

INTERCIENCIA

Revista de Ciencia y Tecnología de América

Interciencia

Asociación Interciencia

interciencia@ivic.ve

ISSN (Versión impresa): 0378-1844

VENEZUELA

2004

José M. Paruelo / Juan P. Guerschman / Germán Baldi / Carlos M. Di Bella
LA ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE AGRÍCOLA. ANTECEDENTES Y UNA
PROPUESTA METODOLÓGICA

Interciencia, agosto, año/vol. 29, número 008

Asociación Interciencia

Caracas, Venezuela

pp. 421-427

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Universidad Autónoma del Estado de México

re~~al~~yc
LA MEMORIA CIENTÍFICA EN LÍNEA
<http://redalyc.uaemex.mx>

LA ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE AGRÍCOLA. ANTECEDENTES Y UNA PROPUESTA METODOLÓGICA

JOSÉ M. PARUELO, JUAN P. GUERSCHMAN,
GERMÁN BALDI y CARLOS M. DI BELLA

La estimación de la superficie agrícola en países cuyas economías dependen fuertemente de la producción primaria adquiere una gran relevancia estratégica. Las estimaciones de tipos de cobertura del suelo son particularmente escasas en Sudamérica (Ramankutty y Foley, 1998; Guerschman *et al.*, 2003a). La superficie agrícola resulta por lo pronto el principal control de los volúmenes totales producidos en años climáticamente normales. Numerosos actores económicos, sociales y políticos requieren de dicha información para planificar acciones, reducir la incertidumbre o mejorar la asignación de recursos. Estos actores incluyen a entes gubernamentales, organizaciones de productores, exportadores, empresas proveedoras de insumos para el sector, agencias de seguros o impositivas, ONG's vinculadas a la producción agropecuaria y/o a la conservación, etc. El desarrollo de bases de datos regionales y globales de tipos de cobertura del suelo es un requisito indis-

pensable en la toma de decisiones a distintos niveles (Hansen *et al.*, 2000; McGuire *et al.*, 2001).

La diversidad de necesidades de los usuarios en torno a las estimaciones de la superficie agrícola puede caracterizarse en torno de tres dimensiones: la conceptual, la espacial y la temporal. La resolución conceptual hace referencia a la capacidad de discriminar entre dos o más entidades (Farina, 1997). Así, desde el punto de vista conceptual, las estimaciones pueden diferenciar las entidades "cultivos" y "no-cultivos", o separar a nivel de variedades o híbridos de un cultivo particular. La resolución espacial puede ir desde el lote individual a todo el país. La resolución temporal se refiere a la frecuencia de las estimaciones, por ejemplo una por semana o cada 10 años. Estimaciones provenientes de distintas fuentes no sólo diferirán en cuanto a la resolución sino en la extensión. La extensión hace referencia al universo incorporado en el análisis: todos los cultivos o solo los de vera-

no, todo el país o solo un departamento, una estación de crecimiento o las últimas 5 campañas. La resolución y la extensión del análisis definen la escala en cada una de las dimensiones (Farina, 1997).

Para resultar confiables y útiles las estimaciones deben satisfacer una serie de características. Por un lado deben basarse en una metodología debidamente documentada y reproducible en el espacio y en el tiempo. Esta metodología debe ser objetiva en el sentido de ser independiente del observador. Por otro lado la metodología debe ser evaluable de manera cuantitativa. La evaluación basada en el contraste con observaciones de campo es esencial para establecer la incertidumbre de la estimación y establecer sobre bases objetivas su confiabilidad (Congalton, 1991). Finalmente, la información debe ser oportuna, es decir debe estar disponible en un momento en el cual puedan tomarse decisiones. Nuevamente, no todos los usuarios tendrán los mismos requerimientos.

PALABRAS CLAVE / Fenología / Imágenes Satelitales / Índice Verde Normalizado / Sensores Remotos / Superficie Agrícola / Uso del Suelo /

Recibido: 30/09/2003. Modificado: 05/05/2004. Aceptado: 02/07/2004.

José Paruelo. **Ingeniero Agrónomo y M.Sc., Universidad de Buenos Aires (UBA), Argentina. Ph.D., Colorado State University, EEUU. Director, Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección, Facultad de Agronomía, UBA. Profesor, UBA. Investigador Independiente, CONICET. Dirección: Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección. FAUBA. Av. San Martín 4453. C1417DSE Buenos Aires. Argentina. e-mail: paruelo@ifeva.edu.ar**

Juan Pablo Guerschman. **Ingeniero Agrónomo y Candidato Doctoral, UBA, Argentina. Jefe de Trabajos de Cátedra, Facultad de Agronomía, UBA. e-mail: guerschm@ifeva.edu.ar**

Germán Baldi. **Licenciado en Ciencias Biológicas, UBA, Argentina. Estudiante graduado y técnico profesional, Facultad de Agronomía, UBA. e-mail: baldi@ifeva.edu.ar**

Carlos M. Di Bella. **Ingeniero Agrónomo, Universidad de Buenos Aires (UBA), Argentina. Doctor, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Francia. Investigador, Instituto de Clima y Agua, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina. Docente, Facultad de Agronomía, UBA y UCES. e-mail: cdibella@inta.gov.ar**

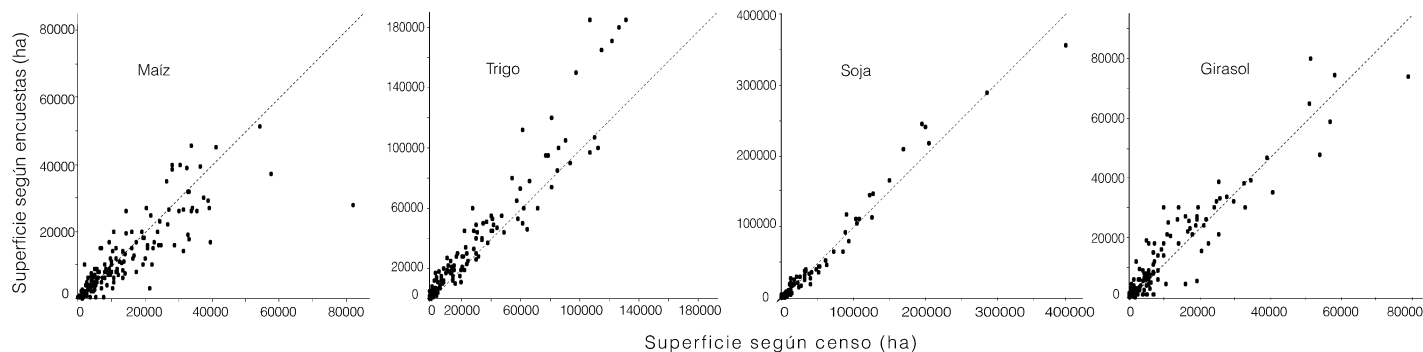


Figura 1. Áreas sembradas de los principales cultivos en la región pampeana, Argentina, según estimaciones del Censo Nacional Agropecuario 1988 y de las Encuestas Agropecuarias llevadas a cabo para igual período por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.

Los objetivos de este artículo son 1) Evaluar distintas alternativas metodológicas usadas para proveer estimaciones de superficies cultivadas en Argentina, 2) Presentar una aproximación metodológica para la estimación de la distribución de tipos de cobertura del suelo mediante sensores remotos de diferente resolución y analizar las posibilidades de su implementación en la región pampeana de Argentina y parte de las áreas agrícolas del MERCOSUR, y 3) Presentar sucintamente la metodología empleada en países con sectores agropecuarios cuantitativamente importantes, a fin de proveer contexto a este análisis. A pesar de su importancia, en este artículo obviamos el análisis de estimaciones de rendimiento.

Estimaciones de Superficies Agrícolas en Otros Países

Las estimaciones de la superficie agrícola tanto en Argentina como en Brasil y EEUU derivan de dos fuentes oficiales: encuestas y censos. Las encuestas tienen en general una frecuencia anual. Los censos, en cambio, ocurren a intervalos más largos, 5 años en los EEUU y más de 10 en Argentina (INDEC, 1988; USDA, 1997; IBGE, 2002). En la Argentina y en EEUU hasta fines de la década del 90 las encuestas y los censos estuvieron a cargo de distintas agencias gubernamentales. En Brasil el IGBE realiza ambas tareas. En Argentina los censos se realizaron en la órbita del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). Las encuestas son realizadas por el propio INDEC y por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA; INDEC, 2002). A partir de 1998 EEUU unificó estas tareas en el *National Agricultural Statistics Service* (NASS) dependiente del Departamento de Agricultura (USDA). En otros países del Mercosur (Uruguay y Paraguay) los

censos agropecuarios tienen lugar cada 10 años (de Fátima Dias, 1995)

Los censos implican un relevamiento exhaustivo y completo de todo el universo de productores agropecuarios. El protocolo de recolección de datos es explícito y bien documentado (INDEC, 1988). Constituyen, pues, una fuente de información altamente confiable en los tres países. En todos los casos la extensión de los relevamientos cubre el país entero y la resolución espacial es la de departamento provincial, aún cuando la información es recogida a nivel de establecimiento. Sin duda la frecuencia de estos relevamientos constituye la principal limitante para una amplia gama de usuarios. En Argentina el último censo publicado data de 1988. En 2002 (tres años más tarde de lo previsto originalmente) se realizó un nuevo censo agropecuario y los resultados provisionales están siendo difundidos al mismo tiempo que este artículo es escrito.

Las encuestas anuales constituyen sin duda una fuente extremadamente valiosa para la planificación en el sector. El USDA basa estas estimaciones en encuestas telefónicas y por correo a lo largo del ciclo del cultivo, pautadas y normalizadas para cada región (USDA, 1997). La información de los distintos grupos de cultivos va siendo difundida a lo largo de la campaña. A partir de mapas, derivados en general de información satelital, se definen áreas sobre la base de la intensidad de cultivo. Cada área se divide en cuadrículas cuyo tamaño es inversamente proporcional a la intensidad de uso. Típicamente una cuadrícula de áreas agrícolas tiene una superficie de 2,6km². La intensidad de muestreo varía entre 1 cuadrícula cada 125 a 1 cada 500 cuadrículas (USDA, 1997).

En Argentina existe desde hace varios años una superposición de tareas en lo que respecta a las encuestas agropecuarias. Por una parte

el INDEC realiza la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), enfocada principalmente a la producción ganadera, pero en la que también se recopila información concerniente a los cultivos anuales. La ENA se realiza mediante un método objetivo de muestreo de productores y su resolución es la de regiones agroecológicas (subdivisiones provinciales que agrupan a varios departamentos; INDEC, 2002). Por otro lado la SAGPyA realiza las "Estadísticas Agrícolas". Estas no derivan de encuestas individuales a productores sino de la información provista por informantes calificados, quienes integran espacialmente su evaluación cualitativa para su zona de influencia. La resolución espacial de las Estadísticas Agrícolas es la de departamento provincial, aunque la metodología por la cual los informantes calificados determinan las superficies sembradas y cosechadas de los departamentos bajo su órbita no está debidamente documentada. De todas formas esta información ha sido muy valiosa en análisis de tendencias y en la descripción de patrones regionales relacionados con el uso agrícola (véase por ej, Veron *et al.*, 2002; Guerschman *et al.*, 2003a; Viglizzo *et al.*, 2001). Además, constituye la principal fuente de información en lo que respecta a los volúmenes cosechados anualmente, lo que se refleja periódicamente en los principales medios de comunicación.

Más allá de la utilidad de la información, la manera de generar la información en las encuestas incorpora diversas fuentes de incertidumbre que podrían afectar seriamente las estimaciones. Estas incluyen las dificultades para referir las estimaciones a un área, las posibilidades de los informantes de integrar la información local, la ausencia de protocolos únicos y las diferencias asociadas a la heterogeneidad de formación, motivación y compromiso de los informantes en el espacio y el tiempo.

Comparación de las Áreas Sembradas en Argentina Derivadas de Distintas Estimaciones

A partir de los datos a nivel de municipios (partidos y departamentos) provistos por el Censo Nacional Agropecuario de Argentina para 1988 (INDEC, 1988) y las encuestas realizadas por la SAGPyA para la misma campaña, se compararon las estimaciones derivadas de ambas fuentes. Para los 20 departamentos con mayor área sembrada con trigo ($1,8 \times 10^6$ ha) la diferencia relativa en la superficie sembrada según las dos fuentes varía entre un 74% y un -29%. Para el conjunto de esos departamentos las estimaciones de la SAGPyA fueron para esa campaña un 21% superiores a las estimaciones del censo. Este patrón se verifica para los principales cultivos (Figura 1). En todos los casos se observa una dispersión importante en torno de la línea 1:1 (acuerdo total). Si bien la correlación estadística es alta, ésta refleja la capacidad de ambas estimaciones de capturar los patrones espaciales de áreas sembradas de manera similar. Mientras que la dispersión da idea de una discrepancia no sistemática entre las estimaciones, la pendiente de la relación ajustada pone de manifiesto diferencias sistemáticas entre las estimaciones. Estas diferencias pueden tener distintos signos (véase el caso del maíz y el trigo). Uno de los problemas de este tipo de comparaciones es definir cuál de las dos estimaciones es la correcta. Si bien eso es imposible, puede no obstante calificarse las estimaciones de acuerdo a su rigurosidad y consistencia interna. En tal sentido la aplicación de un protocolo claramente establecido para la totalidad del área le asigna una mayor confiabilidad a las estimaciones del INDEC. De todas maneras el último Censo Agropecuario publicado corresponde a 1988 y resulta imposible analizar los cambios en el sector agropecuario durante la última década usando esta herramienta. ¿Cuánto puede confiarse en las tendencias de cambio en la superficie agrícola derivada de las estimaciones de la SAGPyA? La magnitud promedio del cambio entre años de la superficie sembrada para los principales departamentos trigueros fue 12% (Figura 2). Esta diferencia es mayor a la discrepancia observada entre las fuentes de datos. El hecho que las diferencias observadas entre las estima-

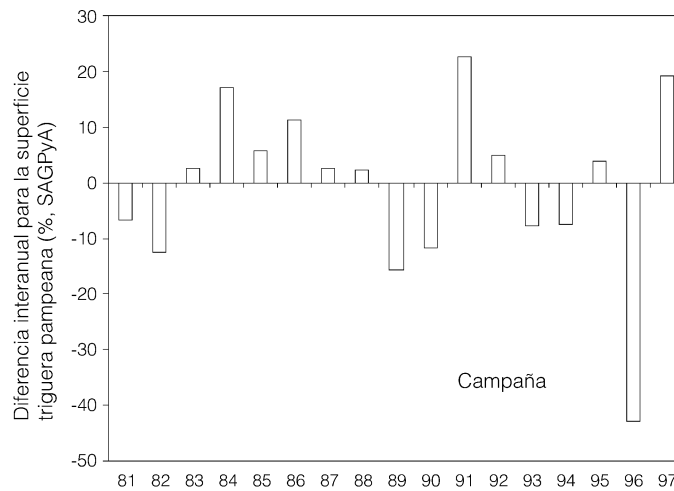


Figura 2. Diferencia interanual (%) en años consecutivos para la superficie sembrada en los 20 departamentos trigueros más importantes de la región pampeana de Argentina en el período 1981-1997. Fuente: SAGPyA (1988).

ciones derivadas del censo y de las encuestas sea mayor que el cambio entre años introduce una seria incertidumbre en la estimación de las tendencias temporales de superficie sembrada.

Estimación de la Distribución de Tipos de Cobertura del Suelo Mediante Sensores Remotos

Antecedentes y fundamentos del uso de los sensores remotos

La clasificación del uso de la tierra es una de las aplicaciones más extendidas de los sensores remotos. Existen numerosos antecedentes del uso de estas herramientas para la clasificación de áreas agrícolas y para la discriminación de cultivos. Distintos tipos de sensores se han utilizado para este tipo de aplicaciones: fotos aéreas, imágenes satelitales de alta resolución espacial, imágenes satelitales de baja resolución espacial y radar, entre otros. Son quizás los sensores *Thematic Mapper* (TM) y *Multi Spectral Scanner* (MSS) a bordo de los satélites de la serie LANDSAT los más utilizados para el seguimiento de cultivos, debido a su alta resolución espacial (30 y 80 metros para los sensores TM y MSS respectivamente) y su relativamente alta frecuencia de revisita (16 días). Por otro lado, estos satélites comenzaron a funcionar a fines de la década del 70, lo que permite tener acceso a casi 30 años de imágenes de este tipo. Recientemente se cuenta también con información aportada por el satélite argentino SAC-C. Este satélite tiene una resolución espacial de 175 metros y es muy útil para muchas aplica-

ciones en las que no se requiere una resolución tan alta como la del LANDSAT TM, por ejemplo para la caracterización de los patrones temporales de absorción de radiación entre diferentes usos del suelo en la región pampeana (Piñeiro *et al.*, 2002). Adicionalmente el satélite brasilero CBERS, con sensores de variable resolución espectral, temporal y espacial (Baptista, 2003), junto al nuevo sensor a bordo del satélite Landsat 7 (ETM+) abren nuevas posibilidades a partir del uso conjunto de distintas plataformas.

La discriminación de cultivos se basa en la diferente respuesta espectral que tienen los distintos componentes que se pueden encontrar en la superficie del

suelo. Sin embargo, ocurre con frecuencia que para una fecha en particular existen dos o más tipos de cobertura del suelo que tienen una respuesta espectral similar y por lo tanto, son difíciles o imposibles de separar utilizando sensores multispectrales. Por ejemplo, durante la primavera los cultivos de trigo están en su máximo crecimiento y son generalmente confundidos con pasturas. Del mismo modo, durante el verano suele ser complicado separar entre diferentes tipos de cultivos estivales o estos de montes forestales. En la región pampeana este tipo de situaciones se da con frecuencia, ya que se combinan en el espacio cultivos de ciclo invierno-primaveral (cultivos de “invierno”), cultivos de ciclo primavera-estival (cultivos de “verano”), pasturas perennes y pastizales naturales, entre otros tipos de vegetación.

Para resolver estos inconvenientes es necesario entonces utilizar más de una imagen satelital de la misma estación de crecimiento. Esto ha sido utilizado en algunas ocasiones por investigadores que se enfrentaron con estas dificultades (Lo *et al.*, 1997; Badwar, 1984; Turner y Congalton, 1998; Pax-Lenney y Woodcock, 1997; Lobell *et al.*, 2003). Estos trabajos aprovechan las distintas características fenológicas de los cultivos, y generalmente simplifican la alta dimensionalidad espectral utilizando índices espectrales de vegetación, como por ejemplo el Índice Verde Normalizado (IVN). El IVN se calcula como la diferencia entre la radiación reflejada por la superficie en la porción correspondiente al rojo y al infrarrojo en el espectro electromagnético, dividida por la

suma de ambas reflectancias. Una superficie vegetada al estar fotosintetizando activamente reflejará poco en la banda del rojo (la clorofila absorbe mucho en esa longitud de onda) y mucho en el infrarrojo (la estructura foliar determina una alta reflexión). Estudios teóricos y empíricos han mostrado que el IVN es un estimador lineal de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por los tejidos verdes (Asrar *et al.*, 1984; Sellers *et al.*, 1992). Este comportamiento espectral

de la vegetación y el seguimiento de los cambios en el tiempo permite utilizar algoritmos de clasificación relativamente simples pero fundamentalmente generar una clasificación cuyos resultados son fácilmente interpretables en términos biofísicos y agronómicos. La Figura 3 muestra las curvas estacionales idealizadas del IVN de los principales tipos de cobertura del suelo en la región pampeana. Una superficie con bajo IVN en primavera temprana correspondería a un cultivo de verano si en enero presenta valores altos. Un monte de eucaliptos, por el contrario, presentará valores altos todo el año.

Un aspecto crítico de la generación de estos productos es disponer de una extensa base de datos de campo para desarrollar los modelos y para evaluar la precisión de las clasificaciones. Dado que los algoritmos de clasificación se basan en última instancia en la dinámica del área foliar de los distintos tipos de cobertura, su intra- o extrapolación dentro o fuera del área es clara en la medida que se conozca la fenología de la cobertura a clasificar y su variabilidad temporal y espacial. Los datos de campo contribuirán en parte a refinar estos modelos y a evaluar la calidad de las predicciones. La pregunta a contestar es ¿cuál es la probabilidad de equivocarse al decir que un pixel pertenece a una dada cobertura?

Un caso de estudio- El Uso de la Tierra en la Provincia de Buenos Aires

Para el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Guerschman *et al.* (2003b) evaluaron cuántas imágenes LANDSAT TM eran necesarias para obtener una clasificación del uso de la tierra satisfactoria y cuáles eran las fechas más apropiadas para ello. Además

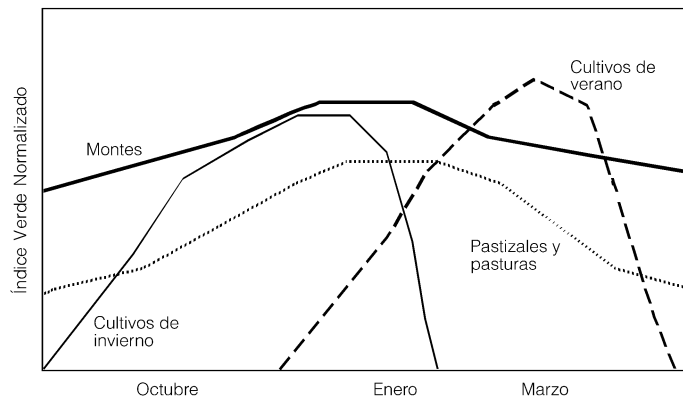


Figura 3. Dinámica idealizada de la variación estacional del Índice Verde Normalizado (IVN) en distintos tipos de cubiertas del suelo de la región pampeana, Argentina.

investigaron la resolución “conceptual” de las clasificaciones, es decir, el número de clases que la clasificación es capaz de discriminar. La forma de evaluar la calidad de las clasificaciones fue a través de la precisión general, es decir la cantidad de píxeles correctamente clasi-

ficados, sobre el total de píxeles evaluados. Se utilizaron 4 imágenes LANDSAT de las siguientes fechas: octubre y diciembre 1996 y febrero y marzo 1997. Cuando se discriminó entre 6 clases (cultivos de verano, cultivos de invierno, praderas, estepas gramíneas, agua y misceláneas) y se utilizaron las 4 imágenes, la precisión general alcanzó el 80,8%. Estos valores descendieron a 79,4; 77,0 y 65,9% al utilizar 3, 2 y 1 fechas, respectivamente. Las evaluaciones anteriores se basan en el análisis de píxeles individuales de 30x30m. La precisión aumenta sensiblemente si la

evaluación se realiza a nivel de lote. En los casos de las clasificaciones que utilizaron 3, 2 y 1 fechas, siempre fueron aquellas que incluyeron la imagen de octubre las que dieron los mejores resultados. Esto se debe a que la combinación de una imagen de octubre y otra (cual-

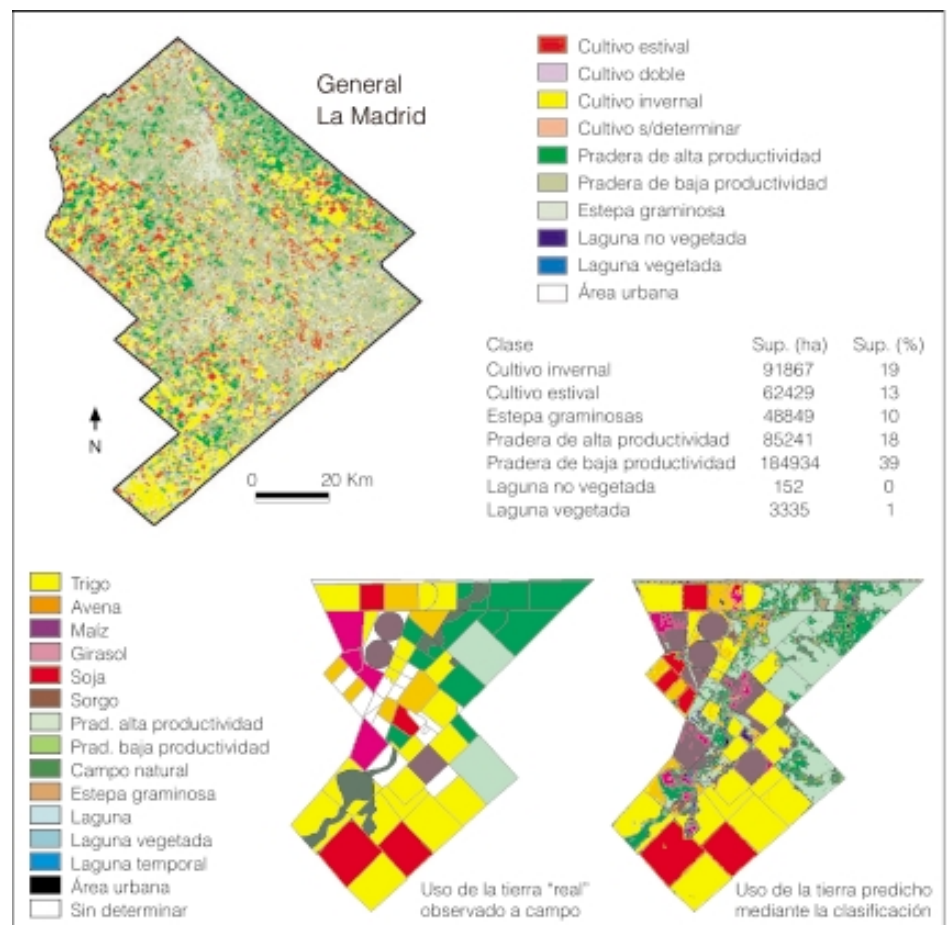


Figura 4. Mapa de clases de cobertura del suelo para la campaña 1996-1997 para el partido de Gral. La Madrid en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Los esquemas inferiores muestran la distribución de clases de cobertura declarada por el productor y la derivada de la metodología basada en la información satelital para un establecimiento rural. Adaptado de Guerschman *et al.* (2003b).

quiera) del verano permitió discriminar aceptablemente los cultivos de invierno, que representan una proporción importante en el área estudiada. La conclusión general del trabajo fue que al menos dos imágenes debían ser utilizadas y que estas imágenes debían ser de la primavera (octubre) y del verano (enero o febrero). Por otra parte se encontró que para discriminar entre clases de una misma resolución conceptual (por ejemplo para discriminar entre cultivos de verano) es necesario usar más de dos imágenes. La Figura 4 muestra el tipo de información aportada por este tipo de metodologías a nivel de departamento o municipio y de establecimiento.

Siguiendo el protocolo desarrollado por Guerschman *et al.* (2003b), Baldi (2002) generó mapas del uso del suelo para el noroeste y en el centro de la provincia de Buenos Aires. Las tres áreas se muestran en la Figura 5. Los detalles muestran la descripción de la distribución espacial de tipos de coberturas generadas por estas aproximaciones en las distintas zonas.

Utilización de Sensores Remotos con Diferentes Resoluciones Espaciales y Temporales

Los satélites de la serie AVHRR/NOAA fueron diseñados en función de aplicaciones meteorológicas. Sin embargo, rápidamente se revelaron como una valiosa herramienta para la observación terrestre (Ehrlich *et al.*, 1994; Townshend, 1994). Las imágenes provistas por estos sensores tienen una resolución espacial de 1x1km, sensiblemente menor a la de las LANDSAT TM. Muchas de las fuentes de información AVHRR disponibles debieron ser reconstruidas a partir de un remuestreo de datos incompletos, por lo que su resolución es menor aún a la de los datos originales. Si bien en muchos casos las aplicaciones de estos satélites se ven limitadas por su baja resolución espacial, presentan dos grandes ventajas. Por un lado su alta resolución temporal; estos satélites pasan por la misma zona todos los días y es posible generar un compuesto de sus imágenes, libre de contaminación por nubes, cada 10 días. Por otro lado los satélites NOAA están en órbita desde 1981. Una de las bases de datos más extendidas y usadas en estudios regionales es la Pathfinder Land AVHRR. Este banco de imágenes, recopilado por la NASA, tiene una resolución espacial de 8km, una resolución temporal de 10 días y cubre el período 1981-2001 para todo el planeta (James y Kalluri, 1994). Dos productos derivados de la reflectancia registrada por

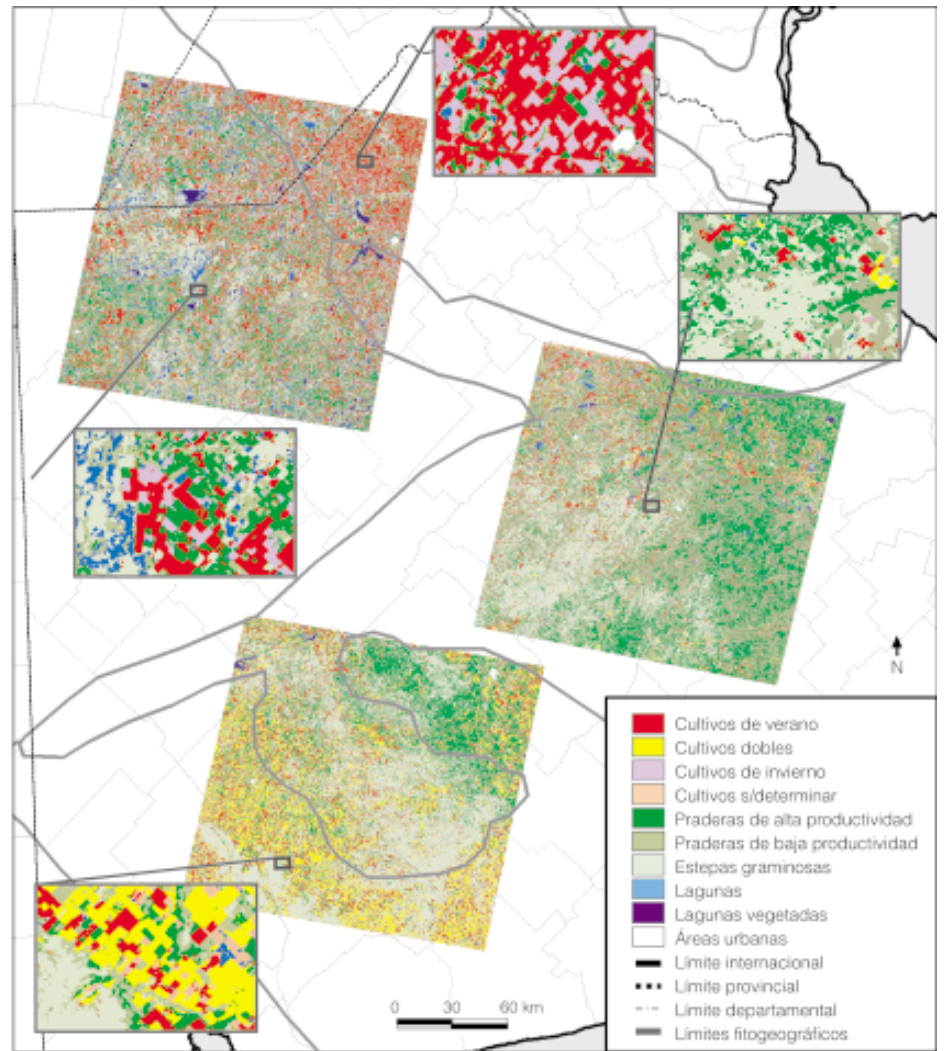


Figura 5. Mapa de uso y cobertura del suelo para el centro de la provincia de Buenos Aires, para la campaña 1996-1997. Adaptado de Guerschman *et al.* (2003b) y Baldi (2002).

los sensores AVHRR son particularmente útiles en aplicaciones agronómicas: el Índice Verde Normalizado antes descrito y la Temperatura Superficial derivada de la emisión en el infrarrojo térmico. Este último índice permite realizar estimaciones remotas de la evapotranspiración de los cultivos (Di Bella *et al.*, 2000).

Los satélites de baja resolución pueden también generar estimaciones de la distribución de tipos de cobertura del suelo pero a una resolución espacial y conceptual distinta que la de las imágenes LANDSAT TM. En este caso no es posible asociar un pixel o celda a un tipo de cobertura sino caracterizar la proporción en la que una clase dada se halla presente en la celda. Tampoco es posible una descripción de la distribución de cultivos individuales pero sí de tipos o sistemas de producción (cultivos de invierno, verano, doble cultivo, etc). La dinámica estacional del IVN de una celda de 64km² resulta de la combinación lineal de las di-

námicas estacionales de las clases presentes ponderadas por su proporción en la celda. En la medida en que pueda identificarse para cada tipo de cobertura del suelo la dinámica estacional del IVN es posible, aplicando técnicas de descomposición de mezclas, describir para cada celda la proporción de distintas coberturas (Asner y Heidebrecht, 2002). La determinación de la dinámica estacional de las clases requiere ubicar celdas de composición pura o conocer la proporción de clases presentes. Este proceso de calibración del modelo puede basarse en el uso de información de distribución de cultivos de distinta resolución. Guerschman y Paruelo (2002) mostraron cómo puede generarse a partir de estadísticas a nivel de partido o departamento una descripción de la proporción de clases a nivel de pixeles PAL (Figura 6). La técnica aplicada permite describir la heterogeneidad interna de un departamento o partido en la distribución de cultivos de invierno y verano. Así como es posible ca-

librar estos modelos de proporción de clases de cobertura de suelo a partir de información de baja resolución, también lo es usando datos de alta resolución. Al integrar información sobre la distribución de cultivos derivada de imágenes LANDSAT TM con imágenes PAL de baja resolución (8x8km) es posible identificar píxeles "puros" y describir la proporción de clases en cada celda. Esto permite una adecuada calibración de los modelos lineales de respuesta de los píxeles individuales.

Propuesta de un Sistema Operativo de Estimación de Superficies Agrícolas (Cultivos Anuales Extensivos) del Mercosur

En esta sección se enuncian sucintamente las acciones necesarias para implementar un sistema de evaluación de tipos de cobertura del suelo. El sistema combina el uso de múltiples plataformas y relevamientos a campo. La información de campo será integrada e interpolada para áreas específicas (piloto) usando satélites de alta resolución (por ejemplo, LANDSAT TM o ETM+ y SAC-C o CBERS-2). El uso de imágenes AVHRR/NOAA permitirá generalizar la información detallada de distribución de tipos de cobertura del suelo de las áreas piloto a toda la región. Para cada objetivo se indican las tareas necesarias para alcanzarlo.

1. Generación de mapas de cobertura de suelo a escala de lote en escenas satélites de alta resolución (áreas piloto de análisis detallado)

a. *Distribución en el espacio de las escenas de manera de capturar la máxima heterogeneidad ambiental (climática y edáfica) y de manejo.* Las escenas deberán distribuirse de manera de abarcar los principales gradientes de precipitación y temperatura. En las escenas seleccionadas deberán estar representados los principales sistemas de manejo y deberán incluir una superficie importante de áreas no agrícolas para permitir la detección de su comportamiento fenológico. Se estima que unas 15-20 escenas permitirían una descripción adecuada del área. Una proporción de las escenas podría variar en su ubicación geográfica entre años. Para cada escena se deberá ubicar entre 3 y 4 imágenes de satélites de alta resolución correspondientes a aquellas fechas que permitan una adecuada ca-

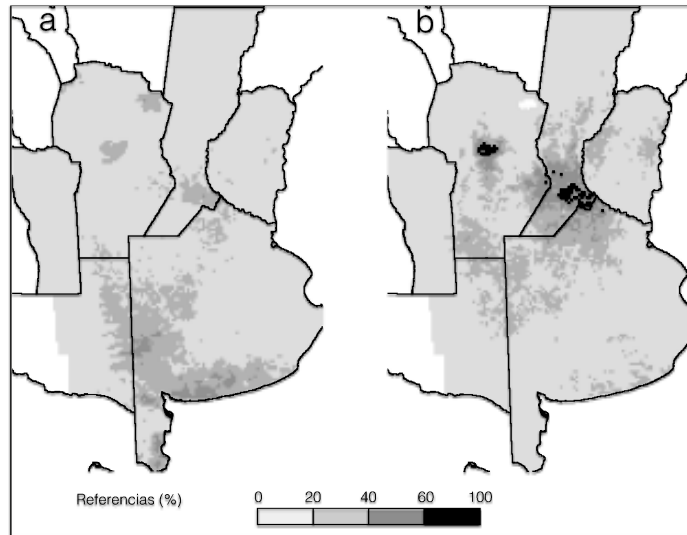


Figura 6. Superficie porcentual bajo uso agrícola en la región pampeana de Argentina, basado en imágenes AVHRR/NOAA. a: cultivos de invierno. b: cultivos de verano. Adaptado de Guerschman y Paruelo (2002).

racterización de la fenología de los principales tipos de cobertura del suelo. Si bien esto puede variar entre escenas, una distribución regular de las imágenes entre agosto y marzo asegura una adecuada representación de la fenología de los principales tipos de cobertura del suelo. El uso complementario de información aportada por diferentes satélites de alta resolución permitiría ampliar el área relevada y/o cubrir períodos con información faltante.

b. *Generación de datos de campo para calibración de los modelos y evaluación de las clasificaciones.* Para cada escena TM o ETM+ se identificarán las principales rutas y caminos y se diseñarán recorridos que cubran, lo mejor posible, las dos diagonales y mediatrices de la imagen. Sobre esos recorridos (unos 900km) se registrarán, desde un vehículo y usando un GPS, las coordenadas de comienzo y fin de los lotes con un ancho (profundidad) mayor a 100m, interceptados por el recorrido. Se indicará el tipo de cobertura del suelo según la resolución conceptual definida. Las observaciones se harán en tramos de 20km, alternando con tramos de igual distancia sin observaciones. Se estima que un equipo de 2 personas puede completar la recolección de datos en 3-4 días. El trabajo de campo debería repetirse por lo menos dos veces por año, de manera de identificar cultivos de ciclo estival e invernal. Un recorrido en agosto y otro en diciembre permitiría contar con información para la realización de una detección temprana de áreas implantadas. La superposi-

ción de la información recolectada sobre las imágenes insumiría una semana de trabajo de gabinete. Los datos recogidos según el protocolo enunciado permiten en sí mismos una estimación del área implantada.

c. *Clasificación y evaluación de las imágenes satélites de alta resolución.* Se aplicará básicamente la metodología propuesta por Guerschman *et al.* (2003b) basada en la dinámica estacional del IVN de cada tipo de cobertura del suelo. Un 30% de los datos de campo se utilizarán para la calibración de los algoritmos de clasificación y el resto para su evaluación.

2. Generalización regional de la patrones de uso del suelo mediante datos AVHRR/NOAA

La descripción detallada de la distribución de cultivos en cada una de las escenas satélites de alta resolución puede ser generalizada mediante el uso de datos AVHRR. Cada una de las escenas permitirá calibrar los modelos de mezcla espectral para la resolución de 64km². A las escenas de satélites de alta resolución le superpondrá una grilla de 8x8km a fin de generar el siguiente modelo:

$$IVN-PAL_{ij} = \sum(p_{ki} IVN_{kj})$$

donde IVN-PAL_{ij}: Índice Verde Normalizado del pixel PAL (64km²) i en el tiempo j, p_{ki}: la proporción del pixel i ocupado por la clase de cobertura del suelo k, IVN_{kj}: Índice Verde Normalizado de la clase k en el tiempo j. La inversión de este modelo permite, conociendo IVN-PAL_{ij} y IVN_{kj}, estimar p_{ki}.

Tipos de Productos y Disponibilidad de la Información

El esquema propuesto permitirá contar con una estimación detallada de la distribución de cultivos a nivel de lotes en áreas representativas de la región. Esta información, más allá de su utilidad en sí misma, permitirá realizar análisis espaciales cuantitativos tales como la distribución de tamaños de lotes de cada tipo de cobertura o la conexión entre parches de un mismo tipo de cobertura. La generación continua de estas coberturas y su incorporación en sistemas de información geográfica posibilitaría

estudios de, por ejemplo, tipo y largo de rotaciones o frecuencia de uso agrícola de distintas unidades de suelo. En el área de las aplicaciones prácticas permitiría contar con un registro detallado del uso de suelo de cada establecimiento particular independiente de la declaración del productor. En todos los casos se contaría con una medida del error cometido en la estimación.

A partir de la combinación de información de satélites de alta resolución y AVHRR/NOAA se dispondría de una estimación regional del área implantada con distintos tipos de cultivos. Esta estimación se basaría en una metodología común y cubriría la totalidad de las áreas agrícolas del Mercosur. Todos los actores económicos, sociales y políticos contarían con igual grado de acceso a las estimaciones, disminuyendo las asimetrías en el grado de información que manejan a la hora de tomar decisiones.

El sistema propuesto prevé contar no solo con una estimación final para la campaña sino con dos estimaciones tempranas de superficie implantada de cultivos de invierno y verano. Estas estimaciones podrían estar disponibles entre uno y dos meses antes del comienzo de la cosecha de ambos grupos de cultivos. Nuevamente esto permitiría aumentar la eficiencia en la asignación de recursos o anticipar decisiones a distintos niveles y por parte de distintos actores del sistema productivo.

La información a generar por un sistema como el propuesto puede, sin duda, integrarse con los esfuerzos de los países de la región en la recolección y compilación de estadísticas agrícolas mediante encuestas y relevamientos de campo. Sin duda esta integración tendrá efectos sinérgicos al permitir una mejor evaluación de los resultados generados por las diferentes aproximaciones y al aumentar la oferta de productos con distintas resoluciones espaciales, conceptuales y temporales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con el apoyo económico del *InterAmerican Institute for Global Change Studies* (ISP III 077, PESCA 010 and CRN 012), la Universidad de Buenos Aires (UBACYT G071 y Proyecto Estratégico Res. CS 5988/01), CONICET (PIP 0221/98), ANCYT (PICT 08-06761) y FONTAGRO (FTG/RF 01-03-RG). Los autores agradecen la colaboración de miembros del CREA Sudoeste y el apoyo del Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires.

REFERENCIAS

- Asner GP, Heidebrecht KB (2002) Spectral unmixing of vegetation, soil and dry carbon cover in arid regions: comparing multispectral and hyperspectral observations. *Int. J. Remote Sensing* 23: 3939-3958.
- Asrar G, Fuchs M, Kanemasu ET, Hatfield JL (1984) Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy J.* 76: 300-306.
- Badwar GD (1984) Classification of corn and soybeans using multitemporal thematic mapper data. *Remote Sensing of Environment* 16: 175-182.
- 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. Argentina. 79 pp.
- Baptista G (2003) Análisis comparativa entre oadados del sensor CCD do CBERS e os do Landsat 7 ETM+ para a região do Brasília. En *Anais XI SBSR*. Belo Horizonte. Brasil: pp. 2303-2310.
- Congalton R (1991) A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment* 37: 35-46.
- de Fátima Dias K (1995) Estadísticas Agropecuarias censitarias no âmbito do Mercosul: Brasil, Argentina, Uruguay y Paraguay. IBGE. Brasil. 153pp.
- Di Bella CM, Rebella C, Paruelo JM (2000) Evapotranspiration estimates using NOAA AVHRR imagery in the Pampa Region, Argentina. *Int. J. Remote Sensing* 21: 791-797.
- Ehrlich D, Estes J. E, Singh A (1994) Applications of NOAA-AVHRR 1 km data for environmental monitoring. *Int. J. Remote Sensing* 15: 145-161.
- Farina A (1997) Principles and Methods in Landscape Ecology. Kluwer. Londres, RU. 210 pp.
- Guerschman JP, Paruelo JM (2002) From Counties to Pixels: A Top-Down Approach to Monitor Harvested Areas at the Regional Scale Using Coarse Resolution Satellite Imagery. En *29th Int. Symp. on Remote Sensing of Environment*. Buenos Aires, Argentina. Abstracts. Versión CD.
- Guerschman JP, Paruelo JM, Burke IC (2003a) Land use impacts on the normalized difference vegetation index in temperate Argentina. *Ecol. Appl.* 13: 616-628.
- Guerschman JP, Paruelo JM, Di Bella C, Giallonzi MC, Pacín F (2003b) Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal Landsat TM data. *Int. J. Remote Sensing* 24: 3381-3402.
- Hansen MC, Defries R, Townshend JRG, Sohlberg R (2000) Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *Int. J. Remote Sensing* 21: 1331-1364
- IBGE (2002) *Produção Agrícola Municipal. Culturais temporais e permanentes*. Vol. 29. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasil. 85 pp.
- INDEC (1988) Censo Nacional Agropecuario. Resultados Generales. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Ministerio de Economía. Buenos Aires, Argentina. 152 pp.
- INDEC (2002) Encuesta Nacional Agropecuaria. Resultados Generales Ampliados. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Ministerio de Economía. Buenos Aires, Argentina. 15 pp.
- James ME, Kalluri SNV (1994) The pathfinder AVHRR land data set: an improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. *Int. J. Remote Sensing* 15: 3347-3363.
- Lo C, Quattrochi D, Luvall J (1997) Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect. *Int. J. Remote Sensing* 18: 287-304.
- Lobell DB, Asner GP, Ortiz-Monasterio JJ, Benning TL (2003) Remote sensing of regional crop production in the Yaqui Valley, Mexico: estimates and uncertainties. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 94: 205-220.
- McGuire AD, Sitch S, Clein JS, Dargaville R, Esser G, Foley J, Heimann M, Joos F, Kaplan J, Kicklighter DW, Meier RA, Melillo JM, Moore III B, Prentice IC, Ramankutty N, Reichenau T, Schloss A, Tian H, Williams LJ, Wittenberg U (2001) Carbon balance of the terrestrial biosphere in the twentieth century: Analyses of CO₂, climate and land use effects with four process-based ecosystem models. *Global Biogeochemical Cycles* 15: 183-206.
- Pax-Lenney M, Woodcock CE (1997) Monitoring agricultural lands in Egypt with multitemporal Landsat TM imagery: How many images are needed? *Remote Sensing of Environment* 59: 522-529.
- Piñeiro G, Paruelo JM, Loreti J (2002) Seasonal changes in light interception among land use/land cover classes: an analysis based on SAC-C images. En *29th Int. Symp. on Remote Sensing of Environment*. Buenos Aires, Argentina. pp. 455-459.
- Ramankutty N, Foley JA (1998) Characterizing patterns of global land use: an analysis of global croplands data. *Global Biogeochemical Cycles* 12: 667-685.
- SAGPyA (1988) Estadísticas Agrícolas (Buenos Aires). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Argentina. www.sagpya.meccon.gov.ar
- Sellers PJ, Berry JL, Collatz GJ, Field CB, Hall FG (1992) Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration. III. A reanalysis using improved leaf models and a new canopy integration scheme. *Remote Sensing of Environment* 42: 187-216.
- Townshend JRG (1994) Global data sets for land applications from the Advanced Very High Resolution Radiometer: an introduction. *Int. J. Remote Sensing* 15: 3319-3332.
- Turner MD, Congalton RG (1998) Classification of multi-temporal SPOT-XS satellite data for mapping rice fields on a West African floodplain. *Int. J. Remote Sensing* 19: 21-41.
- USDA (1997) *Census Of Agriculture. Vol.1. National, State, and County Tables*. NASS, United States Department of Agriculture. Washington, EEUU. 529 pp.
- Veron SR, Paruelo JM, Lauenroth WK (2002) Environmental Controls of Primary Production in Agricultural Systems of the Argentine Pampas. *Ecosystems* 5: 625-635.
- Viglizzo EF, Lertora F, Pordomingo AJ, Bernardos JN, Roberto ZE, Del Valle H (2001) Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 83: 65-81.