

Utilidad de diferentes combinaciones de bandas para la delimitación de ambientes en un establecimiento agropecuario de la Región Pampeana Argentina.

Torroba, Fermín^a y Menéndez Fernando José^a.

^a AACREA, Asociación de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola. Sarmiento 1236. Buenos Aires, Argentina.

Introducción

El análisis de imágenes satelitales es uno de los métodos más utilizados para delimitar ambientes o zonas de diferente productividad a escala de lote de producción. Para esto, se utiliza generalmente el índice verde normalizado (IVN) construido a partir de la reflectancia en las bandas correspondientes al rojo y al infrarrojo cercano. Los resultados obtenidos a partir de esta metodología son generalmente satisfactorios. Sin embargo, se ha visto que la utilización de IVN presenta también algunas limitantes, como por ejemplo, una rápida saturación de la relación entre el IVN y la biomasa de los cultivos. La consecuencia de esta limitante es que este método resulta a menudo ineficaz para discriminar ambientes de alta productividad. Una solución adoptada fue el reemplazo de la banda correspondiente al rojo por la banda del verde. Con esta metodología se logró, en muchos trabajos, evitar la saturación del IVN y ampliar, de este modo, el rango de utilidad de las imágenes satelitales.

Por otro lado, en observaciones empíricas realizadas a partir de fotointerpretación, se ha visto que la observación directa de imágenes compuestas por las bandas 3, 4 y 5 (Rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo lejano) permitía distinguir elementos del paisaje que no se observaban en los mapas de IVN.

Muchos trabajos demostraron que la utilización de diferentes bandas del espectro presenta ventajas y desventajas en la detección de determinadas características de la superficie terrestre (agua libre, suelo desnudo, nieve, etc). En trabajos de delimitación de ambientes, resulta necesario contar con una metodología que sea capaz de detectar la mayor cantidad de diferencias ambientales (relevantes para el crecimiento de los cultivos) en la mayor cantidad de casos posibles.

La utilidad que la inclusión de otras bandas del espectro podría brindar a la delimitación de ambientes ha sido poco estudiada en los sistemas de producción de la Región Pampeana Argentina. Por esto, el objetivo de este trabajo fue comparar la utilidad de diferentes combinaciones de bandas del espectro en la delimitación de los ambientes de un establecimiento de la Región Pampeana Argentina.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en 16 lotes de producción del establecimiento "El Milagro" (35° 49,3'O; 60° 26,6'O), situado en el centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Como fuente de información se utilizaron imágenes LANDSAT 5 y 7. Utilizando el programa ERDAS, las imágenes fueron rectificadas tomando como referencia puntos tomados con GPS en los vértices del establecimiento. Para realizar la delimitación de ambientes, se dividieron los lotes en grillas en las que los elementos coincidían en área y ubicación con los píxeles de las imágenes. Cada elemento de la grilla contenía la información de las bandas del espectro que correspondieran dependiendo de la combinación elegida. Se compararon las siguientes combinaciones de bandas (a) Bandas 3 y 4 (IVN), (b) Bandas 2 y 4, (c) Bandas 3,4 y 5 y (d) Bandas 1,2,3,4,5 y 7.

Para la confección del mapa de cada lote se utilizaron la mayor cantidad de imágenes disponibles durante el periodo 1997-2007 (Tabla 1). Estas imágenes coincidían con momentos cercanos a la floración de los cultivos sembrados. Se realizó un análisis de clusters en el cual las variables eran las bandas del espectro de las diferentes imágenes y las observaciones los distintos elementos de la grilla (coincidentes con los píxeles). Se agruparon los elementos de la grilla de acuerdo a su comportamiento espectral en diferentes años. Cada uno de los grupos generados representaría, de esta manera, un ambiente de producción diferente, aún cuando los factores edáficos que determinan esta variabilidad no hayan sido identificados.

Un aspecto particular de esta metodología es que, debido a diferencias mínimas en la rectificación de las imágenes y al valor mixto de los píxeles de los límites del lote, se generan ambientes artificiales en las borduras. Este efecto, conocido como "efecto bordura" debe ser corregido. Para esto se asumió que los dos píxeles más cercanos al límite del lote corresponden a ambientes artificiales y fueron agregados a los ambientes adyacentes interiores. El impacto de esta corrección fue evaluado.

La utilidad de las diferentes combinaciones de bandas se midió a través de dos metodologías. En primer lugar, se compararon los ambientes generados con información obtenida por monitores de rendimiento. Para esto, los datos de rendimiento del monitor fueron promediados dentro de cada elemento de la grilla. Se realizaron análisis de varianza en los que el rendimiento fue la variable dependiente y el ambiente la variable de clasificación. Los resultados se expresaron como el promedio del r^2 del modelo, como indicador de la proporción de la variabilidad de los rendimientos explicada por los ambientes delimitados. Esta metodología de análisis se utilizó en los 5 lotes para los cuales se contaba con información de monitores de rendimiento (Tabla 1).

Tabla 1: Cantidad de imágenes utilizadas en el análisis y monitores de rendimiento utilizados para la validación de los ambientes.

Lote	Imágenes	Monitores		
		1	2	3
1	6	Soja 2da 04/05	Trigo 04	-
2	3	-	-	-
3	5	-	-	-
6	7	Soja 2da 04/05	Trigo 03	Trigo 04
7	2	-	-	-
8	4	-	-	-
9	4	-	-	-
10	3	-	-	-
11	3	Maíz 00/01	Maíz 02/03	-
12	4	-	-	-
20	5	-	-	-
21	3	-	-	-
22	6	Soja2da 04/05	Soja 99/00	Trigo 04
23	3	-	-	-
24	5	-	-	-
25	5	Soja 2da 04/05	-	-

En segundo término, se le enviaron los mapas generados a partir de las diferentes combinaciones de bandas a un panel conformado por siete expertos en el tema. Se les solicitó que evaluaran las siguientes características de los mapas de ambientes: a) Claridad en la definición de ambientes, b) Posibilidad de establecer la continuidad de los ambientes entre lotes contiguos y c) Proporción de micro-ambientes (disgregación del mapa). Para la calificación se utilizó la siguiente escala semicuantitativa: Malo (0 pts), Regular (1 pt.), Bueno (2 pts.) y Muy Bueno (3 pts.). Por último, se les pidió que eligieran el mapa que a su entender cubría en mayor medida las expectativas o aseguraba una mayor calidad del trabajo.

Resultados y discusión

La cantidad de ambientes generados a partir del análisis de clusters tuvo un fuerte impacto en la magnitud en que éstos lograron explicar las diferencias de rendimientos intra-lotes (Figura 1). La proporción de esta variabilidad explicada por los ambientes varió de aproximadamente un 11%, cuando se delimitaron solamente 2 ambientes, a un 26% cuando se identificaron 14 ambientes en cada lote (Figura 1). Sin embargo debe tenerse en cuenta que, a pesar de este beneficio, la determinación de una gran cantidad de ambientes conlleva una pérdida de utilidad y operatividad del mapa generado. Como consecuencia del "efecto bordura", en los análisis en los que se delimitan muchos ambientes, varios de estos corresponden a ambientes artificiales. Por esto, en los trabajos realizados con esta

metodología a menudo se realizan análisis que identifican de 7 a 10 ambientes, de los cuales 4 a 7 corresponden a microambientes artificiales de las borduras.

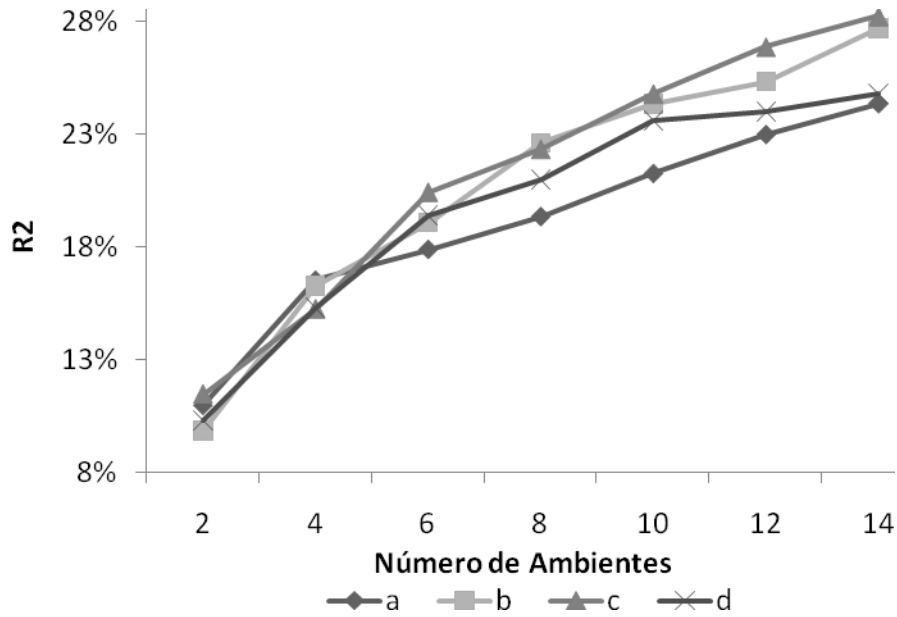


Figura 1: Proporción de la variabilidad de los rendimientos explicada por los ambientes generados a partir del análisis de clusters para cuatro combinaciones de bandas diferentes

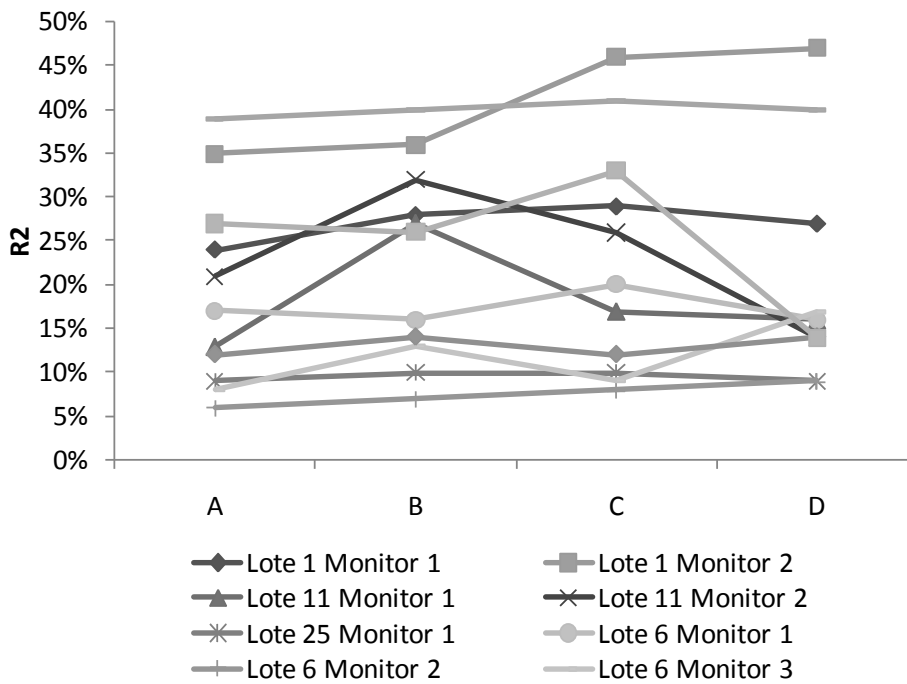


Figura 2: Proporción de la variabilidad de los rendimientos explicada por los diferentes ambientes generados para distintos lotes y monitores de rendimiento.

Los ambientes generados explicaron diferentes proporciones de la variabilidad de los rendimientos observados, dependiendo del lote y el monitor de rendimiento (Figura 2). Por ejemplo, los ambientes delimitados en el lote 11 explicaron el 17% de la variabilidad del rendimiento del cultivo de Maíz (2000/01) y el 26% de la variabilidad del rendimiento de Maíz (2003/04). En el lote 1, por otro lado los ambientes generados explicaron el 44% de la variabilidad de los rendimientos del cultivo de Trigo (2004/05) y el 32% de la variabilidad de los rendimientos del cultivo de Soja de segunda del mismo año. Es probable que estas diferencias se deban a diferencias en la variabilidad de los lotes. El lote 1 presenta un sector bajo con riesgo de encharcamiento muy delimitado que se detecta mediante fotointerpretación. Sin embargo, llama la atención que no existen diferencias significativas en la variabilidad de los rendimientos entre ambos lotes. Probablemente, la presencia de agua en superficie en determinados años esté "ayudando" al método a detectar la variabilidad ambiental. De esta manera, esta metodología funcionaría mejor cuando la principal causa de variación de los rendimientos es el encharcamiento que en los casos en que otros factores estuvieran determinando las variaciones, aún cuando los efectos sobre el cultivo fueran similares. Otra causa de las diferencias en la proporción de los rendimientos explicados podría ser la cantidad de imágenes utilizadas para la delimitación de ambientes. En el lote 11 se utilizaron 3 imágenes mientras que en el lote 1 se emplearon 6. Es probable que la cantidad de imágenes utilizadas en la confección de los ambientes del lote 11 no fuera suficiente para reflejar la variabilidad climática zonal y la interacción de los rendimientos de los cultivos con los ambientes. Sin embargo, el lote 6, cuyo mapa fue confeccionado utilizando 7 imágenes satelitales, fue en el cual los ambientes explicaron la menor proporción de los rendimientos.

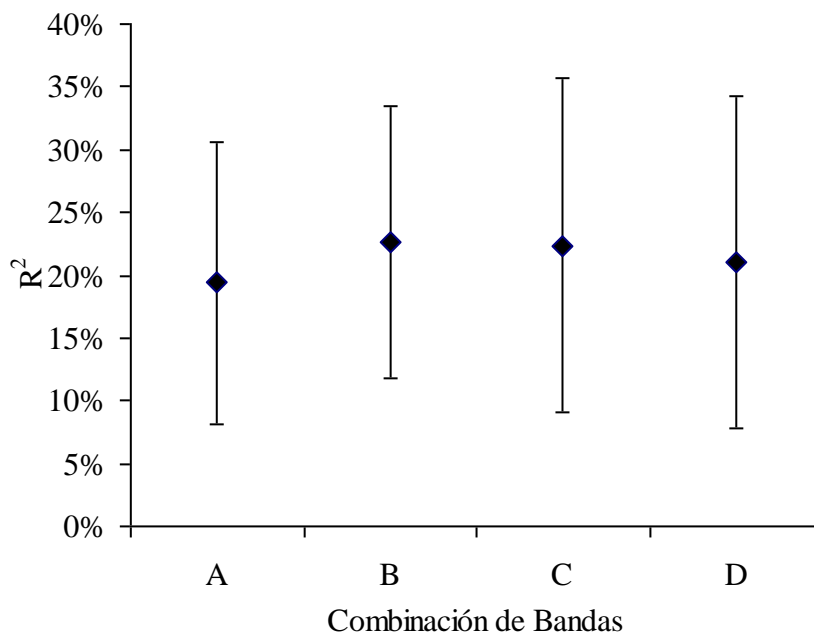


Figura 3: Proporción de la variabilidad de los rendimientos explicados por los ambientes generados para cuatro combinaciones de bandas del espectro diferentes. Las barras verticales indican el desvío estándar.

Tabla 2: Proporción de la variabilidad de los rendimientos explicados por los ambientes generados para cuatro combinaciones de bandas del espectro.

	A	B	C	D
Promedio	19,4%	22,6%	22,4%	21,0%
DS	11,3%	10,9%	13,3%	13,2%
CV (%)	58,2%	48,0%	59,6%	62,9%

Existieron diferencias significativas entre las diferentes combinaciones de bandas utilizadas en la delimitación de ambientes. En promedio, la combinación "b" (bandas 2 y 4) fue la que en mayor medida explicó las diferencias de rendimiento. Además, esta combinación fue la que mostró la menor variabilidad entre lotes y monitores de rinde. La combinación "c" (bandas 3,4 y 5) también mostró una buena performance, aunque con una variabilidad superior (Figura 3, tabla 2).

La interacción entre combinación de bandas, lote y monitor de rendimiento también fue significativa. En el lote 1, las combinaciones "c" y "d" fueron las que mayor proporción de la variabilidad de los rendimientos explicaron para los dos monitores de rendimiento utilizados. En el lote 11, sin embargo, el comportamiento de las diferentes combinaciones de bandas fue significativamente distinto. La combinación "b" fue la que en mayor medida explicó las diferencias de rendimiento del cultivo de Maíz de la campaña 2003/04, mientras que la combinación "c" fue con la que generó los ambientes más relacionados con los rendimientos del cultivo de Maíz de la campaña 2000/01.

Según Chuvieco (2002), la banda 5 (infrarrojo lejano) presenta una gran utilidad para detectar el límite entre la tierra y el agua. Probablemente, la presencia del bajo en el lote 1, fue detectado con más facilidad por las combinaciones en las cuales estaba presente esta banda. No tenemos una hipótesis seria para explicar la diferente performance de las distintas combinaciones de bandas en el lote 11, aunque podría existir alguna influencia de las diferencias en productividad entre los dos años de los cuales se utilizaron monitores de rendimiento. El cultivo de Maíz de la campaña 2003/04 tuvo un rendimiento medio de 9800 kg ha⁻¹ mientras que el cultivo de la campaña 2000/01 rindió 6500 kg ha⁻¹. La variabilidad

de los rendimientos dentro del lote fue la misma para los dos años (CV 27%). Es probable que la mejora que se obtuvo con los ambientes delimitados con la combinación de bandas "b" con respecto a la combinación "a" esté relacionada con estas diferencias en productividad.

El panel de expertos consultados calificó como el mejor método de todos los evaluados al método "c" (Bandas 3,4 y 5). Esto coincide en parte con las validaciones realizadas con los monitores de rendimiento, en el que esta combinación de bandas mostró, junto con la combinación "b" (Bandas 2 y 4) la mayor capacidad para explicar las diferencias de rendimientos. La combinación "b" fue la elegida por los expertos en segundo lugar (tabla 3).

Tabla 3: Calificación otorgada por el panel de expertos a cada método y porcentaje de elección.

Criterio	Combinación de bandas			
	a	b	c	d
a	1,46	1,71	2,36	1,84
b	1,59	1,71	2,16	1,71
c	1,20	1,14	2,10	1,97
Promedio	1,41	1,52	2,21	1,84
Frecuencia de elección	0,00%	28,57%	57,14%	14,29%

Conclusión.

En promedio, las combinaciones de bandas que en mayor medida explicaron los rendimientos fueron las combinaciones "b" y "c", mientras que la que menor utilidad presentaría para la delimitación de ambientes sería la "a". Esto se observó tanto en la validación realizada a partir de los monitores de rendimiento como a partir de las evaluaciones realizadas por los expertos. Sin embargo, existió una importante interacción entre la combinación de bandas analizada y el lote de producción y entre la combinación de bandas y el monitor de rendimiento utilizado para la validación de los ambientes generados. Se pueden generar diferentes hipótesis que intenten explicar las diferencias en los comportamientos observados, pero resulta claro que hacen falta una mayor cantidad de trabajos de investigación que incorporen diferentes tipos de ambientes, cultivos, etc, para poder llegar a conclusiones certeras acerca de la utilidad de las diferentes bandas para la delimitación de ambientes de producción.

Bibliografía.

Chuvienco, Emilio (2002). Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Ed. Ariel. Barcelona, España. 586 pps.

Agradecimientos

Se agradece la lectura crítica de este manuscrito a Tomás Della Chiesa.