

UTILIZACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN Y LA SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PRADERAS EN FRANCIA

C. DI BELLA (*), F. RUGET (**), B. SEGUIN (**), R. FAIVRE (***), B. COMBAL (**), M. WEISS (**)
y C. REBELLA (*)

cdibella@inta.gov.ar

(*) Instituto de Clima y Agua -INTA - Los Reseros y Las Cabañas s/n (1712)-Castelar-Buenos Aires - Argentina

(**) Bioclimatologie, INRA - Avignon, Site Agroparc, 84914 Avignon Cedex 9- Francia

(***) Biométrie et IA, INRA - Toulouse, BP 27, 31326 Castanet-Tolosan Cedex- Francia

RESUMEN: Las praderas constituyen un importante ecosistema terrestre por su contribución a la alimentación animal, la biodiversidad, la protección ambiental y el paisaje rural. En Francia, a pesar de ocupar el 17% de su territorio, no se dispone de estadísticas sistemáticas y precisas sobre la producción de biomasa y su variabilidad espacial y temporal. La inexistencia de métodos indirectos de bajo costo que puedan aplicarse sobre grandes superficies contribuye a esta situación. Los avances registrados tanto en sensores y técnicas de sensoramiento remoto como en modelización de cultivos, ofrecen nuevas posibilidades metodológicas y operativas. En este trabajo realizado sobre 11 Regiones Forrajeras representativas de la variabilidad geomorfológica, edáfica y climática y en síntesis de la producción pastoril de Francia, utilizando el sensor VEGETATION a bordo del satélite SPOT-4, se encontraron valores de regresión significativos entre la reflectancia medida en los canales 3 (infrarrojo) y 4 (infrarrojo medio) y variables productivas como la Acumulación de Materia Seca (MSEC) y la Reserva de agua del suelo (RU) estimadas por el Modelo de simulación STICS. Estos resultados permiten extrapolar con mayor precisión a grandes regiones los datos obtenidos con modelos; mejorando además el comportamiento de los mismos al suplantar variables estimadas por variables medidas.

Palabras clave: Praderas, Producción, Reflectancia, Índices de Vegetación, Escala Nacional, Francia.

ABSTRACT: The prairies constitute an important terrestrial ecosystem for their contribution to animal feeding, biodiversity and the environmental and rural landscape protection. In France, pastures occupy 17% of their territory; however a national estimation results very difficult at this level. The non-existence of indirect methods of low cost that can be applied on big surfaces contributes to this situation. The advances registered in sensors and techniques of remote sensing and crop models simulations; offer new methodological and operative possibilities. In this work, carried out on 11 Forage Regions representatives of the greater part of climatic and soil variability of France, using the sensor VEGETATION on board the satellite SPOT-4, we found significant correlation among reflectance measured in channels 3 (infrared) and 4 (half infrared) and productive variables (Dry Matter Accumulation, Water Storage) estimated by the STICS simulation model. These results allow extrapolating with more precision to big regions the data obtained with models.

INTRODUCCIÓN

Por las funciones productivas y ambientales que representan como por la gran superficie que ocupan (50% en la Unión Europea), las praderas constituyen un ecosistema relevante. En Francia, a pesar de representar una porción significativa de su territorio (17%) no se disponen de estadísticas precisas que permitan evaluar la variabilidad espacial y temporal de la producción pastoril.

La tradicional metodología de "cortes y pesadas" para la cuantificación de la producción de "biomasa" o de la "productividad primaria neta aérea" (PPNA) ampliamente utilizada a nivel experimental, presenta serios inconvenientes cuando se la pretende aplicar a otras escalas debido, entre otros aspectos, a las dificultades para la extrapolación de mediciones, la ausencia de métodos estandarizados, el elevado costo de muestreo, etc.

Los avances registrados en las últimas décadas en la modelación de procesos ecofisiológicos, con miras a poder simular la elaboración de la producción vegetal, permiten hoy su aplicación a la resolución de una variada gama de problemas productivos y ambientales. En el caso de las praderas, a los modelos clásicos como el Century (Parton *et al.*, 1995) o el Hurley Pastures (Thornley y Cannel, 1997) se le anexa hoy el Modelo STICS (Simulador Multidisciplinario para Cultivos Standard) desarrollado por Brisson y colaboradores en el INRA de Avignon-Francia (Brisson *et al.*, 1998). A este modelo destinado originalmente a cultivos agrícolas, se le han adicionado recientemente, rutinas específicas para la evaluación de la producción de materia seca sobre especies forrajeras y constituye la herramienta seleccionada para la ejecución del Proyecto ISOP (Information et Suivi Objectif des Prairies) por el Ministerio de Agricultura de Francia; el cual ha sido utilizado con muy buenos resultados durante el año 2000 aún cuando se evidenciaron ciertas dificultades para simular la gran variabilidad florística y productiva de las praderas francesas.

Complementariamente, los desarrollos en teledetección satelital ofrecen nuevas perspectivas y otras posibilidades tanto para el estudio de la distribución espacial de las praderas (Peterson *et al.*, 1998) y la identificación de especies y comunidades (Benoit *et al.*, 1998; Lobo *et al.*, 1998) como en la evaluación de los cambios en cantidad y calidad de biomasa vegetal (Tucker *et al.*, 1985; Paruelo *et al.*, 2000) a partir de la utilización del sensor AVHRR montado en los satélites de la Serie Tiros - NOAA. Las características espectrales y una elevada frecuencia de revisita han compensado en estos satélites la baja resolución espacial (1 km²) del sensor.

Con características similares pero con mejoras tecnológicas significativas el Sensor VEGETATION montado en el satélite SPOT-4 ofrece nuevas posibilidades para el desarrollo de una aproximación cuantitativa en la evaluación de la dinámica de los cambios de la producción pastoril. La utilización directa de la información captada por el sensor "VEGETATION" y/o su integración en modelos de simulación (Guerif *et al.*, 1997) con objeto de conformar un sistema de monitoreo de praderas a escala regional y nacional constituye el eje central de esta investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para obtener una representatividad espacial y temporal de las praderas francesas, y tomando como unidad de trabajo las Regiones Forrajeras (RF) en las que se encuentra dividida la Rep. Francesa, se seleccionaron aquellas RF que tuvieran una proporción de praderas (temporales y permanentes) mayor al 42% y que repre-

sentasen la mayor parte de la variabilidad climática y morfológica global. De este modo, 11 RF (Figura 1) con diferencias significativas en relación a la altitud, las condiciones climáticas y los distintos niveles de producción, fueron seleccionadas.

Como información de base se contó con:

- Ocupación del suelo: la base de *datos Corine Land Cover* fue utilizada para obtener la ocupación del suelo a la escala de 25 ha para todas las RF analizadas;
- Información satelital: Se utilizaron las imágenes correspondientes al captor VEGETATION a bordo del satélite SPOT-4 para las bandas correspondientes al: Azul (0.43-0.47 μm); Rojo (0.61-0.68 μm), Infrarrojo Cercano (0.78-0.89 μm) e Infrarrojo Medio (1.58-1.75 μm). La resolución espacial correspondió a 1 km² para 24 fechas entre abril y agosto de 1998;
- Evaluaciones productivas: dentro del marco del proyecto ISOP obtuvimos información del Índice de Área Foliar (LAI), Acumulación Diaria de Materia Seca (MASEC), Materia Seca Total Acumulada (MSTOT), Reserva de Agua en el Suelo (RU), Índice de Estrés Hídrico (TURFAC) e Índice de Estrés de Nitrógeno (INNS). Estos datos fueron proporcionados a la escala diaria para cada una de las RF y utilizando el modelo STICS para dichas simulaciones. En todos los casos los valores correspondieron al valor diario ponderado de 25 simulaciones para cada una de las RF.

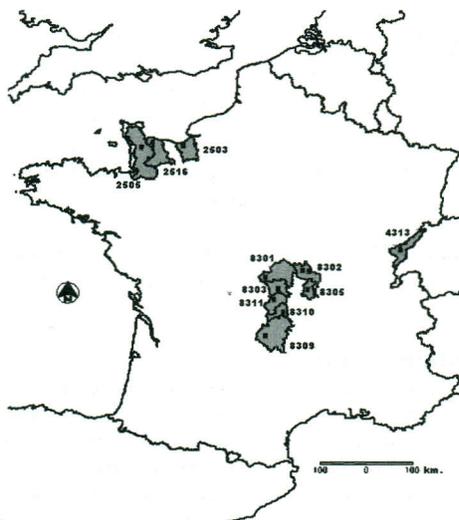


Figura 1: Regiones Forrajeras (RF) seleccionadas. Los distintos números representan los códigos de las RF

Con el objetivo de calcular el valor de reflectancia de las praderas puras a partir de la utilización de un modelo de estimación subpíxel (Faivre y Fischer, 1996), se seleccionó un área piloto de 25 km² dentro de cada una de las RF. Para cada área piloto (5 x 5 píxeles de 1km²) se dispuso de información de los distintos valores de reflectancia de las imágenes básicas sobre los píxeles mixtos y los porcentajes de cada tipo de cobertura vegetal (*Corine Land Cover*) en cada uno de dichos píxeles.

A partir del conocimiento del valor correspondiente a la pradera pura, se relacionó dicha información satelital con ciertas variables productivas del modelo STICS a través del método de la regresión múltiple.

RESULTADOS

En la figura 2 se presentan los valores de precipitación acumulada (mm/estación) para los períodos de primavera y verano del año 1998 para cada una de las RF analizadas. Se observa una diferencia significativa entre las RF 2503 a 4313 (Regiones Normandía y Jura) con precipitaciones mayores que el resto y concentrados durante los meses de verano. El resto de las regiones (Macizo Central) presentan valores más bajos de precipitación con una distribución levemente superior durante los meses de primavera.

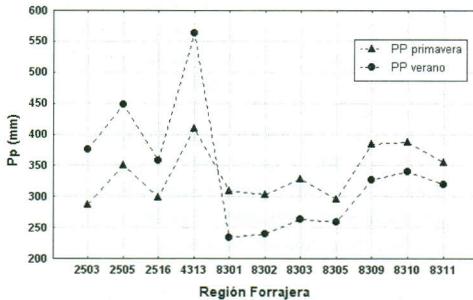


Figura 2: Precipitación acumulada (mm) de primavera y verano del año 1998 para las RF analizadas

Con el objetivo de conocer los valores de la información satelital correspondientes a la praderas puras para los distintos píxeles de composición mixta, se extrajeron las proporciones de uso del suelo para cada una de las áreas piloto seleccionadas (Figura 3). Asimismo, se obtuvieron los valores de la respuesta integrada de cada uno de los píxeles de las áreas piloto seleccionadas a partir de la información satelital (Figura 4). De la combinación de ambas y utilizando un modelo de estimación subpíxel, fue posible calcular los valores correspondien-

tes a la pradera pura para cada una de las RF. Finalmente, se generó un valor decádico de NDVI, C2, C3 y C4 para cada una de las RF (Figura 5).

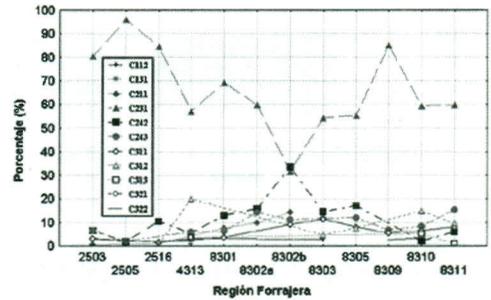


Figura 3: Proporción de cada uso del suelo por RF

Dichos valores fueron relacionados con cada una de las variables productivas estimadas a partir del modelo de simulación (Tabla 1). En dicha tabla se presentan los valores de regresión significativos ($n=84$; $p<0.005$) hallados entre cada una de las variables productivas (LAI, MASEC, MSTOT, RU, TURFAC, INNS) y las estimaciones de NDVI, C2, C3 y C4 de las praderas y las combinaciones C3-C4 y utilizando todas las variables. Asimismo, en formato de texto resaltado, se destacan aquellas relaciones que presentaron una pendiente negativa de regresión.

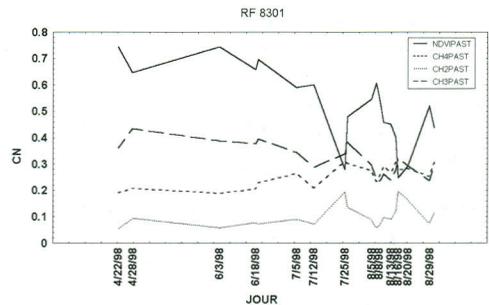


Figura 4: Información diaria de NDVI, C2, C3 y C4 de los píxeles de composición mixta para la RF 8301

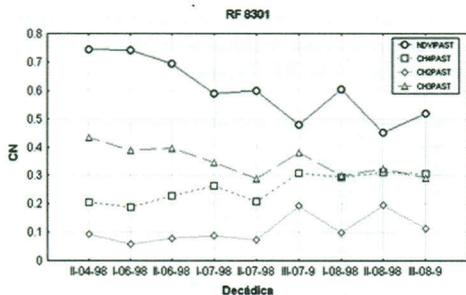


Figura 5: Valores decádicos de NDVI, C2, C3 y C4 correspondientes a la pradera pura para la RF 8301

Los primeros resultados, aun preliminares, muestran que las variables medidas por el captor VEGETATION, y específicamente en las longitudes de onda del IR cercano (C3) e IR medio (C4), explican la mayor parte de la variación de las variables productivas analizadas. También, es posible observar un elevado grado de coincidencia en el sentido de las pendientes y los conocimientos que se tienen del funcionamiento de los ecosistemas (por ejemplo, a medida que aumenta la Reserva de agua en el suelo disminuye el valor de reflectancia en el C4).

Variable	Información satelital					Todas
	C2	C3	C4	NDVI	C3 + C4	
<i>Productiva</i>						
LAI		0.49	0.34	0.23	0.58	0.59
MASEC	0.29	0.52	0.53	0.39	0.71	0.72
MSTOT		0.25				
RU		0.49	0.39		0.6	0.64
TURFAC	0.23	0.52	0.45	0.32	0.66	0.66
INNS	0.4	0.33	0.48	0.35	0.55	0.59

Tabla 1: Relación entre las variables productivas y las medidas realizadas por teledetección

CONCLUSIÓN

Es posible concluir que los resultados hallados hasta el momento son alentadores en cuanto a la posibilidad de realizar un seguimiento espacial y temporal de variables productivas a la escala nacional.

A partir de los resultados preliminares obtenidos para el año 1998, el programa de trabajo deberá ser orientado a: La evaluación de series más completas del instrumento VEGETATION (años 1999-2000); la inclusión de un mayor número de RF en búsqueda de regiones con mayor ocurrencia de días despejados; y el estudio

de las consecuencias de trabajar con distintas fuentes de información en la utilización del uso del suelo (*Corine Land Cover o SCEES*).

BIBLIOGRAFÍA

- BENOIT, M.; GIRARD, C. M. and de VAUBERNIER, E. (1988). Comparaison du comportement spectral de prairies permanentes en Lorraine avec leur type d'utilisation. *Agronomie* 8: 265-272.
- BRISSON, N.; MARY, B.; RIPOCHE, D. et al. (1998): STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie* 18: 311-346.
- FAIVRE, R. and FISCHER, A. 1996: Predicting Crop Reflectances Using Satellite Data Observing Mixed Pixels. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 2, 87-107.
- GUÉRIF, M.; COURAULT, D. and BRISSON, N. (1997): Assimilation des données de télédétection dans les modèles de fonctionnement des cultures. INRA editions, Versailles, pp. 169-191.
- LOBO, A.; MOLONEY, K.; and CHIARIELLO, N. (1998): Fine-scale mapping of a grassland from digitized aerial photography: An approach using image segmentation and discriminant analysis. *International Journal of Remote Sensing* 19: 65-84.
- PARTON, W. J., SCURLOCK, J. M. O., OJIMA, D. S., SCHIMEL, D. S., HALL, D. O., Scopegram Group Members, 1995. Impact of climate change on grassland production and soil carbon worldwide. *Global Change Biol.* 1, 13-22.
- PARUELO, J. M.; OESTERHELD, M.; DI BELLA, C. M.; ARZADUM, M.; LAFONTAINE, J.; CAHUEPÉ, M. y REBELLA, C. M. 2000. Estimation of primary production of subhumid rangelands from remote sensing data. *Applied Vegetation Science*, 3: 189-195.
- PETERSON, U. and AUNAP, R. (1998): Changes in agricultural land use in Estonia in the 1990s detected with multitemporal landsat MSS imagery. *Landscape and Urban Planning* 41: 193-201.
- RUGET F., DELÉCOLLE R., LE BAS C., DURU M., BONNEVIALE N., RABAUD V., DONET I., PÉRARNAUD V., PANIAGUA S., 2001. Utilisation spatialisée de STICS, application à l'estimation et au suivi des productions fourragères françaises et à la détection de situations régionales d'alerte. Colloque Ager-Mia, 31 août 2000, Cirad, Montpellier, En curso.
- THORNLEY, J. H. M. and CANNELL, M. G. R., 1997. Temperate grassland responses to climate change: an analysis using the Hurley pasture model. *Ann. Bot.* 80, pp. 205-221.

TUCKER, C. J.; VANPRAIET, C. L.; SHARMAN, M. J. y VAN
ITERSUM, G. 1985: Satellite remote sensing of total
herbaceous biomass production in the Senegalese
Sahel. *Remote Sens. Environ.* , 17: 233-249.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del trabajo de Tesis del
Ing.Agr. Carlos M. Di Bella, el cual es financiado por el

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argen-
tina) y el *Institut National de Recherche Agronomique*
(Francia). Los autores agradecen especialmente al Pro-
yecto ISOP (colaboración SCEES-Météo France-INRA)
por la provisión de los datos productivos; los cuales es-
tán disponibles de manera operacional a partir del año
2000.