

COMPARACIÓN MULTITEMPORAL DE LAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN DOS COMUNIDADES DE REGADÍO DE CATALUÑA A TRAVÉS DE IMÁGENES DE SATELITE

P. Serra ^(*), G. Moré ^(**) y X. Pons ^(*) ^(**).

() Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Barcelona. 08193 Cerdanyola del Vallès (Barcelona).
pere.serra@uab.cat*

*(**) Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF), Universidad Autónoma de Barcelona. 08193 Cerdanyola del Vallès (Barcelona).*

RESUMEN

El objetivo del trabajo consiste en el análisis de la actuación de los agricultores de dos comunidades de regadío de Cataluña, a partir de la campaña de 2002. Dicho examen se realiza empleando diversas imágenes Landsat para cada año, con el objetivo de observar las posibles diferencias a consecuencia de los períodos más húmedos o más secos (sequías). La metodología empleada compara la evolución multitemporal de los principales cultivos de regadío (maíz, alfalfa, frutales y chopos) en relación a los recursos hídricos disponibles fruto de la precipitación local y del nivel del agua de los embalses de los que dependen las citadas comunidades. El seguimiento fenológico multitemporal se realiza a través del índice de vegetación SAVI y del índice de humedad del Tasseled Cap. La hipótesis de trabajo reside en que la menor disponibilidad de agua en la zona del río Muga comparado con la zona del río Ter, más húmeda, debe repercutir en las prácticas agrícolas de los cultivos detallados. Sin embargo, los resultados revelan que es la comunidad del río Ter la que muestra comportamientos más específicos y adaptados a la sequía.

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the farmers' management of two irrigation communities from 2002. The investigation is performed using some series of Landsat images in order to understand the possible management differences as a consequence of the lack of water (droughts). The methodology compares the multitemporal dynamics of irrigated crops (maize, alfalfa, fruit trees and poplars) with the stored water volume in reservoirs and with the local precipitation. This phenological monitoring is completed by means of the SAVI index and the Tasseled Cap Wetness index (TCW). The hypothesis of work is based on the fact that the irrigation community of Muga river is drier than the irrigation community of Ter river, producing management consequences on the analyzed crops. Nevertheless, results demonstrate that the latter show a behavior more adapted to droughts.

Palabras clave: cultivos mediterráneos, recursos hídricos, SAVI, índice de humedad, regresión lineal.

INTRODUCCIÓN

Como es bien conocido, una de las aplicaciones más características y útiles de la teledetección corresponde al seguimiento de las cubiertas agrícolas (Murthy *et al.* 2003; Martínez-Casasnovas *et al.* 2005). Desde el Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Barcelona, se viene desarrollando desde el 2002 un protocolo para la clasificación de los cultivos de Cataluña en el marco del convenio de colaboración con la Agencia Catalana del Agua.

El objetivo de la comunicación reside en la comparación multitemporal (2002-2005) de las prácticas agrícolas de regadío de dos comunidades de regantes de Cataluña localizadas en la cuenca del Ter y del río Muga. La metodología corresponde a la implementada por Serra y Pons (2008) con algunas

mejoras específicas para una mejor comparación ya que en el citado trabajo sólo se analizaba una comunidad.

ÁREA DE ESTUDIO

En esta comunicación dos comunidades de regadío, situadas en el nordeste de Cataluña, son analizadas: la comunidad de regadío de Pals (CRP), localizada en la desembocadura del río Ter, y la comunidad de regadío del margen derecho del río Muga (CRMDM). La CRP es una comunidad de principios del siglo XX, con una superficie total de 3.323 ha y con unos 400 agricultores, la mayoría propietarios. Los principales cultivos son cereales de invierno, arroz, maíz, alfalfa, frutales y chopos (cultivados para pasta de papel). La comunidad depende del agua almacenada en el embalse de Susqueda, con una capacidad de 233 hm³, y de la

precipitación local. Por otro lado, la CRMDM es una comunidad de mediados del siglo XX, con una superficie de 1.970 ha y un total de 150 agricultores. Los principales cultivos son los mismos que la CRP excepto que no se cultiva arroz. Esta comunidad depende del agua almacenada en el embalse de Boadella, con una capacidad de 61 hm³, y de la precipitación local.

IMÁGENES DE SATÉLITE

Las imágenes empleadas corresponden a la serie del satélite Landsat. Ambas comunidades de regadío están cubiertas por el mismo *path* y *row* de Landsat: 197 y 31, respectivamente. El periodo analizado, del 2002 al 2005, es el resultado de cuatro subcripciones anuales, adquiriéndose todas las imágenes de enero a diciembre, sea cual sea el estado de la cubierta nubosa. La tabla 1 muestra las imágenes usadas en el trabajo así como la fenología teórica de los cultivos herbáceos irrigados, en nuestro caso en relación al maíz.

Tabla 1.- Fechas de las imágenes empleadas. En fondo amarillo se destacan las imágenes especialmente afectadas por precipitación local.

	CRP	CRMDM	CRP	CRMDM	CRP	CRMDM	CRP	CRMDM
No cultivado	21 Febrero	21 Febrero	8 Febrero	8 Febrero	19 Febrero	19 Febrero	21 Febrero	21 Febrero
	26 Abril	26 Abril	13 Abril	13 Mayo	17 Mayo	9 Mayo	19 Abril	26 Abril
Plantación	12 Mayo							
Brotación	13 Junio	13 Junio	31 Mayo	31 Mayo	10 Junio	10 Junio	28 Mayo	28 Mayo
Crecimiento	29 Junio	29 Junio	10 Julio	10 Julio	12 Julio	12 Julio	15 Julio	29 Junio
			26 Julio	26 Julio	28 Julio	28 Julio	11 Julio	
Madurez	16 Agosto	16 Agosto	11 Agosto	11 Agosto	13 Agosto	13 Agosto	16 Agosto	16 Agosto
	1 Septiembre	27 Agosto	27 Agosto	29 Agosto	1 Septiembre	1 Septiembre		
Recolección	3 Octubre	1 Septiembre	28 Septiembre	30 Septiembre	30 Septiembre	3 Octubre	25 Septiembre	

METODOLOGÍA

Una vez corregidas las imágenes, geométrica y radiométricamente, dos índices fueron calculados para el seguimiento del estado de verdor y el de humedad: el Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) y el índice de humedad (*wetness*) calculado a partir del método Tasseled Cap (TCW), respectivamente. Con el objetivo de evitar confusiones espectrales y radiométricas con otras cubiertas (zonas urbanas, forestales, etc.), se aplicó una máscara a partir del Mapa de Cubiertas del Suelo de Cataluña (CREAF, 2006).

El método de clasificación ha consistido en el método híbrido implementado por Serra *et al.* (en prensa), que combina dos módulos del programa MiraMon: ISOMM y CLSMIX. El primero consiste en una clasificación no supervisada a través del algoritmo ISODATA, mientras que el segundo

realiza una superposición espacial con las áreas de entrenamiento, para su asignación más idónea.

DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS

La figura 1 muestra el nivel de agua almacenada en el embalse de Boadella desde enero a diciembre y la media de los diez últimos años. Los años con más problemas correspondieron al inicio de la campaña de regadío del 2002 (abril) y durante la campaña del 2005, con un nivel visiblemente por debajo de la media, mientras que en el resto no hubo problemas de agua.

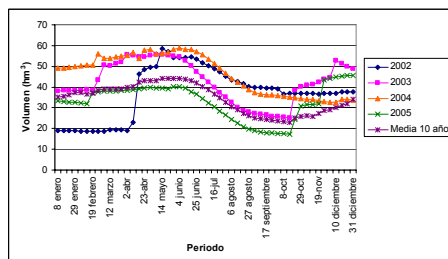


Figura 1.- Nivel de agua embalsada desde enero hasta diciembre del 2002 al 2005 en el embalse de Boadella.

La figura 2 muestra la misma información pero en el caso del embalse de Susqueda. El periodo de sequía del año 2002 perduró hasta mayo, mientras que la sequía del año 2005 fue más intensa que en el caso de Boadella, ya que el nivel embalsado presentaba unos niveles menores en relación a la media de los diez últimos años.

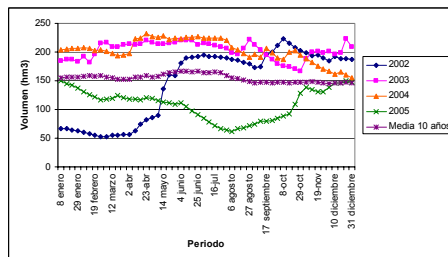


Figura 2.- Nivel de agua embalsada desde enero hasta diciembre del 2002 al 2005 en el embalse de Susqueda.

En relación a la precipitación local, se observó la necesidad de discernir aquellas imágenes afectadas por precipitación ya que podía distorsionar el origen de la humedad de los cultivos. En la tabla 1 se destacan las principales.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico consistió en la aplicación de diversas regresiones lineales con el objetivo de discernir si los agricultores regaban adecuadamente en función del agua almacenada en los embalses. La variable dependiente era el valor medio de humedad para cada cultivo en función del estado fenológico y la variable independiente era la diferencia entre el volumen almacenado en la fecha del estado fenológico específico y el volumen medio de los últimos diez años. El número de casos por cultivo era de cinco, correspondiente a cada uno de los cinco estados fenológicos recogidos en la tabla 1, siendo, pues, de gran importancia discernir si el modelo resultante era significativo o no.

RESULTADOS

Mapas de cultivos

Los cuatro mapas de cultivos fueron validados a través de matrices de confusión, mostrando un elevado grado de exactitud, superior al 90%. Las mayores confusiones se obtuvieron entre los frutales, la alfalfa y los chopos debido a su carácter perenne.

Evolución fenológica y de humedad

Los resultados en el caso del índice SAVI para el maíz muestran el previsible crecimiento sostenido del verdor hasta la fase de crecimiento y a partir de ella un descenso hasta la fase de recolección. El maíz de la CRP en el 2002 es el cultivo que presenta unos valores menores en la fase de crecimiento. En el caso de la alfalfa la evolución es mucho más irregular por los motivos comentados. En el caso de los frutales los resultados muestran unas dinámicas muy regulares con valores entre 0.6 y 1, mientras que en el caso de los chopos, los valores menos intensos se producen en el año 2002, tanto en la CRP como en CRMDM.

La figura 3 muestra los resultados en el caso del maíz a través del TCW. Presentaba el mayor grado de humedad en el periodo de crecimiento con algunas excepciones (año 2002 y 2005). Los elevados valores en el periodo de plantación se deben a la precipitación local (tabla 1).

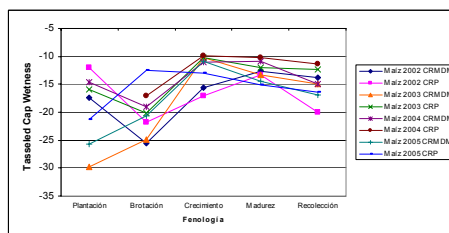


Figura 3.- Evolución del TWC del maíz para ambas comunidades.

En la figura 4 se observa la misma información pero para el caso de la alfalfa. La principal característica es la irregularidad de su cultivo por los motivos detallados.

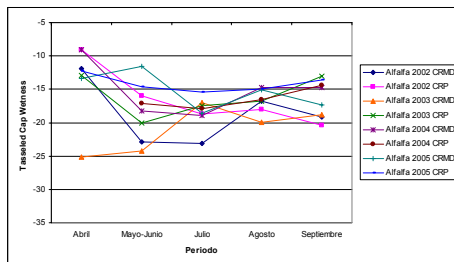


Figura 4.- Evolución del TWC de la alfalfa para ambas comunidades.

La figura 5 muestra las dinámicas en el caso de los frutales. Como se observa presentan una evolución más estable con algunas excepciones.

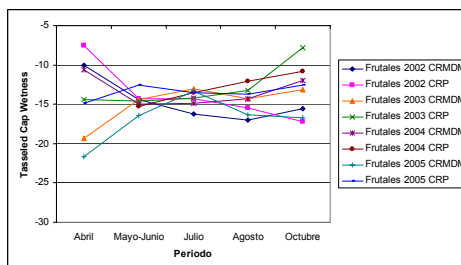


Figura 5.- Evolución del TWC de los frutales para ambas comunidades.

Finalmente, la figura 6 muestra los resultados en el caso de los chopos. Se observa, también, una evolución bastante regular con la excepción del año 2002 en ambas comunidades.

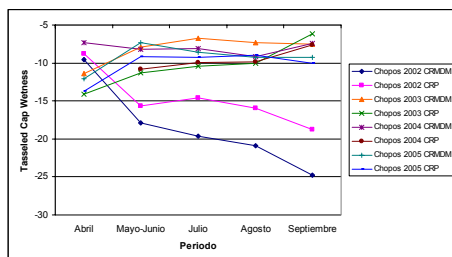


Figura 6.- Evolución del TWC de los chopos para ambas comunidades.

El mejor resultado estadístico del maíz se obtuvo en la CRP en el año 2005 (un R^2 de 0.7 y un p valor de 0.07). Este hecho confirma que el estado de irrigación del maíz estaba en función del volumen de agua embalsada. Así, el cultivo del maíz iba adelantado respecto al resto de años (figura 3).

En el caso del 2002, la figura 3 y los resultados estadísticos revelan que el maíz iba atrasado, mostrando la máxima humedad en el periodo de madurez. En el caso del maíz de la CRMDM, el mejor resultado estadístico se obtuvo en el año 2003 (un R^2 de 0.86 y un p valor de 0.02). El mayor grado de humedad se obtenía en el periodo de crecimiento tal como muestra la figura 3, donde se aprecia que en ese año el volumen de agua estaba a un nivel muy cercano a la media. Ningún otro año mostró resultados estadísticos aceptables.

En relación a la alfalfa de la CRP, el resultado más significativo se obtuvo para el año 2005 (un R^2 de 0.94 y un p valor de 0.006), indicando que a mayor volumen de agua más humedad. El otro resultado significativo corresponde a la alfalfa del 2002 (un R^2 de 0.89 y un p valor de 0.015). En el caso de la CRMDM el único resultado significativo se obtuvo para el año 2003 (con un R^2 de 0.82 y un p valor de 0.03).

En los frutales de la CRP, resultados muy similares a los de la alfalfa aparecen en el año 2002 (un R^2 de 0.81 y un p valor de 0.036), siendo el único año con unos resultados significativos. En los frutales de la CRMDM del año 2002 los resultados también aparecen como significativos (un R^2 de 0.8 y un p valor de 0.03). En la CRP eran sólo los chopos de 2002 los que mostraban unos valores significativos (un R^2 de 0.78 y un p valor de 0.04) y

los de 2005 en un menor grado (un R^2 de 0.72 y un p valor de 0.068). Finalmente, sólo los chopos de la CRMDM en el año 2002 presentaban valores significativos (un R^2 de 0.98 y un p valor de 0.001).

CONCLUSIONES

Los resultados en la CRP muestran que el nivel de humedad de la alfalfa, frutales y chopos en el año 2002 dependía del nivel de agua embalsada mientras que en el caso del maíz la solución ante la escasez de agua pasó por un retraso en su evolución fenológica. En relación al año 2005 la alfalfa y los chopos muestran una relación inversa con el nivel de agua embalsada mientras que el maíz presentaba un adelanto fenológico respecto al resto de años. Los resultados de la CRMDM muestran que sólo los frutales y los chopos en el año 2002 y el maíz y la alfalfa presentaban una relación significativa.

En conclusión, y en contraste a la hipótesis inicial, en el periodo 2002-2005 fueron los agricultores de la CRP los que tuvieron que adaptar mejor sus cultivos a los recursos hídricos disponibles (principalmente en la campaña 2002 para la alfalfa, frutales y chopos y en la campaña 2005 para el maíz, alfalfa y chopos) en lugar de los agricultores de la CRMDM (que sólo lo hicieron en la campaña 2002 para los frutales y chopos y en la campaña 2003 para el maíz y alfalfa).

BIBLIOGRAFÍA

- Martínez-Casasnovas, J. A., Martín, A. y Casterad, M.A. 2005. Mapping multi-year cropping patterns in small irrigation districts from time-series analysis of Landsat TM images. *European Journal of Agronomy*, 23, 159-169.
- Murthy, C.S., Raju, P.V. and Badrinath, K.V.S. 2003. Classification of wheat crop with multi-temporal images: performance of maximum likelihood and artificial neural networks. *International Journal of Remote Sensing*, 20, 4871-4890.
- Serra, P., Moré, G. and Pons, X. En prensa. Thematic accuracy consequences in cadastre land-cover enrichment from a pixel and from a polygon perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*.
- Serra, P. and Pons, X. 2008. Monitoring farmers' decisions on Mediterranean irrigated crops using satellite image time series. *International Journal of Remote Sensing*, 29, 2293-2316.