

G 13



XXVI
Congreso Argentino
de la Ciencia del Suelo
Boletín Anual de la Asociación Argentina de Suelos
Tucumán 2018



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROPECUARIA PERGAMINO
CENTRO DOCUMENTAL

5160

C3P16. USO DE ÍNDICES ESPECTRALES COMO DIAGNOSTICO DE NUTRICIÓN NITROGENADA EN CEBADA CERVECERA

Boero, José J.^{1,2,3*}, Federico Gomez¹, Pablo Prystupa^{1,2}, Susana Urricariet¹, Gustavo Ferraris⁴ y Flavio Gutierrez Boem^{1,2}

¹Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, UBA; ²INBA, CONICET-UBA; ³Universidad Nacional de Lujan; ⁴INTA EEA Pergamino

*Autor de contacto: Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453, CABA CP1417 josejboero@yahoo.com.ar

RESUMEN

El manejo de la fertilización nitrogenada debe ajustarse para lograr altos rendimientos y un adecuado contenido proteico (alrededor del 11%). Dicha práctica se basa en aplicaciones al inicio del ciclo (para aumentar rendimiento y proteína) y en antesis en bajas dosis, como complementaria a la aplicación basal, principalmente para incrementar proteína. Actualmente no hay una metodología ajustada para estimar la necesidad de fertilización complementaria para ajustar proteína. El uso de índices espectrales surge como una alternativa rápida y económica para diagnosticar la necesidad de fertilizar durante el ciclo del cultivo. Los objetivos de este trabajo fueron: Estimar el estado nutricional del cultivo en antesis y predecir el rendimiento y el contenido proteico a cosecha usando índices espectrales. Se realizaron 39 ensayos sobre cultivos comerciales, con 2 tratamientos: Control (Dosis de N usada por el productor); N 150 (150kg N ha⁻¹ en emergencia + N productor). En antesis se determinó: biomasa, concentración de N en planta, N absorbido, índice SPAD y se calcularon varios índices espectrales a partir de la reflectancia del cultivo medida con un sensor terrestre portátil (Cropscan MSR 16). A cosecha se midió rendimiento y contenido proteico. Se establecieron relaciones entre los parámetros medidos en antesis con rendimiento y proteína. Los índices espectrales NDVI, GNDVI, TCARI, OSAVI y REIP correlacionaron con biomasa, mientras que la concentración de N en biomasa solo se relacionó a SPAD relativo (SPAD control/SPAD N150). Los índices NDVI, GNDVI y OSAVI permitieron una adecuada estimación del rendimiento. Por otro lado, proteína solo tuvo una débil correlación con SPAD. Proteína se asoció al N disponible inicial (N-nitrato + N fertilizante) por unidad de rendimiento. Usando NDVI medido en antesis como estimador de rendimiento se pudo predecir satisfactoriamente el contenido proteico de los granos.

Palabras claves: sensores remotos, índices espectrales, proteína - cebada cervecera
fertilización nitrogenada

INTRODUCCION.

El uso de la fertilización nitrogenada en estadios avanzados del cultivo, cercano a antesis, surge como una alternativa para ajustar el contenido proteico en cebada cervecera y cumplir con los requisitos de calidad exigidos por la industria maltera. Como esta aplicación se realiza cuando ya ha transcurrido una buena parte del ciclo del cultivo y transcurrido el período crítico, se podría diagnosticar el estado nutricional del cultivo con mayor precisión que a la siembra-macollaje (Prystupa et al., 2004). La respuesta del cultivo a la aplicación de N en este momento del ciclo podría predecirse mediante la evaluación de variables del cultivo como la biomasa aérea, el N absorbido o la concentración del N en el cultivo. Estas variables pueden determinarse en forma directa, o estimarse a través de sensores remotos (radiómetros espectrales) (Clevers & Kooistra, 2012; Freeman et al. 2003; Thenkabail, et al. 2002).

A partir del uso de sensores multispectrales es posible generar numerosos índices que permiten evaluar distintos aspectos del canopeo de los cultivos (Hatfield et al., 2008). El NDVI (Rouse et al., 1973) es uno de los más usados. Gitelson et al., (1996) proponen al GNDVI como un mejor estimador de biomasa con alta cobertura vegetal. Otros índices que se han propuesto son el Índice transformado de la absorción de la clorofila TCARI y el Índice de vegetación ajustado por la reflectancia del suelo OSAVI (Rondeaux et al., 1996). A su vez, se pueden emplear combinaciones de estos índices como el cociente TCARI/OSAVI (Haboudane et al. 2002) y el cociente MCARI/MTVI2 (Eitel et al. 2007).

La relación entre el nitrógeno disponible (Nd) y el rendimiento (R) (Nd/R), es un buen estimador del contenido proteico en cebada. En una red experimental anterior se determinó que para alcanzar un contenido proteico óptimo para la industria maltera (entre 10 y 12%) se debe disponer entre 22 y 40 kg ha⁻¹ de N disponible por tonelada de rendimiento (Prystupa et al., 2008). Este modelo permite calcular el requerimiento de N para un rendimiento esperado. La limitación que tiene este procedimiento es que al comienzo del ciclo del cultivo no se puede realizar una buena estimación del rendimiento alcanzable, ya que este último depende de las condiciones ambientales durante el ciclo del cultivo. Dado que mediante índices espectrales se podría predecir el rendimiento con buena precisión, este modelo podría usarse para



estimar la necesidad de N considerando el estado nutricional del cultivo cercano al período crítico y, por lo tanto, obtener una mejor estimación que a la siembra.

Los objetivos de este trabajo fueron:

- Estimar el estado nutricional del cultivo en antesis mediante sensores remotos, a través de índices espectrales
- Predecir el rendimiento y contenido proteico del grano en cultivos de cebada cervecera a partir de índices medidos en antesis.
- Relacionar el cociente Nd/R con el contenido proteico y usarlo como predictor de necesidad de fertilización, usando el rendimiento estimado mediante índices.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 39 experimentos en el área del norte de la Provincia de Buenos Aires y sur de la provincia de Santa Fe, entre los años 2014 y 2016, sobre cultivos destinados a producción. Se usaron dos tratamientos: Control (sin fertilización adicional a la realizada por el productor a la siembra) y N150 (150 kg N ha⁻¹ en 2 hojas- inicio de macollaje; sin limitación de N). Los sitios experimentales se encuentran descritos Boero *et al.* (2018). Para este trabajo se realizaron las mediciones con sensores remotos y SPAD. En la semana previa a antesis se determinó el índice de verdor mediante un clorofilómetro (Minolta SPAD 502) en la anteúltima hoja en 20 plantas por parcela. Se calculó el valor de SPAD relativo de la siguiente manera: SPAD Control/SPAD N150. Se midió la reflectancia del cultivo con un radiómetro multispectral portátil (CropScan MSR16, Rochester, EE.UU.), que permite medir la reflectancia del cultivo en 16 bandas comprendidas entre los 450 y 1600 nm. A partir de las lecturas obtenidas se calcularon varios índices espectrales (Clevers & Kooistra, 2012; Thenkabail *et al.*, 2000; Eitel, 2008; Haboudane, 2002): NDVI (Rouse *et al.*, 1973); GNDVI; OSAVI; TCARI y REIP. En antesis se determinó la biomasa aérea mediante cosecha, la concentración de N en el material vegetal, por colorimetría sobre digestos Kjeldahl, y el N absorbido.

La cosecha a madurez se realizó en forma manual y se trilló en trilladora estacionaria. Sobre las muestras obtenidas se determinó la concentración de N del grano (y proteína multiplicando este valor por 6.25). Se realizaron análisis de regresión entre los índices espectrales y las variables medidas tanto en antesis como en cosecha final.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación de los índices espectrales medidos en antesis con la biomasa y la concentración de N en planta.

La biomasa del cultivo en antesis se relacionó significativamente con los siguientes índices evaluados: NDVI, GNDVI, OSAVI y REIP (Figura 1). En todos los casos las funciones cuadráticas presentaron mejor ajuste que las funciones lineales. El NDVI mostró el mejor ajuste ($R^2=0.60$), siendo este resultado similar a lo observado por otros investigadores tanto para cebada como trigo (Freeman, 2003; Fox, 2008; Hatfield, 2002). Este índice tendió a saturarse en altos valores de biomasa. El GNDVI y el OSAVI, propuestos como alternativa al NDVI por su menor tendencia a saturarse no mejoraron el ajuste ($R^2=0.56-0.58$). Por otra parte, REIP también reportado como buen estimador de biomasa (Redel & Zubillaga, 2014), mostró una menor tendencia a saturarse con valores altos de biomasa, aunque su ajuste fue menor que el de los índices anteriores. La concentración de N en la biomasa aérea no se relacionó con la mayoría de los índices probados. Solo se observó una relación con el SPAD relativo y el REIP del tratamiento control (Figura 2). La medición del índice SPAD relativizada a un tratamiento suficiente de N permite eliminar los efectos ambientales y de cultivar (Wienhold & Krupinsky, 1999). La falta de relación entre los índices espectrales y esta variable podría deberse principalmente a la alta sensibilidad de los índices a la cobertura por parte del cultivo. Por lo tanto, diferencias en la cobertura del suelo, debida a factores ambientales y prácticas de manejo, que fueron variables entre los sitios, podrían haber afectado esta relación. Estas observaciones coinciden con lo reportado en otros trabajos, donde se establecieron relaciones entre los índices y la concentración de N en planta a nivel local, bajo las mismas condiciones de cultivo, mientras que a nivel regional el ajuste fue más débil (Eitel, 2008; Haboudane *et al.*, 2002).

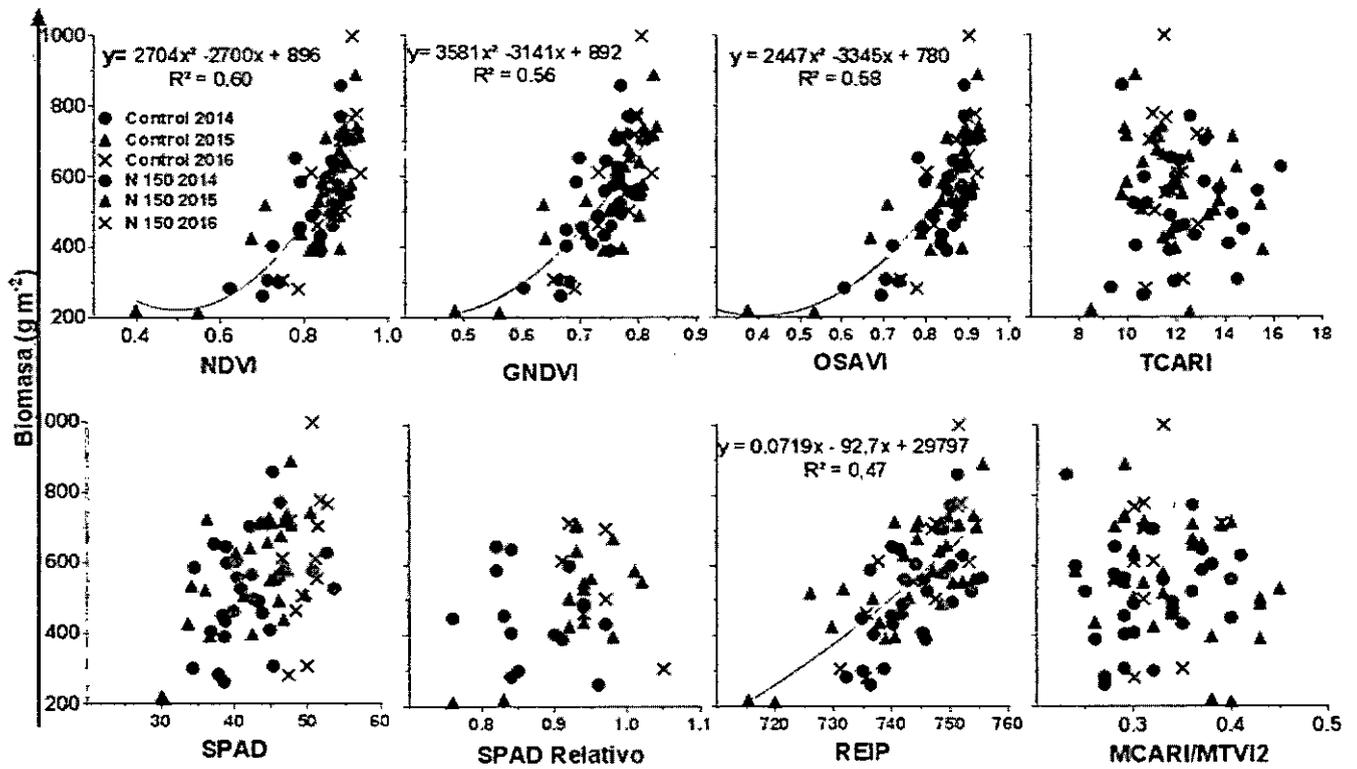


Figura 1: Relación de la biomasa del cultivo en antesis con los índices espectrales y SPAD

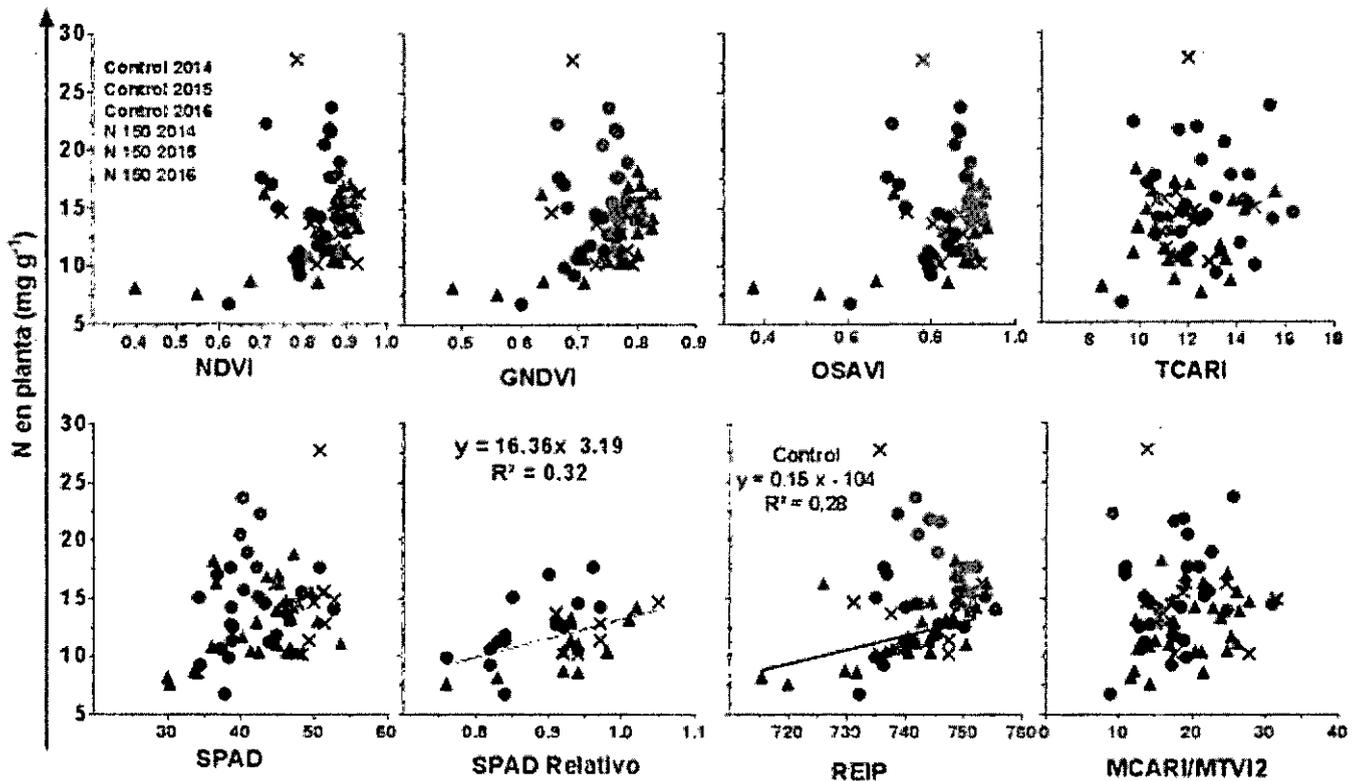


Figura 2: Relación de la concentración de N en planta en antesis con los índices espectrales y SPAD. Las regresiones para SPAD relativo y REIP fueron ajustadas solo al tratamiento control.



Relación de los índices espectrales medidos en antesis con el rendimiento y contenido proteico en grano

El rendimiento estuvo asociado a varios de los índices evaluados, siendo el NDVI y GNDVI los que mostraron un mejor ajuste. Las funciones que lograron los mejores ajustes fueron cuadráticas, excepto para REIP (Figura 3). Los índices que mejor ajustaron con el rendimiento fueron los que mejor se relacionaron con la biomasa en antesis.

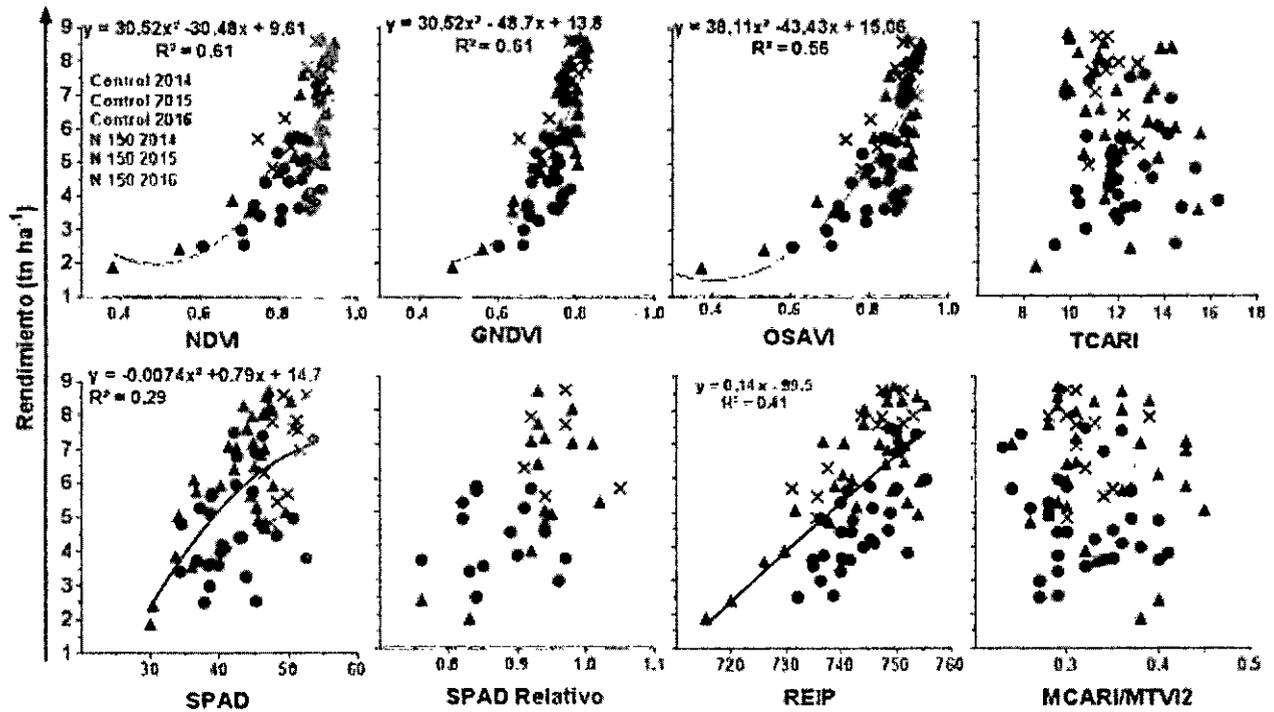


Figura 3: Relación entre el rendimiento del cultivo con los índices espectrales y SPAD.

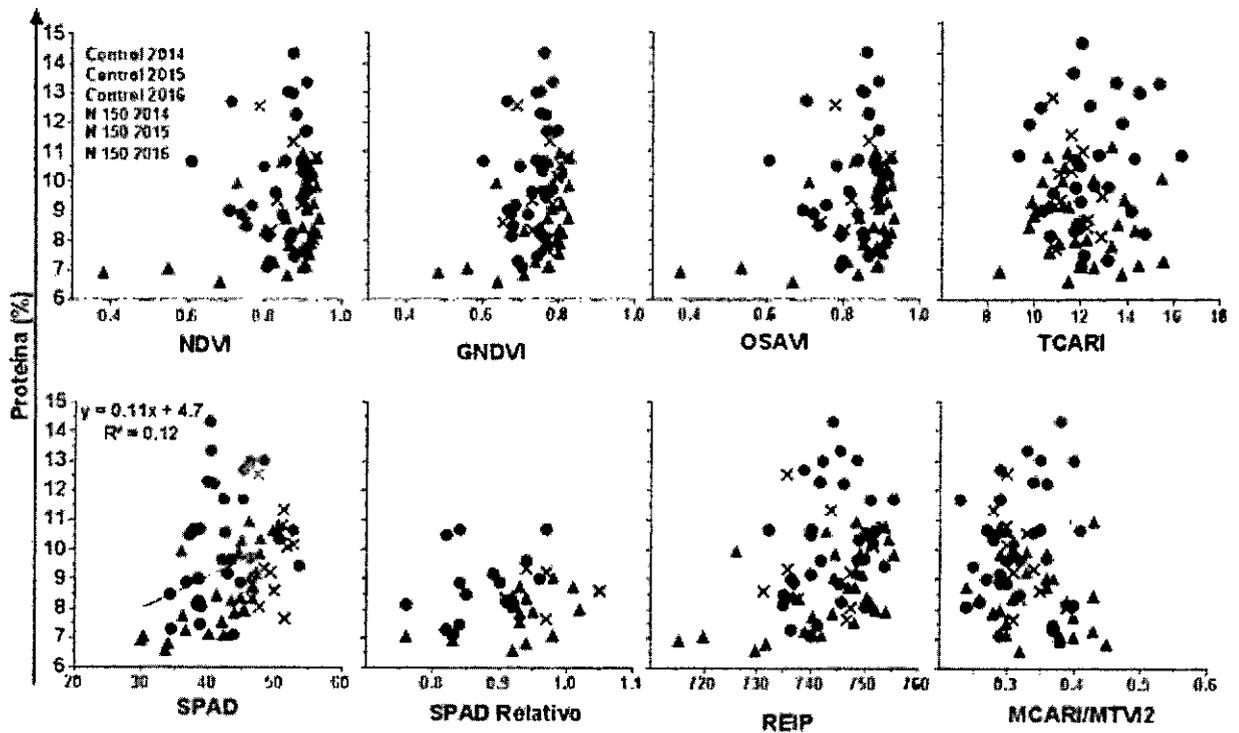


Figura 4: Relación entre el contenido proteico en grano con los índices espectrales y SPAD



El contenido de proteína en grano no mostró relación con ninguno de los índices espectrales. Sólo la medición de SPAD se relacionó débilmente con la proteína (Figura 4). La falta de relación observada puede deberse por un lado, a que ninguno de los índices probados se relacionó con la concentración de N en planta en antesis. Como se observó previamente (Boero *et. al.* 2018, este Congreso), el contenido proteico de los granos estuvo relacionado con la concentración de N en la etapa de antesis. En el caso del SPAD relativo y REIP, si bien se asociaron a la concentración de N en antesis para el grupo control, no mostraron relación con la concentración de proteína de los granos.

Relación entre el N disponible con el rendimiento y contenido de proteína, uso del rendimiento estimado en antesis como diagnóstico.

La concentración de proteína de los granos estuvo relacionada al N disponible para el cultivo (sumatoria del N en el suelo como nitrato más el N agregado en el tratamiento N150) ($R^2 = 0.34$, $p < 0.01$) (datos no mostrados) y en mayor medida el cociente Nd/R (N disponible por unidad de rendimiento, $R^2 = 0.47$, $p < 0.01$) (Figura 5). Este cociente permitió explicar la concentración de proteína mejor que el N disponible debido a que considera la dilución de la proteína debido al incremento de rendimiento. A partir de la función obtenida se puede calcular la cantidad de N necesaria para lograr un contenido proteico deseado para un rendimiento logrado. Con la regresión observada se calculó que se requieren entre 32.8 y 47.1 kg de N por tn de rendimiento para obtener contenidos proteicos de 10 y 11%, respectivamente. Los valores obtenidos fueron superiores a los observados en una red anterior por Prystupa *et. al.* 2008, que fueron de 22 y 40 kg de N por tn de rendimiento. El rendimiento puede estimarse en antesis mediante alguno de los índices que se relacionaron a esta variable según lo descrito en la Figura 3. Usando la relación entre NDVI y rendimiento (Rendimiento = $25.71 * (NDVI)^2 - 24.66 * NDVI + 7.98$, Figura 5), se puede estimar en antesis el rendimiento del cultivo. Se encontró una relación significativa entre el N disponible por tonelada de rendimiento estimado con el contenido de proteína ($R^2 = 0.40$; $p < 0.01$), por lo que el rendimiento estimado en antesis puede ser usado para predecir la concentración de proteína de los granos. Según la relación obtenida, se deben disponer entre 28.7 y 39.9 kg de N por tonelada por tonelada de rendimiento predicho mediante NDVI para lograr contenidos de proteína entre 10 y 11% respectivamente.

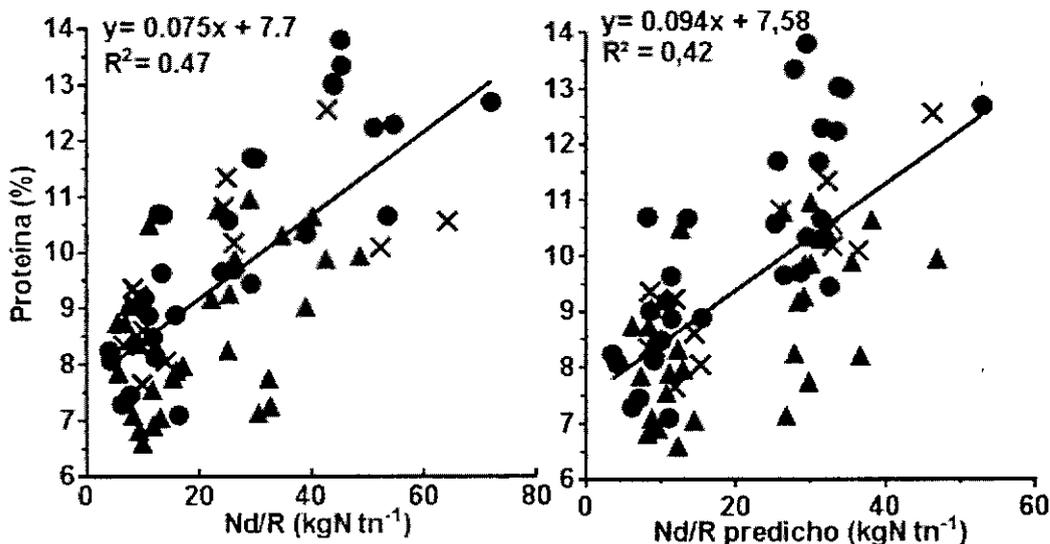


Figura 5: Proteína en función del N disponible por tonelada de rendimiento (Nd/R) (Izquierda) y proteína en función del N disponible por tonelada de rendimiento predicho mediante NDVI medido en antesis (Derecha).

CONCLUSIONES

En antesis, varios de los índices espectrales se relacionaron con la biomasa del cultivo, y el NDVI fue el que logró el mejor ajuste. Por otro lado, no se observó una relación entre la concentración de N del cultivo y ninguno de los índices. Sólo se pudo ajustar el índice SPAD y REIP para el grupo de tratamiento control. Una estrategia para mejorar el ajuste sería agrupar los datos por alguna variable, ya sea ambiental o de cultivo, para disminuir la interferencia de otros factores diferentes a la nutrición nitrogenada.

El rendimiento se relacionó a varios de los índices probados, y el NDVI mostró el mejor ajuste. La concentración de proteína sólo se relacionó débilmente a SPAD. Dado que proteína se relacionó con la disponibilidad de N por unidad



de rendimiento logrado, esta relación puede usarse para predecir el contenido proteico usando el rendimiento predicho en etapa de antesis con el NDVI. Con esta relación, conociendo el aporte de N del suelo más el fertilizante agregado, puede estimarse la concentración de proteína que se va a obtener a cosecha y, por lo tanto, la necesidad de fertilización complementaria.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de: Nicolás y Tati Casella de Italsem S.A., Gustavo Franco; Gustavo Herrá de ASP S.A, Alejandro Alegre y Esteban Marré de El Mayoral S.R.L., Sebastian Arias, Carlos Gutiérrez, Gustavo Falconi de El Ceibo Cereales, Emilio Secreto, Marcelo Sabione y Jorge Álvarez.

BIBLIOGRAFÍA

- Boero J.J. Gomez F.M. Prystupa P.P. Ferraris G.N. y. Gutierrez Boem F.H. (2018) Fertilización nitrogenada en emergencia y antesis en cebada cervecera, uso de curvas de dilución como herramienta de diagnóstico. XXVI CACS, Tucumán, 2018.
- Clevers, J.G. & L. Kooistra. 2012. Using hyperspectral remote sensing data for retrieving canopy chlorophyll and nitrogen content. *IEEE J Selected Topics Applied Earth Observations Remote Sensing*, 5(2): 574-583.
- Eitel, J.U.H.; Long, D.S.; Gessler, P.E.; Hunt, E.R.; Brown, D.J. 2008 Sensitivity of ground-based remote sensing estimates of wheat chlorophyll content to variation in soil reflectance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2009, 73, 1715–1723.
- Freeman, K.W., W.R. Raun, G.V. Johnson, R.W. Mullen, M.L. Stone & J.B. Solie. 2003. Late-season prediction of wheat grain yield and grain protein. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34: 1837-1852.
- Fox, R.H. & C.L. Walthal 2008 Crop Monitoring Technologies to Assess Nitrogen Status. *Nitrogen in Agricultural Systems*. 647-674.
- Gitelson, A.A., Y.J. Kaufman, and M.N. Merzlyak, 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS, *Remote Sens. Environ.*, 58:289-298.
- Haboudane, D., J.R. Miller, N. Tremblay, P.J. Zarco-Tejada, and L. Dextrazec. 2002. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop Chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sens. Environ.* 81:416–426.
- Hatfield, J.L., A. A. Gitelson, J. S. Schepers, and C. L. Walthall. 2008. Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions. *Agronomy Journal* 100: 117-131.
- Prystupa, P., R. Savin & G.A. Slafer. 2004. Grain number and its relationship with dry matter, N and P in the spikes at heading in response to NxP fertilization in barley. *Field Crops Res.* 90: 245-254.
- Prystupa, P., G. Ferraris, R. Bergh, T. Loewy, L. Ventimiglia, L. Couretot & F.H. Gutierrez Boem. 2008. Fertilización de cebada cervecera cv. Scarlett: IV. Estimación de la respuesta del contenido proteico a la fertilización nitrogenada. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, San Luis, Mayo.
- Redel M. & M Zubillaga. 2014. Aproximaciones para el manejo sitio-específico de la fertilización nitrogenada en maíz a través de índices espectrales. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. N° 15 IPNI Cono Sur, Bs As, pp 15-21.
- Rondeaux, G., M. Steven, and F. Baret. 1996. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* 55:95–107.
- Rouse, J.W., Jr., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *ERTS Symp. 3rd, Washington, DC.* 10–14 Dec. 1972. NASA SP-351. Vol. 1:309–317. NASA, Washington, DC.
- Thenkabail, P.S., R.B. Smith & E. de Pauw. 2000. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. *Remote Sens. Environ.* 71: 158-182.
- Wienhold, B.J., & J.M. Krupinsky. 1999. Chlorophyll meter as nitrogen management tool in malting barley. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30:2551–2562.