



TELEDETECCIÓN APLICADA A LA EFICIENCIA Y PRODUCTIVIDAD DE PASTURAS MIXTAS DEL VIRCH

Behr, Santiago

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) – Estación Experimental Agropecuaria Chubut – Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco – Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales – Departamento de Geografía – Sede Trelew. E-mail: behr.santiago@inta.gob.ar

Resumen

En el valle inferior del río Chubut (VIRCh), la producción de cultivos forrajeros para la alimentación de herbívoros domésticos es la actividad agrícola más difundida territorialmente. El propósito del presente trabajo fue elaborar un modelo que permita estimar de forma no invasiva la producción de biomasa en pasturas mixtas con distintos niveles de fertilización, aplicando técnicas de teledetección. La relación entre el índice de reflectancia fotoquímica (IRF) y la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) permitieron elaborar un modelo de estimación de biomasa aérea en forma remota que correlacionó muy bien ($R = 0,84$) con la biomasa cosechada a campo. A partir de ello se pretende aplicar el modelo en otras pasturas y calibrarlo de forma permanente para mejorar las estimaciones en la productividad de cultivos forrajeros del VIRCh.

Palabras clave: Radiación – Biomasa – Forraje – Fertilización

REMOTE SENSING APPLIED TO EFFICIENCY AND PRODUCTIVITY OF MIXED PASTURES IN THE LOWER VALLEY OF THE CHUBUT RIVER

Abstract

In the lower valley of the Chubut river, the production of forage crops for the feeding of domestic herbivores is the most widespread agricultural activity territorially. The purpose of this work was to develop a model that allows for a non-invasive estimation of biomass production in mixed pastures using different levels of fertilization, applying remote sensing techniques. The relationship between the photochemical reflectance index (PRI) and the radiation use efficiency (RUE) allowed us to develop a model for a remote estimation of aerial biomass remotely that had a strong correlation ($R = 0.84$) with the harvested biomass on the field. Based on this, it is intended to apply the model to other pastures and to calibrate it permanently to improve the estimates of forage crops productivity in the lower valley of the Chubut river.

Keywords: radiation – biomass – forage – fertilization.

Recibido: 25/10 - Aceptado: 23/11

Introducción:

El Valle Inferior del Río Chubut (VIRCh) es uno de los principales espacios patagónicos donde se desarrolla agricultura de forma intensiva. Las condiciones ambientales (clima, suelos, disponibilidad de agua) y culturales, le confieren características que permiten un desarrollo socioeconómico a partir de las actividades agropecuarias (Huerga et al., 2007).

Uno de los principales usos del suelo en el VIRCh es el cultivo de pasturas para la producción de forrajes, de las cuales la combinación entre una gramínea perenne como *Festuca arundinacea* (festuca alta) y una leguminosa adaptada a estos ambientes como *Lotus tenuis* (lotus) es una de las más importantes. Este tipo de pasturas mixtas gramínea-leguminosa contribuyen a la sustentabilidad económica y ecológica de los sistemas agropecuarios. También son numerosos los servicios ecosistémicos que brindan, en términos de secuestro de carbono (C), biodiversidad, mejoramiento de suelos y fijación biológica del nitrógeno (N), entre otros (Werling et al., 2014). Sin embargo, los manejos (fertilización, cosecha, riego, etc.) planteados generalmente, no se ajustan a las necesidades y capacidades (económicas y técnicas) de los agricultores, consecuentemente se degradan y disminuye la calidad y cantidad del forraje producido (Prieto Garra et al., 2015).

A escala local, la siembra y fertilización tienen una importancia relevante en la productividad de los cultivos y la dinámica del carbono del ambiente. El manejo del cultivo (siembra, fertilización, riego, cosecha) condiciona fuertemente la relación carbono/nitrógeno (C/N) de los tejidos vegetales incorporados al suelo (Barraco et al., 2009). Dicha relación depende de la fenología y las condiciones de crecimiento de las especies forrajeras cultivadas, afectando también la eficiencia en el uso de la radiación (EUR), la cual se asocia directamente con la asimilación de CO₂ por parte de las plantas (Rosati et al., 2004; Cristiano, 2010). Otros estudios (Kull et al., 1995; Dewar, 1996) sugieren que el contenido de nitrógeno de las hojas está directamente relacionado con la absorción de radiación por parte del canopy.

La biomasa aérea acumulada (BA), generalmente expresada como unidad de peso por unidad de superficie (g/m²), es el resultado de la eficiencia del cultivo para interceptar, absorber y utilizar radiación fotosintéticamente activa (RFA) durante una estación de crecimiento (Mattera et al., 2013). La fertilización con nitrógeno (N), ampliamente utilizada y estudiada en pasturas, incrementa los rendimientos y mejora la eficiencia en el uso de la RFA y el agua. El fertilizante nitrogenado comúnmente utilizado es la urea comercial (fuente sintética) por su rápida absorción e inmediata respuesta en los cultivos (Berone, 2011).

A escala local y regional, los métodos tradicionales de estimación de la productividad de las pasturas están basados en interpretaciones visuales y/o técnicas destructivas por

cosecha de biomasa, las cuales presentan limitaciones asociadas a la subjetividad de las interpretaciones, los tiempos y costos necesarios para tal fin. Como alternativa, la utilización de datos geospaciales obtenidos de sensores remotos permite estimaciones de productividad en tiempo casi real, a bajo costo y con altas resoluciones espaciales a escala regional (Paruelo et al., 2004; Piñeiro et al., 2006). Es de destacar que este tipo de estimaciones permite un mejor mapeo de la heterogeneidad espacial, lo cual suele ser más dificultoso a través de la metodología tradicional (por ej. cortes e/o interpretaciones visuales). La principal limitación de esta técnica es que los datos satelitales de acceso libre no tienen una resolución espacial óptima para trabajar con pequeñas superficies (escalas 1:2500 o superiores), razón por la cual la teledetección *in situ*, mediante radiometría de campo hiperspectral o multispectral, permiten estimaciones con mayor precisión (Cho et al., 2008).

Existen modelos de estimación de productividad basados en la conversión de energía en biomasa, de los cuales unos de los más difundidos es el de eficiencia en el uso de la radiación (EUR) (Monteith, 1972; Rosati et al., 2004), el cual supone que, en un escenario de libre disponibilidad de agua y nutrientes (riego y fertilización) la productividad del cultivo va a estar determinada por su capacidad y eficiencia en la conversión de radiación fotosintéticamente activa (RFA) en biomasa vegetal, generalmente expresada en gramos por megajoule (g/MJ). La existencia de relaciones lineales entre la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (fRFAA) e índices espectrales (índice diferencial normalizado de vegetación: NDVI, índice de vegetación mejorado: EVI, reflectancia fotoquímica: PRI), le confieren a la teledetección *in situ* un gran valor para la estimación de BA. Dichos modelos son utilizados también en otros ambientes (Caruso et al., 2018; Rodríguez y Jacobo, 2018) donde se produce forraje para la alimentación de los herbívoros domésticos, principalmente bovinos y ovinos.

En este contexto, el propósito del estudio es investigar el potencial de uso de datos hiperspectrales adquiridos con un espectrómetro de campo para mejorar las predicciones en las estimaciones de productividad de los cultivos forrajeros del VIRCh. De lo anterior surge que las variaciones en la fertilización de la pastura mixta provocarían cambios en la EUR y por lo tanto en la BA. El objetivo general del trabajo es evaluar los cambios en la productividad y eficiencia de una pastura mixta bajo diferentes condiciones de fertilización. El primer objetivo específico es analizar los cambios en la absorción y reflexión de radiación fotosintéticamente activa, a distintas longitudes de onda, de acuerdo con diferentes niveles de fertilización. El segundo objetivo específico es analizar los cambios en la EUR y la BA de una pastura mixta bajo diferentes condiciones de fertilización. La disponibilidad de esta información supone una

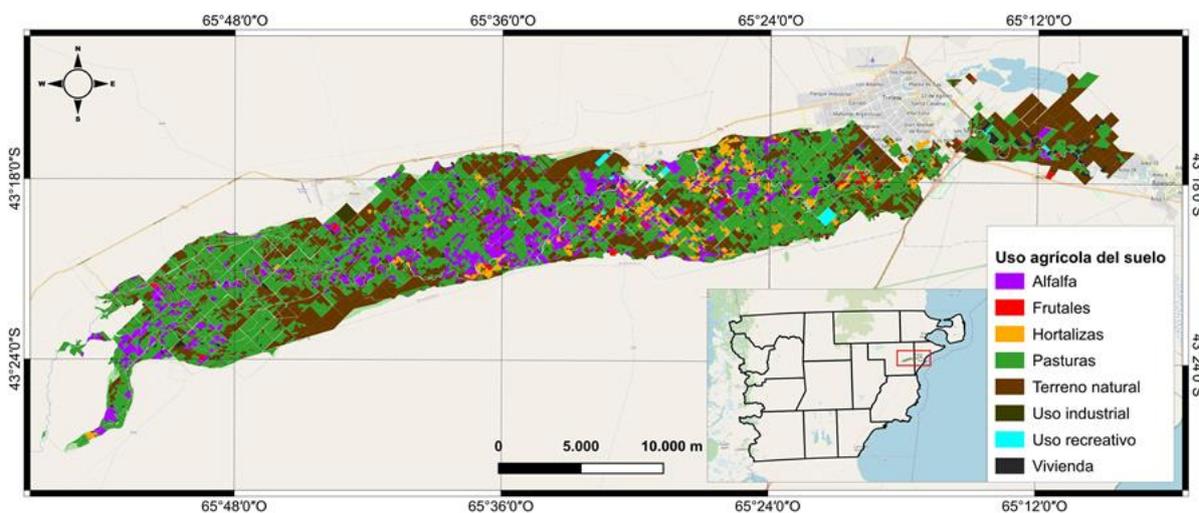
contribución al desarrollo de estrategias de manejo que permitan realizar un aprovechamiento más eficiente de los cultivos.

Materiales y métodos

Área de estudio

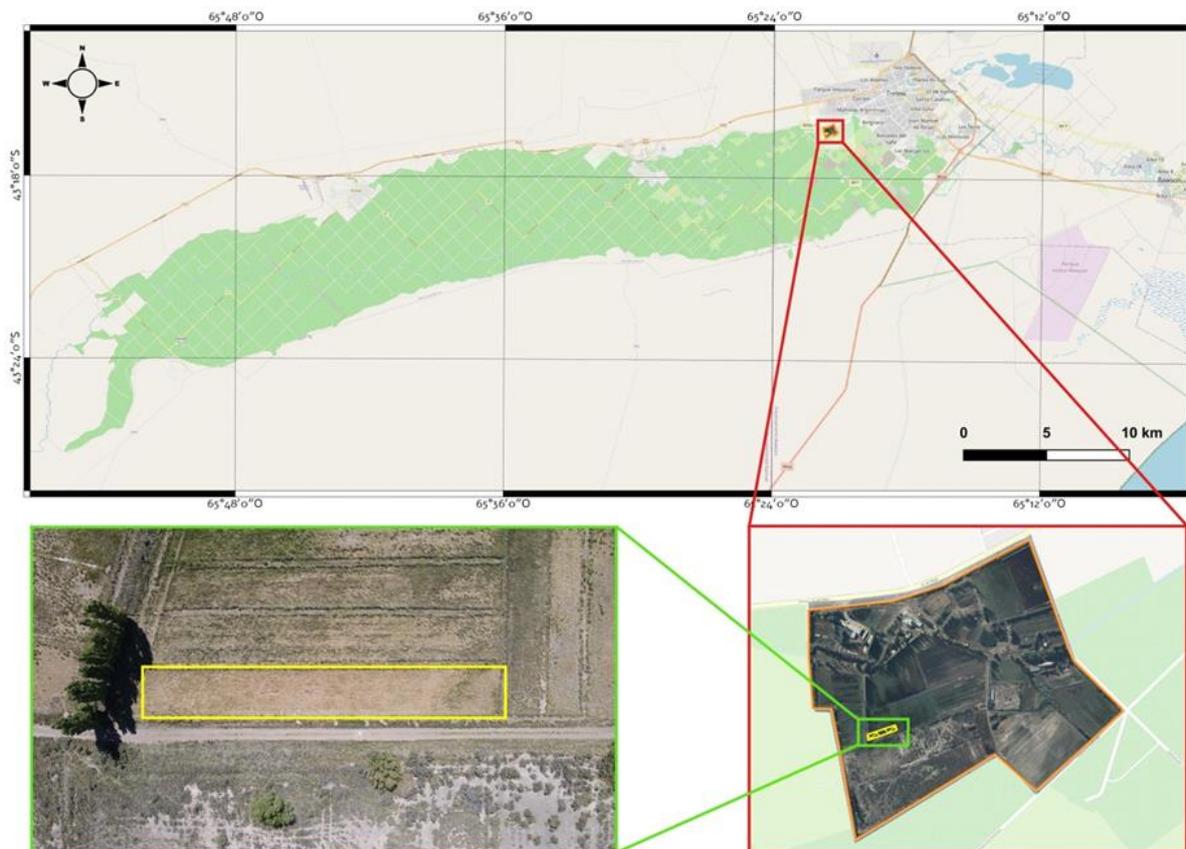
El VIRCh se localiza en el noreste de la provincia de Chubut (Figura 1), donde predomina el tipo climático *Bwk* (Köppen, Strahler, 1989), correspondiente a un clima árido y seco donde las precipitaciones son inferiores a 250 mm anuales y la temperatura media anual es cercana a los 13 °C (Arbuniés, 2006). Posee una superficie productiva aproximada de 45000 hectáreas, de las cuales el 50% se encuentra bajo riego y casi la totalidad de la superficie regada (21000 ha) es dedicada al cultivo de pasturas de distintas especies para la producción de forraje (Huerga et al., 2007).

Figura 1. Localización del Valle Inferior del Río Chubut



Fuente: elaboración propia en base a datos de la Compañía de Riego del VIRCh (2019)

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria Chubut de INTA (LAT 43,2754 °S; LON 65,3606 °W), dentro de la cual se utilizó una parcela de 1000 m² (Figura 2). El suelo es de textura franco arcilloso, medianamente alcalino (pH 8,23), con ligeros problemas de salinidad (1,455 mmhos/cm) y sodicidad (9,055 R.A.S.).

Figura 2. Localización del ensayo

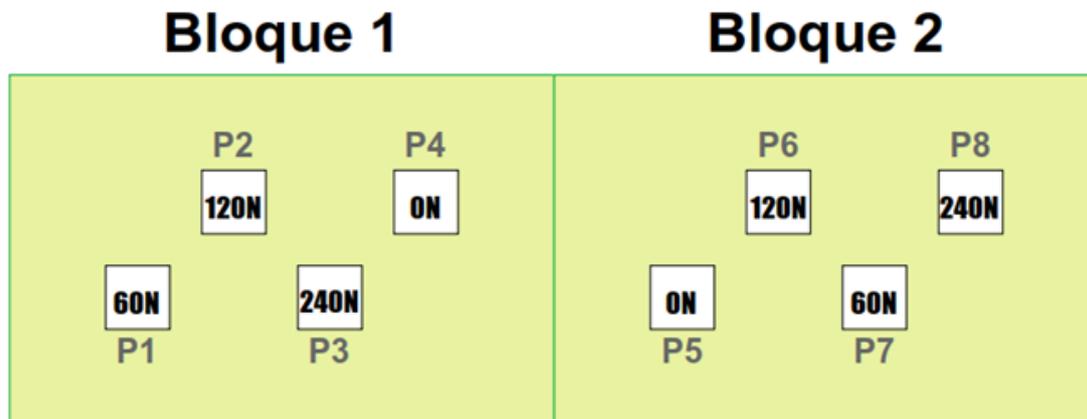
Fuente: elaboración propia en base a OpenStreetMap, fotografía aérea IGN (2014) y Vehículo aéreo no tripulado (VANT).

Diseño experimental

El experimento fue llevado a cabo en un período comprendido entre octubre de 2018 y abril de 2019, considerado como una temporada de riego de acuerdo a los usos y costumbres de la producción agrícola local, dentro de una pastura mixta gramínea-leguminosa compuesta por *Festuca arundinacea* (festuca alta) y *Lotus tenuis* (lotus) de 12 años de implantación, clausurada para evitar el ingreso de animales silvestres y domésticos. Se distribuyeron 8 unidades experimentales (parcelas de 4 m²) con un diseño en bloques completamente aleatorizados (Figura 3) de 2 bloques y 4 tratamientos que resultaron de la combinación de 3 niveles de fertilización nitrogenada con dosis de urea granulada equivalentes a 60, 120 y 240 kg/ha (en adelante 60N, 120N y 240N, respectivamente) y un testigo sin fertilizar (0N). Las parcelas fueron previamente seleccionadas para cumplir con una proporción del 50% de leguminosa por determinación visual. La fertilización se realizó manualmente, la dosis anual se fraccionó en dos veces (60% primavera y 40% fin

verano/otoño). El riego fue gravitacional, con dirección oeste-este y se realizó según la tradición de agricultores locales, la lámina de agua anual aplicada fue de unos 700mm.

Figura 3. Esquema del diseño experimental del ensayo



Fuente: elaboración propia

Dónde: Bloque 1 y Bloque 2: Bloques del diseño experimental; P1 a P7: Parcelas del diseño experimental; 0N, 60N, 120N, 240N: Tratamientos del diseño experimental

Mediciones y estimaciones

La BA (g/m^2) producida se estimó por cosecha manual del centro de cada parcela para evitar borduras, el material cosechado se pesó y secó en estufa (60°C) hasta lograr peso constante y se registró peso seco (gramos de materia seca). La frecuencia de corte se determinó por inicio de la aparición de la 4ta hoja en festuca y se dejó un remanente de 4 cm, se realizaron cuatro cortes dentro del período de duración del experimento. La EUR de las parcelas se estimó de dos formas: la primera a partir de la relación lineal existente entre los índices de reflectancia fotoquímica (IRF) que se calculó como la diferencia normalizada de las reflectancias entre 531 y 570 nm (Gamon et al., 1997; Garbulsy et al., 2008; Namur et al., 2018), obtenidas con espectrómetro de campo hiperespectral, el cual tiene una resolución espectral de 1 nanómetro entre 400 y 900 nm:

$$\text{IRF} = (\rho_{531} - \rho_{570}) / (\rho_{531} + \rho_{570})$$

$$\text{EUR}_{(\text{IRF})} = -3,6 \times \text{IRF} + 0,0034$$

En la segunda, se determinó la EUR a través de cosechas de biomasa en cada parcela, como el cociente entre la BA y la RFAA, para luego compararla con la EUR estimada a partir del IRF.

La BA de las parcelas se estimó en forma remota como el producto entre la EUR y la radiación fotosintéticamente activa absorbida (RFAA) (Monteith, 1972; Piñeiro *et al.*, 2006):

$$BA (g/m^2) = RFAA (MJ/m^2) \times EUR (g/MJ)$$

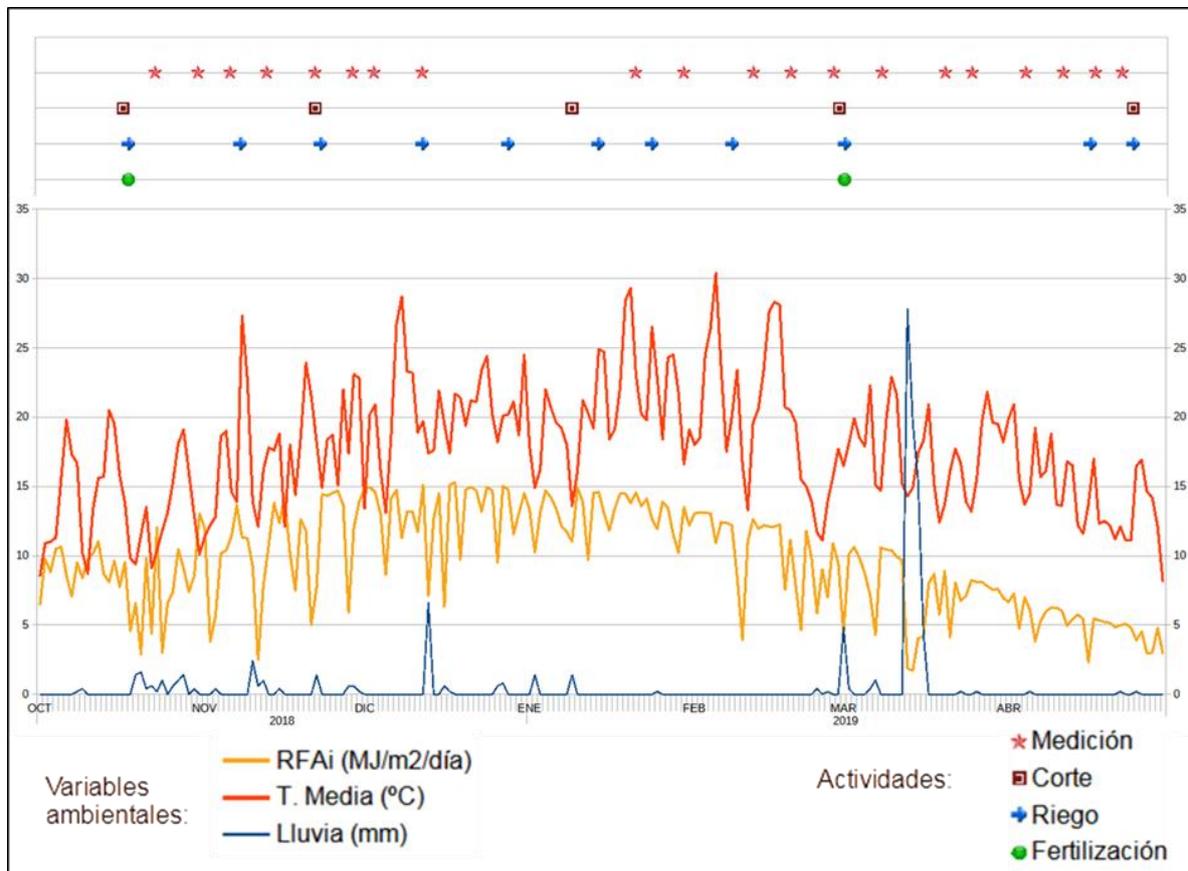
$$EUR (g/MJ) = BA (g/m^2) / RFAA (MJ/m^2)$$

La RFAA se obtuvo a partir del producto entre la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (fRFAA) y la radiación fotosintéticamente activa incidente (RFAi):

$$RFAA (MJ/m^2) = fRFAA (\%) \times RFAi (MJ/m^2)$$

La RFAi se calculó como el 48% de la insolación total sobre una superficie horizontal (McCree, 1972), y se obtuvo en forma diaria a partir de una estación meteorológica ubicada *in situ*, junto a otras variables climáticas (temperatura y precipitación) (Figura 4). La fRFAA fue medida en cada parcela con espectrómetro uniespectral (barra PAR Cavadevices PAR50) y espectrómetro hiperespectral JAZ A2382. Todas las mediciones se realizaron respetando los parámetros de la fibra óptica utilizada, a una altura suficiente (2m) para el ángulo de apertura de luz, en momentos de cielo despejado, con el menor viento posible y en el horario del mediodía solar para la latitud del sitio, entre las 13 y las 13:30 hs. (Ocean Optics, 2010). Las mediciones realizadas con el espectrómetro fueron utilizadas para elaborar firmas espectrales de la pastura mixta bajo distintos niveles de fertilización, para luego analizar la relación entre el nivel de fertilización y la absorción/reflexión de RFA en grupos de longitudes de onda donde tienen actividad los principales pigmentos fotosintéticos, clorofilas y carotenoides (De las Rivas, 2008). Los valores de BA estimados remotamente se compararon con las estimaciones obtenidas a partir de los cortes de biomasa. Luego se comparó el efecto de la fertilización con nitrógeno en la EUR y la BA de cada parcela. Las relaciones entre BA (cosechada y estimada remotamente), IRF y EUR se evaluaron mediante análisis de regresión, utilizando software libre bajo licencia GNU/GPL R.

Figura 4. Variables ambientales medidas y actividades desarrolladas durante el tiempo transcurrido para el ensayo realizado



Fuente: elaboración propia

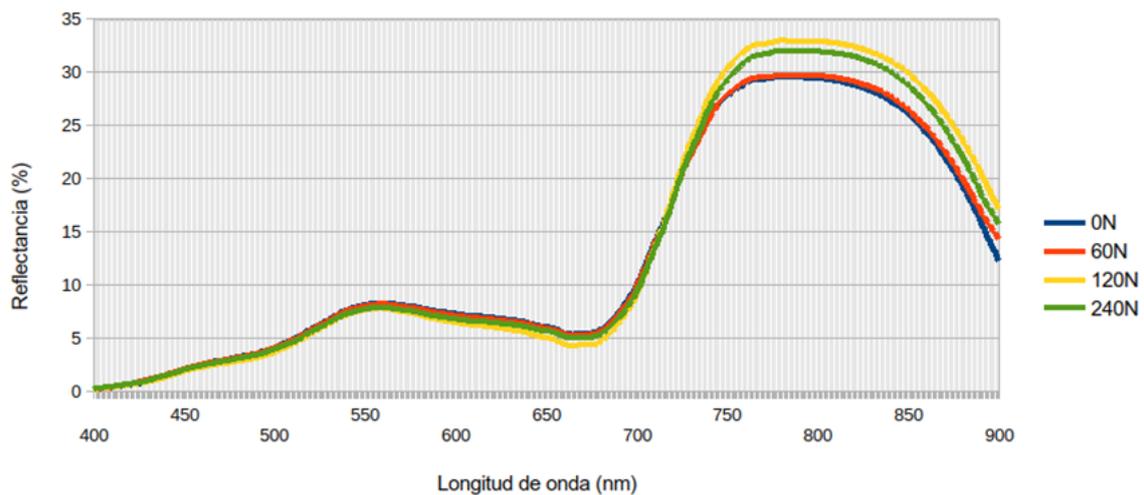
Resultados

Comportamiento espectral según tratamientos

Las firmas espectrales elaboradas para cada parcela fueron agrupadas por tratamiento (Figura 5). Se observaron diferencias significativas entre 60N y 120N, no hubo diferencias notables entre 0N y 60N, ni entre 120N y 240N. Tampoco se observaron diferencias significativas para el mismo tratamiento en cada bloque. En una primera aproximación se pudo observar que el nivel óptimo de fertilización de la pastura mixta es 120 kg/ha (120N), esto se debe a que fue mayor la absorción de RFA entre 600 y 700 nm (luz roja) y mayor la reflexión entre 700 y 800 nm (infrarrojo cercano) que en el resto de los tratamientos. Un nivel menor de fertilización (60N) no provocó cambios significativos con respecto al control (0N) y duplicar el nivel de fertilización (240N) tampoco generó rendimientos superiores en el cultivo. Se calculó la reflectancia promedio para cada tratamiento, agrupando las reflectancias en distintas longitudes de onda, que luego se correlacionaron con cada tratamiento (Tabla 1). Existe una

correlación lineal y negativa ($R = -0,54$) entre el grupo de longitudes de onda de 400 a 700 nm (RFA) y los niveles de fertilización aplicados, lo cual indica que la fertilización puede favorecer la absorción de RFA. Con el aumento de los niveles de fertilización (hasta 120N) se observó una disminución en la reflexión de luz, y por lo tanto mayor absorción de la misma. Entre 700 y 900 nm (infrarrojo cercano) hay una correlación lineal y positiva ($R = 0,68$) entre la fertilización y la reflexión de energía en forma de calor, lo cual indica un mayor nivel de transpiración del cultivo hasta 120N. Entre 120N y 240N no hubo cambios significativos en la absorción de RFA, al mismo tiempo que disminuyó la reflexión en el rango del infrarrojo cercano, reafirmando espectralmente que duplicar la fertilización no provocó grandes diferencias, y por lo tanto el nivel óptimo, en términos de la actividad espectral de la pastura, fue 120N.

Figura 5. Firmas espectrales del cultivo, por tratamiento



Fuente: elaboración propia

Tabla 1. Coeficientes de correlación de Pearson entre tratamientos y longitudes de onda

λ	400 – 900									
R	0,733									
λ	400 – 700					701 – 900				
R	-0,541					0,686				
λ	400 – 500		501 – 600		601 – 700		701 – 800		801 – 900	
R	-0,251		-0,696		-0,503		0,641		0,708	
λ	400 – 450	451 – 500	501 – 550	551 – 600	601 – 650	651 – 700	701 – 750	751 – 800	801 – 850	851 – 900
R	0,286	-0,416	-0,67	-0,717	-0,538	-0,47	0,291	0,71	0,733	0,981

Fuente: elaboración propia

Dónde: R = coeficiente de correlación; λ = longitud de onda (en nm).

Los valores de R expresados en la tabla se calcularon como la correlación entre los distintos niveles de fertilización y las longitudes de onda de las firmas espectrales, agrupadas cada 50, 100, 200 y 500nm.

Subdividiendo aún más el espectro electromagnético entre 400 y 900 nm, se observó una baja correlación entre los tratamientos y las reflectancias en las longitudes de onda del violeta/azul (400-450 nm) y en la transición rojo/infrarrojo cercano (701-750 nm), lo cual indica que la fertilización no tiene una influencia directa sobre los fotorreceptores (criptocromos y fitocromos) que trabajan en dichos rangos de longitud de onda. En las regiones del espectro entre 500 y 650 nm (verde y amarillo) se observó una alta correlación entre los tratamientos y su influencia sobre la absorción de RFA por parte de los pigmentos (clorofilas y carotenoides) más sensibles en ese rango de longitudes de onda, indicando una alta respuesta de la actividad fotosintética de la pastura mixta que se relaciona con los niveles de fertilización a los que fue sometida.

Biomasa y eficiencia

En las Tablas 2 y 3 se presentan los resultados productivos del experimento y las correlaciones obtenidas entre bloques, tratamientos, eficiencias y productividad. Si bien las correlaciones no fueron altas entre los tratamientos y la biomasa aérea cosechada en cada parcela ($R = 0,317$), la probabilidad de que la BA cosechada esté condicionada por la fertilización fue moderadamente significativa ($p = 0,071$) considerando todos los tratamientos. Luego se realizó el mismo análisis de regresión quitando el tratamiento 240N, dando como resultado una correlación y significancia superiores ($R = 0,501$; $p = 0,016$). Para el caso de la BA estimada en forma remota, la probabilidad fue mayor ($p = 0,0042$).

Tabla 2. Resultados productivos, obtenidos por cosecha de biomasa y estimación remota

Tratamiento	fRFAA	EUR (g/MJ) (cosecha)	EUR (g/MJ) (remota)	BA (g/m ²) (cosecha)	BA (g/m ²) (remota)
0N	0,299	1,708	1,374	242,850	195,811
60N	0,329	1,633	1,332	246,250	202,938
120N	0,407	1,619	1,364	289,750	254,835
240N	0,424	1,738	1,299	326,650	252,064

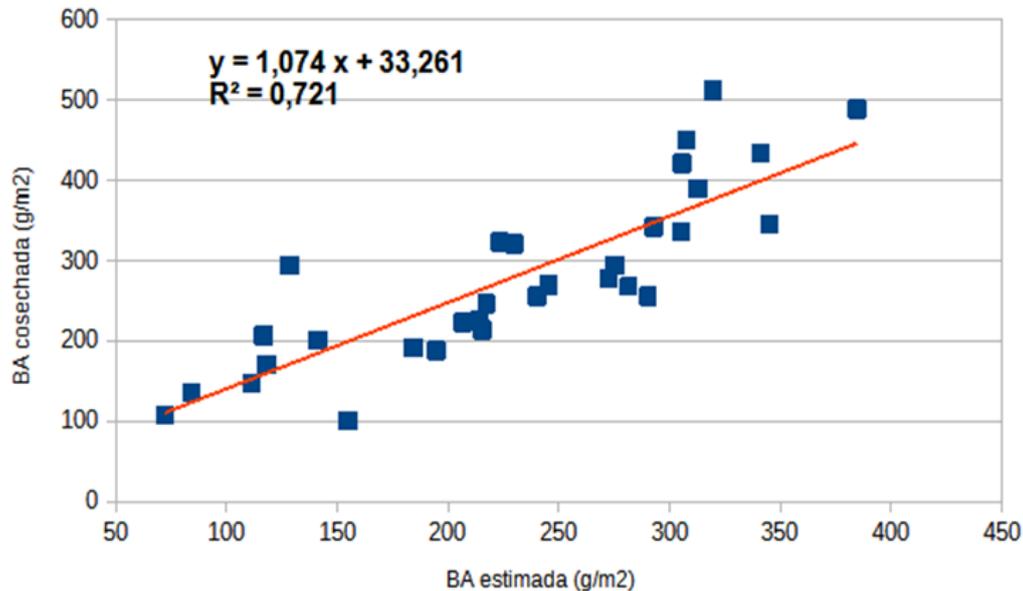
Fuente: elaboración propia
Valores promedio por tratamiento, agrupando bloques y cortes.

Tabla 3. Coeficientes de correlación entre bloques, tratamientos, cosechas y estimaciones

Correlaciones	B	T	EUR (c)	EUR (r)	BA (c)	BA (r)	fRFAA
Bloque	1						
Tratamiento	0	1					
EUR (cosecha)	0,054	0,049	1				
EUR (remota)	-0,206	-0,152	-0,081	1			
BA (cosecha)	0,263	0,317	0,121	-0,076	1		
BA (remota)	0,184	0,276	-0,321	0,234	0,849	1	
fRFAA	0,243	0,371	-0,308	-0,523	0,544	0,503	1

Fuente: elaboración propia

Se observó una correlación muy alta entre la BA cosechada y la BA estimada en forma remota ($R = 0,849$; $p = 0,042$). La BA obtenida a partir de los datos espectrales fue ligeramente inferior a la cosechada, y la regresión permitió elaborar una ecuación (Figura 6) que podría utilizarse como modelo para predecir satisfactoriamente la productividad del cultivo.

Figura 6. Relación entre la BA estimada y la BA cosechada

Fuente: elaboración propia

Conclusiones

Conocer la productividad de uno de los cultivos más importantes del VIRCh puede permitir un aprovechamiento más eficiente del recurso forrajero, tanto para el pastoreo directo de herbívoros domésticos como para la producción de fardos y silos destinados a pastoreo diferido dentro del mismo valle u otros espacios donde la disponibilidad de forraje es limitada o nula. El presente trabajo permitió elaborar un modelo ($BA_{cosecha} = 1,074 \times BA_{estimada} + 33,261$) para la estimación de productividad en pasturas mixtas de forma no invasiva y con un nivel de precisión acorde a la cantidad de mediciones que deseen hacerse. Dicho modelo, al ser construido a partir de datos espectrales *in situ*, podría ser utilizado para validar estimaciones de productividad obtenidas mediante datos satelitales y extrapolarse a otras áreas de cultivo dentro del VIRCh. El índice de reflectancia fotoquímica (IRF) resultó un buen estimador de la EUR, pudiendo ser obtenido directamente a campo o con otros sensores remotos cuyas resoluciones espectrales permitan su cálculo.

La fertilización tuvo una gran influencia en la absorción de RFA y reflexión/emisión de radiación infrarroja (calor y transpiración). La relación entre la fertilización y la producción de biomasa fue muy buena en el nivel 120N. A partir de ello se pudo inferir que la aplicación de fertilizaciones inferiores a 60 kg/ha de urea o superiores a 120 kg/ha de urea en una pastura mixta, no va a generar ningún aumento significativo en su productividad, incurriendo en costos innecesarios que pueden ser destinados a mejorar, por ejemplo, la eficiencia en el riego.

El presente trabajo tuvo como finalidad aportar información útil acerca de la utilización de técnicas poco difundidas en nuestra zona y que permitan un mejor aprovechamiento del espacio y sus recursos, en cuanto a producción de pasturas se refiere. Es necesario continuar realizando estimaciones que permitan calibrar el modelo para que resulte más confiable.

Agradecimientos

Se agradece especialmente a Estefanía Oyharcabal, Germán Berone, Ingrid Bain y Soledad Acuña por su participación activa y aportes al presente trabajo.

Referencias bibliográficas

- Arbuniés, R. (2006). *Síntesis de la caracterización climática del VIRCH*. INTA EEA Chubut.
- Barraco, M.; Álvarez, C.; Scianca, C. (2009). Aportes de nutrientes y rastrojos de diferentes especies utilizadas como cultivos de cobertura. En: *Jornadas Nacionales de Sistemas productivos sustentables*. AACs. Agosto de 2009 – Bahía Blanca.
- Berone, G.; Giordano, M.; Tomás, M.; Burgos, E. (2011). *Efecto del agregado de nitrógeno sobre el crecimiento en Panicum coloratum*. INTA EEA Rafaela.
- Caruso C., García Martínez G., Ciari G., Opazo W., Nakamatsu V., Oesterheld M., Blanco L. (2018). Variación espacial de la productividad primaria neta aérea de grupos funcionales en estepas del NO de Chubut. *VIII Congreso Nacional - IV Congreso del Mercosur sobre manejo de pastizales naturales*. Ediciones INTA.
- Cho, M. A.; Sobhan, I.; Skidmore, A. K.; de Leeuw, J. (2008). Discriminating species using hyperspectral indices at leaf and canopy scales. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing.
- Cristiano P.M. (2010). *Estimación de la productividad primaria mediante el modelo de eficiencias y sensores remotos*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- De las Rivas, J. (2008). La luz y el aparato fotosintético. En: Azcón-Bieto, J.; Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill Interamericana de España, S.L.
- Dewar RC. (1996). The correlation between plant growth and intercepted radiation: an interpretation in terms of optimal plant nitrogen content. *Annals of Botany* 78,125-136.
- Garbulsky M., Peñuelas J., Ourcival J., Filella I. (2008). Estimación de la eficiencia del uso de la radiación en bosques mediterráneos a partir del uso de datos MODIS. Uso del índice de reflectancia fotoquímica (PRI). *Ecosistemas* 17, 89-97.
- Gamon, J.A.; Serrano, L.; Surfus, J.S. (1997). The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecología* 112,492-501.

- Huerga, M.; Fernández, D. (2007). Estudio de factibilidad “modernización del sistema de riego y drenaje del Valle Inferior del Río Chubut”. *Documento de trabajo N°3. Caracterización Agropecuaria del VIRCH*. PROSAP/SAGPyA II-CA.
- Kull O, Jarvis PG. (1995). The role of nitrogen in a simple scheme to scale up photosynthesis from leaf to canopy. *Plant, Cell and Environment* 18,1174-1182.
- Mattera, J.; Romero, L. A.; Cuatrin, A. L.; Cornaglia P. S.; Grimoldi, A. A. (2013). Yield components, light interception and radiation use efficiency of lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to row spacing. *European Journal of Agronomy*. 45, 87-95.
- McCree, Keith J. (1972). The action spectrum, absorbance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural and Forest Meteorology* 9,191-216.
- Monteith J.L. (1972). Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *The Journal of Applied Ecology* 9:747-766.
- Namur, P.R.; Blanco, L.J.; Sancho, A.R. y Luna Toledo, E.S. (2018). *Estimación de la eficiencia en el uso de la radiación a partir del Índice de Reflectancia Fotoquímico en pastos*. INTA EEA La Rioja.
- Ocean Optics. (2010). JAZ installation and operation manual. *Document number 013-RD000-000-02-201103*.
- Paruelo, J.M.; Oesterheld, M.; Grigera, G. (2004). Evaluación de recursos forrajeros mediante sensores remotos. Claves para una ganadería rentable y sustentable en un escenario productivo diferente. *Seminario Técnico Forrajes*.
- Piñeiro G., Oesterheld M., Paruelo J. (2006). Seasonal variation in aboveground production and radiation-use efficiency of temperate rangelands estimated through remote sensing. *Ecosystems* 9, 357-373.
- Prieto Garra, D.; Sánchez, R. M.; Martínez, R. S. (2015). Las áreas de riego y la degradación de suelos. En Casas, Roberto Raúl (2015). *El deterioro del suelo y el ambiente en Argentina*. Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura (FECIC).
- Rodríguez A.M., Jacobo E.J. (2018). Eficiencia en el uso de la radiación del pastizal de la Pampa Deprimida sometido a la pulverización con glifosato. *VIII Congreso Nacional - IV Congreso del Mercosur sobre manejo de pastizales naturales*. Ediciones INTA.
- Rosati A., Metcalf S.G., Lampinen B.D. (2004). A simple method to estimate photosynthetic radiation use efficiency of canopies. *Annals of Botany* 93, 567-574.
- Strahler A.N., Strahler A.H. (1989). *Geografía Física*. Ediciones Omega.
- Werling, B. P.; Dickson, T. L.; Isaacs, R.; Gaines, H.; Gratton, C.; Gross, K. L.; Robertson, B. A. (2014). Perennial grasslands enhance biodiversity and multiple ecosystem services in bioenergy landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(4), 1652-1657.