

## **Estimación de áreas ocupadas por cultivos de invierno en Uruguay utilizando teledetección\***

### **Estimation of areas occupied by winter field crops in Uruguay using remote sensing**

**Agustín Giménez<sup>1</sup> y José Pedro Castaño<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Unidad de Agroclima y Sistemas de información (GRAS), Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Andes 1365 piso 12, Montevideo, Uruguay. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: agimenez@inia.org.uy.

#### **Resumen**

Una de las circunstancias incontrolables y de mayor riesgo a las que se enfrenta el sector agropecuario la constituyen los eventos climáticos adversos (sequías, excesos hídricos, heladas, etc.) resultantes del cambio climático y la variabilidad. Un enfoque moderno de adaptación para enfrentar circunstancias climáticas adversas consiste en la formulación e implementación de medidas anticipatorias comúnmente denominadas estrategias de “gestión de riesgos”. Para el desarrollo de tales medidas es un requisito básico el disponer de información confiable y frecuentemente actualizada del uso actual de la tierra, ubicación de los distintos rubros de producción y monitoreo frecuente de estas y otras variables. El objetivo del trabajo fue explorar la utilización de imágenes de satélites Landsat para ubicar y estimar áreas ocupadas por cultivos de invierno en la región de producción agrícola ganadera de Uruguay comprendida en los departamentos de Colonia, Soriano y Río Negro. Para realizar la estimación de la superficie ocupada por cultivos de invierno se utilizaron seis imágenes capturadas por el satélite Landsat 5 TM a las que se le practicaron clasificaciones supervisadas y posteriormente se aplicaron modelos para realizar un análisis multi-temporal del área de estudio, utilizando el software ERDAS Imagine. La estimación realizada en base al procesamiento de las imágenes de satélite reflejó en gran medida los resultados del Censo General Agropecuario del año 2000. Estos resultados

#### **Abstract**

One of the most important factors of risk in agricultural production consists of adverse climate events (droughts, floods, ground frost, etc.), related to climate change and variability. A modern “adaptation” approach for coping with adverse climate events is to develop and implement anticipatory actions commonly named “risk management” strategies. To develop this kind of strategies, reliable and updated information on land use, location of agricultural areas, and crop status monitoring is crucial. The aim of this work was to explore the use of Landsat satellite images to locate and estimate winter field crop areas in the livestock agriculture production region of Uruguay. The study area was composed of the Departments of Colonia, Soriano and Río Negro. To estimate the surface occupied by winter field crops, six Landsat 5 TM images were processed, using the ERDAS Imagine software, running the “supervised classification” method, and modeling multi temporal analyses. The estimation based on satellite image processing largely showed the results of the National Agricultural Census for the year 2000. These results lead to conclude that the use of remote sensing with satellite images is a tool of great potential and use for mapping and monitoring land use in Uruguay, contributing to the preservation of natural resources and ecosystems.

\* Recibido: agosto de 2011  
Aceptado: diciembre de 2012

permiten concluir que la utilización de la percepción remota con imágenes de satélite se presenta como una herramienta de gran potencial y utilidad para la determinación de áreas cultivadas, así como para el mapeo y monitoreo del uso de la tierra en Uruguay, contribuyendo a la preservación de los recursos naturales y los ecosistemas.

**Palabras claves:** Landsat, cultivos de invierno, teledetección, uso de la tierra.

## Introducción

Una de las circunstancias incontrolables y de mayor riesgo a las que se enfrenta el sector agropecuario la constituyen los eventos climáticos adversos (sequías, excesos hídricos, heladas, etc.) resultantes del cambio climático y la variabilidad. Un enfoque moderno de adaptación para enfrentar circunstancias climáticas adversas consiste en la formulación e implementación de medidas anticipatorias comúnmente denominadas estrategias de “gestión de riesgos” (conservación de forrajes, ajustes de la carga animal, ubicación y dimensionamiento de áreas cultivadas, diversificación de rubros, reservas de agua, aplicación de riego, implementación de sistemas de seguros o fondos de catástrofe, etc.). Para el desarrollo de tales medidas es un requisito básico disponer de información confiable, frecuente, actualizada del uso actual de la tierra, ubicación de los distintos rubros de producción y monitoreo frecuente de estas y otras variables.

La unidad de agroclima y sistemas de información (GRAS) del INIA, con la colaboración del Instituto Internacional de Investigación del Clima y Sociedad (IRI) de la Universidad de Columbia y en acciones conjuntas con otras instituciones nacionales e internacionales, ha venido colaborando desde 1998 en el desarrollo de un sistemas de información y soporte para la toma de decisiones (SISTD) enfocado principalmente a la prevención y manejo de riesgos en la producción agropecuaria, en particular asociados al clima. El desarrollo de la información y los productos del SISTD está fuertemente basado en la utilización y aplicación integrada de herramientas modernas. Es así que una de las actividades básicas consiste en identificar y explorar el uso de nuevas herramientas, tales como la teledetección, en particular a través de instrumentos satelitales.

**Key words:** Landsat, remote sensing, winter field crops, land use.

## Introduction

One of the riskiest and most uncontrollable circumstances faced by the farming sector is the adverse climate events (droughts, floods, ground frost, etc.) that arise as a result of climate change and variability. A modern “adaptation” approach for coping with adverse climate events is to develop and implement anticipatory actions commonly named “risk management” strategies (conservation of forage, adjusting animal burden, locating and measuring planted areas, diversification of specialties, water reserves, irrigation, implementation of insurance or catastrophe fund systems, etc.). In order to develop such measures, it is crucial to have reliable, frequent and updated information on the current land use, location of the different production specialties and frequently monitoring these and other variables.

The agroclimate and information systems unit (GRAS) of INIA, with the collaboration of Columbia University’s International Research Institute for Climate and Society (IRI) and along with other national and international institutions, has been working since 1998 on the development of an information and support system for decision-making (SISTD) focused mainly on risk prevention and management in farming, particularly related to climate. The development of information and SISTD products is strongly based on the integrated use and application of modern tools. Therefore, one of the basic activities consists of identifying and exploring the use of new tools, such as remote sensing, especially with the use of satellite instrumentation.

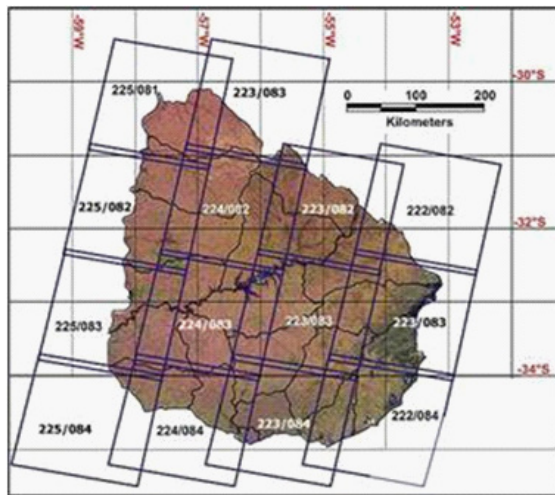
The aim of this investigation was to explore the possibility of using Landsat satellite images to locate and estimate areas used for winter field crops (mainly wheat and barley) in the agricultural and cattle farming areas of Uruguay.

For this task, we used images taken by the “Thematic Mapper” (TM) sensor mounted on the satellite Landsat 5 (USGS Landsat Project). The main characteristics of these images are: high space resolution (30 x 30 m average pixel size) and low time resolution, since the satellite’s visiting

El objetivo de esta investigación fue explorar la posibilidad de utilización de imágenes de satélites Landsat para ubicar y estimar áreas ocupadas por cultivos de invierno (trigo y cebada principalmente) en la región de producción agrícola ganadera de Uruguay.

Para la realización del trabajo se utilizaron imágenes capturadas por el sensor "Thematic Mapper" (TM) montado en el satélite Landsat 5 (USGS Landsat Project). Las principales características de estas imágenes son: alta resolución espacial (30 x 30 metros de tamaño medio de píxel) y baja resolución temporal ya que el satélite tiene una frecuencia de visita de 16 días (USGS-Landsat Project). Estas imágenes, por su resolución espacial, permiten realizar estudios a nivel de establecimientos y de chacras en particular.

Para cubrir el área de estudio se utilizaron en total 6 imágenes: "pasada" 225 "fila" 83, "pasada" 224 "fila" 83 y "pasada" 224 "fila" 84 (Figura 1), cada una en 2 momentos del año (invierno y primavera), (Cuadro 1).



**Figura 1. Cuadro de distribución de imágenes Landsat en Uruguay.**

**Figure 1. Chart to show the distribution of Landsat images in Uruguay.**

Este estudio se realizó con imágenes satelitales del año agrícola 1999 a fines de poder cotejar los resultados obtenidos con los datos relevados en el Censo General Agropecuario del Uruguay del año 2000 (MGAP - DIEA, 2001), el cual se realiza cada 10 años.

Para los procesos de clasificación realizados se contó con información observada de "tierra" proveniente de chacras de productores sembradas con cultivos de invierno en la

frequency is of 16 days (USGS-Landsat Project). These images, because of their space resolution, help carry out studies regarding particular establishments and farms.

In order to cover the study area, a total of six images were used: "pass" 225 "file" 83, "pass" 224 "file" 83 y "pass" 224 "file" 84 (Figure 1), each in 2 moments of the year (winter and spring), (Table 1).

**Cuadro 1. Listado de imágenes Landsat utilizadas en el estudio.**

**Table 1. List of Landsat images used in the study.**

Pasada	Fila	Fecha invierno	Fecha primavera
224	83	10/06/1999	16/10/1999
224	84	10/06/1999	16/10/1999
225	83	04/08/1999	21/09/1999

This study was carried out with satellite images from 1999 so as to be able to compare the results with data obtained in the Uruguayan National Agricultural Census for the year 2000 (MGAP-DIEA, 2001), which is carried out every 10 years.

For the classification processes, "ground" information was used, which was taken from farms with winter crops planted in the 1999 harvest time (Table 2); geographic location data was registered, along with species planted, cultivars, type and date of plantation and surface planted with each.

**Cuadro 2. Chacras de cultivos de invierno de las cuales se obtuvo la información observada de tierra.**

**Table 2. Winter crop farms from where the observed ground information was taken.**

Departamento	Productores	Chacras	Sup. cultivo (ha)
Colonia	4	16	535
Río Negro	8	41	1.720
Soriano	6	21	1.545

The software ERDAS Imagine Version 8.4 (ERDAS Inc., 2000) was used for processing the satellite images.

To estimate the surface used for winter field crops in the 1999 harvest time, a multitemporary analysis (more than one day) in the area under study (Sawaya *et al*, 2001), taking as a premise that in June, July, and early August, the winter crops of wheat and barley are in the phase of

zafra 1999 (Cuadro 2), registrándose datos de ubicación geográfica, especie sembrada, cultivares, tipo y fecha de siembra y superficie sembrada de cada una.

Para el procesamiento de las imágenes satelitales se utilizó el software ERDAS Imagine Versión 8.4 (ERDAS Inc., 2000).

Para realizar la estimación de la superficie ocupada por cultivos de invierno de la zafra 1999 se realizó un análisis multi-temporal (más de una fecha) del área de estudio (Sawaya *et al.*, 2001), tomando como premisa que en los meses de junio, julio y principios de agosto los cultivos de invierno trigo y cebada están en la fase de siembra - germinación - inicio de crecimiento y en los meses de primavera (septiembre y octubre) se encuentra con vegetación abundante y en activo crecimiento. Esto permite distinguir, por comparación de imágenes del mismo sitio pero de dos fechas distintas, cultivos de invierno (trigo y cebada) de pasturas permanentes o verdeos de invierno, ya que estos dos últimos en invierno (junio, julio y principios de agosto) se encontrarían con vegetación abundante, a diferencia del trigo y la cebada.

En primer término se procedió a realizar una clasificación supervisada (Walsh and Burk, 1993, Nezry *et al.*, 1995) de las 6 imágenes satelitales (p225r83, p224r83 y p224r84, de los meses de invierno y primavera). En este tipo de clasificaciones, el operador "guía" al sistema ERDAS indicando las clases que se quieren obtener finalmente. De tal forma, para cada una de las 6 imágenes se identificaron las siguientes clases: 1) agua; 2) monte artificial; 3) monte natural; 4) campo natural; 5) cultivo; y 6) rastrojo y barbechos. Este proceso se realizó para el área correspondiente a los Departamentos de Colonia, Soriano y Río Negro, excluyendo de cada imagen el resto del área no perteneciente a dichos departamentos, por medio de marcaciones de AOIs (área de interés). Para la identificación de la clase 'cultivo' en las imágenes de primavera se utilizó como base la información observada de chacras de productores de los tres departamentos, las otras clases fueron identificadas por "clasificación visual" en la pantalla. Como resultado se obtuvieron tres imágenes clasificadas de invierno y otras tres de primavera.

Posteriormente utilizando el módulo "Spatial modeler" del software ERDAS Imagine (ERDAS Imagine, 1999), se realizó un modelo para cada uno de los sitios de captura del satélite. Estos modelos comparan las imágenes de primavera y de invierno de cada sitio de captura, creando la clase "cultivo de invierno" que comprende aquello que fue clasificado como "cultivo" en las imágenes de primavera y como "rastrojo y barbecho" (sin vegetación) en las imágenes de invierno, obteniendo como resultado de esta combinación una nueva imagen para cada sitio de captura.

planting -germination- early growth, and in the spring (September and October), plants are abundant and in active growth. This helps to differentiate, by comparison of images of the same sites in different days, winter crops (wheat and barley) from permanent grasslands or winter greens, since the two latter in winter (June, July and early August) would have abundant vegetation, unlike wheat and barley.

First of all, a supervised classification (Walsh and Burk, 1993, Nezry *et al.*, 1995) was carried out for the six satellite images (p225r83, p224r83 and p224r84, in the spring and winter months). In this type of classifications, the operator "guides" the ERDAS system, indicating the types of classes needed in the end. In this way, the following classes were identified for each of the 6 images: 1) water; 2) artificial forest; 3) natural forest; 4) natural field; 5) cultivation; y 6) stubble and fallows. This was carried out for the departments of Colonia, Soriano and Río Negro, excluding from each image the rest of the area that does not belong to these departments, using AOI (Areas of Interest) markers. The information observed for small farms in all three departments was the basis to identify the 'crop' in the springtime images, the information; the other classes were identified by "visual classification" on the screen. As a result, three classified images were obtained for the winter and three others for the springtime.

Next, using the "Spatial modeler" of the software ERDAS Imagine (ERDAS Imagine, 1999), a model was created for each of the capture sites of the satellite. These models compare the images in spring and winter for each capture site, creating the class "winter crop" that includes all that was classified as a "crop" in the spring images and as "stubble and fallows" (no vegetation) in the winter images, and a new image was obtained as a result of this combination for each capture site.

Finally, two mosaics were created from the images taken by the models, containing the new class "winter crops". One for the departments of Soriano and Río Negro with the images of the sites p225r83 and p224r83, and another for the department of Colonia with the images of the sites p225r83 and p224r84. In both mosaics, the image of the capture site p225r83 was superimposed on the other. These mosaics were used to obtain the final data on the estimation of the area for winter crops for each of the three departments in the area under study.



Por último se analizaron dos mosaicos a partir de las imágenes generadas por los modelos conteniendo la nueva clase “cultivos de invierno”. Uno para los departamentos de Soriano y Río Negro con las imágenes de los sitios p225r83 y p224r83 y otro para el departamento de Colonia con las imágenes de los sitios p225r83 y p224r84. En ambos mosaicos, la imagen del sitio de captura p225r83 se superpuso sobre la otra. Estos mosaicos se utilizaron para obtener los datos finales de la estimación del área de cultivos de invierno, para cada uno de los tres departamentos del área de estudio.

Como primer resultado de los procesos realizados, se obtuvo la ubicación geográfica de las chacras ocupadas con cultivos de invierno en el área de estudio (Figura 2).

Posteriormente se determinó la superficie (ha) total ocupada por los cultivos de invierno en cada departamento (Cuadro 3). La estimación del área de cultivos de invierno realizada por teledetección se comparó con el área de cultivos de invierno relevada en el Censo General Agropecuario del año 2000 (MGAP-DIEA, 2001) (Cuadro 4).

**Cuadro 3. Área estimada por teledetección de cultivos de invierno, total por departamento.**

**Table 3. Area estimated by remote sensing of winter crops, total per department.**

Departamento	Área estimada por teledetección (ha)
Colonia	61 131
Río Negro	70 490
Soriano	100 111

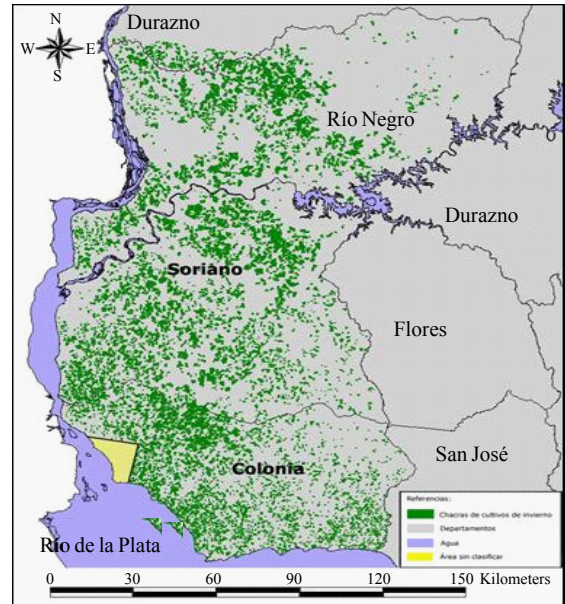
**Cuadro 4. Comparación del área de cultivos de invierno estimada por teledetección y la relevada por el Censo General Agropecuario del año 2000 realizado por DIEA - MGAP.**

**Table 4. Comparison of the area of winter crops estimated by remote sensing and by the National Agricultural Census for the year 2000, carried out by DIEA - MGAP.**

Departamento	Área estimada por teledetección (ha)	Área relevada censo 2 000 (ha)	Diferencia Teledetección-censo (%)
Colonia	61 131	55 234	10%
Río Negro	70 490	68 698	3%
Soriano	100 111	106 600	-6%

De este análisis comparativo, se desprende que la estimación realizada en base al procesamiento de las imágenes de satélite Landsat reflejó en gran medida los resultados del

As a first result of the processes carried out, the geographic location was obtained for the farms with winter field crops in the study area (Figure 2).



**Figura 2. Ubicación de las chacras clasificadas como “cultivo de invierno” en los departamentos de Colonia, Soriano y Río Negro.**

**Figure 2. Location of farms classified as “winter crops” in the departments of Colonia, Soriano and Río Negro.**

Later, the total surface (ha) used for winter crops in each department was calculated (Table 3). The estimation of the area of winter crops carried out by remote sensing was compared to the area of winter crops estimated by the National Agricultural Census for the year 2000 (MGAP-DIEA, 2001) (Table 4).

From this comparative analysis, we can infer that the estimation based on the processing of the Landsat satellite images largely reflects the results gathered by the 2000

relevamiento del Censo General Agropecuario 2000, siendo ésta la información oficial de mayor precisión que ostenta en la actualidad en Uruguay. Las diferencias observadas están dentro de los valores esperados para este tipo de tecnología de estimación por medio de sensores remotos con resoluciones espaciales como las imágenes utilizadas en este estudio (Bauer *et al.*, 2004).

## Conclusiones

En base a los resultados obtenidos se puede concluir que la estimación de superficie ocupada por cultivos de invierno utilizando teledetección arrojó resultados prácticamente asimilables a aquellos obtenidos por los relevamientos realizados por la Dirección de Estadísticas Agropecuarias de Uruguay. Es así que la aplicación de la tecnología de percepción remota satelital se presenta como una herramienta de gran potencialidad y utilidad, no sólo para la estimación de la localización y de la superficie ocupada por cultivos (González Alonso *et al.*, 1997), sino también para el mapeo y monitoreo del uso de la tierra en áreas de producción agrícola del Uruguay, contribuyendo así a la preservación de los recursos naturales y los ecosistemas.

## Literatura citada

- Bauer, M. E.; Heinert, N. J.; Doyle, J. K. and Yuan, F. 2004. Impervious surface mapping and change monitoring using landsat remote sensing. ASPRS Annual Conference Proceeding, May 2004, Denver, Colorado.
- ERDAS Imagine. 1999. Installation Guide. ERDAS Worldwide Headquarters. Atlanta, GA.
- ERDAS Inc. 2000. ERDAS Imagine 8.4 user manual.
- González-Alonso, F.; Cuevas, J. M.; Arbiol, R. and Baulies, X., 1997. Remote sensing and agricultural statistics: crop area estimation in north-eastern Spain through diachronic Landsat TM and ground sample data. *J. Remote Sensing*. 18(2):467-470.

National Agricultural Census, the latter being the most accurate official information currently available in Uruguay. The differences observed are within the values expected for this type of estimation technology using remote sensors with spatial resolutions, such as the images used in this study (Bauer *et al.*, 2004).

## Conclusions

Based on the results obtained, we can conclude that the estimation of surfaces used for winter crops using remote sensors gave results practically assimilable to those obtained by the Dirección de Estadísticas Agropecuarias de Uruguay (Uruguayan Agricultural Statistics Board). Therefore, using remote satellite technology is presented as a tool of great use and potential, not only for the estimation of the location and the surface used for crops (González Alonso *et al.*, 1997), but also for mapping and monitoring the use of land in farming areas in Uruguay, thus contributing to preserving natural resources and ecosystems.

*End of the English version*



- MGAP-DIEA, 2001. Censo General Agropecuario 2000. MGAP, DIEA, Uruguay. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/diea/CENSO2000/censo\\_general\\_agropecuario\\_2000.htm](http://www.mgap.gub.uy/diea/CENSO2000/censo_general_agropecuario_2000.htm).
- Nezry, E.; Rémondère, S.; Solaas, G. and Genovese, G., 1995. Mapping of next season's crops during the winter using ERS SAR. *In: ESA Earth Observation Quarterly*. 50:1-5. December 1995.
- Sawaya, K.; Yuan, F. and Bauer, M. 2001. Monitoring landscape change with Landsat classifications. *En Proceedings, ASPRS 2001. Annual Convention*, 23-27 April. St. Louis, Missouri.
- USGS-Landsat Project. Disponible en <http://landsat.usgs.gov/>.
- Walsh, T. A. and Burk, T. E. 1993. Calibration of satellite classifications of land area. *Remote Sensing of Environment*. 46(3):281-290.