

**Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales**

Trabajo Final de Carrera Ingeniería Agronómica.

Modalidad: Intervención Profesional

Título: “Dinámica de crecimiento del pastizal natural en el establecimiento El Amanecer mediante uso de sensores remotos”

Alumno: Bonfiglio Franco

Legajo:27684/7

D.N.I:38.942.482

Correo electrónico: franco1bonfiglio@gmail.com

Teléfono:2343414254

Director: Ing. Agr. Fernández, Federico

Co-director: Ing. Agr. Rodríguez Guiñazú, Adrián

Fecha de entrega:

18/04/2023

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS PARTICULARES.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
RESULTADOS	11
DISCUSIONES.....	22
CONCLUSION.....	25
BIBLIOGRAFÍA.....	26
ANEXO.....	28

RESUMEN

El objetivo fue describir y aplicar la estimación de la productividad primaria neta aérea mediante el uso de imágenes satelitales en el pastizal natural del establecimiento “El Amanecer”. Para estimar la productividad primaria neta aérea (PPNA) se utilizó el modelo de Monteith (1972). Se solicitó información de índice verde normalizado desde febrero de 2000 a diciembre de 2020. Se realizó las estimaciones de PPNA promedio (2000-2020) para cada lote; la PPNA promedio del pastizal para cada año, la PPNA acumulada por estaciones; la PPNA diaria promedio del pastizal y la PPNA diaria promedio mensual. Se calculó la receptividad ganadera de cada lote y año analizado. La variabilidad espacial y temporal de la PPNA y receptividad fueron analizadas por ANOVA con prueba de Tukey. Con información de PPNA, temperatura y precipitaciones se realizó un análisis de componentes principales. Se realizó una modelización con regresión múltiple por paso y regresión lineal por tramos ($p \leq 0,05$) con el programa Infostat v 2018. Con los resultados obtenidos se realizó un balance forrajero con dos situaciones contrapuestas de PPNA y cuatro carga animal. La EUR promedio fue de 0.64 ± 0.08 . Se encontró diferencias significativas entre lotes y entre años para la PPNA y la receptividad. Mediante el análisis de componentes principales se pudo detectar que la PPNA está relacionada con las precipitaciones del año en curso y las temperaturas medias del año anterior. La PPNA acumulada en verano está relacionada con la suma de las precipitaciones de noviembre y diciembre, mientras que en otoño con la suma de febrero y marzo. El balance forrajero energético en un año promedio de PPNA fue de 50, 16, -5 y -25% y para un año inferior de 9, -25, -31 y -45% en función de las cargas animal de 0.5, 0.65, 0.8 y 1 EV ha⁻¹ respectivamente. La información provista aporta información útil en la planificación forrajera del establecimiento en el corto, mediano y largo plazo.

INTRODUCCION

En Argentina, como resultado del proceso de agriculturización (Rearte, 2011), ocurrió un reordenamiento regional del stock vacuno nacional, donde la Cuenca del Salado se convirtió en el área con la mayor concentración de vacas de cría del país (Maresca, 2018) contando con la mitad del stock de la provincia de Buenos Aires y el 17% del stock nacional (SENASA, 2017). Esta región se caracteriza por ser una llanura extensa de escasa pendiente, donde el agua de escurrimiento no alcanza a formar una red de drenaje desarrollada. Si bien el clima es templado sub-húmedo con distribución de lluvias a lo largo del año, son frecuentes los excesos de lluvia en el invierno y los déficits en verano (Lemcoff, 1992). La alternancia de eventos de inundación y sequías, junto a las características edáficas predominantes (hidro y halomorfismo) han limitado la extensión de la actividad agrícola, generando que la principal actividad productiva de la zona sea la cría de ganado bovino.

Los sistemas de cría bovina en la Depresión del Salado presentan como principal recurso forrajero el pastizal natural (Hidalgo et al., 2002) conformado por un mosaico de comunidades vegetales. La heterogeneidad de la vegetación está asociada a las variaciones topográficas, presencia de hidromorfismo y de salinidad/sodicidad de los suelos, los cuales junto a la interacción con el pastoreo controlan la estructura de las comunidades vegetales (Perelman et al., 2001). Existen diferentes trabajos que se han enfocado en definir y caracterizar las comunidades vegetales en los pastizales naturales de la Cuenca del Salado. Burkart et al. (2005) generaron una clasificación general del pastizal definiendo cuatro comunidades vegetales potenciales para la zona de estudio anteriormente mencionada. La GUV I corresponde a las praderas de mesófitas, la GUV II son las praderas húmedas de mesófitas, la GUV III corresponde a la pradera de hidrófitas y la GUV IV a la estepa de halófitas.

El funcionamiento del pastizal está representado por la productividad primaria neta aérea (PPNA) definida como la tasa de generación de nueva biomasa por unidad de área y tiempo, y es una medida directa de la generación de energía disponibles para los herbívoros. La PPNA está directamente relacionada con la receptividad o capacidad de carga de los sistemas pastoriles (Oosterheld et al., 1999). La PPNA presenta alta variabilidad que se manifiesta

en el tiempo (intra e interanual) y en el espacio (sitios, potreros) a diferentes escalas (Lauenroth y Sala, 1992). Puede ser estimada a partir de métodos tradicionales, como los cortes sucesivos de biomasa (Altesor et al., 2005; Bermúdez y Ayala, 2005; Oesterheld et al., 2017), o a partir de métodos innovadores, como los modelos empíricos (Grigera et al., 2007; Piñeiro et al., 2006; Paruelo et al., 2011).

Los métodos tradicionales frente a la variabilidad estacional y espacial de la PPNA, presentan ciertas desventajas para su correcta estimación (Sala et al., 1988; Scurlock et al., 2002). Asimismo, son costosos en tiempo y esfuerzo; además, sus resultados responden a situaciones particulares del sitio en estudio, lo que dificulta las extrapolaciones a nivel regional (Chuvienco, 2002). En este sentido, los modelos empíricos (principalmente aquellos basados en datos aportados por sensores remotos) toman importancia, ya que resuelven con gran precisión muchos de estos inconvenientes (Grigera et al., 2007; Piñeiro et al., 2006).

La estimación de la PPNA mediante el uso de sensores remotos se basa en la integración temporal de la radiación absorbida expresada por el modelo de Monteith (1972) (Ecuación 1).

$PPNA = APAR (RFAI \times fPAR) \times EUR$. (Ecuación 1):

donde la PPNA es la productividad primaria neta aérea ($g\ m^{-2}\ año^{-1}$), RFAI representa la radiación fotosintéticamente activa incidente ($MJ\ m^{-2}\ día^{-1}$), fPAR es la fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por la cobertura vegetal y la EUR representa el coeficiente de conversión de radiación absorbida en biomasa aérea expresado en gramos de biomasa seca por megajoule ($g\ Mj^{-1}$) de radiación absorbida.

Estimar la PPNA a partir de esta aproximación implica resolver tres parámetros. El primero es conocer la radiación incidente a partir de la información de estaciones meteorológicas con una cercanía de hasta 400 km. El segundo, es conocer la fracción de la radiación fotosintéticamente activa incidente que es absorbida por la vegetación verde, en los cuales los sensores remotos pueden estimar con precisión. El más difundido es el índice verde normalizado provenientes de sensores que registran separadamente la reflectancia en las bandas del rojo y del infrarrojo, que mediante sencillos cálculos permite conocer este parámetro. El tercero es la eficiencia en el uso

de la radiación que varía entre especies de acuerdo con el mecanismo fotosintético (C3-C4), o a las relaciones entre fotosíntesis y respiración dadas por la forma de vida, asignación tallo/raíz, etc., o de acuerdo con condiciones ambientales, como la disponibilidad de agua o nutrientes o la temperatura. Su valor para cada caso particular puede estimarse de la literatura o mediante calibraciones. Afortunadamente, esta componente más difícil de resolver del modelo es la que menos varía espacial y temporalmente a las escalas en que suelen ser relevantes para estimar la PPNA de pasturas y pastizales (Chapin et al., 2002).

Conocer la variabilidad de la PPNA es importante para no afectar la sustentabilidad de los sistemas y anticipar la toma de decisiones a nivel empresarial. Es importante generar información acerca de la variabilidad espacial y temporal de la PPNA y de la receptividad, como así también de su relación con las variables climáticas que la definen para planificar un uso racional de los sistemas.

OBJETIVO GENERAL

Describir y aplicar la estimación de la productividad primaria neta aérea mediante el uso de imágenes satelitales en el pastizal natural del establecimiento "El Amanecer".

OBJETIVOS PARTICULARES

Estimar la eficiencia del uso de la radiación en el pastizal natural.

Estimar la variabilidad espacial y temporal de la productividad primaria neta aérea en el pastizal natural.

Conocer el efecto de las variables climáticas en la productividad primaria neta aérea.

Generar modelos cuantitativos que relacionen el efecto de las precipitaciones sobre la productividad primaria neta aérea acumulada del pastizal natural en las distintas estaciones del año.

Aplicar la información satelital de la productividad primaria neta aérea como propuesta de planificación en el sector de vacas multíparas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el establecimiento "El Amanecer" perteneciente a la Universidad Nacional de La Plata, administrado de forma

conjunta por las Facultades de Ciencias Agrarias y Forestales y de Ciencias Veterinarias. El campo está ubicado en el partido de Magdalena, Buenos Aires. La superficie total es de 254 ha, siendo 242 ha productiva. La actividad que se realiza es la cría bovina con servicio precoz de hembras para reposición interna.

La estructura forrajera está constituida por pastizal natural (80% de la superficie productiva), promoción de especies invernales (8,2%) y pasturas perennes base festuca (11,8%). Las vacas multíparas cubren sus requerimientos con pastizal natural y las terneras en recría y vaquillonas con promoción de especies invernales, pasturas base festuca y pastizal natural. Se realiza fertilización en las pasturas en su implantación y todos los años en la promoción de especies invernales con fósforo y nitrógeno. El presente estudio se enfocó en el pastizal natural, constituido por un 70% de pradera húmeda de mesófitas, un 15% de estepa de halófitas y un 15% de pradera de hidrófitas (Figura 1) (Vecchio, 2006).

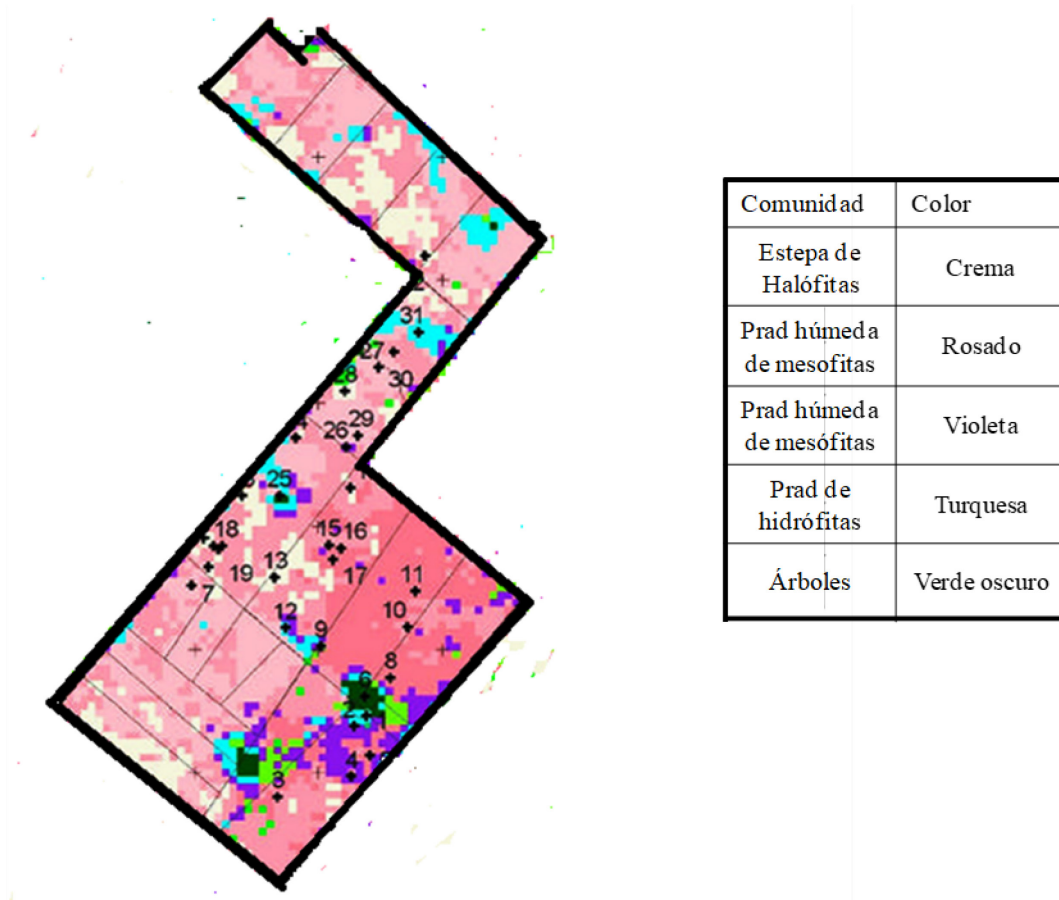


Figura1: Mapa de comunidades de El Amanecer. Cada color corresponde a una clase caracterizado por su dinámica anual del índice verde. A su vez cada

clase se asocia a una comunidad vegetal. Áreas cremas: estepa de halófitas, áreas rosadas y violetas: pradera húmeda de mesófitas, áreas turquesas: pradera de hidrófitas y verde: árboles.

Para estimar la PPNA se utilizó el modelo de Monteith (1972). La radiación fotosintéticamente activa se obtuvo de la Estación Experimental Julio Hirschhorn ubicada en La Plata, a 60 km del establecimiento El Amanecer. Para el cálculo de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa se utilizó el procesamiento propuesto por Grigera et al (2007).

$$fPAR = \min [SR/(SR_{max}-SR_{min}) - SR_{min}/(SR_{max} - SR_{min}), 0:95],$$

$$\text{donde } SR = (1+NDVI)/(1-NDVI)$$

$$NDVI = (\lambda_{red} - \lambda_{nir}) / (\lambda_{red} + \lambda_{nir})$$

$$SR_{max} = 11,62$$

$$SR_{min} = 1,55.$$

λ_{red} = reflectancia de la superficie roja.

λ_{nir} = reflectancia de la superficie del infrarrojo cercano.

Los valores de NDVI fueron obtenidos por el sensor MODIS (ModerateResolutionImagingSpectroradiometer) a bordo de los satélites TERRA, satélites que producen una imagen cada 16 días con una resolución espacial de 250 x 250 metros (Colección 5 MOD13, NASA, 2001-2014). Es un instrumento que combina alta resolución espacial y temporal. En cada potrero se seleccionaron el/los píxel/es MODIS que cumplan la doble condición de quedar incluido/s completamente dentro del potrero y cubrir solo áreas de nuestro interés, excluyendo los montes, caminos y/o construcciones. Se relevó un 88% de los lotes con pastizal natural (Figura 2). Se solicitó la información correspondiente desde febrero de 2000 a diciembre de 2020.

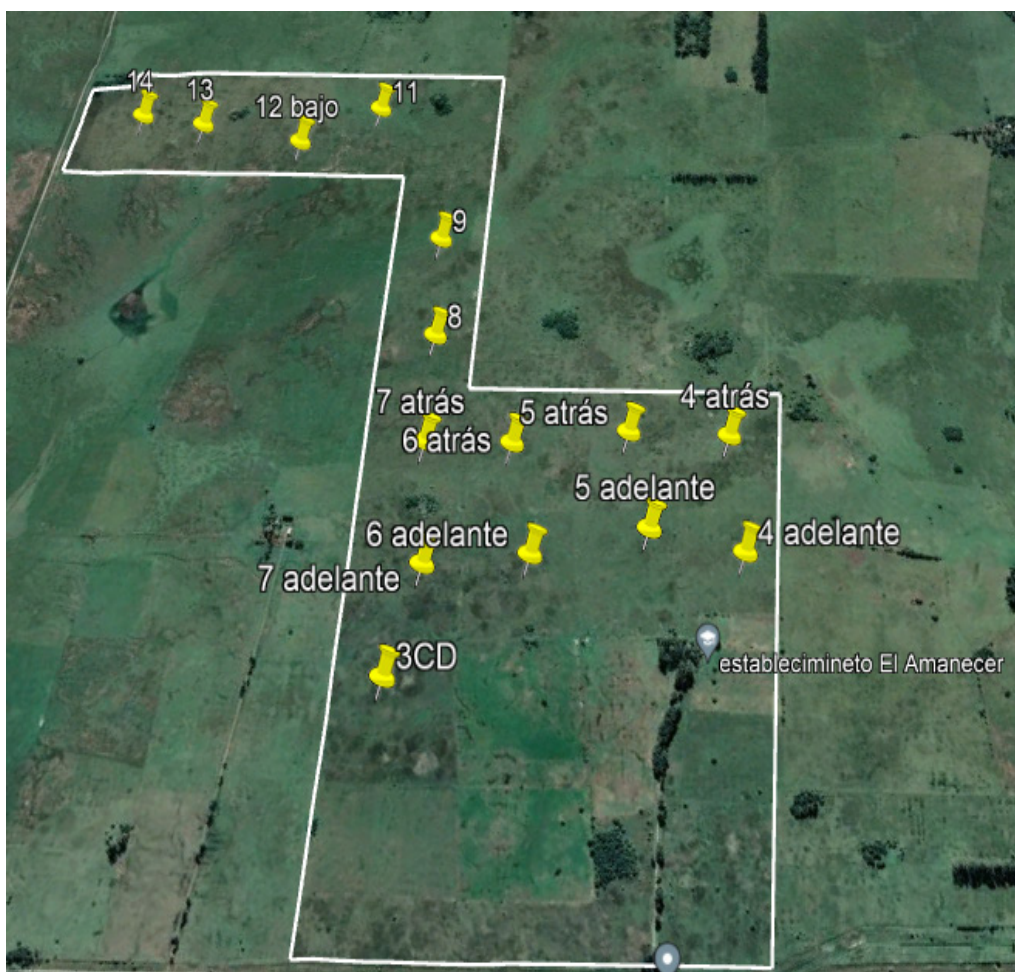


Figura 2. Identificación de lotes evaluados con sensores remotos del establecimiento El Amanecer.

La eficiencia del uso de la radiación se despejó de la Ecuación de Monteith (1972). Se utilizó la información provista por sensores remotos y estaciones meteorológicas (que estima la $rRFAA$ y la RFA de la ecuación) y estimaciones de PPNA realizadas por Vecchio et al. (2006) durante el 2001 para distintos potreros de pastizal natural del establecimiento El Amanecer. Es de destacar que al momento de ese estudio el campo presentaba menos subdivisiones que en la actualidad. Es por ello que se disponía pixel diferenciados para el lote 4 adelante y 4 atrás, 5 adelante y 5 atrás, 6 adelante y 6 atrás, 7 adelante y 7 atrás, por lo que se generó un promedio para cada lote y se procedió con los cálculos pertinentes como un único lote para obtener la EUR (lote 4, 5, 6 y 7 respectivamente).

Obtenida la EUR con datos del establecimiento para distintos potreros, se utilizó dicho valor de manera fija para todos los meses y años evaluados y

seprocedió a realizar las estimaciones de PPNA promedio (2000-2020) para cada lote; la PPNA promedio del pastizal para cada año analizado, la PPNA acumulada por estaciones considerando (verano= enero y febrero; otoño= marzo, abril, mayo; invierno= junio, julio, agosto; y primavera= septiembre, octubre, noviembre y diciembre); la PPNA diaria promedio del pastizal y la PPNA diaria promedio mensual para cada uno de los años durante el periodo 2000-2020. Con los valores de PPNA de cada lote y promedio anual del pastizal se calculó la receptividad ganadera haciendo uso de la siguiente fórmula planteada por Golluscio (2009):

$$\text{Receptividad ganadera (EVha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{PPNA (kgMSha}^{-1}\text{año}^{-1}\text{)} * \text{Índice cosecha}}{\text{Consumo individual animal (kgMSEV}^{-1}\text{año}^{-1}\text{)}}$$

El índice de cosecha utilizado fue de 0,6 y el consumo individual animal de 3650 kgMSEV⁻¹año⁻¹.

Los datos fueron procesados en planilla Excel. La variabilidad espacial y temporal de la PPNA y receptividad fueron analizadas por ANOVA con prueba de Tukey. Con información de PPNA, temperatura (provenientes de la estación Julio Hirschhorn, Anexo 1) y precipitaciones (registrada con pluviómetro del propio campo, Anexo 2) se realizó un análisis de componentes principales. La modelización se realizó con regresión múltiple por paso (selección por menor coeficiente de Akaike, AIC) donde la variable dependiente fue la PPNA acumulada para las distintas estaciones del año y como variable independiente la precipitación de meses anteriores (meses individuales o grupos de meses de duración creciente) y luego regresión lineal por tramos ($p \leq 0,05$) con el programa Infostat v 2018.

Con los resultados obtenidos se realizó un balance forrajero con dos situaciones contrapuestas. Para calcular la oferta se tuvo en cuenta: días del mes, tasa de crecimiento para un año promedio y otro inferior al promedio (2011), cadena de pastoreo, índice de cosecha, superficie total del recurso y valor de digestibilidad provistos por la cátedra de Forrajicultura y Praticultura (FCAyF) para estimar la Mcal/ kgMS. Para calcular la demanda se utilizó las tablas de equivalencia ganaderas para vacas Cocimano et al.,(1975) variando los escenarios de carga animal expresada en equivalente vaca (EV ha⁻¹) para analizar su efecto. Las cargas evaluadas fueron: carga animal igual a la receptividad ganadera (con índice de cosecha de 0.5), carga animal igual a la

receptividad ganadera (con índice de cosecha de 0.6), carga animal superior en un 23% y 53% con respecto a la receptividad ganadera.

RESULTADOS

Eficiencia del uso de la radiación

A partir de la disposición de pixel se pudo estimar la eficiencia del uso de la radiación de los lotes 3CD, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13 y 14. En la Tabla 1 se observa los valores de EUR de los diferentes lotes de pastizal natural del establecimiento El Amanecer. La EUR promedio fue de $0.64 \pm 0.08 \text{ kg Mj}^{-1}$.

Tabla 1: Estimación de la eficiencia del uso de la radiación (EUR) en función de los lotes.

Lote	APAR	APAR 365	PPNA Vecchio et al. (2006)	EUR
3CD	1,93	7.056	4.444	0,63
4	1,96	7.159	3.710	0,52
5	1,82	6.661	4.250	0,64
6	1,68	6.127	4.180	0,68
7	1,92	7.005	4.020	0,57
8	1,78	6.497	3.930	0,60
9	2,06	7.509	4.520	0,60
11	1,57	5.737	3.800	0,66
13	1,50	5.490	4.383	0,80
14	1,49	5.423	4.020	0,74

Nota: APAR: radiación fotosintéticamente activa absorbida expresada en PPNA: productividad primaria neta aérea expresada en kgMS/ha/año.

Variabilidad en la dinámica de crecimiento del pastizal

Variabilidad espacial

La productividad primaria neta aérea anual promedio (desde el 2000 al 2020) expresada en $\text{kgMS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ presentó diferencias significativas ($p < 0,0001$) en los lotes analizados (Figura 3).

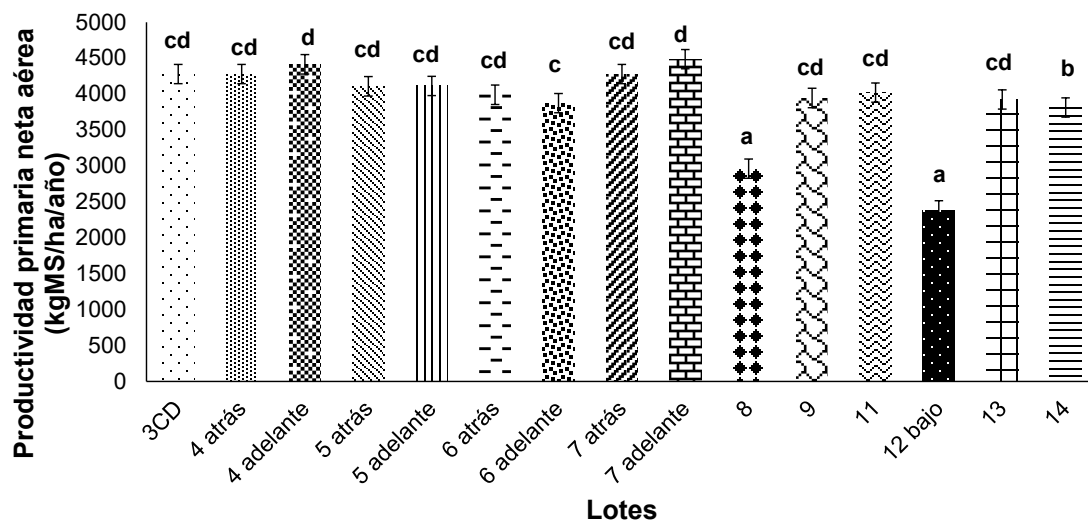


Figura 3: Productividad primaria neta aérea anual promedio (desde el 2000 al 2020) expresada en $\text{kgMS}\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ en función de lotes analizados. Letras diferentes (ordenadas en forma creciente desde la media más baja hacia la más alta: a-b-c-d) indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Variabilidad temporal en la dinámica de crecimiento promedio del pastizal: año.

La productividad primaria neta aérea anual promedio del pastizal expresada en $\text{kgMS}\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ presentó diferencias significativas ($p < 0,0001$) según los años analizados (Figura 4). El valor promedio fue de $3925 \text{ kgMS}\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, el mínimo registrado $2284 \text{ kgMS}\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ y el máximo fue de $5147 \text{ kgMS}\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$.

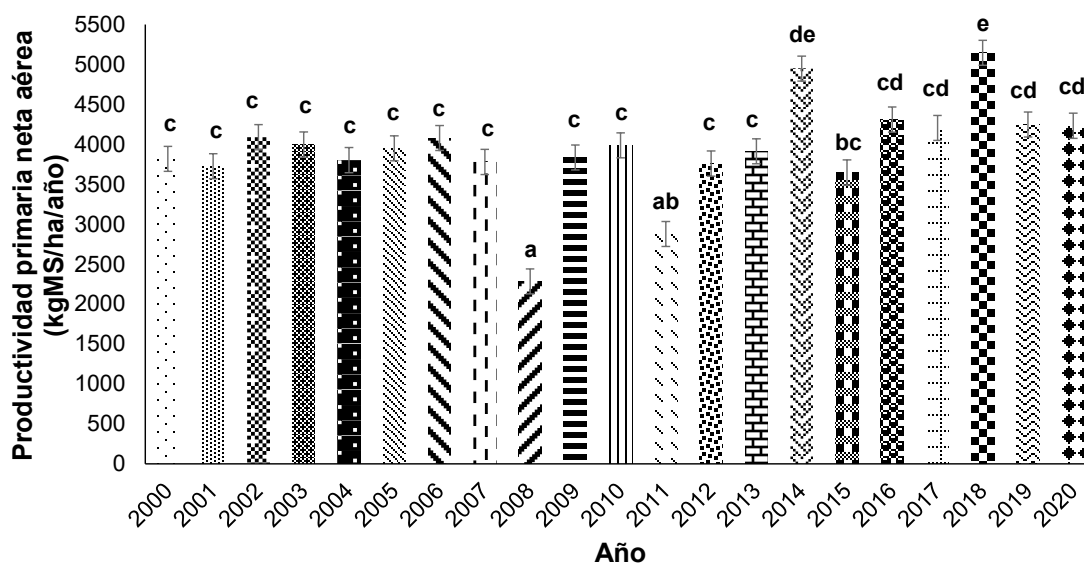


Figura 4: Productividad primaria neta aérea anual promedio del pastizal, expresada en $\text{kgMS}\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ en función de los años analizados. Letras diferentes (ordenadas en forma creciente desde la media más baja hacia la más alta: a-b-c-d-e) indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Variabilidad temporal en la dinámica de crecimiento promedio del pastizal: estaciones climáticas.

La productividad primaria neta aérea estacional promedio del pastizal expresada en $\text{kgMS}\text{ha}^{-1}\text{ estación}^{-1}$ presentó diferencias significativas ($p < 0,0001$); la estación primavera presentó la mayor producción con un promedio de $2068,63 \text{ kgMS}\text{ha}^{-1}$ con respecto a otoño, invierno y verano; el otoño fue mayor que invierno y verano con un promedio de $777,27 \text{ kgMS}\text{ha}^{-1}$ y menor que primavera; no se encontraron diferencias entre verano e invierno ($621,41$ y $590,08 \text{ kgMS}\text{ha}^{-1}$ respectivamente). En la Figura 5 se presentan los valores promedios del pastizal diferenciada por estación del año en función del periodo analizado.

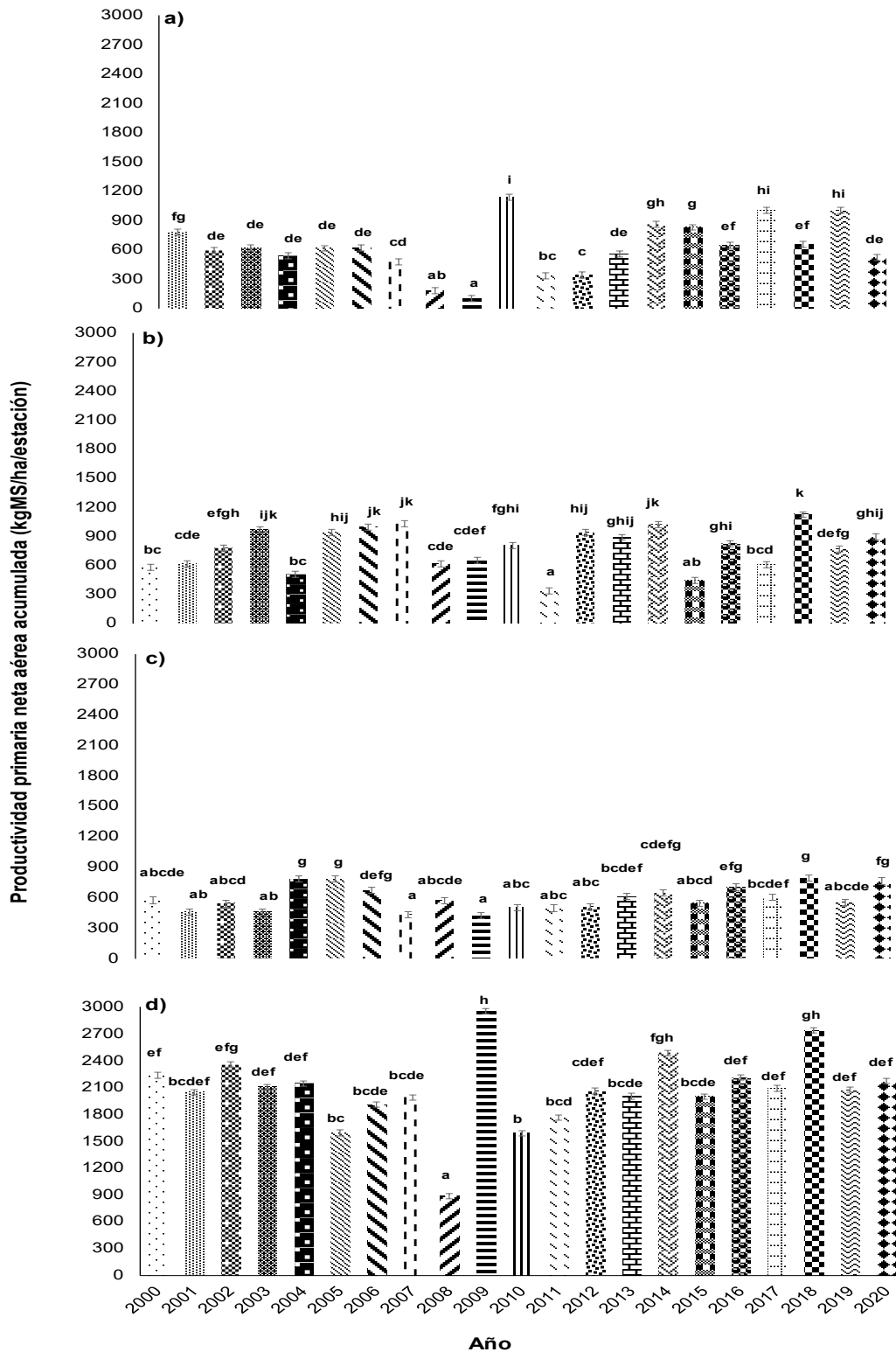


Figura 5:Productividad primaria neta aérea anual promedio acumulada del pastizal, expresada en kgMS/ha⁻¹ para las distintas estaciones del año a) verano, b) otoño, c) invierno, d) primavera; en función de los años analizados. Letras diferentes (ordenadas en forma creciente desde la media más baja hacia la más alta: a-b-c-d-e-f-g-h-i) indican diferencias significativas (p<0,05).

Variabilidad temporal en la dinámica de crecimiento promedio del pastizal: día.

La productividad primaria neta aérea diaria o tasa de crecimiento promedio del mes del pastizal expresada en $\text{kgMS ha}^{-1}\text{día}^{-1}$ presentó diferencias significativas ($p < 0,0001$) en función de los meses del año (Figura 6). En la Figura 7 se representa la tasa de crecimiento expresada en $\text{kgMS ha}^{-1}\text{día}^{-1}$ para cada mes de los distintos años evaluados.

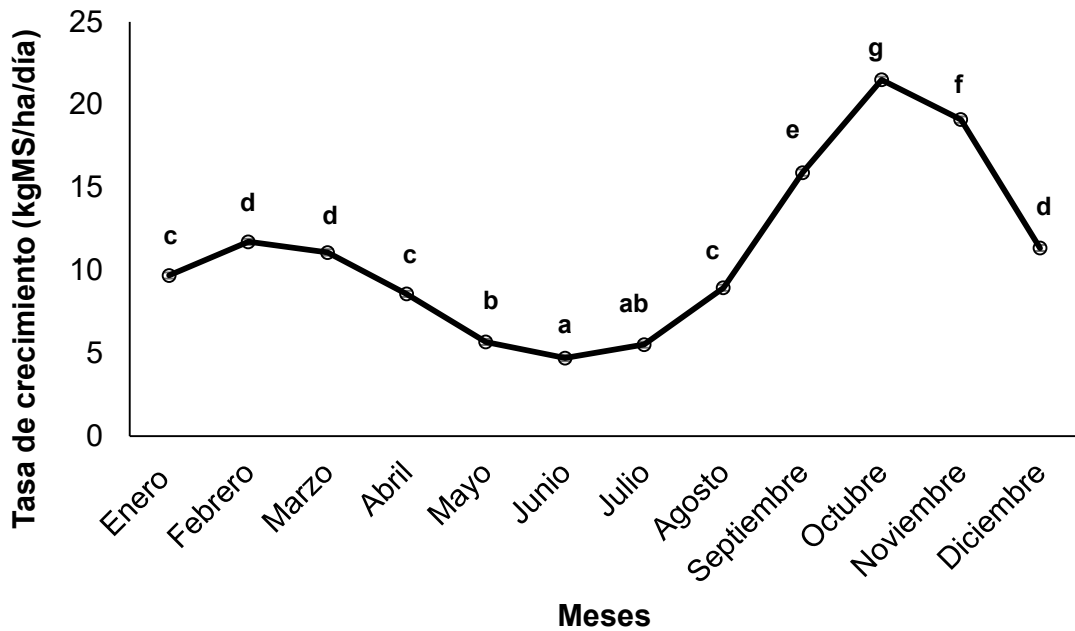


Figura 6: Tasa de crecimiento promedio expresada en $\text{kgMS ha}^{-1}\text{día}^{-1}$ en función de los meses del año. Letras diferentes (ordenadas en forma creciente desde la media más baja hacia la más alta: a-b-c-d-e-f-g) indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

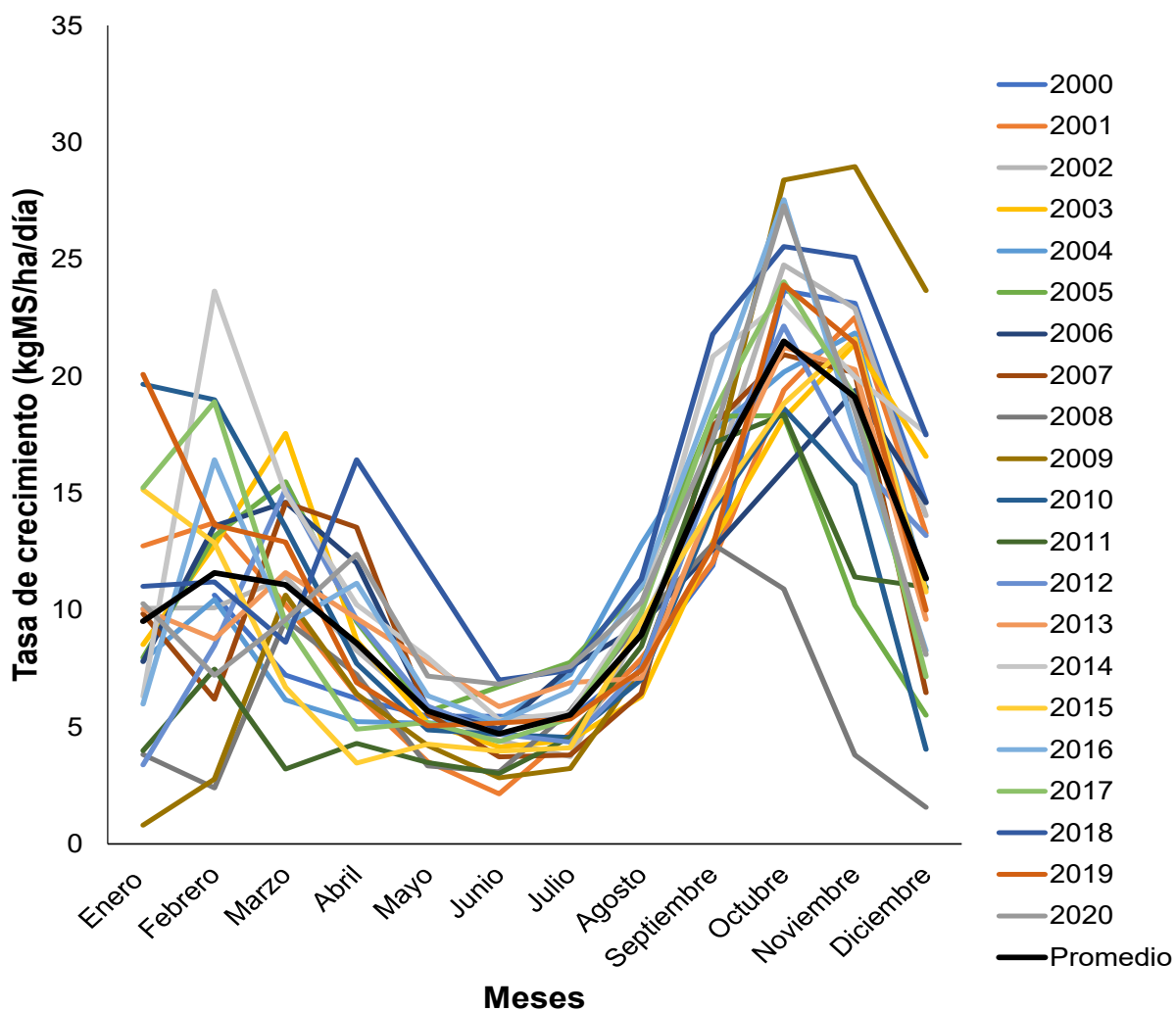


Figura 7: Tasa de crecimiento expresada en $\text{kgMS}\text{ha}^{-1}\text{día}^{-1}$ para cada mes de los distintos años evaluados.

Receptividad ganadera: espacial y temporal

En la Figura 8 y 9 se representan los valores de receptividad ganadera expresada en EVha^{-1} en función de los lotes y de los años respectivamente, la cual presentaron diferencias significativas en ambos casos ($p < 0,0001$). La receptividad promedio del periodo 2000-2020 fue de $0,65 \text{EV}\text{ha}^{-1}$.

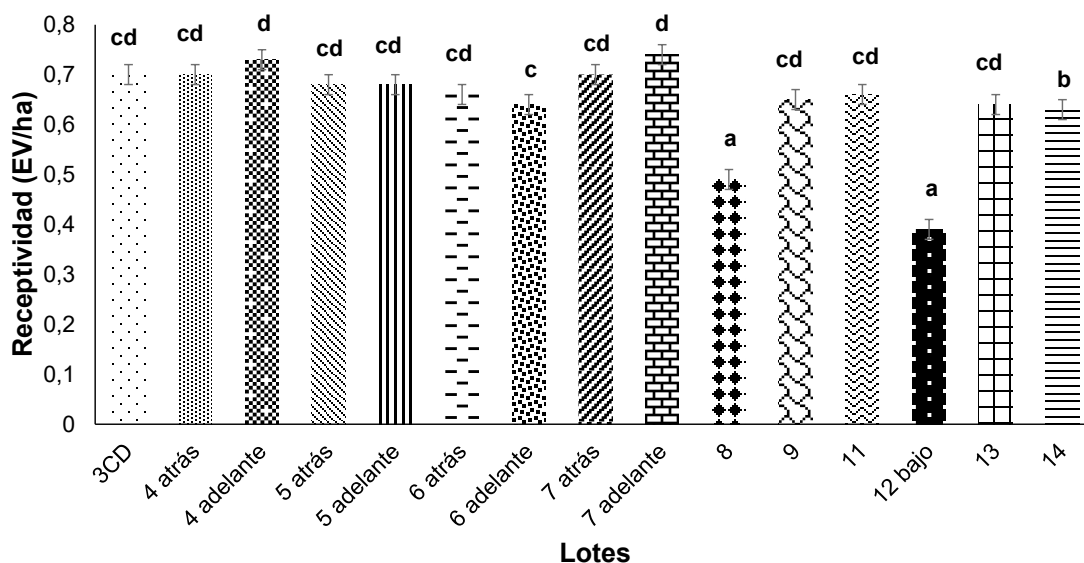


Figura 8: Receptividad ganadera expresada en $EVha^{-1}$ en función de los lotes. Letras diferentes (ordenadas en forma creciente desde la media más baja hacia la más alta: a-b-c-d) indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

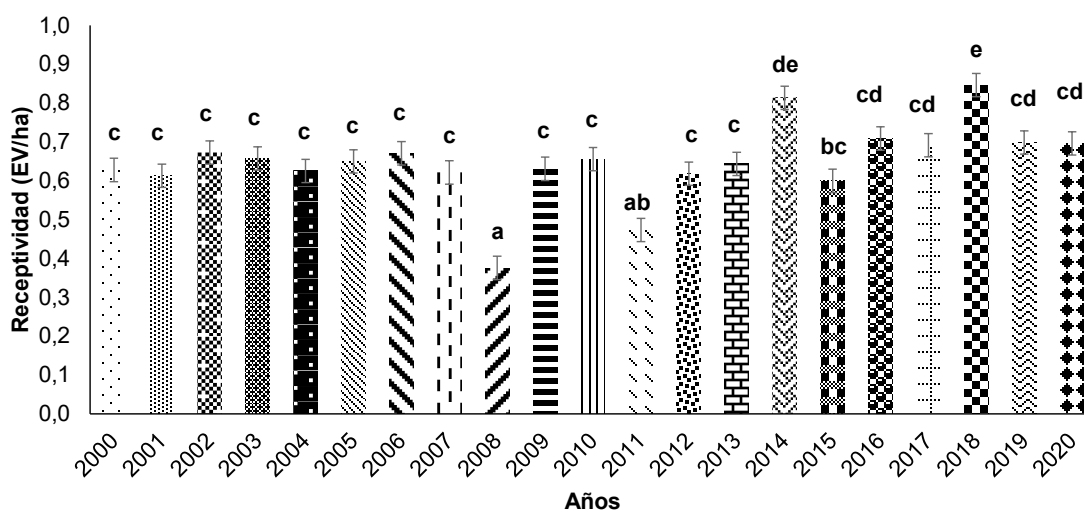


Figura 9: Receptividad ganadera expresada en $EVha^{-1}$ en función de los años. Letras diferentes (ordenadas en forma creciente desde la media más baja hacia la más alta: a-b-c-d-e) indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Dinámica de crecimiento y variables climáticas

Mediante el análisis de componentes principales se pudo detectar que la PPNA expresada en $kgMSha^{-1}año^{-1}$ está relacionada con las precipitaciones del año en curso y las temperaturas medias del año anterior expresadas en $^{\circ}C$ (Figura 10).

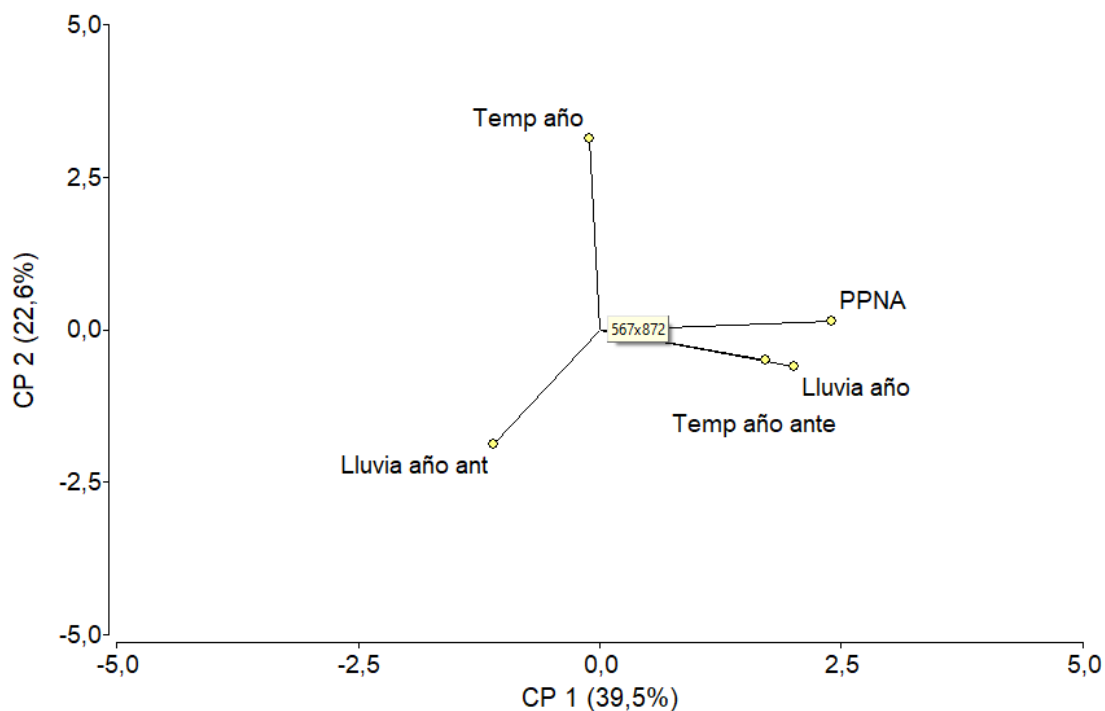


Figura 10: Análisis de componentes principales.

En verano, el modelo generado por regresión lineal por pasos, la combinación de precipitaciones que mejor explican la productividad primaria neta aérea acumulada en verano son las de noviembre + diciembre. La ordenada al origen y la pendiente son distinta de cero ($p=0.002$) y ($p=0,0090$) respectivamente. La fórmula del modelo es:

*PPNA acumulada verano ($kgMS ha^{-1} estación^{-1}$) = $365,43 + 1,93 * (Suma de precipitaciones de noviembre y diciembre)$.*

El análisis de regresión por tramo permitió identificar un punto de inflexión cuando $mm_{ND}=136 mm$ (Figura 11), este punto divide el modelo en las siguientes dos ecuaciones de regresión:

$$PPNA (kg MS ha^{-1}) \left\{ \begin{array}{l} 402 + 1,39 * mm_{ND} \\ \text{si } mm_{ND} < 136 mm \\ 591 + 2,54 * (mm_{ND} - 136) \\ \text{si } mm_{ND} \geq 136 mm \end{array} \right.$$

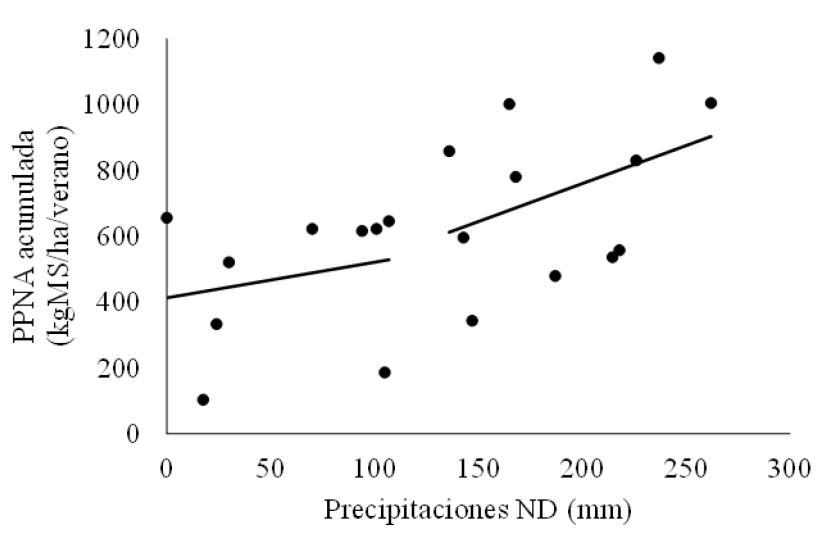


Figura 11. Regresión por tramos de la productividad primaria neta aérea acumulada (PPNA) en verano ($\text{kgMS ha}^{-1} \text{verano}^{-1}$) en función de la suma de precipitaciones (mm) de noviembre y diciembre (ND).

En otoño, el modelo generado por regresión lineal por pasos, la combinación de precipitaciones que mejor explican la productividad primaria neta aérea acumulada son las de febrero + marzo. La ordenada al origen y la pendiente son distinta de cero ($p < 0,0001$) y ($p < 0,0001$) respectivamente. La fórmula del modelo es:

$$PPNA \text{ acumulada otoño } (\text{kgMS ha}^{-1} \text{ estación}^{-1}) = 402,18 + 1,96 * (\text{Suma de precipitaciones de febrero y marzo}).$$

En la Figura 11 se adjunta el análisis de regresión por tramos identificándose un punto de inflexión de 174 mm. Este punto divide el modelo en dos ecuaciones de regresión diferentes.

$$PPNA (\text{kg MS ha}^{-1}) \left\{ \begin{array}{l} 363 + 2,5 * mm_{FM} \\ \text{si } mm_{ND} < 174 \text{ mm} \\ 807 + 1,2 * (mm_{FM} - 174) \\ \text{si } mm_{ND} \geq 174 \text{ mm} \end{array} \right.$$

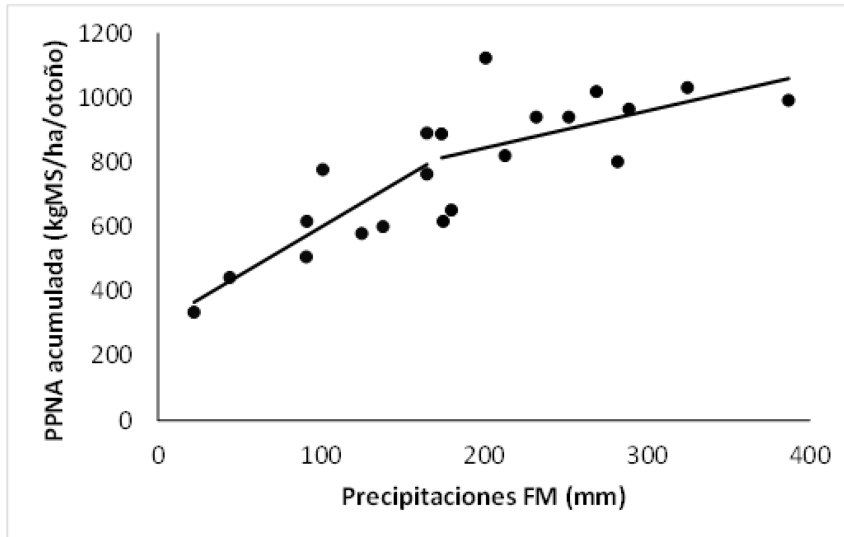


Figura 11: Regresión por tramos de la productividad primaria neta aérea acumulada en la estación de otoño expresada en kgMS ha^{-1} en función de la suma de precipitaciones de febrero y marzo (FM) expresadas en milímetros (mm).

En la estación de invierno no se generó un modelo, es decir ninguna de las combinaciones de precipitaciones evaluadas generaron explicación de la PPNA acumulada en dicha estación. En primavera, el modelo generado por regresión lineal por pasos, la combinación de precipitaciones que mejor explican la productividad primaria neta aérea acumulada son las de septiembre + octubre + noviembre + diciembre. La ordenada al origen y la pendiente son distinta de cero ($p < 0,0001$) y ($p = 0,0006$) respectivamente.

PPNA acumulada primavera ($\text{kgMS ha}^{-1} \text{ estación}^{-1}$) = $980,57 + 6,02 * (\text{Suma de precipitaciones de septiembre, octubre, noviembre y diciembre})$.

En la Figura 12 se adjunta el análisis de regresión por tramos identificándose un punto de inflexión de 234mm. Este punto divide el modelo en dos ecuaciones de regresión diferentes.

$$PPNA \text{ (kg MS ha}^{-1}\text{)} \left\{ \begin{array}{l} 567 + 6,2 * mm_{SOND} \\ \text{si } mm_{ND} < 234 \text{ mm} \\ 2022 + 1,9 * (mm_{SOND} - 234) \\ \text{si } mm_{ND} \geq 234 \text{ mm} \end{array} \right.$$

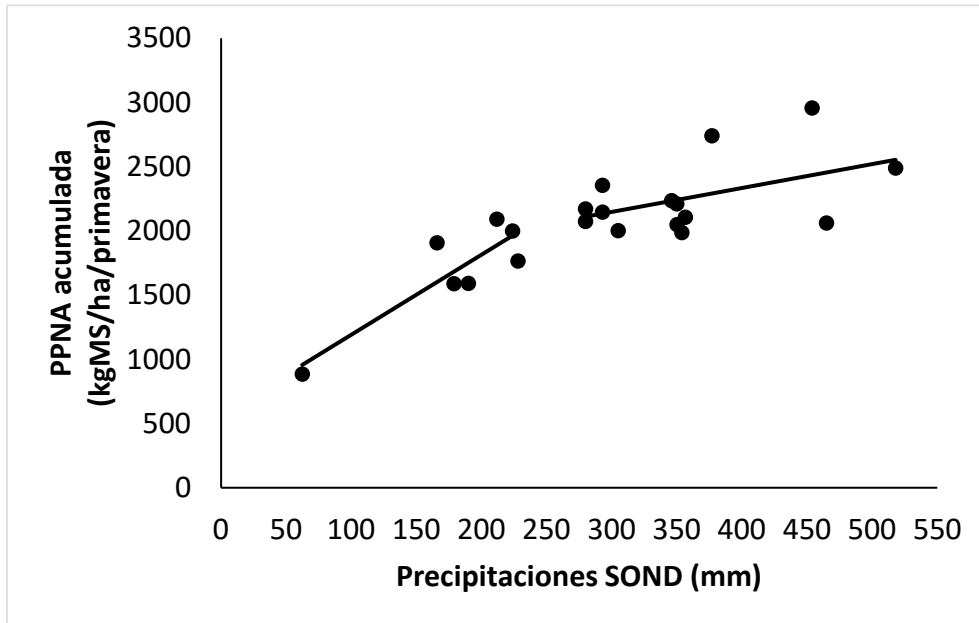


Figura 12: Regresión por tramos de la productividad primaria neta aérea acumulada en la estación de primavera expresada en kgMS ha^{-1} en función de la suma de precipitaciones de septiembre, octubre, noviembre y diciembre (SOND) expresadas en milímetros (mm).

Balance forrajero y efecto de la carga animal.

En la Tabla 2 se presenta el promedio anual del balance forrajero energético y en la Figura 13 el balance forrajero mensual expresado en Mcal EM para dos años contrastante en TC y las necesidades energéticas de 0.5, 0.65, 0.8 y 1 EV ha^{-1} .

Tabla 2: Balance forrajero energético promedio anual expresado en Mcal EM para tres situaciones de carga en dos años con productividad primaria neta aérea diferentes (año promedio y año inferior al promedio).

Carga animal	Año promedio	Año inferior al promedio
$0,5 \text{ EV ha}^{-1}$	50	9
$0,65 \text{ EVha}^{-1}$	16	-19
$0,8 \text{ EVha}^{-1}$	-5,4	-32
1 EV ha^{-1}	-19,5	-42

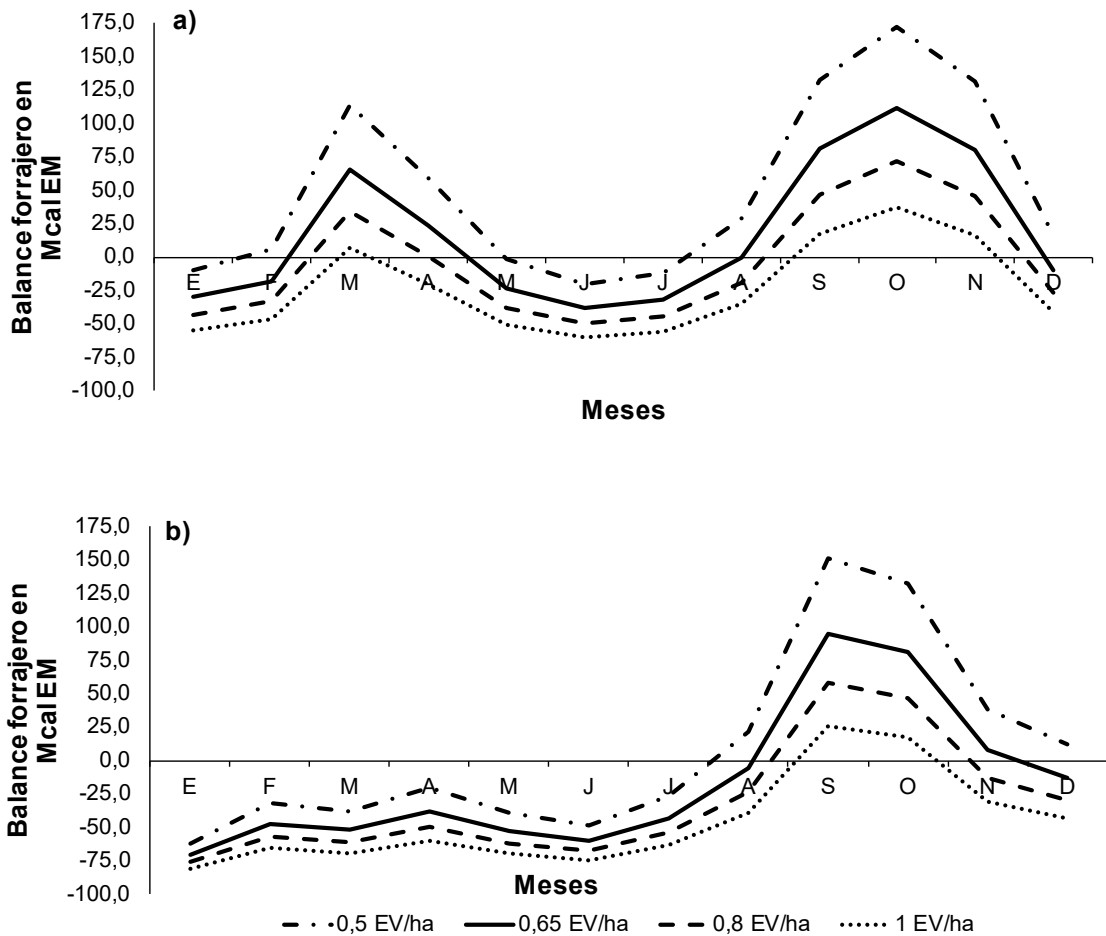


Figura 13. Balance forrajero mensual en Mcal de EM para 0.5, 0.65, 0,8 y 1 EV ha⁻¹. a) tasa de crecimiento promedio del pastizal. b) tasa de crecimiento inferior al promedio correspondiente al 2011.

DISCUSIONES:

Los principales aportes, mediante la utilización de la tecnología de imágenes satelitales, se resumen en los siguientes puntos.

1) Se determinó la EUR promedio anual para distintos lotes en función de los datos de PPNA obtenidos en el propio establecimiento y despejando el término de la ecuación de Monteith (1972). La EUR promedio obtenida es un 33% superior a los valores utilizados por Irrisari et al (2013). Esta diferencia podría estar asociada a la composición florística y a la relación entre plantas con metabolismo C3 y C4. Los lotes que presentan predominio de áreas bajas, los valores de EUR variaron entre 0.5 y 0.6, mientras que los lotes con mayor proporción de especies perennes invernales fueron entre 0,64 y 0,8.

Estos valores son semejantes a los utilizados por Cadaviz (2012) que fueron de 0,6 y 0,8 respectivamente.

2) Se profundizó el conocimiento de la variación espacial y temporal de la productividad primaria neta aérea expresada en kgMS ha^{-1} en distintas unidades temporales (día, mes, estación y año). La PPNA promedio (contemplando todos los lotes y años) obtenida por medio de sensores remotos para el establecimiento El Amanecer fue de $3925 \text{ kgMS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ similar al obtenido por el método de corte realizado por Vecchio (2006) en el cual la PPNA promedio fue de $4126 \text{ kgMS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Sin embargo, es necesario remarcar que las estimaciones realizadas a campo no contemplaron el aporte del compartimento broza para la estimación de la PPNA, por lo que se pudo generar una subestimación de esta.

Por otro lado, se generó la información de la PPNA para cada estación y su variabilidad, en el cual para años sin diferencias significativas en la PPNA ($\text{kgMS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) se encontró diferencias en la PPNA acumulada en cada estación. El reconocimiento de esta permitió profundizar sobre la dinámica de crecimiento de los pastizales del establecimiento y relacionar su efecto en los sistemas de cría. Por último, obtener tasa de crecimiento ($\text{kgMS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) es útil para poder realizar los balances forrajeros con información propia del establecimiento y no haciendo uso de tablas o información proveniente de otros sitios.

3) La receptividad es otro punto importante. En el establecimiento se tenía en cuenta las estimaciones realizadas por Vecchio (2006) que realizó aportes en conocer la receptividad a nivel de lote. A partir de la información generada en esta tesis, permitió incorporar el conocimiento de la variabilidad temporal de la receptividad y profundizar su variabilidad a nivel espacial. En ese sentido, Irrisari et al (2013) reportó cambios en la receptividad entre 0,62 y 1,2 vacas ha^{-1} asociada a años con mayor y menor precipitaciones en relación con el promedio. La variación de la receptividad en esta tesis fue entre 0,38 y 0,85 EV ha^{-1} . La principal diferencia entre ambos trabajos radica en los valores obtenidos en las estimaciones de la PPNA que impactan directamente en la receptividad.

4) Se generaron modelos predictivos conociendo precipitaciones previas a la estación de interés y con respuestas diferenciales en función de un punto de

inflexión. La aplicación de estos modelos contribuye a generar un diagnóstico más certero y permite tomar de decisiones con mayor precisión en la gestión del establecimiento. Algunas de las aplicaciones que se pueden mencionar para el modelo de verano son: analizar si es necesario o no realizar un destete precoz en forma total o parcial del rodeo ante distintos escenarios forrajeros, o la incorporación de suplemento (tipo y cantidad) para equilibrar la oferta y la demanda. En el caso del otoño, el modelo puede ser utilizado para adelantar o no la fecha de destete en función de la proyección de la productividad primaria neta área acumulada, o calcular la cantidad de suplemento necesario para equilibrar el potencial pastura y el potencial animal.

5) La generación de balances forrajeros con distintas dinámicas de crecimiento forrajero y situaciones de carga animal permitió identificar el riesgo del establecimiento. En años promedios de PPNA, el promedio anual del balance energético está dentro de los límites (+/-20%) para las distintas carga animal 0.65, 0,8 y 1 EV ha⁻¹, mientras que para 0.5 EV ha⁻¹ se supera por lo que la oferta es mayor a la demanda. Sin embargo, al analizar los distintos meses, los déficits forrajeros que se generaron en para la carga 0,8 y 1 EV.ha⁻¹ provocan la necesidad de analizar distintas estrategias que permitan aumentar la oferta (como por ejemplo suplementación, fertilización estratégica, entre otras) o la necesidad de reducir la demanda (destete precoz) con el fin de equilibrar el potencial pastura y animal. En ese escenario, la carga de 0.65 EV ha⁻¹, es con la que mejor se alcanza el equilibrio entre la oferta y la demanda, siempre y cuando se mantenga el frame score de los animales, servicio estacionado en tres meses y destete a tiempo fijo a finales de febrero. Por otro lado, en el año inferior al promedio se observa que con la distinta carga animal analizada se deben tomar decisiones para alcanzar el equilibrio entre ambos potenciales, debido a que la reducción de la tasa de crecimiento presenta una gran magnitud no pudiendo cubrir los requerimientos del rodeo en gran parte del año.

Por otro lado, es importante destacar que las aplicaciones del punto 4 y 5 descritos deben ser acompañados con distinta información generada en el establecimiento como, por ejemplo, el monitoreo de la biomasa vegetal en los lotes, la condición estructural de las comunidades vegetales del pastizal, la

condición corporal de los animales, distribución de pariciones, diagnóstico de preñez, entre otras.

CONCLUSIONES:

En síntesis, la utilización de esta tecnología de bajo costo implica generar información en diferentes áreas que impactan en profundizar el conocimiento en la dinámica del pastizal, en la planificación del establecimiento y en su gestión. Es importante remarcar, que esta información preliminar generada en gabinete debe ser reajustada con relevamiento florístico en las distintas comunidades vegetales de este recurso forrajero. Asimismo, los modelos predictivos puede ser utilizado como herramienta en la planificación de los sistemas de cría. Para ello es importante la continua medición de estas variables y validar el modelo a nivel zonal. Es necesario profundizar los estudios a campo con el fin de obtener variación de la EUR según las estaciones del año y las comunidades vegetales. Como estudiante y futuro profesional considero que la implementación de nuevas tecnologías merece ser estudiada con mayor profundidad. La generación de nuevos conocimientos que amplíen las aplicaciones ya existentes a recursos de utilidad como son las imágenes satelitales puede ser beneficiosa en múltiples sistemas. Además, considero que la ganadería pastoril podría hacer un buen uso de esta herramienta que no genera costos al productor y/o asesor y que actualmente su uso se encuentra poco extendido en este sector.

BIBLIOGRAFIA

Altesor, A., Oesterheld, M., Leoni, E., Lezama, F. y Rodríguez, C. (2005). Effect of grazing on community structure and productivity of a Uruguayan grassland. *PantEcology*, 179, 83-91.

Bermudez, R.; Ayala, W. 2005. Implantación de gramíneas en los mejoramientos de campo con leguminosas. En: Jornada anual de producción animal: resultados experimentales. Treinta y Tres: INIA. cap. 1, p. 1-9. (Serie Actividades de Difusión; 429).

Burkart et al., 2005. Las comunidades potenciales del pastizal pampeano bonaerense.

Cadaviz, N.T. 2012. Evaluación del sistema ganadero pastoril de un establecimiento ubicado en el partido de Vieytes, Buenos Aires. FAUBA.

Chapin F. S., Matson, P. A. & Mooney, H. A. 2002. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer-Verlag.

Chuvieco, Emilio. 2002. Teledetección Ambiental. La Observación de la Tierra Desde el Espacio.

Cocimano, M., Lange, A. y Menvielle, E. 1975. Estudio sobre equivalencias ganaderas. *Producción Animal*, Bs. As., Argentina, 4:161-190.

Gacetilla El Amanecer Introducción a la Forrajicultura mayo 2020 completa.

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

Grigera, G., Oesterheld, M., & Pacín, F. 2007. Monitoring forage production for farmers' decision making. *Agricultural Systems*, 94(3), 637-648.

Irizarri, J., Gundel, P., Clavijo, M., Durante, M. y Sosa, P. 2013. Estimación de la PPNA y capacidad de carga por ambientes mediante información satelital en un establecimiento ganadero en la Pampa Deprimida. *Revista Argentina de Producción Animal*, 33, 11-20.

Lauenroth, W.K. and Sala, O.E., 1992. Long-Term Forage Production of North American Shortgrass Steppe. *Ecological Applications* 2:397-403.

Lemcoff, J.H. 1992. Río de la Plata Grasslands: Climate., En: R.T. Coupland (ed): *Ecosystems of the World 8A. Natural Grasslands*. Elsevier, Amsterdam. Páginas 367-407.

Maresca, S. 2018. Situación actual y perspectivas de la ganadería en Cuenca del Salado. INTA. EEA Cuenca del Salado. 4 pp.

Monteith, J. L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 9:747-766.

Oesterheld, M., Loreti, J., Semmartin, M. and Paruelo, J.M., 1999. Grazing, fire and climate effects on primary productivity of grasslands and savannas. In L. Walker (edi.). *Ecosystems of disturbed ground*. Elsevier, Amsterdam. Pp: 287-306.

Oesterheld, M; Aguiar, MR; Ghersa, CM; Paruelo, JM. 2017. La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires.

Paruelo, J. M., Oyarzabal, M. y Oesterheld, M. 2011. El seguimiento de los recursos forrajeros mediante sensores remotos : bases y aplicaciones. En A. Altosor, W. Ayala y J. M. Paruelo (Eds.). *Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales* (pp. 135-145). Montevideo: INIA. (Serie FPTA, 26).

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

Perelman S.B., Leon R. J. C. y Oesterheld M. 2001. Cross-scale vegetation patterns of Flooding Pampa grasslands. *Journal of Ecology*. 89: 562–577

Rearte, D. 2010. Situación actual y prospectiva de la situación de carne vacuna. INTA.

Rearte, D. 2011. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Vol 19, número 3-4: 46-49.

Sala O. E., Parton W. J. Joyce L. A. y Lauenroth W. K. 1988. Primary Production of the Central Grassland Region of the United States. *Ecology* 69: 40–45.

Scurlock, JMO.; Johnson, K.; Olson, R.J. 2002. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements. *Global Change Biology*.

SENASA. 2018. Estadísticas. Bovinos y bubalinos Sector Primario. Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/senasa/mercados-y-estadisticas/estadisticas/animal-estadisticas/bovinos/bovinos-y-bubalinos-sector-primario>.

Vecchio, M.C. 2006. Estimación de la receptividad en un pastizal de la Pampa Deprimida. Un ejemplo a escala de potrero. Tesis para Especialista en Manejo de Sistemas Pastoriles. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Pp.43.

Anexo 1. Temperaturas medias promedio mensual expresada en centígrados (°C) desde el 2000 al 2020 para cada uno de los meses del año.

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Promedio
2000	23,9	22,5	19,7	17,0	12,7	11,6	8,2	10,6	12,5	15,5	17,3	20,8	16,0
2001	23,2	23,4	21,2	16,0	12,7	11,1	9,5	13,6	13,0	16,5	17,9	20,5	16,6
2002	22,3	20,8	20,1	15,4	14,6	8,5	9,3	12,1	12,5	17,4	19,2	20,7	16,1
2003	23,3	21,6	20,3	15,3	13,2	11,0	9,0	9,7	12,2	16,4	18,0	19,8	15,8
2004	22,9	20,6	21,0	18,3	11,0	11,3	9,7	11,5	13,1	15,2	17,5	21,4	16,1
2005	22,9	21,8	18,8	14,8	12,8	12,2	10,5	10,9	11,8	14,6	20,0	19,6	15,9
2006	22,6	22,4	18,5	16,2	11,1	10,8	11,9	10,8	12,6	17,6	18,3	22,8	16,3
2007	22,7	23,1	20,1	16,9	10,3	8,3	6,8	8,0	14,7	17,0	16,7	21,7	15,5
2008	23,2	22,8	19,8	16,0	12,7	9,3	11,9	10,3	12,0	15,6	22,1	21,9	16,5
2009	24,6	23,0	21,1	16,8	13,7	9,1	8,4	12,9	11,5	15,2	19,0	20,3	16,3
2010	23,6	22,2	20,3	15,3	13,7	10,6	9,4	9,8	13,1	14,8	18,0	22,6	16,1
2011	23,5	21,7	20,1	16,8	12,4	10,1	8,9	9,7	13,7	15,2	20,3	20,4	16,1
2012	25,5	24,7	19,5	15,5	15,0	10,0	7,1	12,3	13,6	16,6	20,1	22,6	16,9
2013	22,8	22,0	17,5	16,6	12,9	10,0	9,8	10,0	11,9	16,1	18,9	24,2	16,1
2014	23,6	21,0	18,7	16,0	13,2	10,2	10,5	12,7	14,1	18,1	18,9	21,5	16,5
2015	22,1	22,4	20,3	18,2	14,5	11,3	10,3	13,0	12,0	13,7	18,0	22,1	16,5
2016	23,0	23,7	18,7	15,7	10,4	8,3	9,2	11,3	11,9	15,5	18,5	22,6	15,7
2017	23,3	23,2	20,1	16,8	14,0	11,9	11,9	13,2	14,0	16,2	18,3	22,2	17,1
2018	23,4	22,9	20,0	20,0	14,7	9,1	9,2	10,4	15,1	15,6	19,5	20,5	16,7
2019	23,3	21,8	19,0	16,5	13,6	12,8	9,4	10,2	12,7	15,4	20,6	21,7	16,4
2020	22,9	22,3	22,1	15,7	13,3	10,8	8,6	11,7	12,4	15,0	19,5	21,7	16,3
Prom.	23,3	22,4	19,9	16,5	13,0	10,4	9,5	11,2	12,9	15,9	18,9	21,5	16,3

Anexo 2. Precipitaciones expresadas en milímetros del establecimiento El Amanecer desde el 2000 al 2020 para cada uno de los meses del año.

Año	Meses												Total (mm/año)
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2000	55	100	25	159	266	142	50	102	67	111	86	82	1245
2001	169	71,4	19,8	23,2	88,8	67	29,5	182,7	29,6	177,8	99,8	43	1001,6
2002	204	101	376	97	153	36	73	83	111	81	70	31	1416
2003	43	222	67	36	50,8	56,7	46,4	27,2	81	61	159,6	55	905,7
2004	115	63	28	267	50	55	88	140	55	17	90	4	972
2005	150	122	110	87	35	70	82	155	75	45	30	40	1001
2006	182	200	187	62	7	97	65	20	10	132	45	142	1149
2007	32	78	247	112	27	15	5	50	89	160	75	30	920
2008	5	38	137	20	10	74	20	28	5	40	12,5	5	394,5
2009	9	138	42	32	35	30	135	41	115	102	177	60	916
2010	87	237	45	125	155	55	107	22	135	20	7	17	1012
2011	130	5	17	49	30	135	72	15	14	67	120	27	681
2012	20	154	98	30	60	23	15	211	47	200	60	158	1076
2013	30	107	67	114	87	7	87	0	149	20	136	0	804
2014	240	163	106	66	80	50	125	57	83	209	184	42	1405
2015	61	44	0	54	81	54	38	178	52	65	65	42	734
2016	80	140	73	145	75	25	220	25	65	120	65	100	1133
2017	113	94	44	30	50	60	118	85	92	120	0	0	806
2018	66	50	85	65	190	15	112	55	115	0	62	200	1015
2019	50	80	85	35	65	10	102	55	115	135	15	15	762
2019	50	80	85	35	65	10	102	55	115	135	15	15	762
2020	40	45	105	175	10	100	50	40	80	90	45	65	845
Promedio	87,8	106,0	93,1	82,6	75,9	53,9	79,2	74,0	77,3	95,8	73,6	53,3	953