

# Desarrollo de una aplicación para estimar el nivel de rendimiento de una leguminosa

N. Ponti González, M.B. D'Amico (directora), and G.L. Calandrini (director)

Depto. Ingeniería Eléctrica y de Computadoras, Universidad Nacional del Sur  
San Andrés 800, Bahía Blanca, Argentina  
pontinicanor.uns@gmail.com, mbdamico@uns.edu.ar, calandri@criba.edu.ar

**Resumen** El objetivo de este proyecto es desarrollar una aplicación que permita estimar el rendimiento de la leguminosa *Vicia Villosa Roth* (VV) utilizando imágenes satelitales proporcionadas por Sentinel 2 y algoritmos de *machine learning*. Para entrenar y validar el modelo predictivo se cuenta con información recopilada en varios lotes y en varias campañas. El manejo de datos e imágenes se realiza en el entorno de la plataforma Google Earth Engine. Se busca que el modelo obtenido clasifique cada píxel en tres categorías de rendimiento: bajo, medio y alto. Los usuarios tendrían acceso a una interfaz intuitiva que les permitiría seleccionar parámetros, realizar un seguimiento del cultivo a través de un índice de vegetación y construir un mapa con la categoría esperada de rendimiento.

**Keywords:** aplicación · predicción · rendimiento

## 1. Introducción

El uso de satélites para la supervisión y gestión de cultivos desempeña un papel cada vez más importante en la agricultura moderna [1-3]. Las nuevas generaciones de satélites ofrecen una resolución temporal, espacial y espectral que permite trabajar con una notable precisión en áreas extensas como a nivel de lote y hacer seguimiento detallado de los cultivos. En este trabajo se comunican los resultados preliminares de un proyecto final de carrera cuyo objetivo es desarrollar una aplicación que, mediante monitoreo remoto, pueda estimar el rendimiento de una leguminosa varias semanas antes de la cosecha.

La aplicación utiliza imágenes satelitales gratuitas del programa *Sentinel 2* para calcular los índices de vegetación. Además, emplea un modelo construido mediante *machine learning* para estimar los rendimientos. En esta etapa inicial, el prototipo se entrenó con datos de rendimiento del cultivo de *Vicia Villosa Roth* (VV) medidos en lotes ubicados en la zona de Cnel Pringles. La aplicación opera mediante la selección de una geometría en un mapa, la elección del índice de vegetación y el año de la campaña que se desea estimar. Posteriormente, devuelve la misma geometría coloreada por píxel representando las diferentes categorías (baja, media y alta) de rendimiento de VV.

Este proyecto surge con el propósito de brindar apoyo y colaboración a un grupo multidisciplinario de investigadores, compuesto por ingenieros electrónicos, agrónomos y geógrafos. Dicho grupo se encuentra estudiando la leguminosa

VV, caracterizada por la alta variabilidad en la producción de semillas en la zona y dentro de un mismo lote [3,4].

## 2. Descripción de la aplicación

La aplicación está orientada al cálculo de distintos índices de vegetación (IV) sobre un área definida dentro de la imagen satelital. Hasta el momento, cuenta con la posibilidad de calcular los índices NDVI, EVI, NDWI, SAVI y SR que resultan de la combinación de las bandas espectrales registradas por los satélites y se utilizan para monitorear el estado de la cubierta vegetal [1,5]. Basados en estos índices, se tiene la opción, por un lado, de construir la serie temporal de los mismos en un periodo de tiempo elegido. Dicha curva se obtiene realizando el promedio de los valores sobre el área definida. Por otro lado, se está trabajando en la incorporación de la predicción de rendimientos de cultivos. En particular, los desarrollos están enfocados ahora a la leguminosa VV.

Cuando se abre la aplicación se puede ver un panel interactivo a la izquierda de la pantalla y un mapa en el centro. Si se opta por realizar el gráfico de un IV, el mismo aparecerá debajo del mapa. Los parámetros que el usuario puede configurar en ese caso son una fecha inicial y otra final, elegir el porcentaje de nubes máximo permitido en la imagen satelital, seleccionar el IV que desea y elegir una geometría (polígono o rectángulo) con la cual se dibujará el área del mapa a analizar. Una vez presionado el botón de “Graficar”, si todo está correcto, el programa nos devolverá un gráfico con las fechas de las imágenes que el satélite aportó para dicho análisis en el *eje x* y los valores resultantes del índice en el *eje y*. Además, se superpone en el mapa una capa en el lugar de la geometría que ilustra un promedio del índice de vegetación a partir de las imágenes utilizadas.

Por otro lado, si se elige la opción de estimar el rendimiento del cultivo de VV, se abrirá un panel a la derecha con información sobre los resultados. La clasificación realizada mediante el modelo entrenado y validado previamente se reflejará sobre el área de interés pintando cada pixel según el nivel de rendimiento obtenido. El desarrollo del modelo implementado se detalla en la próxima sección.

Al ejecutar la aplicación, se configuran los parámetros y se elige entre graficar un índice o predecir un rendimiento. Luego, se controlan internamente varios procesos. Por ejemplo, se comprueba que la fecha inicial no sea posterior a la final y que haya imágenes satelitales disponibles con el filtro de nubes configurado para la zona de estudio. De no cumplirse con alguno de los estados, el programa emite un aviso en pantalla. Para obtener la colección de imágenes requerida, se aplican máscaras que mejoran los resultados. Una de ellas trabaja sobre el porcentaje de nubes permitido y los píxeles oscuros que podrían ser sombras. La otra identifica posibles áreas urbanas dentro de la geometría y calcula el porcentaje en el área total de estudio.

### 3. Desarrollo del modelo predictivo

Gracias a la tecnología actual, se tuvo acceso a información georreferenciada recolectada por cosechadoras en varios lotes de la zona de Cnel Pringles durante la campaña 2021-2022 de la leguminosa VV. Esta extensa cantidad de puntos se procesó utilizando el software QGIS, un sistema de información geográfica de código abierto y libre. Dentro de esta plataforma, se visualizaron los atributos de cada punto y se generó una nueva columna para clasificarlos según su rendimiento. Se establecieron tres categorías o clases: bajos (menos de 600 kg/ha), medios (600-800 kg/ha) y altos (más de 1000 kg/ha). Luego, los puntos se dividieron aleatoriamente en un 70 % para el conjunto de entrenamiento y el 30 % restante para validación, y se exportaron en formato *.shp* para poder ser utilizados en el entorno de Google Earth Engine [6].

Ya en este entorno, se creó un apilamiento (o *stack*) que contiene los valores del índice para diferentes fechas dentro del ciclo fenológico del cultivo (de agosto a noviembre de 2021) y dentro del área correspondiente a la nube de puntos brindados por las cosechadoras. Luego, se definió la función “training data”, que contiene los valores del stack en las ubicaciones determinadas por los polígonos de entrenamiento. Cada muestra incluye los valores de las bandas de la imagen apilada en la ubicación de la geometría y la propiedad especificada (en este caso, “Clase”). Con los datos de entrenamiento listos, se procedió a crear un clasificador basado en Random Forest utilizando la implementación proporcionada por la biblioteca de clasificadores de Google Earth Engine (*smileRandomForest*). El modelo se entrenó utilizando un total de 50 árboles de decisión.

Finalmente, se realizó un procesamiento de datos similar pero esta vez utilizando el 30 % de los datos reservados para el conjunto de validación. En este escenario, se empleará la función ‘*classify()*’, que asignará una clase a cada muestra de los datos de prueba, basándose en el modelo entrenado previamente. Esto resultará en una nueva colección de datos donde la clase de rendimiento es ahora asignada por el modelo. Este nuevo conjunto de datos se compara con la clasificación original, permitiendo evaluar el desempeño del modelo mediante la matriz de confusión, los porcentajes de exactitud y el coeficiente kappa.

### 4. Primeros resultados

En la Fig. 1 se ilustra el funcionamiento actual de la aplicación, donde se observan los porcentajes de cada clasificación para un lote en estudio, con una exactitud del modelo de 0.5 y un coeficiente Kappa de 0.32. La interfaz permite una fácil interacción del usuario y muestra los resultados de la estimación del rendimiento en el área geográfica de interés. La aplicación funciona, pero el modelo obtenido sigue entrenándose para mejorar su precisión y confiabilidad, por lo que aún no ha sido evaluada por usuarios.

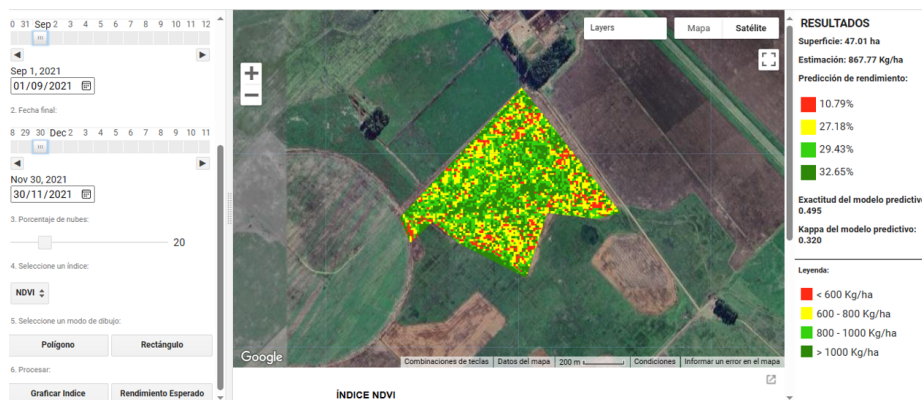


Figura 1. Interfase gráfica con los resultados preliminares.

## 5. Conclusiones

Se desarrolló una aplicación para estimar el rendimiento de la leguminosa VV mediante imágenes satelitales y algoritmos de machine learning, utilizando datos de la campaña 2021-2022 medidos en lotes de la zona de Cnel Pringles. Los primeros resultados son prometedores y por ello, se sigue mejorando el modelo para aumentar su precisión y confiabilidad en futuras predicciones de rendimiento en condiciones agrícolas similares. Además, se planea extender su aplicación a otras especies. Las estimaciones basadas en monitoreo remoto proporcionan una herramienta valiosa para la toma de decisiones y la planificación de estrategias que optimicen el uso de leguminosas según los niveles de rendimiento esperados.

## Referencias

1. Segarra J., Buchaillet M. L., Araus J. L. y Kefauver S. C.: Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications. *Agronomy* **10**(5), (2020).
2. Gumma M. K. y colegas: Crop type identification and spatial mapping using sentinel-2 satellite data with focus on field-level information. *Geocarto International*, **37**(7), 1833–1849 (2022).
3. Regalado Galván J. A., D'Amico M. B. y Calandrini G. L.: Análisis temporal de índices de vegetación satelitales en *Vicia villosa Roth*. En: *Anales del XXVIII Congreso Argentino de Control Automático*, 97–102, Buenos Aires, Argentina (2023).
4. D'Amico M. B., Marini F., Calandrini G. L., Renzi J. P. y Chantre G. R.: Relación entre los índices de vegetación satelitales y el nivel de rinde de la leguminosa *Vicia villosa Roth*. En: *Anales de la XX Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC2023)*, Oberá, Argentina (2023).
5. Hatfield J. L. y Prueger J. H.: Value of using different vegetative indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management practices. *Remote Sensing* **2**(2), 562–578 (2010).
6. Página web de Google Earth Engine. <https://earthengine.google.com/>.