

UTILIZACIÓN INTEGRADA DE TELEDETECCIÓN Y MODELACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CULTIVOS Y ESTIMACIÓN FUTURA DEL RENDIMIENTO DE GRANO

Agustín Giménez¹, Walter Baethgen², Adrián Cal¹, Pietro Ceccato², Guadalupe Tiscornia¹, Andrés Pisón³

¹Unidad GRAS, INIA ; ²IRI, Universidad de Columbia; ³Asesor privado



INTRODUCCIÓN

Comúnmente los gobiernos y productores agropecuarios enfrentan los eventos climáticos adversos implementando medidas de “manejo de la crisis”. En muchos casos la implementación de este tipo de medidas para responder a las crisis implica un costo muy elevado para el Estado y la sociedad. Un enfoque más actual para enfrentar circunstancias climáticas adversas consiste en la formulación e implementación de medidas anticipatorias denominadas estrategias de gestión de riesgos.

El desarrollo de Sistemas de Información y Soporte para la Toma de Decisiones (SISTD) que contribuyan a la gestión de riesgos asociados al clima aparece como otro elemento clave para la prevención y gestión de los riesgos climáticos en la producción agropecuaria.

La Unidad de Agroclima y Sistemas de información (GRAS) de INIA y el Instituto Internacional de Investi-

gación en Clima y Sociedad (IRI), de la Universidad de Columbia, han venido trabajando conjuntamente en el desarrollo de este tipo de sistemas de información. Los mismos están basados en la utilización de herramientas y métodos modernos para el monitoreo y diagnóstico de la situación actual y pronósticos a mediano plazo del estado de cultivos y pasturas.

En este artículo se presenta un resumen de parte de los resultados obtenidos en el proyecto “Desarrollo de un Sistema de Monitoreo y Pronóstico de la Producción de Cultivos para la Previsión y Manejo de Riesgos Climáticos”, ejecutado conjuntamente por el GRAS y el IRI, así como también de actividades realizadas en el marco del proyecto “Desarrollo de un Sistema Nacional de Información Agropecuaria (SNIA)” del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) y del proyecto “GRAS 08: contribución al SNIA” del INIA. En todos los casos, las actividades fueron llevadas a cabo por el equipo técnico interinstitucional INIA GRAS – IRI – MGAP SNIA.

IDENTIFICACIÓN DE CULTIVOS

Una de las actividades desarrolladas consistió en explorar y ajustar metodología y procesos para la identificación de los principales cultivos de secano del país (soja, maíz y cereales de invierno) utilizando imágenes satelitales de alta resolución de los sensores Hyperion y LANDSAT y de mediana resolución del sensor MODIS.

En base a un muestreo de campo realizado en el verano del 2012, se definieron las firmas espectrales de diferentes cultivos, focalizando en maíz y soja.

Basado en estas observaciones se construyó un modelo de clasificación para separar maíz de soja. Los resultados del modelo se presentan en la Figura 1 e indicaron que el modelo fue capaz de distinguir estos cultivos con una precisión del 82 %.

El trabajo se focalizó con mayor énfasis en la identificación de cultivos y seguimiento de su estado con la utilización de imágenes del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) de la NASA.

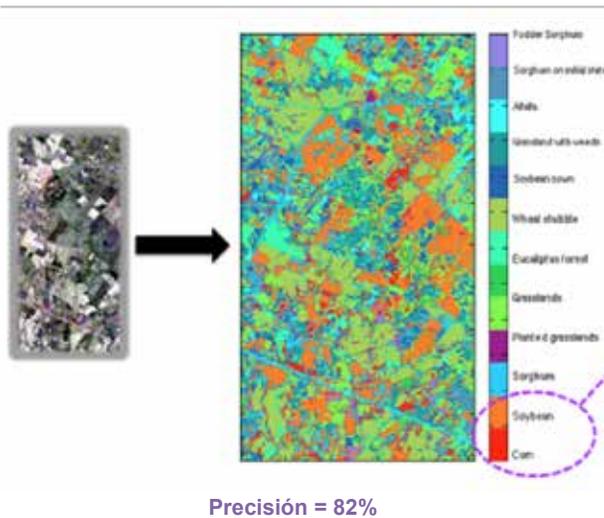


Figura 1 - Ejemplo de la clasificación con Hyperion de diferentes coberturas incluyendo cultivos de maíz y de soja.

La ventaja de este instrumento es que tiene una frecuencia de pasaje (resolución temporal) diaria, por lo que la presencia de nubes es un problema relativamente menor, a diferencia de las herramientas de pasaje semanal o bisemanal como por ejemplo LANDSAT. La desventaja del MODIS en relación a esas otras herramientas es su menor resolución espacial.

El método basado en MODIS consistió en identificar los píxeles que tuvieran una firma fenológica característica de un cultivo extensivo de secano de verano (soja, maíz y sorgo) o invierno (trigo o cebada). La firma fenológica de una especie vegetal es la evolución del índice de vegetación (NDVI o EVI) a lo largo de su ciclo de crecimiento y desarrollo, es decir durante sus etapas vegetativa (germinación, emergencia, aparición y expansión foliar) y reproductiva (crecimiento y desarrollo floral, cuajado y llenado de grano, y senescencia).

Cada una de las diferentes coberturas y usos del suelo (cultivos, pasturas, agua, monte nativo, etc.) presentan una firma fenológica característica (Figura 2).

En una primera aproximación se intentó separar especies dentro de los cultivos de verano en base a firmas espectrales, pero fue evidente que con la resolución y amplitud de bandas de MODIS eso era muy poco factible. Por lo tanto la clasificación que se presenta permite clasificar píxeles que son "cultivo de verano" pero no permite diferenciar entre diferentes especies de cultivos.

Para validar los resultados de los modelos desarrollados se utilizaron los datos de las declaraciones de los productores para los Planes de Uso de los Suelos que fueron recabados por la Dirección de Recursos Naturales del MGAP.

Si bien es posible que exista un cierto grado de error en esa base de datos, también es muy posible que al considerar el total nacional, dicho nivel de error sea relativamente bajo (posiblemente menos del 10 %).

A pesar de la relativamente baja resolución espacial de los datos MODIS, los modelos fueron capaces de detectar una alta proporción de las áreas con cultivos anuales. Trabajando con cultivos de verano y cuando se agregaron los datos por sección policial, los modelos en base a MODIS tuvieron un comportamiento muy aceptable.

Sin embargo, cuando se comparó chacra a chacra, la correlación fue bastante menor y la capacidad de detección de cultivos cayó considerablemente. Es así que los modelos MODIS solamente detectaron 51 % del área que había sido declarada como cultivo de verano en los planes de uso de suelos del MGAP.

En el trabajo con imágenes LANDSAT se realizó un proceso de clasificación basado en el mismo principio que el trabajo realizado con MODIS, identificando secuencias de índices de vegetación que emularan la evolución de los cultivos de verano e invierno, así como las coberturas previas a los mismos. Se realizó una clasificación no supervisada de las imágenes y se definieron dos clases: "cultivos" (verano o invierno, en cada caso) o "no-cultivos". Basados en esa clasificación, luego se clasificó como cultivos de verano o de invierno a las secuencias que emulaban el desarrollo de cada tipo de cultivo.

Por ejemplo, una secuencia típica de "Soja de primera" sería: clase "cultivo" en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero y clase "no cultivo" antes de noviembre y después de marzo. De tal manera, se definieron secuencias de clases "cultivo - no cultivo" para emular secuencias tales como las presentadas en la Figura 2.

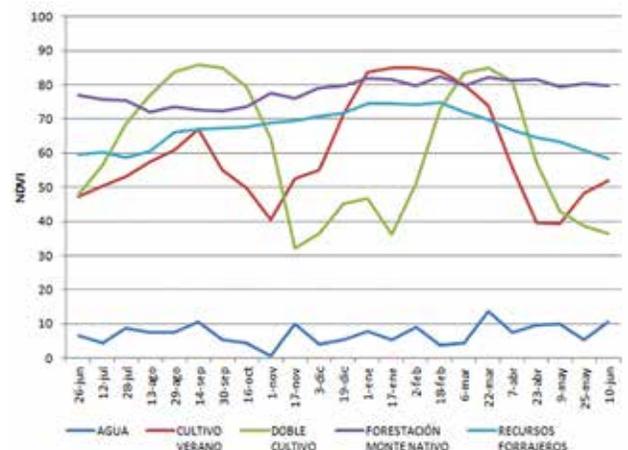


Figura 2 - Firmas fenológicas características de las principales coberturas y usos del suelo.

COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS

Para la evaluación de los métodos aplicados a alta resolución (chacra) se utilizaron los siguientes indicadores:

% Acierto: Número de hectáreas (ha) clasificadas como cultivos de verano y que habían sido declaradas como cultivos de verano en los planes de uso del suelo dividido por el número de ha declaradas en la Dirección de Recursos Naturales como cultivos de verano (mejor valor posible = 100 %).

% Falsas Alarmas: Número de ha clasificadas como cultivos de verano y que no habían sido declaradas como cultivos de verano en los planes de uso del suelo dividido por el número de ha declaradas en la Dirección de Recursos Naturales como cultivos de verano (mejor valor posible = 0 %).

% No Detectadas: Número de ha no clasificadas como cultivos de verano y que habían sido declaradas como cultivos de verano dividido por el número de ha declaradas en la Dirección de Recursos Naturales como cultivos de verano (mejor valor posible = 0 %).

Índice Crítico de Detección: Aciertos / (Aciertos + Falsas Alarmas + No Detectadas) (mejor valor posible = 100 %).

En el Cuadro 1 se presenta un resumen de la comparación de los resultados obtenidos con MODIS y con LANDSAT.

El mejor comportamiento del método que utilizó imágenes LANDSAT posiblemente se deba, al menos en parte, a la mayor resolución espacial. Sin embargo, es posible que el método de realizar a priori una clasificación no supervisada de “cultivo” vs. “no cultivo” también haya contribuido a mejorar la detección. Un problema que tiene el método de “modelos” tal como el que se utilizó con MODIS, es que hay que definir valores críticos del índice de vegetación que se está usando para separar “cultivos” de “no cultivos” y los modelos son muy sensibles



al valor que se le asigna a esos niveles críticos. Por esta razón, el siguiente paso en el trabajo en este tema será utilizar una clasificación no supervisada con imágenes MODIS (es decir, aplicar el método que se usó con imágenes LANDSAT a las imágenes MODIS).

ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO DE GRANO DE CULTIVOS

Los pronósticos de cosecha constituyen una información fundamental para la toma de decisiones y la planificación a nivel de regiones y de país. En regiones con problemas de seguridad alimentaria, los pronósticos de cosecha permiten anticiparse a posibles problemas de escasez de alimentos y a mejorar la planificación para recibir ayuda externa y distribuirla con tiempo. En regiones sin problemas de seguridad alimentaria, como Uruguay, los pronósticos de cosecha permiten prever y planificar aspectos de logística (transporte, almacenamiento de granos), así como de comercialización e

Cuadro 1 - Comparación de resultados usando MODIS y LANDSAT.

			Mejor valor posible
GRAS / IRI Verano (MODIS)	Aciertos	51%	100%
	No detectados	49%	0%
	Falsas alarmas	39%	0%
	Índice crítico	37%	100%
IRI Verano (LANDSAT)	Aciertos	79%	100%
	No detectados	21%	0%
	Falsas alarmas	31%	0%
	Índice crítico	58%	100%

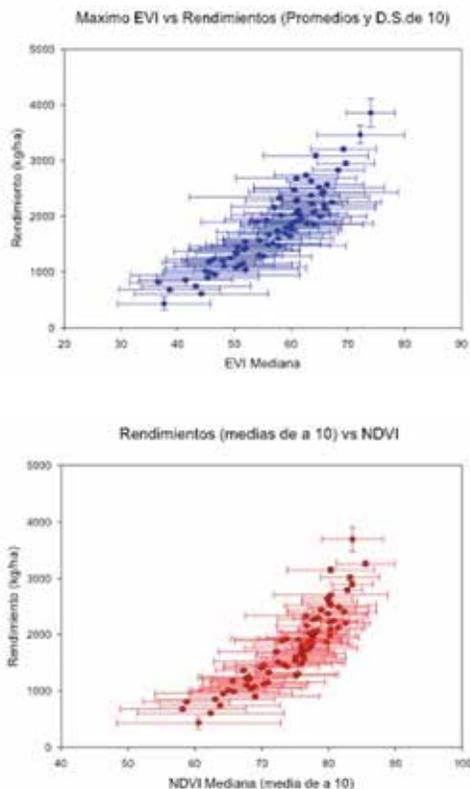


Figura 3 - Ejemplos de resultados encontrados en la relación de índices de vegetación de la imagen compuesta de 16 días MODIS 049 (17 de febrero al 5 marzo) y los rendimientos de grano de soja.

ingresos ya sea a nivel de empresa como del Estado. La elaboración de pronósticos de cosecha necesita dos elementos fundamentales: (a) la detección de cultivos y la determinación de áreas sembradas de cada uno de ellos, y (b) los rendimientos esperados en cada área sembrada con cada cultivo.

Los avances para el paso (a) se describieron en la sección anterior. En esta sección se describen resultados para el paso (b).

RELACIÓN ENTRE ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y RENDIMIENTOS DE SOJA

El objetivo de este trabajo fue explorar la posibilidad de utilizar valores de índices de vegetación (NDVI, EVI) durante la floración del cultivo de soja para estimar el rendimiento de grano a cosecha. Para ello, se obtuvieron datos georreferenciados de rendimiento de varias chacras de empresas privadas. Se trabajó entonces con valores de NDVI y de EVI de MODIS en varias fechas durante la floración y se exploró la relación entre dichos valores y los rendimientos finales de soja para un grupo de chacras en la zafra 2011/12. Se experimentó con diferentes métodos (todos los puntos, medias de 10 puntos ordenados por rendimientos, medianas de 10 puntos ordenados por rendimientos).

En la Figura 3 se presentan ejemplos de los resultados obtenidos.

En base a lo promisorio de los resultados, se ajustaron modelos de regresión con rendimiento de soja como variable dependiente y tres variables independientes: máximo EVI, mediana EVI (grupos de 10), mediana de NDVI (grupos de 10). Utilizando estos modelos de regresión se elaboraron mapas de pronóstico de rendimiento para soja en distintas zafras. En la Figura 4 se presenta un ejemplo de los resultados obtenidos de estimación de rendimiento de soja en la zafra 2013/14. La media de rendimiento a nivel nacional estimada con este modelo al momento de floración fue similar a la estimación de rendimiento nacional realizada por la OPYPA del MGAP pos cosecha.

MODELOS DE SIMULACIÓN

Los modelos de simulación del “Decision Support System for Agrotechnology Transfer” (DSSAT) de trigo, soja y maíz fueron calibrados para cultivares utilizados en Uruguay. Se calibraron cultivares de trigo de ciclo intermedio y largo, de maíz de diferentes ciclos y de soja de diferentes grupos de madurez, todos ellos bajo un amplio rango de épocas de siembra. Los datos observados para la calibración de los coeficientes fenológicos provinieron de los experimentos de evaluación de cultivares del convenio INIA-INASE.

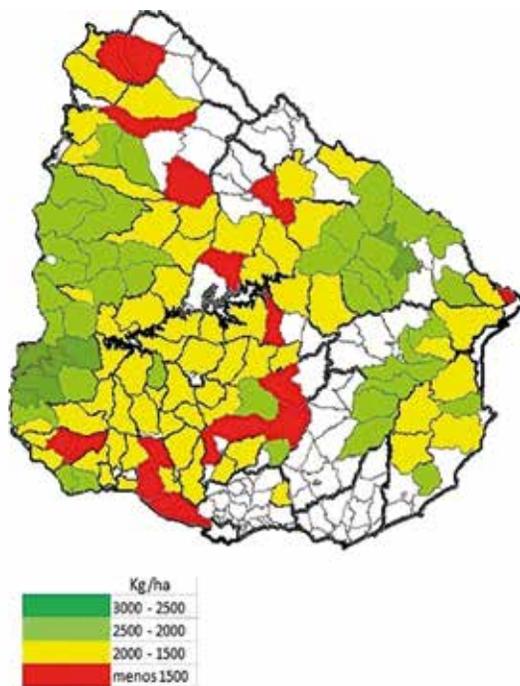
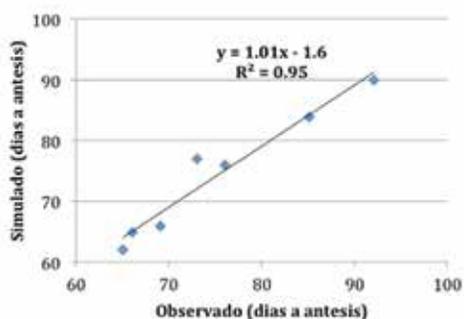
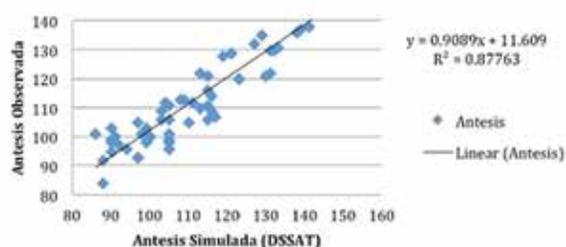


Figura 4 - Estimación de rendimiento (kg/ha) de soja promedio por sección policial en las zafra 2013/14 en base al modelo de NDVI en una muestra de área de cultivos de verano estimada por teledetección de 1.250.000 hectáreas.

- (a) Trigo de ciclo intermedio: días a floración
- (b) Maíz ciclo medio: días a floración



Días a Antesis: Simulada (DSSAT) VS Observada



- (c) Soja: días a floración vs Grupo de Madurez

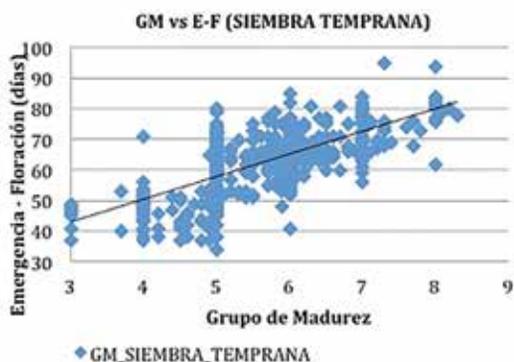


Figura 5 - Ejemplos de resultados en la calibración de cultivos de trigo, maíz y soja.

A título de ejemplo, en la Figura 5 se presentan resultados de la calibración de diferentes cultivares de trigo, maíz y soja.

Asimismo, se realizaron corridas de los modelos con el fin de estimar rendimientos para diversas fechas de siembra y condiciones de cultivo.

En las Figuras 6 y 7 se ejemplifican estimaciones de rendimiento potencial de trigo y soja, respectivamente.

COMENTARIOS FINALES

Los resultados obtenidos muestran claramente la alta potencialidad del uso de herramientas, como la teledetección y los modelos de simulación, para la estimación de áreas, seguimiento del estado y estimación de rendimientos de los cultivos.

Esta línea de trabajo está siendo continuada en el marco del proyecto “Desarrollo y Adaptación al Cambio Climático (DACC)” del MGAP, dentro del cual se promueve el desarrollo de un Sistema Nacional de Información Agropecuaria (SNIA), y en el proyecto “GRAS 08: Contribución al SNIA” de INIA. En el marco de dichos proyectos, el grupo INIA GRAS–IRI–MGAP continúa ajustando los modelos y ampliando los resultados presentados en este artículo.

Trigo ciclo intermedio: estimación de potencial de rendimiento en siembras el 10, el 20 y el 30 de junio.

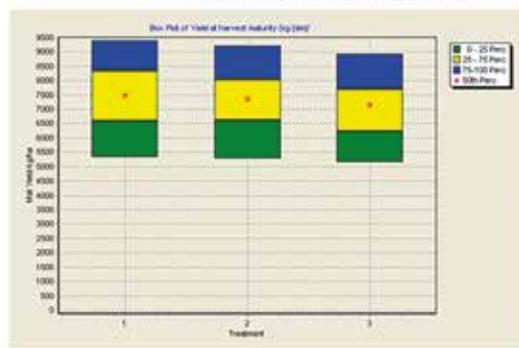


Figura 6 - Estimación del rendimiento potencial de trigo de ciclo intermedio en tres fechas de siembra, (el * marca el percentil 50).

Soja grupo de madurez 5: estimación de potencial de rendimiento en siembras cada 15 días desde el 15 setiembre al 31 de enero

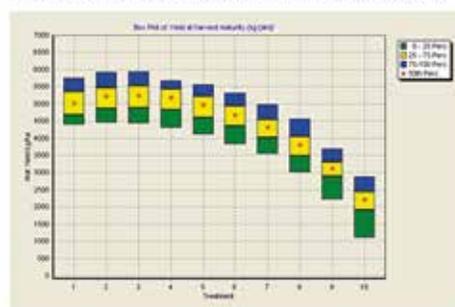


Figura 7 - Estimación del rendimiento potencial de soja grupo de madurez 5 en varias fechas de siembra, (el * marca el percentil 50).