

Manual del Cultivo del Trigo



Instituto Internacional de Nutrición de Plantas
Programa Latinoamérica Cono Sur
<http://lacs.ipni.net>

Manual del cultivo de trigo / Bernardette Abadia ... [et al.]; compilado por
Guillermo A. Divito; Fernando Oscar García; editado por Guillermo A. Divito; Fernando Oscar García. -
1a ed. compendiada. - Acassuso: International Plant Nutrition Institute, 2017.
224 p.; 28 x 19 cm.

ISBN 978-987-46277-3-5

1. Agricultura. 2. Cultivo Agrícola. 3. Manuales. I. Abadia, Bernardette II. Divito, Guillermo A., comp. III.
García, Fernando Oscar, comp. IV. Divito, Guillermo A., ed. V. García, Fernando Oscar, ed.
CDD 633

Este libro no podrá ser reproducido, ni total ni parcialmente, sin el previo permiso de los editores.

1ra edición Octubre 2017

Impreso en Argentina

ISBN 978-987-46277-3-5



Presentación

La creciente demanda global de alimentos, forrajes, fibras, biocombustibles y biomateriales genera desafíos, oportunidades y amenazas para los sistemas de producción agrícola. Esta demanda requiere de sistemas que provean productos en cantidad y calidad mejorando la vida de las personas y preservando el ambiente. El crecimiento en producción y productividad registrado en los últimos 50 años ha generado costos y externalidades negativas a nivel económico, social y ambiental. Así, el desafío para la humanidad es reducir el impacto de estos costos y externalidades y evitar que los mismos se amplifiquen y/o que se sumen nuevos a los ya existentes.

En este marco, la expansión de la agricultura hacia áreas aún no explotadas a través de la deforestación e incorporación de ecosistemas más frágiles constituye una severa amenaza a la sostenibilidad de los sistemas, por lo que, entre las alternativas propuestas, impulsar el crecimiento de la productividad en las tierras actualmente en uso ha sido considerada prioritaria. En Argentina, se han estimado brechas entre los rendimientos actuales y los alcanzables en secano del orden del 32%, 41% y 41% para soja, maíz y trigo, respectivamente (ver Capítulo 1 de esta publicación).

El cultivo de trigo ha sido una de las principales producciones agrícolas en los países del Cono Sur de Latinoamérica y actualmente incluye aproximadamente 6 millones de ha en Argentina, Bolivia, Chile, Paraguay y Uruguay. Su importancia dentro de la economía de estas naciones, su relevante participación como proveedor de alimento para sus poblaciones y, desde el punto de vista agronómico, su rol en las rotaciones de cultivos anuales, han sido destacados y ampliamente discutidos en numerosas publicaciones.

Este manual trata de cubrir los temas más relevantes de la producción, industrialización y comercialización de trigo, con énfasis en los sistemas de la región triguera argentina. A través de catorce capítulos y una serie de anexos se revisan aspectos relacionados al crecimiento y la fenología; la ecofisiología y la generación de rendimiento; las nuevas variedades; la importancia del manejo del cultivo para calidad; la nutrición y las mejores prácticas de manejo de la fertilización; la identificación y manejo de malezas, enfermedades y plagas más relevantes; el manejo de cultivo en distintas regiones; la cosecha y el almacenamiento de granos; la molienda y la panificación; y el mercado actual.

Como editores queremos dejar expreso nuestro más sincero agradecimiento al trabajo, dedicación y paciencia que han demostrado los autores de los distintos capítulos. Estos destacados científicos y profesionales son referentes insoslayables en las distintas temáticas abordadas y es un honor contar con su contribución en este manual.

Guillermo A. Divito
Fernando O. García

EDITORES

Guillermo A. Divito

Ingeniero Agrónomo, Magister Scientiae y Doctor en Ciencias Agrarias. Actualmente se desempeña como asesor privado y Asistente Técnico de la Regional Necochea de Aapresid. Es especialista en manejo de cultivos agrícolas. Ha dirigido y asesorado tesis de grado y posgrado. Ha publicado trabajos en revistas científicas nacionales e internacionales con referato y de divulgación.

Fernando O. García

Ingeniero Agrónomo, Magister Scientiae y Ph.D. en Agronomía. Actualmente es Director Regional del International Plant Nutrition Institute (IPNI) Programa Cono Sur de Latinoamérica. Es especialista en fertilidad de suelos y nutrición de cultivos. Ha dirigido y asesorado tesis de grado y posgrado. Ha publicado numerosos trabajos en revistas científicas nacionales e internacionales con referato y de divulgación.

AUTORES

Bernadette Abadía

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
abadia.maria@inta.gov.ar

Pablo E. Abbate

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
abbate.pablo@inta.gov.ar

Cristian Álvarez

INTA Gral. Pico, La Pampa, Argentina.
alvarez.cristian@inta.gov.ar

Fernando Aramburu Merlos

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
aramburumerlos.f@inta.gov.ar

Mirian Barraco

INTA Gral. Villegas, Buenos Aires, Argentina.
barraco.miriam@inta.gov.ar

Ricardo Bartosik

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
bartosik.ricardo@inta.gov.ar

Javier Bujan

Kimei Cereales S.A. y Cámara Arbitral Bolsa de Cereales de Buenos Aires
bujan@kimei.com.ar

Leda E. Campaña

Molino Campodónico, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
laboratorio@molinocampodonico.com.ar

Miguel J. Cardoso

Molino Campodónico, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
laboratorio@molinocampodonico.com.ar

Leandro Cardoso

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
cardoso.marcelo@inta.gov.ar

Dora Carmona

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
carmona.dora@inta.gov.ar

Marcelo Carmona

Facultad de Agronomía - UBA, Buenos Aires, Argentina
carmonam@agro.uba.ar

Pablo Calviño

Asesor y director técnico. Tandil, Buenos Aires, Argentina.
calvinopabloa@gmail.com

Adrián A. Correndo

Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI), Latinoamérica-Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

acorrendo@ipni.net

Diego de la Torre

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

delatorre.diego@inta.gob.ar

Guillermo A. Divito

Asesor Privado. AAPRESID, Asistente Técnico Regional Necochea. Buenos Aires, Argentina.

guillermodivito@yahoo.com.ar

Oswaldo Ernst

EEMAC, Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Paysandú, Uruguay.

oernst@fagro.edu.uy

Ariel Jesús Faberi

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

faberi.ariel@inta.gob.ar

Jorge A. Fraschina

EEA INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina.

fraschina.jorge@inta.gob.ar

Fernando O. García

Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI), Latinoamérica-Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

fgarcia@ipni.net

Lisardo González

Buck Semillas. La Dulce, Buenos Aires, Argentina.

lgonzalez@bucksemillas.com.ar

Esteban Hoffman

EEMAC, Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica. Paysandú, Uruguay.

tato@fagro.edu.uy

María I. Leaden

Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

mileaden@hotmail.com

Gisele Maciel

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

maciel.gisel@inta.gob.ar

Pablo Manetti

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

manetti.pablo@inta.gob.ar

Juan Pablo Monzon

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

monzon.juanpablo@inta.gob.ar

Carla Salvio

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

salvio.carla@inta.gob.ar

Francisco Sautua

Facultad de Agronomía - UBA, Buenos Aires, Argentina

sautuaensayo@gmail.com

Santiago Néstor Tourn

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

tourn.santiago@inta.gob.ar

María Celia Tulli

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

tulli.maria@inta.gob.ar

Índice	Pág.
1. El trigo, su difusión, importancia como alimento y consumo _____	7
Pablo E. Abbate, Miguel J. Cardos y Leda E. Campaña	
Brechas de rendimiento de trigo en Argentina _____	20
Fernando Aramburu Merlos y Juan Pablo Monzon	
2. Como crece y se desarrolla el cultivo de trigo _____	22
Pablo E. Abbate y Guillermo A. Divito	
3. Ecofisiología y manejo del cultivo de trigo _____	33
Pablo E. Abbate	
4. Cambios recientes y venideros en las variedades de mayor difusión en Argentina ____	53
Lisardo González	
5. ¿Por qué es importante la calidad del trigo? _____	57
Jorge A. Fraschina	
6. La nutrición del cultivo de trigo _____	67
Guillermo A. Divito, Adrián A. Correndo y Fernando O. García	
7. Identificación y manejo de malezas _____	85
María I. Leaden	
8. Criterios para el manejo integrado de las enfermedades _____	93
Marcelo Carmona y Francisco Sautua	
9. Caracterización y manejo de plagas animales _____	109
Dora Carmona, Pablo Manetti, María C. Tulli, Carla Salvio y Ariel J. Faberi	
10. Manejo del cultivo de trigo en distintas regiones _____	123
10.a Región Pampeana Central	
Jorge A. Fraschina	
10.b Región Sudeste de Buenos Aires	
Pablo Calviño y Guillermo A. Divito	
10.c Noroeste de Buenos Aires y Este de La Pampa	
Cristian Álvarez y Mirian Barraco	
10.d Uruguay	
Esteban Hoffman y Oswaldo Ernst	
11. Eficiencia en la cosecha de trigo _____	143
Santiago N. Tourn	
12. Almacenamiento y acondicionamiento de trigo _____	152
Ricardo Bartosik, Bernadette Abadía, Leandro Cardoso, Diego de la Torre y Gisele Maciel	
13. Calidad, molienda y panificación de trigos _____	172
Miguel J. Cardos, Leda E. Campaña y Pablo E. Abbate	
14. ¿Y tranqueras afuera? Consideraciones para la comercialización _____	194
Javier Bujan	
Anexos _____	198

Capítulo V: ¿Por qué es importante la calidad del trigo?

J. A. Fraschina

EEA INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina.

En nuestro país, el artículo 657 del Código Alimentario Argentino reconoce como **trigo pan** (*Triticum aestivum* L.) al trigo destinado a molienda para obtener harina de trigo, y como **trigo candeal** (*Triticum turgidum ssp durum* L.) al trigo duro destinado a molienda para obtener sémola, cuyo destino principal es la industria de fideos. También se individualiza como **trigo blando** al trigo cuya harina tiene una especial aptitud para la elaboración de galletitas dulces entre otros usos, y cuyo color de grano debe ser blanco. Los tres tienen características agronómicas similares y diferente uso industrial después de la molienda. La información presentada en este capítulo se refiere al valor de calidad del trigo pan, salvo en casos con referencia específica.

Debido a su importancia en la alimentación humana, el valor de la producción de trigo es proporcional a su calidad. Por esto, tanto productores como asesores deben pensar no sólo en la cantidad de granos que producen sino también en su calidad, siempre relacionada con el uso posterior.

El trigo aporta aproximadamente el 20% de los carbohidratos en la dieta de la humanidad (Peña et al., 2014). Además de ser una de las principales fuentes de energía, representa un aporte significativo de proteínas y otros componentes, que en menor magnitud contribuyen a una adecuada nutrición, como lípidos, vitaminas, minerales y fitoquímicos. El endospermo del grano de trigo, que representa más del 80% del peso del grano, es el lugar donde se acumula la mayor parte de la proteína (75%). También en la aleurona y el germen hay contenidos importantes de proteína (14% y 7.5% respectivamente).

El milenar consumo de trigo por parte de la raza humana se debe a las propiedades únicas del gluten, el cual representa la porción más importante de las proteínas de reserva en la harina de trigo (80% de las proteínas de una célula del endospermo). La extensibilidad y elasticidad de una masa de harina de trigo durante el proceso de panificación dependen de las proteínas constituyentes del gluten. En la denominación de gluten se incluye dos tipos principales de proteínas: las gliadinas (proteínas monoméricas) y las gluteninas (proteínas poliméricas).

No obstante, los constituyentes más importantes del grano de trigo son los carbohidratos (85%), y entre ellos el almidón, que representa entre 60% y 70% de la masa total del grano o el 70-85% de la harina. Dicho carbohidrato cumple un rol importante en el proceso de panificación, en la retención de agua y como sustrato de la fermentación. A nivel molecular se divide en dos fracciones: la amilosa y la amilopectina, que representan el 25% y 75% del almidón respectivamente. El almidón se almacena en gránulos que se rompen durante la molienda dependiendo de la dureza del grano, permitiendo así la absorción de agua por parte de la masa. La textura del endospermo afecta la dureza del grano y de ésta depende la mayor o menor rotura de los gránulos de almidón durante la molienda. En la molienda de un trigo blando se rompen menos gránulos de almidón y la harina resultante absorbe menos agua, característica buscada para la elaboración de galletitas dulces y bizcochuelo.

El contenido y tipo de almidón en trigo también tiene características buscadas para otros usos. Por ejemplo, el almidón de trigo se usa como agente endurecedor en la conservación de alimentos por su temperatura de gelificación, o cuando genéticamente se modifica su constitución y prevalece la amilopectina sobre la amilosa, y el almidón adquiere una textura cerosa con mayor viscosidad y retención de agua (almidón waxy).

Calidad comercial e industrial panadera

La calidad física de la producción es el requisito primario para la comercialización de trigo en nuestro país, y su caracterización se realiza a través de un grupo de parámetros que forman parte de las **Normas de Calidad** (ver **Anexo**), que a su vez constituyen el estándar de comercialización. Entre los parámetros utilizados se destaca el peso hectolítrico del cual depende el grado dentro del estándar. A partir del año 1996 se incluye el contenido de proteína en grano en el estándar de trigo pan, parámetro también utilizado para evaluar su calidad industrial. El contenido de proteína es importante para la panificación porque del mismo depende directamente la cohesión de la masa. La cantidad de proteína en el grano de trigo es el resultado de una combinación entre las características genéticas de la variedad y el ambiente de producción. De aquí surge como relevante la estrategia utilizada para corregir la deficiencia de nutrientes en cada caso, principalmente nitrógeno (ver Capítulo 6). En el caso del trigo candeal, además de la proteína se usa el parámetro denominado vitreosidad que se determina visualmente, y tiene relación con el rendimiento y color de la sémola en la molienda.

La industria molinera argentina procesa anualmente unas 6 millones de toneladas de trigo, destinando su producción al consumo interno (actualmente $90 \text{ kg hab}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y parte también a la exportación. Más del 70% de la producción de harina de trigo argentina se destina a la elaboración de pan y otros productos panificados. Teniendo en cuenta esto, para evaluar su calidad panadera, además de las características físicas del grano, se tiene en cuenta el contenido de gluten y su aptitud panadera (artículo 12 de la Norma XX de comercialización). El contenido de gluten tiene relación con el contenido de proteína en grano, pero la calidad del gluten depende del tipo de proteínas, y esto se relaciona directamente con la variedad. Es importante conocer y tener en cuenta estas características al elegir o recomendar la siembra de una variedad de trigo.

Para caracterizar y categorizar la calidad industrial panadera de una variedad de trigo se utiliza un índice de calidad (**IC**, ver más adelante) conformado por siete parámetros que incluyen ocho variables:

- 1. Peso hectolítrico (PH, kg hl^{-1})**, es un factor de calidad reconocido internacionalmente que depende de la uniformidad, forma, densidad y tamaño del grano. A mayor PH, mayor rendimiento de harina en la molienda. Se determina empleando la balanza Schopper Chondrometer de $\frac{1}{4}$ litro de capacidad.
- 2. Proteína en grano (PROT, %)**, las proteínas son compuestos orgánicos complejos que definen la calidad industrial del trigo pan. La proteína en grano se determina por el método químico Kjeldahl o por método rápido utilizando equipos de espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRT), que también sirve para determinar PH.
- 3. Rendimiento de harina (RH, %)**, es el producto que se obtiene de la molienda y se realiza con un acondicionamiento previo del grano a 15% de humedad para facilitar la separación del salvado y el endospermo. La determinación puede realizarse con molino experimental.
- 4. Contenido de cenizas (C, % sss)**, se determina después de exponer una muestra de harina a 920°C durante 2 horas. El contenido de cenizas de una harina representa la cantidad de salvado que pasó a la harina durante la molienda.
- 5. Gluten húmedo (GH, %)**, el gluten es una sustancia 'gomosa' que se obtiene lavando una muestra de harina con agua para eliminar el almidón y las proteínas solubles (albúminas y globulinas), quedando como remanente las proteínas insolubles. Al secarse se obtiene el gluten con un remanente de carbohidratos y lípidos. Para su determinación se utiliza el equipo GLUTOMATIC que lo hace en forma automática sobre una muestra de 10 g de harina.
- 6. Estabilidad farinográfica (EF, min)**, se determina con el Farinógrafo Brabender, equipo que registra la fuerza que se requiere para mover las palas de un mezclador que gira a velocidad constante.

Durante la prueba, la fuerza varía y se registra en gráficos o farinogramas que después permiten interpretar parámetros de interés (absorción de agua, tiempo de desarrollo, estabilidad y aflojamiento de la masa).

7. Fuerza del alveograma (W), se determina con el Alveógrafo de Chopin que mide la resistencia a la deformación y la extensibilidad de un trozo de masa en forma de disco al que se le aplica aire a presión. Con la gráfica resultante se calculan parámetros correlacionados con la aptitud panadera (altura de la curva o P, largo de la curva o L, índice de hinchamiento o G, equilibrio P/G o P/L, trabajo de deformación o W y el índice de elasticidad o LE).

8. Volumen de pan (VOL, cc), se determina a través de una prueba de panificación experimental y es una evaluación representativa de la calidad industrial panadera de un trigo. Finalizada la cocción se pesa el pan a la salida del horno y 1 hora después se determina el volumen alcanzado por desplazamiento de semillas de nabo. Posteriormente, también se evalúa la textura, porosidad y color de la miga del pan.

Índice de Calidad y categorización de variedades en Grupos de Calidad

En el año 2003 se recreó en Argentina la Red de Ensayos Comparativos de Variedades de Trigo (RET) y se estableció la participación obligatoria de toda variedad de trigo inscrita en el Registro Nacional de Cultivares y para la cual se produzca semilla de Clase Fiscalizada. En el mismo año se inició la evaluación e implementación de un sistema de clasificación de variedades de trigo por su calidad de uso final. El encargado de armar este sistema fue el Comité de Cereales de Invierno del Instituto Nacional de Semillas (INASE) y el criterio de clasificación se basó en la confección del **índice de calidad (IC)** que integra variables importantes para la industria molinera y panadera (Salomón y Miranda, 2001). Actualmente el IC está conformado por los siete parámetros de calidad: PH, PROT, RH/C relación entre el rendimiento de harina y el contenido de cenizas, GH, W del alveograma, EF estabilidad del farinografo y VOL volumen de pan, con una ponderación de cada parámetro de 0.075, 0.075, 0.15, 0.10, 0.25, 0.15 y 0.20, respectivamente. El análisis de la información disponible de calidad de los ensayos de la RET durante tres años (2005, 2006 y 2007) indica que los parámetros W y PROT tienen alta correlación con el IC.

El IC representa una expresión de la calidad de cada variedad de trigo pan y es utilizado para comparar una nueva variedad con los testigos (tres) que acompañan la presentación del legajo, al momento de ser inscrita. Una vez aprobada, la nueva variedad queda categorizada en uno de tres **grupos de calidad (GC)**:

- **Grupo 1:** son trigos 'correctores', aptos para panificación industrial
- **Grupo 2:** son trigos para panificación tradicional, aptos para una fermentación larga (mayor a 8 horas)
- **Grupo 3:** son trigos para panificación directa, aptos para una fermentación corta (menor a 8 horas)

Una vez aprobado el legajo de una nueva variedad (INASE – CONASE), el criadero o la empresa licenciataria puede iniciar la difusión de la nueva variedad con esta categorización provisoria de calidad. Cabe destacar que con información que surge de las evaluaciones de calidad realizada con muestras de los ensayos de la RET, una variedad puede cambiar su categorización.

Las variedades de trigo pan se categorizan en tres **grupos de Calidad** de acuerdo a su aptitud industrial y panadera, según un índice de calidad conformado con 7 parámetros

Esta categorización resulta de utilidad para orientar la elección de cultivares por parte de asesores y productores. No obstante, el logro de una adecuada calidad dependerá también del manejo del cultivo.

Efecto de la variedad y el ambiente sobre los caracteres de calidad

El ambiente y la interacción entre éste y la variedad pueden modificar la expresión de caracteres que son importantes para la calidad del trigo, por ejemplo modificando el contenido de proteína y la relación entre gluteninas y gliadinas. El contenido y tipo de almidón en trigo resulta más estable que el de proteína.

La acumulación de proteína en el grano de trigo depende principalmente de la **disponibilidad de N** durante los momentos críticos del cultivo, de la variedad utilizada y de la temperatura durante el llenado de los granos. A una temperatura media de 18°C durante el llenado de grano, primero se depositan albúminas y globulinas, después gliadinas y más tarde lo hacen las gluteninas (Stone y Savin, 1999). De esto surge que el peso molecular de las proteínas que se almacenan va aumentando durante el llenado, y así también progresa la aptitud panadera que tendrá la harina resultante. Esta dinámica indica que, de acuerdo al momento en que ocurra algún tipo de estrés durante el llenado, el efecto sobre la calidad será diferente.

En el área triguera pampeana argentina el período de llenado de los granos de trigo (antes de la madurez fisiológica) puede prolongarse entre 4 y 5 semanas durante los meses de octubre, noviembre y parte de diciembre. En estos meses es común la ocurrencia de días con registro de **temperaturas altas** que pueden modificar la tasa y duración de llenado de grano, alterando su calidad (ver **Capítulo 3**). Se reconocen efectos negativos sobre la calidad de un **ambiente excesivamente húmedo** hacia fines de llenado de grano, al promover la actividad enzimática que hidroliza el almidón. Ambientes con alta humedad y temperatura después de la madurez, favorecen el brotado de los granos o la incidencia de algunas enfermedades como fusariosis de la espiga (*Fusarium graminearum*) o manchado por *Alternaria sp.* La incidencia del hongo *Fusarium graminearum* en trigo no sólo afecta el rendimiento (número y peso de los granos) y la calidad física e industrial sino también su inocuidad, debido a la presencia de micotoxinas como el deoxynivalenol (DON) producido por el hongo presente en grano y harina (Alberione et al., 2015).

Una mayor **temperatura** durante el llenado de los granos adelanta la madurez promoviendo un menor tamaño y peso de los mismos, pudiendo incrementar el contenido relativo de proteína y reduciendo el PH. Así, dependiendo de la magnitud de este efecto, un cambio en el tamaño de grano puede bajar el rendimiento de harina en la molienda, pero puede mejorar su aptitud panadera por un mayor contenido relativo de proteína. Debido al patrón de deposición en el grano, temperaturas superiores a los 32°C pueden alterar la relación gluteninas/gliadinas modificando así las propiedades del gluten. Durante episodios de estrés térmico, tanto la síntesis de gliadinas como de gluteninas de bajo peso molecular se modifica poco, mientras que la síntesis de gluteninas de alto peso molecular se reduce y hasta puede detenerse (Panozzo y Eagles, 2000; Altenbach, 2012; Blumenthal et al., 1995; Shewry y Hey, 2015). En general, una fecha de espigazón tardía supone una exposición del llenado de grano a **mayores temperaturas**. No obstante, el posible efecto dependerá de la adaptación de cada variedad a las condiciones agroclimáticas de una región.

Es conocida la relación inversa entre el rendimiento de trigo y el contenido de proteína en grano. Resultados de investigación muestran que un alto contenido de proteína en grano sólo puede ser alcanzado con niveles de disponibilidad de N que exceden a los requerimientos para el máximo rendimiento (Fowler et al., 1989), y esto es así para cada variedad (ver **Capítulo 6**). En el sudeste de Córdoba, el Servicio Técnico de la Cooperativa Agrícola Ganadera de Justiniano Posse (comunicación personal)

evaluó 26 variedades de trigo de diferente grupo de calidad en cuatro niveles de **disponibilidad de N** ($N-NO_3^-$ en el estrato 0-40 cm del suelo + fertilizante). En la experiencia se observaron diferencias en el requerimiento de N por tonelada de trigo producido para alcanzar 11% de proteína en grano. Los resultados mostraron requerimientos medios de 24, 36 y 43 kg de N por tonelada de grano producido para las variedades de GC1, GC2 y GC3 respectivamente (**Figura 1**). En la Figura también se puede apreciar que prácticamente ninguna variedad de GC1 evaluada cae por debajo del 11% con 30 kg de N por tonelada de grano o más.

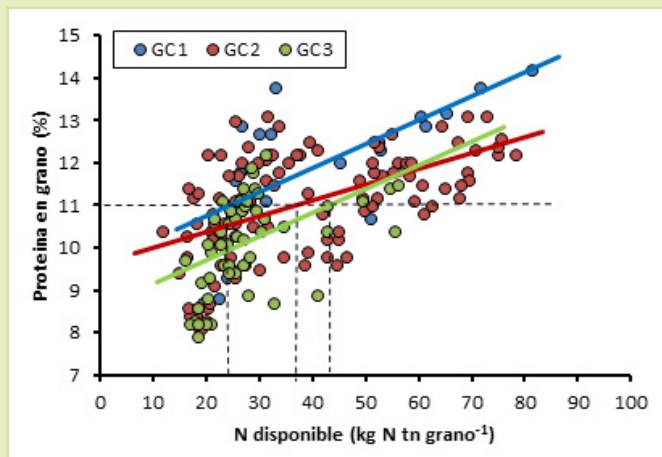


Figura 1. Relación entre el contenido de proteína en grano de trigo (%) y la disponibilidad de N ($N-NO_3^-$ en 0-40 cm + fertilizante incorporado a la siembra del cultivo) por tonelada de grano producida ($kg N tn^{-1}$) según los diferentes grupos de calidad. Fuente: Servicio Técnico de la Cooperativa Agrícola Ganadera de Justiniano Posse.

Analizando 6 variedades de trigo (2 de cada GC) durante 2 años en 2 localidades de la región central norte triguera argentina y con 4 niveles de disponibilidad de N (incluida una aplicación foliar), Gómez (2011) evaluó el rendimiento de grano y los parámetros de calidad PH, PROT, GH, W, y VOL. En la experiencia observó que el **efecto ambiental** fue el que aportó la mayor fuente de variación, coincidiendo con lo descrito por otros autores (Mortarini et al., 2004). A excepción de la proteína en grano que varió con la disponibilidad de N, la variedad resultó más importante que el ambiente como condicionante del peso de mil granos, PH, PROT, GH y VOL, en coincidencia con otros autores (Mortarini et al., 2004; Souza et al., 2004). Además, el efecto variedad fue mayor en los parámetros de calidad evaluados que en la variable rendimiento. El W fue el parámetro que más dependió de la variedad y su interacción con el ambiente.

El ambiente y la interacción entre éste y la variedad pueden modificar la expresión de caracteres que son importantes para la calidad del trigo. Disponibilidad de N, agua, y temperatura son los factores ambientales que más afectan la calidad.

Relación entre parámetros de calidad y rendimiento

Considerando la relación inversa entre el contenido de proteína y el rendimiento de grano, resulta de interés conocer el comportamiento de otros parámetros de calidad de acuerdo a la expresión de

rendimiento. Con los resultados de rendimiento y calidad de la RET de Trigo (INASE) en los años 2005 y 2006, se analizó el comportamiento de 12 cultivares (4 de cada GC) caracterizados previamente como más ‘estables’ para su GC, en 8 localidades: Marcos Juárez, Pergamino, Chacabuco, Pla, 9 de Julio, La Dulce, Bordenave y Coronel Suarez (Fraschina y Masiero, 2011). En las **Figuras 2 y 3** se muestra la relación entre el rendimiento y la proteína en grano y con el gluten húmedo. Resulta evidente que, con la tecnología utilizada en los ensayos de la RET, no parece difícil alcanzar 11% de proteína y 25% de gluten húmedo con las variedades de GC1. No se observa lo mismo en variedades de GC3 y GC2. Cuando se compara W y rendimiento (**Figura 4**), se observa una notable diferencia en la tendencia de las variedades GC1, sugiriendo un mayor control genético con una menor interacción variedad por ambiente en el intervalo de evaluación. En la Figura 5 no se observa una clara separación por GC al relacionar rendimiento y el IC calculado para los cultivares evaluados.

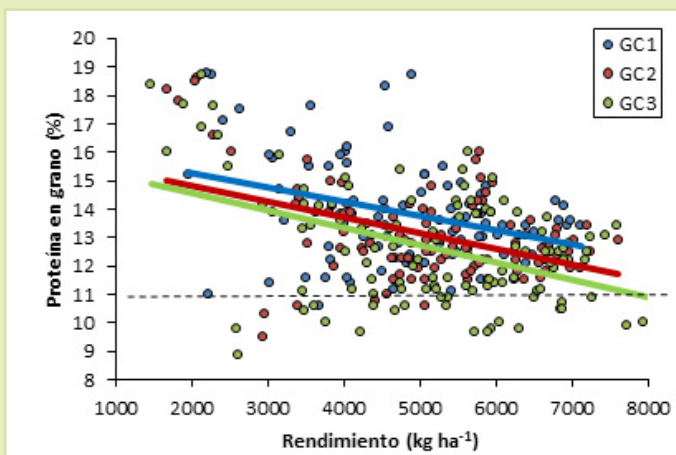


Figura 2. Relación entre el contenido de proteína en grano (%) y el nivel de rendimiento (kg ha⁻¹) según diferentes grupos de calidad. Ensayos de la RET, campañas 2005 y 2006.

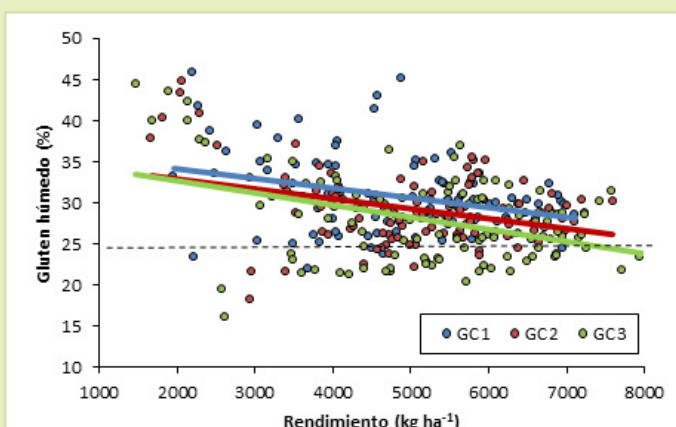


Figura 3. Relación entre el gluten húmedo (%) y rendimiento (kg ha⁻¹) según grupo de calidad. Ensayos de la RET, campañas 2005 y 2006.

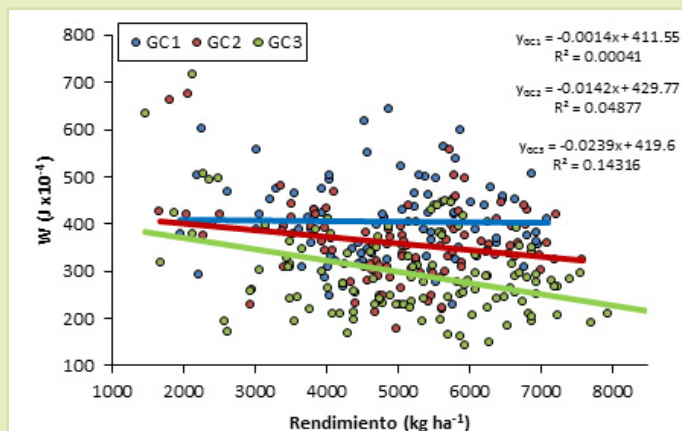


Figura 4. Relación entre el valor W del alveograma y el rendimiento (kg ha^{-1}) según grupo de calidad. Ensayos de la RET, campañas 2005 y 2006.

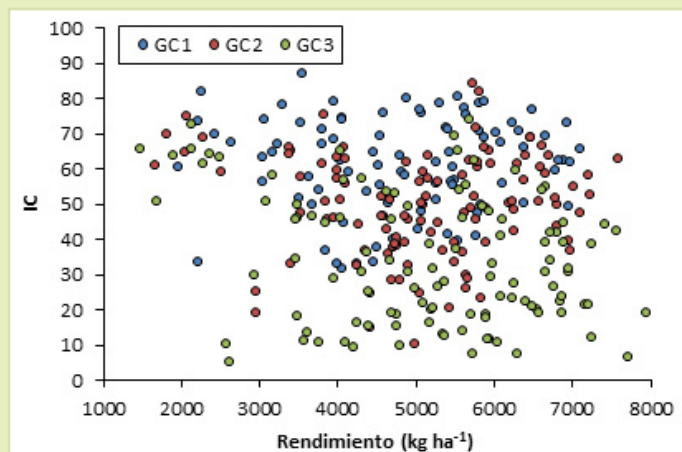


Figura 5. Relación entre el índice de calidad (IC) y el nivel de rendimiento (kg ha^{-1}) según diferentes grupos de calidad. Ensayos de la RET, campañas 2005 y 2006.

El rendimiento puede afectar el nivel de proteína en grano y el contenido de gluten, pero otros parámetros de calidad no muestran una relación clara con el mismo.

Efecto de las enfermedades sobre la calidad

Si pensamos en una producción de calidad, además del potencial de rendimiento y de las características agronómicas, la elección de una variedad de trigo debe tener en cuenta su comportamiento frente a las principales enfermedades prevalentes en cada región. Las enfermedades del trigo que desarrollan mayor severidad con la temperatura como ‘roya de la hoja’ y ‘roya del tallo’, afectan de manera agresiva el tejido verde remanente durante el llenado de los granos, pudiendo así afectar la calidad. Por las características biotróficas de estos parásitos y el corto período de llenado, el uso de fungicidas para su control en ese momento no garantiza el resultado esperado. No deberíamos tener duda que la mejor expresión de calidad de una variedad se expresa con una suficiente disponibilidad

de recursos, pero también con un área foliar funcional y sana durante la espigazón y el llenado de los granos. La recomendación es elegir variedades con algún nivel de resistencia o tolerancia genética a las principales enfermedades, y así minimizar el uso de umbrales de daño que no cuentan con información suficiente de los efectos sobre la calidad.

Comentarios finales

En Argentina, el beneficio por vender un trigo de alta calidad resulta evidente sólo cuando la oferta en el mercado es escasa. Sin embargo, la expectativa es que esto tienda a cambiar si los precios de referencia estuvieran acompañados con su correspondiente contenido de proteína. La demanda agregada de la industria molinera local y de la exportación hacia Brasil requiere trigo panificable con un mínimo de 10.5% de proteína, y esto es alcanzable con variedades de los tres GC acompañadas con un adecuado manejo.

Elegir una variedad de GC1 es una estrategia útil pero no suficiente por sí sola para alcanzar una producción de trigo de alta calidad, y podría resultar en pérdidas de rendimiento en los ambientes de mejor productividad.

Muchas variedades de GC2 y GC3 actualmente difundidas expresan alto rendimiento de grano en los buenos ambientes de producción, pero difieren en su eficiencia de uso del N disponible para hacer rendimiento y proteína. En los **Capítulos 3 y 6** se amplía la discusión del impacto de la disponibilidad de N sobre la proteína en grano.

Mirada a futuro sobre calidad de trigo

Se considera que un mercado de calidad existe cuando se establecen diferencias de grado por calidad para su comercialización. En ese marco, una nueva variedad de trigo pan debe aprobarse sólo si es igual o mejor que los testigos de referencia y mantenerse dentro de las pautas del estándar de comercialización establecidas. La restricción para difundir nuevas variedades que no cumplan con estas pautas resulta una estrategia efectiva para consolidar y mantener un estándar de calidad, y sobre esto se debería seguir trabajando a futuro.

- Actualmente el mejoramiento de trigo está trabajando para atender algunas de las siguientes demandas de calidad: La intolerancia al gluten o celiaquía como enfermedad confirmada hace algunas décadas afecta aproximadamente el 1-1.5% de la población mundial. Otros autores elevan ese porcentaje hasta un 6% considerando otras alergias, y por lo tanto representa un desafío para la demanda futura de calidad de trigo (Poole et al., 2006; Ozuna et al., 2015).
- Es posible incrementar el contenido de hierro y zinc en los granos de trigo (Calderini y Monasterio, 2003 a y b) aunque no parece fácil de modificar el contenido de lisina.
- Hoy se dispone de información sobre el gen Gpc-B1 (Khan et al., 1989; Uauy et al., 2006; Tabbita et al., 2013) que incrementa el contenido de proteína en grano tanto en trigo pan como en trigo candeal. El efecto de este gen se visualiza a través de la aceleración de la senescencia de las hojas y de la removilización de N al grano. Esto permitiría lograr variedades que combinen alto rendimiento en grano con alto contenido de proteína. Hay autores que sugieren abordar este tema con un enfoque más integral considerando la capacidad de extracción, de translocación y de removilización de N al grano, y su influencia sobre la síntesis de determinadas proteínas.

- Varios trabajos muestran avances en la modificación del almidón hacia un mayor contenido de amilosa tanto en trigo pan como en trigo candeal. La bibliografía menciona efectos beneficiosos sobre la digestión que resultan equivalentes al consumo de fibra, característica que mejoraría la calidad nutricional en los dos casos (Hazard et al., 2012; Slade et al., 2012).
- La industria de galletitas usa protocolos de producción que requieren calidades específicas para elaborar distintos productos. Gran parte de esta demanda es abastecida con harina de trigo pan y el agregado de aditivos. En nuestro país hay variedades adaptadas de trigo blando, pero todavía no hay suficiente incentivo para su difusión.
- Como país exportador de trigo se podría atender demandas de calidad específica o relacionada a distintos hábitos alimenticios. Por ejemplo, trigos para elaborar fideos de altísima calidad o trigos para la elaboración de fideos asiáticos o noodles. Los fideos chinos y asiáticos, elaborados con trigos de almidón parcialmente waxy, son consumidos en todos los países donde habitan pobladores de ese origen, y además resulta en un importante rubro en el comercio internacional de trigo que involucra a Australia y Estados Unidos como productores y a China junto a otros países asiáticos como compradores.

Bibliografía

- Alberione, E., C. Bainotti, G. Donaire, J. Fraschina, J. Salines, N. Salines, D. Gómez, S. Chulze, J. Palazzini, L. Mir, y M. Cuniberti. 2015. Incidencia de fusariosis de la espiga (*Giberella zeae*) evaluada sobre cultivares de trigo pan durante la campaña 2011-2012 en Marcos Juárez. XV Jornadas Fitosanitarias Argentinas, 7-9 octubre, Santa Fe.
- Altenbach, S.B. 2012. New insights into the effects of high temperature, drought and post-anthesis fertilizer on wheat grain development. *Journal of Cereal Science* 56: 39-50.
- Blumenthal, C., F. Bekes, P.W. Gras, E.W.R. Barlow, y C.W. Wrigley. 1995. Identification of wheat genotypes tolerant to the effects of heat stress on grain quality. *Cereal Chemistry* 72: 539-544.
- Calderini, D., y O.I. Monasterio. 2003a. Are synthetic hexaploids a means of increasing grain element concentrations in wheat? *Euphytica* 134, 2003, pp 169-178.
- Calderini, D., y O.I. Monasterio. 2003b. Grain position affects grain macronutrient and micronutrient concentrations in wheat. *Crop Science* 43, 141-151.
- Fowler, D.B., J. Brydon, y R.J. Baker. 1989. Nitrogen fertilization of winter wheat and rye. II. Influence on grain protein. *Agron. J.* 81: 72-77.
- Fraschina, J., y B. Masiero. 2011. Propuesta de análisis del índice de calidad en ensayos de la RET. Años 2005, 2006 y 2007. Inédito, informe para el Comité de Cereales de Invierno, INASE.
- Gómez, D. 2011 Interacción Genotipo por Ambiente sobre los Caracteres de Calidad Comercial e Industrial en Trigo Pan (*Triticum aestivum* L.) Tesis de Magister, Escuela para Graduados. FA-UBA.
- Hazard, B., X. Zhang, P. Colasuonno, C. Uauy, D.M. Beckles, and J. Dubcovsky*. 2012. Induced Mutations in the Starch Branching Enzyme II (SBEII) Genes Increase Amylose and Resistant Starch Content in Durum Wheat. *Crop Sci.* 52:1754-1766 (2012).
- Khan, K., R. Froberg, T. Olsen, y L. Huckle. 1989. Inheritance of gluten protein components of high protein hard red spring wheat lines derived from *Triticum turgidum* var. *dicoccoides*. *Cereal Chemistry* 166: 397-401.
- Mortarini, M.A., S. Perelman, y D. Miralles. 2004. Calidad Industrial del Trigo: Interacción Genotipo por Ambiente. VI Cong. Nacional de Trigo, Bahía Blanca, Argentina.
- Ozuna, C.V., J.C.M. Iehisa, M.J. Giménez, J.B. Alvarez, C. Sousa, F. Barro. 2015. The ω -gliadin immunogenic complex in wheat. En prensa.
- Panozzo, J.F., y H.A. Eagles. 2000. Cultivar and environmental effects on quality characters in wheat. II Protein.

Australian Journal of Agricultural Research 51: 629-636.

Peña, R.J., H.J. Braun, y J. Mollins. 2014. Anti-Wheat Fad Diets Undermine Global Food Security Efforts. Discussion Paper, Global Wheat Program, CIMMYT.

Poole, J.A., K. Barriga, D.Y.M. Leung, M. Hoffman, G.S. Eisenbarth, M. Rewers, y J.M. Norris. 2006. Timing of initial exposure to cereal and the risk of wheat allergy. *Pediatrics* 117: 2175-2182.

Salomon, N., y R. Miranda. 2001. Índice de Calidad Industrial en Trigo: una herramienta para determinar la aptitud de los materiales genéticos. Estrategias y Metodologías Utilizadas en el Mejoramiento de Trigo: un enfoque multidisciplinario. Kholi MM, Ackermann M y Castro M Editores, CIMMYT INIA, 8-11 Oct. La Estanzuela, Uruguay.

Shewry, P.R. and Hey, S.J. 2015. Improving Wheat Grain Quality for Health and Processing. Rothamsted Research and University of Reading, UK.

Slade, A.J., C. Mc Guire, D. Loeffler, J. Mullenberg, W. Skinner, G. Fazio, A. Holm, K.M. Brandt, M.N. Steine, J.F. Goodstal and V.C. Knauf. 2012. Development of high amylose wheat through tilling. *BMC Plant Biology*, 12:69

Souza, E.J., J.M. Martin, M.J. Guttieri, K.M. O'Brien, D.K. Habernicht, S.P. Lanning, R. McLean, G.R. Carlson, y L.E. Talbert. 2004. Influence of Genotype, Environment, and Nitrogen Management on Spring Wheat Quality. *Crop Sci.* 44:425-432.

Stone, P.J., y R. Savin. 1999. Grain quality and its physiological determinants. En: *Wheat: Ecology and physiology of yield determination*. Ed.: E.H. Satorre & G.A. Slafer, Food Product Press, New York, EEUU, pp. 85-120.

Tabbitta, F., S. Lewis, J. Vouilloz, M. Ortega, M. Kade, P. Abbate, y A. Barneix. 2013. Effects of the Gpc-B1 locus on high grain protein content introgressed into Argentinean wheat germplasm. *Plant Breeding* 132, 48-52.

Uauy, C., A. Distelfeld, T. Fahima, A. Blechl, y J. Dubcovsky. 2006. A NAC gene regulating senescence improves grain protein, zinc and iron content in wheat. *Science* 314: 1298-1301.