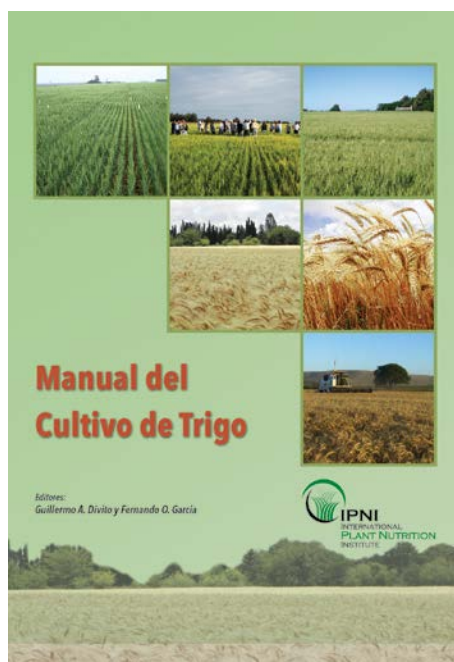


Manual del Cultivo del Trigo



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



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

Miriam 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. Cardos

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.
calvinopablo@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.gov.ar

Guillermo A. Divito

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

guillermovidito@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.gov.ar

Jorge A. Frascina

EEA INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina.

frascina.jorge@inta.gov.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 República. 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.gov.ar

Pablo Manetti

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

manetti.pablo@inta.gov.ar

Juan Pablo Monzon

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

monzon.juanpablo@inta.gov.ar

Carla Salvio

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

salvio.carla@inta.gov.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.gov.ar

María Celia Tulli

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

tulli.maria@inta.gov.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 I: El trigo, su difusión, importancia como alimento y consumo

Pablo E. Abbate¹; Miguel J. Cardós² y Leda E. Campaña²

¹Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.

²Molino Campodónico, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Difusión del cultivo de trigo

El trigo es un cereal originario del oeste de Asia que se cultiva desde hace más de 6000 años. Actualmente constituye el cultivo más difundido en el mundo abarcando una superficie cosechada de 219 millones de ha por año (**Figura 1a**), seguido por el maíz (177 millones ha), el arroz (162 millones ha) y la soja (108 millones de ha). Estos cuatro cultivos cubren el 50% de la superficie cosechada mundial. Desde el punto de vista productivo, el trigo ocupa el cuarto lugar a nivel mundial luego de la caña de azúcar, el maíz y el arroz con cáscara (**Figura 1b**). Si se computa solamente la producción que podría utilizarse como alimento humano (descontando la fracción no comestible, p.ej. la cáscara del arroz), el trigo ocupa el segundo lugar luego del maíz (**Figura 1c**). Sin embargo, como la mayor parte del maíz se utiliza como alimento forrajero, actualmente el trigo constituye el principal alimento humano seguido por el arroz, la papa, la soja y el maíz.

Si bien en 120 de los 193 países reconocidos por las Naciones Unidas se produce algo de trigo, según los datos de la FAO (FAOSTAT, 2017), la mayor parte se siembra y produce entre los 35° y 55° de latitud del hemisferio norte y entre los 25° y 45° de latitud en el hemisferio sur (**Figura 2a y b**). En este hemisferio, la producción de trigo llega al límite norte de la Patagonia en Argentina, la Región XI en Chile, la isla de Tasmania en Australia y hasta la región más austral (Southland) en Nueva Zelandia. Sin embargo, en el hemisferio norte se siembra el 90%, se produce el 93% y se consume la mayor parte del trigo mundial (promedio del período 2012-2014, FAOSTAT, 2017). Uno de los motivos de la diferencia de difusión entre hemisferios se debe a que en el hemisferio sur hay 58% menos superficie continental entre las latitudes en que se cultiva el trigo. Otro motivo es la diferencia de rendimiento entre hemisferios (**Figura 2c**). Actualmente, la mayor parte de la producción de trigo se obtiene con rendimientos entre 2 y 7 t ha⁻¹, lográndose los mayores rendimientos sin riego en el hemisferio norte, particularmente en Europa (**Figura 2c**). Los rendimientos más altos obtenidos en el hemisferio sur se dan en Chile y Nueva Zelandia. Tal como muestra la **Figura 2c**, pueden obtenerse altos rendimientos (mayores a 7.6 t ha⁻¹) en latitudes medias a bajas de China, India, México y algunos países africanos por medio de riego.

Si bien el trigo tiene menor tolerancia al anegamiento que el arroz, menor tolerancia a la salinidad que la cebada y menor tolerancia a la sequía que el centeno, se ha difundido más que esos cereales como alimento humano. ¿A qué se debió su amplia difusión? Se pueden distinguir características ecológicas que favorecieron la difusión del cultivo y características del grano que lo hicieron más preciado que el de otras especies vegetales. Las principales características ecológicas que favorecieron la difusión del trigo son:

- a) Buena adaptación a la mayor parte de los suelos agrícolas del mundo.
- b) El crecimiento del cultivo tiene un rango amplio de temperatura óptima, debido al rango amplio de temperatura óptima de la fotosíntesis, entre 10 y 20°C.

c) Existen una amplia diversidad fenológica entre genotipos gracias a la variada combinación de sensibilidad a la temperatura y al fotoperiodo, y requerimientos de temperatura, permitiendo un desarrollo adecuado en una amplia gama de ambientes.

Las características del grano de trigo que lo hacen tan apreciado son:

- a) Es un grano desnudo (sin envolturas), fácil de transportar, almacenar y moler.
- b) Produce harina capaz de fermentar en presencia de levaduras (hongos) de origen natural.
- c) La harina posee gluten (sustancia viscosa y elástica, insoluble en agua), lo cual posibilita que la masa leude (se infle) al fermentar, permitiendo la preparación de alimentos blandos, agradables de comer, incluso varios días después de su elaboración, tal como el pan.

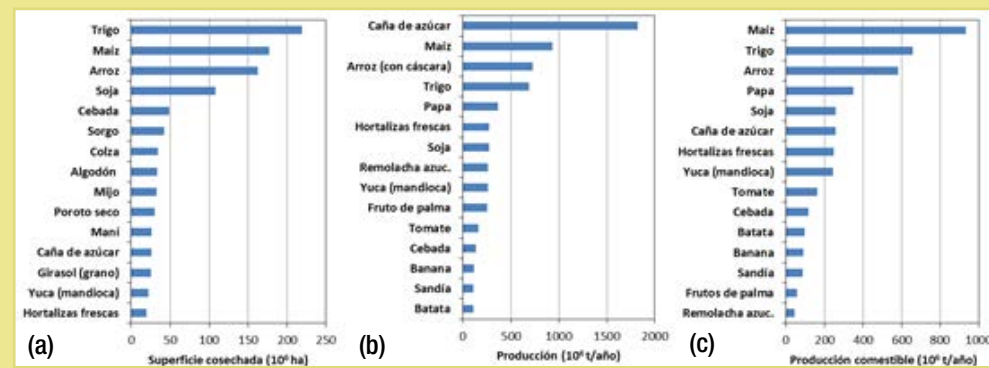


Figura 1. (a) Superficie cosechada, (b) producción y (c) producción potencialmente comestible (producción que podría destinarse al consumo humado directo) de los 15 principales cultivos del mundo, promedio del período 2010-2014 (Elaboración propia a partir de los datos de FAOSTAT, 2017).

El trigo como alimento

Valor nutricional

El trigo es una de las principales fuentes de energía alimenticia y la principal fuente de proteína de consumo humano. Junto con el arroz, la carne y la caña de azúcar constituyen más del 50% del consumo total de energía. Por otra parte, el trigo junto con la carne y el arroz totalizan el 50% del consumo total de proteínas del mundo (Figura 3b).

Comparado con otros cereales (Tabla 1), el trigo tiene mayor concentración de proteína en el grano, la harina y en sus derivados que el arroz, el maíz y la cebada. El grano de centeno suele presentar mayor porcentaje de proteína que el de trigo, sin embargo, sus derivados no presentan ventaja. La mayor parte del trigo se consume como pan y fideos. El pan blanco concentra algo más de proteína que la harina igualando el valor del grano (Tabla 1). Por su parte, los fideos secos tienen valores proteicos mayores que los de la harina y el grano, pero cuando se considera el agua que contienen al momento de la ingesta, la concentración de proteína decrece a aproximadamente 1/3 del valor original (Tabla 1). Las principales proteínas del trigo son la gliadina y glutenina las cuales constituyen el gluten, el cual le confiere a la masa la posibilidad de leudar.

Al igual que otros cereales, el grano de trigo tiene bajo contenido de los aminoácidos esenciales lisina y treonina (Tabla 2). La leche no posee más concentración proteica que la harina de trigo, sin embargo, el reemplazo de parte del agua por leche para elaborar "pan lactal" permite incrementar el contenido proteico del pan en aproximadamente 1% (Tabla 1) y mejorar su valor nutritivo aumentando

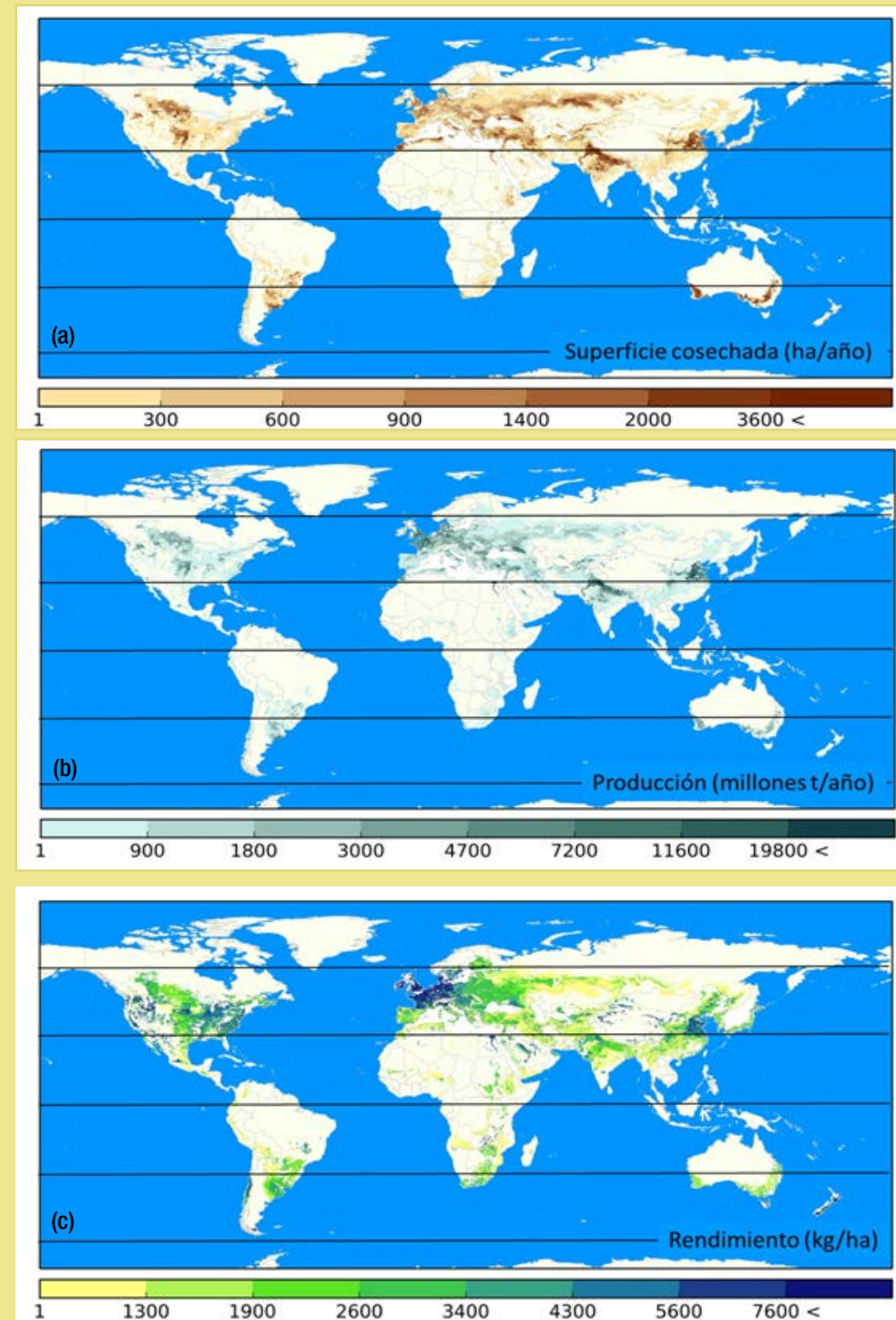


Figura 2. Distribución mundial de (a) superficie cosechada, (b) producción y (c) rendimiento de trigo, correspondiente aproximadamente al año 2005 (adaptado de *Spatial Production Allocation Model*, You et al., 2014). Las líneas horizontales son la latitud cada 30°.

la concentración de leucina, valina y lisina ya que estos son los aminoácidos esenciales que están en mayor proporción en la leche. Por otro lado, el huevo, cuyo porcentaje de proteína suele ser 1% mayor al de la harina de trigo, permite mejorar tanto el contenido de proteína de los fideos como su valor nutritivo aportando especialmente leucina, lisina y valina. Ni la leche, ni el huevo son fuentes importantes de treonina, sin embargo las levaduras liberan ese aminoácido durante la fermentación del pan, por lo cual el pan presenta mayores niveles de treonina que la harina de trigo (Tabla 1).

A fin de mejorar el valor nutritivo de los alimentos derivados de la harina del trigo, en Argentina por Ley Nacional 25630, desde el año 2002 es obligatorio enriquecer el harina de trigo destinada al consumo humano que se comercializa en el mercado nacional con: hierro (agregando 30 mg kg⁻¹ de sulfato ferroso a la harina) y las vitaminas B9 (2.2 mg kg⁻¹ ácido fólico), B1 (6.3 mg kg⁻¹ tiamina), B2 (1.3 g kg⁻¹ riboflavina) y B3 (13.0 mg kg⁻¹ niacina). Por medio de este enriquecimiento se busca prevenir anemias y las malformaciones del tubo neural tales como la anencefalia y la espina bífida.

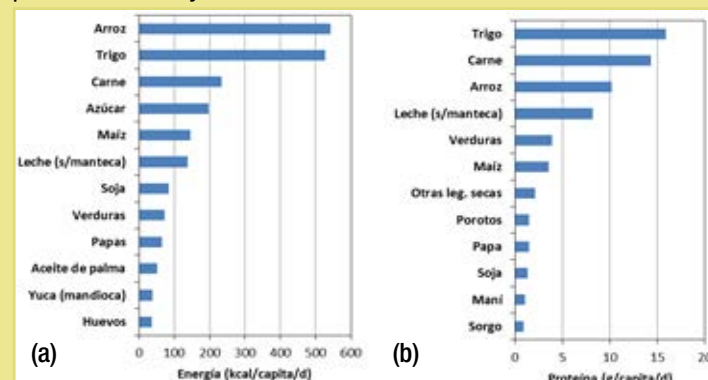


Figura 3. Principales alimentos fuentes (a) energética y (b) proteica. Promedio mundial del período 2010-2014 (Elaboración propia a partir de los datos de FAOSTAT, 2017).

Tabla 1. Contenido porcentual de proteína del grano y sus derivados, para los principales cereales alimenticios (Elaboración propia a partir de datos de INCAP, 2007).

	Grano	Harina	Pan	Fideo	Polenta	Maicena
Trigo	12.6	10.3	11.7-12.7 ^b	4.5-14.6 ^c		
Arroz blanco	6.6-7.5 ^a	5.9	4.2			
Maíz amarillo	9.4	8.5	7.8		8.8	0.6
Cebada pelada	9.9	8.7	6.4			
Centeno	14.7	9.3	9.2			

^a Valores para arroz blanco e integral, respectivamente.

^b Valores para pan blanco y lactal, respectivamente.

^c Valores para fideos crudos secos y cosidos escurridos, respectivamente.

Tabla 2. Contenido (mg 100 g⁻¹ de alimento) de los 10 aminoácidos esenciales para los humanos, en trigo, otros cereales y otros alimentos de interés (según datos de INCAP, 2007).

	Isoleucina	Leucina	Lisina	Metionina	Fenilalanina	Treonina	Triptófano	Valina	Arginina	Histidina
Trigo, grano	426	871	374	196	589	382	142	577	602	299
Trigo, harina	435	840	248	174	581	321	128	493	422	248
Trigo, pan	425	660	212	140	459	279	90	430	0	0
Cebada pelada	4211	784	406	196	603	389	180	592	555	248
Centeno, harina integral	414	728	401	172	522	395	87	561	541	261
Maíz, grano/harina	350	1190	254	182	464	342	67	461	398	258
Leche	219	430	248	86	239	153	50	255	88	118
Huevo de gallina	778	1091	863	416	709	634	184	847	754	301

Inocuidad

Las causas por las cuales el consumo de trigo puede producir daños a la salud son pocas, las principales son:

- Residuos tóxicos de agroquímicos.
- Alto contenido de fósforo.
- Presencia de toxinas de fusarium.
- Presencia del gluten que genera la enfermedad celíaca.

La presencia de *residuos tóxicos de agroquímicos* puede deberse a la aplicación de insecticidas durante el cultivo o el llenado del grano, o al tratamiento del grano almacenado, sin respetar los tiempos de cadencia adecuados. En la Argentina, el tratamiento del cultivo durante el llenado del grano contra orugas o pulgones es ocasional; sin embargo, en algunos años suelen darse ataques zonales que podrían dejar residuos en cantidades importantes de granos. Los residuos provenientes de los tratamientos de granos almacenados son más frecuentes, especialmente con la difusión del silo bolsa. Los productos preventivos suelen ser de baja toxicidad, pero de alta residualidad (6-9 meses). Además, los productos curativos pueden dejar residuos. En la Resolución 934/2010 de SENASA (SENASA, 2011), se establecieron las tolerancias máximas de los residuos de varios productos. El consumo de harina blanca disminuye el riesgo de consumir residuos de plaguicidas ya que la mayor parte de estos se encuentran en las capas externas del grano, las cuales se eliminan durante la molienda.

A igualdad en otros factores, cuando mayor es la *disponibilidad de fósforo (P)* en el suelo, mayor será la concentración de P en el grano. A diferencia de lo que ocurre con la concentración de nitrógeno, una alta concentración de P en los granos, no tiene ninguna implicancia en la calidad comercial o panadera del trigo. Sin embargo, un alto contenido de P se asocia con un alto contenido de fitatos, forma química en la que se encuentra la mayor parte del P en el grano. El fitato es considerado un anti-nutriente para los monogástricos (incluidos los humanos) porque es secuestrante de calcio, hierro y zinc, fomentando sus carencias nutricionales. Una de las enfermedades favorecida por estas carencias es la osteoporosis (debilitamiento de los huesos). Una vía para evitar estos problemas sería la obtención de grano con menor concentración de P. De hecho, se han encontrado diferencias en la concentración de P en el grano de cultivares de trigo argentinos (Lázaro et al., 2010) y, si bien la reducción en la exportación de P del campo a través del grano no tiene un gran costo para el productor, se ha calculado (Lázaro et al., 2010) que a nivel país podría representar un ahorro equivalente a 24

millones de dólares anuales, además de mejorar la inocuidad del trigo. Una solución más práctica consiste en consumir productos basados en la harina blanca en lugar de harina integral ya que la primera tiene menos contenido de P (**Figura 4**) y, por lo tanto, de fitatos.

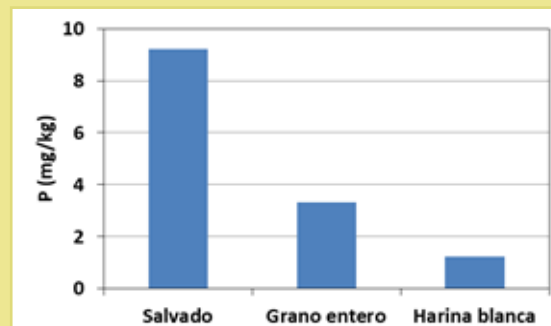


Figura 4. Contenido de fósforo (P) en tres alimentos de trigo (elaboración propia a partir de datos de INCAP, 2007).

De las enfermedades que atacan a los granos de trigo durante su desarrollo, la **fusariosis de la espiga** (producida por el hongo *Fusarium sp.*) es la más difícil de controlar. El hongo produce toxinas entre las que se destaca el deoxynivalenol (**DON**), también conocido como vomitoxina o factor de rechazo de alimento. Los problemas causados por la ingesta de esta toxina varían en función de cantidad y duración de su consumo, pero en términos generales produce problemas estomacales tales como el rechazo de alimentos, pérdida de peso, vómitos, diarrea, anemia y lesiones cutáneas. Se ha reportado que el DON también es una micotoxina inmunosupresora que afecta la respuesta inmunitaria celular actuando directamente sobre la médula ósea, el bazo, los tejidos linfoides, el timo y la mucosa intestinal. En Argentina no existe legislación que defina los niveles máximos de DON, así en la venta de granos suelen utilizarse los límites establecidos por la FDA (*Food and Drug Administration*, EE.UU.) los cuales coinciden con la propuesta que se está elaborando en el ámbito de la FAO, a la cuál adhirió Argentina (**Tabla 3**). Entre las prácticas para reducir la incidencia de DON se pueden mencionar:

- Rotación de cultivos ya que los ataques de fusarium son favorecidos por la siembra de trigo sobre trigo y trigo sobre maíz.
- Cosecha y almacenaje del grano con baja humedad (no mayor al 14%) para evitar la proliferación del hongo presente en los granos infectados.
- Control químico, el cual requiere el seguimiento del cultivo y de las condiciones climáticas para estimar la probabilidad de infección.
- Descartar cultivares altamente susceptibles.
- Venteo de los granos enfermos durante la cosecha y en las plantas de acopio.
- Consumo de productos basados en harina blanca, ya que la mayor parte de las toxinas se ubican en las cubiertas exteriores del grano, las cuales se separan en la primera etapa de la molienda.
- En el caso de fideos, hacer un hervor prolongado para que las toxinas pasen al agua.

Tabla 3. Propuesta elaborada en la FAO del máximo nivel de DON (deoxynivalenol) (38a Sesión del Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias de la Comisión del Codex Alimentarius, Ginebra, Suiza, 6-11 julio 2015).

Producto	DON nivel máximo (mg kg ⁻¹)
Alimentos a base de cereales para lactantes y niños de corta edad	0.2
Harina, sémola, harina de maíz, hojuelas derivados de trigo, maíz o cebada	1
Granos de cereales (trigo, maíz y cebada) destinados a procesamiento posterior	2

La **enfermedad celiaca o celiacía**, es una reacción inmunológica crónica, ante la ingesta del gluten de trigo, cebada, centeno o avena y sus híbridos, que se presenta en personas con predisposición genética. La enfermedad se caracteriza por la inflamación del revestimiento del intestino delgado, acompañado por diarrea, náuseas, vómitos, dolor abdominal, fatiga, pérdida de peso, niveles bajos de hemoglobina (anemia) y osteoporosis. Clásicamente, se consideró a la enfermedad como una indigestión crónica poco frecuente. Actualmente se considera que la prevalencia mundial es elevada afectando aproximadamente 1-2% de la población general, pudiendo aparecer a cualquier edad. La enfermedad presenta una distribución uniforme entre razas y áreas geográficas. Se sabe que las gliadinas del gluten presentan la mayor toxicidad y se está intentando identificar cuáles son las fracciones moleculares que desencadenan la enfermedad. El principal tratamiento contra la celiacía consiste en eliminar el gluten de la dieta, lo cual genera varios problemas prácticos dada la difusión que tiene el trigo como alimento. Al margen de los problemas que el gluten ocasiona a los celíacos, no se han identificados otros problemas de inocuidad. Por el contrario, se trata de una sustancia de buen valor nutritivo que incluso muchos vegetarianos y veganos utilizan como sustituto de la carne.

Difusión del cultivo de trigo en Argentina

Más del 98% del trigo argentino se cultiva en una amplia región que va de los 23° a 40° de latitud y de los 57° a 67° de longitud, cubriendo un área de 1890 km de largo por 850 km de ancho (**Figura 5**). Durante el período 2010-16, la superficie cosechada alcanzó 4,1 millones de ha/año y la producción 12,2 millones de t año⁻¹. La mayor parte del trigo se cosechó (87%) y se produjo (94%) en la región pampeana (**Figura 5**), correspondiendo a la provincia de Buenos Aires el 45% de la cosecha y el 53% de la producción total del país, alcanzando la mayor concentración de trigo en el sur de la provincia. Comparando Subregiones, la VS fue la más productiva acumulando el 24% de la superficie cosechada y 21% de la producción nacional. Por su parte, las Subregiones con menor porcentaje de siembra y producción fueron la III, NEA y NOA (**Figura 5**). Estas tres Subregiones acumularon el 19% de la superficie cosechada y el 13% a la producción nacional. A nivel departamento/partido provincial, la diferencia entre la superficie cosechada y sembrada fue 6% por lo cual ambas superficies estuvieron altamente asociadas ($R^2=0.99$; $n=257$), a su vez, la producción se asoció con la superficie cosechada ($R^2=0.90$; $n=257$).

Además de las características generales del trigo que favorecieron su difusión en el mundo (mencionadas arriba), se pueden mencionar otras que tienen particular importancia en Argentina actualmente:

- Permite obtener ingresos monetarios en fechas contrapuestas a la de los cultivos de verano.
- Es el cultivo invernal con mayor facilidad de comercialización.
- Genera una cobertura vegetal que contribuye a evitar la desagregación y erosión del suelo.
- Genera un importante aporte de carbono al suelo.
- Consumo agua del suelo evitando que se generen excesos hídricos en años, zonas o lotes con aportes de agua abundantes.
- Contribuye con el control de malezas latifoliadas.

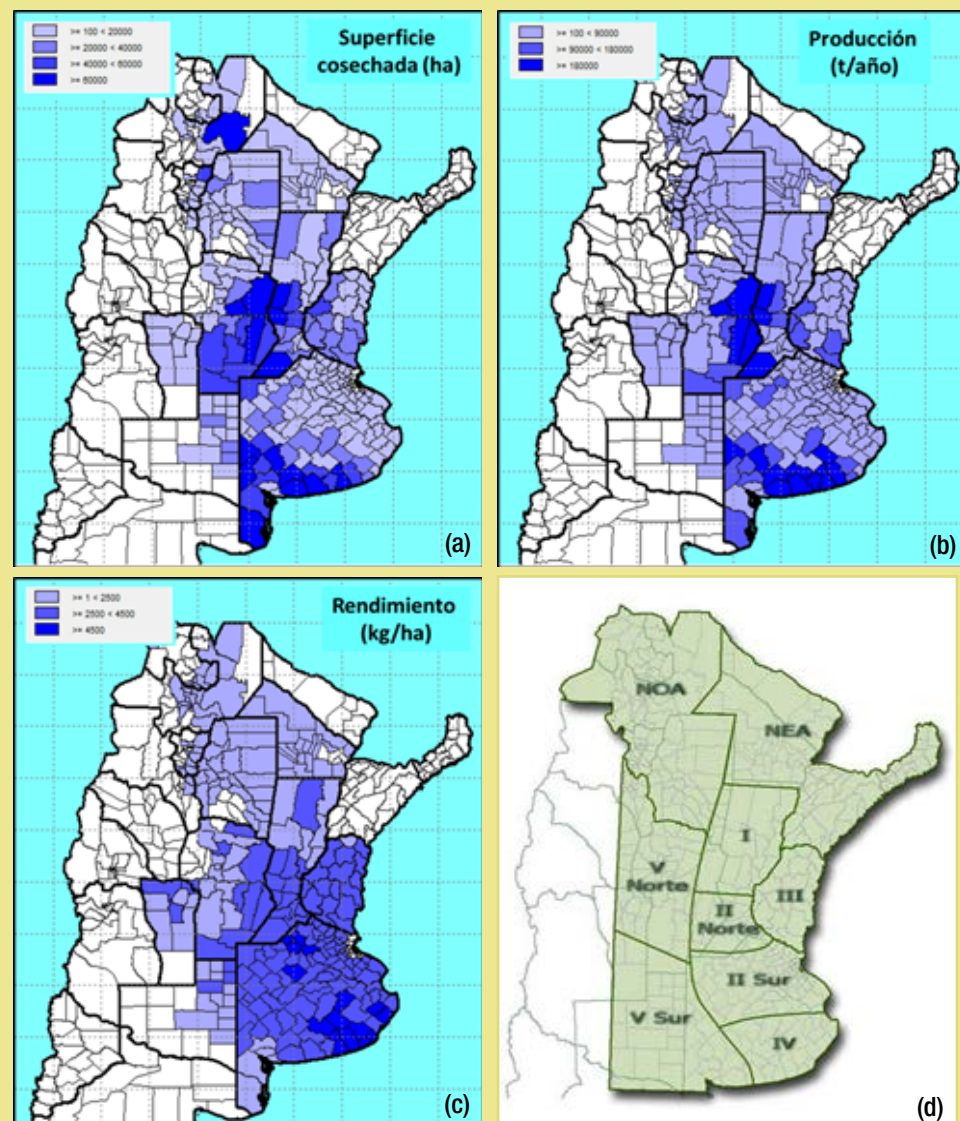


Figura 5. Distribución de (a) superficie cosechada, (b) producción y (c) rendimiento de trigo en Argentina, correspondiente al promedio del período 2010-16 (elaboración propia a partir de datos de la Dirección de Información Agrícola y Forestal, 2017), y (d) Subregiones trigueras argentinas (según SENASA). Las líneas rectas son la latitud y longitud cada 2°.

Evolución del rendimiento

Durante el período 2010-16, los mayores rendimientos de trigo se obtuvieron en el sur de la provincia de Buenos Aires alcanzando promedios de 5100 kg ha⁻¹ (Figura 5). El rendimiento promedio para el período considerado fue 2750 kg ha⁻¹, correspondiendo al 55% de la superficie cosechada rendimientos iguales o mayores que el promedio mencionado (Figura 5). La Figura 6 permite comparar la evolución del rendimiento de trigo de Argentina con la de EE.UU. en los últimos 50 años. Hacia el año 1965

Argentina producía los legendarios “trigos correctores” de excelente calidad, pero bajo rendimiento, de modo tal que para entonces, la diferencia de rendimiento entre Argentina y EE.UU. era sustancial (468 kg ha⁻¹, equivalentes a 35%). La alta calidad de los trigos argentinos de entonces, fue el resultado de la priorización que Argentina dio a la calidad sobre el rendimiento a través de la Ley de Granos (Ley 12253) mientras estuvo vigente, entre los años 1935 y 1972. A fines de los años 60, comenzaron a difundirse en el mundo los “trigos semienanos” o “mexicanos” de alto rendimiento, generando una expansión productiva del trigo y posteriormente de la mayoría de los cultivos de granos, que se conoce como la “Revolución Verde”. Estos cultivares fueron obtenidos por el programa dirigido por el Dr. Norman Borlaug en México, quien en virtud del éxito logrado en aumentar la producción mundial de alimentos fue merecedor del Premio Nobel de la Paz 1970. Si bien los trigos semienanos tenían ventajas evidentes desde el punto de vista del rendimiento, la calidad del grano era baja, al menos en comparación con los trigos argentinos de esos años. Esto demoró su introducción en Argentina y finalmente fueron introducidos, si bien hubo reproches por el cambio de política desde varios sectores durante años. Durante los años ‘70, ‘80 y ‘90, la introducción de cultivares de alto rendimiento, la generalización del uso de herbicidas y el aumento de la fertilización permitieron que la diferencia de rendimiento entre Argentina y EE.UU. fuera decreciendo (Figura 6). Entre esos años, el rendimiento de EE.UU. aumentó a razón de 23 kg/año/año mientras el de Argentina lo hizo a 32 kg/ha/año, e.d. a una tasa 45% mayor. Hacia el año 2000 hubo otro cambio tecnológico importante en el cultivo de trigo, la introducción de cultivares de origen francés, iniciado por el programa de mejoramiento de la empresa Nidera dirigido por el Dr. Eduardo Leguizamón, y la difusión de los fungicidas. Estos cambios permitieron que el rendimiento en Argentina alcance una mayor tasa de ganancia. Entre los años 2000 y 2016, la tasa de aumento del rendimiento de trigo en Argentina fue de 50 kg/ha/año (Figura 6) mientras que en EE.UU. alcanzó a 27 kg/ha/año; para este mismo período la tasa de aumento de rendimiento mundial fue sustancialmente menor a la de Argentina (34 kg/ha/año). Actualmente, el rendimiento de Argentina es similar al de EE.UU. y levemente menor al promedio mundial. Sin embargo, la introducción de cultivares europeos de alto rendimiento llevó a un decaimiento de la calidad del trigo argentino y dado que Argentina produce la mayor parte de su trigo para exportación, resulta esperable que resurja una tendencia a priorizar la calidad (al menos a los niveles exigidos por los compradores) respecto del rendimiento.

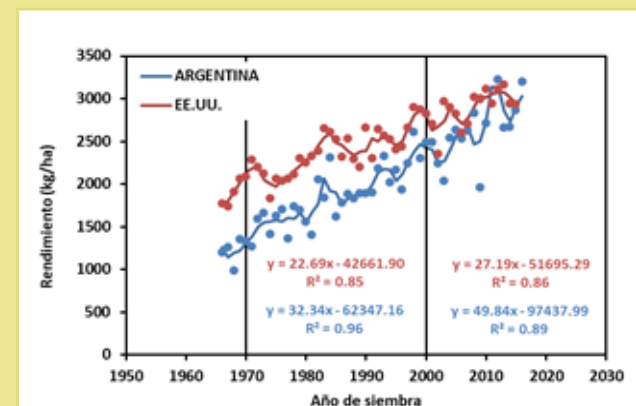


Figura 6. Comparación de la evolución del rendimiento de trigo de Argentina y EE.UU. Las líneas curvas son el promedio de tres años consecutivos centrados en el año indicado. Las rectas de regresión de la izquierda corresponden al período 1970-2000 y las de la derecha al período 2001-2016. Elaboración propia a partir de datos de la Dirección de Información Agrícola y Forestal, 2017 y FAOSTAT, 2017.

Evolución del ingreso bruto

Dado que el rendimiento de trigo de Argentina y, en general, el del mundo se incrementó en los últimos 50 años (Figura 6), cabe preguntarse si este aumento generó un aumento del ingreso bruto del cultivo. En la Figura 7a se presenta la evolución del precio interno del trigo (FAS, siglas en inglés de “precio puesto al lado del buque”) en moneda constante de Argentina y EE.UU. Puede notarse que si bien el precio tuvo fuertes oscilaciones en ambos países, el resultado promedio durante el período considerado fue la caída del precio mayor en EE.UU. que en Argentina. Al calcular el ingreso bruto, como el producto entre el rendimiento de la Figura 6 y el precio de la Figura 7a, se encontró que este presentó oscilaciones temporales más que una tendencia definida a través de los años (Figura 7b). En consecuencia, los aumentos de rendimiento logrados en los últimos 50 años no implicaron un aumento del ingreso bruto ni presuntamente del ingreso neto de los productores ya que la mayor parte de ese beneficio se transfirió a los consumidores, es decir a la sociedad en su conjunto, a través de la reducción del precio del producto.

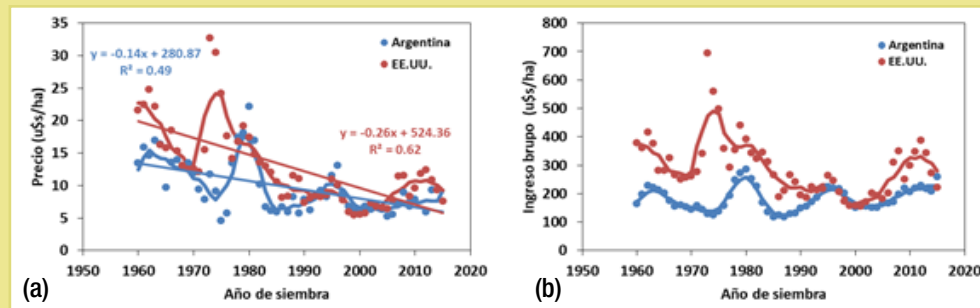


Figura 7. Comparación de (a) la evolución del precio interno (FAS en dólares americanos constantes, base 1983) y (b) el ingreso bruto (producto entre el rendimiento de la Figura 6 y el precio) del trigo de Argentina y EE.UU. Las líneas curvas son el promedio de tres años consecutivos centrados en el año indicado. Elaboración propia a partir de datos de la Dirección de Información Agrícola y Forestal (2017), bases de datos de Frank (2016), USDA (2017) y Producer Price Index for All Commodities (2016).

Consumo y destino del trigo argentino

En los últimos 55 años la producción (Figura 8a) y exportación (Figura 8b) del trigo argentino se incrementaron con una tasa de 0.13-0.14 t año⁻¹; no obstante, la tasa de aumento fue muy variable tanto en respuesta a los factores climáticos como a las políticas económicas. Es especialmente notable el efecto depresor de la producción y exportación de trigo entre los años 2008 y 2016, con la Resolución 543/2008 (ONCCA, 2008) por la cual se restringió la exportación del grano con el objetivo de asegurar su disponibilidad en el mercado local. Por su parte, la cantidad de trigo destinada a la molienda se incrementó a ritmo constante desde fines de los años 70 (Figura 8d). Dado que tanto la capacidad molinera como la producción de trigo se incrementaron paralelamente, el porcentaje de trigo destinado a la molienda no tuvo variaciones importante (aunque sí ocasionales) desde 1980 al 2008, promediando 39% (variando entre 25 y 50%, Figura 8d). Durante los 7 años en que se restringió la exportación de trigo, el porcentaje de su producción que se comercializó a través de los molinos osciló entre 40% y 75%. Actualmente, parecería que se restablecieron los porcentajes tradicionales pero la cantidad de datos disponible no es suficiente para confirmarlo. Otro destino del trigo producido es la semilla para la siembra del próximo año, para lo cual se reserva aproximadamente 0,5 millones de t año⁻¹. En resumen, los principales destinos de la producción de son:

- a) *Molienda*: suele alcanzar 6 millones de t año⁻¹, representado cerca del 40% de la producción de trigo. La mayor parte del trigo destinado al consumo interno se canaliza por esta vía, si bien parte de la harina producida puede destinarse a la exportación, tal como ocurrió durante los años de restricción a la exportación debido a la baja del precio interno.
- b) *Reserva de semilla para el próximo año*: 0.5 millones de t año⁻¹.
- c) *Exportación*: el saldo exportable es variable, pero suele constituir el principal destino del trigo argentino, 6-8 millones t año⁻¹.

Si bien durante la vigencia de la Resolución 543/2008 la Argentina ofreció poco trigo al mercado externo, continúa siendo uno de los cuatro principales exportadores junto con (en orden de importancia): la Comunidad Europea (particularmente Francia y Alemania), Canadá y Australia (Figura 9). Actualmente otros cuatro países conforman un grupo de exportadores alternativos: Rusia, Ucrania, Kazakstán e India (Figura 9). Por otra parte, las principales zonas/países importadores (en orden de importancia) son: norte de África, Medio Oriente, Sudeste Asiático, Brasil, China y Pakistán.

En la Argentina las transacciones que se realizan en los mercados institucionalizados (físicos y “de futuros” o “a término”) como lo son las Bolsas de Cereales se rigen por la Norma XX (SAGPyA, 2004), la cual define tres grados comerciales y una categoría, fuera de grado. La norma define rubros (p.ej. porcentaje de granos dañados, granos con carbón, etc.) con tolerancias de los rubros para cada grado. También define bonificación y descuento de precio en función del grado y del contenido proteico del grano (tomando como valor de indiferencia 11%). En la práctica, estos dos rubros, peso hectolítrico y la concentración de proteína, son los que más inciden en el precio de comercialización ya que los otros ítems de la norma solo afectan el precio en cultivos con problemas particulares. La mayor parte del grano que se comercializa por esta vía se destina a la exportación. Por su parte, los molinos prefieren pagar una bonificación basada en el porcentaje de gluten húmedo de la harina, más que en la proteína, y ocasionalmente bonificar también por el valor del W alveográfico (ver Capítulo 13).

Dada su cercanía, el principal destino del trigo argentino es Brasil. Debido a que las características climáticas de ese país no le permiten producir trigo de la calidad deseada en cantidad suficiente, al importar tiene exigencias particulares de calidad las cuales se presentan en la Tabla 4. Comparando los valores requeridos con el promedio argentino de las últimas 5 campañas (Tabla 4) surge que la principal limitante para satisfacer la demanda es el bajo W alveográfico.

El autor agradece las sugerencias de M. Daverio.

Tabla 4. Valores mínimos de calidad de los tipos de trigo requeridos por Brasil y su consumo (ABI-TRIGO, 2016), y los valores promedio de las últimas cinco campañas (2012-2016) de la producción argentina (Elaboración propia a partir de datos de los Informes de Calidad de la Cosecha de Trigo Argentina de Granotec Argentina).

Rubros	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Promedio Argentina
W alveográfico (J 10 ⁻⁴)	300	250	170	236
Estabilidad farinográfica (min)	18	12	5	22
Falling number (seg)	300	280	250	400
Proteína (% base seca)	12.5	12.0	11.0	13.3
Proteína (% con 13.5% humedad)	10.8	10.4	9.5	11.5
Consumo aproximado (%)	35	55	10	---

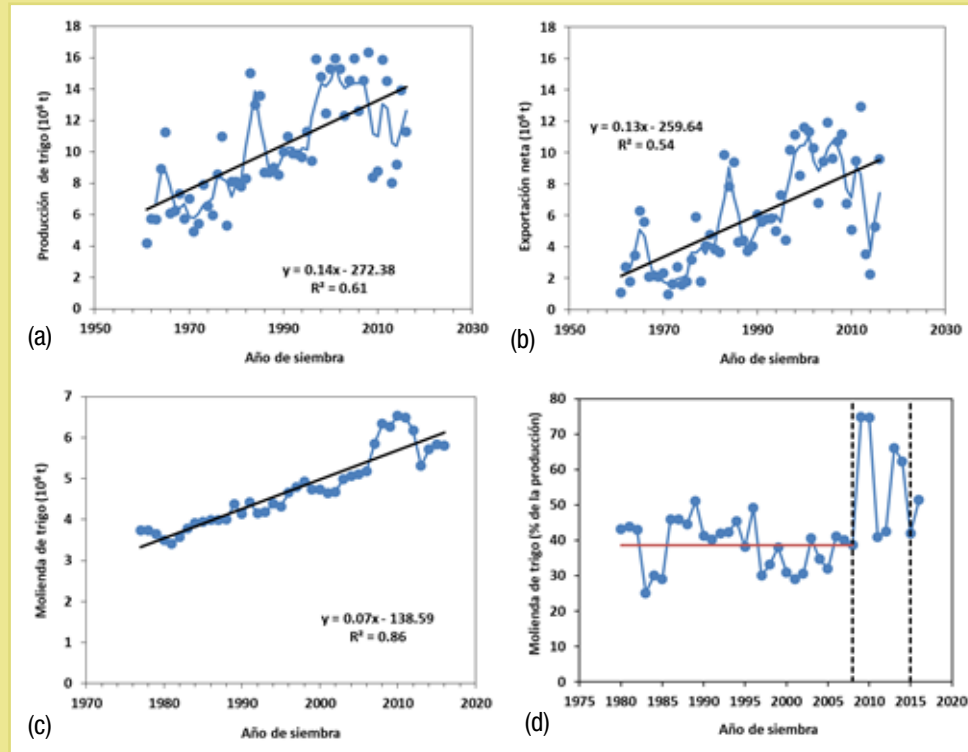


Figura 8. Evolución de (a) la producción de trigo argentina (la línea curva corresponde a la media de 5 años consecutivos centrados en el año indicado), (b) la exportación neta (saldo entre exportación e importación; la línea curva corresponde a la media de tres años consecutivos centrados en el año indicado), (c) mollienda de trigo en Argentina y (d) porcentaje de la producción destinado a la mollienda (la línea horizontal es el promedio para el período 1980-2008: 39%; las líneas verticales indican los años en que la exportación de trigo estuvo restringida). Elaboración propia a partir de datos de la Dirección de Información Agrícola y Forestal, 2017; USDA, 2017 y FAIM, 2017.

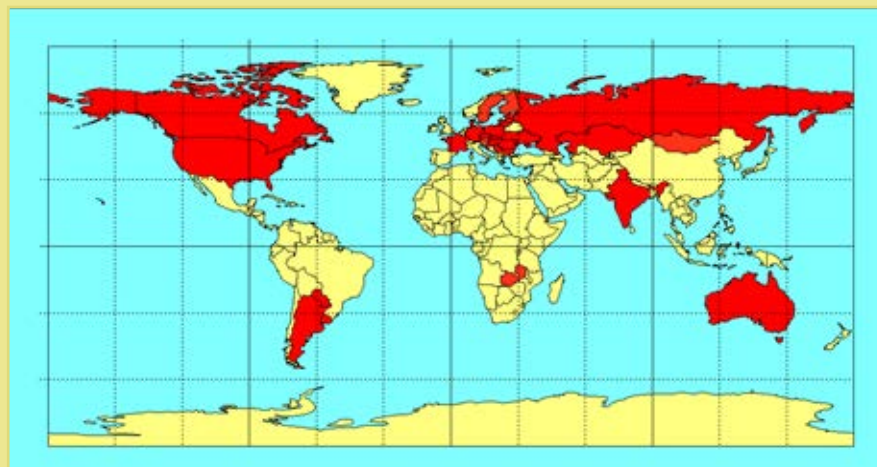


Figura 9. Principales países exportadores de trigo (en rojo). Elaboración propia a partir de los datos de FAOSTAT (2017). Las líneas rectas son la latitud y longitud cada 30°.

Referencias

ABITRIGO (Asociación Brasileña de la Industria del Trigo). 2016. Estadísticas. <<http://www.abitrigo.com.br>> [12 septiembre 2016].

Dirección de Información Agrícola y Forestal. 2017. Estimaciones Agrícolas. <http://www.siaa.gob.ar/sst_pcias/estima/estima.php> [1 de mayo 2017].

FAIM (Federación Argentina de la Industria Molinera). 2017. Estadística nacional. <<http://www.faim.org.ar/>> [1 de mayo 2017].

FAOSTAT 2017. Crop statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <www.fao.org/faostat> [1 de agosto 2017].

Frank R.G. 2016. Bases de datos de Rodolfo G. Frank. <http://www.anav.org.ar/sites_personales> [22 de noviembre 2016].

INCAP. 2007. Tabla de composición de alimentos de Centroamérica. Segunda edición. Guatemala, INCAP/OPS. 128 pp.

Lázaro L., Abbate P.E. y Manfreda V.T. 2010. Incidencia de las diferencias entre cultivares de trigo en la cantidad de fósforo exportada en los granos. *Agriscientia*, 29, 1-13.

ONCCA (Oficina Nacional de Control Comercial Agropecuario), 2008. Resolución 543/2008. Requisitos a que deberán sujetarse los exportadores de granos y/o sus derivados, que soliciten su inscripción en el "Registro de Declaraciones Juradas de Ventas al Exterior", denominado "R.O.E. Verde", al que se refiere la Ley N° 21.453/76. Boletín Oficial de la República Argentina, Primera Sección, Secretaría Legal y Técnica, Dirección Nacional del Registro Oficial, 31416, 19.

Producer Price Index for All Commodities (2016). <<https://fred.stlouisfed.org>> [22 de noviembre 2016].

SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación), 2004. Resolución 1262/2004. Norma de Calidad para la Comercialización de Trigo Pan: Norma XX Trigo Pan. Boletín Oficial de la República Argentina, Secretaría Legal y Técnica, Dirección Nacional del Registro Oficial, 30550, 6.

SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria). 2011. Resolución 934/2010. Productos agropecuarios requisitos que deben cumplir los productos y subproductos agropecuarios para consumo interno. Boletín Oficial de la República Argentina, Secretaría Legal y Técnica, Dirección Nacional del Registro Oficial, 32064, 21.

USDA (United States Department of Agriculture). 2017. Foreign Agricultural Service, production, supply and distribution. <<https://apps.fas.usda.gov/>> [1 de mayo 2017].

You L., Wood-Sichra U., Fritz S., Guo Z., See L. Koo J. 2014. Spatial Production Allocation Model (SPAM) 2005 version 2.0.03. 10.2015. <http://mapspam.info> [1 de mayo 2017].

Brechas de rendimiento de trigo en Argentina

Fernando Aramburu Merlos¹ y Juan Pablo Monzon¹
¹ Unidad Integrada Balcarce EEA, INTA - FCA, UNMDP
 Balcarce, Buenos Aires, Argentina

La brecha de rendimiento es la diferencia entre dos niveles de rendimiento: el logrado por los productores y uno máximo de referencia. Para cultivos bajo riego, el límite superior es el rendimiento potencial (rendimiento de un cultivar que crece en un ambiente para el cual está adaptado, sin limitaciones hídricas ni nutricionales, libre de plagas y enfermedades). En regiones donde predominan cultivos de secano expuestos a estreses hídricos periódicos es más propicio utilizar el rendimiento potencial en secano (limitado sólo por el agua disponible) como referente para la estimación de brechas (Figura 1). El tamaño de las brechas de rendimiento puede tomarse como una aproximación de la capacidad de producción de grano sin explotar de una región, y da una idea del nivel tecnológico con el que se producen los cultivos.



Figura 1. Marco conceptual en el cual hay tres niveles de rendimiento: potencial (izquierda), potencial en secano (centro) y logrado por los productores (derecha). La diferencia entre estos dos últimos niveles representa la brecha de rendimiento en condiciones de secano.

Para cuantificar las brechas de rendimiento de trigo en Argentina se seleccionaron 16 localidades situadas en zonas relevantes para la producción, para las cuales se estimó el rendimiento potencial en secano utilizando modelos de simulación de cultivo calibrados localmente (Figura 2a). Las simulaciones se basaron en datos locales de clima, suelo y manejo de cultivo. Las estimaciones de rendimiento se realizaron primero a nivel de localidad y luego se extrapolaron a nivel de región y país, basándose en la distribución del área cosechada de trigo, y utilizando como marco zonas agroclimáticas homogéneas (Figura 2a). Las zonas climáticas donde se encuentran las localidades seleccionadas cubren más del 75% del área total de trigo Argentina.

El rendimiento promedio de trigo en la Argentina es de 3020 kg ha⁻¹, mientras que la brecha de rendimiento es de 2140 kg ha⁻¹, es decir del 41% del rendimiento potencial en secano, el cual es 5160 kg ha⁻¹. Los mayores rendimientos potenciales de trigo en condiciones de secano se encuentran en la región SE de Bs. As. (hasta 7200 kg ha⁻¹), decreciendo fuertemente en dirección noroeste debido a un aumento en la frecuencia de estrés hídrico y en la temperatura media durante el período crítico

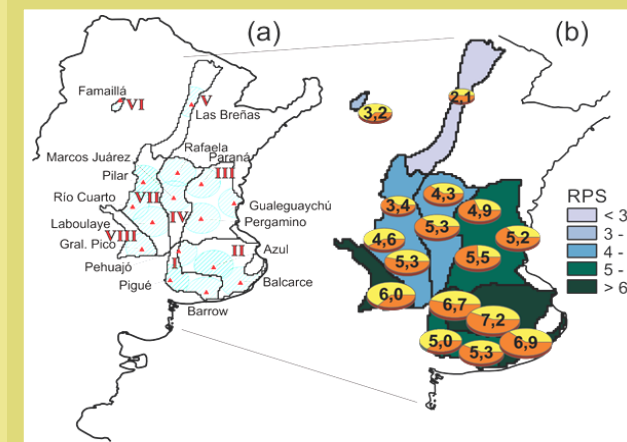


Figura 2. (a) Localidades seleccionadas para las estimaciones de rendimientos potenciales y brechas de rendimiento (triángulos rojos) y zonas climáticas donde éstas se encuentran (identificadas por números romanos). (b) Rendimientos potenciales y brechas de rendimiento de trigo en Argentina. La escala de colores representa el rendimiento potencial en secano (RPS) a nivel de zona agroclimática. A su vez, para cada localidad se indica el rendimiento potencial en secano (valor dentro del gráfico de tortas), y que proporción de éste representa el rendimiento logrado por el productor (naranja) y la brecha (amarillo). Todos los valores están expresados en toneladas por hectárea.

(Figura 2b). Las brechas de rendimiento también varían significativamente entre regiones. En términos relativos al potencial en secano, la región núcleo es la que presenta menores brechas de trigo (NE de Bs As y sur de Santa Fe), mientras que en las zonas extra pampeanas éstas son mayores. Además de variación espacial, las brechas presentan una importante variación temporal, debida, principalmente, a las variaciones interanuales de las precipitaciones. Para una región determinada, cuanto más lluvioso es el año, mayor es el rendimiento potencial en secano, pero mayor es también la brecha de rendimiento (Figura 3). Esto se debe, en parte, a que los productores tienden a planificar sus aplicaciones de insumos en función del rendimiento esperado para un año promedio. Cuando el año es mejor de lo esperado, las dosis de nutrientes suelen ser deficientes, y el trigo pasa a estar limitado por su disponibilidad (principalmente de N). En cambio, en años secos el agua es la principal limitante para el rendimiento del trigo (Figura 3).

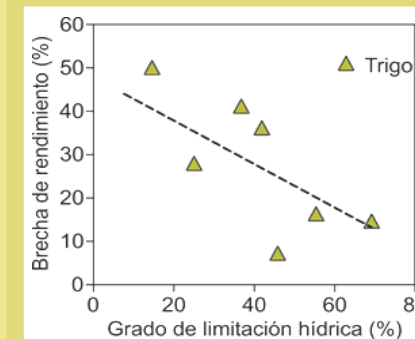


Figura 3. Brechas de rendimiento en función del grado de limitación hídrica (i.e. diferencia entre el rendimiento potencial y el rendimiento potencial en secano, expresadas como porcentaje del rendimiento potencial).