

SENSORES ÓPTICOS Y RADAR PARA LA ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO EN MANÍ

de Lara Alfonso*; Fiant Silvina.
Bolsa de Cereales de Córdoba
adelara@bccba.org.ar

Introducción

Estimaciones de rendimiento previo a la cosecha son clave para una mejor toma de decisiones, especialmente para el cultivo de maní debido a la complejidad de su cadena productiva. Herramientas de teledetección se han utilizado con fines de aplicación en la agricultura por más de tres décadas (Bolton and Friedl, 2013). Estimaciones de rinde tanto a nivel regional como provincial se han desarrollado combinando la teledetección junto con técnicas de modelación de cultivos (Jin et al., 2018). Tal es el caso de los índices de vegetación calculados a partir de sensores ópticos, en particular el índice de vegetación normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés). Entre varios otros casos de éxito, Johnson (2016) logró estimar rendimientos de los diez commodities más importantes de Estados Unidos utilizando el índice NDVI. Sin embargo, escasa información sobre rendimientos en el cultivo maní ha sido documentada a la fecha. Este cultivo tiene la particularidad de tener que ser “arrancado” del suelo para adelantar y homogeneizar su maduración. Durante esta práctica, los órganos de cosecha quedan sobre la superficie, aunque sin actividad fotosintética. Es decir, indetectables por los índices de vegetación comúnmente utilizados. Con el advenimiento de satélites montados con tecnologías de radar de apertura sintética (SAR), de acceso global y libre, información sin precedentes se ha puesto a disposición de sus usuarios. Sin embargo, comparado a las tecnologías ópticas, el uso del SAR para aplicaciones en la agricultura ha sido poco desarrollado (Veloso et al., 2017). Los sensores ópticos y radar miden diferentes propiedades de los objetos presentes en la superficie terrestre. En cuanto a las coberturas vegetales, los primeros son más sensibles a los contenidos foliares, mientras que los radares son más sensibles a las formas o estructuras presentes. Es por esto que la hipótesis del presente trabajo es la existencia de una complementación entre señales satelitales ópticas y de radar a la hora de modelar el rendimiento de los cultivos, particularmente del cultivo de maní.

El objetivo de este estudio fue estimar el rendimiento de maní a nivel de lote combinando sensores ópticos con radares de apertura sintética.

Materiales y Métodos:

Área de estudio: Lotes de maní del sudoeste de la provincia de Córdoba campaña agrícola 2016-2017.

Datos de rendimiento: Rendimiento de maní seco y limpio para 18 lotes, campaña 2016-17 provistos por un colaborador productor manisero.

Datos ópticos: Se utilizaron 1445 imágenes adquiridas por el sensor MSI, a bordo de los satélites Sentinel-2 de la Agencia Espacial Europea (ESA), tamaño de píxel de 20 metros, colección Nivel 1-C. Para cada imagen se computó su NDVI, y se eligió el valor máximo registrado píxel a píxel dentro del período de análisis (1 de febrero al 15 de abril del año 2017). Luego se calculó el promedio de “NDVI máximos” dentro de cada lote de maní.

Datos radar: Se analizaron 108 imágenes comprendidas entre el 1 de enero al 30 de mayo del año 2017, provenientes del SAR montado en los satélites Sentinel-1 (ESA), banda C (longitud de onda de 5,6 cm), nivel de procesamiento “Detección de rango en el suelo” (GRD). El tamaño de píxel efectivo es de 10 metros. Para cada lote se calcularon los promedios mensuales (febrero, marzo y abril) de coeficientes de retrodispersión (dB) en las polarizaciones VV (transmite en vertical, recibe en vertical) y VH (transmite en vertical, recibe en horizontal). Solo se utilizó el modo “descendente” para homogeneizar la toma de datos.

Tanto las imágenes ópticas como las de radar fueron obtenidas utilizando la plataforma Google Earth Engine, la cual se encuentra totalmente en la nube. El procesamiento de las imágenes obtenidas, y la extracción de datos fue ejecutado en el software de sistemas de información geográfico ArcGIS versión 10.5.1 (Environmental System Research Institute, Redlands, CA).

Análisis estadístico: La exploración y análisis de datos fue llevado a cabo con el software R. Selección automática del mejor modelo fue ejecutada con la función “Dredge” del paquete para R “MuMIn”, el cual genera una lista de todos los posibles modelos ordenados por su poder explicativo. Particularmente, se utilizó el criterio de Akaike corregido por el tamaño de muestra (AICc).

Resultados y Discusión

El promedio de rendimientos de los lotes provistos por colaborador fue de 2625 kg/ha, y varió desde 799 kg/ha hasta 4462 kg/ha. A su vez, el índice NDVI (sin unidades) varió desde 0,75 a 0,89, con una media de 0,84. En cuanto a los datos SAR, para la polarización VH el mínimo fue -18,67 dB, máximo -14,05 dB y promedio -15,89 dB, mientras que para la polarización VV el mínimo fue -12,37 dB, máximo -8,65 dB y promedio -10,4 dB.

Se visualiza a continuación las correlaciones entre todas las variables (correlograma), lo que permite detectar posible colinealidad o redundancia entre ellas, es decir que describan el mismo fenómeno (Figura 1). El NDVI (NDVI_mean) tiene la mayor correlación con rendimiento, siendo ésta de 0,77. Le sigue la señal radar VV promedio de marzo (VV1617_MAR), con un valor de 0,61.

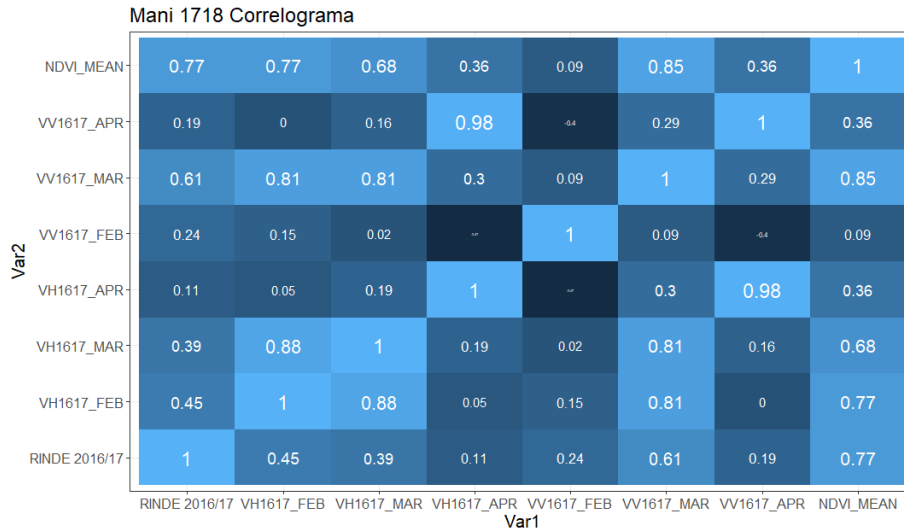


Figura 1. Correlograma de las variables utilizadas en el análisis.

La selección automática del mejor modelo arrojó el siguiente resultado:

$$\text{Rendimiento} = -21310,0141 + \text{NDVI} * 21464,25 - \text{VH1617_ABR} * 1936,92 + \text{VV1617_ABR} * 2525,23$$

El coeficiente de regresión (R^2) alcanzado es de aproximadamente 0,80, el cual demuestra una fuerte relación entre las variables seleccionadas y el rendimiento del cultivo. El error residual estándar (ERS) fue de 546,6 kg/ha. El mejor modelo eligió al NDVI, y la señal radar (dB) de abril, tanto en polarización VH como en VV. Si bien en la bibliografía es reconocida la variabilidad del NDVI respecto con la biomasa de los cultivos (correlación positiva), poca información de este estilo hay con respecto a la señal radar. Con el fin de obtener una mejor interpretación de estos resultados, se visualiza a continuación la variación temporal de la señal en dB desde principios de enero hasta fines de mayo del año 2017 (Figura 2).

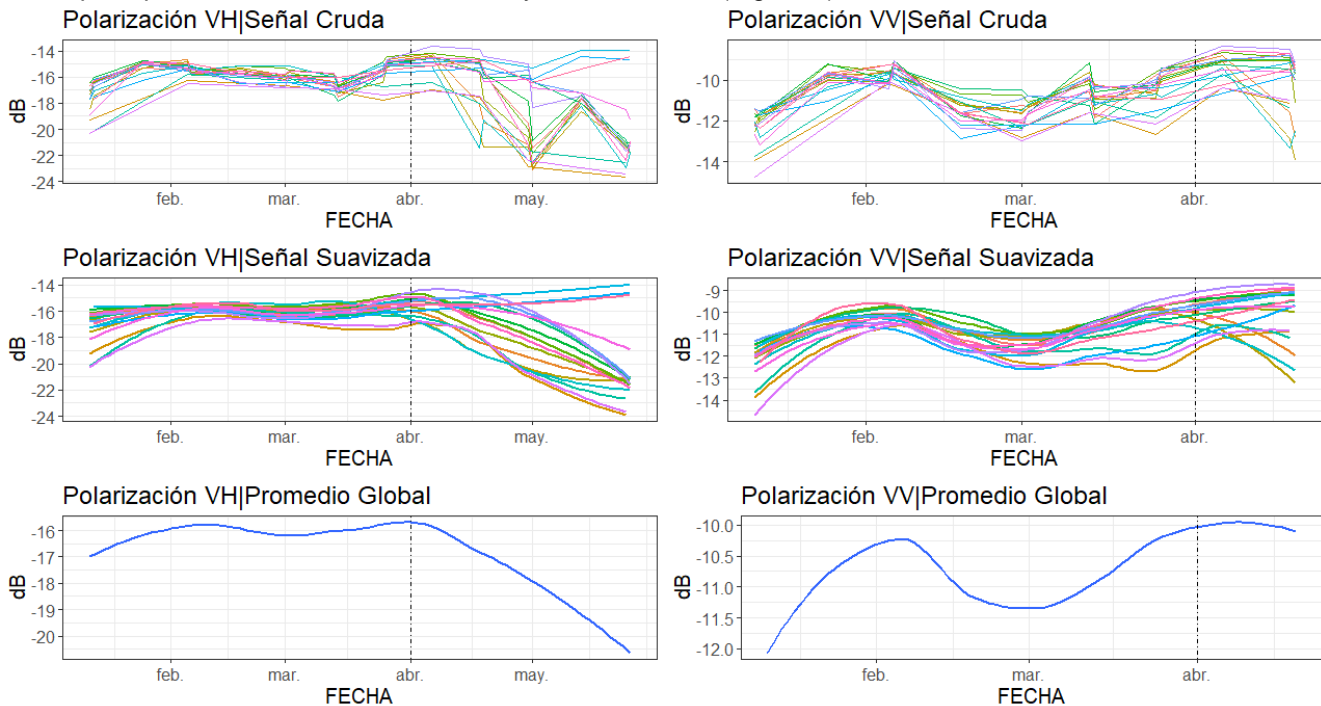


Figura 2. Evolución en el tiempo del coeficiente de retrodispersión (dB) radar de los lotes de maní desde enero a fines de mayo 2017, para las polarizaciones VH (izquierda) y VV (derecha). En la fila de arriba las señales directamente del sensor, al medio suavizadas y finalmente abajo el promedio de todos los lotes. Línea punteada vertical indica el primero de abril, período coincidente con el arrancado del cultivo de maní.

Finalmente se analizó el poder “predictivo” del modelo, es decir que tan bien estima el valor de rendimiento de un lote no incluido en la modelación. Debido a la poca cantidad de datos de verdad de campo (sólo 18 lotes), se

utilizó la técnica de “Validación cruzada dejando-uno-fuera por vez” (LOOCV), la cual maximiza el uso de la información. Como era esperable, el R^2 para “predecir” rendimientos ese mismo año cae, aunque solo de 0,80 a 0,71. Por otro lado el ERS aumenta de 546,6 kg/ha a 591,6 kg/ha. Ambos resultados indican un modelo relativamente estable ante la introducción de datos externos.

Cómo observamos en el correlograma (Figura 1), el NDVI (máximos registrados dentro de los lotes de maní) es la variable con mayor correlación con el rendimiento ($r= 0,77$ o $R^2= 0,59$). La selección automática de modelos seleccionó al NDVI combinado con las señales radar de abril en ambas polarizaciones (VH y VV) por sobre el modelo con sólo el NDVI ($R^2= 0,80$ vs $0,59$). Es decir que el radar está aportando información significativamente complementaria al NDVI a la hora de explicar los rendimientos (test de ANAVA, $p < 0.05$).

La selección del NDVI máximo se debe a que éste refleja fundamentalmente la biomasa adquirida por el cultivo durante la floración, período de máxima acumulación de materia seca. A su vez, la biomasa acumulada en este período tiene la mayor correlación con los rendimientos finales.

La señal radar en polarización VH tiende a ser mayor para los cultivos con gran follaje debido a la rotación de la señal que producen las hojas. Por otro lado, la señal en polarización VV tiende a ser mayor para cultivos erectos y/o estructuras verticales. Por ejemplo, un cultivo de maíz tiene mayor señal en VV que un cultivo de maní, debido a la presencia de tallos más gruesos y en disposición vertical. Al visualizar la variabilidad temporal de la señal radar (Figura 2), se observa una gran caída en la señal en VH a comienzos de abril (Figura 2, gráficos lado izquierdo, línea vertical indicando el primero de abril). Durante el mes de abril se realiza el “arrancado” o volteado del cultivo de maní, práctica de manejo necesaria para secar la planta previo a su cosecha. Esto sugeriría que esta práctica modifica las geometrías presentes en el lote, de tal manera que la señal en VH disminuye, principalmente debido a una superficie menos rugosa (comparado al cultivo en pie). Por el otro lado, la señal en VV se incrementa en este período. Esto se explicaría debido a que en el proceso de arrancado se “juntan” dos surcos en uno, por lo que queda una hilera con suelo desnudo y la siguiente con los dos surcos apilados, las cuales están a mayor altura que la superficie desnuda. Esta variabilidad en dirección vertical explicaría el incremento de la señal en polarización VV.

Conclusiones

El potencial de las técnicas de teledetección para la estimación de rendimientos de maní a nivel lote queda demostrado en los resultados de este trabajo. Particularmente, la sinergia que existe entre los sensores ópticos y de radar de apertura sintética, los cuales caracterizan diferentes propiedades de las coberturas vegetales. La combinación del NDVI con las señales de radar explicó los rendimientos con mayor exactitud que el NDVI por sí solo. Estos resultados confirman la hipótesis sobre una complementación entre ambos tipos de sensores a los fines de modelación del rinde del maní. El NDVI explicaría la biomasa aérea adquirida en floración (entre enero y marzo), período de definición de rendimientos. Por su parte, las señales de radar en VH y VV para el mes de abril estarían relacionadas a la biomasa en superficie presente luego del arrancado del cultivo. La señal VH se reduciría proporcionalmente a un mayor alisado de la superficie luego de arrancar, dar vuelta y apilar el cultivo en superficie. La señal VV se incrementaría proporcionalmente a la altura de los camellones o hileras con respecto a la superficie desnuda (entre surcos). Todas estas variables en su conjunto constituyeron los mejores estimadores del rendimiento para el total de los datos analizados. Para mejorar la estimación y/o predicción de rendimientos (disminuir error residual estándar y aumentar el coeficiente de regresión), se sugiere una recopilación de datos de rendimiento reales provenientes de años con diferentes condiciones ambientales durante el ciclo de producción (húmedos, secos, neutros), así como distribuidos en suelos de diferentes aptitudes agrícolas. De este modo, se podría obtener un modelo más representativo de la realidad.

Bibliografía

- Bolton, D.K. and M.A. Friedl. 2013. Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics. *Agricultural and Forest Meteorology* 173: 74-84.
- Johnson, D.M. 2016. A comprehensive assessment of the correlations between field crop yields and commonly used MODIS products. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 52: 65-81.
- Veloso, A., S. Mermoz, A. Bouvet, T. Le Toan, M. Planells, J.-F. Dejoux, et al. 2017. Understanding the temporal behavior of crops using Sentinel-1 and Sentinel-2-like data for agricultural applications. *Remote Sensing of Environment* 199: 415-426.