

MANEJO DEL NITRÓGENO PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DE USO Y LA CALIDAD EN CEBADA CERVECERA

Estudiante: Ing. Agr. Queirolo, Ignacio.

Comité asesor: Director: Ing. Agr. (Dr.) Reussi Calvo, Nahuel.

Asesores: Ing. Agr. (M. Sc., Dr.) Sainz Rozas, Hernán; Ing. Agr. (M.Sc., Dr) Prystupa, Pablo; Ing. Agr. (M. Sc., Dr) Divito, Guillermo.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es el nutriente que con mayor frecuencia limita el rendimiento y la calidad industrial del grano de cebada en la región pampeana, la cual está definida por su calibre (CA) y contenido de proteína (CP) (Prystupa, 2016). Por lo tanto, el manejo de la fertilización nitrogenada es fundamental para cumplir los objetivos tanto de la industria como de los productores. Esta situación plantea la necesidad de contar con herramientas de diagnóstico de disponibilidad de N como así también conocer las mejores prácticas de manejo para la fertilización.

La metodología más difundida para el diagnóstico de N en cebada, al igual que en trigo, se basa en la determinación del contenido de $N-NO_3^-$ en el suelo (0-60 cm) al momento de la siembra (Prystupa *et al.*, 2008; Barbieri *et al.*, 2009). Sin embargo, este tipo de modelo simplificado no contempla de forma directa el aporte de N por mineralización. Para tal fin se ha propuesto la determinación del contenido de $N-NH_4^+$ producido en incubación anaeróbica (Nan) de 7 días (Echeverría *et al.*, 2000). Para el cultivo de trigo en el sudeste bonaerense (SEB), Reussi Calvo *et al.* (2013) determinaron una mejora en la capacidad predictiva del rendimiento del cultivo sin fertilizar con N (testigo) y en la acumulación de N en grano cuando se incorporó el Nan a los métodos de diagnóstico tradicionales. Sin embargo, no hay registros de trabajos en cebada que evalúen la capacidad predictiva de un índice combinado ($N-NO_3^- + Nan$).

El SEB se caracteriza por una elevada probabilidad de ocurrencia de excesos hídricos al comienzo de la estación de crecimiento del cultivo (Reussi Calvo y Echeverría, 2006). Por lo tanto, para trigo, se ha determinado que el fraccionamiento de la dosis de N entre inicio (Z21, según Zadoks *et al.*, 1974) y fin de macollaje (Z31) permite mejorar la eficiencia de uso del N (EUN) (Velasco *et al.*, 2012), lo que redundaría en beneficios productivos y ambientales. En cebada, si bien se han realizado algunas experiencias exploratorias en el SEB (Orcellet *et al.*, 2015) respecto al efecto del fraccionamiento de N sobre la EUN, no hay registros de trabajos que evalúen dicho efecto sobre el CP y CA de los granos.

La refertilización con N a fines de macollaje puede surgir de la diferencia entre el

requerimiento determinado por el análisis de suelo y la aplicación inicial de N, o se puede diagnosticar con instrumentos que permitan el monitoreo del estatus nitrogenado del cultivo (Reussi Calvo *et al.*, 2015). Dos de los más difundidos son el medidor de clorofila Minolta SPAD® 502 que determina el índice de verdor de la hoja (IV) y el Green Seeker (Ntech Industries, Inc., Ukiah, CA.) el cual evalúa la reflectancia del canopeo y determina el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI). Para trigo, se ha demostrado que ambas herramientas permitieron calcular de manera satisfactoria la dosis óptima económica de N (Reussi Calvo *et al.*, 2015). Para cebada es escasa la información disponible respecto de la utilidad de estos métodos de diagnóstico.

Por lo tanto, para el cultivo de cebada bajo diferentes condiciones edafoclimáticas del SEB se plantea:

Hipótesis

i) La incorporación del Nan al modelo de diagnóstico basado en la determinación de N-NO_3^- en suelo en presiembra mejora la estimación de: a) el rendimiento del testigo y b) el CP.

ii) El fraccionamiento de la dosis de N entre inicio y fin de macollaje aumenta: a) la EUN, b) el CP y c) el CA de los granos, respecto de una única aplicación al inicio de macollaje.

iii) El nivel de deficiencia de N del cultivo puede ser diagnosticada mediante la determinación del: a) IV y b) NDVI.

Objetivos

i) Evaluar la capacidad predictiva de rendimiento y proteína en grano de los métodos de diagnóstico de N en suelo combinados con un índice de mineralización.

ii) Evaluar cómo influye el fraccionamiento de N sobre la EUN, el CP y el CA de los granos.

iii) Evaluar la capacidad predictiva de deficiencias de N de los métodos de diagnóstico de N basados en la determinación del IV y NDVI.

En este avance se presentan resultados parciales de los tres objetivos, ya que falta realizar el análisis y las determinaciones de CP y CA.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la campaña 2016-2017 se realizaron 8 experimentos en el SEB desde Gral. Madariaga hasta Necochea. En cada sitio se evaluó un testigo (0 kg N ha^{-1}) y cinco

dosis de N (40, 80, 120, 160 y 200 kg N ha⁻¹) aplicadas en el estadio de dos hojas (Z12). La dosis de 80, 120 y 160 kg N ha⁻¹ también se aplicaron en forma fraccionada, en partes iguales, en los estadíos Z12 y Z31. La forma de aplicación fue al voleo en cobertura total y se usó como fuente de N la urea (46-0-0). En todos los sitios, el diseño fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones. El tamaño de la unidad experimental fue de 3 m de ancho por 12 m de largo, siendo la superficie de 36 m². Se aplicó a la siembra una dosis de 30 kg ha⁻¹ de fósforo y 20 kg ha⁻¹ de azufre para que no limiten el crecimiento y desarrollo. El manejo del cultivo fue el recomendado para la zona. Se realizaron determinaciones en suelo en presiembra de materia orgánica (MO), P Bray, N-NO₃⁻, Nan, pH, textura y a cosecha de N-NO₃⁻.

Se realizaron mediciones con SPAD y Green Seeker en cuatro macollos (Z24), Z31 y hoja bandera (Z39). Para cada momento, se calculó el índice de suficiencia de N (ISN) y NDVI relativo (NDVIr) como el cociente entre la medición en un tratamiento determinado respecto al valor de la parcela sin limitaciones de N (200N).

En madurez fisiológica se cosecharon las parcelas de forma manual y se trillaron empleando una trilladora estacionaria. Se determinó el rendimiento (expresado al 13,5% de humedad), el peso de mil granos, número de espigas, el contenido de N y el CA. Se calculó el rendimiento relativo (RR) como el cociente entre el rendimiento de cada tratamiento respecto al obtenido con la máxima dosis de N.

Las diferencias entre tratamientos sobre las variables rendimiento, peso de mil, número de espigas y número de grano fueron evaluadas mediante análisis de la varianza (ANOVA) con el paquete estadístico R. Las diferencias entre medias de tratamiento se evaluaron usando el Test de DMS (P<0.05). Además, algunas variables fueron evaluadas por regresión.

RESULTADOS PRELIMINARES

Caracterización edafoclimática:

Las Pp registradas durante el ciclo del cultivo (1/05 al 31/12) fueron similares al promedio histórico de cada zona (450-500 mm, aproximadamente) siendo de 400, 300, 500 y 400 mm para Gral Madariaga, Necochea-La Dulce, Balcarce y Miramar, respectivamente. Considerando que la demanda hídrica del cultivo de cebada para dicha zona es de 400-450mm, estos resultados indicarían que la disponibilidad hídrica no limitó el rendimiento para la zona de Gral. Madariaga, Balcarce y Miramar, pero si para Necochea-La Dulce. Se determinaron desde la siembra hasta Z31 excesos hídricos de escasa magnitud (máximo 40 mm), siendo los mismos en promedio a los 20 días de la primera aplicación de N. Para el estadio de Z31

(segunda aplicación de N), se determinó para las zonas de Gral. Madariaga, Balcarce y Miramar que la disponibilidad hídrica fue adecuada. Lo cual indicaría que la incorporación y absorción del N del fertilizante por el cultivo no estuvo limitada por agua. Este comportamiento fue opuesto para el sitio Necochea-La Dulce, donde la disponibilidad hídrica fue menor.

El contenido promedio de MO y Nan en el estrato superficial (0-20 cm) fue de 5,3 % (mínimo de 4,0 y máximo de 6,6 %) y 47,9 mg kg⁻¹ (mínimo de 32,7 y máximo de 88,3 mg kg⁻¹), respectivamente. El contenido de MO explicó el 39 % de la variación del Nan, lo cual estaría indicando que la MO por si sola es un pobre estimador del Nan. Por otra parte, la disponibilidad promedio de N en presiembra (0-60 cm) fue de 52,7 kg ha⁻¹, con valores desde 30,8 a 96,9 kg ha⁻¹. La variabilidad en la disponibilidad de N en presiembra sumado a los de Nan, evidencian situaciones con diferente disponibilidad inicial y potencial de N para el cultivo. No obstante, a diferencia de lo observado en trabajos previos para trigo y maíz, el contenido de N en presiembra (0-60 cm) se asoció con la concentración de Nan (Figura 1). Esto se explicaría en parte por las escasas precipitaciones antes del muestreo, y por ende las menores pérdidas de N por lixiviación.

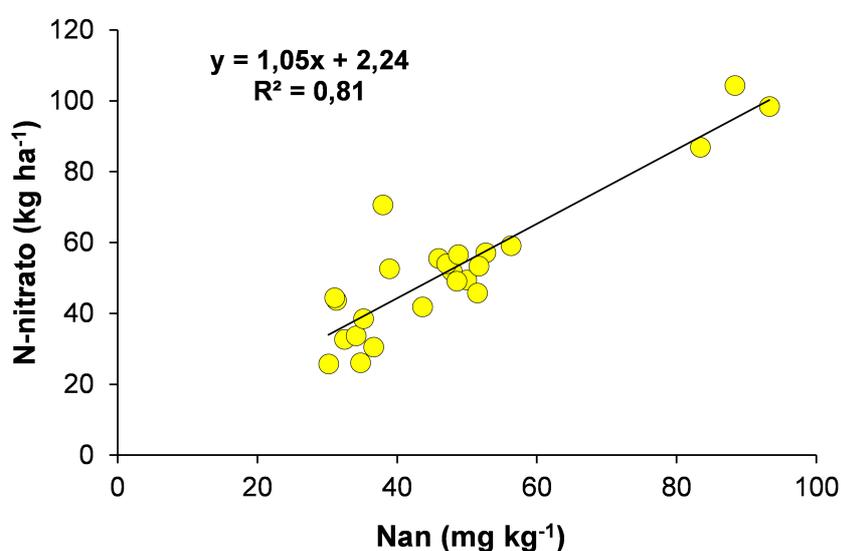


Figura 1. Relación entre la disponibilidad de N en presiembra (N-NO₃⁻) y el nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan) para el estrato superficial (0-20 cm).

Rendimiento y respuesta a la aplicación de N:

El rendimiento promedio fue de 5746 kg ha⁻¹, con valores mínimos de 2916 y máximos de 8171 kg ha⁻¹ según la dosis de N y sitio experimental. El número de espigas y granos por m² explicaron el 35 y 92 % del rendimiento del cultivo,

respectivamente. Por otra parte, se determinaron diferencias significativas en rendimiento por el agregado de N en el 88% de los sitios, siendo la respuesta media de 1600 kg ha⁻¹ con valores desde 80 a 3790 kg ha⁻¹. Para dichos sitios la EUN del fertilizante fue en promedio de 16 kg grano por kg N, la cual se ubica por encima de la relación de precio histórica insumo:producto para cebada de 6-8:1.

Diagnóstico basado en análisis de suelo:

Se determinó una aceptable relación entre la disponibilidad de N en presiembra (0-60 cm) y el rendimiento del tratamiento testigo (P<0,05), siendo el r² del 43%. Esto pone de manifiesto la importancia y limitaciones de dicha variable para el diagnóstico de N en cebada cuando se integran información de varios ambientes. Por otra parte, el contenido de Nan en presiembra explicó el 49% del rendimiento del testigo (Figura 2), siendo este valor superior a lo informado para trigo y maíz (Reussi Calvo *et al.*, 2013 y Orcellet *et al.*, 2017). Por lo tanto, cuando se incorporó la concentración de Nan al modelo de diagnóstico basado en la determinación de N en presiembra la capacidad predictiva del rendimiento no mejoró (P>0,05). Esto se explicaría en parte por la estrecha asociación entre ambas variables observada en el presente trabajo (Figura 1). Por último, al considerar todos los tratamientos, fue necesario una disponibilidad inicial (N suelo + N fertilizante) de 180 kg N ha⁻¹ para maximizar el rendimiento del cultivo. Para dicha disponibilidad el rendimiento fue de 6200 kg ha⁻¹, siendo el requerimiento promedio de N de 29 kg por tonelada de grano.

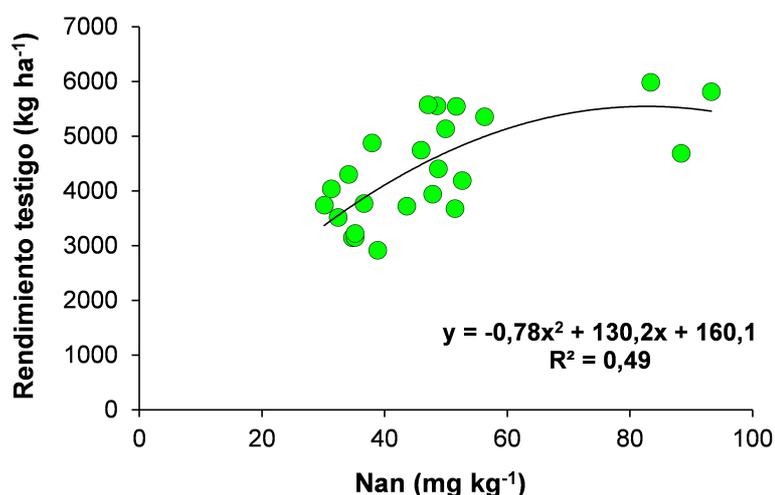


Figura 2. Rendimiento de los testigos (0N) en función del nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan) en 0-20cm. El punto en la figura representa una repetición de cada experimento.

Fraccionamiento de nitrógeno:

Se determinaron diferencias no significativas en rendimiento por efecto del fraccionamiento de N. El rendimiento promedio para la dosis completa fue de 5837, 5957, 6161 kg ha⁻¹ y para las divididas de 5838, 6110 y 6099 kg ha⁻¹ para 80N, 120N y 160N, respectivamente. Por lo tanto, la EUN tampoco fue afectada por efecto del fraccionamiento de N, siendo en promedio de 16 kg grano por kg N aplicado. Este comportamiento se explicaría en parte por la ausencia (en todas las zonas) de elevados excesos hídricos durante los primeros estadios de desarrollo del cultivo y por la baja disponibilidad hídrica luego de la aplicación en Z31 en los sitios de Necoche-La Dulce.

Diagnóstico basado en mediciones en planta:

En los tres momentos de medición, el ISN se relacionó con la disponibilidad de N, siendo el ajuste del modelo del 67, 86 y 80 % para Z24, Z31 y Z39, respectivamente. En general, el valor promedio fue de 0,95 (mínimo de 0,78 y máximo de 1,03) para Z24; de 0,91 (mínimo de 0,75 y máximo de 1,00) para Z31 y de 0,94 (mínimo de 0,79 y máximo de 1,04) para Z39. Estos rangos en los valores de ISN evidencian que la deficiencia de N se mantuvo durante el ciclo del cultivo. En la Figura 3 se presenta la relación entre el RR del cultivo y el ISN. En la misma se observa que para el estadio de Z24, Z31 y Z39 el ISN explicó el 54, 71 y 56% de la variación del RR, siendo el umbral crítico para 90% RR de 0,99, 0,97 y 0,94, respectivamente. El bajo ajuste determinado en Z24 se explicaría en parte por la baja sensibilidad del SPAD para detectar deficiencia de N en estadios tempranos (Gandrup *et al.*, 2004), mientras que en Z39 la estructura de la hoja dificulta la correcta medición en cebada.

Por otro lado, el NDVIr también se relacionó en los tres momentos con la disponibilidad de N, siendo el ajuste del modelo del 83, 75 y 75% para Z24, Z31 y Z39, respectivamente. El valor promedio fue de 0,96 (mínimo de 0,84 y máximo de 1,01) para Z24; de 0,95 (mínimo de 0,70 y máximo de 1,01) para Z31 y de 0,93 (mínimo de 0,71 y máximo de 1,03) para Z39. En la Figura 3 se presenta la relación entre el RR del cultivo y el NDVIr para los tres momentos de medición. Se puede observar que el NDVIr explicó el 50, 73 y 60% de la variación del RR, con un umbral crítico para 90% RR de 0,99, 0,91 y 0,94 para Z24, Z31 y Z39, respectivamente.

Figura 3. Rendimiento relativo (RR) en función del índice de vegetación diferencial normalizado (NDVIr) (figuras de la izquierda) y del índice de suficiencia de nitrógeno (ISN) (figuras de la derecha) para los diferentes momentos de medición. Z24: cuatro macollos; Z31: un nudo

detectable y Z39: hoja bandera.

En síntesis, los resultados preliminares indican que la incorporación del Nan a los modelos tradicionales de diagnóstico no mejoró la estimación del requerimiento de N. Por otra parte, el fraccionamiento de la dosis de nitrógeno no mejoró la EUN respecto a la aplicación completa.

Por último, la deficiencia de N pudo ser diagnosticada mediante el empleo del ISN y NDVlr en todos los momentos de medición.

PRINCIPALES DIFICULTADES PARA LA EJECUCIÓN DEL TRABAJO:

Se demoraron las determinaciones de N total en planta y grano debido a la ruptura del analizador TruSpec CN (LECO, 2010). Esta situación ya se ha normalizado.

CRONOGRAMA PARA CUMPLIR LAS TAREAS A COMPLETAR DENTRO DEL PLAZO (24 meses para maestría):

Cronograma de tareas	Juli o	Agost o	Septiembr e	Octubr e	Noviembr e	Diciembr e
Análisis de los datos y de laboratorio	X	X				
Redacción de tesis	X	X	X	X	X	X

BIBLIOGRAFÍA

BARBIERI, P.A.; ECHEVERRÍA, H.E.; SAINZ ROZAS H.R. 2009. Dosis óptima económica de nitrógeno en trigo según momento de fertilización en el sudeste bonaerense. Ciencia del suelo 27: 115-125.

ECHEVERRÍA, H.E.; SAN MARTIN, N.; BERGONZI, R. 2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. Cien. Suelo 18: 9-16.

GANDRUP, M.E.; GARCÍA, F.O.; FABRIZZI, K.; ECHEVERRÍA, H.E. 2004. Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA), 33(3):105-121.

ORCELLET, J., REUSSI CALVO, N. I., SAINZ ROZAS, H. R., WYNGAARD, N., & ECHEVERRÍA, H. E. (2017). Anaerobically Incubated Nitrogen Improved Nitrogen Diagnosis in Corn. Agronomy Journal, 109 (1), 291-298.

PRYSTUPA, P.; FERRARIS G.; BERGH, R.; LOEWY, T.; VENTIMIGLIA, L.; GUTIERREZ BOEM, F.H. 2008. Fertilización de Cebada Cervecera cv. Scarlett: IV. Modelo de respuesta del contenido proteico a la Fertilización Nitrogenada. En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. (CD Rom).

PRYSTUPA, P.; FERRARIS, G.; VENTIMIGLIA, L.; LOEWY, T.; COURETOT, L.; BERGH, R.; GUTIÉRREZ BOEM, F.H. 2016. Fertilización nitrogenada y azufrada de cebada cervecera cv. Scarlett

en la provincia de buenos aires: i. Efectos sobre el rendimiento y el contenido proteico de los granos. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 21: 7-14.

REUSSI CALVO, N.I.; SAINZ ROZAS, H.; ECHEVERRÍA, H.E.; BERARDO, A. 2013. Contribution of anaerobiosis incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. *Agronomy Journal* 105: 321-328.

REUSSI CALVO, N. I.; SAINZ ROZAS, H.; ECHEVERRIA, H.; DIOVISALVI, N. 2015. Using canopy indices to quantify the economic optimum nitrogen rate in spring wheat. *Agronomy Journal*, 107 (2): 459–465.

VELASCO, J.L., SAINZ ROZAS, H.; ECHEVERRÍA, H.; BARBIERI, P. 2012. Optimizing fertilizer nitrogen use efficiency by intensively managed spring wheat in humid regions: Effect of split application. *Can. J. Plant Sci.* 92: 1-10.

ZADOKS, J.C.; CHANG T.T.; ZONZAK, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.