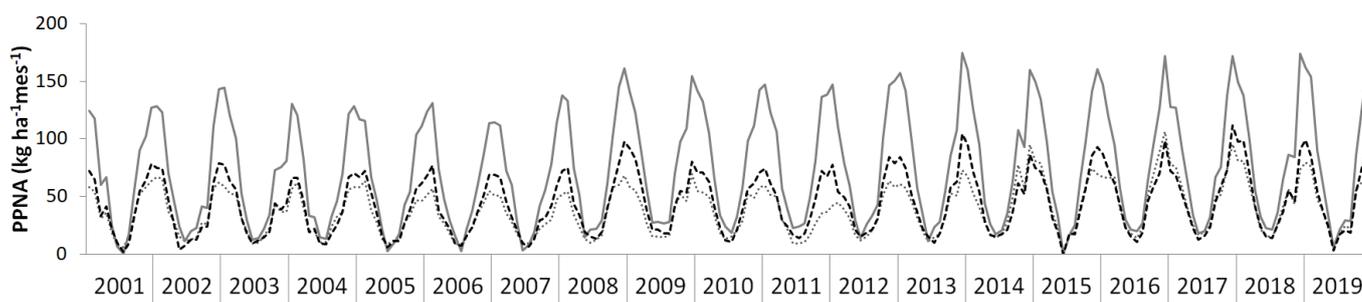


Figura 6. Variación de la PPNA mensual de estepas de tres unidades de vegetación de la Patagonia, arbustiva (línea gris punteada), gramínea (línea llena) y arbustiva serrana (línea rayada).

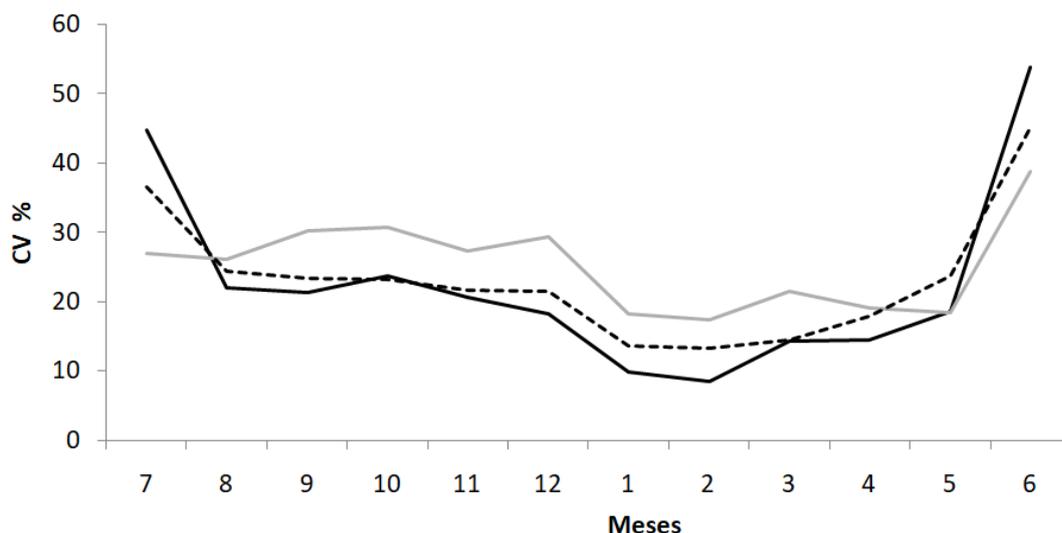


Figura 7. Coeficiente de variabilidad de la PPNA mensual de estepas de tres unidades de vegetación de la Patagonia: arbustiva (línea gris), graminosa (línea llena) y arbustiva serrana (línea rayada). El CV de cada mes corresponde al calculado a partir de 18 temporadas de crecimiento ($n=18$).

La PPNA anual de los mallines fue de entre 6000 y 8.000 $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ para las unidades graminosa y arbustivo graminosa (Figura 8). Los mallines de la unidad graminosa presentaron mayor productividad anual, con un leve ascenso desde el año 2013. La unidad arbustivo graminosa se mantuvo en toda la serie de tiempo por debajo de la graminosa y los sitios que la conforman presentaron menor desviación estándar que la graminosa.

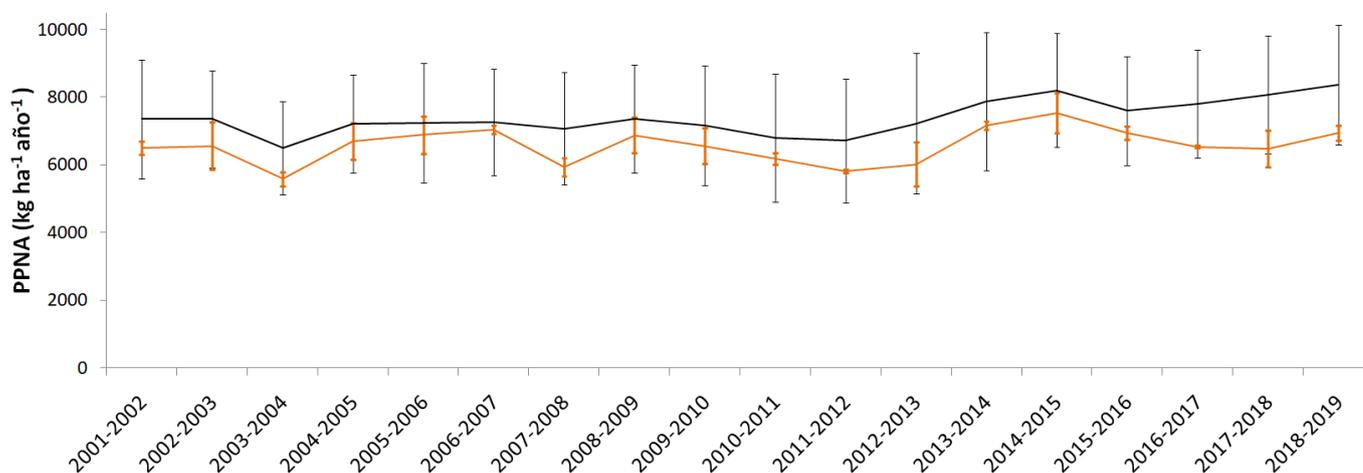


Figura 8. Variación de la PPNA interanual por temporada de crecimiento de los mallines de dos unidades de vegetación de la Patagonia: arbustivo graminosa (línea naranja) y graminosa (línea negra). Las barras son más/menos un DS. Las unidades se indican en $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, pero estrictamente se trata de todo lo producido en una temporada/estación de crecimiento, desde julio a junio.

En estepas la PPNA acumulada anual alcanzó máximos de entre 800 y 1000 $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ para graminosa, y para arbustiva y arbustiva serrana entre 300 y 650 $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (Figura 9). A partir del año 2009 se observó un marcado salto en la producción anual de la unidad graminosa, en tanto que el resto lo hizo de manera leve. Se observó mayor dispersión de la PPNA entre los sitios de la unidad de vegetación de mayor

productividad, gramínea, y menor dispersión en la de menor producción, la arbustiva y arbustiva serrana. Es decir, la PPNA varió más entre sitios en la unidad gramínea que en arbustiva y arbustiva serrana.

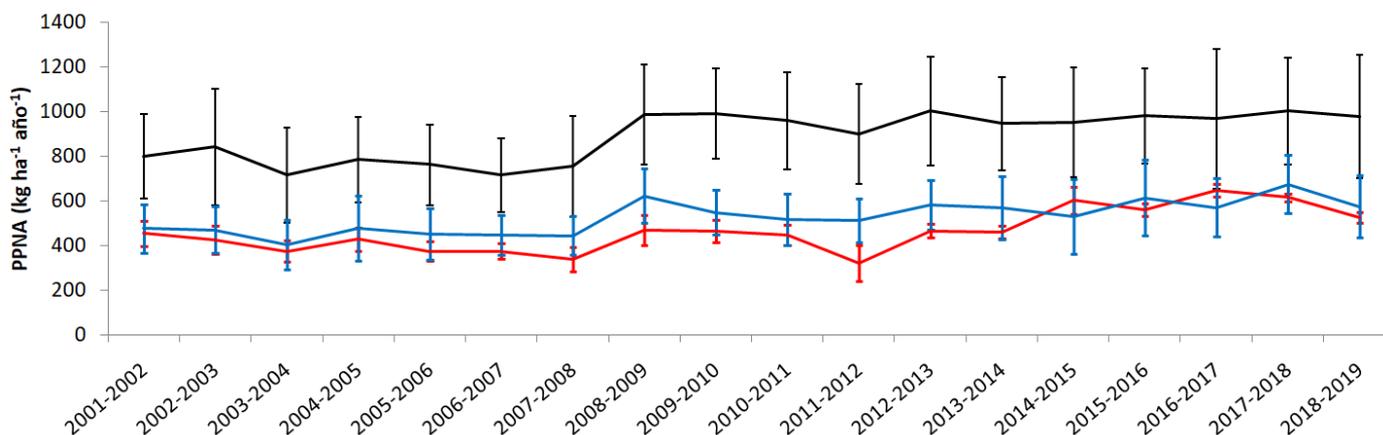


Figura 9. Variación de la PPNA interanual por temporada de crecimiento para estepas de tres unidades de vegetación de la Patagonia: gramínea (línea negra), arbustiva (línea roja) y arbustiva serrana (línea azul). Las barras son más/menos un DS. Las unidades se indican en $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, pero estrictamente se trata de todo lo producido en una temporada/estación de crecimiento, desde julio a junio.

3.2- Variación espacial

La PPNA anual mostró diferencias entre los mallines y estepas ($p < 0,0001$). Los mallines más productivos fueron el 5, 3 y 4 de la unidad de vegetación gramínea, con más de $7000 \text{ kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (Figura 10) y en estepas fueron el 9 y 8, también en gramínea, y los menos productivos fueron el 4 y el 2 (Figura 11), de arbustiva y arbustiva serrana. El análisis de Tukey de la PPNA de las unidades de vegetación mostró diferencias ($p\text{-valor} < 0,0001$) para las dos unidades en mallines y las tres unidades en estepas. En estepas, las unidades arbustiva y arbustiva serrana fueron similares entre sí y diferentes a la gramínea. Se presentaron las mismas diferencias entre los sitios dentro de cada unidad.

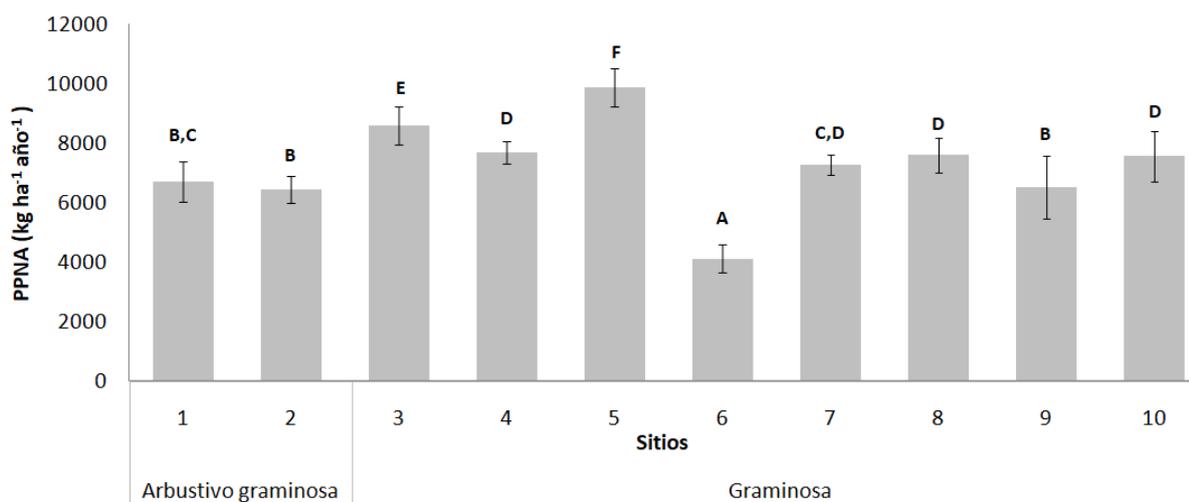


Figura 10. Variación de la PPNA acumulada anual de los mallines por estación de crecimiento. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Las barras de error son el DS de la PPNA anual de las 18 temporadas de crecimiento para cada sitio. Las unidades se indican en $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, pero estrictamente se trata de todo lo producido en una temporada/estación de crecimiento, desde julio a junio.

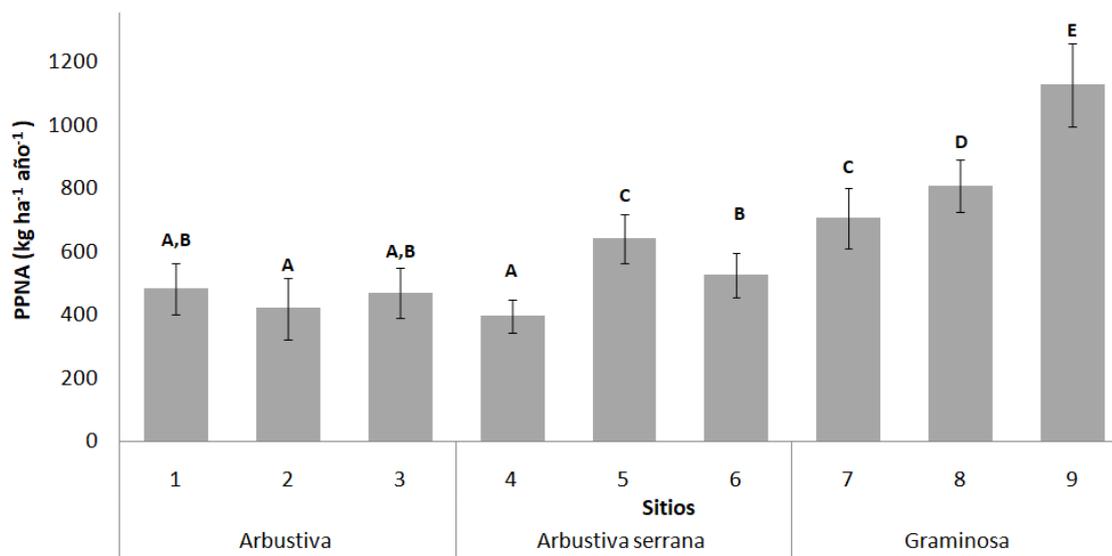


Figura 11. Variación de la PPNA acumulada anual de las estepas por estación de crecimiento. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Las barras de error son el DS de la PPNA anual de las 18 temporadas de crecimiento para cada sitio. Las unidades se indican en $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, pero estrictamente se trata de todo lo producido en una temporada/estación de crecimiento, desde julio a junio.

3.3- Variación de la PPNA con la precipitación y la temperatura

En los mallines, no hubo relación entre la PPNA y la precipitación y temperatura ($P > 0,05$). En las estepas, la PPNA de la unidad de vegetación arbustiva serrana (Figura 12) se relacionó lineal y negativamente con la precipitación. Sólo una unidad de vegetación de 3 mostró esta relación. No hubo relación entre la PPNA de estepas por unidad de vegetación y la temperatura ($P > 0,05$).

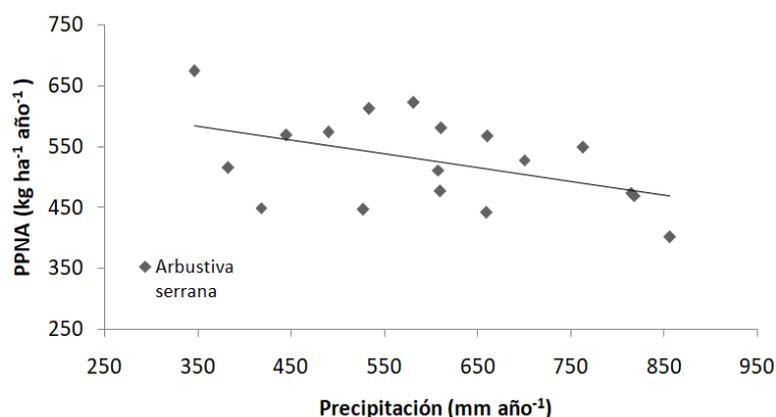


Figura 12. Relación de la PPNA anual de estepas con la precipitación acumulada anual para la unidad arbustiva serrana. Cada rombo es una estación de crecimiento ($n = 18$) compuesta por 12 meses (julio-junio). La línea ajusta relaciones lineales significativas entre variables ($p < 0,05$; $PPNA = -0,226 \text{ precipitación} + 662,3$; $R^2 = 0,22$). Las unidades se indican en $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, pero estrictamente se trata de todo lo producido en una temporada/estación de crecimiento, desde julio a junio.

En el análisis por sitio la PPNA de estepas se relacionó lineal y negativamente con la precipitación (Figura 13). Para el sitio N°7- gramínea, la precipitación explicó el 42% de la variabilidad de la PPNA, mientras que para el sitio N°6- arbustiva serrana explicó el 25% (Figura 13). Sólo dos sitios sobre nueve explicaron la relación entre las variables PPNA y precipitación. Tampoco hubo relación entre la PPNA de los sitios de estepas y la temperatura ($P > 0,05$).

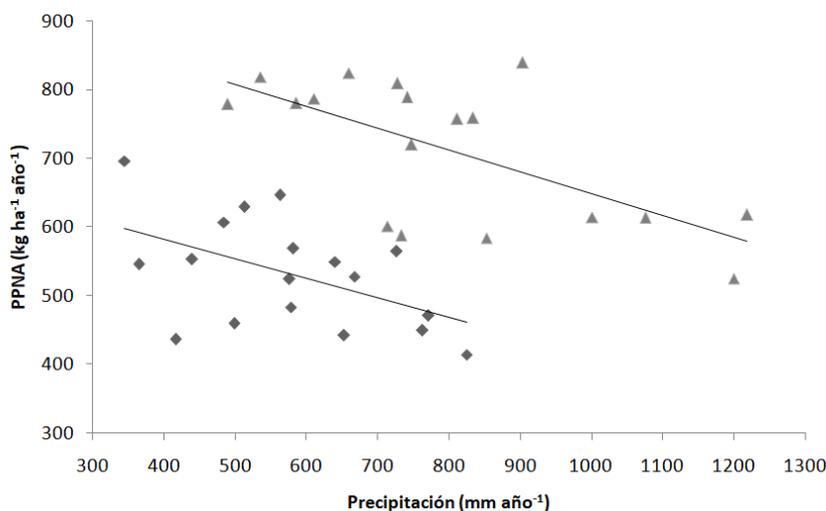


Figura 13. Relación entre la PPNA anual de estepas y la precipitación acumulada anual para el Sitio N° 7-graminosa (triángulos) y para el Sitio N° 6- arbustiva serrana (rombos). Cada triángulo o rombo es una estación de crecimiento ($n=18$) compuesta por 12 meses (julio-junio). Las líneas ajustan relaciones lineales significativas entre variables (Sitio N°7: $p<0,05$; $PPNA = -0,317 \text{ precipitación} + 966,4$; $R^2=0,42$. Sitio N°6: $p<0,05$; $PPNA = -0,283 \text{ precipitación} + 695,4$; $R^2=0,25$). Las unidades se indican en $\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, pero estrictamente se trata de todo lo producido en una temporada/estación de crecimiento, desde julio a junio.

4- DISCUSION

En el presente trabajo la PPNA anual de mallines fue mucho mayor que la de estepas como se esperaba, la PPNA de los mallines ($8.000 \text{ kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) fue 10 veces mayor que la de estepas ($800 \text{ kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$). Similarmente, al noroeste de la Patagonia la PPNA de los mallines ($8.250 \text{ kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) fue de 3 a 5 veces mayor que la de estepas ($1.600\text{-}2.700 \text{ kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$; Irisarri *et al.*, 2012). También, en el centro sur de Chubut la PPNA de mallines (2.600 y $5.100 \text{ kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) fue entre 6 y 15 veces mayor que la de estepas (160 y $790 \text{ kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, Buono *et al.*, 2005). En otros sitios más al norte, en los alrededores de Ing. Jacobacci, provincia de Río Negro, esta diferencia a favor de la PPNA de mallines llegó a ser entre 5 y 10 veces más (Jouve, 2003) o entre 10 y 20 veces más (Ayesa *et al.*, 1999).

La PPNA de mallines y estepas fue diferente según la unidad de vegetación. Ambos tipos de vegetación presentaron la máxima PPNA anual en la unidad graminosa, que se encuentra en el extremo más húmedo del gradiente, al oeste del área de estudio. La PPNA de mallines en la unidad graminosa fue 12% mayor que la PPNA de los mallines en la unidad arbustivo graminosa. En otros estudios, la PPNA de mallines en la unidad graminosa fue de 25-35% menor que en la unidad arbustiva graminosa (Schulze *et al.*, 1996; Buono, 2007). La PPNA de estepas de la unidad graminosa fue 70% mayor que en la unidad arbustiva serrana, y 90% mayor que en la unidad arbustiva. En otro estudio, la PPNA de estepas ($1000 \text{ kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) de la unidad graminosa fue 30-40% mayor que la de las estepas ubicadas al este de la misma ($650 \text{ kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$; Paruelo, 1998).

Los mallines de las dos unidades de vegetación presentaron durante los 18 años una variabilidad intra-anual e interanual de la PPNA muy similar, la PPNA de mallines fue más estable en el tiempo. Las estepas de las tres unidades de vegetación tuvieron diferencias en la variabilidad de la PPNA. La variabilidad intra-anual de la PPNA de mallines fue del 11% en la unidad graminosa, y del 14% en la unidad arbustiva graminosa. En contraste, la variabilidad intra-anual de la PPNA de estepas fue del 17% en la unidad

graminosa, 19% en la unidad arbustiva serrana y 25% en la unidad arbustiva. Esta mayor variabilidad intra-anual de la PPNA de las estepas respecto a los mallines puede estar dada por la mayor capacidad de las estepas de experimentar cambios relativos más importantes frente a las precipitaciones (Jobbágy *et al.*, 1995).

La variabilidad interanual de la PPNA de mallines fue del 7% en la unidad graminosa y del 8% en la unidad arbustiva graminosa. En contraste, la variabilidad interanual de la PPNA de estepas fue del 12% en la unidad graminosa, 14% en la unidad arbustiva serrana y 20% en la unidad arbustiva (Figura 14). La variabilidad interanual de la PPNA de mallines fue similar al noreste de la Patagonia, en la pradera (centro de mallín) 9%, en la unidad graminosa 10% y en la unidad arbustiva graminosa 11%, mientras que para la estepa circundante fue del 33% (Irisarri *et al.*, 2012; Figura 14). En todos los casos la variabilidad interanual de la PPNA disminuyó con el aumento de la PPNA, como mostraron otros autores (Oesterheld *et al.*, 1998, 1999; Paruelo *et al.*, 1999; Jobbágy y Sala, 2000; Knapp y Smith, 2001; Bai *et al.*, 2008; Buono *et al.*, 2010; Irisarri *et al.*, 2012). Si se considerara cambiar la EUR utilizada para los mallines, tal como se explicó en Metodología (pág. 12), el ajuste de modelos general no cambiaría mucho.

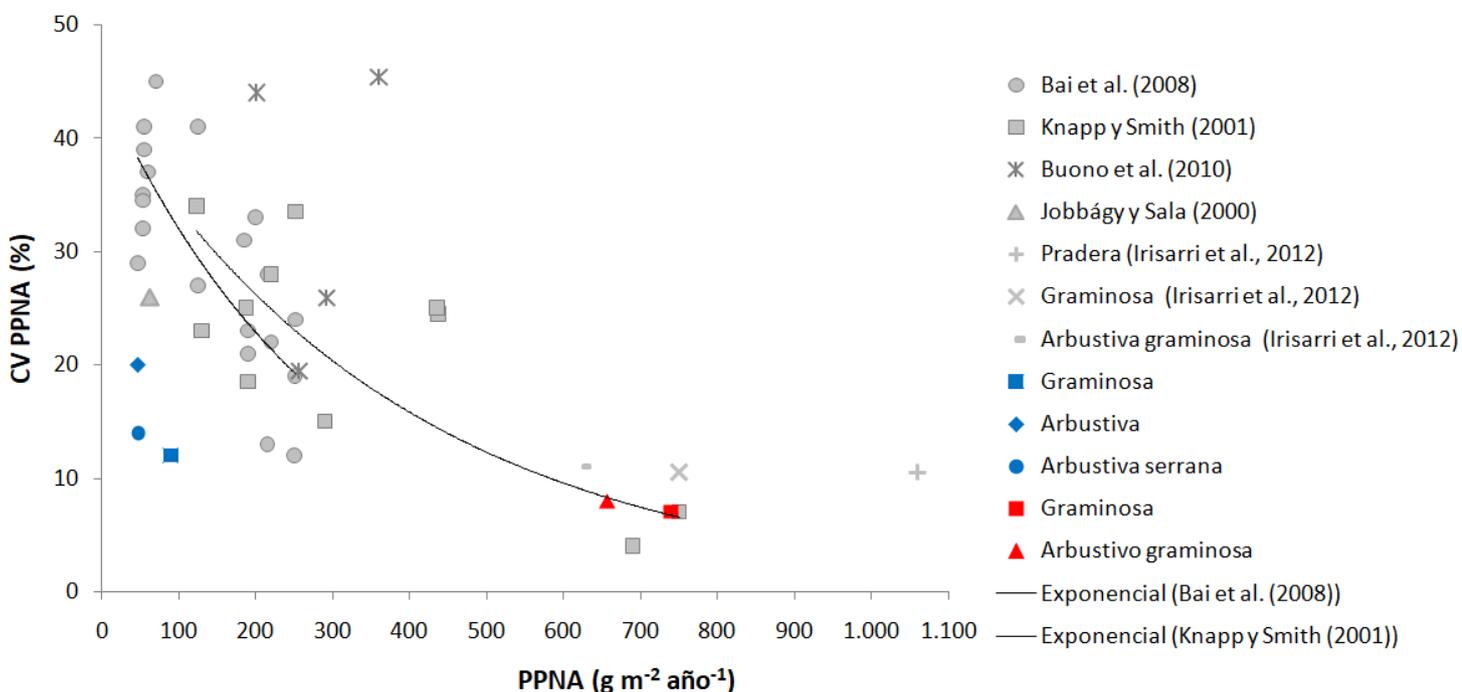


Figura 14. Relación entre el CV interanual de la PPNA y la PPNA acumulada anual pastizales (Irisarri *et al.*, 2012). Se muestran en color los datos de este trabajo final: mallines (rojo) y estepas (azul).

La PPNA de las estepas se relacionó mejor con la precipitación a nivel sitio que a nivel unidad. A nivel de sitio, en dos de los nueve sitios estudiados, la precipitación anual explicó un 25% de la PPNA en el sitio N° 6 (arbustiva serrana) y el 42% en el sitio N° 7 (unidad graminosa). Otros estudios muestran que la precipitación anual explicó el 39% de la variación de la PPNA a través de los años, y con una dispersión de los datos para el modelo temporal mayor que el espacial (Sala *et al.*, 1988; Lauenroth y Sala 1992). A nivel unidad, en la unidad arbustiva serrana la precipitación explicó el 22% de la variación intra-anual de la PPNA.

La relación entre las variables (PPNA y la precipitación) no fue la esperada en mallines ni en estepas, en función de la generalización ampliamente ratificada sobre la PPNA de los pastizales que se relaciona

positiva y linealmente con la precipitación media anual (Lauenroth, 1979; Sala *et al.*, 1988). En mallines no se encontró relación de la PPNA con la temperatura y las precipitaciones que expliquen las variaciones temporales y en estepas las relaciones fueron débiles. Sí se esperaba una mayor respuesta de la PPNA de estepas frente a la precipitación, por ser su efecto mayor en ambientes con menor precipitación media anual (Oesterheld *et al.*, 1999)

Otros estudios, obtuvieron relaciones entre las variables observadas en el presente trabajo, analizando períodos de precipitaciones previos a la estación de crecimiento en estepas gramíneas al norte de la Patagonia (Fabricante *et al.*, 2009). Es así que la variación interanual del NDVI anual (NDVI como sustituto de la PPNA) tuvo una baja correlación con la precipitación, ya sea actual o anterior, pero se correlacionó alta y ampliamente con la precipitación acumulada durante algunos meses de la temporada de crecimiento anterior. Mientras que la variación interanual del NDVI estacional, tuvo una buena respuesta con la precipitación acumulada en períodos anteriores.

En otros estudios (Blanco *et al.*, 2019) se resalta la particularidad de la productividad de herbáceas en ambientes azonales (húmedales), como en mallines, donde la PPNA aumenta significativamente con el incremento de la temperatura media anual, no así con la precipitación. Mientras que la PPNA de especies leñosas- estepas- aumentó con la precipitación media anual principalmente. El carácter azonal de los mallines determina en gran medida su funcionamiento por factores locales, siendo menos dependiente de las precipitaciones. De esta manera la humedad no es una limitante para el crecimiento de los mallines, recibiendo permanentemente agua de ríos y arroyos (Gaitán *et al.*, 2015).

Por último, no sólo los factores climáticos, precipitación y la temperatura, ejercen control sobre las variaciones de la PPNA. Otras variables no incluidas en el trabajo pueden estar influyendo en las variaciones de la PPNA, como el manejo, altitud, tipo de suelo, posición en la pendiente. A su vez los datos climáticos utilizados pueden ser muy generales no permitiendo encontrar asociaciones claras con la PPNA. Finalmente es relevante analizar diferentes períodos de precipitación acumulada previo a la estación de crecimiento, ya que la bibliografía muestra fuertes correlaciones entre la PPNA de mallines y estepas con la precipitación.

5- BIBLIOGRAFÍA

- Ayesa, J.; Bran, D.; López, C.; Marcolín, A. y Barrios, D. 1999. Aplicación de la teledetección para la caracterización y tipificación utilitaria de valles y mallines. *Revista Argentina de Producción Animal*. AAPA 19(1): 133-139.
- Bai, Y.; Wu, J.; Xing, Q.; Pan, Q.; Huang, J.; Yang, D. and Han, X. 2008. Primary production and rain use efficiency across a precipitation gradient on the Mongolia plateau. *Ecology* 89: 2140–2153.
- Baldassini, P.; Irisarri, G.; Oyarzabal, M. y Paruelo, J. 2012. Eficiencia en el uso de la radiación y controles de la productividad de las estepas patagónicas. XXV Reunión Argentina de Ecología. Luján, Buenos Aires, 24 al 28 de septiembre.
- Blackburn, W.J. and Proctor, J.T.A. 1983. Estimating photosynthetically active radiation from measured solar irradiance. *Solar Energy* 31(2): 233-234.
- Blanco, L.J.; Durante, M.; Ferrante, D.; Quiroga, R.E.; Demaría, M. y Di Bella, C.M. 2019. Red nacional de monitoreo de pastizales naturales de Argentina: productividad forrajera de la vegetación extrapampeana. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 45 (1): 89-108.
- Bledsoe, B.P. and Shear, T.H. 2000. Vegetation along hydrologic and edaphic gradients in a North Carolina coastal plain creek bottom and implications for restoration. *Wetlands* 20: 126-147.
- Bonvissuto, G.; Somlo, R.; Lanciotti, M.; González Carteau, A. y Busso, C. 2008. Guías de condición para pastizales naturales de “Precordillera”, “Sierras y Mesetas” y “Monte Austral” de Patagonia. Estación Experimental Agropecuaria Bariloche INTA–Global Environment Facility: Patagonia.
- Bran, D.; Gaitán, J.; Ayesa, J. y López, C. 2004. La vegetación de los mallines del Noroeste de Patagonia. En: *Actas del taller Los mallines en la Patagonia Argentina*. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Esquel, 4 y 5 de marzo.
- Buono, G. 2005. Sistema de Pastoreo ovino- bovino en Mallines. *IDIA* 21: 41-44.
- Buono, G. 2007. Variación espacial y temporal de la productividad de mallines patagónicos. Tesis MSc. EPG Alberto Soriano. FAUBA: 1-58
- Buono, G.; Oesterheld, M.; Nakamatsu, V. and Paruelo, J.M. 2010. Spatial and temporal variation of primary production of Patagonian wet meadows. *Journal of Arid Environments* 74: 1257–1261.
- Burke, M.K.; Lockaby, B.G. and Conner, W.H. 1999. Aboveground production and nutrient circulation along a flooding gradient in a South Carolina Coastal Plain forest. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1402-1418.
- Caruso, C.A. 2019. Variación espacial y temporal de la productividad primaria neta aérea y forrajera de estepas áridas y semiáridas del noroeste de Chubut. Tesis MSc. EPG Alberto Soriano. FAUBA: 1-78.

- Collantes, M.; Anchorena, J.; Stoffella, S.; Escartín, C. and Rauber, R. 2009. Wet lands of the Magellanic steppe (Tierra del Fuego, Argentina). *Folia Geobotanica* 44(3): 227-245.
- Cremona, M.V.; Gaitán, J.J.; Velasco, V.; Varano, L. y Siffredi, G.L. 2007. Curvas de productividad primaria en mallines húmedos del área ecológica de Sierras y Mesetas del norte de la Patagonia argentina. III Reunión Binacional de Ecología, La Serena (Chile), 30 de septiembre al 4 de octubre de 2007.
- Fabricante, I.; Oesterheld, M. and Paruelo, J.M. 2009. Annual and seasonal variation of NDVI explained by current and previous precipitation across northern Patagonia. *Journal of Arid Environments* 73: 745-753.
- Gaitán, J.; Bran, D.; Oliva, G.; Ciari, G.; Nakamatsu, V.; Salomone, J.; Ferrante, D.; Buono, G.; Massara, V.; Humano, G.; Celdrán, D.; Opazo, W. and Maestre F. 2013. Evaluating the performance of multiple remote sensing indices to predict the spatial variability of ecosystem structure and functioning in Patagonian steppes. *Ecological Indicators* 34: 181-191.
- Gaitán, J.; Bran, D.; Raffo, F. y Ayesa, J. 2015. Evaluación y cartografía de mallines de las zonas de Loncopué y Chos Malal, provincia del Neuquén. Comunicación técnica, No. 131, área recursos naturales relevamiento integrado. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Grigera, G. and Oesterheld, M. 2006. Forage production monitoring systems parameterization of fPAR and RUE. *Global vegetation Workshop*. The University of Montana, Missoula MT, USA.
- Golluscio, R.A.; León, R.J.C. y Perelman, S. 1982. Caracterización fitosociológica de la estepa del oeste del Chubut. Su relación con el gradiente ambiental. *Boletín Sociedad Argentina de Botánica* 21: 299-324.
- Horne, F. 2010. Manejo hidrológico de mallines: aplicación al manejo sustentable del Mallín Genoa. 1ª edición. Ed. Educo-Universidad Nacional del Comahue. Neuquén.
- Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E.P.; Gao, X.; Ferreira, L.G. and Badhwar, G.D. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83: 195– 213.
- Irisarri, J.G.N. y Schmid, P. 2004. Propuesta metodológica preliminar para caracterizar suelos de mallines. Taller “Los mallines en la Patagonia Argentina”, Esquel. Chubut.
- Irisarri, J.G.N. 2008. Variación espacial y temporal de la productividad primaria neta aérea de mallines del Noroeste de la Patagonia. Tesis MSc. EPG Alberto Soriano. FAUBA: 1-77.
- Irisarri, J.G.N.; Oesterheld, M.; Paruelo, J.M. and Texeira, M. 2012. Patterns and controls of above-ground net primary production in meadows of Patagonia. A remote sensing approach. *Journal of Vegetation Science* 23: 114-126.
- Jobbágy, E.G.; Paruelo, J.M. y León, R. 1995. Estimación del régimen de precipitación a partir de la distancia a la cordillera en el noroeste de la Patagonia. *Ecología Austral* 5: 47-53.
- Jobbágy, E.G. and Sala, O.E. 2000. Controls of grass and shrub aboveground production in the Patagonian steppe. *Ecological Applications* 10: 541–549.

- Jobbágy, E.G.; Sala O.E. and Paruelo, J.M. 2002. Patterns and controls of primary production in the Patagonian steppe: a remote sensing approach. *Ecology* 83:307- 319
- Jouve, V. 2003. Productividad Primaria Neta Aérea de las estepas patagónicas: controles ambientales y estimación mediante sensores remotos. Tesis MSc. EPG Alberto Soriano. FAUBA
- Knapp, A.K. and Smith, M.D. 2001. Variation among biomes in temporal dynamics of aboveground primary production. *Science* 291: 481–484.
- Lauenroth, W.K. 1979. Grassland primary production: North American grasslands in perspective. In: French, N. (ed.) *Perspectives in grassland ecology*, pp. 3-24. Springer Verlag, New York. NY.
- Lauenroth, W.K. and Sala, O.E. 1992. Long-term forage production of North American shortgrass steppe. *Ecological Applications* 2: 397-403.
- León, R.J.C.; Bran, D.; Collantes, M.; Paruelo, J.M. y Soriano, A. 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecología Austral* 8: 125–144.
- Matteucci, S.D. 2012. Ecorregión Estepa Patagónica. En: Morello J., Matteucci S.D., Rodríguez A.F. y Silva E.D. (Eds). *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*. Orientación Gráfica Editora S.R.L., Buenos Aires:549-654.
- McCree, K. 1972. Test of the current definition of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agricultural Meteorology* 10: 443-453.
- Monteith, J.L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 9: 747–766.
- Oesterheld, M.; Di Bella, C.M. and Kerdiles, H. 1998. Relation between NOAA-AVHRR satellite data and stocking rate of rangelands. *Ecological Applications* 8: 207–212.
- Oesterheld, M.; Loreti, J.; Semmartin, M. and Paruelo, J.M. 1999. Grazing, fire, and climate effects on primary productivity of grasslands and savannas. Walker, L.L. (Ed). In *Ecosystems of Disturbed Grounds, Series Ecosystems of the World*, Elsevier, New York. 287-306.
- Oyarzabal, M.; Clavijo, J.; Oakley, L.; Biganzoli, F.; Tognetti, P.; Barberis, I.; Maturo, H.M.; Aragón, R.; Campanello, P.I.; Prado, D. 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral* 28: 40–63.
- Oliva, G.; Bran, D.; Gaitán, J.; Ferrantea, D.; Massara, V.; García Martínez, G.; Adema, E.; Enrique, M.; Domínguez, E. and Paredes, P. 2019. Monitoring drylands: The MARAS system. *Journal of Arid Environments* 161: 55–63.
- Paruelo, J. and Sala, O. 1995. Water losses in the Patagonian Steppe: a modelling approach. *Ecology*, 76: 510-520.

Paruelo, J.M.; Beltrán, A.; Jobbágy, E.G.; Sala, O.E. and Golluscio, R.A. 1998. The climate of Patagonia: general patterns and controls on biotic processes. *Ecología Austral* 8: 85–101.

Paruelo, J.M.; Lauenroth, W.K.; Burke, I.C. and Sala, O.E. 1999. Grassland precipitation use efficiency varies across a resource gradient. *Ecosystems* 2: 64–68.

Paruelo, J.M.; Golluscio, R.A.; Guerschman, J.P.; Cesa, A.; Jouve, V.V. and Garbulsky, M.F. 2004. Regional scale relationships between ecosystem structure and functioning: the case of the Patagonian steppes. *Global Ecology and Biogeography* 13: 385-395.

Paruelo, J.M.; Pütz, S.; Weber, G.; Bertiller, M.; Golluscio, R.A. and Aguiar, M.R. 2008. Long-term dynamics of a semiarid grass steppe under stochastic climate and different grazing regimes: A simulation analysis. *Journal of Arid Environments* 72: 2211-2231.

Piñeiro, G.; Oesterheld, M. and Paruelo, J.M. 2006. Seasonal variation in aboveground production and radiation-use efficiency of temperate rangelands estimated through remote sensing. *Ecosystems* 9: 357–373.

Sala, O.E.; Parton, W.J.; Joyce, L.A. and Lauenroth, W.K. 1988. Primary production of the Central Grassland Region of the United States. *Ecology* 69(1): 40- 45.

Schulze, E.D.; Mooney, H.A.; Sala, O.E.; Jobbágy, E.G.; Buchmann, N.; Bauer, G.; Canadell, J.; Jackson, R.B.; Loretí, J.; Oesterheld, M. and Ehleringer, J.R. 1996. Rooting depth, water availability, and vegetation cover along an aridity gradient in Patagonia. *Oecologia* 108: 503-511.

Siffredi, G. 2005. Conceptos de evaluación forrajera y de determinación de la carga animal en Patagonia norte. Curso de evaluación de recursos naturales para la planificación del pastoreo en los establecimientos ganaderos. Sociedad Rural de Neuquén; Secretaría de Producción (Provincia del Neuquén); AER INTA San Martín de los Andes; Estación Experimental Bariloche INTA.

Soriano, A. 1956. Los distritos florísticos de la provincia patagónica. *Revista de Investigaciones agrícolas* 10: 323–347.

Utrilla, V.; Brizuela, M. and Cibils, A. 2005. Riparian habitats (mallines) of Patagonia. A key grazing resource for sustainable sheep-farming operations. *Outlook on Agriculture* 34: 55-59.

Utrilla, V.; Brizuela, M. and Cibils, A. 2006. Structural and nutritional heterogeneity of riparian vegetation in Patagonia (Argentina) in relation to seasonal grazing by sheep. *Journal of Arid Environments* 67: 661–670.