



Foto: Andrés Berger

EL TRIGO MARCÓ UN NUEVO RÉCORD: qué factores influyeron en este avance y cómo consolidar altos rendimientos

Ing. Agr. MSc. PhD. Andrés Berger

Sistema Agrícola Ganadero

El cultivo de trigo requiere, durante su desarrollo, una cantidad importante de decisiones de manejo e intervenciones. En este artículo se presentan valores de referencia o metas que el cultivo debería cumplir si sigue una trayectoria de alto rendimiento. Estas metas nos permiten diferenciar, durante la construcción del cultivo, aquellas situaciones que mantienen un nivel de rendimiento alto respecto a aquellas que ya no lo tienen.

La zafra 2022 marcó un nuevo récord histórico de rendimiento tras el ya alcanzado en 2020 y 2021. Los últimos tres años son los de mayor rendimiento histórico, lo que podría indicar el inicio de un nuevo ciclo de aumento de rendimiento. Los datos de la encuesta Primavera 2022 de DIEA-MGAP (DIEA-MGAP, 2023) indican un rendimiento promedio para trigo de 4.251 kg/ha y para cebada de 4.252 kg/ha. Este aumento probablemente se debió a las condiciones climáticas favorables del año, pero también a otros factores que han permitido capitalizar

en mayores rendimientos las buenas condiciones climáticas, que si bien fueron favorables, no escapan a la tendencia histórica.

EL RENDIMIENTO AVANZA DE LA MANO DE CICLOS DE MEJORAS EN EL MANEJO DE CULTIVO CON UN TECHO DEFINIDO POR LA GENÉTICA PREDOMINANTE EN CADA MOMENTO

Cuando se evalúa el rendimiento de un cultivo, generalmente se realiza en comparación con el

rendimiento alcanzable en una región cuyo valor se asume es cercano al 80 % del potencial de rendimiento del cultivo. Este potencial está definido por la cantidad de radiación solar y la capacidad de los cultivares de transformar los recursos del ambiente en rendimiento de grano. Si bien hay pocos trabajos que estiman el rendimiento potencial para trigo en Uruguay, una buena referencia es el rendimiento obtenido en la Evaluación Nacional de Cultivares y en experimentos controlados de alto potencial de rendimiento (Figura 1, puntos rojos). El rendimiento potencial ha aumentado con el tiempo y hoy se ubica en valores cercanos a los 10.000 kg/ha, por lo tanto, el rendimiento alcanzable es de aproximadamente 8.000 kg/ha. Por otro lado, el rendimiento promedio nacional en una primera etapa estuvo estabilizado en valores cercanos a los 1.000 kg y luego a partir de la década del 70 comenzó a crecer en forma constante, o en ciclos de crecimiento asociados a las prácticas de manejo dominantes de cada época.

Entre los cambios de manejo que suponemos aumentaron el rendimiento en sucesivos ciclos de mejora, podemos mencionar: la revolución verde (fertilizantes nitrogenados y genética con genes de enanismo), la incorporación de rotaciones pastura-cultivo, la siembra directa, la introducción de genética francesa, el uso de fungicidas, el desarrollo de una rotación de doble cultivo y nuevos avances de genética de alto potencial asociada al uso de mayores cantidades de nitrógeno. La incorporación de estas prácticas de manejo es gradual y, seguramente, desigual entre productores. De todas maneras, podemos asegurar que hoy existe una brecha de rendimiento (diferencia entre rendimiento alcanzable y el efectivamente obtenido) que es muy importante y su reducción traerá, con el correr del tiempo, aumentos importantes en el rendimiento promedio obtenido por los productores, similares a los que se han estado observando en estas últimas zafras. El desafío más importante del cultivo

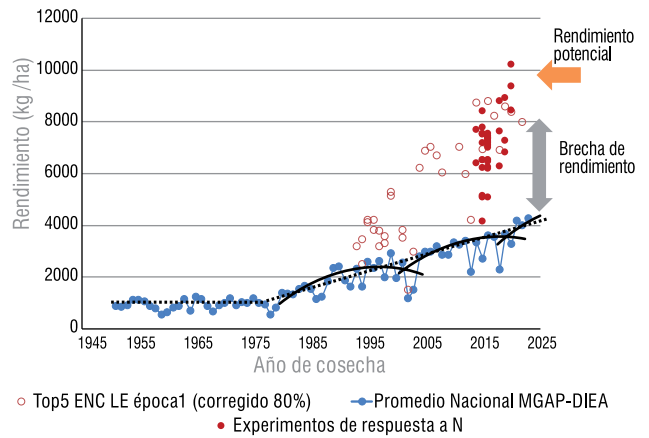


Figura 1 - Evolución del rendimiento promedio nacional (puntos azules) y del rendimiento en condiciones de alto rendimiento (cercanos al potencial) (puntos rojos vacíos Evaluación Nacional de Cultivares INIA-INASE; puntos rojos llenos, máximo de cada sitio en experimentos de respuesta a nitrógeno)

es, entonces, continuar reduciendo esta brecha de rendimiento mediante la incorporación de mejores prácticas de manejo y mejoras en los procesos de producción en un mayor número de chacras.

EL CULTIVO COMO UNA CONSTRUCCIÓN DE RENDIMIENTO. ¿EN QUÉ ETAPAS NO PODEMOS FALLAR?

El cultivo en sí es un proceso de construcción, en un inicio, de desarrollo y creación de estructuras, y luego de crecimiento de estas estructuras (Figura 2). Durante este proceso se produce biomasa a partir de la radiación solar interceptada, que cosechamos como grano.

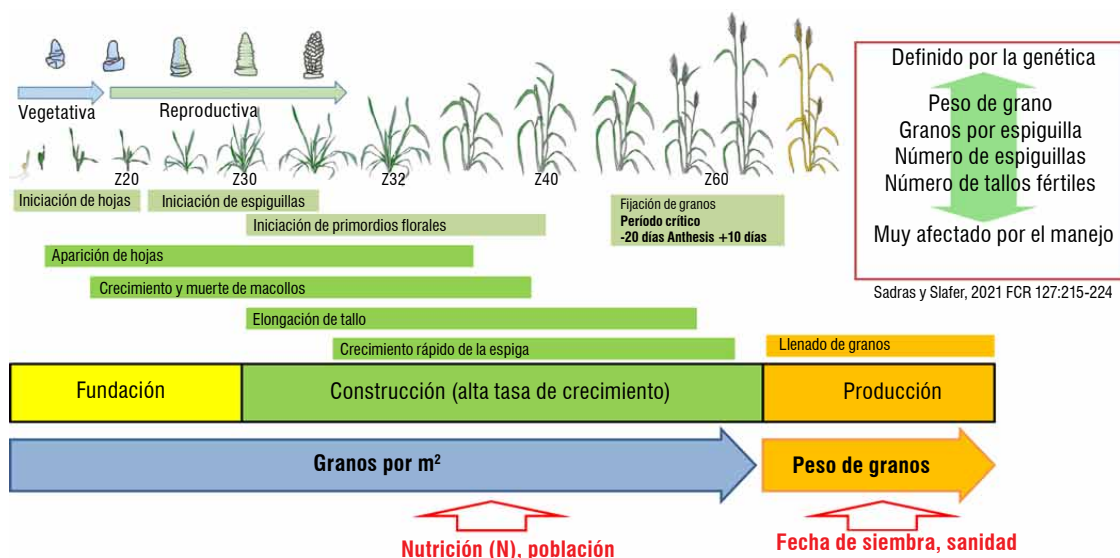


Figura 2 - Etapas de desarrollo y crecimiento del cultivo e impacto sobre principales componentes de rendimiento.

Si bien en la primera etapa las necesidades de recursos son bajas ya que se establecen las plantas y se generan las estructuras (fundación del cultivo), en las etapas siguientes el crecimiento es acelerado y por lo tanto se utilizan grandes cantidades de nutrientes y agua del suelo. En el final del macollaje e inicio de la encañazón (Zadoks 30) comienza la etapa de crecimiento acelerado (construcción), durante la que se definirá el número final de tallos fértiles en la primera parte. Luego, inmediatamente antes de floración el número final de granos por metro cuadrado, que es el principal componente de rendimiento o factor que define cual será el rendimiento. Estos dos componentes son además altamente modificables con el manejo de nitrógeno y población de plantas.

Si la disponibilidad de nitrógeno es limitante, se compromete el número de tallos fértiles y, finalmente, el número de granos por metro cuadrado (Sadras *et al.*, 2012). Durante esta etapa de construcción se acumulará, además, en las hojas y tallos gran cantidad de nitrógeno que luego será insumo fundamental durante el llenado de grano para sostener la deposición de proteínas. Esta etapa de construcción es crítica en su totalidad, y no solo lo que se define comúnmente como período crítico (que va desde 20 días previo a floración hasta 10 días posterior). Por un lado, se necesita una cantidad de nitrógeno suficiente para sostener el crecimiento y, por otro lado, se necesita una población de plantas (y macollos) suficientemente grande para permitir alcanzar el número de granos que asegure alto rendimiento. En base a los experimentos instalados en los últimos cinco años podemos sostener que, para acercarnos al rendimiento alcanzable, se necesita lograr alrededor de 20.000 granos por metro cuadrado y entre 500 y 600 espigas fértiles por metro cuadrado. Si consideramos 2,5 macollos fértiles por planta, esto implica además una población de plantas instaladas en el entorno de 45-50 plantas por metro cuadrado. Esta combinación de población de plantas y nitrógeno disponible es clave para sostener rendimientos altos. No lograr altas tasas de crecimiento y un nivel de nutrición nitrogenada óptimo en esta etapa de construcción compromete fuertemente el rendimiento. En contraste, en la etapa anterior de fundación, el trigo tiene cierta capacidad de tolerar, y hasta incluso es beneficioso para el rendimiento, déficits moderados de nutrición nitrogenada (Índice de Nutrición Nitrogenada entre 0,8 y 1) (Ravier *et al.*, 2017).

El principal desafío del cultivo es continuar reduciendo la brecha de rendimiento (diferencia entre rendimiento alcanzable y obtenido), mediante la incorporación de mejores prácticas de manejo y mejoras en los procesos de producción en un mayor número de chacras.

En la etapa final de desarrollo, de floración en adelante, se produce la mayor parte de la biomasa que luego será cosechada en los granos. Todo el potencial construido hasta este momento se concreta en rendimiento. Desde el punto de vista del manejo, es crítico que este período transcurra en las mejores condiciones climáticas posibles, que permitan interceptar la mayor cantidad de radiación solar y lograr la mayor cantidad de acumulación de biomasa. Esto ocurre cuando la floración es temprana, tan temprana como para evitar riesgos altos de heladas, algo que en general para la mayoría del área agrícola ocurre a partir del 1° de octubre aproximadamente (Gasó *et al.*, 2012). El llenado de grano en octubre, con cultivos sanos que mantengan área foliar verde (en su totalidad) durante la mayor parte del período, es necesario para concretar altos rendimientos. Si hay un déficit de nutrición nitrogenada (generalmente ya evidente en la etapa anterior) o si existe alta incidencia de enfermedades foliares, se comprometerá de manera importante el rendimiento, ya que se acelerará la senescencia y el llenado de grano transcurrirá a una tasa menor, acumulando menos rendimiento.

LA NECESIDAD FUTURA DE NITRÓGENO DEPENDE DE LA DEMANDA, QUE ESTÁ DADA POR CUANTO PUEDE LLEGAR A CRECER EL CULTIVO

Utilizando un número muy alto de experimentos de respuesta a agregado de nitrógeno se puede obtener una curva de nutrición óptima para cultivo. Esta curva define la cantidad de nitrógeno mínima necesaria que debe absorber el cultivo a medida que va acumulando biomasa para lograr una tasa de crecimiento óptima (Lemaire *et al.*, 2019). Esta garantiza un nivel de rendimiento óptimo y un nivel de calidad de grano (contenido de proteína) también óptimo (Figura 3).

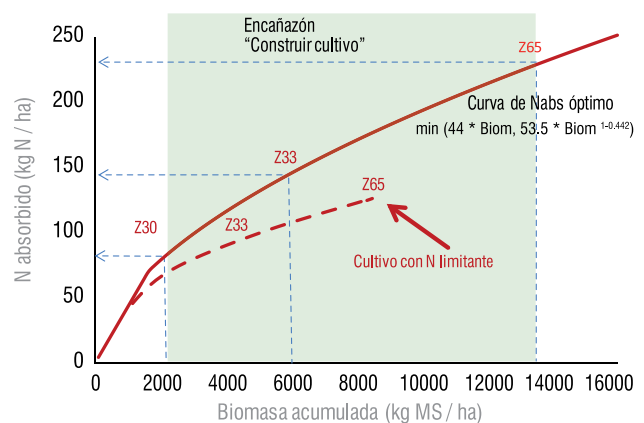


Figura 3 - Necesidad de nitrógeno óptima de cultivo (línea llena) y evolución de la cantidad de nitrógeno absorbido en una situación de nutrición deficitaria (línea punteada). Sobre la curva se indican la ocurrencia de los estados fenológicos para cada caso.

Cuadro 1 - Metas y variables de manejo que debe cumplir un cultivo para obtener el rendimiento alcanzable (el que se podría lograr en las mejores partes de la chacra).

	Meta / Objetivo	Variables de manejo
Granos logrados a cosecha	20.000 granos / m ²	-Ajustar la densidad de siembra (45-50 pl/m ²) y disponibilidad de nitrógeno a Z30
Espigas logradas	500-600 Esp. / m ²	-Ajustar la densidad de siembra (45-50 pl/m ²) y disponibilidad de nitrógeno a Z30
Peso de grano	>40 mg	-Seleccionar cultivares con alto peso de grano -Nutrición nitrogenada adecuada y sanidad controlada durante el llenado de grano
Nitrógeno absorbido a floración en biomasa aérea	> 200 kg N / ha	-Ajustar disponibilidad de nitrógeno a Z30 y evaluar adicional posterior a Z30
Fecha de floración (Z65)	1 de octubre	-Siembras de 1-15 de mayo para ciclos largos y 15-30 de mayo para ciclos intermedios

Un cultivo con un nivel de nutrición óptima debería seguir una trayectoria de acumulación de nitrógeno y biomasa similar a la curva de referencia (línea llena). En cambio, un cultivo que sufrió algún déficit de nutrición nitrogenada seguirá una trayectoria diferente de menor acumulación de biomasa y nitrógeno en planta (línea punteada). De estas curvas se puede inferir, por un lado, que la mayor parte de la acumulación de biomasa (y de nitrógeno) ocurre entre Z30 (inicio de encañazón) y Z65 (floración) y, por otro lado, que un cultivo con un nivel de nutrición óptima debe acumular a floración una cantidad superior a los 200 kg/ha de nitrógeno en las condiciones de Uruguay. Por estos dos motivos es que se hace énfasis en la importancia que tiene en Z30 hacer disponible a través de la fertilización una cantidad de nitrógeno suficientemente grande para satisfacer la demanda futura. Este es un momento crítico, definitorio, desde el punto de vista de la fertilización nitrogenada.

METAS O VALORES DE REFERENCIA QUE NOS PERMITEN DEFINIR EL ESTADO DEL CULTIVO Y SU POTENCIAL

El cultivo requiere, durante su desarrollo, una cantidad importante de intervenciones y de decisiones de fertilización y de manejo. Estas acciones implican costos y deben estar asociadas a la capacidad del cultivo de responder al manejo que se aplique. En situaciones en que el rendimiento del cultivo ya está comprometido por alguna causa (a veces incluso desconocida), el manejo nutricional debe ajustarse a la demanda y a la condición de cultivo. Por este motivo, durante todo el artículo se han mencionado valores de referencia o metas que el cultivo debería cumplir si sigue una trayectoria de alto rendimiento. Estas metas nos permiten diferenciar aquellas situaciones que mantienen un nivel de rendimiento alto respecto a aquellas que ya no lo tienen (Cuadro 1).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gasó, D.; Berger, A.; Ibañez, W.; Ceretta, S.. 2012. Adaptación de cultivos de invierno, trigo y cebada a la zona agrícola del noreste de Uruguay. INIA Serie Técnica; 200. Montevideo (UY), INIA, 2012. 28 p.

Lemaire, Gilles, Thomas Sinclair, Victor Sadras, and Gilles Bélanger. "Allometric Approach to Crop Nutrition and Implications for Crop Diagnosis and Phenotyping. A Review." *Agronomy for Sustainable Development* 39, no. 2 (April 2019): 27. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0570-6>.

Ravier, Clémence, Jean Marc Meynard, Jean Pierre Cohan, Philippe Gate, and Marie Hélène Jeuffroy. "Early Nitrogen Deficiencies Favor High Yield, Grain Protein Content and N Use Efficiency in Wheat." *European Journal of Agronomy* 89, no. June (2017): 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.06.002>.

Sadras, Victor O., and Gustavo A. Slafer. "Environmental Modulation of Yield Components in Cereals: Heritabilities Reveal a Hierarchy of Phenotypic Plasticities." *Field Crops Research* 127 (February 2012): 215–24. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.11.014>.



Foto: Andrés Berger

Figura 4 - Cosecha de experimentos de respuesta a nitrógeno en INIA La Estanzuela.