

DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE DATOS DE BIOMASA OBTENIDOS A CAMPO Y NDVI OBTENIDOS POR SENSORES REMOTOS A LO LARGO DEL ARROYO CHUCUL (PCIA. CÓRDOBA)

DETERMINATION OF RELATIONSHIP BETWEEN DATA OBTAINED FROM BIOMASS DERIVED FROM FIELD AND REMOTE SENSING NDVI ALONG THE ARROYO CHUCUL (PCIA. CÓRDOBA)

Santa V.^{1*}, M.J. Rosa¹, N. Mónaco¹ &
A. Heguiabehere¹

RESUMEN

Los valores de biomasa aérea verde (Bv) medidos en el pastizal se relacionaron con los valores de índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) provenientes de datos satelitales en tres relictos de pastizales naturales en las riveras del arroyo Chucul, desde su nacimiento: sitio 1 (32° 49'21,0``S y 64° 24' 07,0`` W), hasta su desaparición en zona de llanura: sitio 3 (33° 06'25,5``S y 63° 32'49,1``W). Bajo la hipótesis de correspondencia de Bv y datos obtenidos por imágenes, se planteó como objetivo de este trabajo determinar la relación entre datos medidos a campo y datos satelitales en pastizales naturales. Estacionalmente durante el ciclo 2009-2011 se realizó un muestreo al azar con 10 réplicas de 0,25 m² registrando lista florística. Para determinar Bv se cortó biomasa en cada parcela separando en compartimentos verde y seco y se llevó a estufa hasta peso constante. Para el análisis digital se utilizaron las bandas 3 y 4 de una imagen Landsat 5 TM (Path 228 Row 083), por cada sitio próxima a la fecha de muestreo. Los mayores valores de Biomasa verde se determinaron para el sitio 3, en diciembre de 2011: 189,6 g/m² y en marzo para los sitios 1 y 2: 105,74 y 115,22 g/m². Entre todos los valores observados de biomasa y estimados por el NDVI el coeficiente de correlación más alto correspondió al sitio 3 (R=0.50). Los resultados del trabajo para el sitio 3 corroboran en parte la hipótesis planteada, indicando escasamente, en este caso, la aptitud de las imágenes digitales para realizar estudios de seguimiento del estado y de cambios en la vegetación.

PALABRAS CLAVE: Sensores remotos, Biomasa verde, Pastizales naturales, Correspondencia.

ABSTRACT

The values of green biomass (Bv) measured in a grassland were associated with index values of normalized difference vegetation index (NDVI) from satellite data in three relict natural grassland on stream Chucul, from his beginning site 1 (32 49'21, 0 `` S and 64 ° 24 `07.0 `` W) until its demise in plain area: site 3 (33 ° 06` 25.5 `` S and 63 ° 32 `49.1 `` W). Under the hypothesis of correspondence of Bv and data obtained by images, the aim of this work is to determine the relationship between measured field data and satellite data in natural grasslands. Seasonally during the 2009-2011 cycle were sampled at random with 10 replicates of 0.25 m² recording floristic list. To determine Bv in each plot the biomass was cut and separated in green and dry compartments and dried to constant weight. For digital analysis bands 3 and 4 of Landsat 5 TM image (Path 228 Row 083) were used for each site close to the sampling date. The highest values of green biomass were determined for site 3, in December 2011: 189.6 g/m² and in March for sites 1 and 2: 105.74 and 115.22 g/m². Among all the observed values of biomass and NDVI estimated the correlation co-

¹ Cátedra de Ecología Vegetal – Fac de Agronomía y Veterinaria – U.N.R.C.

* vsanta@ayv.unrc.edu.ar

efficient was highest at site 3 ($R = 0.50$). The results of the work for site 3 validate the hypothesis and indicate the aptitude of digital images for studying the status and changes in vegetation.

KEY WORDS: NDVI, Green biomass, Grassland, Correlation.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los pastizales naturales son reemplazados por agricultura, la cual posee ventajas competitivas, desde el punto de vista económico, con respecto a las producciones animales; a pesar de esto los sistemas ganaderos de cría, permanecen, en el esquema productivo y están sustentados fundamentalmente por los mismos, que constituyen la base forrajera principal para la alimentación del ganado (Pueyo *et al.*, 2003). Conocer los cambios estacionales de la composición florística del pastizal, la calidad, la dinámica de la biomasa, la magnitud de la producción y las características del medio ambiente, son elementos útiles en la planificación del uso racional de los recursos que aporta el sistema con el fin de optimizar su manejo (Pueyo, *et al.*, 2005).

Es importante saber cuánto es la productividad de dichos pastizales y su relación con las características edáficas y climáticas para planificar un manejo sustentable de la tierra. Los métodos tradicionales de estimación de la biomasa a través del corte, secado y pesado de material vegetal son muy precisos, a pesar de que pueden acumular ciertos errores (Pucheta *et al.*, 2004; Mársico & Altesor, 2011), pero representan un gran costo en términos de tiempo y recursos; además generan pequeñas áreas de disturbio que alteran la condición natural del sistema. En función de lo antedicho, diversos autores han puesto énfasis en nuevas tecnologías tales como la teledetección, las cuales demuestran que las imágenes satelitales son muy útiles como una herramienta para valorar la productividad en un espacio geográfico de gran magnitud en distintos momentos del año y son buenos estimadores de la biomasa aérea (Tucker, 1977; Chuvieco, 1996; Paruelo *et al.*, 2001; Pucheta *et al.*, 2004; Alcaraz-Segura *et al.*, 2006). Dentro de la teledetección, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) es un estimador lineal de la Fracción de Radiación Fotosintéticamente Ac-

tiva absorbida por los tejidos fotosintéticos de las plantas (FRFA) (Di Bella *et al.*, 1997). La FRFA es el principal determinante de la PPNA y se relaciona de forma lineal con ésta, para una dada estructura de la vegetación, en particular en una medición acotada en el tiempo (Monteith 1997; Curran, 1983; Asrar *et al.*, 1984; Gerberman *et al.*, 1984; Sellers, 1985; Baret *et al.*, 1989; Prince, 1991; Paruelo *et al.*, 1997). Los primeros antecedentes de estudios de la vegetación con NDVI, en áreas naturales y cultivadas, provienen de los satélites LANDSAT (Boyd, 1986). Rueter & Bertolani (2005) encontraron en estudios realizados en la provincia de Chubut una correlación altamente significativa entre el NDVI y la cobertura vegetal.

Esta capacidad se relaciona directamente con la cantidad de materia verde (fotosintéticamente activa), permitiendo relacionar las medidas de estas variables, obtenidas a través de sensores, con la producción de biomasa verde de cada sitio.

En distintos puntos del país, y en la zona del sur de Córdoba en particular (Mónaco, 2011), se cuenta con información sobre productividad medida a través de imágenes satelitales, pero a pesar de esto existe la necesidad de generar información de productividad, a la hora de planificar un sistema de cría animal que se sustente en pastizales naturales.

Hipótesis: En relictos de pastizal natural que forman parte de la cuenca del arroyo Chucul, la metodología tradicional y la metodología satelital de evaluación de productividad y disponibilidad de biomasa, presentan correlación temporal y espacial que pueden ser estimados mediante métodos estadísticos.

Objetivo: Comparar el uso de imágenes satelitales con muestreo a escala puntual para evaluar la disponibilidad de materia seca de tres comunidades localizadas en la cuenca del arroyo Chucul.

METODOLOGÍA

Para aportar conocimiento a nivel local se propone el relevamiento de la productividad en tres pastizales ubicados en la zona de influencia del arroyo Chucul en los que se evaluará la productividad utilizando la metodología basada en corte de biomasa (metodología tradicional) y aplicación de nuevas tecnologías de estimación, a través de imágenes satelitales.

Además, se complementó este trabajo con información adicional disponible en la cátedra de algunas características estructurales de los pastizales de esta zona en particular.

La metodología empleada en el estudio se basa en realizar muestreos en tres relictos de pastizal natural. Uno de los sitios está ubicado en la localidad de Coronel Baigorria (provincia de Córdoba), en las nacientes del Arroyo Chucul (32° 49' 21.0" S y 64° 24' 07.0" W); el segundo en la localidad de Chucul (32° 56' 43.0" S y 64° 16' 28.0" W) y el tercero cerca de la finalización de su curso, en un sitio frente a la Reserva Natural de Fauna: "Laguna La Felipa" (33° 06' 25.5" S y 63° 32' 49.1" W), ubicado en la localidad de Uchacha.

Se realizaron muestreos estacionales durante el período 2009-2011. En cada estación se tomaron 10 muestras con cuadrantes de 0.5 x 0.5 m (0,25 m²). En cada sitio de muestreo, se realizaron cortes al ras del suelo con tijera de tusar, recolectando biomasa en pie. Luego en laboratorio se separó en compartimentos verde y seco y se llevó a estufa hasta peso constante, determinando Biomasa verde (BV), dato utilizado para el presente trabajo.

El NDVI se estimó a partir de imágenes provistas por el sensor Landsat 5 TM. Este sensor tiene una resolución espacial adecuada (30 x 30 m), alta resolución temporal (14 días) y detección de nubosidad. Las imágenes fueron georreferenciadas y corregidas atmosféricamente hasta el tope de la atmósfera (Chuvioco, 1996). Para determinar dicho índice se calculó el cociente píxel a píxel, entre las bandas correspondientes al rojo visible (R) e infrarrojo cercano (IRC) de una misma imagen, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$NDVI = (IRC - R) / (IRC + R)$$

Donde IRC corresponde al infrarrojo cercano, y R al rojo del visible, del espectro electromagnético.

El índice tiene un rango entre -1 y 1; valores cercanos a 1 indican vegetación vigorosa; valores negativos indican ausencia de vegetación o vegetación senescente.

Procesamiento de Datos

Se efectuarán análisis gráficos y estadísticos (correlación/regresión) a las relaciones entre biomasa aérea y datos derivados del sensor Landsat 5 TM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los mayores valores de Biomasa verde se determinaron para el sitio 3, en diciembre de 2011: 189,6 g/m² y en marzo para los sitios 1 y 2: 105,74 y 115,22 g/m² respectivamente. Con respecto al valor de NDVI, se observó que el mayor valor se dio en diciembre coincidiendo con la mayor biomasa en el sitio 3.

El coeficiente de correlación entre NDVI y el valor de biomasa fue mayor en el sitio 3 (R=0.50). Si bien el valor es bajo, mostró mejor correlación porque la mayor parte de las especies que componen este pastizal natural son gramineas herbáceas; en cambio en los otros sitios se encontraron presentes los estratos arbustivo y arbóreo, los cuales fueron también detectados por el sensor, y no tomados en cuenta, en el muestreo realizado con corte de biomasa en el trabajo de campo.

El índice calculado a partir de las 7 imágenes obtenidas para el sitio próximo a la reserva La Felipa mostró una dinámica muy particular (Fig 1). En la figura 1 se observa que los valores más altos de NDVI están al final de la primavera-verano, mientras que en el otoño e invierno se dan los valores más bajos. Esta zona presenta pastoreo, la especie más importante es la *Poa* sp., de muy buena calidad forrajera, que por preferencia fue seleccionada por los animales. Por las características climáticas de esta zona (temperatura y humedad), en la primavera-verano aparecen más dicotiledóneas que tienen menor nivel de preferencia por los animales. La mayor producción

de verano esta dada por una comunidad de 19 especies donde predomina *Distichlis spicata* que es C4 lo cual explica la mayor cantidad de biomasa; y en otoño invierno, una comunidad de 13 especies de crecimiento otoño-invernal. Los valores mostrados en este gráfico representan el promedio NDVI para cada una de las fechas analizadas independientemente de las comunidades que pueden existir. Ello significa que este promedio puede incluir tanto áreas o comunidades que estén en plena producción de biomasa aérea herbácea, arbórea o arbustivas.

Con el objetivo de obtener la correlación se relacionaron ambas series de variables, entre NDVI y biomasa verde obtenida en el muestreo de campo. La correlación observada en el sitio próximo a la reserva La Felipa mostró el valor más alto, explicando un 50 % de asociación entre ambas variables.

Por lo cual tomar a la imagen como única herramienta de observación de la realidad no sería recomendable en este caso. Deberían hacerse muestreos a campo con otro método mas preciso que ayuden a explicar de modo mas ajustado la cantidad de biomasa verde de los estratos que no se trabajaron (arbustivos y arbóreos), y que el satélite está detectando.

Estudios anteriores han encontrado una clara correlación entre NPP y el NDVI integrado para un único tipo forestal, en el noreste de USA. La mayor correlación se obtuvo en los bosques leñosos, mientras que la correlación fue de moderada a baja en los bosques forestales mixtos (Jian Chen, 1995). En caso hay que destacar que en el sitio 1 se incrementó la presencia de individuos de *Gleditsia triacanthos* (acacia negra), desde el comienzo del trabajo hasta ahora.

Pese a su sencillez, el NDVI plantea el inconveniente de ser sensible a la reflectividad del suelo sobre el que se sitúa la planta. En una zona con baja densidad de vegetación, la reflectividad correspondiente a un pixel en la banda infrarroja y en la banda roja vendrían determinados fundamentalmente por el suelo, con una pequeña variación debida a la presencia de vegetación. El resultado es que un índice de vegetación de esa zona daría resultados muy similares a los del suelo desnudo y sería imposible detectar la pre-

sencia de vegetación. Este problema es bastante grave cuando la cubierta vegetal es menor del 50% (Sanchez Rodriguez *et al.*, 2000). En el periodo que es motivo de este estudio los pastizales muestreados estaban siendo pastoreados dejando superficies variables de suelo desnudo.

CONCLUSIONES

Si bien en el sitio 3 se obtuvo el valor más alto de correlación, para el presente estudio, estos resultados no convalidan la hipótesis planteada. Dado que en el presente trabajo el nivel de ajuste fue muy bajo se propone en futuras investigaciones complementar esta información con nuevas metodologías de menor nivel de impacto sobre el pastizal, que reduzcan al menos en parte, la destrucción del mismo y que sean un buen indicador de los tres estratos de vegetación presente.

Agradecimientos: Agradecemos al Dr. Osvaldo Campanella por responder dudas e inquietudes que surgieron en el análisis de las imágenes.

BIBLIOGRAFIA

- Asrar G., M. Fuchus, E.T. Kanemasu & J.L. Hatfield. 1984. Estimation absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agron. J.* 76: 300-306.
- Baret F. & G. Guyot. 1989. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sens. Environ.* 35: 161-173.
- Boyd W. 1986. Correlation of rangelands brush canopy cover with Landsat MSS data. *J. Range Manage.* 39: 268- 271.
- Chen J. 1995. Integrating AVHRR derived NDVI with Ecological Modelling. Middle States Geographer. Vol. 28.
- Chuvienco E. 1996. Fundamentos de Teledetección Espacial. Eds RIALP.S.A. Madrid, España.
- Curran P.J. 1983. Multispectral remote sensing for the estimation of green leaf area index. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A.* 309: 257-

- 270.
- Gerberman A.J., J.A. Cuellar & H.W. Gausman, 1984. Relationship of sorghum canopy variables to reflected infrared radiation for 2 wavelengths and 2 wavebands. *Photogramm. Eng. Rem.S.* 50: 209-214.
- Mársico L. & A. Altesor. 2011. Relación entre la riqueza de especies vegetales y la productividad en pastizales naturales. *Ecol. Austral* 21: 101-109.
- Paruelo J.M., H.E. Epstein, W.K Lauenroth & I.C. Burke. 1997. A NPP estimates from NDVI for the Central Grassland Region of the US. *Ecology* 78: 953-958.
- Prince S.D. 1991. A model of regional primary production for use with coarse resolution satellite data. *Int. J.Remote S.* 12: 1313-1330.
- Pucheta E., E. Ferrero, L. Heil & C. Schneide. 2004. Modelos de regresión para la estimación de la biomasa aérea en un pastizal de montaña de Pampa de Achala (Córdoba, Argentina). *Agriscientia* 21(1): 23-30.
- Pueyo J.M., L. Lacopini, Y. Bonini, J. Fonseca, R. Ludi & R. Grancell. 2003. Productividad del campo natural. Publicaciones. EEA INTA Paraná, Entre Ríos.
- Pueyo J.M., L. Lacopini, Y. Bonini, J. Fonseca R. Ludi & R. Grancell. 2005. Productividad del Pastizal Natural. EEA Concepción del Uruguay.
- Sánchez Rodríguez E, M.Á. Torres Crespo, A. Fernández Palacios Carmona, M. Aguilar Alba, I. Pino Serrato & L. Granada Ruiz. 2000. Comparación del NDVI con el PVI y el SAVI como Indicadores para la Asignación de Modelos de Combustible para la Estimación del Riesgo de Incendios en Andalucía. *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. pp. 164-174.
- Sellers P.J. 1985. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. *Int. J. Remote S.* 6: 1335-1372.
- Rueter B. & M. Bertolani 2005. Evaluación de la Productividad, Degradación y Ritmos Bioclimáticos en Ecosistemas Áridos del Distrito Central, Mediante la Utilización de Percepción Remota. *Nat. Patagón*.1: 66-72.
- Tucker C.J. 1977. Resolution of grass canopy biomass classes. *Photogramm. Eng. Rem. S.* 43: 1059-1067.

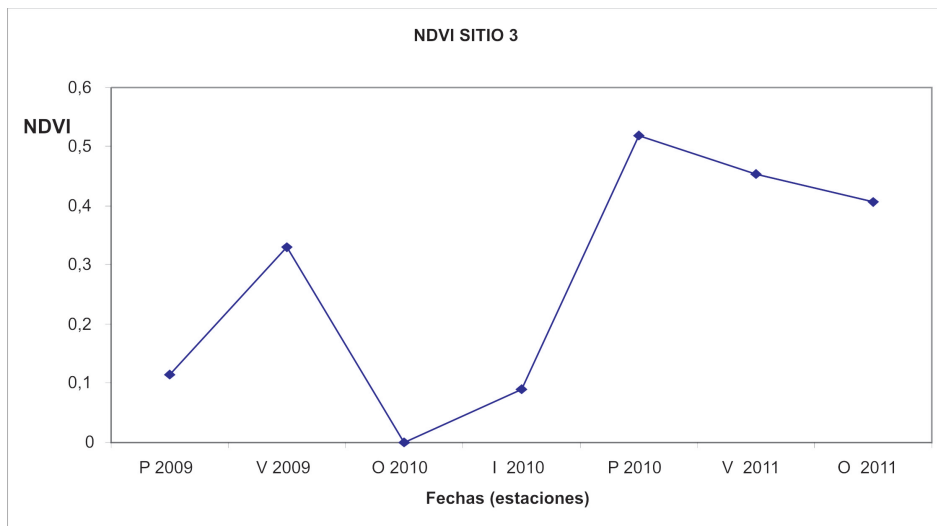


Figura 1. Variación estacional de los valores NDVI para el sitio 3. P: Primavera, V: Verano, O: Otoño, I: Invierno.

Figure 1. Variation seasonal of NDVI values for Site 3. Spring (P), Summer (V), Autumn (O), Winter (I).