



Marini, M. F. (2013): "Discriminación de cultivos de distinto desarrollo utilizando imágenes satelitales MODIS", *GeoFocus (Informes y aplicaciones)*, n° 13-1, p. 48-60. ISSN: 1578-5157

DISCRIMINACIÓN DE CULTIVOS DE DISTINTO DESARROLLO UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES MODIS

MARIO FABIÁN MARINI

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Estación Experimental Bordenave.
Km 36, 5, Bordenave, Buenos Aires, Argentina.
fmarini@bordenave.inta.gov.ar

RESUMEN

Se presentan los alcances y limitaciones de la teledetección aplicada a la discriminación de cultivos mediante un caso de estudio. Para ello, se seleccionaron dos partidos de la pampa austral Argentina en donde los cultivos estivales exhiben mayor desarrollo en el sector norte que en el sur. Se confeccionó un compuesto de 12 imágenes satelitales MODIS con los máximos valores del Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (NDVI) para las quincenas comprendidas entre el 30 de septiembre de 2010 y el 6 de abril de 2011. Se realizó una clasificación No Supervisada para identificar variaciones fenológicas correspondientes a cultivos de verano. La matriz de confusión evidenció mejores resultados en el sector norte, con valores de Precisión (P) superiores al 90 % e Índices Kappa (K) mayores a 0.7. Por su parte, en el sector sur los valores de P son aceptables para el total de cultivos, pero los de K son de regulares a malos, con mínimos de hasta 0.054.

Palabras clave: Teledetección, cultivos de verano, NDVI, MODIS.

USING MODIS SATELLITE IMAGES TO DETECT DIFFERENT DEVELOPMENT CROPS

ABSTRACT

This study shows advantages and limitations of remote sensing techniques applied to the crop discrimination using a case study. Two districts located in the Argentine southern Pampas were selected due to the summer crops development in the north area is better than the south. A stack of 12 MODIS satellite images with NDVI maximum values for the period between 30 September 2010 and 6 April 2011 was developed. In order to identify the summer crops phenology curves, an unsupervised classification was made. Confusion matrix has demonstrated the best results in the North area with Precision (P) values greater than 90% and Kappa Coefficient (K)



Marini, M. F. (2013): "Discriminación de cultivos de distinto desarrollo utilizando imágenes satelitales MODIS", *GeoFocus (Informes y aplicaciones)*, n° 13-1, p. 48-60. ISSN: 1578-5157

values greater than 0.7. On the other hand, in the South area Precision values are acceptable but Kappa Coefficient offers a minimum value of 0.054.

Keywords: Remote sensing techniques, summer crops, NDVI, MODIS.

1. Introducción

Se considera que en la República Argentina el sector agropecuario es uno de los principales recursos en su economía. De hecho es un muy significativo generador de divisas, a la vez que actúa como abastecedor de su mercado interno. La producción de bienes agropecuarios representa casi el 30 % de la producción total de bienes, dentro los cuales los cultivos agrícolas generan el 62% del total (Bugallo, 2012). Asimismo, el 86% de dichos cultivos lo componen la soja, el trigo, el maíz y el girasol (Campaña 2011/2012). De esta característica se induce que el estudio, inventario y conocimiento tanto del uso de la tierra como de la superficie cultivada cobra significativa importancia para la planificación agrícola y económica del territorio. Si estos tipos de estudio son llevados a cabo, puede entonces realizarse un cálculo de la producción agrícola, así como de los requerimientos de insumos (fertilizantes, pesticidas, maquinarias) y de mano de obra.

Muchas formas de determinación del uso del suelo están basadas en estimaciones realizadas mediante recopilación de datos en campo, en encuestas telefónicas o en entrevistas con productores. No obstante, tales metodologías poseen en muchos casos un alto grado de error, a la vez que demandan una considerable inversión. En tal sentido, la contribución de la teledetección ha permitido alcanzar un conocimiento global de vastas regiones gracias a la cobertura espacial que poseen los diversos satélites. Cabe destacar que esta herramienta no deja de lado la mencionada recopilación de datos de campo, ya que los estudios realizados con sensores remotos pueden apoyar o facilitar su obtención, pero no los reemplazan. Es por ello que la situación de trabajo óptima es que ambos tipo de metodologías - recopilación de datos de campo y teledetección - se complementen.

En la República Argentina, la teledetección ha realizado diversos aportes en la elaboración de inventarios sobre usos del suelo y en la estimación de superficies cultivadas en distintas regiones. A modo de ejemplo, Volante *et al.* (2005), utilizan esta técnica en el análisis de la dinámica agrícola en el Noroeste argentino. En la misma zona, Paoli *et al.* (2013) llevan a cabo un monitoreo de cultivos utilizando sensores remotos. Por su parte Rau (2012), determina la dinámica de la cobertura y el uso del suelo en el área de la Mesopotamia. Trabajos de esta naturaleza también se han realizado en la región pampeana, entre los pueden mencionarse los de Baldi (2002) y Guerschman *et al.* (2003).

1.2. Área de estudio y objetivo de trabajo

El área de trabajo comprende los partidos de Adolfo Alsina y Guaminí, localizados en la provincia de Buenos Aires (República Argentina) dentro de la región pampeana austral, una de las de mayor relevancia productiva del país en términos agrícola e industrial. El partido de Adolfo

Marini, M. F. (2013): "Discriminación de cultivos de distinto desarrollo utilizando imágenes satelitales MODIS", *GeoFocus (Informes y aplicaciones)*, n° 13-1, p. 48-60. ISSN: 1578-5157

Alsina posee 17072 habitantes, siendo su cabecera la localidad de Carhué, mientras que el de Guaminí alberga 11826 habitantes (INDEC, 2011) siendo su cabecera la ciudad homónima (figura 1). El sistema productivo, tradicionalmente ganadero - agrícola, ha ido evolucionando hacia una mayor proporción de agricultura durante los últimos años. Los cultivos de verano poseen un amplio desarrollo en los partidos mencionados (SIIA, 2012). Su preponderancia se ha ido incrementando ostensiblemente durante los últimos treinta años, en especial la soja (*Glicine max*) (tabla 1). En este último caso, la demanda mundial de esta oleaginosa propició lo que se conoce como el "boom sojero", fenómeno que tiene lugar en gran parte de la llanura pampeana.

Otros cultivos estivales de cosecha significativos son el girasol (*Helianthus agnus*) y en menor medida el maíz (*Zea mays*). Entre los cultivos invernales de cosecha se destaca el trigo (*Triticum aestivum*), seguido por la avena (*Avena sativa*). La ganadería, representada por la actividad bovina de ciclo completo y en menor grado de cría, se basa en pasturas polifíticas con alfalfa (*Medicago sativa*) como principal especie y en cultivos forrajeros invernales como la avena y estivales como el sorgo (*Sorghum sp*) y el maíz. En áreas medanosas, las pasturas implantadas se componen principalmente de pasto llorón (*Eragrostis cúrvula*), y en los sectores inundables de Agropiro (*Agropirum elongatum*) y de trébol (*Melilotus sp*).

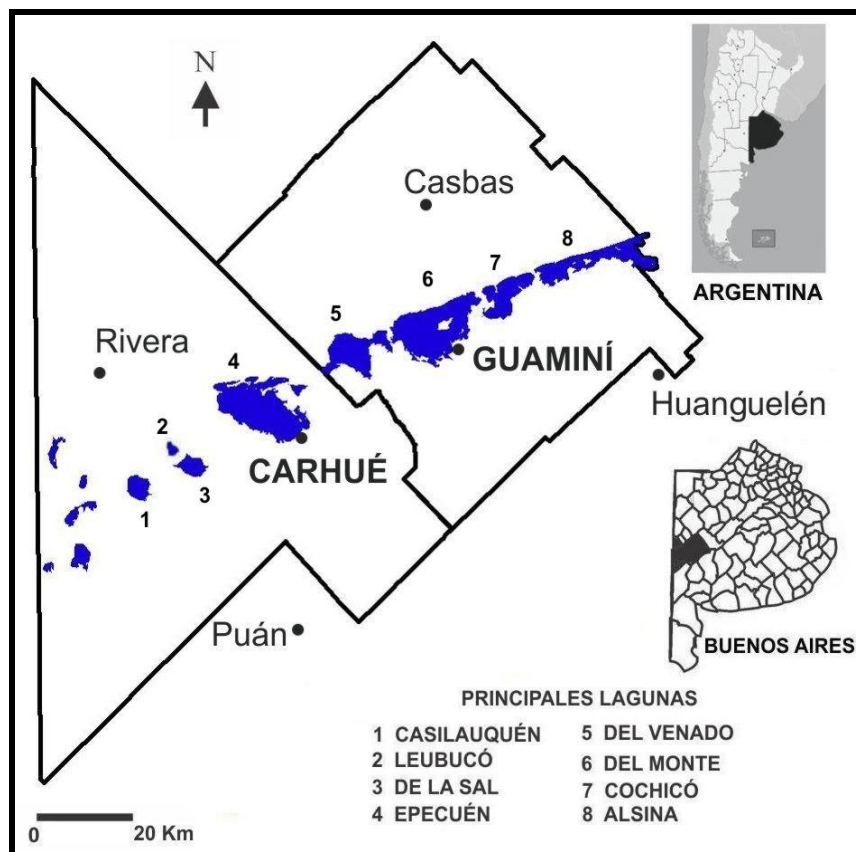


Figura 1. Área de estudio.

Tabla 1. Incremento de la superficie sembrada con cultivos de verano en A. Alsina y Guaminí (Campaña 1973/ 74 y 2011/ 12).

Cultivo	Adolfo Alsina		Guaminí	
	Campaña	Sup. sembrada (ha)	Campaña	Sup. sembrada (ha)
Soja	1973/ 1974	200	1973/ 1974	200
	2011/ 2012	74.250	2011/ 2012	8.1000
Girasol	1973/ 1974	10.000	1973/ 1974	9.000
	2011/ 2012	65.000	2011/ 2012	40.000
Maíz	1973/ 1974	13.000	1973/ 1974	13.000
	2011/ 2012	32.000	2011/ 2012	33.000

El clima en ambos partidos puede definirse, según la clasificación de Thornthwaite, como subhúmedo seco mesotermal. La temperatura media anual es de 15,4°C siendo el mes de enero el más cálido (24°C), y el de julio el más frío (7°C). El período de heladas promedio es de 220 días, generalmente entre principios de mayo y comienzos de octubre. Las precipitaciones más significativas se registran durante los meses de diciembre, febrero y marzo, con valores que duplican los del semestre invernal (INTA, 2001).

Alsina y Guaminí se encuentran atravesados en su parte central por el Sistema de Lagunas Encadenadas. El mismo corresponde a un lineamiento estructural que conforma una franja deprimida ocupada por un rosario de lagunas de drenaje endorreico conectadas entre sí con declive hacia el sudoeste. Las principales lagunas involucradas en ambos partidos son (figura 1): en el partido de Guaminí: Alsina, Cochicó, Laguna del Monte y Laguna del Venado; en Adolfo Alsina: Chasilauquen, Leubucó, De la Sal y Epecuén.

Una característica singular es la apreciable diferencia de desarrollo existente entre los cultivos estivales localizados al norte y al sur del mencionado Sistema de Lagunas Encadenadas. Esto obedece principalmente a un cambio en la textura del suelo. En tal sentido, se observan suelos con texturas gruesas (arenosas) al norte de los partidos de Adolfo Alsina y Guaminí, mientras que aquellos de texturas más finas (francos y franco-arcillosos) prevalecen al sur. Si bien en ambos casos su profundidad está limitada por un horizonte de carbonato de calcio consolidado (conocido en Argentina con el localismo tosca), al norte de las Lagunas Encadenadas ésta llega a superar los 150 cm (Krüger y Venanzi, 2009). Asimismo, al sur prevalecen relieves suavemente ondulados en donde predominan profundidades menores. Es allí donde suele aflorar esta tosca, en cuyos bajos la profundidad media no supera los 70 cm. Esta característica limita la profundidad de enraizamiento de los cultivos, lo que incide en su posterior desarrollo.

En segundo lugar y en menor medida, las precipitaciones que se registran al norte y sur de los dos partidos considerados exhiben diferencias. La figura 2 presenta las precipitaciones anuales en la localidad de Casbas en comparación con la de Huanguelén (período 2000/ 2011). Las mismas

Marini, M. F. (2013): "Discriminación de cultivos de distinto desarrollo utilizando imágenes satelitales MODIS", *GeoFocus (Informes y aplicaciones)*, n° 13-1, p. 48-60. ISSN: 1578-5157

se hallan localizadas precisamente al norte y sur del partido de Guaminí (figura 1). Del mismo modo, la figura 3 exhibe dichas precipitaciones para el mismo período en Rivera y Puán, localidades emplazadas al norte y sur del partido de Alsina (figura 1). En el caso del partido de Guaminí, la diferencia del promedio del milimetraje anual entre Casbas y Huanguelén (período 2000/ 2011) es de casi 70 mm. Sumado a lo anterior, en ocho de los once años considerados, las precipitaciones de la localidad situada al norte superan a los de la emplazada al sur. Del mismo modo, en el partido de Alsina, en siete de los once años se registraron precipitaciones mayores en Rivera que en Puán.

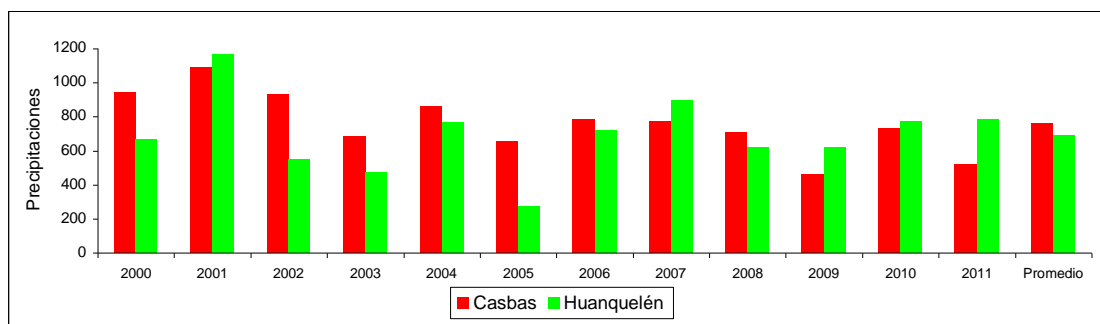


Figura 2. Precipitaciones anuales en Casbas y Huanguelén (período 2000/ 2011).

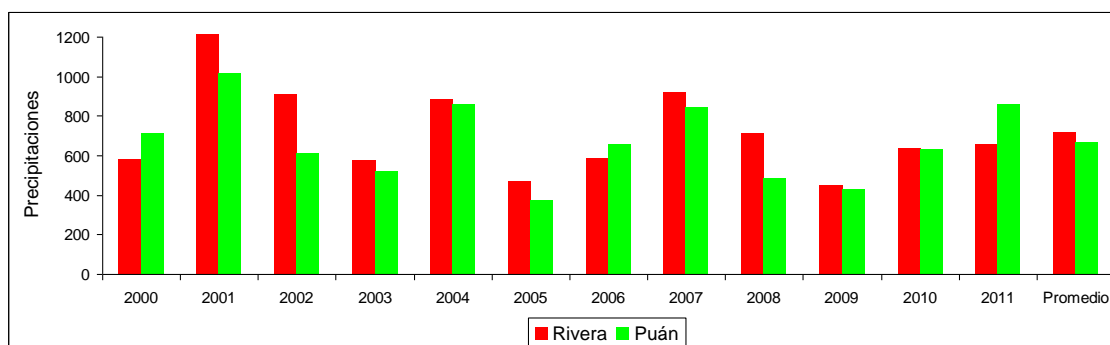


Figura 3. Precipitaciones anuales en Rivera y Puán (período 2000/ 2011).

Teniendo en cuenta las fundamentadas diferencias de desarrollo que exhiben los cultivos de verano entre el sector norte y el sector el sur, el objetivo de este trabajo es demostrar que este contraste influye al efectuar la identificación de cultivos utilizando técnicas de teledetección.

2. Materiales y métodos

2.1. Recolección de datos en el terreno

El trabajo de campo previo consistió en una recorrida de los partidos de Adolfo Alsina y Guaminí en donde se recolectaron datos de 299 áreas verdad terreno georreferenciadas con ayuda



Marini, M. F. (2013): "Discriminación de cultivos de distinto desarrollo utilizando imágenes satelitales MODIS", *GeoFocus (Informes y aplicaciones)*, n° 13-1, p. 48-60. ISSN: 1578-5157

de un GPS, correspondientes a distintos cultivos y forrajes de verano. Los mismos corresponden a soja, girasol, maíz y también fueron incluidos los forrajes de verano (principalmente el sorgo) en virtud de poseer el mismo ciclo fenológico. La salida al terreno se realizó durante tres días de febrero de 2011. También se georreferenciaron parcelas con otros usos del suelo a fin de poder elaborar una matriz de confusión. Dichos lotes involucran pastizales naturales, lotes sin laboreo, rastrojos, pasturas implantadas y barbechos. Los mismos se agruparon en una sola categoría denominada "No cultivado".

2.2. Técnicas de análisis

La determinación del uso del suelo en ambientes heterogéneos como el del área de estudio representa un significativo desafío para la teledetección. En el caso particular de la detección de cultivos, esta metodología se topa con inconvenientes de diversa índole: disímiles fechas de siembra dentro de una misma región, distintos estados fenológicos alcanzados por los cultivos, cambios en las tecnologías utilizadas por los productores, etc. Trabajos realizados en zonas de similares características al área de estudio demuestran que el Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) es la mejor fuente de información para discriminar usos del suelo (Vázquez *et al.*, 2006).

Solo a los fines de la ubicación posterior de los lotes georreferenciados, se utilizaron dos imágenes satelitales LANDSAT TM 5 (escenas 227- 085 y 227 - 086) en donde se encuadra el total de la superficie de los partidos de Adolfo Alsina y Guaminí. Este tipo de imágenes fueron empleadas para una mejor localización de las verdades de campo, ya que en las imágenes MODIS no suelen distinguirse los límites entre los distintos lotes. Una vez localizados los patrones obtenidos en el terreno sobre dichas escenas, para la posterior clasificación se emplearon imágenes MODIS a bordo del satélite TERRA. Las imágenes utilizadas corresponden al producto MOD13Q1 y fueron descargadas gratuitamente del sitio web de la NASA <http://ladsweb.nascom.nasa.gov> destinado a tal efecto. Unas de las ventajas que posee este tipo de imágenes es que ya se encuentran georreferenciadas. Si bien su resolución espacial es inferior a la de Landsat (250 m), cada 16 días se elabora un producto denominado Compuesto de Máximo Valor (CMV) que contiene los máximos valores de NDVI detectados por quincenas. Esta característica permite obtener una imagen sin nubes, ya que toma los valores más elevados de NDVI.

El NDVI se define como la diferencia normalizada entre dos bandas: rojo e infrarrojo cercano. La fórmula para calcularlo es la siguiente (Rouse *et al.*, 1974):

$$\text{NDVI} = (\text{Infrarrojo Cercano} - \text{Rojo}) / (\text{Infrarrojo Cercano} + \text{Rojo}).$$

Los valores obtenidos oscilan entre los extremos 1 (vegetación muy densa) y -1 (ausencia total de vegetación). Para este estudio se trabajó con las quincenas comprendidas entre el 30 de septiembre y el 6 de abril de 2011 sobre una única imagen en donde se integraron, a modo de diferentes bandas, las 12 quincenas comprendidas durante dicho período (compuesto estacional). Sobre el compuesto de cada partido se realizó una clasificación No Supervisada utilizando el método ISODATA, con seis iteraciones. En dicha clasificación se generaron automáticamente 50

Marini, M. F. (2013): "Discriminación de cultivos de distinto desarrollo utilizando imágenes satelitales MODIS", *GeoFocus (Informes y aplicaciones)*, n° 13-1, p. 48-60. ISSN: 1578-5157

clases, definidas por la evolución de los valores del NDVI a lo largo de las 12 quincenas estudiadas. Luego se examinaron cada una de esas clases y se identificaron aquellas que se corresponden con las de un cultivo estival, agrupándose dentro de una sola categoría definida como "cultivo de verano". Por su parte, el resto de los usos del suelo fueron englobados en otra categoría denominada "no cultivado".

Una vez obtenida la imagen clasificada, se aplicó un filtro de mediana empleándose una ventana de tamaño 3 x 3 píxeles con el fin de reagrupar los píxeles espurios de manera de eliminar el efecto conocido como "sal y pimienta".

2.3. Técnicas de evaluación de los resultados

Para evaluar la precisión de la clasificación realizada se generó una matriz de confusión. La misma compara el mapa obtenido de la clasificación de las imágenes satelitales con la base de datos original recogida durante la salida al terreno ("verdades de campo"). Una vez discriminada la categoría "cultivos de verano" se determinó cuáles cultivos se identifican mejor. Para ello, se obtuvieron diferentes mediciones de precisión de la clasificación, entre las que pueden mencionarse:

Precisión global (P): Proviene de dividir el total de píxeles correctamente clasificados sobre el total de píxeles correspondientes a las verdades de campo (Jensen, 1986). La clasificación efectuada tendrá mejores resultados cuanto más cercano al 100 % sea este valor.

Coefficiente Kappa global (K): Calcula el grado de ajuste entre la imagen clasificada y la realidad observada en el terreno (Bishop *et al.*, 1975). Valores de K cercanos a 1 revelan un muy buen acuerdo entre la realidad observada y el mapa obtenido. Landis y Koch (1977), establecen diversos márgenes de referencia para los distintos valores de Kappa. Ellos son: 0 a 0.2: insignificante; 0.2 a 0.4: bajo; 0.4 a 0.6: moderado; 0.6 a 0.8: bueno y mayor a 0.8: muy bueno.

Adicionalmente se calcularon los errores de omisión: indica los píxeles correspondientes a una determinada categoría pero que fueron clasificados dentro de otra; y comisión: se refiere a los píxeles clasificados dentro de una categoría a la que no pertenecen.

3. Descripción y análisis de resultados

3.1. Identificación de curvas fenológicas de los cultivos

El estudio de cada calendario agrícola aporta la información necesaria sobre la evolución de cada patrón espectral de acuerdo a las distintas etapas fenológicas. La figura 4 muestra la evolución del NDVI para tres patrones típicos del sector norte de Alsina y Guamini de cultivos de girasol, maíz y soja (curvas 1,2 y 3 respectivamente). No obstante, si bien las curvas presentadas en dicha figura indican una tendencia durante las etapas fenológicas de los mencionados cultivos, son representativas pero no inalterables. Esto es debido a que, aunque distintos productores siembren el

Marini, M. F. (2013): "Discriminación de cultivos de distinto desarrollo utilizando imágenes satelitales MODIS", *GeoFocus (Informes y aplicaciones)*, n° 13-1, p. 48-60. ISSN: 1578-5157

mismo cultivo, algunos lo hacen en fechas diferentes en virtud de decisiones personales. Esta es una de las principales causas que impide que se pueda discriminar uno de otro. Por su parte, la curva 4 de dicha figura corresponde a un cultivo de girasol en el sector sur de dichos partidos, mientras que la curva 5 ilustra una sucesión trigo - soja también en el mencionado sector. Se evidencia claramente la diferencia en el desarrollo alcanzado entre los cultivos de los lotes localizados al norte y al sur del sistema Lagunas Encadenadas.

Durante la primavera (octubre- noviembre) los lotes se hallan sembrados (figura 4) o bien preparados para la siembra (situación señalada con la letra "a" en la figura 4). Al comienzo del verano y durante el mes de enero alcanzan su máximo crecimiento (situaciones "b"), habiéndose detectado valores pico de NDVI cercanos a 0.9. De acuerdo a cada época de siembra, dichos cultivos son cosechados en marzo o principios de abril (situación "c"). Por otra parte, el punto "d" evidencia la presencia de un cultivo de trigo preexistente que una vez cosechado se siembra inmediatamente con soja (lo que se conoce como "cultivo de segunda").

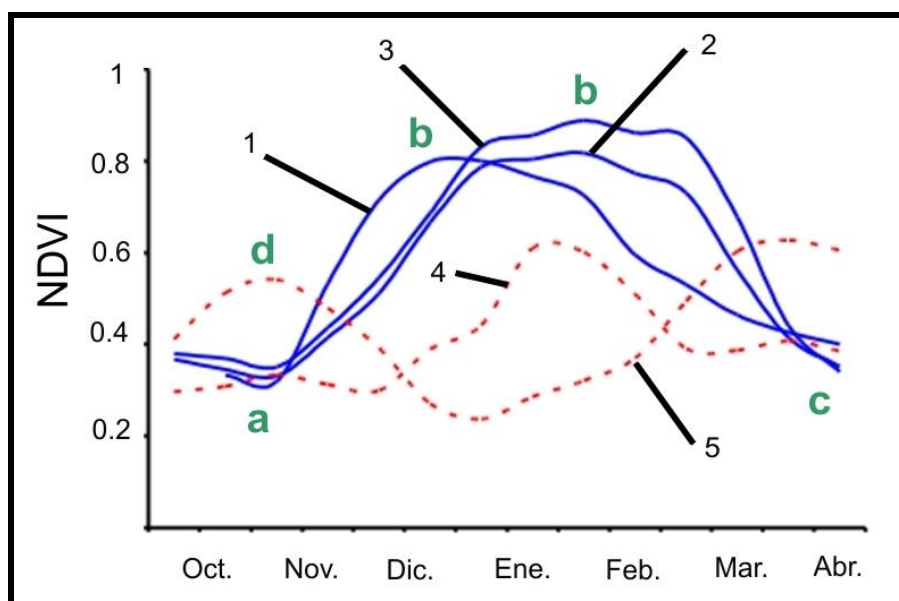


Figura 4. Curvas fenológicas de patrones representativos de girasol (1), maíz (2) y soja (3) en los sectores norte (línea continua) y sur (línea punteada) de Guaminí y Alsina. Etapas fenológicas del cultivo: a) período de siembra, b) máximo crecimiento, c) cosecha y d) cultivo de invierno preexistente.

3.2. Clasificación de imágenes

La detección de cultivos y forrajes de verano arrojó que los mismos ocupan una superficie de 184.604 ha en el partido de Alsina y de 155.474 ha en el de Guaminí (figura 5).

Marini, M. F. (2013): "Discriminación de cultivos de distinto desarrollo utilizando imágenes satelitales MODIS", *GeoFocus (Informes y aplicaciones)*, n° 13-1, p. 48-60. ISSN: 1578-5157

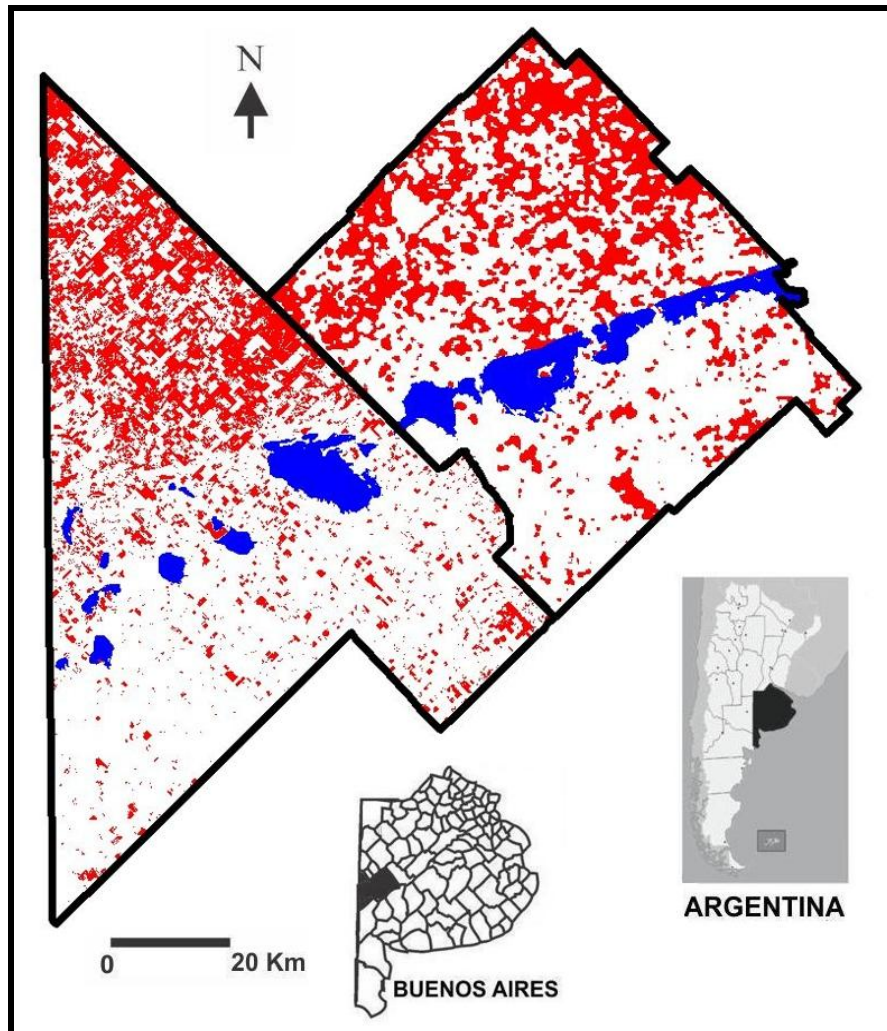


Figura 5. Cultivos y forrajes de verano (en rojo) en Alsina y Guaminí.

Las tabla 2 presenta los índices de Precisión (P) y Kappa (K) obtenidos de la matriz de confusión elaborada no sólo con el total de patrones recolectados en el terreno, sino también con los de cada tipo de cultivo o forraje de verano a fin de determinar cuáles son los que mejor se han detectado y cuáles los que más negativamente inciden en la clasificación final.

Tabla 2. Índices de Precisión (P) y Kappa (K) obtenidos en la matriz de confusión para Adolfo Alsina y Guaminí.

Cultivo	Adolfo Alsina		Guaminí	
	Precisión (%)	Kappa	Precisión (%)	Kappa
Total para la categoría "Cultivos de verano"	75,84	0,51	81,5	0,65
Girasol	91,00	0,82	90,7	0,78
Maíz	84,9	0,57	85,5	0,75
Soja	79,49	0,57	82,7	0,61
Sorgo	81,2	0,41	91,62	0,74

En líneas generales se han obtenido resultados satisfactorios en ambos partidos, con valores de P muy buenos y K que oscilan entre moderados y muy buenos de acuerdo a la clasificación propuesta por Landis y Koch (1977). El girasol es el cultivo que mejor se detecta, mientras que el sorgo para forraje presenta un K bajo en el partido de Alsina que incide en el resultado final (K: 0.51). En lo que atañe a los errores de comisión y omisión, en ambos partidos (siempre comparando cada cultivo con la categoría "No cultivado") el sorgo y el maíz presentan los errores de omisión más elevados en Adolfo Alsina (44.99 y 61.43 % para cada cultivo respectivamente), mientras que en Guaminí sólo el sorgo exhibe un error de omisión mayor al resto (35 %).

Posteriormente, se efectuó el análisis tomando separadamente los patrones localizados al norte y al sur del sistema lagunar Las Encadenadas. La tabla 3 exhibe los resultados tomando en cuenta sólo los patrones de lotes emplazados en el sector norte. Claramente se evidencia una significativa mejora en los resultados para todas las clases de cultivo y forraje estival. Los valores de P son cercanos o superiores al 90 %, mientras que los de K superan 0.7 en todos los casos. Incluso el sorgo en Adolfo Alsina presenta un ostensible incremento en dichos indicadores.

Tabla 3. Índices de Precisión (P) y Kappa (K) obtenidos en la matriz de confusión al norte de las lagunas Encadenadas. Partido de Adolfo Alsina y Guaminí.

Cultivo	Adolfo Alsina		Guaminí	
	Precisión (%)	Kappa	Precisión (%)	Kappa
Total para la categoría "Cultivos de verano"	88,77	0,77	92,1	0,74
Girasol	94,92	0,89	92,5	0,83
Maíz	90,86	0,65	95,98	0,91
Soja	88,75	0,74	84,98	0,67
Sorgo	96,2	0,82	95,06	0,82

No obstante, estos resultados cambian radicalmente cuando se realiza la matriz de confusión tomando sólo los patrones localizados al sur de las lagunas Encadenadas para el análisis (tabla 4). Los valores de P y sobre todo los de K disminuyen apreciablemente. Sólo el girasol en Alsina y el Maíz en Guaminí presentan óptimos resultados, aunque con valores de K moderados. Por su parte la soja exhibe un K bajo en Adolfo Alsina y es muy llamativo el valor de este índice en el sorgo en dicho partido, que de acuerdo a Landis y Koch es insignificante (0.054). Los valores de P son aceptables para el total de cultivos, pero los de K son moderados.

Tabla 4. Índices de Precisión (P) y Kappa (K) obtenidos en la matriz de confusión al sur de las lagunas Encadenadas. Partido de Adolfo Alsina y Guaminí.

Cultivo	Adolfo Alsina		Guaminí	
	Precisión (%)	Kappa	Precisión (%)	Kappa
Total para la categoría "Cultivos de verano"	69,54	0,40	78,0	0,59
Girasol	89,7	0,75	81,7	0,55
Maíz	88,21	0,42	96,37	0,67
Soja	80,88	0,35	87,3	0,51
Sorgo	79,55	0,054	93,28	0,42

El análisis de errores de omisión y comisión tomando por separado los patrones localizados al norte y al sur del sistema Las Encadenadas también refleja diferencias significativas. En el caso de los cultivos del sector norte, en Adolfo Alsina los errores de comisión no superan el 24 % (caso del maíz), mientras que en Guaminí el máximo encontrado fue de 18.6 % (valor del sorgo). Contrariamente, al sur del mencionado rosario lagunar se han detectado errores de comisión y omisión muy elevados para el sorgo tanto en Alsina (69.4 y 91.95 respectivamente) como en Guaminí (39.27 y 51.07). Asimismo, el maíz exhibe en dicho partido un error de comisión de 77.01 y de omisión de 67.78. Por su parte la soja posee un error de omisión también elevado en Adolfo Alsina: 67.0 %.

6. Conclusiones

La teledetección representa una herramienta de suma utilidad en la detección de cultivos (así como en la de diversos usos de suelo). No obstante, cuando los mismos no alcanzan un grado de desarrollo adecuado, esta técnica presenta limitaciones en su uso. Esto también suele evidenciarse durante campañas agrícolas en las que predominan procesos de sequía. En el caso del presente estudio, se puede verificar una situación similar al comparar cultivos de dos regiones cercanas que alcanzan desarrollos diferentes, principalmente a causa de un brusco cambio en la textura del suelo.

La matriz de confusión realizada para los patrones tomados al norte y sur de los partidos analizados demuestra, mediante la obtención de los índices de Precisión (P) y Kappa (K), cómo los



Marini, M. F. (2013): "Discriminación de cultivos de distinto desarrollo utilizando imágenes satelitales MODIS", *GeoFocus (Informes y aplicaciones)*, n° 13-1, p. 48-60. ISSN: 1578-5157

cultivos de mejor desarrollo se detectan con mayor grado de certeza. Si bien al norte del sistema lagunar Las Encadenadas la superficie ocupada por cultivos estivales supera a la del sur, el hecho que se identifiquen con mayor certitud utilizando imágenes satelitales se explica empíricamente gracias a la aplicación de los índices empleados en este trabajo.

Referencias bibliográficas

Baldi, G. (2002): *Fragmentación del paisaje en la región de los pastizales del Río de la Plata: una cuantificación espacial mediante el uso de imágenes LANDSAT TM*. Tesis. Universidad de Buenos Aires, 79 pp.

Bishop, Y., Fienberg, S. y Holland, P. (1975): *Discrete multivariate analysis. Theory and practice*. Cambridge, MIT Press, 557 pp.

Bugallo, L. (2012): *El Sector Agroindustrial en Argentina: del PBI a la Balanza Comercial*. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/92616832/El-Sector-Agroindustrial-Argentino-del-PBI-a-la-Balanza-Comercial>.

Guerschman, J.P., Paruelo, J.M., Di Bella, C., Giallorenzi, M.C. y Pacín, F. (2003): "Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal Landsat TM data", *Int. J. Remote Sensing* 24, 3381-3402.

INDEC - Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2011): *Censo 2010 - Resultados definitivos*. Disponible en <http://www.censo2010.indec.gov.ar/index.asp>.

INTA - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (2011): *Datos de precipitación y temperatura de las distintas estaciones meteorológicas del área de influencia de la Estación Experimental Bordenave*. Disponible en <http://inta.gob.ar/unidades/documentos/informacion-agrometeorologica-1>.

Jensen, J.R. (1986): *Introductory digital image processing*. New Jersey, Prentice-Hall, 379 pp.

Krüger, H. y Venanzi, S. (2009): "El agua y el rendimiento del trigo", *Revista Desafío* 21, 31, 7-8.

Landis, J.R. y Koch, G.G. (1977): "The measurement of observer agreement for categorical data", *Biometrics*, 33 (1), 159 -174.

Paoli, H., Volante, J.N., Noé, Y. y Vale, L. M.: (2013): *Monitoreo de cultivos del noroeste argentino a partir de sensores remotos. Campaña agrícola 2012-2013 Cultivos extensivos de verano*. Ediciones INTA, 29, 8 pp.

Rau, N. (2012): *Dinámica de la Cobertura y Uso del Suelo Ecorregión Mesopotamia. Informe PNECO 092022*. Disponible en http://inta.gob.ar/documentos/cobertura-uso-del-suelo-y-dinamica-de-cambio-ecorregion-mesopotamia/at_multi_download/file/INTA-%20Dinamica_cobertura_uso_suelo_ecorregion_mesopotamia.pdf.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deerino, D.W. y Harlan, J.C. (1974): *Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation*. NASA/OSFC. Final Report. Oreenbello MD, 371 pp.



Marini, M. F. (2013): "Discriminación de cultivos de distinto desarrollo utilizando imágenes satelitales MODIS", *GeoFocus (Informes y aplicaciones)*, n° 13-1, p. 48-60. ISSN: 1578-5157

SIIA - Sistema Integrado de Información Agropecuaria (2012): *Estadísticas de Producción Agrícola*. Ministerio de Agricultura de la Nación. Disponible en <http://www.siaa.gov.ar>.

Vázquez, P., Masuelli, S. y Platzeck, G. (2006): *Determinación de patrones espectrales para distintos usos del suelo en ambientes heterogéneos*. Ediciones INTA, Publicación Técnica N° 1, 34 pp.

Volante, J.N., Bianchi, A., Paoli, Y., Noe, Y. y Helena, H. (2005): *Análisis de la dinámica del uso del suelo del Noroeste Argentino mediante teledetección y SIG*. Disponible en [Http://www.inta.gov.ar/prorenea/zonadescarga/uso_suelo/Analisis de la dinamica del uso del suelo.pdf](Http://www.inta.gov.ar/prorenea/zonadescarga/uso_suelo/Analisis_de_la_dinamica_del_uso_del_suelo.pdf).