Revista de Teledetección. 2007. 27: 80-88

Determinacion del uso de la tierra en el partido de Guamini (Argentina) mediante un estudio multitemporal con imagenes Landsat

M. Fabián Marini[1], M. Fernanda Vergara[2] y H. Krüger[3]
[1]fmarini@correo.inta.gov.ar
[2]mfvergara@correo.inta.gov.ar
[3]hkruger@correo.inta.gov.ar

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Estación Experimental Bordenave. Km 36, 5, Bordenave, Buenos Aires, Argentina

RESUMEN

En este artículo de determina el uso de la tierra para el partido de Guaminí (Buenos Aires, Argentina). Para ello se realizó un estudio multitemporal utilizando imágenes satelitales Landsat 5 TM, seleccionándose siete fechas representativas de los distintos estados fenológicos de cada cultivo para la campaña 2004/ 2005. En cada una d4e ellas se obtuvo el Indice Normalizado de Diferencia de Vegetación (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI). De acuerdo a la evolución de dicho parámetro, se establecieron cinco categorías de uso de la tierra (además de los cuerpos de agua y las localidades) mediante la elaboración de un árbol de decisión. Los cultivos de invierno y de verano (girasol, maíz y verdeos) así como la soja, pudieron discriminarse óptimamente. Por su parte los lotes destinados principalmente al uso ganadero requirieron ser agrupados en dos categorías.

PALABRAS CLAVE: Uso de la tierra, Landsat, NDVI, estudio multitemporal.

ABSTRACT

In this paper, the land use of Guaminí department (Buenos Aires province, Argentina) were developed. Seven Landsat 5 TM satellital images were selected in order to make a multitemporal study. Selected scenes represented several phenological stages for each crop during the 2004/ 2005 period. The Normalized Difference Vegetation Index - NDVI - were obtained for each satellital scene. According to the NDVI evolution, five land use class were established using a decision tree (other than of water bodies and cities). Winter crops, summer crops (sunflower, corn and forage crops) and soybean were identified better tan the rest. On the other hand, fields with cattle land use had been grouped in two classes.

KEY WORDS: Land use, Landsat, NDVI, multitemporal study.

INTRODUCCIÓN

El uso de la tierra puede definirse como el resultado de la síntesis entre la acción antrópica y el medio natural, que surge de la interacción de los diversos fenómenos que tienen lugar en un espacio determinado (Navone y Gargantini, 2003). Asimismo, está relacionado con la utilización de los recursos naturales, cuyo manejo es uno de los principales inconvenientes que afrontan actualmente muchos de los países denominados "en vías de desarrollo". En el caso de la República Argentina, el sector agropecuario está considerado uno de los principales recursos en su economía, tanto como generador de divisas como abastecedor del mercado interno. Teniendo en cuenta este aspecto, el estudio, inventario y conocimiento del uso de la tierra y la superficie cultivada cobra entonces significativa importancia para la planificación agrícola y económica de cualquier territorio. Esto se debe a que de este tipo de estudio puede depender el cálculo de la producción agrícola, así como los requerimientos de insumos tales como fertilizantes, pesticidas, maquinarias y mano de obra.

Actualmente, los métodos de evaluación del uso del suelo se basan principalmente en estimaciones realizadas mediante recopilación de datos en campo, encuestas telefónicas o entrevistas con productores. Tales metodologías poseen un alto grado de error, además de representar una considerable inversión. En tal sentido, la contribución de la teledetección hoy en día ha permitido tener un conocimiento global de vastas regiones de la superficie de la tierra. No obstante, cabe destacar que esta herra-

mienta no deja de lado la recopilación de datos de campo, ya que los estudios realizados con sensores remotos pueden apoyar y/o facilitar su obtención, pero no los reemplazan.

En el caso particular de las imágenes del sensor TM del satélite Landsat, durante mucho tiempo su utilización ha sido fundamental en aplicaciones agrícolas, forestales y recursos naturales en general, en virtud de su carácter multiespectral. No obstante, la determinación del uso del suelo en ambientes heterogéneos –como el caso del área de estudio– significa un serio inconveniente al intentar definir cada uso del suelo. En el caso de los cultivos, dichas complicaciones se relacionan con las distintas fechas de siembra, su estado fenológico, la tecnología utilizada, etc. Por otra parte, aunque pueda suponerse que un incremento en el número de bandas intervinientes en la clasificación mejorará los resultados, lo que se logra en este tipo de regiones es incrementar la variabilidad de cada clase. Trabajos realizados en áreas de similares características al área de estudio (partido de Guaminí) demuestran que el Indice Normalizado de Diferencia de Vegetación (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) es la mejor fuente de información para discriminar usos del suelo (Vazquez et al., 2006). Debido a la anteriormente citada importancia del conocimiento de los recursos naturales, se ha propuesto como objetivo de este trabajo la determinación del uso de la tierra en el partido de Guaminí (Buenos Aires, Argentina).

METODOLOGÍA

El área de estudio se halla localizada 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 sistema productivo de dicha área, tradicionalmente ganadero-agrícola, ha evolucionado hacia una mayor proporción de agricultura durante la última década. Como cultivos invernales de cosecha se destaca el trigo (*Triticum aestivum*), seguido por la avena. Cultivos estivales de cosecha son la soja (*Glicine max*), girasol *(Helianthus agnus*), y en menor medida maíz. La ganadería, representada por actividad bovina de ciclo completo y en menor grado cría, se basa en pasturas polifíticas con alfalfa (*Medicago sativa*) como principal especie y en cultivos forrajeros invernales como la avena (*Avena sativa*), y estivales como sorgo (*Sorghum sp*) y maíz (*Zea mays*). En áreas medanosas las pasturas se componen principalmente de pasto llorón (*Eragrostis cúrvula*), y en los sectores inundables de Agropiro (*Agropirum elongatum*) y trébol (*Melilotus sp*).

El trabajo de campo previo consistió en un relevamiento del terreno con ayuda de GPS con el fin de obtener una base de datos correspondiente a los diferentes usos del suelo. Se seleccionaron diversos lotes con cultivos forrajeros ("verdeos") y de cosecha, tanto invernales como estivales, así como de pasturas implantadas y diversas clases de pastizales con diferente grado de evolución. Esto último incluyó pasturas artificiales degradadas, médanos vegetados y campos naturales. Los meses seleccionados para el muestreo fueron agosto, noviembre y diciembre de 2004. Esto permitió detectar los lotes destinados a cultivos de verano y aquellos destinados a cultivos de invierno.

Para el análisis posterior, se utilizaron imágenes satelitales Landsat 5 TM (escenas 227-085 y 227-086) seleccionándose siete fechas representativas de los distintos estados fenológicos de cada cultivo. Las mismas se hallan comprendidas entre abril de 2004 y abril de 2005 y fueron provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales-CONAE (Convenio INTA CERBAS - CONAE). De acuerdo a la disponibilidad de imágenes, las fechas seleccionadas fueron: Año 2004: 25 de abril, 2 de octubre, 3 de noviembre y 21 de diciembre. Año 2005: del 22 de enero, 11 de marzo y 12 de abril. Ninguna de las citadas imágenes presentó nubes en el área de estudio. Contrariamente, las imágenes correspondientes a fines de otoño e invierno (desde mayo hasta agosto) así como las de febrero de 2005, poseían una amplia cobertura de nubes que obligó a dejarlas de lado en este trabajo.

Las imágenes fueron previamente corregidas geográficamente utilizando la proyección Gauss Krugger faja 4 (datum WGS 1984). Esto permitió confeccionar el mosaico de base, ya que la superficie del partido de Guaminí se encuentra repartida entre las dos escenas satelitales mencionadas previamente. El método de transformación utilizado fue el del vecino más próximo. Posteriormente, se realizaron las correspondientes correcciones radiométricas para lo cual se utilizaron los algoritmos elaborados por el laboratorio de Espectrometría del United States Geological Survey (2000). La fórmula empleada es:

$$L_{\lambda} = Gain \cdot DN_{\lambda} + Bias$$

Siendo:
L: Radiancia a nivel de satélite
λ: banda ETM
Gain y bias: Factores de corrección.
DN: Valores digitales de la imagen

Seguidamente, se transformaron los valores de radiancia a reflectancia aparente con el fin de expresar los resultados en valores físicos Estos cálculos permiten transformar los valores originales de cada imagen en parámetros físicos, permitiendo así que sean comparables en el tiempo, aún bajo condiciones atmosféricas diferentes (Chuvieco, 1996). Para ello, se utilizó la siguiente fórmula:

$$p_\lambda = \frac{\Pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{ESUN_\lambda \cdot SIN\phi}$$

Siendo:
p: Reflectancia aparente
λ: banda ETM
L: Radiancia a nivel del satélite (obtenida anteriormente)
d: distancia tierra - sol en unidades astronómicas
ESUN: Irradiancia solar exoatmosférica
Ø: ángulo de elevación solar (dato obtenido del header de la imagen)

Una vez obtenida la reflectancia aparente sobre cada imagen, se calculó el Indice Normalizado de Diferencia de Vegetación (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) Dicho índice es la diferencia normalizada entre dos bandas: rojo e infrarrojo cercano. La fórmula para calcularlo es la siguiente (Rouse et al., 1974):

NDVI=(Infrarrojo Cercano-Rojo)/(Infrarrojo Cercano + Rojo).

Los valores obtenidos oscilan entre los extremos 1 (vegetación muy densa) y -1 (ausencia total de vegetación).

Una de las ventajas de los satélites Landsat es la de poder proveer datos multitemporales, lo que permite disponer de la información en momentos críticos para la identificación de diversos cultivos (Navone y Gargantini, 2003). Aprovechando dicha ventaja, se utilizó como herramienta para la clasificación el árbol de decisión, que permite discriminar cada clase en pasos sucesivos de acuerdo a los diferentes comportamientos espectrales. De este modo, esta metodología posibilitó poder definir diferentes categorías de acuerdo a la evolución del NDVI acorde con el ciclo fenológico de cada cultivo o lote.

Las localidades fueron enmascaradas en forma manual. Por su parte para detectar los cuerpos de agua se seleccionaron las dos escenas satelitales correspondientes al 3 de noviembre de 2004, coincidentemente con los máximos hidrológicos del período estimado. Para ello se realizó una clasificación no supervisada utilizando el método Isodata - datos auto asociados iterativamente (Duda y Hart, 1973). Dicho método calcula los promedios de las clases o agrupaciones que eventualmente están distribuidos en el espacio de decisión. El mismo fue realizado con cuatro iteraciones y posterior agrupamiento de clases utilizando todas las bandas del satélite Landsat TM, a excepción del canal 6 (infrarrojo térmico). En último lugar, se recurrió a un Sistema de Información Geográfico (SIG) para realizar la consiguiente cartografía y el cálculo de las superficies correspondientes a cada uso del suelo contabilizando el número total de polígonos. La misma herramienta fue también utilizada para realizar los límites políticos del partido.

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 el relevamiento del terreno ("verdades de campo"). Asimismo, se obtuvieron diferentes mediciones de precisión de la clasificación, entre los que pueden mencionarse:

Precisión global: Proviene de dividir el total de píxeles correctamente clasificados sobre el total de píxeles correspondientes a las verdades de campo.

Precisión del productor: Se calcula como la división entre el número total de píxeles correctamente clasificados en una categoría determinada y el número de píxeles total de dicha categoría. Es una medida de errores de omisión, originados cuando un píxel presenta una cobertura determinada en el terreno pero no es asignado en el mapa a esa clase (Jensen, 1996).

Precisión del usuario: Es el cociente entre el número total de píxeles clasificados correctamente en una categoría y el número total de píxeles que realmente pertenecen a la misma. Indica la probabilidad de que un píxel clasificado en el mapa se corresponda con esa categoría en el terreno. Mide errores de comisión.

El Coeficiente Kappa global (K) calcula el grado de ajuste entre la imagen clasificada y la realidad observada en el terreno. Este índice suprime el acuerdo que podría ser causado por factores aleatorios (Bishpo et al., 1975). Se calcula de la siguiente forma:

$$K = \frac{N\sum_{i=1}^{r} X_{ii} - \sum_{i=1}^{r}\left(X_{i+} \times X_{+i}\right)}{N^2 - \sum_{i=1}^{r}\left(X_{i+} \times X_{+i}\right)}$$

Siendo:

N: número total de píxeles de referencia
Xij: Número de observaciones en la fila i y columna i.
Xi+: Totales marginales de la fila i.
X+i: totales marginales de la columna i.
r: Número de filas en la matriz

Valores de K cercanos a 1 revelan un muy buen acuerdo entre la realidad observada y el mapa obtenido. Contrariamente, valores próximos a 0 sugieren que el acuerdo observado es sólo debido al azar.

CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Generalidades

El partido de Guaminí ocupa el centro-oeste de la provincia de Buenos Aires, con una superficie total de 483560.84 has (Figura 1). El clima es semiárido templado de régimen térmico, con tendencia a continental. 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, entre el 9 de mayo y el 6 de octubre. Las principales precipitaciones se registran durante los meses de diciembre, febrero y marzo, con valores que duplican los del semestre invernal (CACN, 2001).

Paisaje y suelos

El partido muestra una franja deprimida en su parte central, conocida como Sistema de Las Encadenadas. Está ocupada por un rosario de lagunas conectadas entre sí que configuran un sistema de

Figura 1. Partido de Guaminí. Localización, principales ciudades y lagunas.

drenaje endorreico con declive hacia el SO. Las principales lagunas del partido son cuatro: Alsina, Cochicó, Laguna del Monte y Laguna del Venado (Figura 1). Rodeando los cuerpos de agua aparecen planos bajos y cubetas inundables, ondulaciones medanosas y lomadas aplanadas coronadas por una costra calcárea. Los suelos son en general arenosos y sus principales limitaciones se refieren a: erosión eólica, permeabilidad muy rápida, y escasa retención de agua. En sectores deprimidos se agregan: peligro de anegamiento y salinidad/alcalinidad. Esta depresión define dos grandes ambientes al norte y sur de la misma.

Hacia el norte, desarrolla una planicie arenosa suavemente ondulada en la que alternan sectores planos con cadenas medanosas de escasa altura. Los suelos dominantes son profundos, sin limitaciones a la penetración radical de los cultivos, y de bajo contenido en materia orgánica. Sus principales limitaciones se refieren a la capacidad de retener agua, la erosión eólica y la permeabilidad muy rápida (INTA, 1989).

Hacia el sur, una planicie inclinada conecta la depresión central con el piedemonte de las sierras del Sistema de Ventania. Esta planicie, también suavemente ondulada presenta suelos de textura franca, con un horizonte petrocálcico subsuperficial que limita la profundidad de enraizamiento de los cultivos. Otras limitantes incluyen: baja capacidad de almacenamiento de agua y riesgo de erosión eólica.

RESULTADOS

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 2 muestra la evolución del NDVI para seis lotes tomados al azar representativos de los diversos patrones de cultivos invernales, en este caso de trigo. Como puede apreciarse, previamente a la época de siembra (fines de abril) los lotes se encuentran laboreados (a), lo que se traduce en índices verdes bajos. Durante el período de floración y maduración, el cultivo alcanza valores de índice verdes que rondan 0.8 (b). A fines de diciembre (c), se aprecia el evidente descenso del NDVI como consecuencia del período de cosecha que tiene lugar durante dicha fecha. Una vez cosechado (marzo a abril del año siguiente), el suelo puede presentar el rastrojo del cultivo (situación d) o puede volver a cultivarse (situación e). Generalmente esta última condición –en el área de estudio– obedece a la incorporación de un verdeo de invierno, por lo que puede hablarse de un uso mixto agrícola-ganadero en dichos lotes. En la figura 3 se aprecia la distribución geográfica obtenida para los cultivos de invierno en el partido de Guaminí. Si bien no es posible realizar una discriminación entre ellos, de los diversos relevamientos de campo puede inferirse que la mayoría corresponden al trigo.

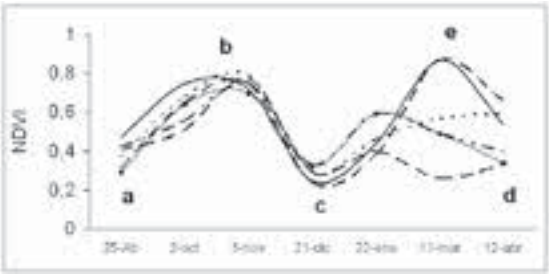

Figura 2. Evolución del NDVI para seis casos representativos de patrones de cultivos invernales.

El comportamiento de los cultivos de verano es exactamente opuesto. La figura 4 muestra la evolución del índice verde para seis patrones tipo de girasol y maíz (La soja muestra un comportamiento algo diferente a dichos cultivos, que es detallado en el párrafo siguiente). Durante la primavera (octubre- noviembre) los lotes se hallan sembrados o bien preparados para la siembra (a). Al comienzo del verano y durante el mes de enero alcanzan su máximo crecimiento (b), habiéndose detectado valores pico de NDVI de hasta 0.86. De acuerdo a cada época de siembra, dichos cultivos son cosechados en marzo o principios de abril (c). Por otra parte, los puntos d y e de la figura 4 evidencian el estado de cada lote en los meses previos a la siembra. Los índices verdes inferiores (situación d) pueden corresponder a un terreno con suelo desnudo o bien a un rastrojo de un cultivo anterior. En cambio los NDVI mayores a 0.6 (situación e) evidencian la preexistencia de un cultivo forrajero. En la figura 5 puede observarse la ocupación obtenida para los cultivos y verdeos de verano en Guaminí.

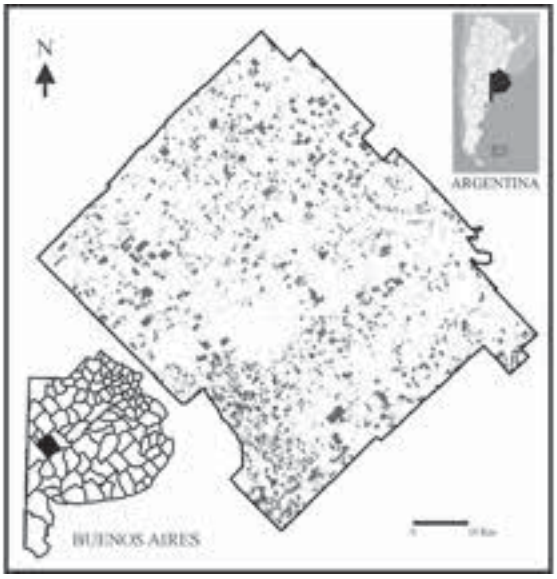

Figura 3. Distribución geográfica de los cultivos de invierno en el partido de Guaminí en base a la evolución anual del NDVI.

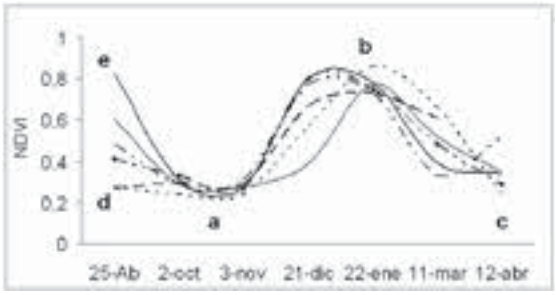

Figura 4. Evolución del NDVI para seis casos representativos de patrones de girasol y maíz.

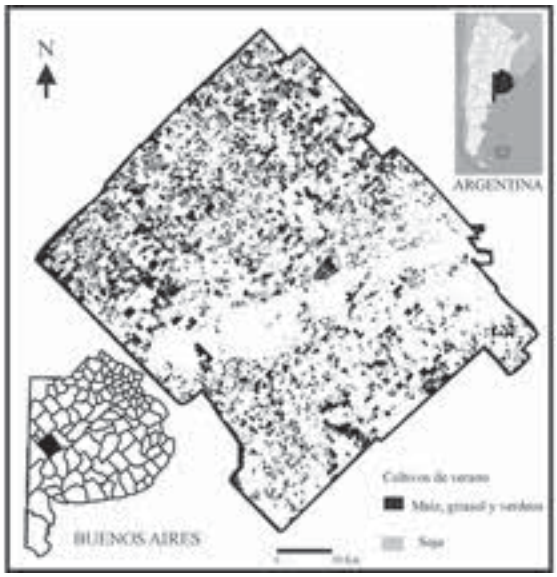

Figura 5. Distribución geográfica de los cultivos y verdeos de verano y de la soja en Guaminí en base a la evolución anual del NDVI.

En el caso de la soja (Figura 6) puede constatarse una diferencia singular con respecto al girasol, maíz y verdeos de verano. Si bien estos cultivos se siembran en épocas similares (octubre- noviembre, situación a), la soja se cosecha más tarde, lo que se pone de manifiesto en índices verdes superiores a 0.8 durante el mes de marzo (b). En la escena correspondiente a mediados de abril se constata el descenso del NDVI a valores inferiores a 0.4 (c), lo que se corresponde con el período de cosecha de este cultivo. La Figura 5 muestra la distribución del mismo en el área de estudio, junto con la del resto de los cultivos estivales.

En cuanto a los lotes no ocupados por cultivos anuales su discriminación es más compleja, aunque ha sido posible diferenciarlos de estos últimos. En el caso específico de los pastizales naturales altos (Figura 7, curva a) y de las pasturas implantadas con base de alfalfa (Figura 7, curva b), puede apreciarse que el índice verde se mantiene elevado durante buena parte del año con valores superiores a 0.6 tanto en diciembre como en octubre. En el primero de dichos meses, los cultivos invernales (curva c) ya están cosechados, mientras que en octubre los de verano (curva d) se han sembrado recientemente. Este comportamiento ha permitido discriminar esta categoría adecuadamente. Asimismo, también se observan oscilaciones en los valores de NDVI, con descensos que se corresponden con los momentos de pastoreo del ganado. Nótese que esta característica denota una cierta aleatoriedad en los momentos del pastoreo, que difieren entre los diferentes lotes. Los verdeos de invierno también han demostrado esta característica. Los pastizales naturales altos igualmente se corresponden con este patrón, aunque no siempre resultan pastoreados. Su discriminación de las pasturas implantadas y de los verdeos de invierno no ha resultado posible, habiéndose agrupado en una sola categoría. La Figura 8 muestra la distribución geográfica de las pasturas implantadas, pastizales desarrollados y verdeos de invierno agrupados en una sola categoría.

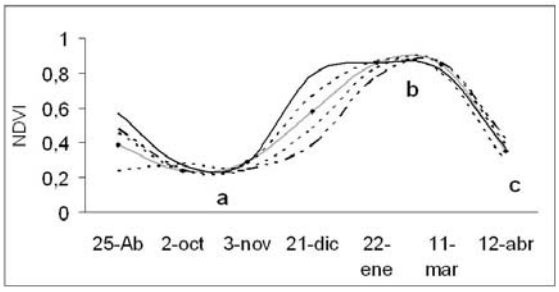

Figura 6. Evolución del NDVI para cinco casos representativos de patrones de soja.

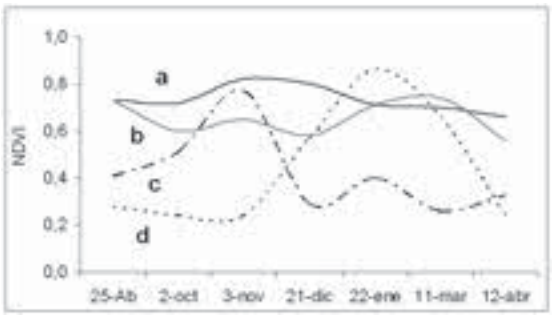

Figura 7. Evolución del NDVI para patrones representativos de pasturas implantadas y pastizales desarrollados y su comparación con patrones de cultivos de inverno y de verano.

Los pastizales naturales de escaso porte no presentan significativas oscilaciones en la evolución del índice verde (Figura 9). No obstante, se aprecia que prevalecen los índices verdes inferiores a 0.6. Un comportamiento similar registran los médanos (Figura 10), las pasturas degradadas, los suelos desnudos y los lotes con campo natural. Por tal razón, se han agrupado en una misma categoría todos estos últimos tipos de uso de la tierra, pudiéndose categorizar como lotes *no laboreados*.

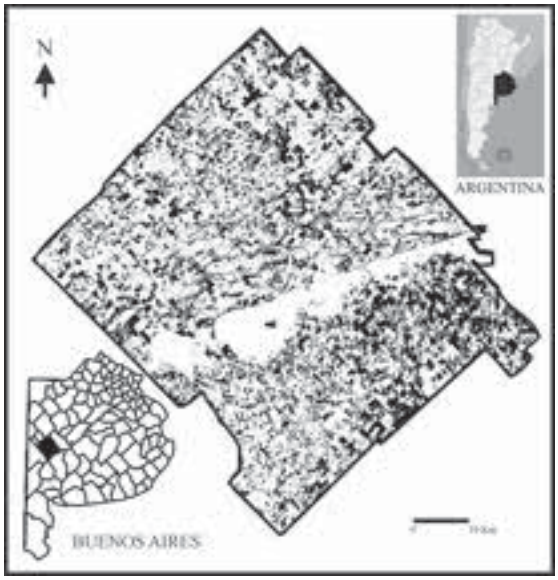

Figura 8. Distribución geográfica de la pasturas implantadas, pastizales desarrollados y verdeos de invierno.

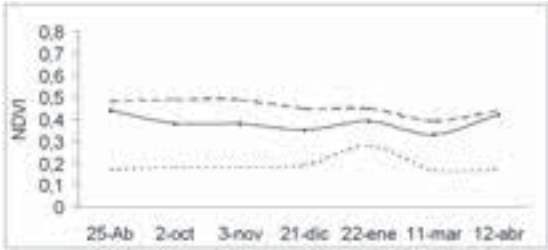

Figura 9. Evolución del NDVI para patrones representativos de pastizales naturales de escaso porte.

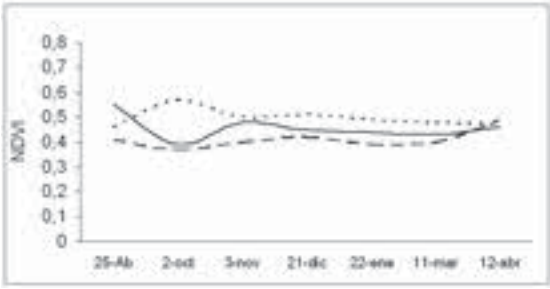

Figura 10. Evolución del NDVI para patrones representativos de médanos.

La precisión global de la clasificación fue de 87,96%, con un coeficiente Kappa de 0.85. Dichos datos hacen suponer un alto nivel de confianza, en términos generales, lo que no excluye que exista cierto nivel de solapamiento entre algunas clases. La Tabla 1 exhibe la matriz de confusión para el mapa obtenido de la clasificación de imágenes. Cabe acotar que la categoría "localidades" no ha sido incluida en la misma, ya que fue enmascarada manualmente. Por otro lado, en la Tabla 2 se presentan los errores de omisión y comisión para cada categoría.

Del análisis de la matriz de confusión puede inferirse que, si bien los valores de Kappa y precisión global son óptimos, existe cierto grado de confusión entre las categorías correspondientes a los pastizales (Tabla 1). Del total de "pastura natural e implantada / verdeos de invierno", el 16,77% pertenece en realidad a la categoría "no laboreado", que incluye los pastizales naturales de escaso porte. De

Clase	*Pastura natural e implantada / Verdeos de invierno*	No Laboreado	Cultivos de Invierno	Agua	Cultivos de verano (girasol y maíz)/ Verdeos	Cultivos de verano (Soja)
Pastura natural e implantada / Verdeos de invierno	79.64	4.14	5.73	0.00	10.30	1.11
No Laboreado	16.77	90.67	2.65	3.38	2.68	4.53
Cultivos de Invierno	0.88	0.15	91.62	0.00	0.00	0.00
Agua	0.00	0.15	0.00	96.62	0.00	0.03
Cultivos de verano (girasol y maíz)/ Verdeos	0.96	4.89	0.00	0.00	86.72	6.17
Cultivos de verano (Soja)	1.75	0.00	0.00	0.00	0.3	88.16
Total	100.00	100.00	100.00	100.0	100.00	100.00

Tabla 1. Matriz de confusión para cada categoría expresada en porcentaje**.**

esta manera, la principal causa de la confusión estaría originada en el aumento de la biomasa y el NDVI de los pastizales bajos por incidencia de las precipitaciones. Asimismo, a otro facto de confusión entre ambas categorías está dado por los pastoreos, que introducen significativos descensos en el índice verde en ambas categorías. Este último factor contribuye a que la clase "no laboreado" presente mayor error de comisión registrado (36,61%, Tabla 2). En el resto de las categorías los porcentajes de comisión y omisión son menores, especialmente en el agua (Tabla 2). Cabe aclarar que para esta categoría, el 3,38% pertenece a la clase "no laboreado" (Tabla 1). Tal solapamiento corresponde en realidad al área anegable adyacente a las lagunas, conformada precisamente por pastizales naturales de bajo porte. Finalmente, y de acuerdo con los resultados obtenidos, la distribución del uso del suelo en el partido de Guaminí se presenta en la Tabla 3.

Clase	Comisión (%)	Omisión (%)
Pastura natural e implantada / Verdeos de invierno	15.32	20.36
No Laboreado	36.61	9.33
Cultivos de Invierno	0.94	8.38
Agua	0.34	3.38
Cultivos de verano (girasol y maíz)/ Verdeos	22.46	13.28
Cultivos de verano (Soja)	1.60	11.84

Tabla 2. Errores de omisión y comisión para cada categoría.

Categoría	Superficie has	%
Localidades	506.59	0.10
Cuerpos de agua	41706.95	8.62
Cultivos de invierno	57818.3	11.95
Cultivos de verano (girasol y maíz)/ verdeos	105009.28	21.71
Cultivos de verano (soja)	22051.77	4.56
Pastura natural e implantada / Verdeos de invierno	150224.08	31.06
No laboreado	106243.87	21.97
TOTAL	**483560**	

Tabla 3. Distribución de la ocupación obtenida para las diferentes categorías.

CONCLUSIONES

El seguimiento de la evolución del índice verde ha demostrado ser muy efectivo para la clasificación del uso del suelo en ambientes heterogéneos como el área de estudio. Tanto los valores de precisión global como de coeficiente Kappa obtenidos sugieren que el nivel de confianza de dicha clasificación es muy bueno. No obstante, los cultivos y verdeos de verano (maíz, girasol y sorgo) y los de invierno (trigo, cebada centeno) han debido ser agrupados en sendas categorías, sin resultar posible la discriminación entre especies en virtud de la proximidad, tanto en sus fechas de siembra como de cosecha. En el caso de los cultivos de verano, la única excepción ha sido la de la soja, que ha sido identificada del resto de los mencionados cultivos estivales merced a su fecha de cosecha más tardía.

En términos generales puede señalarse que los cultivos y verdeos de de verano prevalecen en el sector correspondiente a la planicie arenosa, al Norte de la depresión central del área de estudio. Por su parte, los cultivos de invierno presentan una distribución más uniforme, aunque con una moderada predominancia en las planicies del Sur.

En el caso de las pasturas implantadas, pastizales de buen desarrollo y verdeos de invierno, se los han podido agrupar en una categoría aparte, aunque no ha sido posible lograr una sub clasificación entre ellos. Contribuye a esto último la aleatoriedad en las fechas de pastoreo de los diversos lotes, que suelen estar sujetos a las decisiones de los diferentes productores. Finalmente, la categoría *no laboreado* concentra aquellos lotes no trabajados en donde predominan bajos valores de NDVI, tales como médanos, pasturas degradadas, suelos desnudos y campo natural. Es de esperar que el seguimiento de futuras campañas agrícolas mediante el análisis satelital contribuya a discriminar con mayor detalle los lotes que integran esta última categoría.

BIBLIOGRAFIA

BISHOP, Y., FIENBERG, S. Y HOLLAND, P. 1975. *Discrete multivariate analysis*. Cambridge, MIT Press.

CACN - CAMPO ANEXO CESAREO NAREDO (UNIDAD DEMOSTRATIVA GANADERO AGRÍCOLA). 2001. *Datos meteorológicos para el partido de Guaminí, período 1910 - 2001*. Buenos Aires. EEA INTA Bordenave.

CHUVIECO, E. 1996. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid. Rialp. 568 pp.

DUDA, R.O., y HART, P.E. 1973. *Pattern classification and scene analysis*. New York. John Wiley and Sons. 143 pp.

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE ESTADÍSTICA. 2001: *Estadísticas Sectoriales Bonaerenses*. La Plata. Ministerio de Economía, Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. 16 pp.

INTA - INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. 1989. *Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires*. Buenos Aires. Instituto de Suelos - INTA. 525 pp.

JENSEN, J.R. 1996. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. Prentice Hall Series in Geographic Information Science, Upper Saddle River, New Jersey.

NAVONE, S.M. y GARGANTINI, C. 2003. *Agricultura*. En *Sensores Remotos Aplicados al Estudio de los Recursos Naturales*, *Cap. VII*. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 190 pp.

USGS - U.S. GEOLOGICAL SURVEY. 2000. *Multi Resolution Land Characteristics 2000 Image Preprocessing Procedure*. U.S.A. Department of Interior. 8 pp

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A., DEERINO, D.W. Y HARLAN, J.C. 1974. *Monitoring the vernal advancemet of retrogradation of natural vegetation*. NASA/OSFC. Final Report. Oreenbello MD. 371 pp.

VAZQUEZ, P., MASUELLI, S. Y PLATZECK, G. 2006. Determinación de patrones espectrales para distintos usos del suelo en ambientes heterogéneos. Ed. INTA, Publicación Técnica Nro. 1. 34 pp.