ID de la contribución : **6** Tipo : **no especificado**

Uso de índices espectrales para detectar el efecto de la profundidad de tosca en el cultivo de maíz

Uso de índices espectrales para detectar el efecto de la profundidad de tosca en el cultivo de maíz

Bongiorno C.V.1,*, J.A. Grosso1, J.M. Ressia1, L. Lázaro1

1 CIISAS Facultad de Agronomía (UNCPBA).
*Autor de contacto: cvb@faa.unicen.edu.ar; Rep. de Italia 780 (7300) Azul (BA).

PALABRAS CLAVE: Sentinel-2, índices espectrales, tosca.

RESUMEN:

El cultivo de maíz es uno de los más difundidos en la región pampeana y es conocido por su sensibilidad a factores de estrés, siendo el periodo crítico centrado en la floración el que más condicionará su productividad (Andrade, Aguirrazábal, & Rizzalli, 2000). La profundidad del suelo en muchas zonas productivas del sudeste bonaerense, se encuentra limitada por la presencia de una capa endurecida de carbonato de calcio (tosca) que modifica la profundidad de exploración radical y con ello la disponibilidad de agua y nutrientes. La determinación de la profundidad a la tosca y su distribución en el lote se realiza habitualmente insertando una sonda metálica en puntos situados en una cuadrícula de 50 x 50 m; esta metodología de medición demanda un arduo trabajo de campo. El uso de índices espectrales ha sido sugerido como una alternativa de estimación para esta variable. El objetivo de este trabajo fue analizar la sensibilidad de 26 índices espectrales a la profundidad del horizonte calcáreo en un cultivo de maíz, calculados de una imagen satelital Sentinel-2 obtenida en el periodo crítico del cultivo. Los índices evaluados fueron; NDVI842, NDVI783, GNDVI842, GNDVI783, CIRed-edge740, CIRed-edge705, CIgreen, IRECI, MTCI, SAVI842, SAVI783, REP, OSAVI842, OSAVI783, MCARI, TCARI, PsSRa842, PsSRa783, NDRE1, NDRE2, MCARI/OSAVI842, MCARI/OSAVI783, TCARI/OSAVI842, TCARI/OSAVI783, NDMI y MSI. De los índices evaluados, PsSRa842 y CIgreen fueron los que presentaron mayor grado de asociación (r=0,93) con la profundidad a la tosca.

INTRODUCCIÓN

La capacidad del suelo para almacenar agua determina su aptitud agrícola. El rendimiento del cultivo de maíz es afectado por estrés hídrico, principalmente a través de la fijación de número de granos (Lizaso, Batchelor, Westgate, & Echarte, 2003). El estrés hídrico, causa el cierre de los estomas e impide la fotosíntesis y la transpiración, lo que resulta en cambios en el color y la temperatura de las hojas (Nilsson, 1995). Otros síntomas de estrés hídrico incluyen cambios morfológicos como el acartuchamiento o el marchitamiento de las hojas debido a la pérdida de turgencia celular. Deficiencias de agua durante la polinización, producen la mayor disminución en la productividad de maíz, por lo que se considera a este período como crítico para el cultivo (Bergamaschi, y otros, 2004), mientras que si ocurren durante las etapas vegetativas se reduce la altura de las plantas y el desarrollo del área foliar (Cakir, 2004).

En el sudeste bonaerense la capacidad de almacenamiento y la profundidad de exploración de las raíces, suele estar restringida por la profundidad a la que se encuentra la tosca (PT) produciendo reducción en el rendimiento de los cultivos (Calviño & Sadras, 1999).

Construir mapas de PT y con ellos delimitar ambientes, contribuye a mejorar la rentabilidad del cultivo, más aún cuando ocurren deficiencias de precipitaciones (Forján & Manso, 2016). Para ello se realiza un muestreo con sonda de acero, siguiendo una “grilla”, georreferenciando cada punto e interpolando en un software (Ross, 2012). Esta es una tarea laboriosa que requiere además validación de los resultados para controlar la capacidad de predicción.

Una alternativa útil para aliviar esta tarea, es la utilización de índices espectrales (IV) calculados a partir de

imágenes satelitales. Ellos permiten estimar el estado de estrés de los cultivos y detectar los factores biofísicos que lo determinan (Rouse, Haas, Schell, & Deerin, 1974). Los IV utilizados más frecuentemente son NDVI y GNDVI, útiles para predecir IAF y nivel de biomasa. Otros pueden predecir el nivel de clorofila foliar y N en planta, como CIred-edge, CIgreen, REP, IRECI, MTCI, PsSRa, MCARI, TCARI, NDRE1, NDRE2, (Guyot & Baret, 1988). No obstante, existen otros IV propuestos que han manifestado distinto nivel de sensibilidad a cambios en el área foliar, estado nutricional y acumulación de biomasa (Hunt, y otros, 2008), como SAVI, OSAVI. También se han formulado índices para estimar el estrés hídrico, se destacan el NDMI y el MSI.
Los satélites Sentinel-2, ofrecen imágenes en distintas bandas, que permiten calcular los IV mencionados, con resoluciones espaciales de 10 x 10 m y 20 x 20 m.
El objetivo de este trabajo fue analizar la sensibilidad de 26 IV a la profundidad de tosca en un cultivo de maíz, calculados de una imagen satelital Sentinel-2 obtenida en el periodo crítico del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS
El experimento se realizó en un lote de producción del establecimiento agropecuario "La Tacuarita", ubicado en el partido de Azul provincia de Buenos Aires (Figura 1). El suelo corresponde a un Argiudol Petrocálcico (Soil Survey Staff, 2014), posee una capacidad de uso IIIs, con limitaciones por escasa profundidad por presencia de tosca. La medición de la PT se realizó, siguiendo una cuadrícula de 50 x 50 m (Figura 2), utilizando una varilla metálica de 1,5 m de longitud. Cada punto de muestreo fue georreferenciado con un navegador satelital "Garmin Etrex 20".

Figura 1. Ubicación del sitio de estudio. Latitud (-36,91121°), Longitud (-59,86442°).

Figura 2: Puntos de muestreo de profundidad de tosca

Figura 3: Puntos de muestreo de profundidad de tosca en parcelas
En el lote se realizó un barbecho químico con productos y dosis habituales. El cultivo de maíz se sembró, en forma directa, el 9/11/2019, luego de realizado el muestreo de PT, utilizándose el híbrido Dekalb 6910-VT3P con densidad uniforme de 65000 semillas ha-1. Se fertilizó a la siembra con 80 kg ha-1 de fosfato diamónico y en V6 (Ritchie & Hanway, 1982) con 135 kg ha-1 de urea granulada.
Se utilizó una imagen tomada el 8/2/2020 por el satélite Sentinel-2, con el cultivo en R2 (Ritchie & Hanway, 1982) para el cálculo de los IV en cada punto de muestreo de PT. Todos estos procesos fueron realizados con el software "QGIS 3.10.2". Con los datos obtenidos se realizó un análisis de correlación de Pearson entre IV y PT mediante el software Infostat (Di Rienzo, y otros, 2017).
Se analizaron 48 puntos de muestreo de PT para comparar con los IV que corresponden a dos parcelas de 1200 x 17 m (Figura 3). Las PT fueron promediadas por rangos de 10 cm.
Los índices calculados fueron; NDVI842, NDVI783, GNDVI842, GNDVI783, CIRed-edge740, CIRed-edge705, CIgreen, IRECI, MTCI, SAVI842, SAVI783, REP, OSAVI842, OSAVI783, MCARI, TCARI, PsSRa842, PsSRa783, NDRE1, NDRE2, MCARI/OSAVI842, MCARI/OSAVI783, TCARI/OSAVI842, TCARI/OSAVI783, NDMI y MSI.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN
Durante el ciclo del cultivo las precipitaciones fueron de 440 mm (Gráfico 1), un 21 % inferior a la media histórica (555 mm) (CRAGM). El crecimiento inicial del cultivo, se vio favorecido por las precipitaciones ocurridas previamente a la siembra.
Hasta enero, si bien existió un balance hídrico negativo, el cultivo no presentó estrés hídrico debido a utilización de reservas de agua del suelo. Hacia fines de enero, se presentaron condiciones de estrés, coincidentemente con la etapa crítica para la determinación del rendimiento (R1) (Andrade et al, 2000). Las zonas con menor profundidad de suelo habrían sufrido mayor estrés que las zonas con mayor profundidad.

Gráfico 1: Balance hídrico período 2019 - 2020 Est. "La Tacuarita"
La PT mínima determinada fue de 44 cm y la máxima de 131 cm, con lo que se establecieron 10 rangos de profundidades (Gráfico 2).
En las Tabla 1 y Tabla 2, se presentan las correlaciones obtenidas. De los IV evaluados, veintiuno presentaron correlaciones positivas (Tabla 1) y seis fueron negativas (Tabla 2). Dentro de los primeros, dos tuvieron R mayores a 0,93. Doce presentaron coeficientes comprendidos entre 0,90 y 0,93. Cinco presentaron coeficiente R comprendidos entre 0,70 y 0,89. MCARI y TCARI tuvieron muy bajas correlaciones, entre 0,11 y 0,22 (Tabla 1)

Tabla 1: Coeficientes r positivos entre IV y PT

Coeficientes de Correlación Positiva
IV r IV r
Ps SRa783 0.93 IRECI 0.91
CIgreen 0.93 CIrededge705 0.90
Ps SRa840 0.92 NDRE1 0.90
NDVI783 0.92 NDRE2 0.89
GNDVI783 0.92 NDMI 0.86
NDVI842 0.92 CIrededge740 0.81
SAVI842 0.92 MTCI 0.73

OSAVI842 0.92 REP 0.70
OSAVI783 0.92 MCARI 0.22
GNDVI840 0.92 TCARI 0.11
SAVI783 0.91

Dentro de los que presentaron correlaciones negativas, MSI presentó alta correlación, con un valor absoluto de 0,86. Dos presentaron correlaciones bajas con valores absolutos comprendidos entre 0,61 y 0,64 y dos presentaron correlación nula con valores absolutos entre 0,36 y 0,40 (Tabla 2).
De todos los IV evaluados, cuatro presentaron correlación nula con valores absolutos comprendidos entre 0,11 y 0,40.

Tabla 2: Coeficientes r negativos entre índices espectrales y profundidad de tosca
Coeficientes de correlación negativa
IV r
MCARI/OSAVI842 -0.36
MCARI/OSAVI783 -0.40
TCARI/OSAVI842 -0.61
TCARI/OSAVI783 -0.64
MSI -0.86

El IV PsSRa783, fue el que mejor correlacionó con PT (r=0,934; Tabla 1). Este IV fue desarrollado por (Blackburn, 1998a) para estimar el contenido de clorofila-a a escala de hoja y a nivel de dosel (Blackburn, 1998b). (McNairn, Deguise, Pacheco, & Shang, 2001) informaron la misma conclusión al estimar clorofila-a en maíz. Es un índice simple, fácil de calcular, sólo intervienen dos bandas, una longitud de onda en el NIR y otra en el Rojo. Con imágenes provenientes de SENTINEL-2, PsSRa783 se obtiene mediante la razón entre las bandas,7 (783 nm) y 4 (665 nm) (Frampton, Dash, Watmough, & James Milton, 2013).
CIgreen, fue el segundo IV con alto valor de correlación (r=0.932) Este, presenta alta correlación con el contenido de clorofila y ausencia de efecto de saturación, además estima con precisión el contenido de N (Schlemmer, y otros, 2013); (Clevers & Gitelson, 2013). El CIgreen también es de cálculo sencillo, como el anterior, es un índice simple donde sólo intervienen dos bandas, una de longitud de onda NIR y otra Verde. En este trabajo se utilizaron las bandas 7 y 3 de la imagen Sentinel-2 como lo proponen (Gitelson, y otros, 2003).

Gráfico 2: Mejores índices espectrales en función de profundidad de tosca
En líneas generales cuando se presentan condiciones de déficit hídrico, temperaturas elevadas y/o luz intensa habrá menor contenido de clorofila y debido al cierre de estomas una disminución en la tasa transpiratoria, limitando además, el proceso de fotosíntesis por disminución en la incorporación de CO2 a la planta (Taiz & Zeiger, 2002). Este funcionamiento de las plantas podría explicar la mayor sensibilidad manifestada por los índices PsSRa y CIgreen en este trabajo.

CONCLUSIONES
Los IV PsSRa783 y CIgreen, fueron los que mayor grado de asociación tuvieron con la profundidad de tosca. PsSRa840, NDVI783, GNDVI783, NDVI842, SAVI842, OSAVI842, OSAVI783, GNDVI840, SAVI783, IRECI, CIrededge705 y NDRE1, presentaron buena asociación con PT. Los IV NDRE2, NDMI, CIrededge740, MTCI, REP y MSI tuvieron menor asociación con PT. La elaboración de mapas a partir de estos índices, se plantea como herramientas promisorias para predecir la profundidad del perfil de suelo en lotes de cultivos de maíz.
Los índices TCARI/OSAVI842, TCARI/OSAVI783, MCARI, TCARI, MCARI/OSAVI842 y MCARI/OSAVI783 carecerían de capacidad de predicción de la profundidad del perfil del suelo.

AGRADECIMIENTOS
A César y Diego Quattroccio, por su colaboración en todas las etapas del cultivo, sin ellos no se hubiese podido realizar el ensayo. A Federico Bongiorno por la colaboración en el muestreo de tosca.

BIBLIOGRAFÍA
Andrade, F. H., Aguirrazábal, L. A., & Rizzalli, R. H. (2000). Crecimiento y rendimiento comparado. Em A. F. Sadras, Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja (V ed., pp. 61-96). Editorial Médica Panamericana S.A.
Bergamaschi, H., Dalmago, G. A., Bergonci, J. I., Menegassi Bianchi, C. A., Müller, A. G., Comiran, F., & Machado Heckler, B. M. (2004). Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 39(9), 831-839.
Blackburn, G. A. (1998a). Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: a test using senescent tree leaves. International Journal of remote sensing, 19(4), 657-675.
Blackburn, G. A. (1998b). Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales: an evaluation of some hyperspectral approaches. Remote Sensing Environmetal, 66(3), 273-285.
Cakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research, 89(1), 1-16.
Calviño, P. A., & Sadras, V. O. (1999). Interannual variation in soybean yield: interaction among rainfall, soil

depth and crop management. Field Crops Research, 63(3), 237-246.
Clevers, J. G., & Gitelson, A. (2013). Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and -3. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 23, 344–351.
CRAGM. (s.d.). Boletín Agrometeorológico del Centro Sur de la Provincia de BuenosAires. Datos de Azul centro. V. 26, 27, 28, 29. Fonte: http://www1.faa.unicen.edu.ar/centro/boletin.php
Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2017). InfoStat versión 2017. Córdoba, Córdoba, Argentina.
Forján, H. J., & Manso, M. L. (2016). Rotaciones y secuencias de cultivo en la región mixta cerealera del centro-sur bonaerense. INTA. Fonte: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_maiz_importancia_y_manejo.pdf
Frampton, W. J., Dash, J., Watmough, G., & James Milton, E. J. (2013). Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 82 , 83–92.
Gitelson, A. A., Viña, A., Arkebauer, A., Rundquist, D. C., Keydan, G., & Leavitt, B. (2003). Remote estimation of leaf index and green leaf biomass in maize canopies. Geophysical Research Letters, 30(5), 1248-1251.
Guyot, G., & Baret, F. (1988). Utilisation de la haute resolution spectrale pour suivre I'etat des couverts vegetaux. Proceedings, 4th International Colloquium "Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing (pp. 279-286). Paris: ESA Publication SP-287.
Hunt, E. R., Hively, W. D., Daughtry, C. S., McCarty, G. W., Fujikawa, S. J., Ng , T. L., & Yoel, D. W. (2008). Remote sensing of crop leaf area index using unmanned airborne vehicles. Proceedings of the Pecora, 17, pp. 18-20.
Lizaso, J. I., Batchelor, W. D., Westgate, M. F., & Echarte, L. (2003). Enhancing the ability of CERES-Maize to compute light capture. Agricultural Systems, 76, 293-311.
McNairn, H., Deguise, J. C., Pacheco, A., & Shang, J. (2001). Estimation of crop cover and chlorophyll from hyperspectral remote sensing. 23rd Can. Symp. Remote Sensing.
Nilsson, H. (1995). Remote sensing and image analysis in plant pathology. Annual review of phytopathology, 33(1), 489-528.
Ritchie, S. W., & Hanway, J. J. (1982). How a corn plant develops. Spec. Rep. 48. Rev. Iowa State University.
Ross, F. (2012). Determinación espacial de la profundidad de suelo (tosca) y su relación con el rendimiento de cultivo. Congreso de Valor Agregado en Origen, 1, pp. 1-3.
Rouse, J., Haas, R., Schell, J., & Deerin, D. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA special publication, 351(1), 309-317.
Schlemmer, M., Gitelson, A. A., Schepers, J. S., Ferguson, R. B., Peng, Y., Shanahan , J., & Rundquist, D. (2013). Remote estimation of nitrogen and chlorophyll contents in maize at leaf and canopy levels. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Publications. 771(25), 47-54. doi:10.1016/j.jag.2013.04.003
Soil Survey Staff. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos (XII ed.). Departamento de agricultura de los Estados Unidos.
Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). Fisiología del estrés. In Fisiología Vegetal (Vol. II). Castelló de la Plana, España: Universitat Jaume I.

Primary author(s) : Prof. BONGIORNO, Carlos Vicente (CIISAS Facultad de Agronomía (UNCPBA)); Prof. GROSSO, Javier Alejandro (CIISAS Facultad de Agronomía (UNCPBA)); Prof. RESSIA, Juan Manuel (CIISAS Facultad de Agronomía (UNCPBA)); Dr LÁZARO, Laura (CIISAS Facultad de Agronomía (UNCPBA))

Presenter(s) : Prof. BONGIORNO, Carlos Vicente (CIISAS Facultad de Agronomía (UNCPBA))

Clasificación de la sesión : E-3. TIG aplicada a procesos físico-ambientales

Clasificación de temáticas : E-3. TIG aplicada a procesos físico-ambientales