

Tercer Seminario Nacional de Trigo

"Del grano al pan"

Man Mohan Kohli, Luis Enrique Cubilla, Graciela Cabrera
EDITORES



Noviembre, 2010



CÁMARA PARAGUAYA DE EXPORTADORES Y COMERCIALIZADORES DE CEREALES Y OLEAGINOSAS “CAPECO”

La Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas “CAPECO”, es una entidad de carácter gremial, sin fines de lucro, fundada el 20 de Febrero de 1980 y su personería jurídica fue reconocida por decreto Nº 25.339 del 18 de mayo de 1981. Su misión fundamental es aunar a las empresas para cooperar integralmente en el desarrollo de sus intereses, ejerciendo la representación legal en gestiones de beneficio colectivo.

Agrupar a los principales exportadores de cereales y oleaginosas, cuyo volumen de exportación representa el 90% de la cantidad total de granos y derivados exportados por el país.

Los agro negocios del sector cereales y oleaginosas (Sistema Soja - Trigo - Maíz - Girasol), representan 81% del PIB agrícola y el 63% del ingreso de divisas por exportaciones, US\$ 3.000 millones en inversiones y 250.000 puestos de trabajo. Actualmente, el sector es el motor de la “Economía Real del País”. En la última zafra, el sector movilizó alrededor de 2.008 millones de dólares.

INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA “INBIO”

El Instituto de Biotecnología Agrícola es una asociación civil sin fines de lucro, con el propósito de promover un adecuado acceso al país de los productos derivados de la biotecnología agropecuaria y la incorporación ordenada de los mismos a la producción nacional, así como para la promoción y desarrollo de la investigación de biotecnología nacional.

Son fines y objetivos del INBIO contribuir a la prosperidad y bienestar del agricultor paraguayo mediante la promoción de un ambiente favorable para la inversión en investigación y desarrollo, innovación y adopción de productos y procesos biotecnológicos, compatibles y en armonía con los principios básicos de sustentabilidad y sostenibilidad ambiental, y seguridad para la salud humana y animal; promover las buenas prácticas agrícolas, a fin de proteger la salud de los trabajadores rurales y la inocuidad de los productos agropecuarios derivados de la biotecnología; promover el fortalecimiento de los recursos humanos disponibles en áreas claves para la investigación y desarrollo de la biotecnología; establecer y promover alianzas estratégicas con organismos/instituciones/empresas nacionales e internacionales, involucradas en investigación y desarrollo de biotecnología; cooperar con el Gobierno Nacional, en las negociaciones internacionales que se refieran directa o indirectamente a las materias de genética y biotecnología.

El INBIO está integrado por seis gremios de la producción: APS, APROSEMP, CAP, CAPECO, FECOPROD, UNICOOP.

El INBIO realiza sus funciones por medio de tres pilares programáticos: Información, Comunicación, Difusión; Capacitación de recursos Humanos e Investigación y Desarrollo agrícola.

Citación correcta: Tercer Seminario Nacional de Trigo: Del Grano al Pan.

Eds. M. M. Kohli, L. E. Cubilla y Graciela Cabrera. 2010. CAPECO/INBIO, Asunción, Paraguay. p 168

Palabras Claves: Trigo, *Triticum aestivum*, Investigación, Producción, Mejoramiento, Calidad, Mercado, Cultivos extensivos, Paraguay.

ISBN 978-99953-849-2-0

Dewey 633.11

AGRIS F01



Tercer Seminario Nacional de Trigo

“Del grano al pan”

EDITADO POR

Man Mohan Kohli
Luis Enrique Cubilla
Graciela Cabrera

CÁMARA PARAGUAYA DE EXPORTADORES Y COMERCIALIZADORES DE CEREALES Y OLEAGINOSAS, CAPECO
INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA, INBIO

Asunción, Paraguay
Noviembre de 2010

Seminario Nacional de Trigo: del grano al pan

Conferencias / Man Mohan Kohli; Luis Enrique Cubilla y Graciela Cabrera, editores.

Asunción: CAPECO/INBIO, 2010.

168 p.

ISBN 978-99953-849-2-0

1- Trigo. 2- Triticum aestivum. 3- Cultivo. 4- Investigación. 5- Producción. 6- Mejoramiento. 7- Calidad. 8- Mercadeo. 9- Control de calidad. 10- Paraguay. I. Kohli, Man Mohan; Cubilla, Luis Enrique; Cabrera, Graciela editores. II. CAPECO/INBIO. III. Título.

AGRIS F01

Dewey 633.11

Contenido

<i>Prólogo</i>	I
<i>Homenaje</i>	II
 Avances en el Mejoramiento Genético de Trigo: Proyecto MAG/CAPECO/INBIO Mohan Kohli, Alcides Rodríguez, Luis E. Cubilla	 1
 Estimación del rendimiento potencial de trigo en Paraguay y sus requerimientos de agua y nutrientes Pablo E. Abbate y Laura Lázaro	 11
 Manejo Integrado de Mancha Amarilla y la Piricularia en el Cultivo de Trigo en el Paraguay Lidia de Viedma	 31
 Controle da ferrugem da folha do trigo Tatiane Dalla Nora	 43
 Incidencias de Pudrición Común de la Raíz en el cultivo de trigo en Paraguay Wilfrido Morel	 51
 Mejor calidad de semillas: una necesidad no reconocida María Estela Ojeda G.	 61
 Biotecnología de trigo ¿Dónde estamos parados y cuáles son las posibilidades? Rosa María Oviedo de Cristaldo	 71
 Importancia de la materia orgánica del suelo y su respuesta al uso y manejo de la tierra Héctor J. Causarano M.	 79
 Recomendaciones de fertilización y análisis económico para el cultivo de trigo en Paraguay Martín M. Cubilla A. y Manuel Ferreira B.	 89
 El papel de los abonos verdes en reducir la dependencia a la fertilización nitrogenada: La experiencia en un Oxisol del Alto Paraná Francisco J. Vallejos M.	 101
 Desecación de trigo con diferentes dosis y momentos de aplicación de glifosato 48% previa a la cosecha Adrián Palacios, Akio Nakamura, Guadalupe Altamirano, Anuncio Almada, Javier Szostak y Epifanio Altamirano	 109
 Mejoramiento de la calidad industrial del trigo y el efecto de factores ambientales y del manejo del cultivo Graciela Cabrera Arredondo y Mohan Kohli	 119
 Los Mercados Externos del Trigo y sus Requerimientos Sonia Tomassone	 131
 El Retorno de la Inversión en la Investigación y el Desarrollo del Trigo en Paraguay Julio Giménez	 145

Prólogo

Como personas relacionadas con el agronegocio, hemos visto con gran interés el crecimiento de la producción triguera nacional durante los últimos cinco años. Gracias a los avances logrados por la tecnología de producción y la experiencia de los agricultores, hoy Paraguay puede exportar una cantidad significativa de este cereal a los países vecinos y a otros como parte de los negocios firmado por la Cancillería Nacional, con el constante apoyo de la Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas, CAPECO. Que el trigo sea un producto más de exportación de Paraguay y su calidad no solo sea aceptada, sino elogiada por la industria importadora envía una señal muy fuerte del potencial comercial que existe y la posibilidad para crecer en el futuro. Este crecimiento tiene que ser rentable para el agricultor, sustentable para el medio ambiente y favorable para la economía nacional y sus componentes. En este sentido, el continuo apoyo a la tecnología nos proporcionará los resultados deseados.

Desde su tímido inicio hace mas de cuarenta años, el cultivo del trigo se ha convertido en la opción más viable para el ciclo de invierno en sucesión con el cultivo de soja en el verano. Hoy, los agricultores están sembrando mas de medio millón de hectáreas de este cereal para producir alrededor de 1.3 millones de toneladas de granos. Este nivel de producción no solo satisface la demanda interna del consumo de los distintos panificados, sino también permite un saldo de casi 800.000 toneladas para la exportación. En términos geográficos, el país está situado en un lugar muy privilegiado pues uno de los países vecinos, Brasil, mantiene un déficit productivo de este cereal y necesita importar grandes volúmenes cada año. La perpetuación de esta situación permite que el país tenga un socio a largo plazo que puede absorber todo el excedente que somos capaces de producir. Sin embargo, las oportunidades no vienen sin responsabilidades. Es indispensable no postergar un debate nacional sobre la calidad de trigo y cómo queremos manejarla. Aunque todo el trigo producido en el país es panificable, la mezcla de diferentes variedades con distintos parámetros resulta en algo que es difícil de definir, excepto que es el trigo pan. Es en este punto que perdemos la ventaja comparativa de producir trigos con alta cantidad proteica y venderlo con un precio Premium. Por otra parte y especialmente en los años húmedos como el 2009, mezclar un trigo de alta calidad con otro que sufre el brotado puede arruinar las posibilidades de desarrollar relaciones de confianza en el mercado. Paraguay necesita promover un sistema de clasificación de trigo basado en la calidad que sea compatible con la necesidad de los importadores y que permita transferir beneficios económicos a los productores y a la cadena cerealera en su totalidad.

Los trabajos técnicos están desarrollándose por el proyecto trigo y algunos resultados presentados en este volumen son testimonios de los compromisos que tenemos en el futuro y los retos que necesitamos afrontar. La organización de CAPECO, el financiamiento proporcionado por el Instituto de Biotecnología Agrícola, INBIO, y los recursos humanos y la infraestructura del Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG, han llevado adelante el proyecto triguero con mucho éxito. Lo crítico hoy es poner nuevas metas para la próxima década o dos, contratar y capacitar técnicos en distintas disciplinas, modernizar equipos, maquinarias y laboratorios, entablar discusiones con los proveedores de insumos e industriales nacionales, acopiadores y exportadores etc. para marcar una senda productiva. Es impen-sable hacer esto sin la activa participación de los productores o sus organizaciones representantes y los gremios del agro. Una parte de los beneficios logrados por el sector productivo debe ser volcada a la investigación para fortalecer y garantizar mejores resultados en el futuro. Esto no es solo para mejorar la producción nacional de trigo o su competitividad en el mercado, sino para facilitar la sostenibilidad de la agricultura nacional a largo plazo. Los eventos del cambio climático están impactando la producción de granos de manera impredecible y Paraguay no es una excepción. Bajo este escenario, nuestro esfuerzo para asegurar la seguridad alimentaria del pueblo y contribuir con una producción mayor y mas eficiente solo se puede hacer en base a la tecnología aplicada a las condiciones nacionales.

Esperamos que las recomendaciones presentadas en este volumen técnico sirvan el propósito de apoyar al agricultor para lograr una mayor eficiencia en su trabajo y seguir contribuyendo a la grandeza del país.

Homenaje

Norman Ernest Borlaug

1914-2009

Premio Nobel de la Paz, 1970
Padre de la Revolución Verde

El Dr. Norman E. Borlaug, un maestro, mentor y colega, dedicó su vida a la ciencia agrícola para incrementar la producción de alimentos y disminuir el hambre en el mundo. Reconocido como la persona que habría salvado millones de vidas, se sentía humilde ante este gran hecho y creía en la urgente necesidad de seguir trabajando para eliminar el mal de la hambruna en nuestra sociedad. Consideraba a la seguridad alimentaria esencial para la paz y como un reto continuo, señalando que:

“Lo que hemos logrado permite un respiro para que otros, educadores, médicos, políticos, sociedad civil y formadores de opinión ayuden a controlar el monstruo de la población”

Fue un ejemplo motivador para muchos jóvenes a quienes decía:

“Intenten llegar a las estrellas. Es muy posible que no las alcancen, pero en el proceso el polvo de ellas les puede tocar las manos y cambiar su vida para siempre”

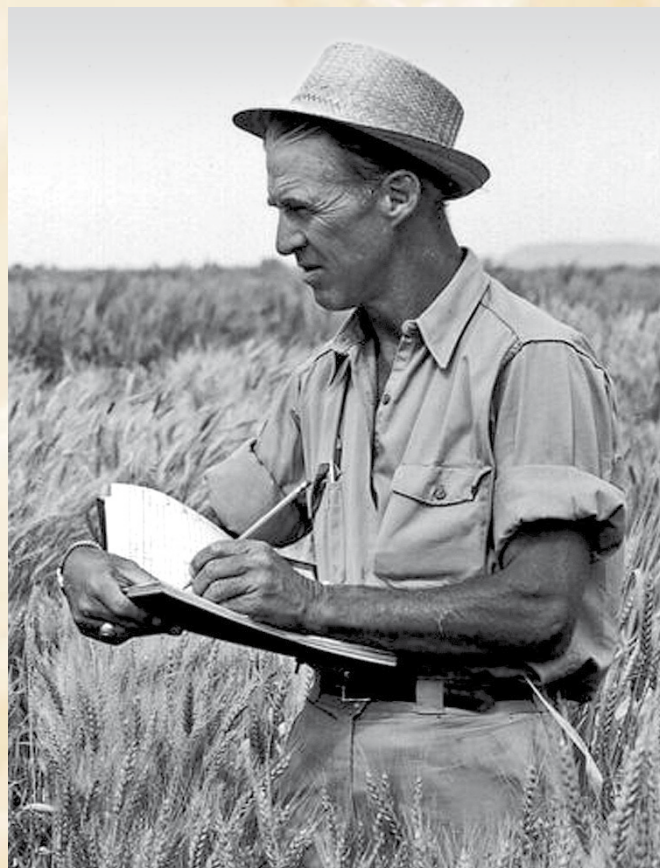


Foto: CIMMYT.

Sus palabras inmortales fueron:

“Para producir alimentos, hay que salir de las oficinas, entrar al campo, ensuciarse las manos y transpirar. Es el único lenguaje que entienden las plantas”

Su último paso por Paraguay fue en el año 2000 para ver los avances de la siembra directa en pequeñas propiedades en Edelira, Itapúa.

Los editores

Asunción, Paraguay
Noviembre de 2010



Foto: CIMMYT.



Foto: Rolf Derpsch.



Foto: Martín Cubilla.

Autoridades del MAG, CAPECO e INBIO en el lanzamiento de la nueva variedad Canindé 11.



Vista panorámica de ensayos de trigo conducidos en el CRIA.



Avances en el Mejoramiento Genético de Trigo: Proyecto MAG/CAPECO/INBIO

MOHAN KOHLI¹, ALCIDES RODRÍGUEZ², LUIS E. CUBILLA³

¹. Consultor Internacional, CAPECO; ². Programa de Mejoramiento, CRIA/DIA/MAG; ³. Asesor Agrícola, CAPECO
E-mail: mmkohli@gmail.com

Resumen

La exportación creciente de trigo durante los últimos cinco años ha inscrito al Paraguay como un país triguero a pequeña escala. Durante este periodo la producción nacional de este cereal no solo ha abastecido el mercado interno, sino también ha generado una economía nacional de alrededor de 260 millones de dólares americanos. A nivel de investigación, el proyecto MAG/CAPECO/ INBIO abocado a la creación de variedades adaptadas a condiciones locales esta consolidado; produciendo una cantidad importante de materiales genéticos con alto potencial de rendimiento, resistencia a principales enfermedades y la calidad panadera aceptable. A pesar de ser un año atípico, el nivel de rendimiento de los mejores materiales observados en los ensayos fue superior a 5 ton/ha. Los datos recolectados en tres localidades durante 2007-09, señalan la posibilidad de liberar comercialmente por lo menos un material genético nuevo para el próximo ciclo. Es importante mencionar que las variedades liberadas por el proyecto, hace dos años, cuentan con buena aceptación entre los agricultores y se estima que su superficie aumente significativamente durante el 2010. Los grandes desafíos futuros del proyecto radican en contrarrestar los efectos negativos relacionados al cambio climático. No solo será importante producir nuevos materiales con mayor potencial de rendimiento sino también deben ser tolerantes a las condiciones severas de sequía y de calor que se avecina. Considerando la condición exportadora del país, la calidad panadera requerida por los países importadores necesita ser instalada en el programa y estudiada muy bien por los efectos de la alta temperatura y la precipitación durante el periodo de llenado de grano y la cosecha. Las actividades del proyecto deben dar apoyo al llenado de la brecha actual de rendimiento entre distintos estratos de agricultores identificando las distintas tecnologías más eficientes y económicas.

Abstract

Advances in wheat breeding: MAG/CAPECO/INBIO project

National wheat export over the past five years has made Paraguay one of the regular exporting countries for this commodity. During this period, the wheat production has not only been sufficient for local consumption but in addition has contributed approximately US\$260 million to the national economy in 2009. At research level, the MAG/CAPECO/INBIO project is helping to create new varieties which are adapted to the local conditions. During the process, a large number of genetic materials with high yield potential, resistance to key diseases and acceptable bread making quality have been developed. In spite of the year 2009 being climatically abnormal, the superior germplasm yielded over 5 tons by hectare. The agronomic and yield data collected from three locations between 2007 and 2009 shows that at least one new advanced material can be released commercially in 2010. It is important highlight that the varieties released by the project two years ago, have found excellent acceptance among the farming community and the area under them is likely to increase significantly in 2010. The future challenges of the project lie in neutralizing the negative impacts associated with the climatic change. It will not only be important to produce new germplasm with high yield potential, but they must also be tolerant to increased heat and drought conditions that are expected. Given the present exporting nature of the country, the bread making quality required by the importing countries will need to be established as a key character in the selection process. It will also be important to study the impact that the high temperature and early spring rains are likely to cause on the industrial quality. The project activities must help to fill the gap among the different strata of farming communities by identifying more efficient and economic technologies.

El día de campo de trigo celebrado en Yjovy, Canindeyú.



INTRODUCCIÓN

Paraguay ya es un país exportador de trigo a pequeña escala. Durante los últimos cinco años, las exportaciones de trigo han experimentado un crecimiento continuo considerando que existe un mercado muy grande de demanda en el país vecino (Brasil). Las últimas cifras de CAPECO ponen el nivel de exportación en poco más de 870 000 toneladas que representa un récord histórico de exportación de este cereal. Fig. 1. Estas exportaciones además han sido observadas a nivel mundial ya que los informes del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) ya mencionan al Paraguay entre los países exportadores.

Este hecho ha sido posible gracias al continuo incremento del área y de producción de trigo durante los últimos años. Fig. 2.

Fig. 1. **Evolución de la exportación de trigo desde Paraguay**

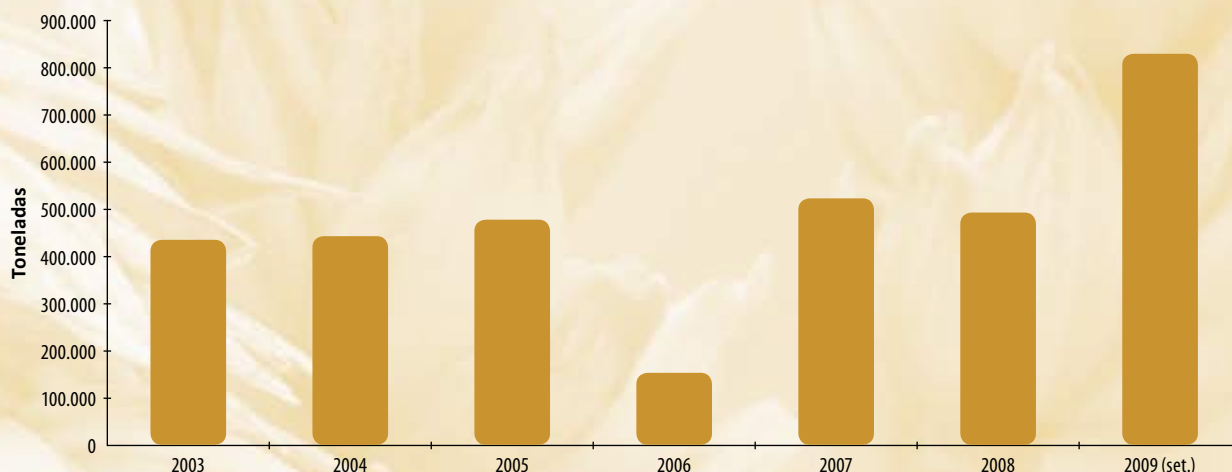
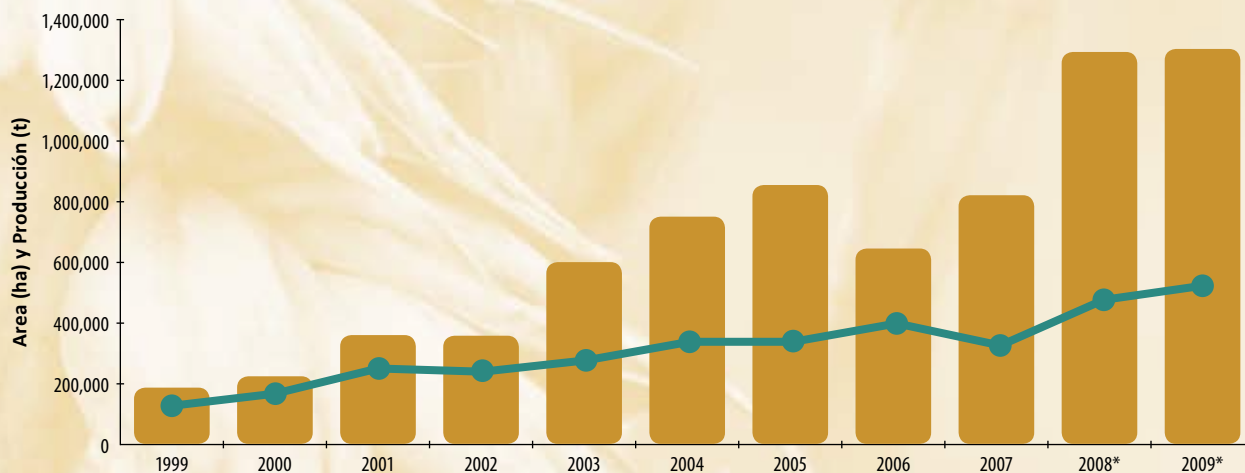


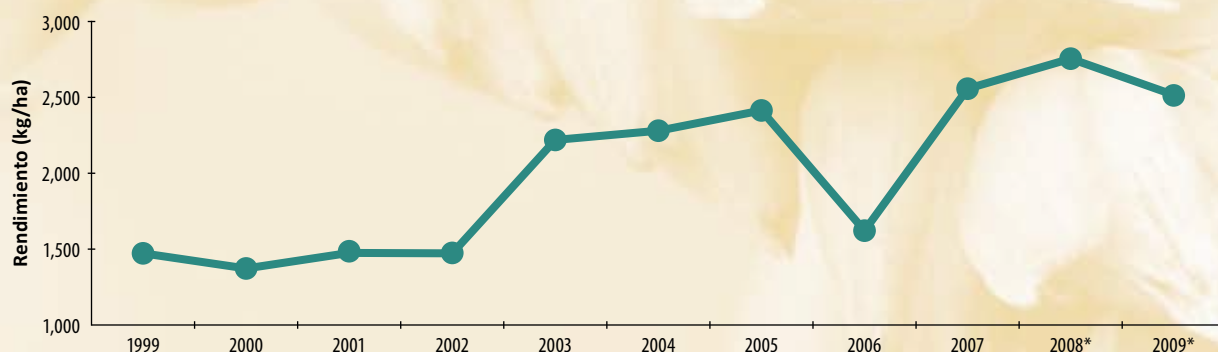
Fig. 2. **Evolución de la superficie sembrada y la producción de trigo en Paraguay**



Por primera vez, en 2009 la superficie bajo trigo está llegando a alrededor de 500,000 hectáreas y la producción sobre 1,200,000 toneladas. El nivel de rendimiento desde el 2002 ha experimentado un incremento continuo que va desde 1,500 kg por hectárea a casi 2,800 kg por hectárea. Fig. 3. Sin embargo, los daños de las heladas en el 2006 y el 2009 fueron graves pues disminuyeron el promedio nacional. En otras palabras,

las inclemencias climáticas, sean causadas por sequía, altas temperaturas durante el desarrollo del cultivo, heladas tardías en la fase reproductiva y lluvias tempranas durante la primavera siguen siendo un cuello de botella para el incremento de la producción nacional y la calidad del producto que se puede lograr.

Fig. 3. **Evolución del rendimiento de trigo en Paraguay**



IMPORTANCIA DEL TRIGO EN LA ECONOMÍA PARAGUAYA

Los avances en el cultivo del trigo y su producción, apoyados por el proyecto MAG/CAPECO y recientemente por MAG/CAPECO /INBIO han sido impresionantes. Cuadro 1. Los datos presentados en el cuadro comparan dos periodos (pre convenio y post convenio) de siete años cada uno (1996 – 02 y 2003 – 09). Durante este periodo la superficie de trigo experimentó un incremento de casi un 90% y el rendimiento otro 70%. Como resultado, la producción nacional de trigo se incrementó en un 223%.

Cuadro 1. **Incremento en el área, producción y rendimiento de trigo entre 1996-02 y 2003-09**

	1996-02	2003-09	Incremento %
Área (ha)	198,641	377,429	90
Producción (t)	276,554	893,429	223
Rendimiento (kg/ha)	1,381	2,336	69

En un país tropical como Paraguay, el incremento de la producción de trigo tiene doble beneficios. El primero tiene un impacto inmediato en la economía nacional, llegando a ser de alrededor de 260 millones de dólares americanos durante 2009.

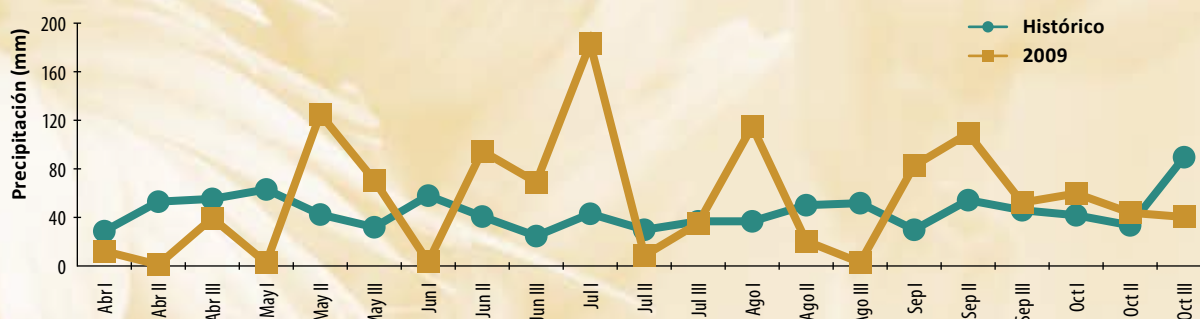
El segundo beneficio que es mas difícil de cuantificar a corto plazo y en términos económicos, es su contribución como parte del sistema de rotación y la cobertura del suelo durante el periodo del invierno que permite la mejora del suelo y la materia orgánica. El rastrojo del trigo, con su alto nivel de ligninas, es lento para descomponerse y provee una excelente base de cobertura para los cultivos de verano y para la formación de materia orgánica a largo plazo.

PROYECTO MAG/CAPECO/INBIO DE TRIGO

El proyecto “Fortalecimiento de la Investigación y Difusión del Cultivo de Trigo en el Paraguay” que inició sus actividades en el 2003 se encuentra a las puertas de lograr beneficios genéticos que fueron planteados en su creación. Es bien sabido que un proyecto de mejoramiento lleva entre 10 y 15 años para crear una nueva variedad. En ese sentido, estamos a un paso de liberar e identificar el germoplasma que fue desarrollado a nivel nacional. Durante este periodo, se logró aumentar el desarrollo del material genético local sin perder de vista los contactos estratégicos internacionales.

Además de identificar las variedades y el material genético que pudiera adaptarse a las condiciones adversas mencionadas anteriormente, se logró incrementar el número de hibridaciones dirigidas para la creación de una masa importante de materiales en fase de selección. Durante los años 2008 y 2009 se evaluaron entre 4,000 y 5,000 poblaciones de cruza nacionales en distintas generaciones de avances. Durante 2008 se seleccionaron casi 2,000 poblaciones en generaciones tempranas y otras 2,500 en generaciones avanzadas. Durante 2009 se seleccionaron mas de 2,400 poblaciones en generaciones tempranas y mas de 2,500 poblaciones en generaciones avanzadas. Esta variabilidad disponible permite seleccionar combinaciones de características deseadas para su mejor adaptación local. Considerando la variabilidad climática que existe de año a año ejemplificado por las diferencias de temperatura media y precipitación del 2008 y 2009, la selección en base agronómica sufre cambios drásticos dependiendo de las condiciones del año (Fig. 4). Es aquí que la variabilidad amplia es capaz de promover aquéllas combinaciones que sobresalen de un año al otro y que pueden resistir no solamente las inclemencias climáticas, sino también enfermedades e insectos. Usando la selección de mejores combinaciones cada año, ha sido posible desarrollar nuevas líneas avanzadas adaptadas a los cambios mencionados que serán las bases de futuras variedades nacionales. En ese sentido, mas de 1 300 líneas avanzadas fueron evaluadas por su potencial de rendimiento durante 2009.

Fig. 4. Variabilidad climática anual durante el ciclo del cultivo de trigo en el sur del país



La amplia disponibilidad de nuevas líneas genéticas desarrolladas localmente ha permitido su evaluación en diferentes fases de experimentación. Cuadro 2. Mas de la mitad de las parcelas evaluadas por primera vez por su potencial de rendimiento pertenecen a líneas avanzadas localmente. Asimismo, casi un 70% de las líneas en los ensayos preliminares y 30% de las líneas en los ensayos avanzados provienen de origen local.

Cuadro 2. Participación de las líneas desarrolladas localmente en los ensayos de rendimiento

Ensayos	Líneas	Locales	%
Avanzados	90	26	29
Preliminares	150	102	68
Parcelas	1070	541	51

Los resultados de la experimentación durante varios años ha señalado la diferencia significativa que existe en la adaptación de materiales en las regiones sur y norte del país. Con el objetivo de capitalizar estas diferencias específicas de adaptación, los ensayos evaluados en las dos regiones contienen líneas con diferentes bases genéticas.

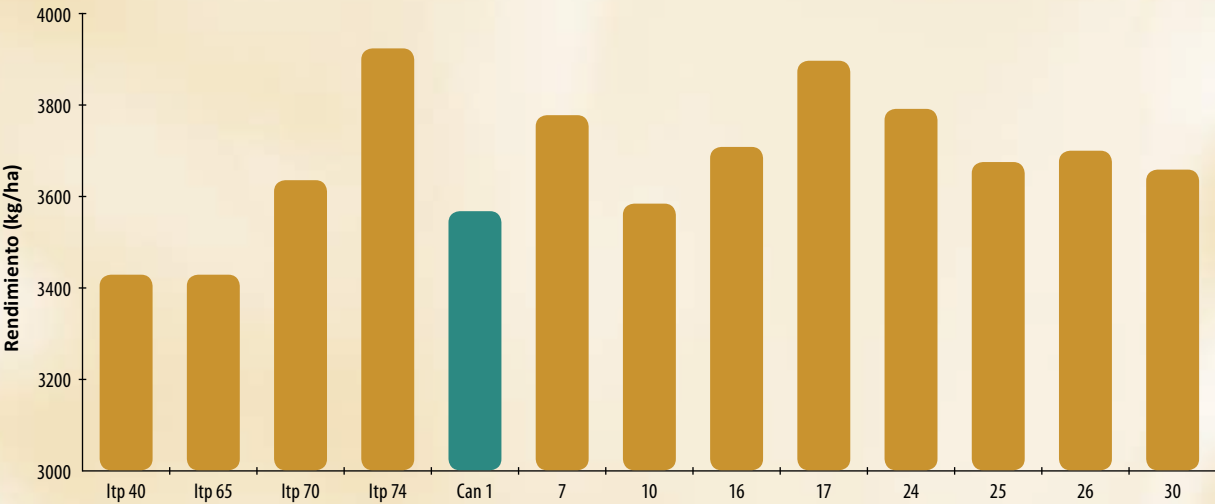
Las primeras evaluaciones sobre los materiales genéticos desarrollados localmente señalan que de 355 líneas avanzadas estudiadas en el norte, 54 mostraron el potencial de rendimiento estadísticamente igual o superior a Canindé 1 (testigo). Asimismo, 90 de las 615 líneas avanzadas evaluadas en el sur del país mostraron un potencial de rendimiento igual o superior a la variedad testigo Itapúa 75. Cabe señalar que, a pesar de las condiciones adversas del año (lluvia), es la primera vez que un gran número de materiales genéticos logra sobrepasar el nivel de 5,000 kilos por hectárea en rendimiento.

Los datos presentados en el Cuadro 3 muestran el comportamiento de nuevas líneas en ensayos preliminares y avanzados realizados en el norte y el sur del país. Las líneas seleccionadas tienen un potencial de rendimiento igual o mayor en comparación con los testigos. De la misma manera, el promedio de rendimiento de las líneas avanzadas en el ensayo regional sembradas en 3 localidades señala el comportamiento sobresaliente de ocho líneas con mayor potencial de rendimiento en comparación con los mejores testigos. Fig. 5. Cabe señalar que siete de estas líneas tuvieron más rendimiento que Itapúa 75 en el sur del país con un rango de rendimiento entre 5,036 y 5,964 kg/ha. También en la parte central del país (CETAPAR), 6 líneas avanzadas fueron superiores al testigo Itapúa 75. Sólo en el norte del país, bajo condiciones de altas temperaturas el comportamiento de cuatro líneas fue superior al testigo con un rango de rendimiento entre 3,170 y 3,239 kg/ha.

Cuadro 3. **Rendimiento (kg/ha) de las nuevas líneas de trigo en la región sur y norte del país**

Ensayos	Líneas	Rango	Mejor testigo
Avanzado	4	5195 - 6333	5396 (Itp 75)
Preliminar	20	4932 - 5589	5272 (Itp 75)
Avanzado	8	2744 - 3245	2936 (Can 1)
Preliminar	20	2943 - 3421	3435 (Itp 70)

Fig. 5. **Potencial comparativo de rendimiento de las líneas avanzadas en el ensayo regional**



En base a tres años de ensayos, en tres localidades se han identificado varios materiales genéticos con potencial de rendimiento superior a los testigos. Cuadro 4. Además, dos de estos materiales tienen un excelente nivel de resistencia a la roya de la hoja. En base a los resultados, estos materiales serán considerados para su multiplicación y liberación comercial en el 2010.

Cuadro 4. **Potencial del rendimiento de grano de las líneas candidatas para liberación comercial**

	Yjovy	Cetapar	CRIA
Líneas	4	6	7
Rango	3170 - 3239	2993 - 3354	5036 - 5964
ltp 75	3669	3065	5033

En adición a las líneas avanzadas de trigo, el proyecto ha evaluado la adaptación de triticales en el país. Los resultados de las líneas avanzadas de triticales en los ensayos avanzados pueden considerarse muy interesantes ya que los mejores triticales rinden entre 15 y 20% más que el mejor testigo Itapúa 75. Antes de considerar el avance de estas líneas en ensayos y multiplicación etc., será importante determinar el uso que se puede dar a su grano, sea para consumo humano o animal.

El otro indicador del éxito del programa de trigo puede ser la aceptación de las 5 nuevas variedades liberadas en el año 2005. Se estima que en el 2009 hay alrededor de 45 000 hectáreas sembradas con estas variedades. La multiplicación amplia y la disponibilidad de semilla de buena calidad de las nuevas variedades sigue siendo un cuello de botella que necesita ser resuelto a corto plazo. Esta es la única manera de que el éxito del proyecto llegue a los campos de los agricultores.

MANEJO AGRONÓMICO

Interacción fecha de siembra x variedad

Desde hace años se ha observado una interacción fuerte entre las variedades y su época de siembra. Como ejemplo, se analizan los datos generados por los técnicos de CETAPAR durante dos años, 2007 y 2008. Los datos promediados de tres variedades de diferentes ciclos colocados en la Fig. 6 muestran que en la región de Iguazú los rendimientos se incrementan en las siembras hasta mediados de mayo. Posterior a esta fecha, la caída en el potencial de rendimiento es brusca. Sin embargo, si analizamos esos datos de manera mas detallada, se puede observar que en las variedades precoces el rendimiento se aumenta hasta mediados de mayo, pero en las variedades de ciclo largo el mejor rendimiento está en las siembras tempranas a mediados de abril y tiene una caída de ésta época en adelante, Fig. 7. En otras palabras, existe una interacción fuerte entre el ciclo de la variedad y su época de siembra que puede variar de una región y la otra. En ese sentido, es necesario conocer estas interacciones para lograr mejores rendimientos sin costos extras.

Fig. 6. **Promedio de rendimiento de trigo por época de siembra en Alto Paraná sur**



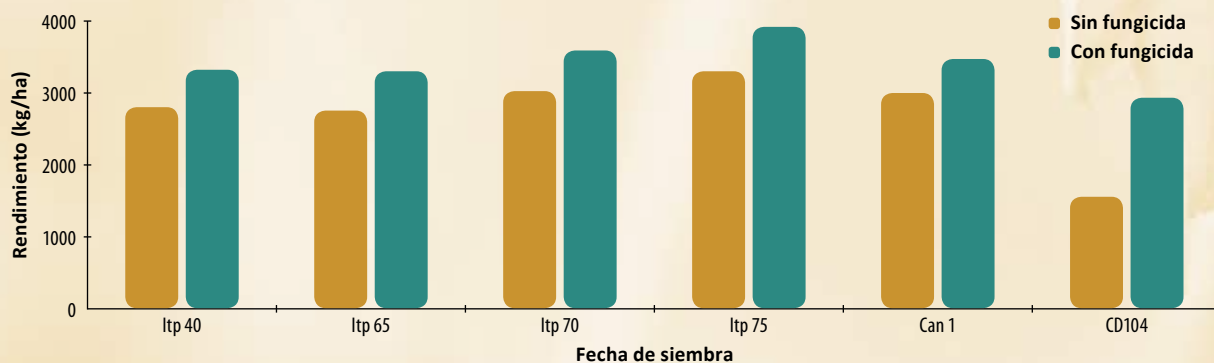
Fig. 7. Interacción entre fecha de siembra y el ciclo de la variedad y su rendimiento



Resistencia genética contra enfermedades

Una de las características de las variedades liberadas por el proyecto MAG/CAPECO/INBIO es su mejor nivel de resistencia a las enfermedades. Teniendo en cuenta que el control químico representa un costo adicional de producción además del costo ambiental, la resistencia genética incorporada a las principales enfermedades es un objetivo anhelado del programa. Los datos presentados en la Fig. 8 muestran esta característica de una forma clara.

Fig. 8. La contribución de la resistencia genética en el control de las enfermedades de trigo



DESAFÍOS FUTUROS

El mayor desafío del cultivo de trigo en una región cálida, no tradicional para la producción de trigo, radica en su adaptación a las condiciones climáticas del futuro. Los impactos del calentamiento global y el cambio climático pronostican sequías más frecuentes e incremento de las temperaturas en nuestra región. Estos dos cambios tienen su efecto no solamente sobre el desarrollo del cultivo y su potencial, sino también sobre los insectos y enfermedades que pueden impactar la producción en el futuro. Se observa ya la presencia de la chinche verde en el trigo que hace algunos años se consideraba solamente un problema en el cultivo de la soja. La chinche verde ataca a la espiga de trigo afectando al desarrollo normal de los granos. Asimismo, el incremento de las epidemias de Piricularia en la región y la variabilidad existente en este hongo son causas de preocupación.

La identificación de una nueva raza Ug99 de la roya del tallo en África es otro factor que presenta nuevos desafíos para los programas de mejoramiento. Aunque los movimientos naturales de esta raza la están llevando hacia el occidente y el sur de Asia, hay informes de su movimiento hacia el sur del continente africano también. Desde su aparición en el año 1999, esta raza ha sufrido modificaciones llegando a tener nuevas combinaciones que atacan bases de resistencia utilizadas en Suramérica. Teniendo el ejemplo de la roya de la soja que pudo llegar a este continente de forma accidental, posiblemente por las grandes masas

de aire transoceánicas, será importante mantenerse alerta y utilizar las pocas fuentes de resistencia que han sido identificadas para la roya del tallo.

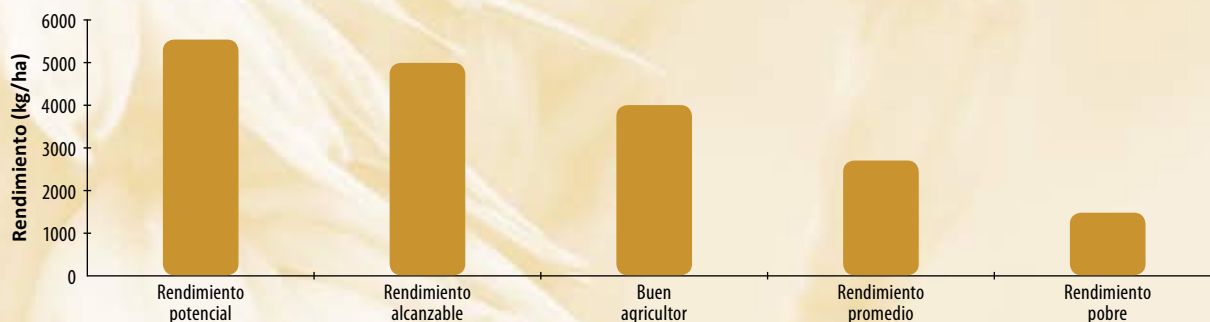
El otro desafío del calor y de las condiciones cambiantes futuras se relacionan con la calidad del grano que se produce. Paraguay ya es un país exportador de trigo y debe mantener la calidad de su producción apta para la demanda internacional. En este sentido, no sólo se necesitan identificar nuevas variedades con mayor fuerza de gluten, sino también la estabilidad de este gluten bajo altas temperaturas. Es un carácter clave para reducir la variabilidad en la calidad de la cosecha año tras año. Por otra parte y considerando que las lluvias primaverales se están adelantando, va a ser crítico incorporar altos grados de resistencia al brotado en las nuevas variedades.

Las tendencias mundiales futuras requieren el desarrollo de variedades para productos finales específicos. Hasta ahora, Paraguay no ha incursionado en la clasificación del grano, un tema que va a ser crítico en la exportación en el futuro. A nivel nacional, necesitaremos estudiar las regiones productoras de manera detallada para desarrollar agrupaciones geográficas y minimizar la interacción variedad por ambiente. En ese sentido, el país necesitará avanzar en la adopción de tecnologías avanzadas que ayuden a pronosticar la calidad del producto final.

Una de las maneras más efectivas para contrarrestar los efectos del cambio climático es la mayor explotación de los recursos genéticos aliados al trigo. Las especies y géneros aliados al trigo tienen una gran variabilidad para características como rendimiento, mayor biomasa, resistencias a estrés biótico y abiótico y una mayor eficiencia fotosintética. Con el objetivo de utilizar esta variabilidad en el programa nacional, el país necesita no sólo crear nuevas facilidades tecnológicas que puedan utilizar la herramienta molecular, sino también adiestrar una cantidad de técnicos jóvenes con cursos avanzados que sepan usar estas tecnologías en pro del agro.

Los cambios y éxitos logrados por el proyecto trigo se basan en manejar las interacciones entre variedades, aspectos de manejo y el clima. Aunque el rendimiento nacional promedio de trigo se ha incrementado durante los últimos siete años, es importante señalar que el potencial de rendimiento que el país puede aspirar es de 5.5 ton/ha especialmente en la parte sur del país. En otras palabras, existe una gran brecha entre los rendimientos que un buen agricultor está logrando y el rendimiento nacional promedio. En términos económicos, esta brecha representa alrededor de \$120 millones de dólares anuales. Fig. 9. El mayor desafío de este proyecto es poder achicar esta brecha.

Fig. 9. La brecha en rendimiento de trigo de acuerdo al nivel tecnología usada



Según los datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, las importaciones de trigo en Brasil mantienen un leve crecimiento anual llegando a alrededor de 9 millones de toneladas en 2016/17. Actualmente Paraguay sólo cubre del 5 al 10% de esta demanda. El otro desafío que el país tiene es lograr incrementar su producción de trigo para cubrir un porcentaje mayor de este mercado.

Para lograr este objetivo, será necesaria una mayor colaboración entre los productores, los sectores ligados a la provisión de insumos, la industria, los acopiadores y exportadores y la política nacional para guiar el rumbo de la investigación del trigo en Paraguay.

Dr. Pablo Abbate, INTA, Balcarce, Argentina.



Vista panorámica de ensayos en el campo experimental de Yjovy, Canindeyú.



Estimación del rendimiento potencial de trigo en Paraguay y sus requerimientos de agua y nutrientes

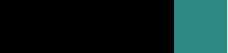
PABLO E. ABBATE¹ Y LAURA LÁZARO²

¹Unidad Integrada Balcarce: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata y Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, INTA, CC 276 (7620), Balcarce, Buenos Aires, Argentina; ²Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, República de Italia 780 (7300), Azul, Buenos Aires, Argentina.
E-mail: peabbate@balcarce.inta.gov.ar y llazaro@faa.unicen.edu.ar

Resumen

A fin de interpretar cómo se genera el rendimiento del cultivo de trigo, se puede dividir su ciclo en tres períodos: (1) período de generación de área verde, (2) período de crecimiento de las espigas, y (3) período de llenado del grano. Durante el primero se produce el desarrollo vegetativo y la expansión del área verde del cultivo, necesaria para interceptar (captar) la radiación solar disponible en las etapas posteriores. El segundo período corresponde al de acumulación de peso seco de las espigas/m² (sin grano), durante el cual se genera el número de granos/m². Finalmente, durante el tercer período, el grano gana la mayor parte de su peso seco, quedando definido el peso por grano y el rendimiento.

Al estimar el rendimiento potencial (es decir, el que puede alcanzar un cultivar dado sin limitaciones hídricas, nutricionales ni sanitarias) de una localidad de referencia de la región triguera paraguaya (Encarnación, latitud 27° S) y de una de la región triguera argentina (Balcarce, 38° S) se encontró que fue menor para Encarnación debido al aumento de la temperatura y la disminución de radiación solar. Sin embargo, en ambas localidades el rendimiento potencial estimado aumentó al adelantar la fecha de floración, por lo cual la frecuencia de heladas determinó la fecha óptima de floración. A través de localidades de baja altitud del Cono Sur, la fecha óptima de floración se retrasó con la latitud, 6 días por cada grado de aumento. Se estimó que el rendimiento potencial disminuye al atrasar la floración a razón de 11kg/ha por día de retraso en Encarnación y 33 kg/ha en Balcarce, y que en el Cono Sur el rendimiento potencial cae 260 kg/ha por cada grado de reducción en la latitud. La floración temprana también permite reducir los requerimientos diarios de agua y aumentar su eficiencia de uso. Sin embargo, se necesita más agua en Encarnación que en Balcarce por unidad de rendimiento para alcanzar el rendimiento potencial. La cantidad de nutriente que el cultivo debe absorber para alcanzar el rendimiento potencial, es proporcional al nivel de rendimiento; en consecuencia, las necesidades de nutrientes en Encarnación son menores que las de Balcarce.



Abstract

How is the potential yield of wheat generated in the warm climates?

In order to interpret how the wheat yield is generated, its crop cycle can be divided into three periods: 1. period in which the green area or mass is generated, 2. period of spike growth and 3. grain filling period. The most important phenomenon that occurs during the first stage is the expansion of the green area of the crop needed to intercept (capture) the solar radiation available for later stages. The photosynthetic activity that results from the effect of solar radiation on the crop organs with chlorophyll (green), is a mechanism that allows growth and determines grain yield of a crop. Water or nutritional stress during this first period can cause loss of grain yield if the loss of intercepted radiation lasts till the next stages. However, if the water or nutrient deficiency in the first stage is resolved, thereby reestablishing the good conditions and the crop is able to intercept all the radiation before the spike growth period, there is no reason to believe that grain yield will be affected.

During the second period, the spikes (still without grain) initiate their growth (accumulation of dry matter). It starts in the middle of crop elongation stage, coinciding approximately with the expansion of the one before the last leaf and with differentiation of 2 to 3 nodes in the principal tiller. This period terminates with the initiation of the grain filling stage and the final number of grains/m² of the crop is determined. The dry weight of the spikes/m² at the end of this period (PSEf) is a measure of the quantity of the photoassimilates that a crop will allocate for the generation of the grains. Under potential growth conditions (viz. without limitation of water or nutrients and in the absence of adverse climatic and sanitation conditions), the PSEf maintains a strong positive relation with the grain number. High levels of radiation intercepted during this period increase the rate of growth in the crop and in the spikes, while the lower temperatures prolong the duration of this period. Consequently, cooler and sunny days before the flowering determine an increase in the PSEf and as such, lead to larger number of grains/m². Any water or nutritional stress during this period can reduce the PSEf and/or the flower fertility affecting the total number of grains that can be obtained with the given PSEf.

The third period (of grain filling) starts a few days after the flowering and finalizes with the grain maturity, defining in it the grain weight and the grain yield. The grain weight can be considered as a product between: 1. the potential grain weight, viz. the weight that can be obtained when there are no limitations of photo assimilates for its filling, and 2. a percent quotient (PG%) between the grain weight and its potential weight. High temperatures reduce the duration of this period and the potential weight. Thereby, the grain weight will increase when lower temperatures prevail during the grain filling period. The nutrient deficiencies impact the potential grain weight more than the PG%. However, drought can decrease the potential grain weight as well as the PG%. A situation where PG% becomes more critical corresponds to a crop without limitation of water or any other resource until the grain number is determined, but suffers from water limitation during the grain filling period. Such a crop will have higher number of sink, but a meager source to fill them. Under such conditions, besides yield loss, a loss of commercial quality (low test weight, large percent of shriveled kernels, etc.) can also be expected.

INTRODUCCIÓN

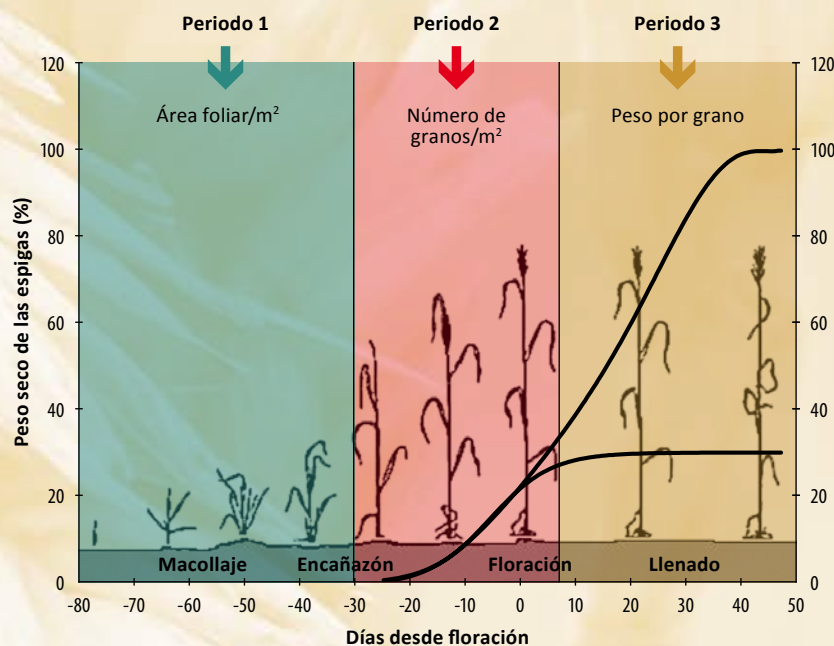
El máximo rendimiento que se puede obtener con un cultivar en una localidad (rendimiento potencial) es el resultado del ambiente de esa localidad, en particular de la radiación, la temperatura y el fotoperíodo (horas entre los crepúsculos solares) y de la eventual interacción con el cultivar.

Para alcanzar el rendimiento potencial, el cultivo debe disponer de suficiente cantidad de agua y de nutrientes. El objetivo de este trabajo es analizar cuál es el rendimiento potencial considerando los requerimientos de agua y de nutrientes, en la región triguera paraguaya en comparación con la argentina. Se espera que esta comparación permita comprender mejor las limitaciones del rendimiento a fin de orientar el manejo del cultivo de trigo en ambas regiones.

GENERACIÓN DEL RENDIMIENTO

Para analizar la generación del rendimiento, Abbate y Lázaro (2001) propusieron dividir el ciclo del cultivo de trigo en tres etapas o períodos considerando el crecimiento de las espigas (Fig. 1): 1) período de generación del área verde, 2) período de crecimiento de las espigas y 3) período de llenado del grano.

Fig. 1. Esquema que muestra los tres períodos de generación del rendimiento a lo largo del ciclo de trigo. Las curvas representan la evolución idealizada del peso seco de las espigas (la inferior sin grano, la superior con grano) para un cultivo en buenas condiciones de crecimiento (tomado de Abbate y Lázaro, 2001)



Período de generación del área verde

Durante este período se produce el desarrollo vegetativo del cultivo, sin crecimiento de las espigas. Comienza con la emergencia del cultivo y termina cuando empiezan a crecer las espigas, abarcando el macollaje y la mitad de la encañazón. El fenómeno más importante que ocurre durante este período es la expansión del área verde del cultivo, necesaria para interceptar (captar) la radiación solar disponible en las etapas posteriores de generación del rendimiento. La producción de asimilados a través de (1) la radiación solar que incide en los órganos con clorofila (verdes) del cultivo y (2) la actividad fotosintética, es el

mecanismo que permite al cultivo crecer y en definitiva generar grano (rendimiento). Si bien el área verde suele aumentar hasta 10-15 días antes de antesis, al final de este primer período es de esperar que el cultivo posea suficiente área foliar como para cerrar totalmente el surco y interceptar más del 90% de la radiación solar disponible. La duración de este período es mayor en los cultivares de ciclo largo que en los cortos y se acorta al aumentar la temperatura y el fotoperíodo.

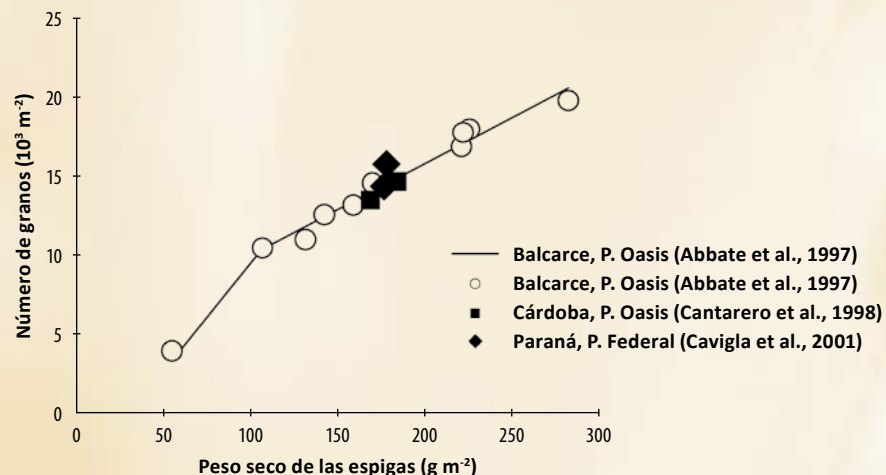
Período de crecimiento de las espigas

Este segundo período corresponde al de la acumulación de peso seco de las espigas/m² previo al crecimiento de sus granos. Las espigas inician su crecimiento envueltas por las vainas de las hojas; esto ocurre entre 20 y 30 días antes de antesis, aproximadamente a mediados de encañazón, en coincidencia con la expansión de la anteúltima hoja y con elongación del tercer entrenudo en el vástago principal. La etapa finaliza con el inicio del llenado de los granos, una semana después de antesis. En este estado, queda definido el número de granos/m² del cultivo.

Altos niveles de radiación interceptada durante este período aumentan la tasa de crecimiento del cultivo y de las espigas, favoreciendo un mayor peso seco de las espigas. Las temperaturas frescas, y eventualmente un menor fotoperíodo, también favorecen un mayor peso seco de las espigas, ya que aumentan la cantidad de días que las espigas tienen para crecer (Fischer, 1983; Fischer, 1985). El peso seco de las espigas/m² al final de este período es una medida de la cantidad de asimilados producidos a través de la fotosíntesis que el cultivo destina para la generación de los granos (Fischer, 1983; Fischer, 1985; Abbate et al., 1995; Abbate et al., 1997). En condiciones potenciales de crecimiento (e.d., sin limitaciones de agua y nutrientes, y en ausencia de adversidades climáticas y sanitarias), el peso seco de las espigas al final de esta etapa guarda una fuerte relación positiva con el número de granos (Fig. 2). En consecuencia, días previos a floración frescos y soleados, determinan un aumento en el peso seco de las espigas y por lo tanto un mayor número de granos/m². Queda dicho entonces, que lo importante para alcanzar un alto número de granos es un alto peso seco final de las espigas y que éste puede estar indistintamente conformado por muchas espigas/m² de bajo peso individual o por pocas de alto peso.

Las diferencias entre cultivares suelen manifestarse generalmente en la proporción de la tasa de crecimiento del cultivo que se destina a las espigas (partición a espigas) (Brooking y Kirby, 1981; Abbate et al., 1998) y en el número de granos obtenido por unidad de peso de espiga (fertilidad de espiga) (Abbate et al., 1998).

Fig. 2. Relación entre el número de grano/m² y el peso seco de las espigas/m² (7 días después de antesis, descontado el peso de los granos), obtenida sin limitaciones hídricas ni nutricionales por Abbate et al. (1997) y otros autores en la región triguera argentina

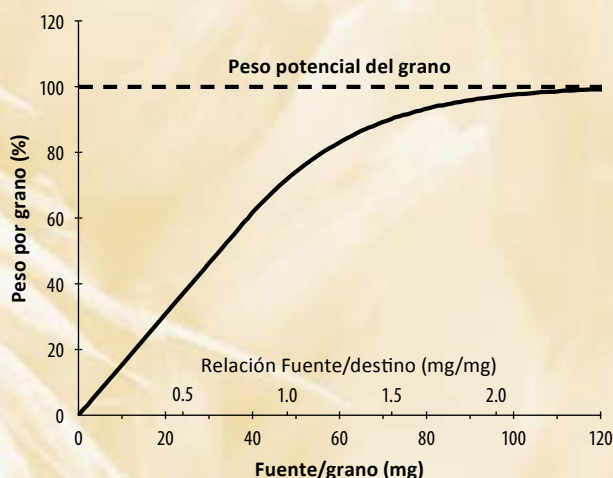


Período de llenado de los granos

Durante el tercer período, el crecimiento de las espigas resulta despreciable y el grano gana la mayor parte de su peso seco. Este período comienza unos pocos días después de floración y finaliza con la madurez del grano, quedando definido el peso por grano (peso de mil granos/1000) y el rendimiento.

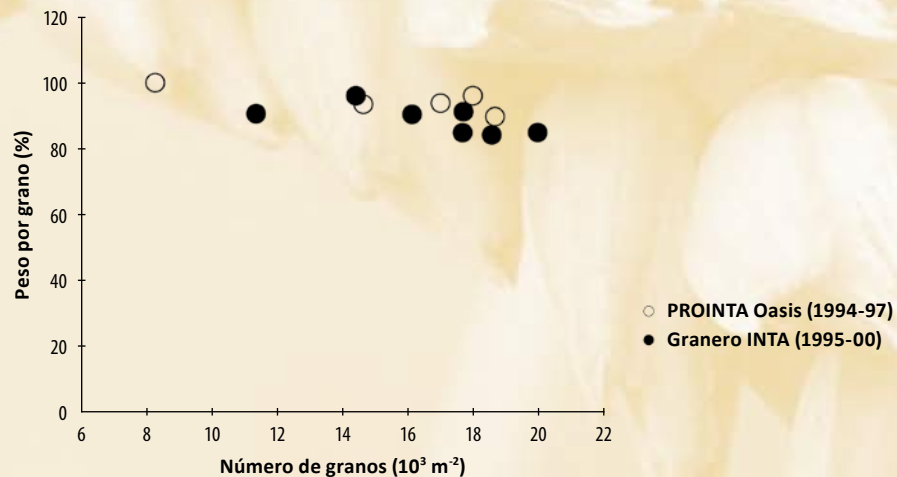
El análisis de la determinación del peso por grano resulta complejo ya que no sólo depende del crecimiento del cultivo durante el llenado del grano, sino del balance entre los asimilados producidos por el cultivo antes y durante el llenado del grano (fuente) y la capacidad de los granos (destinos) para almacenarlos (Gifford et al., 1973; Fischer y HilleRisLambers, 1978; Fischer, 1983). Sin embargo, como no es fácil cuantificar ninguno de esos términos, Abbate et al. (2001) propusieron considerar el peso por grano como el producto entre: (i) el peso potencial del grano y (ii) el cociente porcentual entre el peso por grano real y su peso potencial (grado de limitación por destinos o el complemento de 100% del grado de limitación por fuente). El peso potencial es el peso que puede alcanzar un grano sin competencia por asimilados para su llenado (Fischer y HilleRisLambers, 1978); en la práctica éste puede evaluarse midiendo el peso por grano alcanzado en plantas a las que se les reduce la competencia por luz y nutrientes durante el llenado, eliminando las plantas vecinas. Por otro lado, el grado de limitación por destinos puede cuantificarse como el cociente porcentual entre el peso por grano y su peso potencial (Abbate et al., 2001). Un 100% de limitación por destinos (equivalente a 0% de limitación por fuente) indica que los granos disponen de suficientes asimilados para alcanzar su peso potencial.

Fig. 3. **Relación idealizada entre el peso por grano expresado como porcentaje de su peso potencial, y la relación fuente/destino para el llenado del grano (adaptada de Fischer, 1983)**



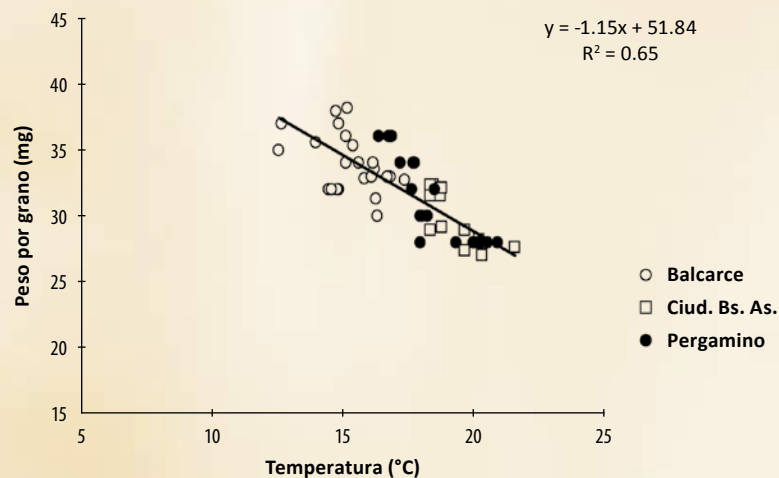
La Fig. 3 muestra el peso por grano como porcentaje de su peso potencial (o grado de limitación por destinos), el peso potencial y su relación con la fuente por grano (o relación fuente/destino). Para que el peso por grano alcance su potencial, el cultivo debe ofrecer una alta cantidad de fuente para cada grano (a la derecha del eje x), en tal circunstancia, el peso individual del grano puede alcanzar el 100%, es decir, su peso potencial. Si la fuente disponible es baja, en relación con los destinos a llenar o la cantidad de destinos es alta en relación con la fuente disponible, la relación fuente/destino disminuye y el grano alcanzará un peso menor al potencial.

Fig. 4. Relación entre el peso por grano (expresado como porcentaje de su peso potencial) y el número de granos/m², para los cultivares PROINTA Oasis y Granero INTA, creciendo sin limitaciones hídricas, nutricionales ni sanitarias, en Balcarce y Azul (Bs. As., Argentina) (datos no publicados de Abbate P.E. y Lázaro L.)



Al estudiar la relación entre el peso por grano y el número de granos/m² en dos cultivares argentinos creciendo en condiciones potenciales (Fig. 4), se encontró que al aumentar el número de granos/m² la caída en el peso individual del grano fue en promedio del 8%, es decir que para la mayoría de los fines prácticos, puede considerarse que si el rendimiento no supera las 8 tn/ha (con 14% de humedad), el peso por grano del cultivo es similar al peso potencial (Abbate et al., 2001). Cabe preguntarse entonces, qué factores definen el peso potencial. El principal factor ambiental en la determinación del peso por grano es la temperatura a partir de espigazón (Calderini et al., 1999) y durante el llenado del grano.

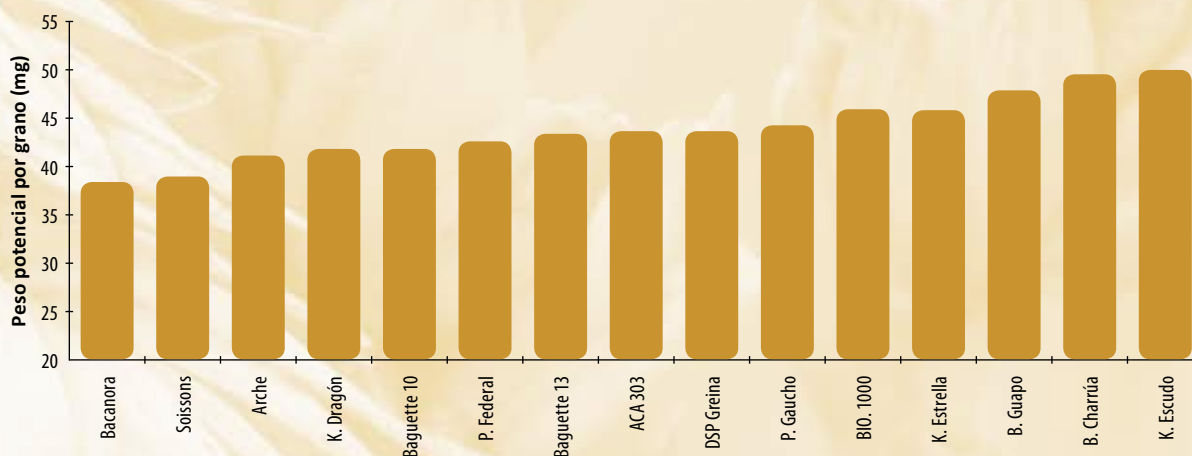
Fig. 5. Relación entre el peso por grano (seco) y la temperatura media durante los 35 días posteriores a espigazón, para los cultivares Leones INTA y Victoria INTA creciendo en la provincia de Buenos Aires, Argentina (adaptado de Abbate et al., 1994).



La Fig. 5 obtenida con datos de la provincia de Buenos Aires (Argentina), con buena disponibilidad hídrica y en ausencia de enfermedades foliares, muestra que existe una relación negativa entre el peso individual del grano y la temperatura media a partir de espigazón. La radiación en esta fase no resulta importante si el cultivo no está limitado por fuente durante el llenado; entonces, es de esperar un menor peso potencial del grano con el aumento de la temperatura durante el llenado del grano. Según la Fig. 5, cada 1°C de aumento en la temperatura media del aire durante el llenado, induce una caída de 1.15 mg en el peso del grano. Sin embargo, se debe tener en cuenta que pueden existir diferencias entre cultivares tanto en el término independiente como en la pendiente de esa relación. Por otro lado, un corto período con temperatura mayor a 32 °C (Gonzalez Montaner, 1986; Randall y Moss, 1990) o 40 °C (Fischer, 1985b; Stone y Nicolas, 1995) también reduce el peso por grano (en promedio 5% por cada 1°C de aumento), favoreciendo el grano chuzo y la caída del peso hectolítrico.

A una temperatura dada durante el llenado de los granos, pueden presentarse diferencias en el peso potencial entre cultivares. La Fig. 6 muestra que en Balcarce, la diferencia entre cultivares creciendo sin limitaciones hídricas, nutricionales ni sanitarias, alcanzó el 25%.

Fig. 6. **Peso potencial (con la humedad de comercialización de Argentina, 14%) de algunos cultivares creciendo sin limitaciones de agua y nutrientes, y con control sanitario, en Balcarce, Buenos Aires, Argentina (datos no publicados de P.E. Abbate; promedio de dos experimentos)**



En definitiva, la Fig. 3 permite distinguir dos causas de un bajo peso por grano: (1) el bajo grado de limitación por destinos (alta limitación por fuente) y (2) el bajo peso potencial. Las limitaciones de fuente son propias de situaciones no potenciales (que se analizan más abajo); estas además de reducir el peso por grano, éstas suelen deprimir la calidad comercial del grano a través de bajo peso hectolítrico, mayor porcentaje de grano chuzo o parámetros de comercialización equivalentes. Por el contrario, no es de esperar que el bajo peso potencial afecte al calidad comercial de grano por si mismo.

VARIACIONES DEL RENDIMIENTO POTENCIAL

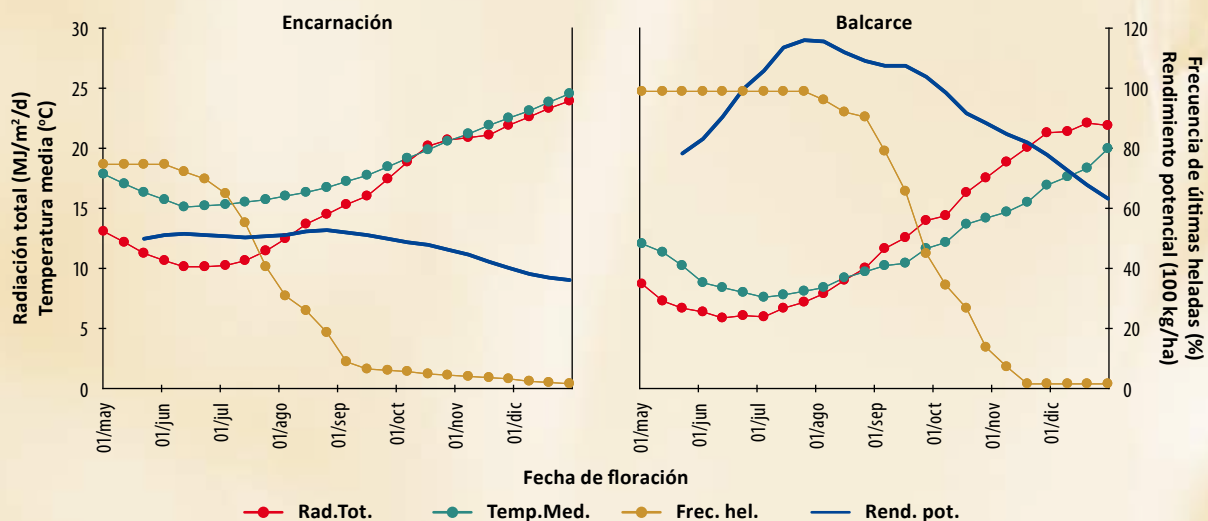
Variaciones estacionales del rendimiento potencial y fecha de floración óptima

Para cada fecha de floración puede estimarse el rendimiento potencial correspondiente a partir de la radiación y la temperatura. La Fig. 7 muestra el cambio estacional de las variables climáticas más relevantes para la determinación del rendimiento, y los rendimientos potenciales estimados, para fechas de floración posteriores al 1-may, en una localidad de referencia de la región triguera de Paraguay (Encarnación, Dpto. Itapúa, latitud 27°S, longitud 56°O) y de la de Argentina (Balcarce, Prov. Buenos Aires, latitud 38°S, longi-

tud 58°O). Se puede observar que para Balcarce, el rendimiento potencial estimado, para un cultivar de rendimiento promedio, sería máximo con floración en fines de julio; pero con floración en invierno el riesgo de daño por heladas es crítico. Asumiendo una frecuencia de heladas menor al 10% (un año con helada en floración de cada 10 años), la floración no debería ocurrir antes del 20-oct. Con fechas de floración más tardías el riesgo de heladas es menor, pero el rendimiento potencial (expresado con 14% de humedad) cae a razón de 33 kg/ha por cada día de retraso en la fecha de floración, a causa del aumento de la temperatura.

Por otro lado, la Fig. 7 muestra que en Encarnación el rendimiento potencial estimado no comienza a caer hasta el 1-sep. A partir de las temperaturas mínimas diarias (desde 1964 al 2003) de la estación meteorología del Centro Regional de Investigación Agrícola (CRIA), Capitán Miranda, cercana a Encarnación, se pudo calcular que a partir del 1-sep la frecuencia de heladas es menor a 10%, por lo cual la primera semana de septiembre puede considerarse la fecha de floración óptima en esa zona. Con fechas de floración posteriores el rendimiento potencial cae a razón de 11 kg/ha por día de retraso, es decir, sustancialmente menos que en Balcarce. Adelantando la fecha de floración el riesgo de heladas aumenta 9% cada 10 días en Capitán Miranda, mientras que en Balcarce aumenta 13%. Generalmente el compromiso entre un alto rendimiento potencial y un bajo riesgo de heladas es lo que determina la fecha de floración óptima. Esto es válido independientemente del ciclo del cultivar. En el Cono Sur, la fecha de floración óptima suele retrasarse con la latitud, ya que a alta latitud la última helada suele ocurrir más tardíamente (Fig. 8); por cada grado de aumento en la latitud, la fecha de floración óptima se retrasa aproximadamente 6 días (Fig. 8).

Fig. 7. **Rendimiento potencial estimado (con 14% de humedad) a partir de la radiación y la temperatura media cada 10 días y frecuencia de últimas heladas (proporción de años con temperaturas mínimas iguales o menores a 0°C, posteriores a la fecha indicada en el eje x), en función de la fecha floración (antes), para una localidad de referencia de la región triguera de Paraguay (Encarnación, Dpto. Itapúa, latitud 27°S, longitud 56°O) y de la de Argentina (Balcarce, Prov. Buenos Aires, latitud 38°S, longitud 58°O)**



Cuadro 1. Diferencias en radiación, temperatura y rendimiento potencial para una localidad de referencia de la región triguera de Paraguay (Encarnación, Itapúa, latitud 27°S, longitud 56°O) y de la de Argentina (Balcarce, Buenos Aires, latitud 38°S, longitud 58°O)

	Encarnación	Balcarce	Diferencia ^e (%)
Fecha de floración ^a	1-sep	1-nov	
Radiación en incidente durante PCE (MJ/m ² /d) ^b	15	19	15
Temperatura media durante PCE (°C) ^b	18	14	-19
Temperatura media durante llenado (°C) ^c	19	16	-16
Rendimiento potencial (t/ha) ^d	5	8	60

^a Según Fig. 8.

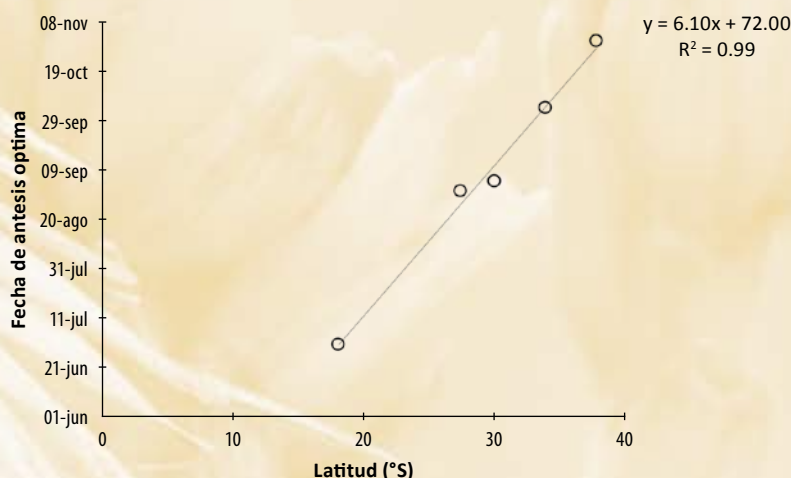
^b Promedio durante aproximadamente el período de crecimiento de las espigas (PCE) (Fig. 1).

^c Promedio durante aproximadamente el período de llenado del grano (Fig. 1).

^d Según Fig. 10.

^e Aumento de Balcarce respecto de Encarnación.

Fig. 8. Fecha de floración óptima (calculada a partir de la frecuencia de heladas tardías) para algunas localidades trigueras de distintas latitudes del Cono Sur: Santa Cruz de la Sierra (Bolivia), Encarnación (Paraguay), Puerto Alegre (Brasil), Pergamino (Argentina) y Balcarce (Argentina)



Variaciones del rendimiento potencial entre localidades

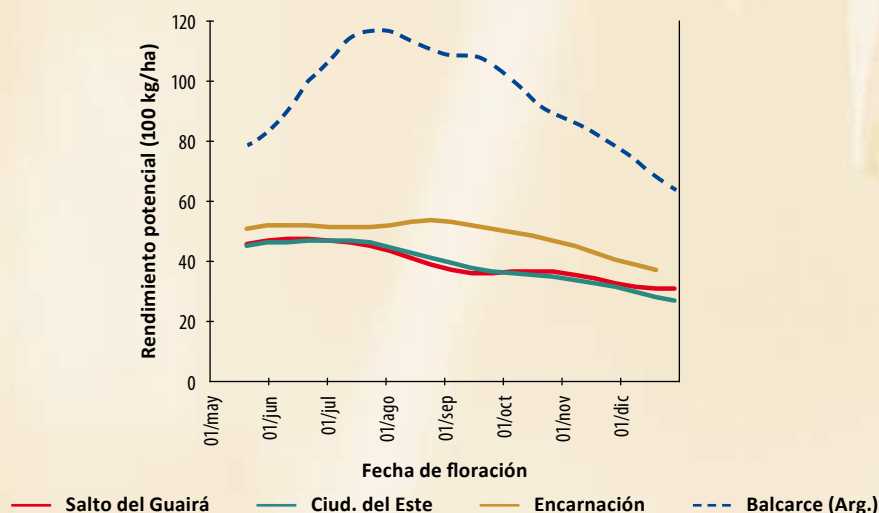
Para cualquier fecha del año, la radiación solar y la temperatura en Encarnación son mayores que en Balcarce (Fig. 7). Sin embargo, considerando la fecha de floración óptima de cada localidad, la radiación y temperatura de Encarnación resultan más desfavorables que las de Balcarce para alcanzar un alto rendimiento. El Cuadro 1 resume las diferencias en la radiación y la temperatura entre Encarnación y Balcarce. La diferencia de rendimiento potencial estimado para las respectivas fechas de floración óptima es del orden de 3 t/ha a favor de Balcarce (60% mayor al de Encarnación) (Cuadro 1). Esa diferencia se corresponde con una radiación 15% mayor y una temperatura 19% menor en Balcarce respecto de Encarnación durante el período de crecimiento de las espigas (Cuadro 1) y una temperatura 16% menor en Balcarce durante el período de llenado del grano. En consecuencia, el menor rendimiento de Encarnación se debe atribuir al efecto conjunto de la radiación y temperatura, y no solamente a esta última.

La Fig. 9 considera el comportamiento del rendimiento potencial en dos localidades de la región triguera paraguaya, al norte de Encarnación: Salto del Guairá (Dpto. Canindeyú, latitud 24°S, longitud 54°O) y Ciudad del Este (Dpto. Alto Paraná, latitud 26°S, longitud 54°O). Tanto en Salto del Guairá como Ciudad

del Este, el rendimiento potencial estimado cae a partir del 1-ago a razón de 10-15 kg/ha por día (caída similar a la de Encarnación a partir del 1-sep). En la estación meteorológica del Ministerio de Agricultura y Ganadería (Yjovi, Corpus Christi, Dpto. Canindeyú) y la del Centro Tecnológico Agropecuario en Paraguay (CETAPAR, Dpto. Alto Paraná) no se han registrado heladas posteriores al 1-ago en los 10 años de datos con que cuentan. Por cual, se puede considerar que la frecuencia de tales heladas es menor al 10% y que la fecha óptima de floración en esas zonas es el 1-ago (un mes más temprano que para Encarnación)

El rendimiento potencial estimado para las localidades del norte de la región paraguaya resulta menor que el de Encarnación. Para localidades de baja altitud (menor a 400 m snm) del Cono Sur, a menor latitud, el rendimiento potencial se reduce a razón de 260 kg/ha por cada grado de aumento en la latitud (Fig. 10) debido a que hacia el norte ambiente climático es menos favorable. En consecuencia, incluso bajo riego, con disponibilidad de nutrientes *ad libitum* y un efectivo control sanitario, es de esperar que los rendimientos de trigo de Paraguay resulten inferiores a los de otras regiones trigueras más tradicionales y que la disminución de rendimiento sea aun mayor hacia el norte de la región triguera paraguaya.

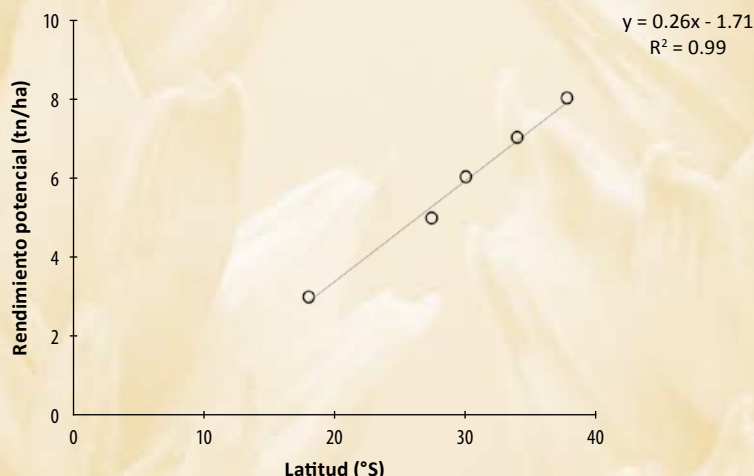
Fig. 9. **Rendimiento potencial estimado (con 14% de humedad) a partir de la radiación y la temperatura media cada 10 días, en función de la fecha floración (antesis), para tres localidades de la región triguera paraguaya: Salto del Guairá (Dpto. Canindeyú, latitud 24°S, longitud 54°O), Ciudad del Este (Dpto. Alto Paraná, latitud 26°S, longitud 54°O) y Encarnación (Dpto. Itapúa, latitud 27°S, longitud 56°O); y una localidad argentina de referencia: Balcarce (Prov. Buenos Aires, latitud 38°S, longitud 58°O)**



El trigo en el Norte de Paraguay
sufre de alta temperatura y sequía.



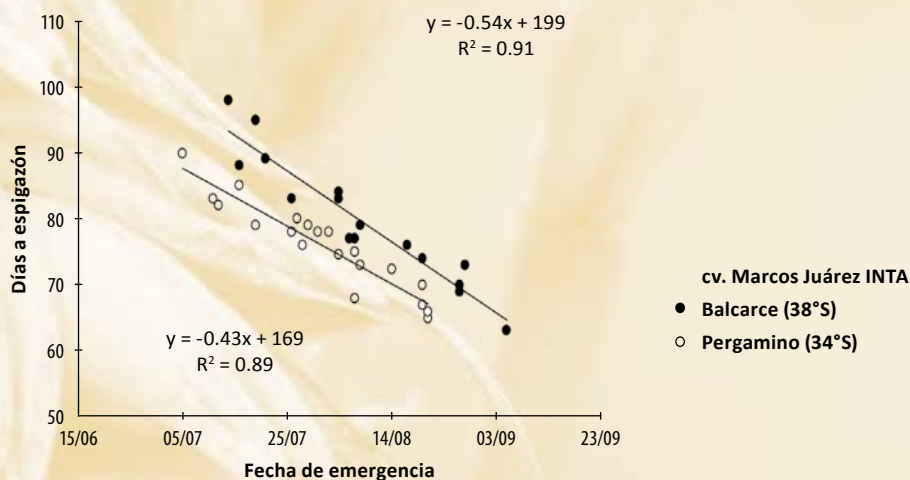
Fig. 10. Rendimiento potencial estimado (con 14% de humedad) a partir de la radiación y la temperatura media cada 10 días y considerando el posible daño por heladas en floración, para algunas localidades trigueras de distintas latitudes del Cono Sur: Santa Cruz de la Sierra (Bolivia), Encarnación (Paraguay), Puerto Alegre (Brasil), Pergamino (Argentina) y Balcarce (Argentina)



Fecha de siembra óptima

De lo anterior resulta evidente que el modo apropiado para alcanzar el rendimiento potencial es establecer la fecha de floración adecuada y en función de ella la fecha de siembra, y no al revés. Estableciendo la fecha de floración y sabiendo cuál es el largo del ciclo, se puede definir la fecha de siembra óptima de cada cultivar. El ciclo de un cultivar dependerá de la temperatura y del fotoperíodo, pero para una localidad dada puede ser estimado a partir de la fecha de siembra con suficiente precisión para la mayoría de los fines prácticos (Abbate y Bariffi, 1998); la Fig. 11 es un ejemplo de tal relación. Incluso existen herramientas de programación que permiten calcular la fecha de siembra apropiada para una fecha de floración deseada (Cantarero et al., 2002).

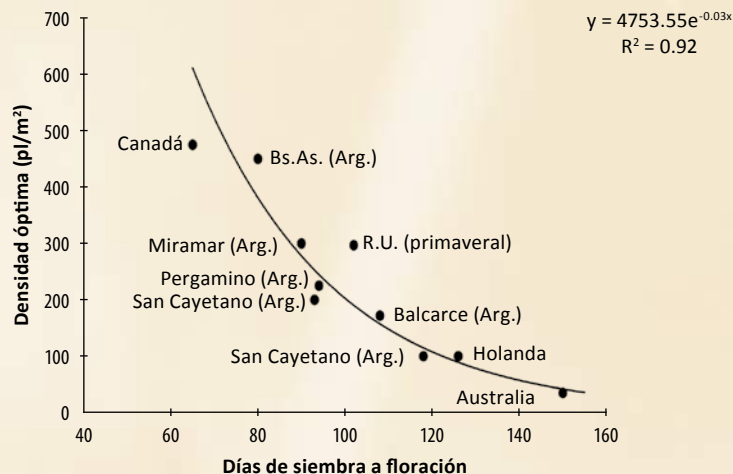
Fig. 11. Ejemplo de la relación entre los días a espigazón y la fecha de emergencia de un cultivar (Marcos Juárez INTA) para dos localidades argentinas de distinta latitud (adaptado de Abbate y Bariffi, 1998)



Densidad de siembra óptima

Conociendo la fecha de floración deseada y el ciclo del cultivo, es posible establecer la densidad de siembra óptima. La densidad de siembra óptima será aquella que le permita al cultivo, generar el área verde necesaria como para captar toda la radiación incidente (es decir, lograr la cobertura del suelo), al inicio del período de crecimiento de las espigas. Sin limitaciones de agua y nutrientes, el área verde al inicio del período de crecimiento de las espigas será el resultado de la densidad de siembra y de la duración de la etapa previa (el período de generación de área verde, Fig. 1). Cuanto más corto sea el período de generación de área verde, mayor será la densidad óptima. Un cultivo tendrá menos tiempo para generar área verde si su ciclo es corto, la temperatura es cálida o los días son largos. Entonces, la capacidad de generar área foliar depende en gran medida del ciclo que tenga el cultivar con el que estamos trabajando y de la fecha de siembra. La Fig. 12 destaca ese hecho, los datos de distintas regiones trigueras del mundo muestran una única relación entre la densidad óptima y el ciclo. Con cultivares de ciclo largo y fechas de siembra tempranas se alarga la etapa de macollaje, permitiendo utilizar menores densidades de siembra.

Fig. 12. Relación entre el ciclo (expresado como días a floración) y la densidad de siembra óptima con buena disponibilidad de agua y nutrientes, para algunas regiones trigueras del mundo; datos tomados de Faris y Pauw (1980), Lerner y Abbate (1992), Sarandón et al. (1988), Thomas (1981), Magrín et al. (1983), Willey y Holliday (1971), Darwinkel (1978), Puckridge y Donald (1967), Fischer et al. (1976), Abbate (1997, no publicado)



DEFICIENCIAS DE NUTRIENTES Y SUS REQUERIMIENTOS

Efecto de las deficiencias de nutrientes

■ Nitrógeno

El principal efecto de una deficiencia de nitrógeno durante el período de formación del área verde, es que el cultivo crece poco porque genera menos área verde y muchas de sus hojas se presentan cloróticas disminuyendo la eficiencia de uso de la radiación (tasa de crecimiento del cultivo por unidad de radiación interceptada). Esto afectará al número de granos y el rendimiento a través de una menor intercepción de radiación durante el período de crecimiento de las espigas y el del llenado de los granos. Por otro lado, si una deficiencia de nitrógeno afecta solamente las etapas tempranas del cultivo, no es de esperar que el rendimiento se vea afectado, si el cultivo recupera la fertilidad (p. ej. a través de una fertilización adecuada) y alcanza a generar suficiente área verde al inicio del período de crecimiento de las espigas.

Cuando la deficiencia de nitrógeno se manifiesta durante el período de crecimiento de las espigas cae la tasa de crecimiento del cultivo a causa de una pobre intercepción y de una menor eficiencia de uso de la radiación. En consecuencia el peso seco de las espigas se reduce, afectando el número de granos/m² y finalmente el rendimiento. Además, una deficiencia de nitrógeno en esta etapa reduce la fertilidad de las espigas (Abbate et al, 1995) (número de granos por unidad de peso de espigas), contribuyendo a la caída del número de granos. Por otro lado, las deficiencias de nitrógeno previas a floración tienden a acortar la duración del período de crecimiento de las espigas por adelanto de la fecha de floración, pero este efecto se da solamente cuando el crecimiento del cultivo resulta sumamente afectado.

Si bien la deficiencia de nitrógeno reduce la fuente para el llenado de los granos, también reduce el número granos a llenar, manteniendo estable el grado de limitación por destinos (Fig. 3). En consecuencia, rara vez la baja disponibilidad de nitrógeno por sí sola afecta el peso por grano. No obstante, las deficiencias de nitrógeno reducen la concentración de proteína del grano, la cual suele ser un factor de calidad que afecta el precio del producto.

■ Fósforo

El principal efecto de las deficiencias de fósforo es reducir el área foliar y en consecuencia la radiación interceptada. Resumidamente, su efecto es similar a lo considerado para el nitrógeno, excepto que ante deficiencias de fósforo no se ha observado reducción de la fertilidad de las espigas (Lázaro y Abbate, 2001). Esto se puede deber a que en general, las deficiencias de fósforo se producen desde comienzos del ciclo del cultivo y van reduciendo su intensidad hacia floración. Por el contrario, las de nitrógeno se acentúan hacia el período de crecimiento de las espigas. Tanto las deficiencias de fósforo como las de nitrógeno suelen operar a través del número de granos, solamente deficiencias de nutrientes severas llegan a afectar el peso por granos. Por otro lado, la alta concentración de fósforo en el grano no constituye una ventaja comercial.

Requerimientos de nutrientes

Las cantidad de nitrógeno que el cultivo deberá absorber para no estar limitado por ese nutriente (es decir, para alcanzar el rendimiento potencial) es proporcional al nivel de rendimiento, por lo cual los requerimientos de nitrógeno suelen expresarse por unidad de rendimiento (García y Berardo, 2005). Sin embargo, una mejor cuantificación de los requerimientos necesita tener en cuenta que éstos variarán en función de la concentración de proteína del grano y con el nivel de rendimiento (Abbate y Andrade, 2005). El Cuadro 2 presenta los requerimientos calculados para un rango de rendimientos esperados y de concentración proteica deseada, por medio de la ecuación propuesta por Abbate y Andrade (2005), válida para un cultivar promedio argentino. Para un dado rendimiento (una fila del Cuadro 2), los requerimientos de nitrógeno se incrementan consistentemente con el nivel de proteína. Por otra parte, para un dado nivel de proteína (una columna del Cuadro 2), los requerimientos aumentan con el rendimiento y si bien este cambio no es muy marcado, no se lo debería despreciar ante cambios importantes de rendimiento. Cabe destacar que los requerimientos del Cuadro 2 corresponden al nitrógeno absorbido por el cultivo, el cual es una fracción del nitrógeno disponible (considerado como la suma del nitrógeno del suelo a la siembra y el del fertilizante) que suele rondar 0.8 cuando la cantidad disponible es la óptima (Abbate P.E. y Lázaro L., datos no publicados).

El criterio utilizado para definir los requerimientos de fertilización fosforada suele basarse en (1) la determinación química del fósforo extractable del suelo (en Argentina predomina el uso del método Bray y Kurtz, 1945) o (2) el cálculo de reposición de fósforo exportado con el grano cosechado. No obstante, al igual que para nitrógeno, la cantidad de fósforo necesaria para alcanzar el rendimiento potencial será proporcional al nivel de rendimiento. Por tal motivo, la cantidad de nutrientes necesaria para que el rendimiento de un cultivo de trigo no esté limitado será 60% mayor en Balcarce que en Encarnación (según los rendimientos potenciales de ambas localidades de la Fig. 10)

Tanto para el caso del fósforo como del nitrógeno, si se suministra al cultivo una cantidad de nutriente mayor a la calculada a través de sus requerimientos, se reducirá la eficiencia de uso del nutriente en cuestión (es decir, el rendimiento obtenido por unidad de nutriente absorbido o disponible). Si la cantidad de nutriente disponible para el cultivo es menor a la correspondiente a sus requerimientos, la eficiencia de uso del nutriente puede aumentar, pero a costa de perder rendimiento.

Cuadro 2. Requerimientos de nitrógeno (kg de N absorbidos por tonelada de grano) calculados para distintos niveles de rendimiento y contenido de proteína en el grano, por el método de Abbate y Andrade (2005); todas las variables expresadas con 14% de humedad en el rendimiento

Rendimiento (t/ha)	Requerimientos de N (kg N/t)					
	Proteína (%)					
	9	10	11	12	13	14
3	19	21	24	27	29	32
4	20	22	25	27	30	32
5	20	23	25	28	30	33
6	21	23	26	28	31	33
7	21	24	26	29	31	34
8	21	24	26	29	31	34

DEFICIENCIA DE AGUA, REQUERIMIENTOS Y EFICIENCIA DE USO

Efecto de las deficiencias de agua

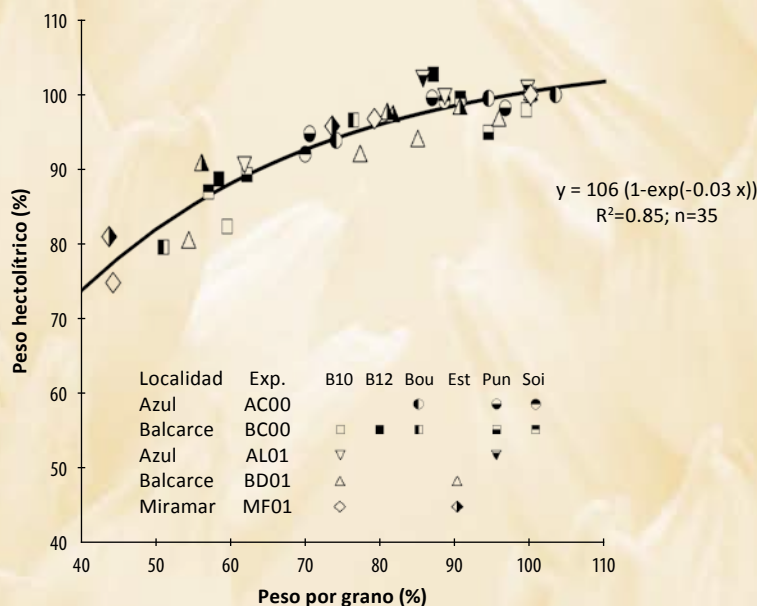
Entre los factores climáticos que afectan al cultivo de trigo, la lluvia es el más variable. Una sequía puede afectar el rendimiento en cualquiera de los tres períodos de generación del rendimiento (Fig. 1). Las limitaciones hídricas pueden reducir el crecimiento del cultivo a través de una menor interceptación de la radiación solar, por una menor exposición del área verde (enrulado y acartuchado de hojas) o por muerte de hojas. Una deficiencia hídrica también puede determinar una menor eficiencia de uso de la radiación interceptada, lo que contribuye a reducir el crecimiento del cultivo.

Las reducciones tempranas del área verde no producen caídas de rendimiento, si pasado el período de estrés, el cultivo alcanza a generar suficiente área foliar como para interceptar la radiación disponible durante el período de crecimiento de las espigas. Por el contrario, si el cultivo no logra un nivel adecuado de área verde al final del período de generación de área verde, el rendimiento se verá afectado, incluso aunque se restablezca la disponibilidad de agua posteriormente.

La deficiencia hídrica reduce el número de granos/m² cuando el estrés se produce durante el período de crecimiento de las espigas. Esta reducción se da a través de una menor interceptación y eficiencia de uso de la radiación, que reduce el peso seco de las espigas/m² (Abbate y Cantarero, 2001). Existe además un efecto depresor de la fertilidad de las espigas (número de granos por unidad de peso de espigas) que reduce aún más el número de grano/m², independientemente de la disminución del peso de las espigas (Abbate y Cantarero, 2001). La disponibilidad de agua puede modificar la velocidad de desarrollo hasta antesis aumentándola con deficiencias moderadas o reduciéndola con deficiencias severas. Sin embargo, la relevancia de este hecho es relativa, porque para cuando se manifiesta, el crecimiento del cultivo (es decir, su acumulación de peso seco) ya fue seriamente afectado y el rendimiento limitado.

El déficit hídrico durante el período de llenado del grano reduce el crecimiento del cultivo en esta etapa y en consecuencia puede afectar el peso por grano. Las sequías durante el llenado son frecuentes y, en general, están acompañadas de altas temperaturas, confundiéndose los efectos. Cuanto mayor sea la cantidad de granos (destinos) a llenar, mayor será el efecto depresor de la sequía sobre el peso por grano, es decir, mayor será el grado de limitación por fuente. Aunque el aumento en el grado de limitación por fuente no sea crítico para la determinación del rendimiento, puede afectar el peso hectolítrico (Abbate et al., 2001). La Fig. 13 muestra que con la reducción del grado de limitación por destinos (peso por grano expresado como porcentaje de su peso potencial), cae el peso hectolítrico. Esta caída puede ser lo suficientemente importante como para reducir el valor comercial de una partida de granos.

Fig. 13. Relación entre el peso hectolítrico y el peso por grano, expresados como porcentaje de su valor potencial; construida con datos de 6 cultivares y 3 localidades (Abbate et al., 2001)



Requerimientos y eficiencia de uso del agua

Al contrario de lo que ocurre con los nutrientes, el clima tiene un efecto directo sobre el consumo de agua. El requerimiento de agua (mm/d) para que un cultivo alcance el crecimiento potencial se conoce como evapotranspiración potencial (ETP), existiendo varios métodos para estimarla (actualmente el método de referencia preferido es el Penman-Monteith de la FAO, Allen et al., 1998). La ETP aumenta de invierno a verano (Fig. 15). Si bien adelantando la floración la precipitación disponible puede ser menor (p. ej. en Balcarce, Fig. 15), la probabilidad de déficit hídrico resulta menor debido a la disminución de la ETP.

Por otro lado, la eficiencia de uso del agua (EUA; es decir, la cantidad de agua transpirada por unidad de peso seco) también depende directamente del clima. Un asunto importante para comprender el efecto del estrés hídrico es considerar las variaciones en la EUA. Abbate et al. (2004) encontraron a través de la región triguera argentina, que con y sin deficiencia de agua, la EUA, aumenta cuando disminuye el déficit de presión de vapor (DPV; es decir, la diferencia entre la presión actual del vapor de agua de la atmósfera y la presión de saturación) (Fig. 14). El DPV se relaciona negativamente con la temperatura y la humedad relativa del aire, por lo cual la EUA decrece de invierno a verano (Fig. 15). En consecuencia, con el adelanto de la fecha de floración es de esperar un menor déficit hídrico junto con una mayor EUA. Así, tanto desde el punto de vista de la temperatura y de la radiación (rendimiento potencial), como desde la economía del agua del cultivo (ETP y EUA), resulta conveniente ubicar la fecha de floración lo más temprano que lo permitan las heladas tardías. En definitiva, las fechas de antesis óptimas presentadas en la Fig. 8, mantienen su validez para cultivos sin riego.

Fig. 14. Efecto del déficit de presión de vapor sobre la eficiencia de uso del agua transpirada de trigo para producir peso seco (Abbate et al., 2004), a través de cinco localidades de la región triguera argentina

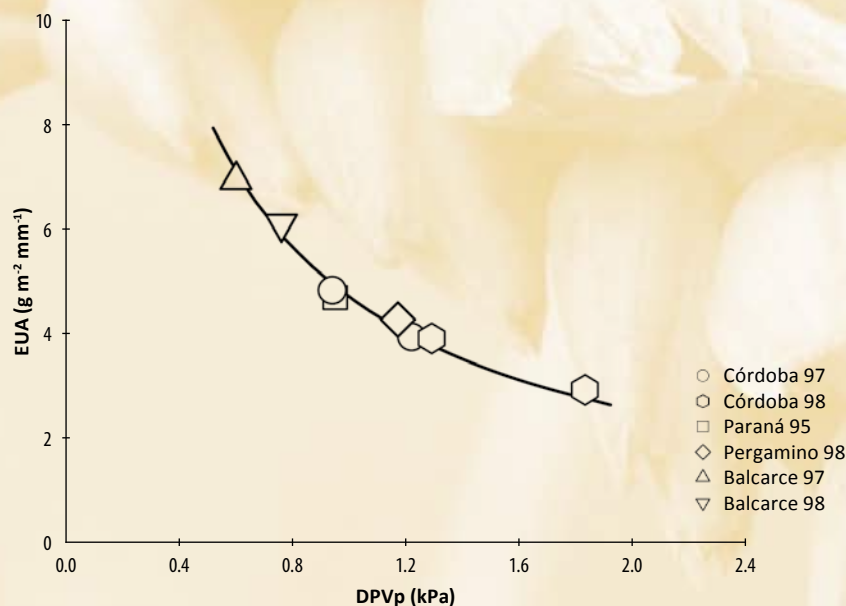
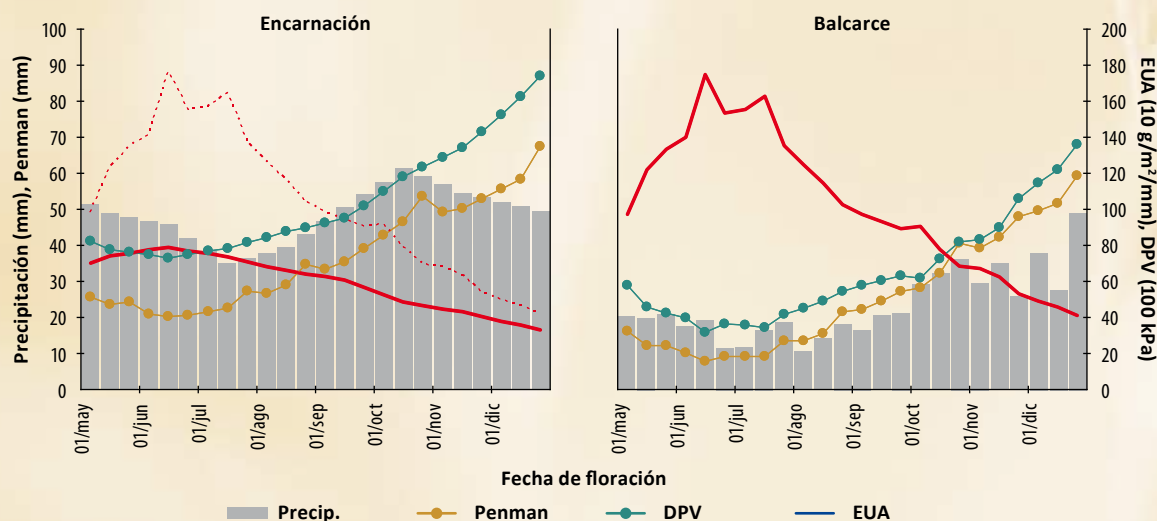


Fig. 15. Eficiencia de uso del agua transpirada para producir peso seco (EUA) estimada a partir del déficit de presión de vapor (DPV), precipitación y evapotranspiración potencial (Penman-Monteith), para las localidades de Encarnación (Paraguay) y Balcarce (Argentina)



En el Cuadro 3 se compara la economía del agua de una localidad de referencia de la región triguera de Paraguay (Encarnación) con la de una de Argentina (Balcarce). Para las fechas de floración y ciclos de cultivo normales, los requerimientos diarios de agua resultan similares en ambas localidades, dado que el alto riesgo de heladas retrasa la fecha de floración de Balcarce respecto de Encarnación. La demanda total de agua resulta mayor en Balcarce que en Encarnación, dado que en Balcarce el ciclo de cultivo es mayor. Debido a que en floración el DPV resultará similar en ambas localidades, no es de esperar diferencias en la EUA transpirada para producir peso seco. Por el contrario, la EUA consumida para producir rendimiento

en grano será 27% mayor en Balcarce que en Encarnación debido a que el rendimiento potencial que se puede llegar a obtener en esta última localidad es menor. En definitiva, a diferencia de lo que ocurre con los nutrientes, los requerimientos de agua no resultan proporcionales al rendimiento, así, pese a que el rendimiento potencial de Encarnación es menor al de Balcarce, en Encarnación se necesitará más agua por unidad de rendimiento para alcanzar el rendimiento potencial. Esta situación desventajosa es típica de ambientes calurosos, pero resultará crítica para producir trigo en localidades con buena disponibilidad hídrica durante el ciclo de cultivo.

Cuadro 3. Estimación de la economía de agua para una localidad de referencia de la región triguera de Paraguay (Encarnación) y de la de Argentina (Balcarce)

	Encarnación (Paraguay)	Balcarce (Argentina)
Fecha de floración ^a	1-sep	1-nov
Ciclo (d) ^b	140	170
Requerimientos diarios (mm/d) ^c	3.3	3.3
Demanda total (mm)	462	561
Eficiencia de uso del agua transpirada para peso seco (kg/ha/mm) ^d	7	7
Rendimiento potencial (t/ha) ^e	5	8
Eficiencia de uso del agua consumida para rendimiento (kg/ha/mm)	11	14

^a según Fig. 8.

^b valor tentativo.

^c promedio para todo el ciclo.

^d en floración.

^e según Fig. 10.

CONCLUSIONES

En el Cono Sur, el rendimiento potencial de trigo (es decir, el que puede alcanzar un cultivar dado sin limitaciones hídricas, nutricionales ni sanitarias), de localidades de baja altitud (menor a 400 m snm), tiende a decrecer de sur a norte, debido no solo al aumento de la temperatura, sino también a la disminución de radiación solar. En consecuencia, el máximo rendimiento esperable en Paraguay es menor que el de las regiones tradicionalmente más trigueras ubicadas al sur y disminuye hacia el norte de la región triguera paraguaya. Independientemente de la latitud, una fecha de floración lo más temprana posible teniendo en cuenta el riesgo de daño por helada, permitirá someter al cultivo a la mejor combinación de radiación y temperatura que ofrezca cada localidad. Establecida la fecha de floración óptima, se podrá definir la fecha y densidad de siembra en función del ciclo del cultivar elegido.

La floración temprana también permitirá reducir los requerimientos diarios de agua y aumentar su eficiencia de uso; en definitiva, permitirá optimizar la economía del agua del cultivo. Sin embargo, se necesitará más agua por unidad de rendimiento para alcanzar el rendimiento potencial en Paraguay que más al sur, debido a que su ambiente climático es menos favorable.

Al contrario de lo que ocurre con la eficiencia de uso del agua, el clima no tiene un efecto directo importante sobre la eficiencia de uso del nitrógeno ni del fósforo, ni sobre sus requerimientos (la inversa de la eficiencia). La cantidad de nutriente que el cultivo deberá absorber para alcanzar el rendimiento potencial, será proporcional al nivel de rendimiento. En consecuencia, las necesidades de nutrientes en Paraguay serán menores que las de otras localidades de mayor rendimiento. Sin embargo, como los requerimientos de nitrógeno se incrementan consistentemente con el nivel de proteína, existe una situación de compromiso entre alta calidad panadera y alta eficiencia de uso para ese nutriente que se debe balancear a través de una adecuada fertilización. Tal situación de compromiso no se aplica al fósforo ya que su concentración en el grano no tiene ventaja desde el punto de vista de la calidad. En este caso, lograr una alta eficiencia de uso resulta una estrategia adecuada para reducir los costos de fertilización y la exportación de fósforo con el grano.

Agradecimientos

- Al Dr. Man Mohan Kohli por sus comentarios y sugerencias.

Referencias

- Abbate P.E. y Andrade F.H. 2005. Los nutrientes del suelo y la determinación del rendimiento de los cultivos de grano. 43-66. En: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editores: Echeverría H.E. y García F.O. Ediciones INTA, Balcarce. 525pp
- Abbate P.E. y Bariffi J.H. 1998. Días a espigazón de trigos del INTA en respuesta a la fecha de siembra en Balcarce. En: Actas del IV Congreso Nacional de Trigo. Mar del Plata, Buenos Aires, 2 pp.
- Abbate P.E. y Cantarero M.G. 2001. Efectos del estrés hídrico en trigo. En: Actas del V Congreso Nacional de Trigo. Villa Carlos Paz, Córdoba, 2 pp.
- Abbate P.E. y Lázaro L. 2001. Ecofisiología del trigo candeal. En: Manual de Trigo Candeal. Barrow, Bs. As., 23-29.
- Abbate P.E., Andrade F.H. y Culot J.P. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín Técnico 133, Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, INTA 17pp.
- Abbate P.E., Andrade F.H. y Culot J.P. 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. J. Agric. Sci., Camb., 124, 351-360.
- Abbate P.E., Andrade F.H., Lázaro L., Bariffi J.H., Berardocco H. G., Inza V. H. y Marturano F. 1998. Grain yield increase in modern Argentinean wheat cultivars. Crop Sci., 38 1203-1209.
- Abbate P.E., Dardanelli J.L., Cantarero M.G., Marturano M. Melchiori R.J.M. y Suero E.E. 2004. Climatic and water availability effects on water use efficiency in wheat. Crop Sci. 44, 474-483.
- Abbate P.E., Gutheim F., Lázaro L., de Pablo M.C., Bariffi J.H., Bustamante P. y Boonstra V. 2002. Análisis ambiental de la campaña triguera 20001/02. En: 19° Jornada de actualización profesional en el cultivo de trigo. INTA EEA Balcarce, FCA UNMdP, CIAM, Mar del Plata, 58-68.
- Abbate P.E., Lázaro L., Montenegro A.A., Gutheim F., Demotes-Mainard S. de Pablo M.C. y Bariffi J.H. 2001. Potencial productivo de cultivares nacionales y extranjeros. En: 18° Jornada de actualización profesional en el cultivo de trigo. INTA EEA Balcarce, FCA UNMdP, CIAM, Mar del Plata, 13-20.
- Abbate, P.E., Andrade, F.H., Culot, J.P. y Bindraban, P.S. 1997. Grain yield in wheat: effects of radiation during spike growth period. Field Crops Res. 54 245-257.
- Allen R.G, Pereira L.S. Raes D., y Smith M. 1998. Referente evapotranspiration (ET_o) p. 15-86. En: Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO, Irrigation and Drainage Paper 56, Roma, Italia.
- Brooking I.R. y Kirby E.J.M. 1981. Interrelationships between stem and ear development in winter wheat: the effects of a Norin 10 dwarfing gene, Gai/Rht2. J. Agric. Sci., Camb., 97 373-381.
- Calderini D., Abeledo L., Savin R. y Slafer G. 1999. Effects of temperature and carpel size during pre-anthesis on potential grain weight in wheat. J. Agric. Sci., Camb., 132. 453-459.
- Cantarero M.G., Abbate P.E. y Gutheim F. 2002. Programador de siembra para trigo, versión 1. mcantare@agro.uncor.edu.ar
- Cantarero M.G., Dardanelli J.L., y Badiali O. 1998. Factores ambientales que determinan el rendimiento potencial en trigo. En: Riego y agricultura de precisión, Estación Experimental Agropecuaria Manfredi, INTA, EEA Manfredi. 16-26.
- Caviglia O.P., Abbate P.E., Paparotti O.F., Melchiori R.J. y Barbagelata P.A. 2001. Determinación del rendimiento del trigo en Paraná: Una comparación con Balcarce. En: Actas del V Congreso Nacional de Trigo. Villa Carlos Paz, Córdoba, 2 pp.
- Darwinkel A. 1978. Patterns of tillering and grain production of winter wheat at a wide range of plant densities. Neth. J. Agric. Sci., 26, 383-398.
- Faris D.G. y Pauw R.M. 1980. Effects of seeding rate on growth and yield of three spring wheat cultivars. Field Crops Res., 3, 289-301.
- Fischer R.A. 1983. Wheat. Growth and yield of field crops. En: Symposium on Potential productivi-

- ty of field crops under different environments (1980). Smith W.H. y Banta S.J. (Eds.), International Rice Research Institute, Los Baños, Filipinas, 129-154.
- Fischer R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. J. Agric. Sci., Camb, 105, 447-461.
 - Fischer R.A. 1985b. Physiological limitations to producing wheat in semitropical and tropical environments and possible selection criteria. En: Wheat for more tropical environments. Proceedings of the international symposium. CIMMYT, Mexico D.F., sep. 24-28, 1984. 209-230.
 - Fischer R.A. y HilleRisLambers, D. 1978. Effect of environment and cultivar on source limitation to grain weight. Aust. J. Agric. Res. 29, 443-458
 - Fischer R.A., Aguilar I., Maurer R. y Rivas S. 1976. Density and row spacing effects on irrigated short wheat at low latitude. J. Agric. Sci., Camb. 87, 137-147.
 - García F.O y Berardo A. 2005. Trigo, Cap.11. 233-253. En: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editores: Echeverría H.E. y García F.O. Ediciones INTA, Balcarce. 525 pp.
 - Gifford R., Bremner P. y Jones D. 1973. Assessing photosynthetic limitation to grain yield in a field crop. Aust. J. Agric. Res. 24, 297-307.
 - González Montaner J.H. 1987. Deux outils d'analyse de la réponse du blé à la fertilisation azotée: les composantes du rendement et la teneur en nitrates des organes végétaux. Thèse Doct. Ing., L'Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, 190 pp.
 - Lázaro L. y Abbate P.E. 2001. Deficiencias de fósforo como determinantes del número de granos en trigo. En: Actas del V Congreso Nacional de Trigo. Villa Carlos Paz, Córdoba, 2 pp.
 - Lerner S.E. y Abbate P.E. 1992. Densidad de trigo: su efecto sobre el crecimiento y el rendimiento. En: Actas de la XIX Reunión Nacional de Fisiología Vegetal, Huerta Grande, Córdoba, 73-74.
 - Magrín G., Senigaglia C. y Frutos E. 1983. Análisis de la variación del rendimiento y sus componentes en trigo bajo diferentes densidades de siembra y dosis de fertilizante nitrogenado. Informe técnico 190, EEA INTA Pergamino, 15pp.
 - Puckridge D.G. y Donald C.M. 1967. Competition among wheat plants sown at wide range of densities. Aust. J. Agri. Res. 18 193-211.
 - Randall P.J. y Moss H.J. 1990. Some effects of temperature regime during grain filling on wheat quality. Aust. J. Agri. Res. 41, 603-617.
 - Sarandón S.J., Chidichimo H.O. y Arriaga H.O. 1988. Efecto de la densidad de siembra sobre la acumulación y redistribución de la materia seca en tres cultivares de *T. aestivum* L. Turrialba, 38, 185-194.
 - Stone P.J. y Nicolas M.E., 1995. A survey of the effects of high temperature during grain filling on yield and quality of 75 wheat cultivars. Aust. J. Agri. Res. 46, 475-492.
 - Thomas E.J. 1981. Efectos de la densidad de siembra y el nivel de fertilización sobre los rendimientos y algunos de sus componentes en distintos biotipos de trigo (*Triticum durum* Desf). Trabajo de graduación, UNMDP, Balcarce. 70pp.
 - Willey R.W. y Holliday R. 1971. Plant population, shading and thinning studies in wheat. J. Agric, Sci., Camb. 77 453-461.

La temperatura del cultivo en llenado de grano es un buen indicador del potencial productivo.



*Los agricultores de la Colonia Manitoba en San Pedro
reconociendo la infección de Piricularia en su campo.*



*Un reconocimiento a la Ing. Agr. Lidia de Viedma, que actuó como Coordinadora
Nacional de Programa de Investigación de Trigo por muchos años.*



Manejo Integrado de Mancha Amarilla y la Piricularia en el Cultivo de Trigo en el Paraguay

LIDIA DE VIEDMA

Fitopatóloga. Programa de Investigación del Trigo. MAG/DIA/CRIA
E-mail: lviedma@gmail.com

Resumen

La mancha de trigo amarilla producida por *Drechslera tritici repentis*, es considerada la enfermedad más importante en el sistema de siembra directa en el Paraguay. La escasa disponibilidad de variedad resistentes sumado a falta de rotación de cultivos, conlleva a epidemias importantes cuando las condiciones climáticas favorecen el desarrollo de las mismas. Por otro lado, la piricularia o bruzone, aunque no aparece todos los años, es una enfermedad con un potencial muy destructivo. Epidemias ocurridas en los años 2002, 2005, 2008 y 2009 produjeron pérdidas importantes en el cultivo del trigo. En este trabajo se analizan diversas alternativas para el manejo de la mancha amarilla y la piricularia en el trigo y se presentan resultados del control químico llevados a cabo en el CRIA en los últimos cinco años. Para el control de las manchas foliares los funguicidas triazoles y/o en mezclas con las estrobilurinas, son las que han presentado mayor eficiencia y para la piricularia las estrobilurinas.

Abstract

Integrated management of tan spot and wheat blast diseases in Paraguay

Tan spot disease in wheat caused by *Drechslera tritici repentis* is considered one of the most important diseases under the soil conservation management system. The lack of adequate varietal resistance and crop rotation are responsible for severe epidemics under favorable climatic conditions. On the other hand, the wheat blast disease caused by *Magnaporthe grisea*, even when it does not appear every year, retains the potential to be the most destructive in the wet years. The blast epidemics of 2002, 2005, 2008 and 2009 produced severe production losses. The present paper analyzes various alternatives of disease management and chemical control that have been studied in CRIA during the past five years. The chemical control of tan spot can be achieved through the use of triazoles and/or their combinations with strobilurins. Only the combinations of triazoles and strobilurins have shown efficiency against the blast disease.

La siembra de variedades resistentes es la base principal del control integrado de enfermedades.



INTRODUCCIÓN

En el Paraguay, la mancha amarilla del trigo es una de las enfermedades más difundidas, sobre todo en el sistema de siembra directa, que se utiliza en alrededor del 90% de la producción nacional (Fig. 1). La enfermedad es causada por un patógeno necrotrófico (*Drechslera tritici repentis*), que asegura su sobrevivencia de un año a otro en rastrojos de los cultivos anteriores y en la semilla.

El principal factor de la aparición de las epidemias de la mancha amarilla son las condiciones climáticas muy inestables. Esta variación climática se debe mayormente a la distribución irregular de precipitaciones en un año o entre años. Las lluvias frecuentes durante la espigazón, sumada a las temperaturas elevadas, constituyen en condiciones ideales para el ataque severo de las manchas foliares, tal como se manifestó en la campaña 2009.

Sintomatología

Los síntomas más comunes se presentan en las hojas y las vainas (Fig. 1). Los primeros síntomas aparecen después de la emergencia del trigo. Luego de la penetración del hongo en los tejidos foliares, aparecen pequeñas manchas cloróticas 24-48 h después de la infección (Fig. 2). Luego, el área de tejido amarillento aumenta observándose necrosis de color pardo, en el centro, que aumentan de tamaño pudiendo alcanzar hasta 10 mm (Wiese, 1999).

Fig. 1. Mancha amarilla de trigo causada por *Drechslera tritici repentis*



Fig. 2. Pequeñas manchas cloróticas 24-48 h después de la infección causada por *Drechslera tritici repentis*



Condiciones climáticas para el desarrollo de la enfermedad

Temperaturas entre 10 y 28 °C y periodo de mojado foliar de 48 horas son suficientes para la dispersión de *D. tritici repentis*. Normalmente la mancha amarilla ocurre todos los años a diferencia de otras enfermedades como la fusariosis de la espiga o piricularia que son fuertemente dependientes del ambiente. .

Fuentes de inóculo

La semilla es la principal forma de transporte a largas distancias, en los campos sin rastrojo. En ese sentido, la transmisión de la semilla a la plántula resulta eficiente en sistemas de siembra convencional. El rastrojo, cuya descomposición ocurre alrededor de 15 meses en el Paraguay, constituye la fuente de inóculo más importante para esta enfermedad en condiciones de siembra directa y el monocultivo. (Viedma & Kohli 1998).

Fig. 3. **La semilla como fuente principal de transporte a largas distancias**



Fig. 4. **Rastrojo como fuente de inóculo local en un campo**



MANEJO INTEGRADO DE LA MANCHA AMARILLA

En el manejo integrado de la mancha amarilla las principales estrategias de control se basan en el uso de variedades resistentes, aplicación de fungicidas, tratamiento de semilla y el control por prácticas culturales. El uso de cultivares resistentes es el mejor método de control de enfermedades, siendo la más sustentable

Comportamiento de variedades de trigo frente a la mancha amarilla

Es conocido que la resistencia genética es uno de los métodos mas efectivos de control para patógenos biotróficos como la roya de la hoja (*Puccinia triticina*), roya del tallo (*Puccinia graminis tritici*) y el oídio (*Blumeria graminis*, sin. *Erysiphe graminis tritici*), aunque no es muy estable en el tiempo.

Sin embargo para la mancha amarilla no se cuenta con un nivel adecuado de resistencia genética. Las variedades cultivadas actualmente solo tienen una resistencia parcial, lo que significa un comportamiento moderado frente a la enfermedad. La expresión de la resistencia a mancha amarilla se presenta como menor intensidad de lesiones, y los síntomas en hojas superiores no sobrepasan el 20-30% (Annone, 1995)

Esta es la razón por la cual se recomienda el uso de variedades de diferentes bases genéticas y asimismo diferentes ciclos vegetativos. De esta manera, se favorece el escape de variedades con resistencia parcial a manchas foliares, e incluso es un mecanismo para reducir el efecto de heladas en estado reproductivo.

En condiciones locales, existen algunos cultivares con susceptibilidad moderada, que en el contexto de un manejo integrado de enfermedades contribuyen a reducir los efectos negativos de las enfermedades (Cuadro 1).

Cuadro 1. **Reacción de principales variedades nacionales de trigo a las enfermedades**

Cultivar	Ciclo	Enfermedades					
		Roya Hoja	Roya Tallo	Oídio	Mancha Amarilla	Fusariosis	Piricularia
CANINDE 1	Precoz	MR	R	R	MR	MSS	RMR
CANINDE 2	Medio	R	R	R	MR	MS	MR
CANINDE 3	Medio	R	R	MR	MR	MS	MR
IAN 10	Medio	S	R	MR	MR	MSS	MS
IAN 15	Medio	R	R	MR	MR	MS	MS
ITAPUA 40	Medio	MSS	R	MS	MS	MS	S
ITAPUA 45	Precoz	S	R	MR	MSS	MSS	S
ITAPUA 50	Medio	MSS	R	MR	MS	MSS	MS
ITAPUA 55	Medio	S	R	MR	MS	MSS	MS
ITAPUA 60	Medio	S	R	MS	MS	MSS	S
ITAPUA 65	Precoz	MS	R	MS	MR	MS	MS
ITAPÚA 70	Precoz	MR	R	R	MS	MS	M
ITAPÚA 75	Medio	MS	R	R	MR	MS	M

Ref.: (R) Resistencia; (MR) Moderadamente resistente; (S) Susceptible; (MS) Moderadamente susceptible; (MSS) Moderadamente susceptible a susceptible.
(Ciclo) Precoz = hasta 120 días; Medio = 120 a 130 días; Tardío = más de 130 días.

Sanidad de semilla

El tratamiento químico de semilla es eficiente en campos donde se practica la rotación de cultivos o en aquellas áreas donde existe certeza de que los rastrojos del cultivo no están infestados. Si se siembra semilla tratada sobre rastrojo infestado del mismo cultivo, el inóculo proveniente de restos de cultivos anularía el tratamiento químico de las semillas.

Los niveles de infección de la mancha amarilla provenientes de semillas tratadas y sembradas sobre rastrojo infestado son similares a aquellas provenientes de semilla sin ningún tratamiento (Cuadro 2).

Cuadro 2. **Porcentaje de plántulas con síntomas de mancha amarilla a los 10 y 15 días después de la siembra en un campo con rastrojo infestado**

Tratamiento	Dosis/100 kg de semilla (ml)	Plántulas con síntomas (%)	
		10 DDS	15DDS
Testigo	----	20.0	36.0
Tetraconazole	40	15.0	34.0
Tetraconazole + Carbendazim	40 + 150	13.0	30.0
Difenoconazole + Thiram	33 + 140	15.0	35.0
Thiram + Carbendazim	200	20.1	35.1

DDS = días después de la siembra. Fuente: MAG/DIA/CRIA, 2004.

El tratamiento de semillas con fungicidas es una práctica de bajo costo y de gran impacto en el desarrollo de epidemias. Esta práctica usada con la rotación de cultivos permite mantener las epidemias causadas por organismos necrotróficos por debajo del umbral de daños. Es muy importante para mantener la población de plantas libre de inóculo inicial sobre todo de *H. sativum*, que es un habitante del suelo, y causante de la pudrición común del trigo.

Control cultural

En el sistema de labranza directa, patógenos necrotróficos como *D. tritici repentis* pueden mantener un nivel de inóculo riesgoso para el cultivo del trigo en monocultivo (cultivo de trigo en el mismo campo aunque se haya sembrado en verano otra especie). A través de la rotación de cultivos se puede erradicar a *D. tritici repentis* de un área donde los rastrojos de trigo fueron eliminados. En el Paraguay, según estudios realizados, los rastrojos son descompuestos a los 15-17 meses después de la cosecha, lo que nos indica que con un año es suficiente para eliminar la mayoría de la fuente del inóculo causante de la mancha amarilla (Viedma y Kohli, 1997).

La avena es hospedero común de varias enfermedades del trigo. Sin embargo, no es hospedero de *D. tritici repentis*, lo cual se demuestra que puede utilizarse en rotaciones (mismo campo, en el invierno) con el trigo. La canola también constituye una buena alternativa para rotación en el invierno.

Este tipo de manejo es muy importante para las manchas foliares, donde la resistencia moderada de los cultivares deben complementarse con un manejo adecuado del cultivo, de manera a evitar el contacto del hospedero susceptible con el patógeno.

El uso de semilla infectada contribuye a reintroducir el patógeno en lugares donde los mismos fueron erradicados por medio de la rotación de cultivos. En este caso, un buen tratamiento químico para los cultivos en rotación es recomendable. La misma recomendación es válida cuando se siembra el trigo en áreas nuevas.

En la mayoría de los casos existen pocas alternativas rentables para un esquema de rotaciones de cultivos en el invierno. La avena es la mejor especie para la rotación con el trigo, porque no es atacada por el hongo causante de la mancha amarilla y además deja una buena cantidad de residuos en la superficie. Sin embargo, pocos productores de trigo en el país practican esta rotación de cultivo.

Control químico

El uso de variedades con resistencia moderada en combinación con fungicidas proporcionan un control óptimo de la mancha amarilla, como muchas otras enfermedades.

Los fungicidas deben ser aplicados en el momento oportuno, lo cual tiene relación con el estado fenológico del cultivo. En ese sentido, es importante monitorear semanalmente el cultivo desde la etapa de enca-

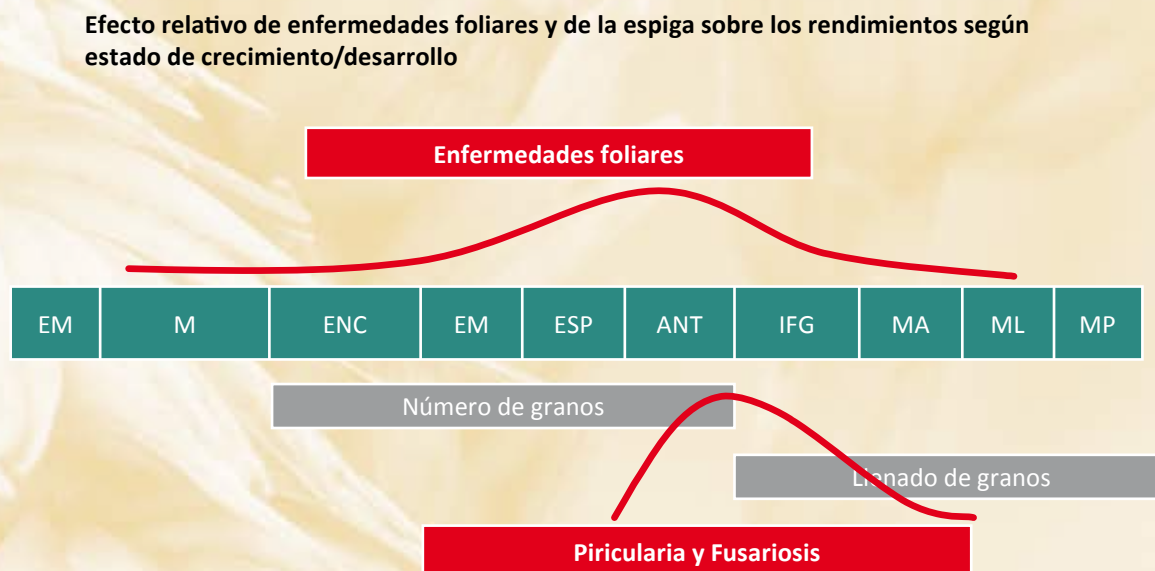
ñazon. Se recomienda muestrear todo el cultivo, contando por lo menos 50 macollos al azar. Para evaluar las hojas, se debe tener en cuenta la severidad; es decir la proporción de área foliar afectada por manchas típicas de mancha amarilla, para lo cual se debe contar solamente las hojas totalmente desplegadas y no las hojas secas. La suma del total de hojas enfermas dividido por el total de hojas evaluadas es la severidad. Normalmente con una severidad de 5-8% para manchas se sugiere realizar la protección química (Viedma 2008).

La incidencia, o el número de plantas enfermas, es otra alternativa y resulta más cómodo para el productor o el agente de asistencia técnica. Con un 30% de incidencia de plantas, se debe iniciar el control químico, independiente del estado de desarrollo del cultivo.

En inviernos húmedos y temperaturas frescas se observan síntomas de mancha amarilla a los 25-30 días de germinación. En este caso, no se recomienda aplicación de fungicidas, porque no hay suficiente masa foliar para retener el fungicida. Además las hojas infectadas se volverán senescentes y aparecerán hojas nuevas. Estudios sobre el control químico realizados en la década de los 90 confirmaron este hecho (MAG/DIA/CRIA, 1995).

En Paraguay, la mayoría de las enfermedades de trigo aparecen en los estados de embuche (bota) a la floración (Fig. 5). A partir de esos estados fenológicos y si las condiciones son favorables, la enfermedad se incrementa rápidamente. Cuando la hoja bandera esté totalmente desplegada, y si se observan síntomas en las hojas inmediatamente inferiores, es necesario aplicar los fungicidas. En el momento del tratamiento la hoja bandera debe estar sana.

Fig. 5. El estado fonológico del cultivo y la aparición de enfermedades



Una serie de estudios de control químico de enfermedades en el cultivo de trigo fueron realizados entre los años 1999/2003. Los fungicidas del grupo de los triazoles y las mezclas con estrobilurinas, han demostrado un control de las manchas foliares igual o superior a 72% (Cuadro 3). Considerando que las estrobilurinas tienen mayor residualidad, por lo tanto potencian la acción de los triazoles (Viedma et al 2004).

Cuadro 3. **Eficiencia de fungicidas para el control de la mancha amarilla del trigo. CRIA, 2004/2005**

Tratamientos	Nombre Técnico	Dosis lt/ha	Eficiencia de control
Folicur	Tebuconazole	0.6 – 0.7	74%
Propiconazole	Propiconazole	0.5 - 0.5	62%
Priori	Azosxystrobin	0.2 – 0.2	67%
Duett	Epoxiconazole + Carbendazin	0.75 – 0.75	68%
Caramba	Metconazole	0.7 - 0.8	74%
Opera	Pyraclostrobin + Epoxiconazole	0.8 – 0.8	83%
Taspa	Difenaconazole + Propic	0.15 – 0.15	57%
Stratego	Trifloxystrobin + Propiconazole	0.6 – 0.6	78%
Priori-X	Azosxystrobin + Ciproconazole	200-200	80%
Impact	Flutriafol	800-800	54%

PIRICULARIA O BRUSONE

La piricularia o brusone del trigo, causada por *Magnaporthe grisea* (*Pyricularia grisea*), fue identificada en el año 1985 en el Brasil (Igarashi et al 1986) y en el Paraguay en el año 1989. Sin embargo, recién en el año 2003 la enfermedad ocurrió con características de epifitía, disminuyendo la producción en un rango de 40 a 100 % (Viedma y Morel 2003). Fig. 6.

Fig. 6. **Campo de trigo afectado por piricularia o brusone**



En el año 2005, nuevamente se presentó un fuerte ataque de la piricularia especialmente en Alto Paraná Norte, Canindeyú, Colonia Iguazú y otras. En esa oportunidad fueron afectadas unas 10.000 hectáreas (Viedma 2006)

Sintomatología

La piricularia o brusone, puede atacar toda la parte aérea del trigo, pero el síntoma mas característico ocurre en las espigas (Fig. 7). Cuando la infección ocurre en el raquí, la espiga presenta un blanqueamiento total o parcial en la parte inmediatamente superior a la lesión (punto negro brillante en el lugar de la penetración del hongo, Fig. 8) causando esterilidad o granos chuzos (Wiese, 1999).

Fig. 7. **Síntomas característicos de la infección de piricularia en las espigas de trigo**



Fig. 8. **Punto de infección del hongo en el raquí causada por la piricularia**



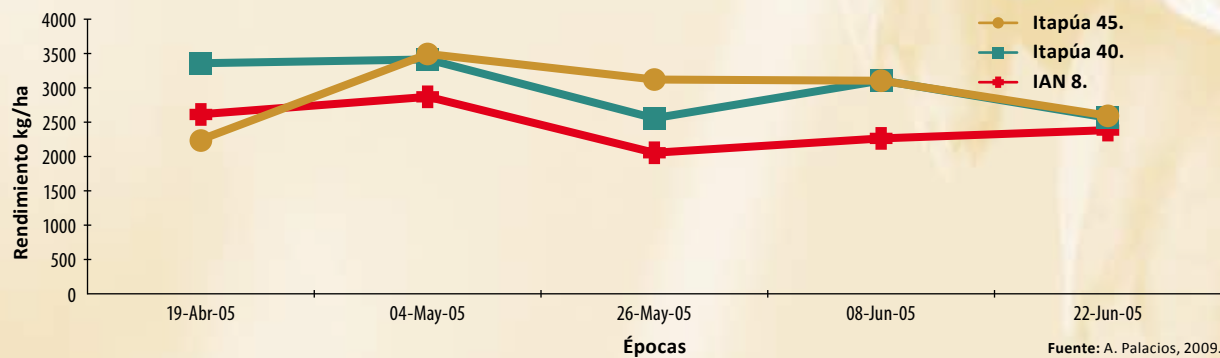
Estrategias de control

El control de la piricularia depende de un conjunto de medidas que deben ser adoptadas adecuadamente en el momento oportuno. Las medidas de control mas recomendadas son la utilización de variedades con mayor nivel de resistencia y la siembra en épocas adecuadas para las diferentes zonas de producción.

■ Épocas de siembra

En los estudios conducidos sobre las épocas de siembra, en la localidad de Yhovy, (Dpto. de Canindeyú) se ha demostrado que en la siembra de mediados de abril, hubo disminución de rendimiento de las tres variedades, pero la que más ha sido afectada fue la Itapúa 45, cultivar de ciclo precoz, cuyo rendimiento fue negativamente influenciado por el Brusone (Fig. 10). El llamado, veranillo de San Juan, si se presenta lluvioso, desencadena la piricularia en las variedades que están espigando en esa fecha (trigos sembrados a fines de marzo y primera quincena de abril),

Fig. 10. Rendimiento de tres variedades de trigo en cinco épocas de siembra. Yjovy, 2005



En el año 2008 la enfermedad fue observada en siembras del mes de mayo, en Alto Paraná Norte, porque las condiciones climáticas favorables a la enfermedad se presentaron en el mes de julio y agosto.

Por las condiciones de extrema sequía en el 2009, solo un 30% de siembra se hizo en el mes de abril. Estos campos fueron severamente afectados por la helada pero las espigas que emergieron mas tarde fueron atacadas por Piricularia. Es decir que la infección por piricularia es fuertemente influenciada por las condiciones climáticas durante la espigazón. En un año muy húmedo como el 2009 (fenómeno del niño), las infecciones de piricularia pueden ocurrir independiente de la fecha de siembra.

■ Utilización de variedades resistentes

A pesar de que no hay muchas variedades con alto nivel de resistencia a la piricularia en el mercado, algunas variedades comerciales como Canindé 1, Canindé 2 e Itapúa 75 han demostrado un mejor comportamiento frente a las epidemias de la enfermedad en los años 2008 y 2009. Cuadro 4.

Cuadro 4. Comportamiento de algunas variedades comerciales de trigo frente a la infección de piricularia. Canindeyú, 2008 y 2009.

Variedad	Severidad 2008	Severidad 2009
Itapua 70	25%	25%
Itapua 75	Trazas	5%
Canindé 1	Trazas	Trazas
Canindé 2	Trazas	Trazas
CD 104	45%	40%

■ Control químico

Considerando la moderada a alta susceptibilidad de variedades a nivel nacional y en la región, la aplicación de fungicidas puede constituirse en una estrategia válida en el control integrado de la enfermedad, dependiendo del potencial de productividad del cultivar, y la relación costo/beneficio.

Resultados de la investigación a nivel nacional, han demostrado una baja eficiencia del control químico, que varía del 30 a 67% (MAG/DIA/CRIA 2005). Algunos fungicidas mezclas de un triazol + estrobilurina han demostrado ser relativamente más eficientes en el control de la piricularia (Cuadro 5).

Cuadro 5. **Eficiencia de control de fungicidas para el control de piricularia. CRIA, 2004.**

Tratamientos	Dosis comercial	% de control *
Tryfloxystrobin + Tebuconazole	0.70	67.0
Pyraclostrobin + Epoxiconazole	1.00	65.0
Tebuconazole	0.75	44.5
Propiconazole	0.50	38.4
Flutriafol	500	30.2

Dos aplicaciones: hoja bandera y floración.

* Datos basados en números de espigas con síntomas de piricularia comparado al testigo.

■ Hospederos alternativos de la piricularia

Numerosas gramíneas nativas y cultivadas son mencionados como hospederos de este patógeno, como la avena, centeno, braquiaria, digitaria, etc. (Metha, 2000). En el año 2005, se ha identificado piricularia en cultivos de avena negra en parcelas de las Colonias Unidas, Departamento de Itapúa (Viedma, 2006), Fig. 11. Posteriormente se presentó una fuerte epifitía en el cultivo del trigo. No se hicieron pruebas de patogenicidad sobre el trigo.

Fig. 11. **Síntomas de la piricularia sobre la avena negra, Colonia Unidas, Itapúa, 2005.**



Bibliografía

- IGARASHI, S.; UTIAMADA, C.M.; KASUMA, A.H.; LOPEZ, R.S. 1986. Puricularia sp em trigo. Ocurrencia de Pyricularia sp no estado do Paraná. In: Fitopatologia Brasileira 11(2); 351-352 (abst) 1986.
- MAG/DIA/CRIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. PROGRAMA DE INVESTIGACION DE TRIGO. 1994. Resultados de la Investigación, Ciclo 1993. Capitán Miranda, 57 p.
- MAG/DIA/CRIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. PROGRAMA DE INVESTIGACION DE TRIGO. 2004. Resultados de la Investigación, Ciclo 2003. Capitán Miranda, 45 p.
- MAG/DIA/CRIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. PROGRAMA DE INVESTIGACION DE TRIGO. 2006. Resultados de la Investigación, Ciclo 2005. Capitán Miranda, 2006, 50 p.
- METHA, Y.R. 1993. Manejo Integrado de las enfermedades en trigo. CIAT. Bolivia 315 p.
- PALACIOS, A.; ALTAMIRANO, G.; ALMADA, A. 2009. Interacción entre la época de siembra, variedad y densidad del trigo. In: Segundo Seminario Nacional del Trigo "Del grano al pan". (Eds. M Kohli, L.E.Cubilla y L.Viedma) p: 37-49, CAPECO, Asunción, Paraguay, 2009.
- VIEDMA & M.KOHLI. 1997. Tan spot and head blights of wheat in Paraguay. In: Workshop on Helminthosporium blights of wheat. (Edit. Duvallier y otros) CIMMYT, El Batán, México, DF.
- VIEDMA L. & M.KOHLI. 1998. Foliar Blights of Wheat in Paraguay. In: 7th International Plant Pathology Congress. Offered Papers, Vol 4, British Plant Pathology Association. Edinburgo, Escocia, UK.
- VIEDMA, L. & MOREL, W. 2003. Occurrence of Wheat blast in Paraguay. In: VII Congreso Panamericano de Fitopatología (2003:8-12 abril). South Isla del Padre, Texas, USA, Asociación Latinoamericana de Fitopatología. CD
- VIEDMA, L.; MOREL, W.; AMARILLA, V. 2004. Control químico de enfermedades del trigo-Ensayos de eficacia de fungicidas 1999/2003. In: Memorias. Jornadas Técnicas. Cincuentenario CRIA. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Subsecretaría de Estado de Agricultura. Dirección de Investigación Agrícola. CRIA, Capitán Miranda-Paraguay. p 91-97.
- VIEDMA, L. 2006. Epifitias de Piricularia. Revista el Productor. Abril, 2006.
- VIEDMA, L. 2009. Manejo integrado de las enfermedades del trigo. In: Segundo Seminario Nacional del Trigo "Del grano al pan". (Eds. M Kohli, L.E.Cubilla y L.Viedma) p: 67-72, CAPECO, Asunción, Paraguay, 2009.
- WIESE, M.V. 1987. Compendium of Wheat Diseases. 2nd edn APS press. American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA. 115 p.

Controle da ferrugem da folha do trigo

TATIANE DALLA NORA

Fitopatologa, COODETEC, Brasil
E-mail: tatianedn@coodetec.com.br

Resumen

Com o surgimento de novas raças de ferrugem da folha e o constante desenvolvimento de cultivares de trigo, faz-se necessário a avaliação do desempenho dos genótipos e da eficiência do controle químico, principalmente devido ao fato que os cultivares de trigo com diferentes reações de resistência a ferrugem da folha respondem diferenciadamente ao controle químico.

Nas cultivares altamente suscetíveis e com presença das novas raças a exemplo de CD 111 e CD 104 o controle químico deve ser criterioso, utilizando fungicidas adequados e com aplicações preventivas ou logo no início da infecção. Nestas cultivares o controle com fungicidas deve ser realizado sempre com misturas de estrobilurinas + triazóis evitando-se utilizar triazóis isolados, este manejo é justificado pela menor sensibilidade de algumas raças de ferrugem aos fungicidas triazóis. Entretanto o controle com fungicidas triazóis ainda tem se mostrado efetivo em cultivares com moderada e maior resistência a ferrugem da folha.

Trabalhos envolvendo a interação de cultivares de trigo e controle químico são constantemente desenvolvidos, principalmente porque a resistência a ferrugem pode ser efêmera e devido a variação na prevalência de raças a cada safra.

Neste sentido será apresentado no 3º Seminário Nacional de Trigo, resultados dos trabalhos envolvendo as equipes de Fitopatologia e Melhoramento de Trigo da COODETEC.

Abstract

Chemical control of leaf rust in wheat

The development of new wheat varieties and the resurgence of new leaf rust races require to test associated chemical control efficiency regularly. This is especially important as various wheat cultivars have different basis of genetic resistance and respond differently to the chemical control applications. Highly susceptible cultivars to new rust races such as CD 104 and CD 111 need to be treated with adequate fungicides in the initial stages of infection. The control of leaf rust in these cultivars must be done with fungicides representing a mixture of triazoles + strobilurins and not triazoles alone. The application of fungicides based on triazoles can still be efficiently employed in cultivars which show lesser susceptibility. In other words, triazoles have shown efficiency in leaf rust disease control in moderately susceptible varieties. Research involving interactions between cultivars and chemical control strategies evolve continuously as the level of leaf rust infection and climatic conditions that favor it change from one season to another. This paper summarizes the results of the chemical control of leaf rust of wheat conducted by the research team of COODETEC in Brazil.

En variedades muy susceptibles el control químico de las enfermedades es clave para lograr buena productividad. Foto: Cachito San.



INTRODUÇÃO

A ferrugem da folha do trigo causada pelo fungo *Puccinia triticina* Eriks, é considerada uma das principais doenças que afetam a cultura do trigo. No Brasil é a doença de maior ocorrência e importância, é responsável por causar danos no rendimento e na qualidade de grãos.

Os danos decorrentes da ferrugem da folha dependem da suscetibilidade da cultivar, do estágio de desenvolvimento da cultura, da virulência das raças fisiológicas presentes e das condições ambientais durante o desenvolvimento da cultura. As condições climáticas das regiões produtoras no Brasil favorecem o aparecimento e o rápido desenvolvimento da ferrugem da folha.

Em cultivares suscetíveis, a ferrugem da folha tem sido a principal causa de danos ao rendimento, ocorrendo casos em que a extrema suscetibilidade de uma cultivar pode inviabilizar seu cultivo em uma determinada região, onde as condições climáticas favorecem o desenvolvimento do patógeno.

Para reduzir o desenvolvimento das epidemias e minimizar as perdas, a melhor recomendação é a utilização de um manejo integrado para o controle das doenças, utilizando todas as estratégias de controle disponíveis.

Dentre as principais dificuldades encontradas para o controle efetivo da ferrugem da folha, destacam-se a curta durabilidade da resistência genética de algumas cultivares devido ao surgimento de novas raças, a tecnologia de aplicação deficiente e a menor sensibilidade de raças do fungo a alguns fungicidas triazóis.

RESISTÊNCIA GENÉTICA

Dentre as medidas de controle, o emprego de cultivares resistente é a mais econômica e eficaz (Reis & Casa, 1997). A resistência pode ser definida como a habilidade do hospedeiro em impedir o crescimento e o desenvolvimento do patógeno (PARLEVLIET, 1997).

Cultivares de trigo com maior ou menor grau de resistência à ferrugem da folha tem sido recomendadas para cultivo comercial. Contudo, as constantes alterações no fungo resultam em resistência de curta duração para algumas cultivares.

No Brasil na safra de 2005 o surgimento de novas raças da ferrugem da folha (MFT-MT, MDT-MR e MDM-MR) teve como consequência a quebra da resistência de algumas cultivares (CD 110, CD 111, Onix, e BRS 194).

As cultivares atuais da CODETEC com melhores níveis de resistência a ferrugem da folha são: CD 108, CD 113, CD 114, CD 115, CD 116, CD 118, CD 121, CD 122, CD 123 e CD 150. Os níveis de severidade de ferrugem nas cultivares CD 105, CD 117, CD 119 e CD 120 tem sido moderados com progresso lento, já a cultivar CD 111 supera a cultivar CD 104 em nível de suscetibilidade, principalmente em condições climáticas favoráveis a epidemia.

É extremamente importante estar atento quanto a possíveis alterações de raças e por consequência a superação da resistência de cultivares, devido o aparecimento de novas raças pode haver necessidade de se efetuar o controle químico.

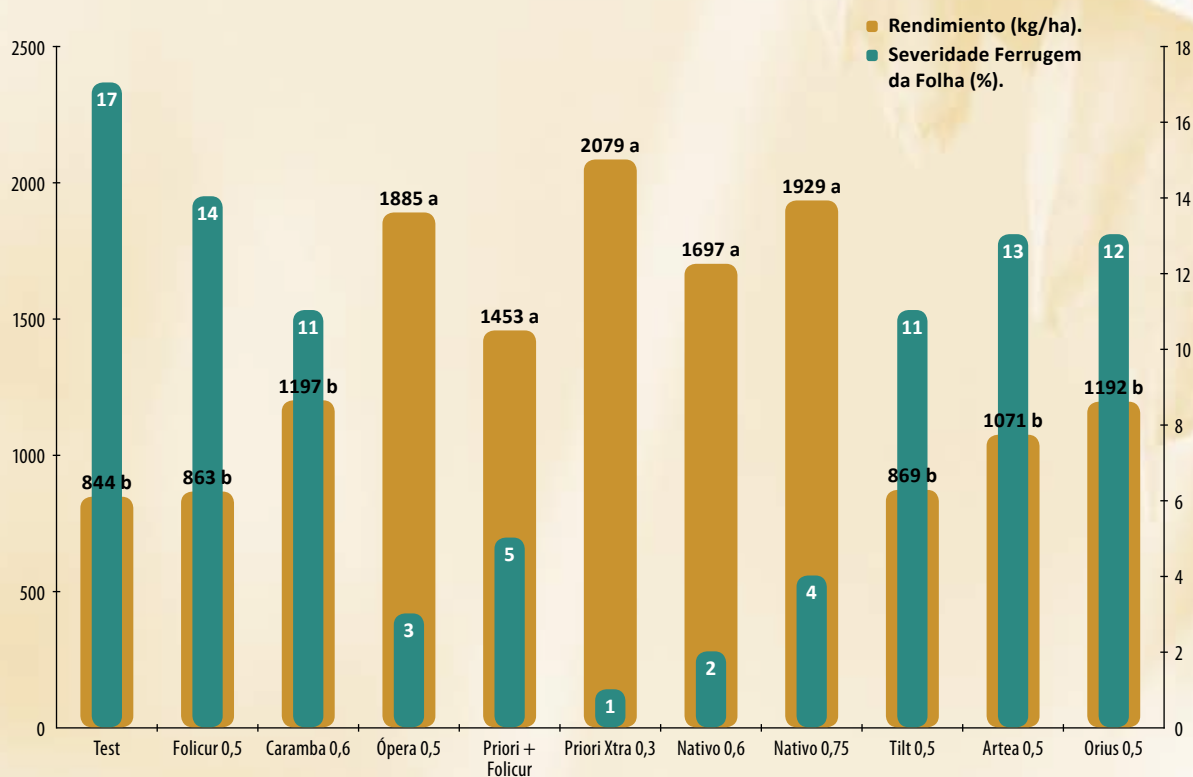
CONTROLE QUÍMICO

O uso de fungicidas é uma das principais medidas de controle e tem sido utilizada como uma alternativa eficaz para o controle químico da ferrugem da folha e como um fator de estabilização de rendimento em níveis econômico.

Na safra de 2005 experimentos de controle químico realizados na base de pesquisa da Coodetec em Cascavel – PR utilizando a cultivar CD 110, revelaram uma menor eficiência de controle de alguns fungicidas do grupo químico dos triazóis (Figura 1), bem como, houve relatos de dificuldade de controle da ferrugem da folha em áreas comerciais. Deve-se salientar que no ano de 2005, as condições climáticas prevalentes durante o desenvolvimento da cultura do trigo, foram favoráveis ao desenvolvimento de epidemias de ferrugem da folha, principalmente em cultivares suscetíveis. Como neste ano o progresso da doença foi muito rápido, suspeitava-se de que o tratamento com fungicidas poderia ter sido realizado já com atraso implicando em menor eficiência de controle.

Posteriormente trabalhos realizados em condições controladas verificaram menor sensibilidade de algumas raças a fungicidas triazóis (Arduim *et al*, 2009). Conforme Singer (Frac, 2008), não existe até o momento, no mundo, nenhum caso de resistência de ferrugens a triazóis nem a estrobilurinas. O que ocorre é que existem populações ou raças com exigências diferentes quanto ao mesmo fungicida, ou seja, com maior ou menor sensibilidade.

Fig. 1. **Rendimento (kg/ha) e Severidade de ferrugem da folha (%) na cultivar CD 110. COODETEC, Cascavel, 2005**



Em experimento realizado na safra de 2006 em Cascavel – PR objetivando comparar a eficiência de fungicidas em duas cultivares com reações diferenciadas a ferrugem da folha CD 105 (MS) e CD 111 (S) (Figura 2 e 3), pode-se comprovar o fato que em cultivares suscetíveis a ferrugem da folha como CD 111 os fungicidas triazóis tiveram eficiência reduzida e as misturas de triazóis e estrobilurinas exerceram eficiente controle da doença, resultado semelhante foi obtido com a mesma cultivar na safra 2007 (Figura 4). Nos resultados obtidos com a cultivar com nível de resistência moderado (CD 105) o fungicida tebuconazole apresentou eficiência no controle da ferrugem da folha bem como, as misturas de triazóis e estrobilurinas.

Fig. 2. Área abaixo da curva de progresso de ferrugem da folha (AACPD) das cultivares CD 105 e CD 111. COODETEC, Cascavel, 2006

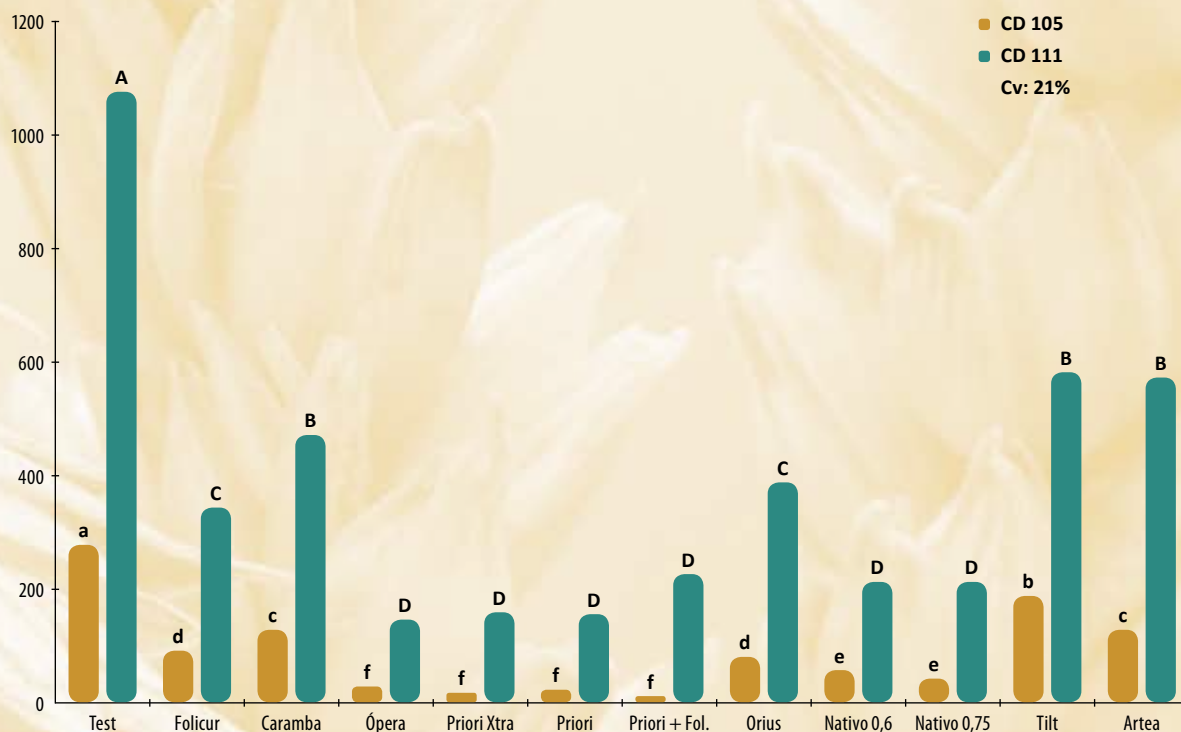


Fig. 3. Rendimento (kg/ha) das cultivares CD 105 e CD 111. COODETEC, Cascavel, 2006

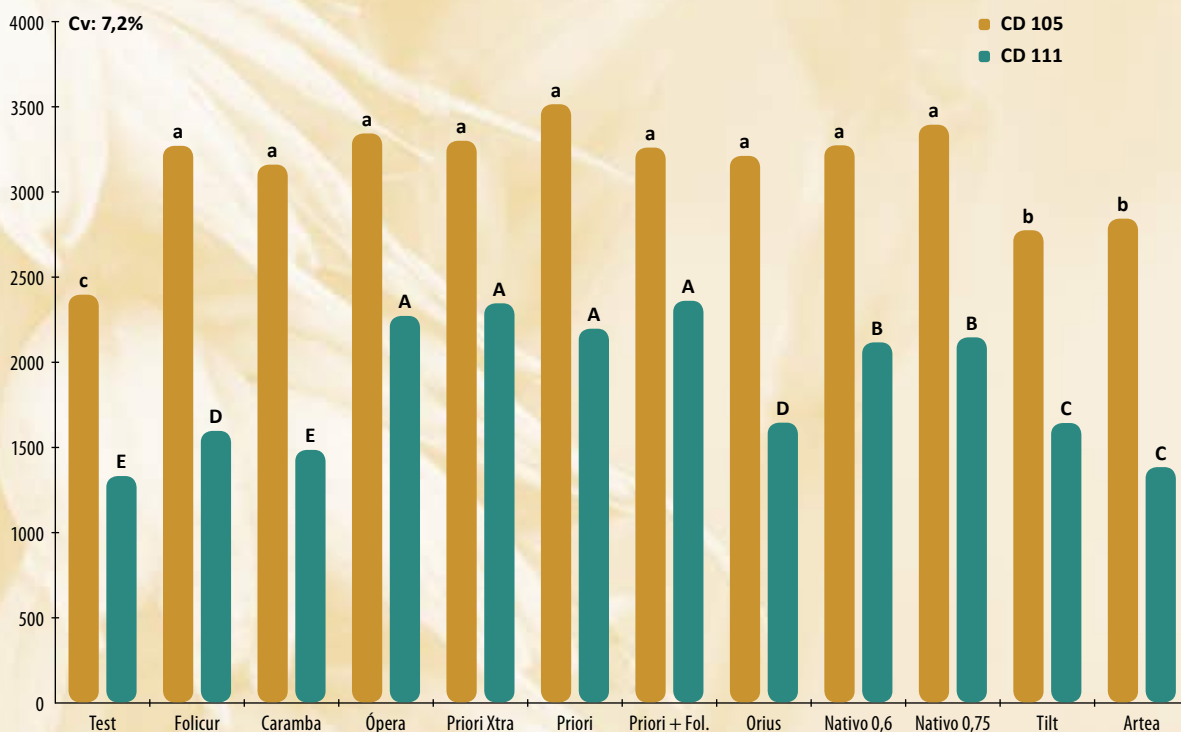
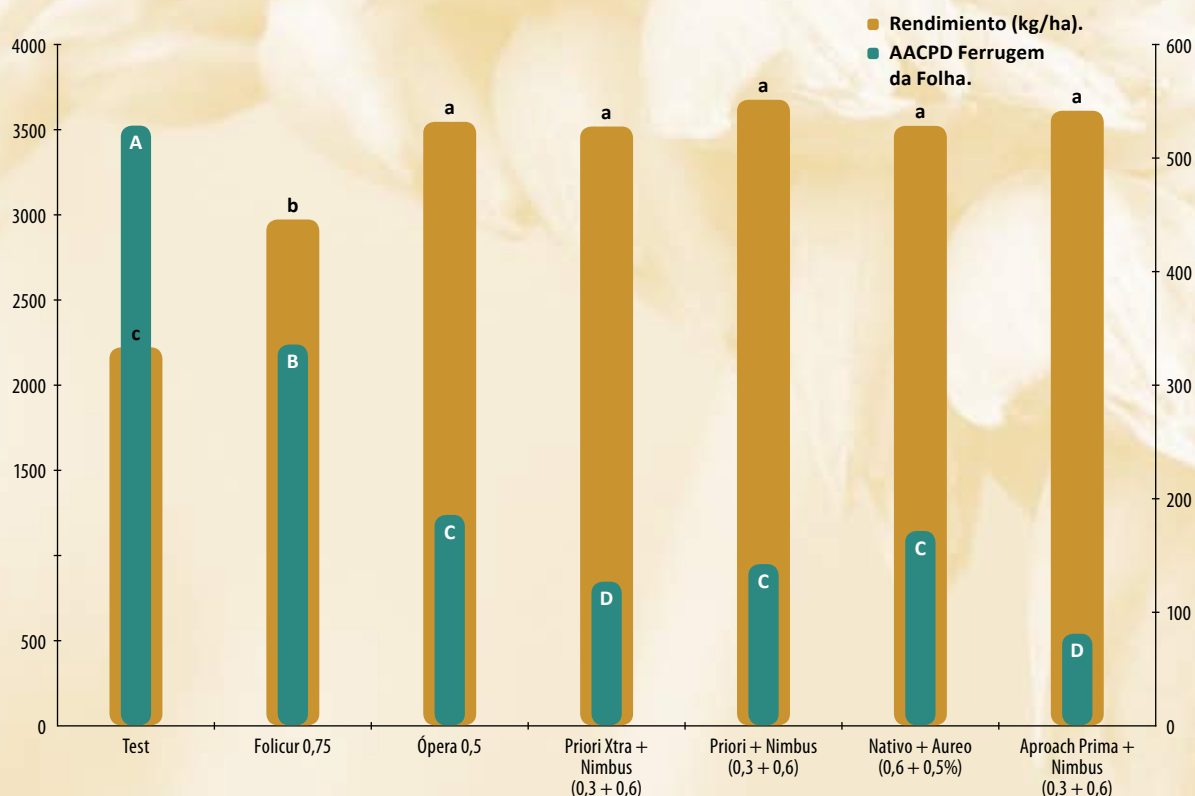


Fig. 4. Área abaixo da curva de progresso da ferrugem da folha (AACPD) e Rendimento (kg/ha) da cultivar CD 111. COODETEC, Cascavel, 2007

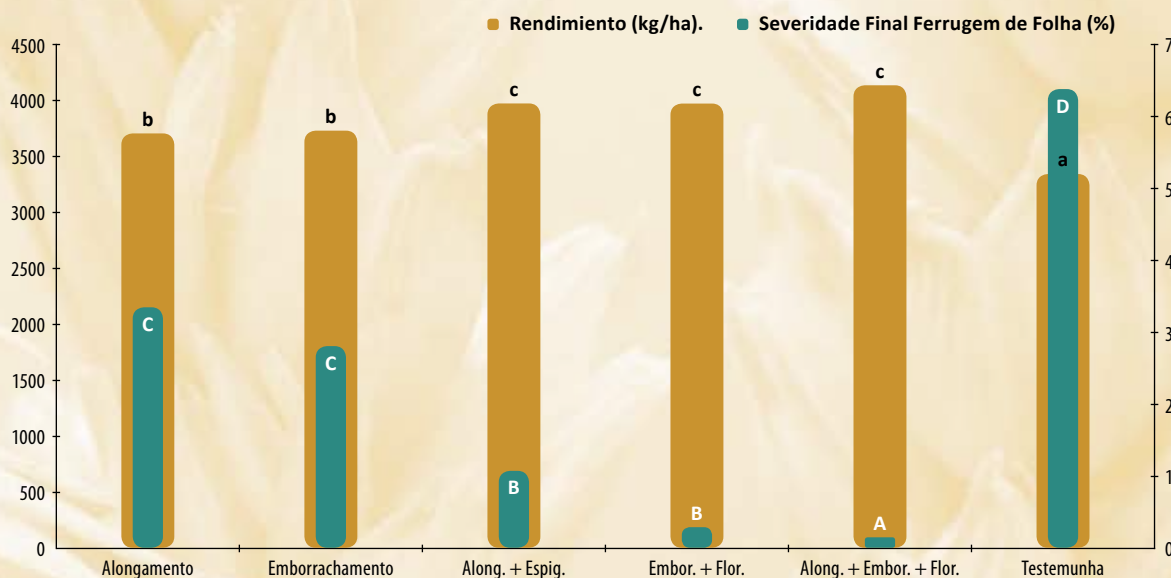


Estes resultados indicam que a eficiência de controle dos fungicidas está diretamente ligada ao nível de resistência da cultivar. Hoje com as informações disponíveis pelas diferentes instituições de pesquisa e obtentores é possível dar suporte ao manejo de controle específico para cada cultivar de trigo.

Em experimento de responsividade ao controle químico da ferrugem da folha realizado no ano de 2008 em Cascavel – PR utilizando o fungicida Azoxystrobina + Ciproconazol (Priori Xtra 0,3 L p.c./ha + Nimbus 0,6 L p.c./ha), a eficiência de controle foi diferenciada entre cultivares e nestes proporcional ao número e momento das aplicações.

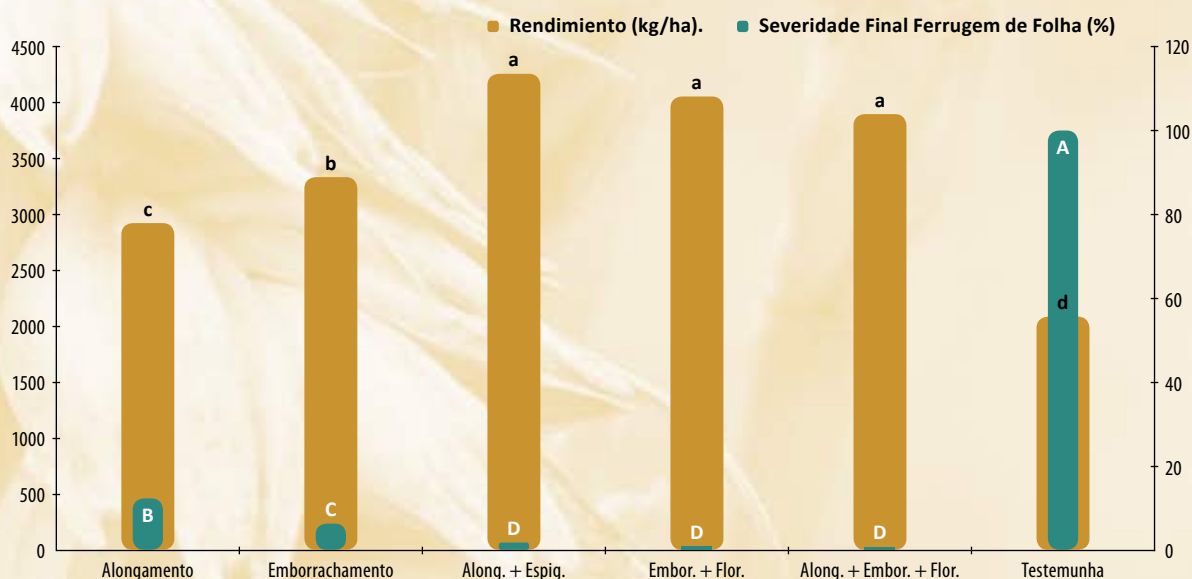
Na cultivar CD 114 moderadamente resistente a ferrugem da folha, a severidade desta doença na testemunha não passou de 6,5% (Figura 5), entretanto a diferença em rendimento das parcelas testemunhas para o melhor tratamento foi de 500 Kg/ha. Não houve diferença significativa entre os tratamentos de duas e três aplicações de fungicida, os tratamentos com apenas uma aplicação de fungicida (aplicação no alongamento e aplicação no emborrachamento) não diferiram entre si, mas foram inferiores aos demais tratamentos. Este resultado demonstra que a cultivar CD 114 apresentou bom nível de resistência e respondeu positivamente ao controle químico.

Fig. 5. Severidade final de ferrugem da folha e Rendimento (kg/ha) da cultivar CD 114 em experimento com diferentes número e momentos de aplicação de fungicida. COODETEC, Cascavel, 2008



A cultivar CD 104 apresentou 100% de severidade final de ferrugem da folha (Figura 6) sendo que a diferença de rendimento entre as parcelas testemunhas e o melhor tratamento foi superior a 2000 Kg/ha, demonstrando que a eficiência no controle com este fungicida foi proporcional ao número de aplicações. CD 104 é uma cultivar de ciclo longo e em anos como 2008 onde o progresso da epidemia é rápido, tratamentos com apenas uma aplicação não são efetivos para o controle da doença.

Fig. 6. Severidade final de ferrugem da folha e Rendimento (kg/ha) da cultivar CD 104 em experimento com diferentes número e momentos de aplicação de fungicida. COODETEC, Cascavel, 2008



A aplicação de fungicidas é uma prática que exige planejamento, sua adoção bem como a escolha dos produtos a serem utilizados, deve ser decidida anteriormente ao surgimento da doença (com base no histórico de ocorrência de doenças na região, nas cultivares utilizadas e nas condições climáticas do ano) sempre deve ser associada a outras técnicas como resistência genética, utilização de sementes de qualidade e sadias, tratamento de sementes, eliminação de plantas voluntárias e hospedeiros secundários e rotação de culturas (quando o alvo de controle são fungos necrotróficos).

Sugere-se que no manejo para o controle da ferrugem da folha em cultivares suscetíveis a ferrugem da folha seja dada preferência para aplicação com misturas com estrobilurinas. Nestes casos é recomendado que triazóis não sejam mais utilizados isoladamente, evitando aplicações curativas, devido à exigência e virulência das raças atuais.

Para um eficiente controle químico deve ir além da escolha do produto, é necessário realizar frequente monitoramento das lavouras, para que aplicação seja realizada no momento adequado, observar as condições climáticas, considerando sempre utilizar a melhor tecnologia de aplicação possível.

Agradecimentos

- Equipes do Programa de Melhoramento de Trigo e Fitopatologia da COODETEC.

Referências bibliográficas

- ARDUIM, G.S., Sensibilidade de raças de *Puccinia triticina* A fungicidas. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, 2009.
- PARLEVIET, J.E. Present concepts in breeding for disease resistance. *Fitopatologia Brasileira*, v.22, p.7-15, 1997. (Suplemento).
- REIS, E.M.; CASA R. T. Doenças dos cereais de inverno: diagnose, epidemiologia e controle. 2. Ed. Lages: Graphel, 2007. 176p.
- SINGER, P. Monitoramento da sensibilidade de raças de *puccinia triticina* a fungicidas do grupo dos triazóis e estrobilurinas. FRAC- Comitê de Ação a Resistência a Fungicidas. In: Painel Técnico: Fungicidas triazóis no controle da ferrugem da folha do trigo. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/rcbptt/2rcbptt/pdf/6%20painel%20tecnico/Painel%20tecnico.pdf>

Incidencias de Pudrición Común de la Raíz en el cultivo de trigo en Paraguay

WILFRIDO MOREL

Fitopatólogo, Consultor independiente

E-mail: wmorel@itacom.com.py

Resumen

El trigo es atacado por diversas enfermedades debido al clima favorable para su desarrollo en Paraguay. Dentro de ellas están los hongos biotróficos o los que tienen requerimientos nutricionales específicos, dependiendo de sus hospederos para poder sobrevivir y los hongos necrotróficos que tienen la capacidad de extraer nutrientes de los tejidos muertos. Ambos aparecen todos los años en todas las regiones de producción de este cereal.

La actual campaña 2009, fue bastante lluviosa comparativamente a los dos ciclos anteriores que fueron secos. Se han registrado lluvias por encima de la media normal en etapas tempranas del cultivo y que ha provocado la aparición de problemas radiculares, específicamente de patógenos del suelo. Esta condición climática propició la infección temprana en el sistema radicular del hongo *Bipolaris sorokiniana* causante de la enfermedad Pudrición Común de la Raíz; de enfermedades foliares (mancha marrón) y de la espiga (punta negra de los granos). Este hongo es favorecido por la disponibilidad de fuente de inóculo, presente en los rastrojos de trigo del ciclo anterior y en suelos donde se ha practicado por mucho tiempo el monocultivo.

Anteriormente la incidencia de pudriciones radiculares en los cultivos de trigo fue mostrado por Viedma, 1997, siendo los principales hongos *Gaeumannomyces graminis tritici*, causante del mal del pie, *Fusarium graminearum* y *Helminthosporium sativum* sin. *Bipolaris sorokiniana* causante de la pudrición común de la raíz.

Actualmente se han observado variados efectos en el cultivo relacionados a la presencia de la pudrición común de la raíz. En gran parte se confirmó la muerte de plantas a partir del estado lechoso-pastoso, denotando un secado repentino y rápido de las hojas inferiores y medias. A medida que transcurren los días se produce el secado total de las hojas por el efecto de bloqueo en el sistema radicular dificultando la absorción de agua y nutrientes para las funciones fisiológicas no completando el ciclo de manera normal.

Abstract

Common root rot infections in wheat crop

Favorable climatic conditions in Paraguay allow the development of various diseases in wheat crop. Among them some diseases are biotrophic in nature, with specific nutritional requirements and dependent on their host for survival, while others are necrotrophic in nature, which survive on the dead tissues. Both types of diseases appear each year in different wheat growing regions. Leaf rust disease is a prime example of the biotrophic diseases present each year and Fusarium Head Blight and/or Wheat Blast are examples of necrotrophic diseases, present only in wet years. However, during 2009 wheat season which was comparatively wet, severe root diseases especially in the early stages of the crop were observed. Laboratory analysis demonstrated the presence of *Bipolaris sorokiniana* fungus causing common root rot disease, also associated with spot blotch infections on the leaves and spike as well as black point on the seed. This fungus is favored by the presence of ample supply of inoculum on the stubble retained on the soil surface from the previous crop and in the soil due to mono cropping. Early survey from 1991-93 demonstrates the presence of several root rot organisms (*Gaeumannomyces graminis tritici* causing take all, *Fusarium graminearum* and *Bipolaris sorokiniana* causing root rots) attacking wheat crop in Paraguay. The common root rot observed in 2009 caused various effects on the crop in the different regions. In majority of the cases, plants died in milk to dough stage of the crop preceded by a quick drying of the lower and middle leaves. The blockage caused by the fungus in root system reduced water and nutrition absorption leading to complete drying of leaves and plants over the next few days. A good crop rotation is essential to reduce the impact of this disease in the future.

Rotación de cultivos es una practica esencial para evitar las infecciones de pudriciones radiculares en el cultivo de trigo. Foto: Cachito San.

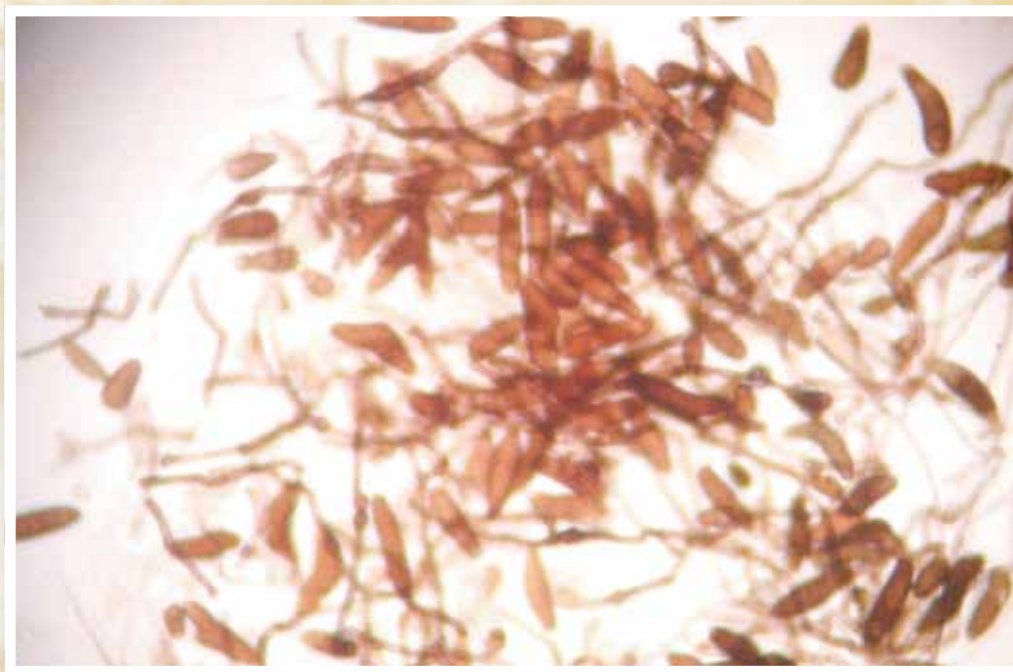


INTRODUCCIÓN

El trigo es atacado por diversas enfermedades en Paraguay. Aquellas causadas por los hongos biotróficos, que tienen requerimientos nutricionales específicos dependiendo de sus hospederos para poder sobrevivir y otros necrotróficos, que tienen la capacidad de extraer nutrientes de los tejidos muertos. Representantes de ambos grupos aparecen todos los años en todas las regiones de producción de este cereal.

Considerando la mayor incidencia de las lluvias en la campaña 2009, se observó la aparición de problemas radicales, específicamente de patógenos del suelo. Esta condición climática propicia la infección temprana del hongo *Bipolaris sorokiniana* causante de la enfermedad Pudrición Común de la Raíz, de enfermedades foliares (mancha marrón) y de la espiga (punta negra de los granos), Fig. 1. Este hongo es favorecido por la disponibilidad de fuente de inóculo, presente en los rastrojos de trigo del ciclo anterior y en los suelos con el monocultivo de trigo sobre trigo.

Fig. 1. Los conidios del hongo *Bipolaris sorokiniana* causante de la Pudrición Común de la Raíz identificado en los trigales en 2009



Como antecedente se menciona los datos de relevamientos obtenidos durante los años 1991-93 en las principales zonas de producción, demostrándose la incidencia de pudriciones radicales mayormente en cultivos con sistema de siembra directa (Viedma, 1997). En esos casos las principales enfermedades fueron causadas por *Gaeumannomyces graminis tritici* causante del mal del pie, *Fusarium graminearum* y *Helminthosporium sativum* sin. *Bipolaris sorokiniana* causante de la pudrición común de la raíz. Con las demás enfermedades foliares, las pérdidas causadas por las pudriciones se reportan en alrededor del 70 % (Pedretti y Viedma, 1988).

Síntomas de las enfermedades causadas por *Bipolaris sorokiniana*

Las enfermedades causadas por este hongo afectan a todos los órganos de la planta, siendo los principales síntomas manchas de coloración café oscuro y con centros claros, esto se observa en las hojas (Fig.2)

y en el coleóptilo (Fig 3) producto de la infección a través de las semillas infectadas por el patógeno. En plantas adultas pueden observarse síntomas en las vainas, tallos (Fig. 4) y en la espiga (Fig. 5). En la semilla produce la punta negra del grano (Fig 6).

Fig. 2. Infección de *Bipolaris sorokiniana* en las hojas (Mancha marrón)



Fig. 3. Infección de *Bipolaris sorokiniana* en el coleóptilo



Fig. 4. Infección de *Bipolaris sorokiniana* sobre los tallos



Fig. 5. Síntomas de *Bipolaris sorokiniana* en la espiga de trigo



Fig. 6. **Síntomas de la punta negra de grano causado por *Bipolaris sorokiniana* en trigo**



CONDICIONES PREDISPONENTES

Las infecciones del hongo *Bipolaris sorokiniana* se ven favorecidas con temperaturas dentro del rango de 25-30°C, con alta humedad y con rocío permanente. Las frecuentes lluvias durante la etapa inicial del cultivo favorecen la infección en el sistema radicular (Fig. 7), desarrollándose la enfermedad posteriormente en los demás órganos de la planta. En el manejo del sistema de la siembra directa los rastrojos de los cultivos anteriores permanecen en la superficie del suelo y donde la tasa de descomposición es más lenta. Este hecho aumenta el periodo de exposición y sobrevivencia del patógeno en el cultivo, debido a la disposición para la esporulación, liberación e inoculación del mismo en la planta.

Fig. 7. **La infección inicial de la pudrición sobre el sistema radicular**



DAÑOS

En su fase de desarrollo la enfermedad produce secado de hojas (Fig 8), afectando la fotosíntesis. Las plantas demuestran un adelantamiento en el ciclo del cultivo y consecuentemente pérdida de rendimiento, disminución en la calidad industrial de los granos por el efecto de color que produce en ellos.

Fig. 8. **Secado prematuro de las hojas causadas por la mancha marrón**



INTRODUCCIÓN DE PATÓGENOS EN EL CULTIVO

En el establecimiento del cultivo las semillas constituyen las vías de introducción y diseminación e incrementos de patógenos (Fig. 9). Dependiendo de los factores climáticos para el inicio de la infección y posterior desarrollo de la enfermedad, la semilla infectada también se constituye como la fuente de sobrevivencia en cualquier ambiente. Las semillas infectadas también establecen la relación entre patógeno-hospedero, dependiendo de la planta para comenzar su actividad parasitaria y afectando desde ese instante los factores de la productividad (Fig. 10).

Fig. 9. **Semilla con punta negra como fuente principal de infección de la pudrición común de la raíz**



Fig. 10. El cultivo de trigo afectado por la pudrición común de la raíz



La semilla también constituye el vehículo de diferentes patógenos para ser transportados a grandes distancias. En otras palabras, este sirve del papel trascendental en los procesos de diseminación entre una región o de un país a otro incluso y donde no se han producido eventos relacionados a la enfermedad.

ESPECIES HOSPEDERAS DE *BIPOLARIS SOROKINIANA*

El hongo *Bipolaris sorokiniana*, considerado como un parásito facultativo tiene la capacidad para sobrevivir en hospederos alternativos. De esta manera se constituye en un patógeno altamente eficiente para permanecer tanto en rastrojos, como en formas de conidios libres en el suelo. Otras especies gramíneas, como el sorgo de Alepo, la *Brachiaria*, la *Digitaria* y otras malezas, característicos en los cultivos comerciales de trigo de Paraguay son hospederas del hongo.

ESTRATEGIAS DE MANEJO DE LA ENFERMEDAD

a. La rotación de cultivos como herramienta de manejo del problema

Uno de los objetivos de las rotaciones bien planeadas es facilitar la descomposición de los rastrojos que se constituyen en sustratos indispensables para el patógeno, especialmente en el sistema de siembra directa. La eliminación de los residuos disminuye el nivel de potencial del inóculo, promoviendo el desarrollo de cultivos libre, o en baja tasa de incidencia. Las rotaciones deben ser acompañadas con las demás prácticas recomendadas para el efecto, como ser el uso de semillas sanas y el tratamiento químico con fungicidas.

En los ensayos de las rotaciones, se demuestra que la pérdida de rendimiento fue importante en monocultivo, aun con diferentes sistemas de labranza (Cuadro 1). El monocultivo, siembra de trigo en la misma chacra todos los años, es altamente conducente a los efectos del patógeno de la pudrición. Sin embargo, en la implementación de la rotación de avena o de avena+vicia, fueron altamente positivos en mantener los niveles altos de la productividad.

Cuadro 1. **Efecto de diferentes sistemas de rotaciones sobre las enfermedades en el rendimiento del cultivo. (Viedma, 1997)**

Rotación	Sistema de labranza	Pudrición común (% severidad)	Mancha marrón (% severidad)	Rendimiento (kg/ha)
Monocultivo trigo	SD	19.7	29.8	2452
Monocultivo trigo	LM	13.4	26.9	2467
Monocultivo trigo	SC	7.4	13.3	2663
Avena-Trigo	SD	2.5	2.6	2782
Avena+vicia-Trigo	SD	0.9	1.0	2937

SD: Siembra Directa; SC: Sistema Convencional; LM: Labranza Mínima.

b. Tratamiento químico de semillas con fungicidas

La semilla como medio de diseminación de enfermedades es ampliamente conocida. En este sentido el tratamiento de semillas con fungicidas demuestra desempeñar un papel importante en el manejo de una enfermedad en un sistema de producción.

En el momento de la toma de decisiones referido al uso de productos fungicidas curasemillas, es crucial determinar los parámetros de sanidad de la semilla mediante las pruebas laboratoriales. Una vez obtenidos los resultados de dichos análisis se determinarán el tipo de productos fungicidas a utilizar, ya que el tratamiento de semillas promoverá una disminución muy importante de la incidencia de patógenos, como ser la causadas por la Pudrición Común de la Raíz del trigo, especialmente en aquellas áreas donde se práctica la rotación de cultivos, evitando de esta manera la reintroducción del patógeno en el cultivo.

Algunos productos fungicidas utilizados exitosamente en el control de *Bipolaris sorokiniana*, causante de la Pudrición Común del Trigo, son presentados en el Cuadro 2.

Cuadro 2. **Fungicidas utilizados en el control de *Bipolaris sorokiniana*, causante de la Pudrición Común del Trigo**

Nombre técnico	Nombre comercial	Dosis (ml)/100 kg. de semilla
Iprodione 20% + Thiram 60%	Rovrin	200 ml
Carboxin 37% +Thiram 20%	Vitavax	250
Thiram+Carbendazim	Derosal plus	200
Guazatina 30% + Imazalil 20%	Panoctine plus	200
Thiram 70%	Rhodiauram	200
Tebuconazole 6%		50

c. Aplicación de fungicidas foliares en la parte aérea de la planta

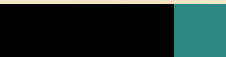
La utilización de fungicidas en el cultivo ha sido un método eficaz de combate permanente de las enfermedades. Diferentes fungicidas utilizados en el control foliar de enfermedades del trigo se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. **Fungicidas comunes utilizados en el control de enfermedades del trigo en Paraguay**

Nombre técnico	Nombre comercial	Dosis (ml) / ha
Tebuconazole 20%	Folicur	500-750
Flutriafol	Impact	600-1000
Trifloxystrobin+Ciproconazole	Sphere	400-600
Trifloxystrobin+Tebuconazole	Nativo	500-700
Piraclostrobyn+Expoiconazole	Opera	500-700
Azoxystrobin+Ciproconazole	Prior Xtra	250-300
Azoxystrobin+Flutriafol	Onix	250-300
Kresoxim metil+Epoiconazole	Allegro	750
Tetraconazole	Eminent	500

El clima de Paraguay es muy propicio para la gran mayoría de las enfermedades de trigo y que son de gran importancia económica. Los fungicidas foliares son considerados herramientas fundamentales y forman parte del manejo integrado de enfermedades. Se toma en consideración la sustentabilidad ecológica, tendiendo como principio la racionalización del uso de agroquímicos y con el objetivo de disminución de la incidencia de las enfermedades por debajo del nivel de daño económico.

La aplicación racional de fungicidas, la resistencia genética y las prácticas culturales son medidas incluyentes en el manejo de enfermedades en el cultivo de trigo.



Literatura citada

- Viedma, L.Q 1997. Principales enfermedades de cultivos extensivos en el sistema de siembra directa. In: Curso sobre siembra directa. Proyecto Siembra Directa PROCISUR/MAG. Encarnación, 24 al 26 de junio 1997. Pag 55- 66.
- Pedretti R.; L. Q. de Viedma. 1988. Estrategia de la DIEAF y progreso alcanzado en el mejoramiento genético para resistencia a enfermedades de trigo. En: Seminario sobre mejoramiento genético para resistencia a enfermedades. 1988. EMBRAPA/CNPT. 10 p.

Mejor calidad de semillas: una necesidad no reconocida

MARÍA ESTELA OJEDA G.

Gerente, APROSEMP y PARPOV
E-mail: gerencia@aprosemp.org.py

INTRODUCCIÓN

En la búsqueda por mejorar sus rendimientos, hacer más eficiente la producción agrícola, el productor utiliza diferentes tecnologías de producción, pero la que tiene un mayor impacto es la utilización de semillas mejoradas. La semilla es la materia prima de la producción por tanto a mejor calidad, mejor producción. Es el elemento de transformación de la producción y es el medio a través del cual llegan las tecnologías al campo, tolerancia/resistencia a plagas y enfermedades, mayor productividad, mejor adaptación a condiciones de estrés climático, mejor calidad industrial, mejor calidad alimenticia etc, Fig. 1.

Fig. 1. **La semilla como vehículo de tecnologías para el campo**



Abstract

The use of quality seed: An unrecognized need

The seed is the prime source for production; therefore, the better the seed quality the better the production. It is an element of production transformation and a medium through which new characteristics, such as high yield potential, better adaptation to climatic stresses, resistance to diseases and pests, better industrial and nutritional quality can reach the farmers. In order for seed to impact production, it must be of high quality, of an improved variety and above all being utilized by the farmer on large scale. The seed quality combines attributes related with genetics, physiology, physical and seed health characters. The production of seed is not only a specialized activity that requires technical knowledge, but also needs adequate equipment and storage conditions to maintain the quality. In Paraguay, the seed production is governed by a legal framework and is responsibility of the National Seed Quality and Plant Health Service (SENAVE). Depending on the specie and the technology used, the cost of seed represents between 4 and 24% of the total cost of production. According to SENAVE, the wheat area of 470,000 ha planted in 2008 utilized 48% of locally produced and 3% of imported seed. By utilizing legal and quality seed, a farmer is not only benefitting from its traits, but also assuring that the plant breeding will continue to generate newer and superior germplasm in the future.



*Buena semilla lleva
a buena cosecha.*



Hacer semillas es una actividad especializada dentro de las actividades agrícolas que requiere no solo conocimientos técnicos, sino equipamientos e infraestructuras adecuados, que permitan mantener la calidad de la semilla producida. Al hablar de calidad, se hace referencia a un conjunto de atributos que definen a la semilla. Para que el impacto de la semilla en la producción sea considerado, la misma debe ser de alta calidad, de una variedad mejorada y por sobre todas las cosas ser utilizada en gran escala por el productor.

Los atributos que definen la calidad de una semilla son: genéticos (pureza varietal, potencial de productividad, resistencia a plagas y enfermedades, precocidad, etc.); físicos (pureza física, humedad, daños mecánicos, aspecto, peso volumétrico, etc.); fisiológicos (germinación, dormancia, vigor, viabilidad, longevidad, etc.); y sanitarios (presencia o ausencia de patógenos).

¿QUÉ ASPECTOS DEBE CONSIDERAR QUIEN DESEA SER PRODUCTOR DE SEMILLAS?

A los fines de la producción de semillas, se entiende como “semilla” a toda parte o estructura vegetal, incluyendo plantas de viveros o mudas, que sea destinada o utilizada para siembra, plantación o propagación.

a. Aspectos normativos

La actividad semillera está regida por la ley N° 385/94 de Semillas y Protección de Cultivares; la ley 988/96 que aprueba el Convenio Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales; la ley 2459/04 que crea el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Vegetal y de Semillas (SENAVE), decretos reglamentarios y de internalización de normativas acordadas a nivel de MERCOSUR, y resoluciones que regulan la producción y el comercio de semillas, la protección de variedades y demás actividades inherentes a las mismas.

El Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Vegetal y de Semillas (SENAVE) es el organismo encargado de la aplicación de las normativas vigentes.

b. Aspectos de Producción

Las condiciones y requisitos para la producción de semillas están establecidas en las normas de producción, aprobadas por resolución, que consta de aspectos generales de la producción de semillas y específicos aplicados a cada especie a producir.

■ Las normas de producción consideran:

1. Requisitos

1.1. Generales

- La persona física o jurídica que desea dedicarse a producir semillas debe estar inscripta en el Registro Nacional de Productores de Semillas y Registro Nacional de Comerciantes de semillas habilitados en la Dirección de Semillas- DISE/SENAVE.
- La producción de semillas estará bajo la responsabilidad de un Ing. Agr. o Forestal, quien será el responsable del cumplimiento de las normas de producción.
- Se deberá presentar un plan de producción de semillas según cronograma establecido para cada especie.
- Delimitación del área semillero: debe ser definido claramente.
- Características del suelo: apto para la especie a producir.
- Cultivo anterior: según la especie establece condiciones del cultivo anterior.

- Origen de la semilla: debe ser comprobable, provenir de una categoría superior de la que se pretende producir.
- Aislamiento: existe un aislamiento mínimo que dependerá del tipo de cruzamiento que tenga la especie y la categoría que se produce. Para autógamas: entre 5 y 10 metros dependiendo de especie y categoría. Para alogamas entre 50 y 3.000 metros dependiendo de especie y categoría.
- Variedades a sembrar: serán aquellas inscriptas en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales, habilitado en el DISE/SENAVE.
- Condiciones para comercializar semillas: embolsada y etiquetada.

1.2. Requisitos específicos

Se establecen requisitos específicos para cada especie y categoría de semillas a producir.

- 1.2.1. Inspecciones de cultivo: establece las inspecciones obligatorias que se deben realizar para cada cultivo, existen planillas específicas que deben ser llenadas por los responsables técnicos, que acredita las inspecciones realizadas. Los fiscalizadores de la DISE pueden acompañar estas inspecciones.
- 1.2.2. Padrones de cultivo y de laboratorio: son los valores máximos y mínimos según el ítem considerado, a campo y en laboratorio respectivamente (presencia de plantas atípicas, plantas enfermas, presencia de otras variedades, otras especies, germinación, pureza, etc.)

¿CUÁLES SON LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE SEMILLAS?

La ley de semillas establece dos sistemas de producción de semillas.

1. Sistema de producción de semilla certificada: comprende el proceso reglamentado y programado del control generacional de la producción y procesamiento de semillas por el organismo certificador. Este sistema comprende las siguientes categorías:
 - Semilla madre o genética es la producida y controlada por el fitomejorador o institución patrocinante. Constituye la primera fuente de multiplicación del sistema de certificación de semillas.
 - Semilla fundación: es la primera generación de la semilla madre, manejada de manera a mantener la identidad genética y pureza correspondiente.
 - Semilla registrada: primera generación de la semilla fundación.
 - Semilla certificada: segunda generación de la semilla fundación, progenie de la semilla registrada o de la propia certificada.
2. Sistema de producción de semilla fiscalizada es aquella en la que no existe un proceso reglamentado y programado de control generacional de la producción. La semilla producida bajo este sistema se denomina semilla fiscalizada.

¿CUALES VARIEDADES PUEDE UTILIZAR EL AGRICULTOR Y QUÉ CONDICIONES TIENEN?

La ley 385/94 de Semillas y Protección de Cultivares habilita dos registros en el que se inscriben las variedades según el objetivo que se persigue:

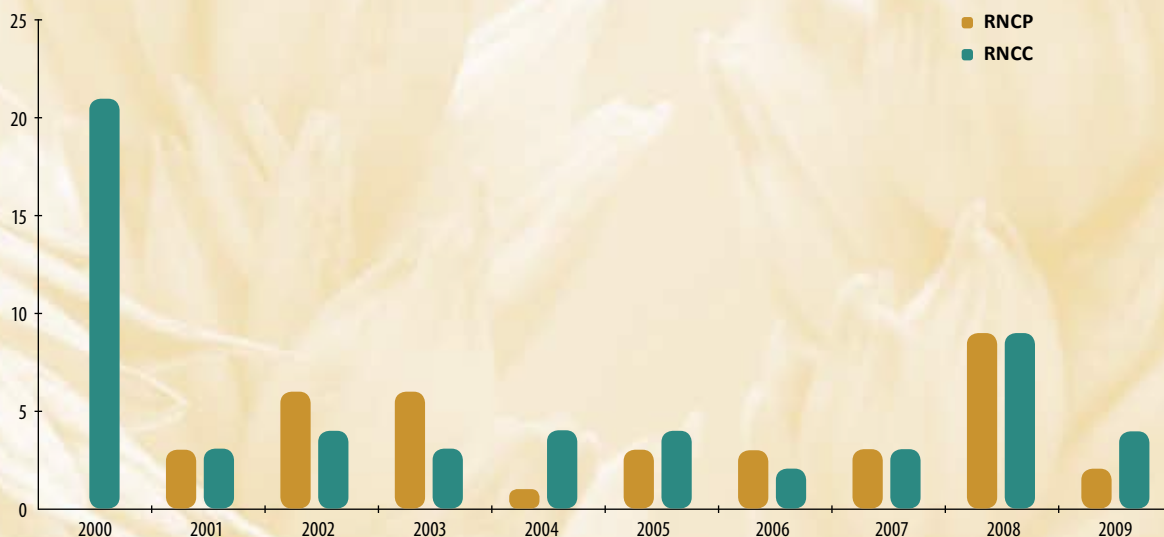
- Registro Nacional de Cultivares Comerciales (RNCC): las variedades inscriptas en este registro son

las que están habilitadas para ser utilizadas comercialmente en todo el territorio nacional. La inscripción de una variedad en este registro no concede derecho sobre la misma.

- Registro Nacional de Cultivares Protegidos (RNCP): las variedades inscritas en este registro son aquellas sobre las cuales se reconoce un derecho, el denominado Derecho del Obtentor.

Las variedades inscritas en los dos registros se presentan en la Fig. 2.

Fig. 2. **Numero de variedades inscritas en los registros nacionales**



Fuente: Dpto. de Protección y Uso de Variedades/ DISE/SENAVE.

RECONOCER EL DERECHO DEL OBTENTOR ES UN PASO NECESARIO PARA INCENTIVAR EL MEJORAMIENTO VEGETAL

Obtentor: es aquella empresa física o jurídica que inscribe una variedad en el Registro de Cultivares Protegidos (RNCP) y a quien se le concede un derecho sobre la variedad. El derecho consiste en contar con la autorización previa del Obtentor de la variedad, para realizar las siguientes actividades:

- Producción o reproducción.
- Acondicionamiento con el propósito de su propagación.
- Oferta.
- Venta o cualquier otra forma de puesta a disposición en el mercado.
- Exportación.
- Importación.
- Publicidad, exhibición con fines de venta.
- Canje, transacción y toda otra forma de comercialización.
- Almacenamiento para cualquiera de los propósitos mencionados anteriormente.
- Toda entrega a cualquier título.

La sostenida demanda de materias primas plantea el desafío de incrementar la producción en los ambientes tradicionales y lograr producir de manera rentable en nuevos escenarios (regiones semiáridas con estrés hídrico y térmico, suelos salinos, etc.).

Se requieren grandes inversiones de capital, tiempo, infraestructura y recursos humanos para lograr que a través de la investigación se logren variedades mejoradas que satisfagan las demandas. Reconocer el Derecho de los Obtentores, a través de la utilización de semillas cuya producción fue autorizada por el Obtentor respectivo (semillas provenientes de sistema de producción controlado) es el mejor incentivo para que la investigación no pare y siga desarrollándose más fuerte y segura, permitiendo tener en el país mejores variedades.

El Título de Propiedad sobre una variedad concedido por el SENAVE al inscribir la misma en el Registro Nacional de Cultivares Protegidos permite que el Obtentor disponga su uso bajo ciertas condiciones establecidas por el mismo. De esta forma se asegura que exista un retorno a la inversión y la posibilidad que la generación de nuevas variedades no se interrumpa.

RECONOCER EL DERECHO DEL OBTENTOR ES IMPORTANTE PARA:

- Promover la investigación y la obtención de nuevos cultivares e híbridos adaptados a las condiciones del país.
- Estimular el intercambio comercial y la transferencia de tecnología.
- Promover el desarrollo de la industria semillera nacional que satisfaga el mercado interno y también de exportación si fuese tal caso.
- Hacer posible la introducción de materiales extranjeros creando una competencia sana entre los diversos obtentores con el beneficio para el agricultor pues de esa forma tiene acceso a lo mejor.
- Mejorar la producción agrícola, los rendimientos y al final la calidad de vida por la mejoras económicas.

El reconocimiento del Derecho del Obtentor se encuentra establecido en la ley y es el SENAVE el organismo encargado de la aplicación de las normativas y el control correspondiente.

El agricultor, como uno de los eslabones de la cadena de producción agrícola, reconoce el derecho del obtentor utilizando semilla certificada, o produciendo semilla propia bajo el marco establecido por la reglamentación, y diciendo no a la semilla pirata, que es una actividad fuera del marco de la ley.

USO DEL PRODUCTO DE LA COSECHA “SEMILLA PROPIA”

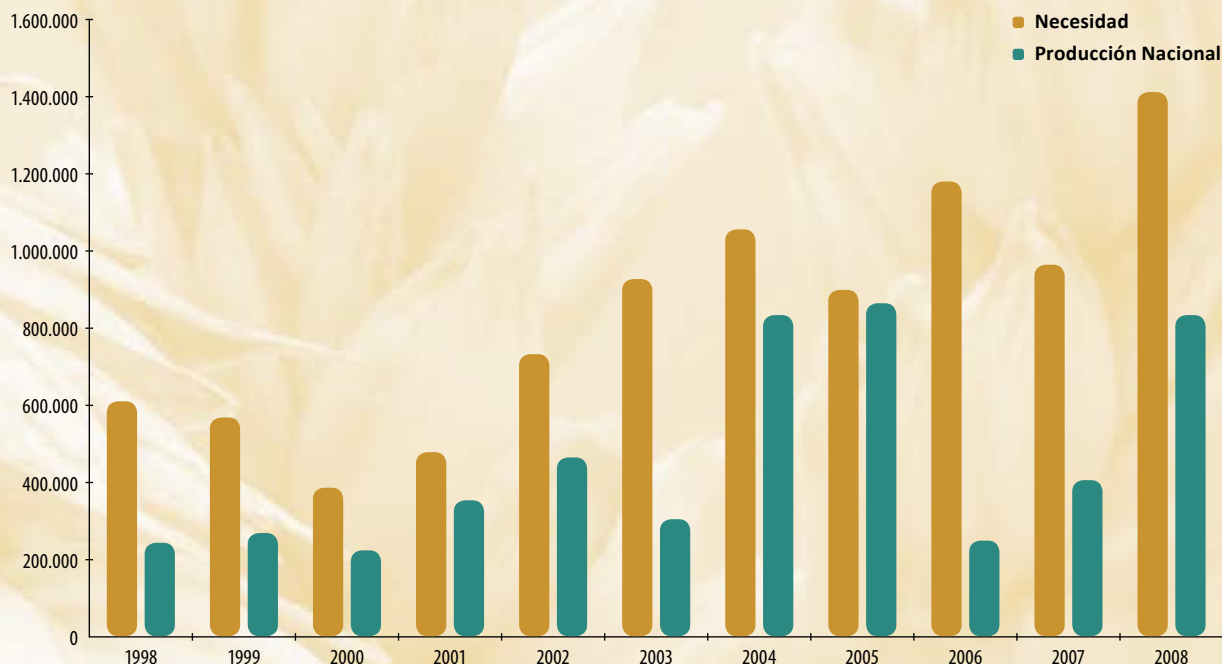
El uso del producto de la cosecha como semilla es una exención al derecho del obtentor y un privilegio que bajo ciertas condiciones tienen los agricultores. El que hace la semilla propia o ‘semilla casera’

- No lo debe hacer en asociación con familiares o socios.
- Debe hacerlo en su propio local.
- Esta semilla no se debe comercializar.

LA PRODUCCIÓN DE LA SEMILLA DE TRIGO

La necesidad de semillas de trigo aun no esta cubierta totalmente por las semillas producidas bajo un sistema controlado. Las necesidades de semilla para las superficies de cultivo de trigo en los respectivos años y la producción de semilla están comparadas en la Fig. 3. Si bien este dato no asegura que realmente esta es la relación de semillas utilizadas efectivamente, se observa que año a año va en aumento la necesidad de semillas en trigo debido al aumento en la superficie sembrada.

Fig. 3. **La necesidad versus producción nacional de semilla de trigo (bolsas de 40 kg)**



Fuente: Dirección de Estadísticas y Censos Agropecuarios (MAG) - Dirección de Semillas (SENAVE) - CAPECO.

PAGAR MÁS POR SEMILLA CERTIFICADA Y/O FISCALIZADA ¿ES REALMENTE MÁS CARO?

El punto de mayor calidad fisiológica de la semilla (mayor vigor y germinación) es cuando esta se encuentra en su punto de madurez fisiológica. Coincidentemente en dicho punto la humedad es aun alta y no permite la cosecha. La semilla a partir del punto de madurez fisiológica corta su relación con la planta madre y entra en una etapa de pérdida de humedad hasta llegar a la madurez de cosecha. El contenido de agua aceptable en la semilla al momento de la cosecha, dependerá de la especie, metodología de cosecha, facilidades que tenga el productor para bajar el contenido de humedad, y las facilidades de almacenamiento.

A partir de la madurez fisiológica la semilla entra en un proceso de deterioro de calidad en especial a lo que hace a la germinación y vigor, que será más o menos importante según la tecnología de manejo pos cosecha que se implemente; pudiendo además verse afectado los aspectos físicos y sanitarios de la calidad.

Las tecnologías aplicadas en la producción de semilla, desde la planificación de la producción hasta el almacenamiento y posterior acondicionamiento para su venta, son tendientes a mantener la calidad genética de la variedad (pureza genética y varietal). Además se trata de lograr los mayores estándares de calidad física, sanitaria y fisiológica. Esto hace que la producción de semilla sea una actividad especializada dentro de la cadena de producción. El objetivo es el de producir semilla de la mejor calidad ya que el éxito de la cosecha está supeditado a la calidad de la semilla utilizada.

Por otro lado se ha visto que la actividad de producción de semillas es una actividad regulada. Su objetivo es asegurar al agricultor que la calidad de la semilla que obtiene en el mercado, siempre sea la misma y que provenga de un sistema controlado de producción.

La semilla es la materia prima de la producción agrícola. Por ello, es muy importante saber elegir la semilla que se va a utilizar. La incidencia de la misma en el costo de producción es relativamente bajo pero el éxito de la producción esta grandemente basado en la calidad de la semilla. Son cuestiones que se debe considerar a la hora de elegir: variedades mejor adaptadas, época de siembra adecuada, variedades resistentes a plagas y enfermedades, a condiciones de estrés, la sanidad de semilla, buen vigor, libre de impurezas físicas, sin mezclas varietales, etc.

Generalmente la incidencia de la semilla en el costo de producción va de entre 5 y 30 % dependiendo de la especie, de la variedad, y de la categoría de semilla.

El costo comparativo de producción de semilla de trigo esta presentado en Cuadro 1. Se puede apreciar que utilizando semilla proveniente de un sistema de producción controlado y utilizando granos (semilla propia) guardados de una cosecha para la siguiente (y/o la semilla “pirata”, ‘bolsa blanca”) la economía es relativamente nula. Cuando se utiliza el grano como semilla y/o la semilla ilegal, pues existe el riesgo que la misma no tenga la calidad adecuada por lo ya comentado anteriormente y el agricultor termina por asumir nuevos costos de resiembra.

Cuadro 1. **Comparación de costo de producción de trigo 2008-09**

ITEMS	Semilla legal	Bolsa blanca	
	Siembra	Siembra	Re siembra
I. Costos Directos (US\$)			
a) Insumos físicos	108	108	22
1. Desección	4	4	4
2. Siembra	18	18	18
3. Cuidados culturales			
a) Aplic. de insect.+ fungicidas (3 op.)	12	12	
b) Aplicación de herbicidas (1 op)	4	4	
4. Cosecha	50	50	
5. Flete	20	20	
b) Insumos técnicos	230	215	40
1. Semilla	48	33	
2. Fertilizantes	112	112	33
3. Insecticidas	13	13	
4. Fungicidas	47	47	
5. Herbicidas	10	10	7
II. Costos Indirectos	9	9	
COSTO TOTAL (US\$)	347	332	62

Fuente: SEMAGRO S.A. (costo de producción de trigo 2009).

En el cuadro se puede observar que por ahorrar 15 US \$/ha se corre el riesgo de gastar 47 US \$ mas. Además la pérdida de tiempo para la siembra en época ideal existe la posibilidad de encontrarse con problemas de manejo, de disminución de rendimientos entre otros.

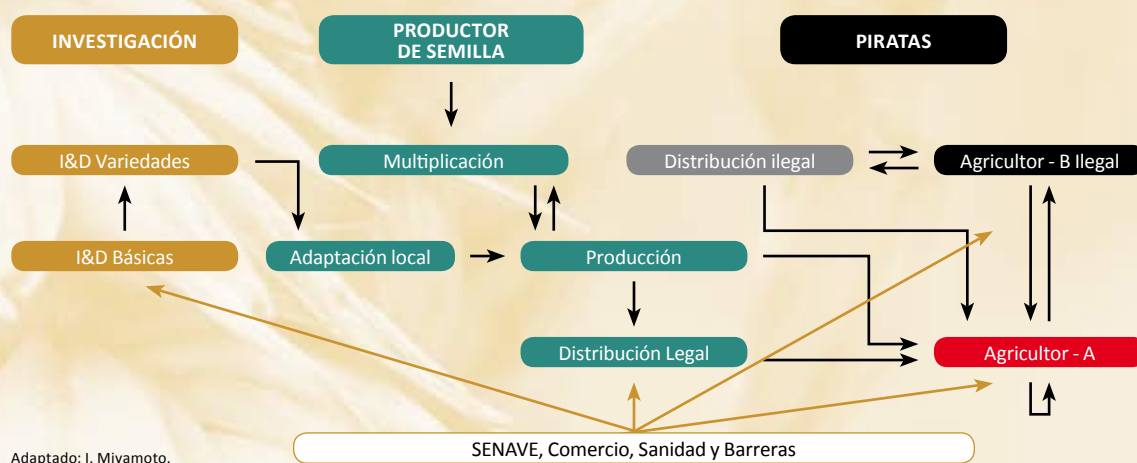
Independientemente de los efectos económicos directos en el costo de producción que puede ocasionar la utilización de grano como semilla y/o semilla ilegal, semilla pirata, bolsa blanca, también se pueden tener los siguientes efectos que ocasionan resultados negativos a la producción y al productor.

- Ya sea por mezclas o por baja calidad fisiológica se puede tener des- uniformidad del cultivo (diferencias en la germinación, en el ciclo de cultivo).
- Necesidad de hacer resiembra totales o parciales.
- Problemas de manejo, la cosecha se puede ver afectada, por ejemplo, por las diferencia de madurez.
- Posibilidad de introducción de plagas y enfermedades no existentes en una región.
- Las multiplicaciones de semillas en forma repetida y sin los cuidados correspondientes, independientemente del tipo de reproducción y de las características de la especie dan lugar a la pérdida de la pureza genética, como resultado se tiene un cultivo heterogéneo.
- El agricultor no tiene ningún tipo de protección, no puede reclamar y los daños que surgieren por el uso de estas semillas no hay forma de resarcirlo.
- Pérdida de competitividad, pues la semilla es el vehículo a través del cual llegan las tecnologías al agricultor y es el medio también a través del cual la investigación científica y el mejoramiento de variedades sobrevive, creándose de esta forma un círculo virtuoso, el cual se ve afectado por el uso de semillas caseras, piratas y/o bolsas blancas. Que el efecto inmediato no es muy perceptible, pero si en el mediano y largo plazo afectara la competitividad del sector agrícola

Utilizar semilla proveniente de un sistema de semilla controlado (semilla fiscalizada o certificada) tiene las siguientes ventajas:

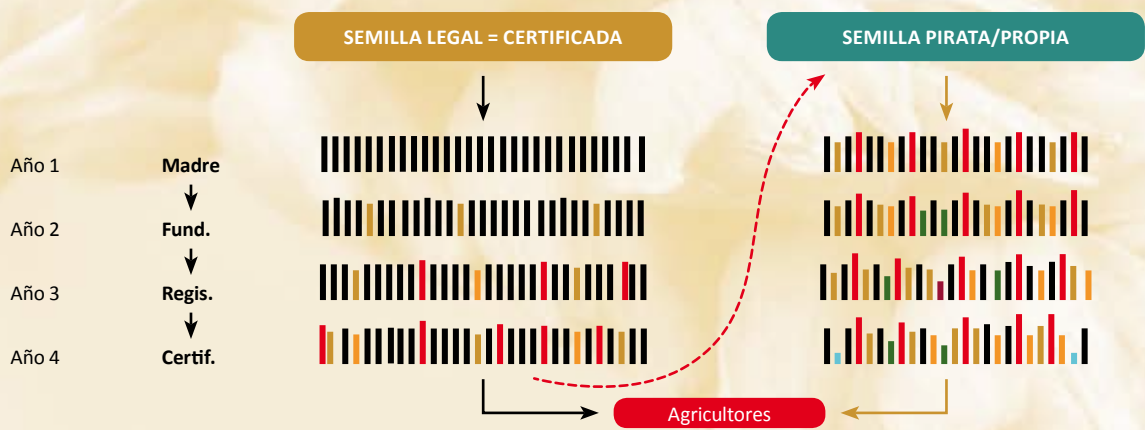
- El riesgo se minimiza, primero porque la semilla proviene de un sistema controlado y por otro lado existe un organismo, que es el SENAVE que controla y a quien se puede recurrir en caso de adquirir semillas que no tienen la calidad que debería tener como mínimo para la especie y categoría (Fig 4.).

Fig. 4. Diagrama de un sistema controlado de la producción de semilla



- Incentiva el mejoramiento vegetal y la investigación científica, permitiendo de ese modo el desarrollo de nuevas tecnologías y la incorporación de estas al sistema productivo y asegurara la competitividad y eficiencia de la agricultura.
- Homogeneidad del cultivo, mayor facilidad del manejo, se evita posible resiembra (Fig. 5).

Fig. 5. Las mezclas y heterogeneidad de la semilla multiplicada sin control



- El productor recibe el material que realmente está comprando.
- Los aspectos de las amenazas del uso ilegal de semilla están resumidos en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Las amenazas del uso de la semilla ilegal a la agricultura

Acciones derivadas de la ilegalidad	Efectos	Tiempo (año)
Variedades desconocidas	Riesgo económico	1
Producción de semillas sin control	Sin desarrollo local de nuevos productos	2
Semillas sin pureza varietal	Productos fuera de padrones exigidos en el mercado	2
Venta y uso de variedades sin registro	Exclusión de las empresas de semillas organizadas	3
Perjuicios a empresas de investigación	Discontinuidad en el mejoramiento genético	4
Cultivares obsoletos	Perjuicio a los agricultores	4
Disminución de la productividad, de la calidad y del área cultivada	Desequilibrio de mercados, industria semillera afectada, falta de asistencia en el campo, desestimulo a la investigación	5

Fuente: ABRASEM.

Referencias bibliográficas

— Ley 2459/07 Que crea el Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas SENAVE.

— Ley 385/94 De Semillas y protección de Cultivares.

— Ley 988/96 Que aprueba el convenio internacional de la Unión Internacional para la Protección de la Obtenciones Vegetales.

— Baudet, Leopoldo y Peske, Silmar. Semillas: ciencia y tecnología. Universidad Federal de Pelotas, Pelotas Brasil, 345p.

— Estadísticas de DISE/SENAVE

— Estadísticas Dirección General de Estadísticas Agropecuarias, Ministerio de Agricultura y Ganadería.

— www.capeco.org.py

Biotecnología de trigo ¿Dónde estamos parados y cuáles son las posibilidades?

ROSA MARÍA OVIEDO DE CRISTALDO

Profesor-Investigador, Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas, UNA
E-mail: rosa.cristaldo@gmail.com

Resumen

El mejoramiento del trigo se ha basado en programas de largo plazo. Este utiliza el método genealógico, grandes poblaciones F_2 , selecciones fenotípicas de caracteres cualitativos de alta heredabilidad en generaciones tempranas y de caracteres cuantitativos en las generaciones avanzadas. Esencialmente las variedades mejoradas constituyen líneas puras autofecundadas. El trigo es una gramínea poliploide, de herencia compleja, cuya manipulación a nivel de cultivo de tejidos es difícil, lo que ha retardado el uso de la biotecnología. Con el propósito de disminuir las generaciones segregantes y lograr rápidamente líneas homocigotas, la técnica de la creación de dobles haploides ha sido utilizada en numerosos programas. Incluye técnicas como el cultivo de anteras y cruzamientos sexuales con cebada silvestre y maíz seguido del posterior rescate de los embriones con diferentes niveles de eficacia. La selección asistida por marcadores moleculares, parece ser la técnica biotecnológica más ampliamente adoptada, con énfasis en resistencia a enfermedades, calidad panadera de la harina, estrés abiótico e identificación de variedades. Por otro lado, debido a las dificultades inherentes a la regeneración de *explantos* y a la recuperación de plántulas transformadas, ha sido uno de los últimos cereales con productos genéticamente modificados. En Paraguay el uso de la biotecnología se ha centrado principalmente en cultivo de tejidos para la obtención de plantas libres de virus, la micropropagación de especies frutales y ornamentales y la conservación de germoplasma. Selección asistida por marcadores moleculares ha sido utilizada en soja para resistencia a nematodo del quiste y roya. Esta y otras técnicas como, dobles haploides, también pueden ser utilizadas en trigo y constituir herramientas dentro de los programas de mejoramiento de manera a identificar los mejores genotipos de acuerdo a los objetivos propuestos.

Abstract

Wheat biotechnology: Where we stand and future possibilities

Wheat breeding has essentially been based on long term programs utilizing pedigree methods, large F_2 populations, phenotypic selection of qualitative characters of high heritability in early generations and quantitative characters, yield among them, in the advanced generations. The improved varieties constitute self fertilized pure lines. Wheat is a grass specie in which genetic manipulation has been difficult. Wheat, being a polyploid with complicated inheritance of characters, has also been late to use the biotechnology compared with other crops. With an objective to reduce the segregating generations to achieve homozygosity, the use of double haploids is being employed by several wheat breeding programs. This process, being utilized with various levels of efficiency, uses anther culture or hybridization with wild barley or maize followed by embryo rescue. At present, marker assisted selection seems to be the technology that is most widely adopted by different wheat breeding programs; emphasizing disease resistance, bread making quality, abiotic stresses and varietal identification or digital finger print. On the other hand, due to inherent difficulties in regeneration of *ex plants* and recuperation of transformed plantlets, wheat has been one of the last species to undergo genetic modifications. The use of biotechnology in Paraguay has been restricted to tissue culture for obtaining virus free plants, micro propagation of fruit and ornamental species and germplasm conservation. Marker assisted selection has been primarily used in soybeans to develop germplasm resistant to cyst nematode and soybean rust. This technique can also be utilized in wheat and become an important breeding tool to identify better genotypes for specific purposes.

Cultivo de tejidos
en trigo.



INTRODUCCIÓN

La producción actual de trigo en el Paraguay está basada en más de cuatro décadas de trabajos de investigación, en las cuales el mejoramiento genético tradicional ha cumplido un papel fundamental.

Durante las primeras dos décadas los esfuerzos del programa estaban concentrados en mejorar el rendimiento y la sanidad de los cultivos, especialmente resistencia a royas y enfermedades foliares. Las variedades entregadas a los productores en ésta época, resultaban producto de introducciones especialmente de los países del MERCOSUR y del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Una de las variedades más exitosas, Cordillera 3, lanzada en la década del 80 fue producto de esta forma de mejoramiento, con la cual se lograron buenos rendimientos y resistencia adecuada a las principales enfermedades de las regiones productoras. Esta variedad junto con otras lanzadas a inicios de los años 80, constituyeron el paso fundamental para el logro del autoabastecimiento en el año 1986, principal objetivo del Programa.

Paralelamente a las introducciones de germoplasma, al inicio de la década del 70 comenzaron a realizarse cruzamientos locales con el fin de mejorar las características de las variedades adaptadas incorporándoles mayor resistencia a enfermedades, mejores rendimientos y calidad del grano. Los cruzamientos locales fueron más tarde complementados con la introducción de materiales segregantes provenientes de diversos programas de mejoramiento, que aumentó la posibilidad de seleccionar germoplasma localmente adaptado, supliendo de alguna manera las dificultades que tenía el programa para realizar un mayor número de cruzamientos por año.

A pesar de los esfuerzos realizados, muchas características resultaban difíciles de mejorar porque la identificación de las plantas superiores dependía fundamentalmente de la expresión fenotípica del carácter. En algunos casos estaba relacionada con las condiciones ambientales, que cuando no eran las adecuadas, imposibilitaban a nivel de campo distinguir los mejores materiales. Esta situación se ha dado principalmente para ciertas enfermedades como fusariosis y manchas foliares. En otros casos, no se tenían los equipos o instrumentos de medición para la selección, como ha ocurrido con la calidad panadera, que sólo ha sido posible mejorar en los últimos años. Hoy día, las variedades lanzadas por el Programa de Investigación de Trigo tienen calidad panadera acorde con requerimientos industriales.

En la actualidad, los programas de mejoramiento genético pueden resultar mucho más eficientes con la incorporación de la biotecnología. El mejoramiento genético tradicional puede echar mano de diversas técnicas como el uso de dobles haploides, para conseguir líneas homocigotas en menor tiempo, la selección asistida por marcadores moleculares para caracteres de difícil identificación por su expresión fenotípica, hasta la incorporación de ADN exógeno por medio de la transgénesis, para incorporar nuevas características al cultivo. Estas herramientas van siendo perfeccionadas y adecuadas a diferentes tipos de cultivos. Su uso está directamente relacionado con la disponibilidad de infraestructura, personal capacitado y sobre todo con el valor comercial de la semilla mejorada obtenida en relación al costo de la tecnología utilizada.

MEJORAMIENTO GENÉTICO TRADICIONAL

El mejoramiento del trigo alrededor del mundo, se ha basado esencialmente en programas de largo plazo, utilizando diferentes métodos, principalmente el genealógico, con grandes poblaciones F_2 , selecciones fenotípicas de caracteres cualitativos de alta heredabilidad en generaciones tempranas y de caracteres cuantitativos en las generaciones avanzadas. Esencialmente las variedades mejoradas constituyen líneas puras autofecundadas

La variabilidad genética es creada por medio de hibridaciones sexuales, intra o ínter específicas con recuperación de las progenies homocigotas a través de generaciones repetidas de autofecundación o retrocruzamiento. Como la identificación de las plantas superiores está basada esencialmente en el fenotipo, la expresión del mismo es fundamental para reconocerlos. Características controladas por genes mayores de alta heredabilidad y expresividad, son los que han sido más fácilmente incorporados. Por otro lado, aquellas

controladas por un gran número de genes tienen mayores dificultades a ser incorporadas sobre todo por la influencia del ambiente en la expresión de los genes.

A pesar de ello, el mejoramiento genético tradicional ha proporcionado avances genéticos sustanciales en cuanto al rendimiento, sanidad y adaptación del trigo a diferentes zonas productoras inclusive aquellas consideradas marginales, como las zonas subtropicales y suelos con toxicidad al aluminio, áreas impensadas para el cultivo de trigo décadas atrás. Sin embargo, ciertas características como resistencia a enfermedades, como la fusariosis de la espiga, de difícil control por medio de fungicidas y con escasas fuentes de resistencia de herencia poligénica, continúan siendo problemas importantes. Asimismo, la necesidad de varios ciclos de poblaciones segregantes hasta conseguir una línea pura luego de un cruzamiento y la imposibilidad en muchos casos de realizar más de una generación por año, también ha contribuido para retrasar la oferta de nuevas variedades a los productores. Aumentando la eficacia de la selección y acortando los tiempos de obtención de nuevos materiales se podría imprimir mayor dinamismo a los programas de mejoramiento genético de trigo y es allí donde la biotecnología con la gran variedad de técnicas y herramientas hasta ahora desarrolladas puede significar un aporte fundamental para el logro de avances genéticos significativos.

BIOTECNOLOGÍAS USADAS EN TRIGO EN EL MUNDO

El trigo es una gramínea poliploide, de herencia compleja, cuya manipulación a nivel de cultivo de tejidos es difícil, lo que ha retardado el uso de la biotecnología. Sin embargo, en las últimas décadas han sido utilizadas algunas técnicas, entre ellas, la de dobles haploides con diferentes niveles de eficacia. Asimismo, la selección asistida por marcadores moleculares, se ha ido incrementando con énfasis en resistencia a enfermedades, calidad panadera de la harina, estrés abiótico e identificación de variedades. Debido a las dificultades inherentes a la regeneración de *explantes* y a la recuperación de plántulas transformadas, la transformación genética todavía no ha alcanzado los niveles de uso, conseguidos con cultivos como la soja, algodón o maíz entre otros.

Dobles haploides

Los métodos tradicionales de mejoramiento genético de las especies autóгамas están basados fundamentalmente en la posibilidad de crear variabilidad y posterior selección de combinaciones deseadas en las poblaciones segregantes. En general los plazos necesarios desde un cruzamiento hasta la liberación comercial de un material son muy largos y cuando el mismo llega a manos de los productores, son otras las características necesarias para garantizar las cosechas. De esta manera, los programas de mejoramiento son más eficientes en la medida que sean capaces de generar gran variabilidad genética que les permita identificar los genotipos adecuados y utilizar métodos que acorten el tiempo necesario para la obtención de variedades.

Uno de esos métodos es la utilización de dobles haploides. Es una herramienta que permite acortar el tiempo requerido para la obtención y liberación de nuevas variedades, y constituye un buen complemento para los programas de mejoramiento tradicional. Una de las ventajas del método consiste en la posibilidad de identificar caracteres recesivos, ya que se eliminan las complejidades del estado heterocigota. Las poblaciones presentan mayor varianza genética aditiva y ausencia de varianza genética dominante, si se las compara con generaciones segregantes. Permite encontrar genotipos raros, especialmente recesivos que pueden permanecer enmascarados por los dominantes durante la selección, inclusive ser eliminados durante el proceso. A partir de un cruzamiento es posible alcanzar la homocigosis en una sola generación, mientras que en el método convencional se requieren entre seis a ocho generaciones.

Son varios los métodos disponibles para la obtención de los dobles haploides en trigo, entre los cuales se encuentran el cultivo de anteras y cruzamientos con otras especies como cebada silvestre, maíz, sorgo o mijo. Éstos últimos requieren la realización del rescate del embrión haploide y en todos los casos se requiere la duplicación cromosómica espontánea o inducida para restablecer la fertilidad. La ocurrencia de variación somaclonal, aneuploidía y la especificidad genotípica son limitantes que se presentan cuando

el método utilizado es el cultivo de anteras. Cuando se utiliza cruzamiento con cebada silvestre el principal limitante del proceso lo constituye la presencia de los genes de incompatibilidad *Kr* que pueden estar presentes en los genotipos. Por otra parte, los cruzamientos con maíz, sorgo o mijo son los que presentan menos limitaciones y constituyen las técnicas más ampliamente utilizadas. Para que los dobles haploides realicen un aporte significativo a los programas de mejoramiento es necesario que sea posible producir líneas dobles haploides de manera eficiente a partir de todos los genotipos y los dobles haploides obtenidos deben ser normales y estables.

Aún existen muchas interrogantes, lo que ha hecho que la aplicación de esta herramienta no se realice en forma extensiva. Algunas de ellas se refieren al momento o la generación para hacer los dobles haploides, número de individuos necesarios para representar la variabilidad gamética creada a partir de un cruzamiento, escasa producción de semilla y sobre todo los costos adicionales que puedan significar dentro de cualquier programa de mejoramiento.

Es un procedimiento que se usa en cruzamientos amplios en trigo y se continúa avanzando en la eficiencia de la producción de haploides, base para la obtención de los dobles haploides. Además la técnica ha resultado exitosa en los cultivos de arroz y cebada.

Selección asistida por marcadores moleculares

La utilización de marcadores moleculares en un programa de mejoramiento puede aportar ventajas importantes. La naturaleza molecular independiza la selección del fenotipo y del ambiente. Asimismo, permiten identificar rápidamente genotipos únicos en poblaciones segregantes e incorporar varios genes de interés en un fondo genético determinado. Resultan particularmente útiles en casos en los cuales ciertos genes tienen efectos sobre la función de otros (epístasis), enmascarados en la presencia de estos últimos, dificultado su identificación y seguimiento en las poblaciones mediante el fenotipo. Situación similar se presenta cuando se trata de caracteres cuantitativos manejados por muchos genes de efecto pequeño, altamente influenciados por el ambiente, por consiguiente de baja heredabilidad, que dificultan las manifestaciones fenotípicas para su identificación.

Los marcadores moleculares han sido más eficientemente utilizados cuando existen niveles adecuados de polimorfismo entre los individuos pertenecientes a la misma especie. El mejor marcador es aquel que reconoce sitios polimórficos, que estando dentro del gen son los determinantes de la variación fenotípica observada. Estos pueden ser usados de manera confiable inclusive en poblaciones que no hayan sido previamente mapeadas. Los marcadores que se identifiquen como promisorios para ser utilizados deben ser validados para que sea efectivo el seguimiento y selección de un gen particular.

La búsqueda de marcadores moleculares en el cultivo de trigo esta orientada preferentemente a enfermedades cuya resistencia está controlada por un gran número de genes, entre ellas, fusariosis de la espiga, mancha amarilla, virus del enanismo amarillo de la cebada y la resistencia en planta adulta a la roya de la hoja y la roya estriada. La selección para la resistencia a fusariosis de la espiga por métodos convencionales es complicada debido a la naturaleza cuantitativa del carácter y a la dificultad de crear condiciones adecuadas de infección en los viveros de selección. Una importante fuente de resistencia es la variedad Sumai 3 y el mayor componente de esa resistencia ha sido asociado a loci para caracteres cuantitativos. De esta manera fueron identificados genes que previenen el avance del patógeno después de la infección y otros que otorgan un significativo grado de protección contra la infección inicial. Éstos, sin embargo, no explican toda la resistencia genética asociada a Sumai 3, quedando la restante posiblemente asociada a un loci para caracteres cuantitativos de menor efecto o de efecto pleiotrópico relacionado con la morfología de la espiga. En cuanto a resistencia para la mancha amarilla se han identificado dos genes mayores, uno en el cromosoma 5BL que condiciona la resistencia a la necrosis y un loci para caracteres cuantitativos en el cromosoma 1AS que en combinación con otros genes menores condiciona la resistencia a la clorosis. La selección basada en solo estos dos genes proporciona alto nivel de resistencia a la enfermedad. La resistencia a la roya de la hoja y la roya estriada está asociada a una combinación de genes mayores que proporcionan resistencia en plántula, muchos de los cuales han perdido su efectividad por lo que una resistencia más duradera es necesaria. La resistencia en planta adulta a estas royas está asociada a gran número de genes menores. Del análisis de varias poblaciones se han podido identificar tres marcadores que muestran asociación significativa con

la resistencia duradera a la roya de la hoja, también loci para caracteres cuantitativos que proporcionan resistencia tanto a la roya de la hoja como roya estriada.

Marcadores moleculares relacionados con la calidad panadera del trigo han sido los primeros en ser utilizados en los programas de mejoramiento. Uno de ellos se refiere a la alta correlación entre la calidad panadera y el estatus alélico del loci Glu-1, que es responsable de la composición de las proteínas de reserva del grano. Sin embargo, a pesar que el efecto de las sub-unidades específicas de gluteninas de alto peso molecular están bien caracterizada con relación a la calidad de la panificación, éstas son responsables de menos del 50 % de la variabilidad observada entre cultivares para la característica fuerza del gluten. Por otro lado, para el contenido de proteínas del grano, que es probablemente el factor de mayor efecto en la calidad de la panificación, los progresos han sido lentos, debido sobre todo a la correlación negativa entre el porcentaje de proteínas del grano y el rendimiento. No obstante, han sido identificados marcadores ligados a esta característica en el brazo corto del cromosoma 6B de *Triticum dicoccoides* que pueden ser usados tanto para trigos hexaploides como tetraploides. Asimismo, también pueden ser adicionados marcadores moleculares relacionados con la dureza del grano, ya que existe una estrecha relación entre los genes *Pina-D1*, *Pinb-D1* y *GSP-D1*, que codifican para las proteínas puroindolina-a (pinA), puroindolina-b (pinB) y "grain softness protein" (GSP-1), respectivamente, que median en la unión entre los gránulos de almidón y la red proteica del endosperma.

Una utilización adicional y práctica de los marcadores moleculares es la identificación genética de variedades o huella genética. La identificación de las variedades para registro comercial se basa esencialmente en descriptores varietales fenotípicos. Sin embargo, en casos de variedades cercanamente relacionadas, muy similares por sus caracteres fenotípicos, la identificación a nivel molecular es una opción en caso de discrepancias y controversias.

Teniendo en cuenta la complejidad del genoma del trigo y la falta de polimorfismos, debido a la autogamia, los marcadores que han resultado eficientes son los microsatélites o secuencias de repetición simple (SSR), los cuales se caracterizan por dos a cuatro pares de bases repetidas *en tandem*. Estas secuencias pueden ser amplificadas a través de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Además de la especificidad y naturaleza codominante de estos marcadores y la abundante variabilidad dentro de estos loci, hace de este tipo de marcador una herramienta útil en trigo.

Tecnología del ADN Recombinante

Las dificultades inherentes a la regeneración de *explantos* y a la recuperación de plántulas transformadas, ha retrasado la incorporación del trigo al grupo de cereales con productos genéticamente modificados. A estas dificultades se suman los problemas relacionados con el silenciamiento de genes, problema común en la producción de plantas transgénicas y que debe ser efectivamente controlado para lograr los objetivos propuestos. Por tanto, el éxito en el mejoramiento de trigo a través de ingeniería genética, depende fundamentalmente de cuan estable y predecible sea el gen insertado.

Además de la regeneración de los *explantos*, para el éxito en el proceso de transformación genética es necesario disponer de un transgen, con secuencias regulatorias y codificantes clonadas en un vector de transformación y de una metodología eficiente para la transferencia al genoma vegetal. En ese sentido, en trigo, se han ensayado varios métodos de transformación entre los cuales el bombardeo de partículas o biobalística parece ser el más adecuado. Este método no depende de la especie a transformar, la construcción del vector es simple y puede ser utilizado en cualquier tipo de *explanete* vegetal, desde células o protoplastos hasta plántulas completas pasando por tejidos organizados en embriones o meristemas. Por otro lado, la eficiencia de transformación es baja y aleatoria, muchas veces imprecisas y pueden ocurrir multicopias *en tandem* del transgen introducido.

Entre los métodos biobalísticos, el de mayor éxito es el basado en helio que introduce en el *explanete* partículas de ADN recubiertas en oro y los *explantos* utilizados más eficientemente son cultivos a partir de embriones inmaduros. La mayoría de las transformaciones genéticas en trigo se han realizado en unos pocos genotipos que han demostrado respuesta favorable al cultivo de tejidos, como es caso de la línea avanzada Bobwhite del CIMMYT. De manera que la dependencia existente entre el genotipo, la posibilidad de su manejo a nivel de cultivo de tejido y la variación observada en la frecuencia de transformación estable, también han sido los limitantes importantes para los avances en la transgénesis en trigo.

Se han realizado con éxito transformaciones genéticas para calidad del grano de trigo manipulando los genes que están relacionados a las sub-unidades de gluteninas de alto peso molecular. Con ello se ha podido alterar la composición de los granos de trigo modificando tanto el nivel como el tipo de proteínas almacenadas en el grano. El gen que codifica para la enzima fitasa, también ha sido incorporado con éxito en trigo, que le permite mejor digestibilidad al trigo. Características relacionadas a estrés hídrico, resistencia a patógenos y esterilidad masculina que permita la obtención más eficiente de híbridos, han sido incorporadas con diferentes niveles de eficacia.

Además de las dificultades inherentes a la utilización de herramientas biotecnológicas en trigo, se encuentran aquellas planteadas desde los sistemas regulatorios, los impactos económicos y la polémica sobre efectos ambientales y sociales que han acompañado a los cultivos transgénicos comerciales hasta ahora.

BIOTECNOLOGÍA EN PARAGUAY, SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS

En Paraguay el uso de la biotecnología se ha centrado principalmente en cultivo de tejidos para la obtención de plantas libres de virus, la micropropagación de especies frutales y ornamentales, conservación de germoplasma y germinación *in vitro* de semillas recalcitrantes. Selección asistida por marcadores moleculares ha sido utilizada en soja para resistencia a nematodo del quiste y a la roya asiática. Esta y otras técnicas como, dobles haploides, también pueden ser utilizadas en trigo y constituir herramientas dentro de los programas de mejoramiento de manera a identificar los mejores genotipos de acuerdo a los objetivos propuestos.

La variedad de *Stevia* conocida como Eireté, es uno de los productos de la biotecnología obtenida en el país. La misma resulta de selección individual dentro de una población nativa y posterior multiplicación agámica vía cultivo de tejidos *in vitro* a partir de donde se obtuvieron las líneas clonales una de las cuales dio origen a la variedad. Para el mismo cultivo se han desarrollado técnicas para la obtención de dobles haploides, dada la dificultad de conseguir líneas puras por la presencia de genes de incompatibilidad esporofítica que no permiten la autofecundación.

En el cultivo de soja se han identificado por medio de técnicas moleculares germoplasma con resistencia a la roya de la soja y actualmente se trabaja en la identificación de materiales resistentes al hongo del género *Macrophomina*. Paralelamente se realizan análisis de la variabilidad genética del hongo por medio de polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados (AFLP).

La biotecnología en Paraguay, si bien no es una tecnología nueva, se encuentra aún en estado incipiente. Con excepción de algunos laboratorios sobre todo relacionados al sector de la salud, las técnicas moleculares han sido utilizadas en contadas ocasiones. Actualmente existe infraestructura de laboratorio en diversas instituciones y capacidades humanas que permiten el uso de marcadores moleculares y dobles haploides para el cultivo de trigo. Sin embargo, no es suficiente. Los laboratorios deben ser dotados de mejor equipamiento e insumos, se debe aumentar la cantidad de personas asignadas a la investigación en biotecnología, así como, permitir la capacitación continua de las que actualmente se encuentran dedicadas a la misma. Otra limitante importante para el avance en el uso de la biotecnología en los programas de mejoramiento, se relaciona a los recursos necesarios para cubrir los costos que resultan más elevados a los requeridos por el mejoramiento genético tradicional. Debido a ello, el uso de herramientas biotecnológicas debe enmarcarse en objetivos bien definidos de manera a optimizar su eficiencia.

Actualmente existe un gran desarrollo tecnológico en la región del MERCOSUR, también se han formado diferentes redes internacionales que involucran a grupos de formación e investigación en biotecnología. Asimismo, existen proyectos regionales de investigación que buscan la adecuación y consolidación de capacidades instaladas en laboratorios y recursos humanos. Además, existen convenios internacionales, regionales e interinstitucionales que tienen como objetivo mejorar la capacitación y la formación de profesionales con maestrías y doctorados para contribuir al desarrollo de capacidades.

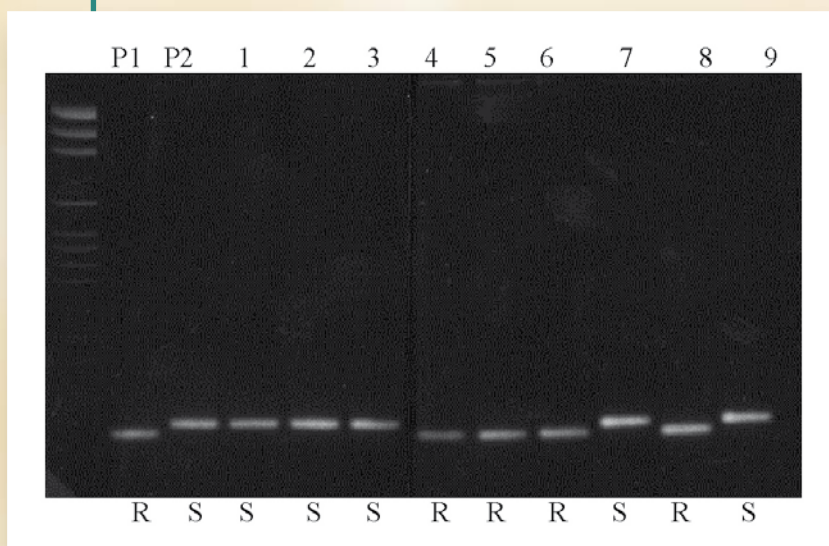
Paraguay debido a su menor desarrollo relativo en el área de biotecnología ha sido objeto, en los últimos años, de atención especial por parte de algunos organismos internacionales de cooperación, situación que

permitiría en los próximos años incorporar algunas de las técnicas como herramientas en los programas de mejoramiento. Por otro lado, a través de las relaciones internacionales e interinstitucionales existentes, puede acceder a los desarrollos biotecnológicos para los cuales aún no existan las capacidades necesarias.

Bibliografía

- Álvarez, E.; Cabrera, G.; Gómez, F. 2004. KH-VC 142 (Eireté). Primera variedad clonal de Kaa Hee (*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni). IN: XIX Seminario Panamericano de Semillas. Asunción, FE-LAS, APORSEMP, MAG. 383 p
- Bartrina, M.; Álvarez, E. 2002. Germinación *in vitro* de embriones de semillas de coco del Paraguay (*Acrocomia totai*). Una alternativa para la obtención rápida de mudas. Revista Científica del Instituto Agronómico Nacional (Paraguay). 2 (2): 23-29p
- Gracia, V. M. 2006. Cultivo de anteras de Ka a He e (*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni) para la obtención de callos embriogénicos. Tesis (Ing. Agr.). San Lorenzo, PY: CIA, FCA-UNA. 44 p.
- INTA. 2004. Biotecnología y Mejoramiento Vegetal. Echenique, V; Rubinstein, C.; Mroginski, L. (Eds.). Buenos Aires, Ediciones INTA. 448 p.
- JICA. 2003. Mejoramiento para Resistencia al Nemátodo del Quiste de la soja. Tsuchiya, T.(Ed.) Asunción, JICA. 33p.
- Kobner, R.; Summers, R. 2007. Marker-assisted selection in wheat: evolution, not revolution. In: Guimaraes, E.; Ruane, J.; Scherf, B.; Sonino, A.; Dargie, J. Marker-assisted selection. Current status and future perspectives in crops, livestock, forestry and fish. Roma, FAO. 51-58 p.
- MAG. 2004. Avances y resultados de la investigación de trigo en el Paraguay. Quintana, L; Pedretti, R.; Kohli, M. M.; Gómez, G. (Eds.). Asunción, MAG, IICA, CAPECO. 124 p.
- MAG. 2006. Roya de la Soja. Resultados de Investigación. Asunción, MAG, USDA, CAPECO. 49 p.
- Mujeeb-Kazi, A. 1998. An Analysis of the use of Haploids in Wheat Improvement. In: Applications of Biotechnologies to Wheat Breeding. Kohli, M. M; Francis, M. (Eds.). La Estanzuela, UR, CIMMYT, INIA. 33-48 p.
- Pellegrineschi, A.; Fennell, S.; Mac Lean, R.M. ; Brito, L.; Velázquez, M.; Olivares, J.J.; Hernandez, R.; Hoisington, D. 1998. Routine Transformation System for Use with CIMMYT Wheat Varieties. In: Applications of Biotechnologies to Wheat Breeding. Kohli, M. M; Francis, M. (Eds.). La Estanzuela, UR, CIMMYT, INIA. 112-120 p

Uso de marcadores para detectar la resistencia al enanismo amarillo de la cebada en trigo. Foto: USDA.



Importancia de la materia orgánica del suelo y su respuesta al uso y manejo de la tierra

HÉCTOR J. CAUSARANO M.

Docente Investigador de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Campus Universitario, San Lorenzo.
E-mail: hector.causarano@tigo.com.py.

Resumen

Una producción agrícola sostenible se logra manteniendo y mejorando la calidad del suelo, y el indicador más importante de calidad es la materia orgánica del suelo (MOS) ya que tiene influencia sobre propiedades físicas, químicas y biológicas. Este trabajo señala el rol crítico que cumple la MOS en tierras agrícolas de Paraguay, donde el laboreo excesivo y la erosión produjeron pérdida de MOS impactando negativamente en la disponibilidad de nutrientes, la estabilidad estructural y el balance hídrico. Afortunadamente el clima cálido y húmedo de la Región Oriental de Paraguay, permite alta producción de biomasa y residuos que pueden convertirse en MOS. Las buenas prácticas agrícolas que aumentan la MOS incluyen la siembra directa, la intensificación de cultivos, la aplicación de abonos orgánicos y la inclusión de maíz y pasturas en la rotación. Resultados de investigación muestran que durante los primeros 5 años posteriores a la conversión de labranza convencional a siembra directa, se produce un incremento de 0,3 a 2,2 t MOS ha⁻¹ año⁻¹ en la camada de 0-40 cm. La intensificación de cultivos es especialmente importante en suelos arenosos y se determinó que el paso de una sucesión Trigo-Soja a la rotación Trigo-Soja-Lupino-Maíz representó un incremento de 1,5 t MOS ha⁻¹ año⁻¹. La integración agricultura-ganadería presenta resultados alentadores, no solo por sus beneficios económicos sino también por contribuir a aumentar el contenido de MOS. En general, se concluye que la sostenibilidad de la producción agrícola paraguaya depende de buenas prácticas agrícolas que contribuyan a mantener o aumentar el contenido de materia orgánica en los suelos.

Abstract

Importance of soil organic matter and its response to the use and management of land

Sustainable agricultural production can only be achieved by maintaining or improving the quality of the soil. The soil organic matter, because of its influence on the physical, chemical and biological properties, is the most important indicator of this quality. The present paper details the critical role of soil organic matter in the Paraguayan agricultural lands where excessive cultivation and erosion have caused its loss thereby impacting negatively the nutrient availability, structural stability and water balance. The warm and humid climate of the country permits high biomass production of the residues that can be converted into the soil organic matter. The good agricultural practices that help increase the soil organic matter include the zero tillage, crop intensification, incorporation of organic manures and inclusion of maize and pasture crops in the rotation system. Research results demonstrate that during the first five years after conversion from conventional agriculture to zero tillage, there is an increase of 0.3 to 2.2 t/ha⁻¹/year⁻¹ of soil organic matter in the top soil layer of 0 to 40 cms. The intensification of crops is especially important in the sandy soils. It was also found that a change from wheat-soybean succession to wheat-soybean-lupin-maize rotation represented an increment of 1.5 t/ha⁻¹/year⁻¹ of soil organic matter. The integration of agriculture with animal husbandry shows encouraging results not only from the standpoint of economics, but also contributing to increased soil organic matter content. In general, it can be concluded that the sustainability of agricultural production in Paraguay depends on the good agricultural practices that contribute to maintain or increase the level of soil organic matter.

La retención de rastrojos sobre el suelo en la siembra directa ha sido importante para mejorar el nivel de materia orgánica.



INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo contiene 50 a 58% de carbono (Nelson y Sommers, 1982), Fig.1, y es una mezcla compleja de productos derivados de tejido animal y vegetal en varios estados de descomposición, además de los organismos que viven en el suelo (Figs. 2 y 3). El uso y manejo de la tierra influyen positiva o negativamente sobre el contenido de materia orgánica del suelo; y este contenido es un indicador de la calidad del suelo, ya que cumple un rol fundamental en la estabilidad de agregados, Fig. 4, y la formación de una buena estructura que facilite la aireación, el movimiento del agua y resista al tráfico de maquinarias. Asimismo, la materia orgánica del suelo contribuye para almacenar e intercambiar nutrientes y es el sustrato para la actividad biológica del suelo, que a su vez tiene consecuencias en la liberación de nutrientes esenciales para la nutrición vegetal.

Fig. 1. **Fracciones que componen la materia orgánica del suelo**

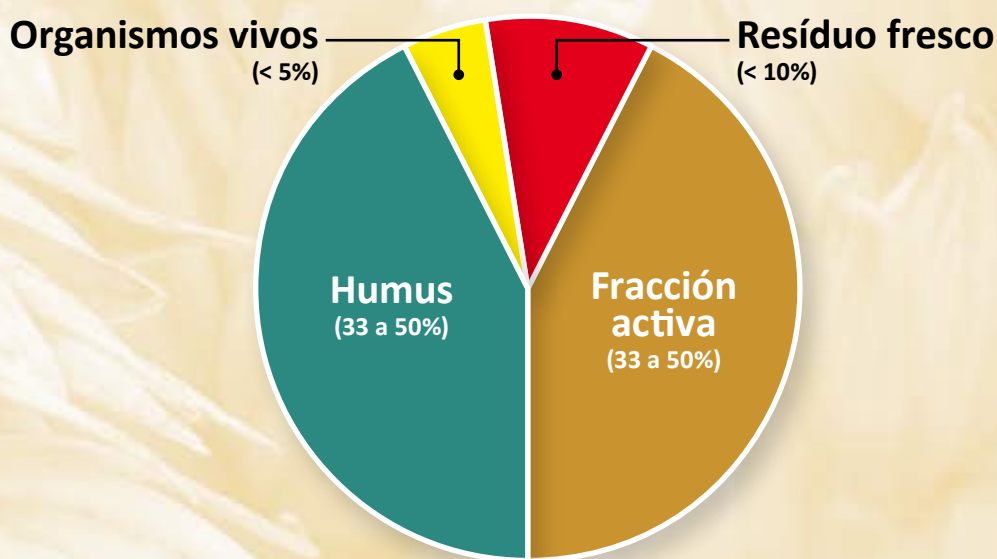


Fig. 2. **Asociación de materia orgánica y partículas minerales del suelo**

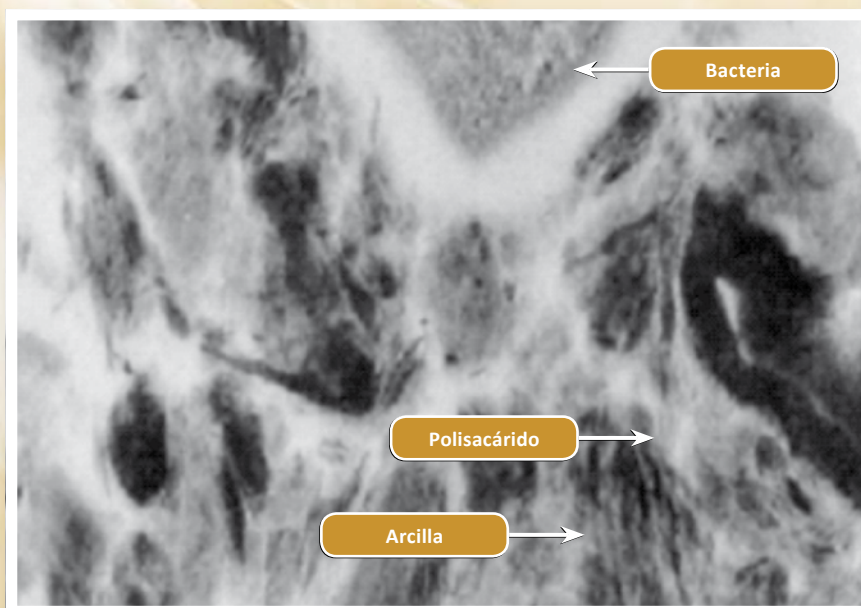


Fig. 3. **Asociación de materia orgánica y partículas minerales del suelo**

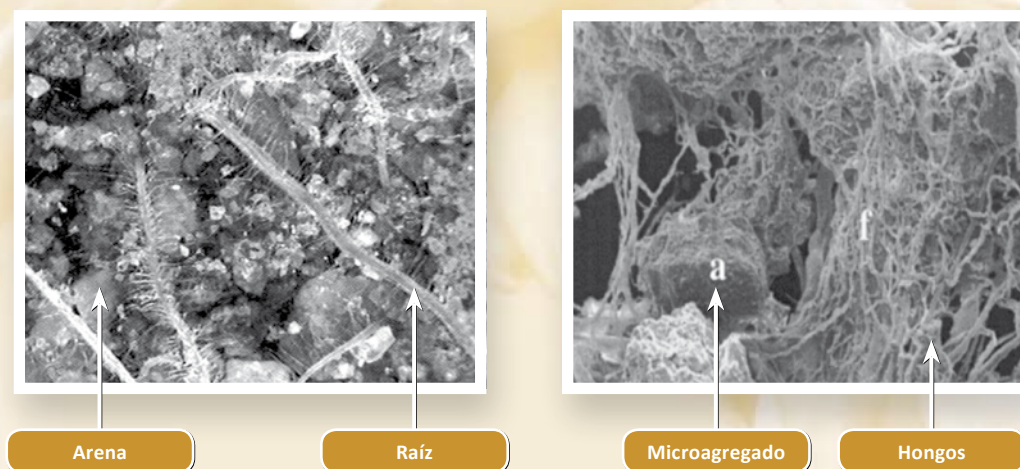
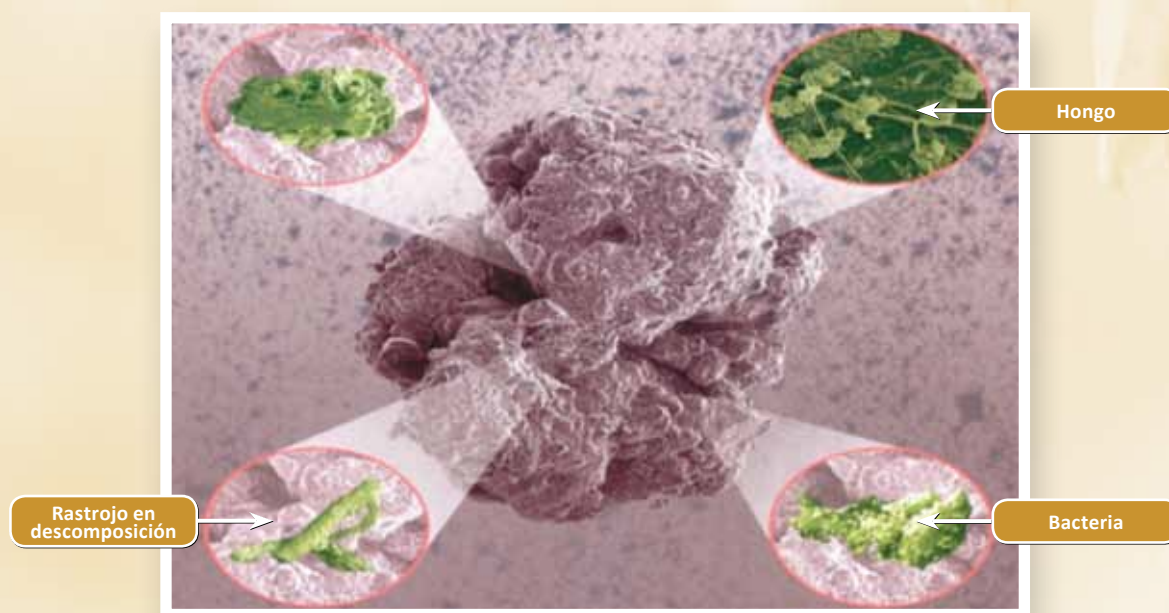


Fig. 4. **Estructura de un macro-agregado del suelo**



La expansión de la frontera agrícola en la Región Oriental de Paraguay sustituyó extensas áreas de bosque subtropical por cultivos agrícolas, principalmente soja, trigo y maíz; y los métodos empleados para preparar el suelo (aradas y rastreadas) con la subsecuente erosión han disminuido sustancialmente el contenido de materia orgánica. La remoción del suelo entierra residuos de cosecha, destruye agregados, incrementa la aireación y estimula la descomposición microbiana de la materia orgánica. Sin embargo, las buenas prácticas de manejo, el clima cálido y húmedo, y la larga estación de crecimiento característica de la Región Oriental de Paraguay, permiten la intensificación de cultivos y la producción de biomasa, lo que representa un alto potencial para la fijación fotosintética del carbono atmosférico y en consecuencia el aumento de la materia orgánica del suelo.

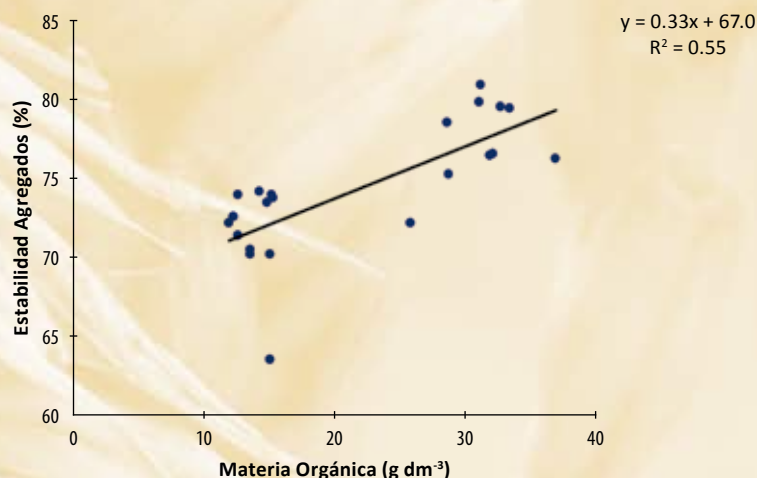
Este trabajo incluye informaciones publicadas y no publicadas sobre el efecto del uso de la tierra y las prácticas de manejo en el contenido de materia orgánica de suelos de la Región Oriental de Paraguay.

La mayoría de los datos corresponden a las determinaciones de propiedades físicas y químicas realizadas por Henklain (1998) en muestras de suelos de experimentos de campo, que fueron instalados en 1993 y se condujeron en el marco del Proyecto Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería y la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ).

LA MATERIA ORGÁNICA CONTRIBUYE A LA BUENA ESTRUCTURACIÓN DEL SUELO

La estructura del suelo está relacionada con la formación de agregados y con el espacio de poros entre ellos. La forma y estabilidad de los agregados del suelo controla la característica de los poros, lo que afecta directamente la entrada y movimiento del aire y agua, y por ende las condiciones para el crecimiento y desarrollo vegetal. La Fig. 5 muestra la relación entre el contenido de materia orgánica y el índice de estabilidad de agregados. Se observan dos grupos de datos, el grupo de la izquierda corresponde a muestras de suelos arenosos de Choré, y el grupo de la derecha a muestras de suelos arcillosos de Colonia Yguazú. No se puede separar claramente el efecto de la materia orgánica del efecto de las partículas de arcilla, ambos actúan como agente cementante dando estabilidad a los agregados. En las muestras de Choré (suelo arenoso) el efecto de la materia orgánica parece ser mucho menor que en las muestras de Colonia Yguazú (suelo arcilloso). En general, a mayor contenido de materia orgánica se observa mayor índice de estabilidad de agregados. La resistencia a la degradación estructural del suelo es particularmente importante bajo las condiciones climáticas de la Región Oriental de Paraguay, donde las lluvias intensas son muy comunes durante la estación de verano.

Fig. 5. Relación entre el contenido de materia orgánica y la estabilidad de agregados en suelos de Choré y Colonia Yguazú, Paraguay. Datos de Henklain (1998)

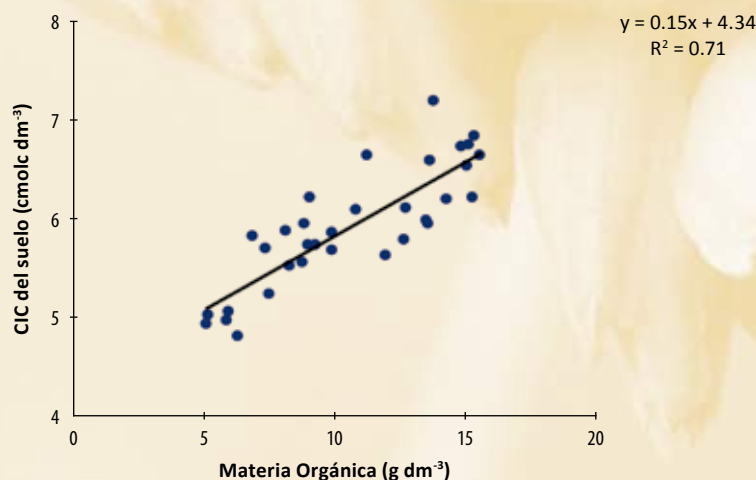


LA MATERIA ORGÁNICA CONTRIBUYE A FORMAR SUELOS FÉRTILES

La materia orgánica humificada y las partículas de arcilla constituyen los coloides del suelo y proveen una superficie con cargas eléctricas para absorción de cationes (y aniones en menor medida). La cantidad total de cationes que puede ser retenida en los coloides del suelo se conoce como Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). Los cationes pueden ser intercambiados con otros cationes de la solución del suelo, y este proceso es fundamental para la fertilidad del suelo, ya que las plantas absorben nutrientes de la solución del suelo. En suelos tropicales, la CIC de la materia orgánica es varios órdenes de magnitud mayor que la CIC de las partículas de arcilla.

La Fig. 6 muestra una fuerte relación ($R^2=0,71$) entre el contenido de materia orgánica y la CIC del suelo. La CIC del suelo varió entre 4,8 y 7,2 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ aproximadamente, y aumentó en relación lineal con el aumento en el contenido de materia orgánica, que varió entre 5,1 y 15,5 g dm^{-3} .

Fig. 6. Relación entre el contenido de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en suelos de Choré, Paraguay. Datos de Henklain (1998)



La información contenida en la Fig. 6 muestra el rol primordial de la materia orgánica para el manejo adecuado de la fertilidad de los suelos.

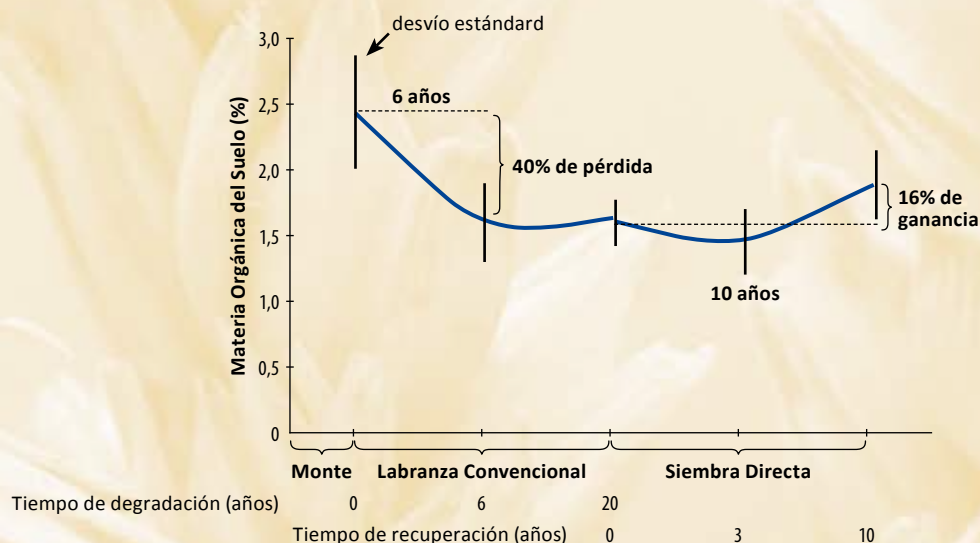
EL SISTEMA DE LABRANZA INFLUYE SOBRE EL CONTENIDO DE LA MATERIA ORGÁNICA

La Fig. 7 fue elaborada con datos de Riezebos y Loerts (1998) y corresponden a suelos de Alto Paraná. Se observa una disminución en el contenido de materia orgánica del suelo cuando el uso de la tierra cambia de cobertura de monte a agricultura en donde se realizan aradas y rastreadas. En seis años se perdió el 40% de la materia orgánica, y por otro lado, se observó una recuperación en el contenido de materia orgánica cuando se realizó siembra directa, aunque el tiempo necesario fue mayor; después de 10 años de siembra directa se consiguió incrementar solamente el 16% en el contenido de materia orgánica.

La adición de materia orgánica es sumamente importante para mejorar la calidad física, química y biológica de los suelos.



Fig. 7. Contenido de materia orgánica (media y desviación estándar) en suelos de Alto Paraná, en una cronosecuencia en que la cobertura original de bosque es reemplazada por uso agrícola con labranza convencional, y luego de 20 años se inicia la práctica de siembra directa. Datos de Riezebos y Loerts (1998)



Cuando se realizan aradas y rastreadas se entierran residuos, se destruyen agregados del suelo, se incrementa la aireación y se estimula la descomposición microbiana de la materia orgánica. En contraste, cuando los residuos se dejan en la superficie, como ocurre con la siembra directa, éstos protegen el suelo contra la erosión, incrementan la infiltración de agua, disminuyen la evaporación del agua e incrementan el contenido de materia orgánica en la superficie. La información presentada en la Fig. 7 indica que la degradación del suelo puede reducirse cuando se emplean sistemas de manejo que maximizan su cobertura y reducen la descomposición de la materia orgánica.

En la siembra directa, el aumento de materia orgánica ocurre principalmente en la superficie del suelo (Fig. 8), lo cual es el producto de la descomposición de los residuos vegetales que quedan en la superficie. En contraste, en los sistemas de labranza convencional el contenido de materia orgánica es aproximadamente uniforme hasta la profundidad de la labranza ya que se entierran los residuos distribuyéndose uniformemente en profundidad. El efecto del sistema de labranza sobre el contenido total de materia orgánica en la camada de 0–40 cm, en suelos de Choré y Colonia Yguazú, se muestra en la Fig. 9. En ambas localidades se registraron mayores contenidos de materia orgánica en parcelas bajo siembra directa. En Choré, el contenido de materia orgánica aumentó de 43,0 a 44,6 t ha⁻¹ y en Colonia Yguazú de 61,5 a 72,8 t ha⁻¹, lo que representa incrementos anuales de 0,3 y 2,2 t ha⁻¹, respectivamente.

El uso de abonos verdes en la rotación de cultivos contribuye a elevar el contenido de materia orgánica de los suelos.



Fig. 8. Efecto del sistema de labranza sobre el contenido total de materia orgánica del suelo (0–40 cm) en Colonia Yguazú, después de cinco años de siembra directa. Datos de Henklain (1998)

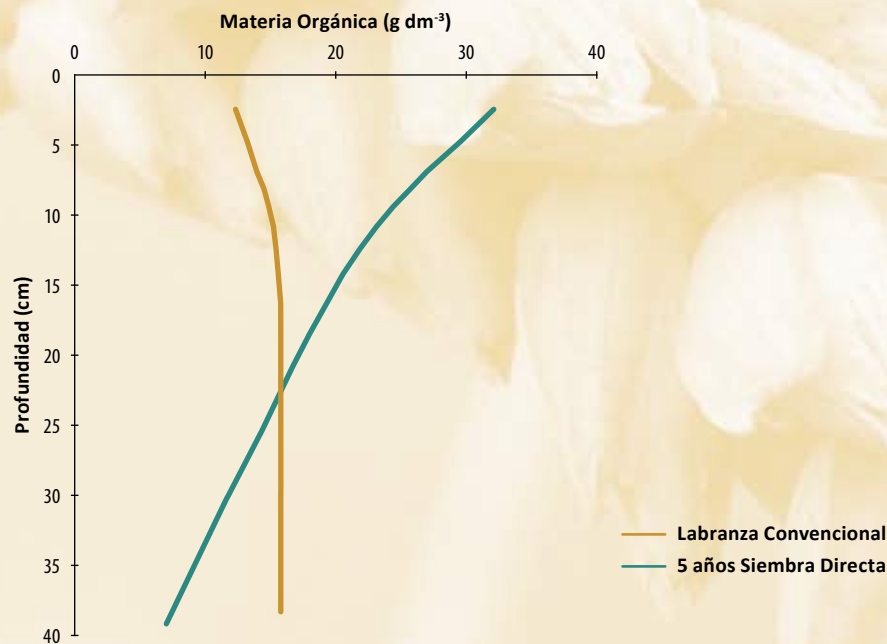
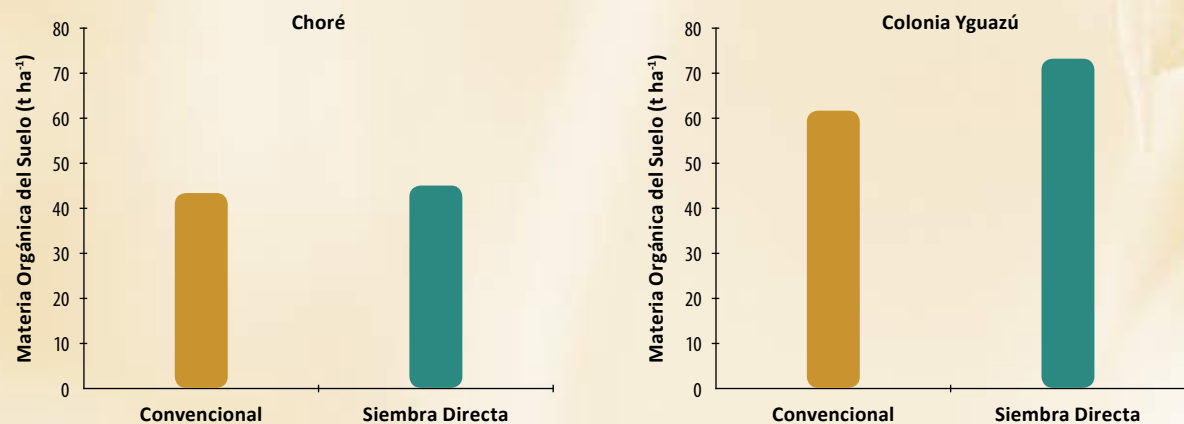


Fig. 9. Efecto del sistema de labranza sobre el contenido total de materia orgánica del suelo (0–40 cm) en Choré y Colonia Yguazú, después de cinco años de siembra directa. Datos de Henklain (1998)



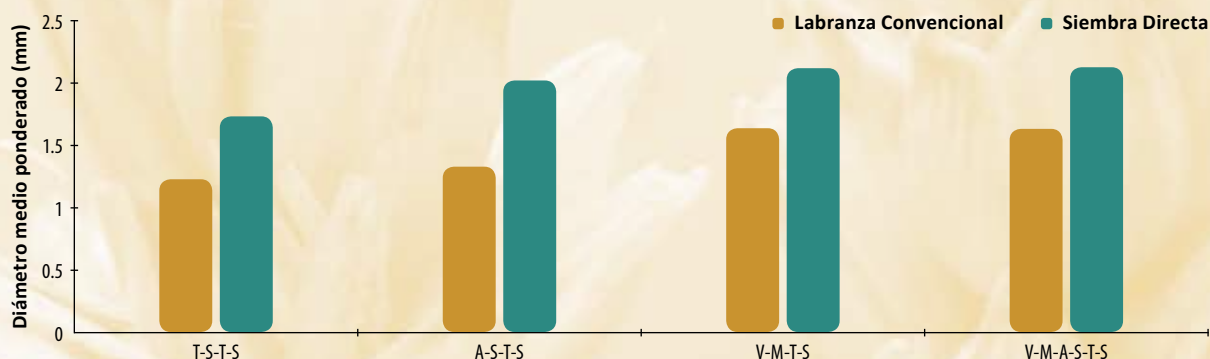
Por otro lado, en suelos de Choré se determinó que el paso de una sucesión Trigo-Soja a la rotación Trigo-Soja-Lupino-Maíz representó un incremento en el contenido de materia orgánica equivalente a 1,5 t ha⁻¹ año⁻¹ (datos no mostrados de Henklain, 1998).

LA ROTACIÓN DE CULTIVOS INFLUYE SOBRE EL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

Romero *et al.* (1994), luego de una evaluación realizada en un experimento de cinco años, que comparaba el sistema de labranza convencional con la siembra directa en Pirapó (Itapúa), también reportaron

mayores contenidos de materia orgánica en suelos de siembra directa, y que éstos tuvieron un claro efecto sobre la estabilidad de los agregados (Fig. 10). La intensificación de cultivos, con la inclusión de maíz en la rotación también influyó positivamente sobre el contenido de materia orgánica y la estabilidad de agregados.

Fig. 10. Efecto del sistema de labranza del suelo y la rotación de cultivos sobre la estabilidad de agregados en un suelo en Pirapó (Itapúa), después de cinco años de siembra directa. T= trigo, S= soja, A= avena, V= vicia, M= maíz. Datos de Romero et al. (1994)



La práctica de siembra directa y la intensificación de cultivos es una estrategia efectiva para restaurar el contenido de materia orgánica en suelos agrícolas. La restauración de mayores contenidos de materia orgánica es crucial para mejorar la estructuración y fertilidad de los suelos, resultando en aumentos en la producción de cultivos.

Datos preliminares del Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay (CETAPAR) indican que las rotaciones de cultivos agrícolas con pasturas ayudan a mejorar la productividad de los suelos, Fig. 11, (P. Paniagua, *comunicación personal*). Con aparente buenos resultados, el CETAPAR está ensayando la rotación Soja-Maíz-Pastura en el ciclo estival y Trigo-Abono Verde-Pastura en el ciclo invernal.

Fig. 11. Las rotaciones de cultivos agrícolas con pasturas ayudan a mejorar la productividad de los suelos



Franzluebbers (2005) reportó incrementos de $1,8 \pm 1,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ cuando se incorporan pasturas en la rotación con cultivos anuales en varias zonas agroclimáticas de los Estados Unidos de América. En Uruguay, García-Prechac *et al.* (2004) también reportaron efectos beneficiosos de la inclusión de pasturas en rotación con cultivos anuales. Estos estudios han demostrado que la materia orgánica del suelo se puede preservar en rotaciones que incluyen pasturas y la práctica de labranza conservacionista. Algunas limitaciones físicas se pueden desarrollar en pasturas con alto tráfico pero la acumulación de materia orgánica en la superficie contribuye a mitigar estos problemas. Las altas productividades que se pueden alcanzar en sistemas de rotación que incluyen pasturas se deben a: i) enriquecimiento de materia orgánica en la superficie, ii) eliminación de algunas malezas, iii) aumento en el almacenamiento de agua, y iv) reducción en la incidencia de algunas enfermedades.

CONCLUSIONES

La materia orgánica cumple un rol fundamental para mantener y mejorar la calidad del suelo y del ambiente (Fig. 12). Suelos degradados pueden recuperarse mediante prácticas que incrementan la materia orgánica del suelo.

Buenas prácticas agrícolas que aumentan el contenido de materia orgánica en el suelo incluyen: siembra directa, intensificación de cultivos, y la inclusión de maíz y pasturas en la rotación.

Fig. 12. **La materia orgánica mantiene y mejora la calidad del suelo y del ambiente**

INFLUENCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO Y LA CALIDAD AMBIENTAL		
Efecto Primario	Efecto secundario	Efecto sobre el ambiente
Residuos en superficie protegen contra las lluvias y la energía solar	Aumento de la infiltración de agua	Mayor recarga de reservas hídricas del suelo
En el suelo promueve buena porosidad y liberación de nutrientes	Aumento de la capacidad de retención de agua	Disminución de la fertilización
Aumenta actividad y diversidad de la fauna y biomasa microbiana del suelo	Aumento de la disponibilidad de N , P, S, Fe, Mn, Cu, Zn	Aumento del secuestro de carbono



Bibliografía

- Franzluebbers, A.J. 2005. Soil organic carbon sequestration and agricultural GHG emissions in the southeastern USA. *Soil Tillage Res.* 83:120–147.
- García-Prechac, F., O. Ernst, G. Siri-Prieto, and J.A. Terra. 2004. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. *Soil Tillage Res.* 77:1–13.
- Henklain, J.C. 1998. Relatorio final: Efeito do manejo de solos sobre as características químicas e físicas dos solos de Yguazu e Chore. IAPAR, Londrina. 66 p.
- Nelson, S.D., and L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 539–579. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2.* 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Romero, A., Causarano, H., Wall, P. Tillage and rotation effects on aggregate stability in southeastern Paraguay. p. 316–318. In: Tanner, D.G., (ed.) 1994. *Developing sustainable wheat production systems. The eighth regional wheat workshop for eastern, central and southern Africa.* Addis Ababa, Ethiopia: CIMMYT. 327 p.

Recomendaciones de fertilización y análisis económico para el cultivo de trigo en Paraguay

MARTÍN M. CUBILLA A. Y MANUEL FERREIRA B.

E-mail: mmcubilla@gmail.com

Resumen

La herramienta más utilizada para elaboración de recomendación de fertilización es el análisis del suelo. La principal finalidad del análisis del suelo, es evaluar el estado de la fertilidad del mismo y determinar la cantidad de nutrientes necesarios para el adecuado desenvolvimiento de las plantas, sirviendo de base para una recomendación racional y económica, de correctivos y fertilizantes. Para que esto sea posible, es necesario tener tablas de interpretación y recomendación elaboradas a partir de experimentos de calibración conducidos a campo. Unos de los mayores desafíos modernos de la fertilidad del suelo, es fornecer cantidades suficientes de nutrientes para que los cultivos puedan expresar su potencial de productividad, siendo al mismo tiempo económicamente viable y ambientalmente seguro.

Actualmente, alrededor del 90% de la producción agrícola mecanizada en Paraguay se realiza bajo el sistema de siembra directa (SSD). Con el avance del sistema en el país, surgieron dudas cuanto a las recomendaciones de fertilizantes, ya que estas fueron elaboradas en la década del 90, y en el sistema convencional de cultivos (SCC) (aración + rastroneda).

La Universidad Federal de Santa María (UFSM), Brasil, mediante un convenio firmado en el año 2002, con la Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO), y otras instituciones públicas y privadas del Paraguay, ha realizado los primeros experimentos de calibración de análisis de suelo en el SSD que permiten realizar recomendaciones preliminares de la fertilización química, de nitrógeno, fósforo y potasio para soja, maíz, trigo y girasol, cultivados bajo el SSD, para nuestras realidades adafoclimáticas.

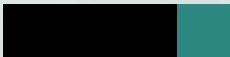
Un aspecto fundamental e importante a considerar para realizar una planificación de corrección de suelos y nutrición de plantas, con correctivos y fertilizantes, son los precios existentes en el mercado de los fertilizantes y del producto a cosechar, o sea la relación precio insumo- precio producto, que en nuestra región presentan un comportamiento muy variable de zafra en zafra. Desde el mes de mayo de 2004 hasta mayo de 2007, se pudo observar/constatar en un levantamiento de la Cooperativa Colonias Unidas, la fluctuación de los precios de los principales fertilizantes (urea, superfosfato triple y cloruro de potasio) los cuáles son los más vendidos y también los más utilizados para mezcla física de fertilizantes por los productores. Observando los comportamientos de precios de estas fuentes de nutrientes, durante el mismo periodo, se noto la baja fluctuación de los precios, sin embargo en los últimos años se verifican una diferencia e inestabilidad de precios. Conociendo esto, enfatizamos la importancia del análisis periódico del suelo, como también acompañar y estar actualizado en los precios existentes en el mercado de los fertilizantes, para tomas de decisiones en el momento adecuado de realizar las correcciones de la fertilidad de la finca.

Para este trabajo se consideraron valores de costos de producción, extra fertilizante por hectárea, que para soja fue de \$205, para maíz de \$250 y para trigo \$255. Hemos considerado una inversión para corregir los suelos, en una sucesión de tres cultivos con las nuevas recomendaciones de fertilización de fósforo y potasio, para campos de clase muy baja, baja y media fertilidad, que con posterioridad se ha mantenido un tasa de fertilización de mantenimiento. Los rendimientos considerados fueron de 2.500 kg/ha para soja, de 4.500 kg/ha para maíz y de 2.500 kg/ha para trigo.

Las recomendaciones de fertilización han sido económicamente rentables para todos los casos en tres cultivos consecutivos en cualquiera de los escenarios considerados y para todos los tipos de suelo a los precios actuales de fertilizantes.

La fertilización nitrogenada en cobertura no solo ayuda a mejorar el rendimiento del cultivo sino también la calidad industrial del grano.





Abstract

Fertilizer recommendations for the wheat crop in Paraguay and its economic analysis

Soil analysis is the most important tool utilized to elaborate fertilizer recommendations. The objective of soil analysis is to evaluate the state of the soil fertility and determine the quantity of nutrients necessary for an adequate plant development. The fertilizer recommendations have to be both, rational and economic. In order to achieve this, it is necessary to develop recommendations based on the calibration experiments conducted in the field and their respective interpretation tables. One of the major challenges in soil fertility is to provide sufficient quantity of nutrients to the crop to express its potential, but at the same time being economically viable and environmentally secure. At present, approximately 90% of the mechanized production in Paraguay is realized under the direct seeding system. The advance of this system created doubts about the fertilizer recommendations elaborated during the 1990s, as they were developed for the conventional tillage system (plowing and harrowing).

The Federal University of Santa Maria, Brazil in collaboration with the Paraguayan Chamber of Cereals and Oilseed Exporters (CAPECO) and other public and private institutions conducted first experiments to calibrate the analysis of soil under the zero tillage system in Paraguay. The preliminary fertilizer recommendations developed for nitrogen, phosphorus and potassium for the crops of soybean, maize, wheat and sunflower, under zero tillage system, are adapted to local agro climatic conditions.

Another important aspect to be considered in planning the soil correction and plant nutrition is the price of the fertilizer and the crop to be harvested. The relationship between the input price and the product price has been extremely variable from year to year in this region. From May 2004 to May 2007, Colonias Unidas Cooperative observed extreme variation in the prices of major fertilizers (urea, triple super phosphate and potassium chloride) which are sold to or utilized by the farmers. This variation and instability of prices has also been observed during the last years. Based on this, it is important to conduct regular soil analysis and also to keep an eye on the fertilizer prices in the market in order to make proper decisions on soil correction and fertilization.

For this analysis, the cost of production per hectare, less fertilizer, considered for soybean was US\$ 205, US\$ 250 for maize and US\$ 255 for wheat. The investment in soil fertilization was considered in a succession of three crops using the new recommendations for phosphorus and potassium fertilization. The average yields considered for various crops were 2500 kg/ha for soybean, 4500 kg/ha for maize and 2500 kg/ha for wheat. The analysis done to calculate the financial results demonstrates that at the present fertilizer prices, fertilization has been economically efficient for all cases in the three crops and in all scenarios of soil fertility considered.

INTRODUCCIÓN

La falta de fertilización adecuada es uno de los problemas o desafíos mas importantes que afecta la productividad del cultivo del trigo en Paraguay (Kohli y Cubilla, 2007).

El rendimiento del cultivo en una región es la resultante de la interacción entre factores ecológicos, genéticos y tecnológicos. El potencial del cultivo difiere entre distintas regiones productivas, debido a factores fundamentalmente climáticos. Sin embargo, la nutrición del cultivo, y su manejo a través de la fertilización, constituye uno de los principales recursos que limitan la producción de trigo en muchas regiones del mundo (García, 2008).

La práctica adecuada de la fertilización, debe basarse siempre en la correcta interpretación de los niveles de nutrientes surgidos de los resultados analíticos del suelo de la finca y sobre todo, con base a investigaciones locales para las condiciones edafo-climáticas. Actualmente Paraguay, dispone de nuevas tablas de recomendaciones de fertilización para trigo bajo el sistema de siembra directa (Cubilla & Wendling, 2005, RENALAS, 2005, Barreto, 2008). Este sistema conservacionista del suelo, requiere mayor y mejor información para el manejo de la fertilización química, de manera a aumentar la productividad, disminuir costos de producción, y disminuir impactos ambientales negativos.

Es importante señalar también la importancia económica derivada de prácticas adecuadas de fertilización en la producción agrícola. A pesar del reconocimiento por parte de productores de la necesidad de fertilización de los suelos paraguayos, el limitado análisis de las necesidades reales de dichos suelos tiende a generar errores que pueden generar costos elevados en casos de exceso o reducciones de rendimiento en situación de sub utilización de fertilizantes. La optimización de sistemas de corrección de suelos sobre sistemas de siembra directa genera impactos importantes en los retornos económicos de los productores.

Con el avance del sistema de siembra directa en el país, surgieron dudas cuanto a las recomendaciones de fertilizantes, ya que estas fueron elaboradas en la década del 90. La base de esta recomendación fueron experimentos realizados en el sistema convencional de cultivos. Además durante este periodo, la calibración de métodos de análisis fue basado en suelos diferentes a los utilizados hoy por los laboratorios. Cabe señalar que las recomendaciones utilizadas en el país son diferentes que aquellas de diferentes localidades del Brasil; como Paraná, Sao Paulo, Mato Grosso, Rio Grande del Sur, Minas Gerais, entre otras, así como también de la Argentina e inclusive de los Estados Unidos. Estas recomendaciones, no fueron calibradas ni testeadas para las condiciones nacionales, generando serios cuestionamientos sobre su eficiencia y adecuación.

Es importante resaltar que la mayoría de los experimentos de calibración que han generado recomendaciones de fertilizantes utilizados a nivel nacional, inclusive en la mayoría de los estados del Brasil, fueron desarrollados bajo el sistema convencional de cultivo. Con los cambios en el potencial productivo de las variedades de trigo utilizadas y en las prácticas de manejo del suelo, las recomendaciones sobre la fertilización también sufrieron el cambio. Los recientes experimentos de calibración bajo la siembra directa, indican que los tenores críticos de fósforo y potasio, en la camada 0 a 10 cm, son superiores a los anteriormente propuestos bajo el sistema convencional de cultivo.

La Universidad Federal de Santa María (UFESM), Brasil, mediante un convenio firmado con la Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO), y otras instituciones públicas y privadas del Paraguay, ha realizado los primeros experimentos de calibración de análisis de suelo. Los resultados logrados permiten realizar recomendaciones de la fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio, para el cultivo del trigo bajo el sistema de siembra directa.

FERTILIZACIÓN EN TRIGO

Para lograr una buena productividad y rentabilidad de trigo, no es suficiente aplicar grandes cantidades de fertilizantes. Lo más importante es tener un balance de los nutrientes aplicados y mantener un ambiente favorable para absorción de los mismos por las plantas. Fertilización balanceada es aquella

que provee los nutrientes que están en falta en el suelo y atiende las necesidades de la planta. La ecuación económica derivada del planteamiento nutricional adecuado también tenderá en el corto y mediano plazo a mejorar. El sistema de fertilización debe apuntar a suplir la demanda del cultivo y al mismo tiempo, si es el caso, elevar los niveles de nutrientes en el suelo hasta el nivel de suficiencia (categoría de fertilidad alta). En el caso que el nivel de nutrientes se encuentre en la categoría alta, lo recomendado es mantener esta categoría, reponiendo lo que el cultivo exporta. Esto garantizará una alta producción de los cultivos en el transcurrir del tiempo.

La fertilización propuesta aquí se basa en la corrección y en la manutención de los nutrientes del suelo. La corrección de la fertilidad es realizada, considerando deficiencias o desequilibrios de elementos esenciales para el desarrollo de las plantas cultivadas. La manutención es basada en la reposición de los nutrientes extraídos con los productos del cultivo más las posibles pérdidas del sistema. La remoción de trigo por tonelada de grano, en el caso del nitrógeno es alrededor de 22 kg, de fósforo es 10 kg, y de potasio es de 6 kg, respectivamente. La reposición de nutrientes debería ser equivalente a la cantidad extraída por el cultivo, para mantener la fertilidad del suelo en la categoría deseada.

Un aspecto importante a considerar al realizar una planificación de corrección de la fertilidad de los suelos y nutrición de plantas, es el costo de fertilizantes y el precio final del producto a cosechar. En otras palabras, es necesario tener en cuenta la relación precio-insumo y precio-producto ya que estas muestran un comportamiento variable de zafra en zafra. Un trabajo realizado por la Cooperativa Colonias Unidas señala la baja fluctuación de los precios de las diferentes formulaciones de fertilizantes hasta el 2005. Sin embargo, en los últimos años se verifican una aguda diferencia y volatilidad de precios tanto de insumos como de productos finales comercializados. Con estos resultados es crítico analizar el suelo de forma periódica, como también acompañar y estar actualizado en los precios existentes en el mercado de los fertilizantes. Solo este conocimiento en el momento de realizar las correcciones de la fertilidad puede ayudar a tomar las mejores decisiones.

RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA PARA TRIGO

La determinación de la cantidad de nitrógeno a aplicar para el trigo, es recomendada a partir del cultivo anterior; el tenor (%) de materia orgánica; y la expectativa de productividad. En el cuadro 1, se encuentran las dosis recomendadas a aplicar para el cultivo de trigo. El acompañamiento y el histórico de cada parcela (fertilización, sistema de manejo del suelo, productividad, etc.); la expectativa de precio del producto y el precio del insumo, son indispensables también para la toma de decisiones.

Cuadro 1. **Recomendación de fertilización nitrogenada para trigo en sistema de siembra directa**

Cultivo anterior	Profundidad de muestreo (0-10 cm)		Expectativa de productividad (kg ha ⁻¹)		
	Materia Orgánica		< 2000	2000-3000	> 3000
	---%---		-----kg ha ⁻¹ de N-----		
Maíz	Bajo	< 2	60	80	100
	Medio	2 - 3	40	60	80
	Alto	> 3	20	40	60
Soja	Bajo	< 2	40	60	80
	Medio	2 - 3	20	40	60
	Alto	> 3	0	20	40

Fuente: Wendling, 2005; ajustada por la RENALAS, 2005.

Como el nitrógeno es muy móvil en el suelo, es recomendable realizar las aplicaciones del nutriente en dos diferentes épocas. Una primera dosis en la siembra (15 a 20 kg ha⁻¹), que es muy importante para proporcionar mayor disponibilidad inicial para el cultivo, y el resto en cobertura, que podrá ser realizada a los 30-40 días después de la emergencia. Fatecha (1999) recomienda la aplicación de 20 kg ha⁻¹ de N en la siembra, y 40 kg ha⁻¹ en cobertura cuando el tenor de materia orgánica es bajo (< 1,2 %); y 30 kg ha⁻¹ de N en cobertura cuando la materia orgánica se encuentre con un tenor medio (1,2 a 3,0 %). Comparando estas recomendaciones y los resultados de la nueva investigación realizada por Wendling, 2005 y ajustada en la reunión de RENALAS del mismo año, se verifica concordancia entre ambos trabajos.

Las aplicaciones de N en superficie, deben ser realizadas con condiciones climáticas adecuadas para disminuir las pérdidas, principalmente con el uso de urea. Las principales características que deben ser observadas son: a) humedad alta en el suelo, o expectativa próxima de lluvia, b) baja velocidad del viento; y c) temperaturas no muy altas. Fatecha (1999) alerta para no realizar la aplicación de N en cobertura bajo condiciones secas.

RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN FOSFATADA Y POTÁSICA PARA TRIGO

El criterio de aumento de la fertilidad del suelo hasta el nivel de suficiencia (categoría “Alta”), en el caso de fósforo y potasio, tiene por objetivo elevar la fertilidad del suelo con base a las necesidades de los cultivos. Esta metodología es la más utilizada por los laboratorios en los estudios de calibración de métodos de análisis de suelos y recomendaciones de fertilizantes. La misma fue adoptada para hacer las recomendaciones en varios estados del Brasil; como también en Paraguay. Los resultados de trabajos de investigación realizados a campo para condiciones nacionales han sido publicados.

Las categorías de disponibilidad de fósforo y potasio, respectivamente, para el método Mehlich-1 conforme el contenido de los nutrientes extractables están presentadas en los cuadros 2 y 3.

Cuadro 2. **Categorías de disponibilidad de fósforo (P) extractable por el método Mehlich-1, conforme la clase de suelo según el tenor de arcilla, y el contenido de fósforo en el suelo**

Categoría	Clase de suelo conforme el tenor de arcilla ⁽¹⁾	
	1	2
	----- mg dm ⁻³ de P -----	
Muy baja	≤ 4,0	≤ 5,0
Baja	4,1 - 8,0	5,1 - 10
Media	8,1 - 12,0	10,1 - 15,0
Alta	12,1 - 24,0	15,1 - 30,0
Muy alta	> 24	> 30

⁽¹⁾ Clase 1: 410 - 600 g kg⁻¹ de arcilla; Clase 2: 210 - 400 g kg⁻¹ de arcilla.

La recomendación de fertilización fosfatada y potásica fue realizada en base al nivel de fósforo y potasio extractable en el suelo. El fósforo extractable, por ejemplo, puede ser determinado por los métodos de Bray I (Argentina y Uruguay), Olsen (Bolivia y Chile), o Mehlich-1 y resinas (Paraguay y Brasil).

Cuadro 3. **Categorías de disponibilidad de potasio (K) extractable por el método Mehlich-1, conforme el contenido de potasio en el suelo**

Categoría	mg dm ⁻³ de K
Muy baja	hasta 25
Baja	26 – 50
Media	51 – 75
Alta	76 – 150
Muy alta	mayor que 150

La filosofía de la recomendación de fertilización fosfatada y potásica, tiene por objetivo elevar el tenor de los nutrientes en el suelo (fertilización correctiva), cuando están por debajo del nivel crítico, a niveles considerados adecuados (categoría “alta”) para que los cultivos expresen su potencial de rendimiento. A partir de ahí, solo se debe realizar las fertilizaciones de manutención (M) y reposición (R), como indican los cuadros 4 y 5.

Cuando el tenor de los nutrientes en el suelo se encuentra en la categoría “alta”, el objetivo de la recomendación es mantener el tenor en esa categoría. Cuando el tenor de los nutrientes en el suelo está en la categoría “muy alta”, se puede permanecer por un período sin fertilización inclusive, y de esa forma economizar y construir la fertilidad de otros nutrientes, como también poder corregir otros problemas que puedan estar limitando la productividad de los cultivos en la propiedad.

Cuadro 4. **Recomendación de fertilización fosfatada correctiva en kg/ha de P₂O₅ en el sistema de siembra directa**

Categoría	Recomendación para tres cultivos en sucesión		
	1 ^{er} cultivo	2 ^{do} cultivo	3 ^{er} cultivo
	-----kg/ha de P ₂ O ₅ -----		
Muy baja	80 + M	70 + M	50 + M
Baja	35 + M	35 + M	30 + M
Media	25 + M	M	M
Alta	M	M	M
Muy alta	R	R	R

M = manutención (tasa de exportación de cultivos + pérdidas).

R = reposición (exportación de cultivos). Trigo= 10 kg de P₂O₅, maíz= 8 kg de P₂O₅ y soja: 12 kg de P₂O₅ por tonelada de granos producidos.

El punto clave a llevar en consideración en el plan de fertilización del fósforo es el aumento de este nutriente a un nivel de suficiencia (categoría “alta”) para los cultivos y así evitar problemas futuros de nutrición de los mismos. La metodología para lograr este objetivo y minimizar los gastos económicos elevados con fertilizantes fosfatados, es programar un plan de fertilización para 3 cultivos en sucesión. Por ejemplo, iniciar con trigo 2010, luego soja o maíz 2010/11 y por último maíz zafraña o trigo nuevamente. Siendo así, se logra corregir el suelo, nutrir la planta y al tercer cultivo llegar a un nivel de suficiencia de P (categoría “alta”) para los cultivos siguientes, donde solo será necesario nutrir el cultivo y mantener alta la fertilidad del suelo.

Cuadro 5. **Recomendación de fertilización potásica correctiva en kg/ha de K₂O en el sistema de siembra directa**

Categoría	Recomendación para tres cultivos en sucesión		
	1 ^{er} cultivo	2 ^{do} cultivo	3 ^{er} cultivo
	-----kg ha ⁻¹ de K ₂ O -----		
Muy baja	150	100	60
Baja	90	60	40
Media	60	M	M
Alta	M	M	M
Muy alta	R	R	R

M = manutención (tasa de exportación de los cultivos + pérdidas)
R = reposición (exportación de los cultivos) Trigo y maíz: 6 kg de K₂O por tonelada de granos y soja: 20 kg de K₂O por tonelada de granos exportados.

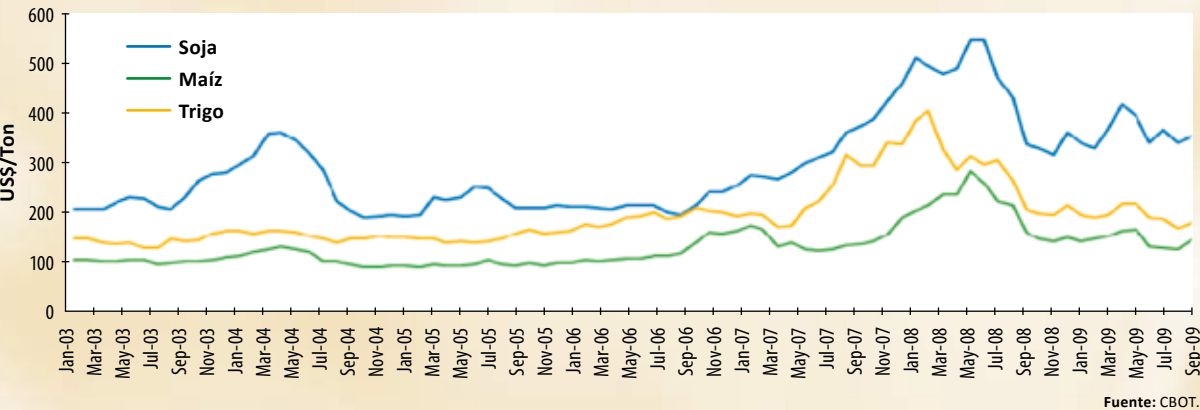
Siguiendo el ejemplo del fósforo, la intención para lograr el aumento del potasio a un nivel de suficiencia (categoría “alta”) y minimizar gastos económicos elevados con fertilizantes potásicos, es su aplicación en 3 cultivos. De esta manera es posible economizar y alcanzar el nivel deseado, en un año y medio o aproximadamente 3 cultivos (cuadro 5). Después de tres cultivos en sucesión, es necesario realizar otro análisis de suelo para identificar si el objetivo, tanto para el fósforo como para el potasio, fue alcanzado o no. En caso de haber logrado el objetivo, uno puede adoptar la estrategia de manutención del tenor nutritivo, donde la cantidad de nutrientes a ser adicionado debe ser igual al total de nutrientes exportado por el cultivo, más las posibles pérdidas, que en general son de aproximadamente 25%.

Cuando los tenores de fosforo y potasio en el suelo, extraídos por Mehlich-1, se encuadran arriba del tenor crítico, las fertilizaciones pueden ser realizadas al voleo tanto como en la línea de siembra, pues presentan la misma eficiencia (Kleper & Anghinoni, 1996; Wiethölter et al., 1998, Ceretta & Pavinato, 2003).

ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA FERTILIZACIÓN EN TRIGO

Si bien los aspectos técnicos son fundamentales en los trabajos de fertilización en cualquier cultivo, los aspectos económicos son también importantes y en muchos casos los principales generadores de incentivos a la hora de decisión por parte de los productores. Las grandes variaciones en precios que han sufrido los insumos agrícolas por efecto de la burbuja financiera mundial que arrastró el precio de los commodities a valores nunca antes vistos (incluido el petróleo), y su posterior desplome ha tenido un impacto notable en los resultados agrícolas (Fig.1).

Fig. 1. **Variaciones en precios internacionales sufridos por los principales cultivos paraguayos**



Para incorporar al análisis de los aspectos económicos se han asignado valores promedios de rendimientos estimados en cosecha, teniendo en cuenta todos los cultivos que se incorporan al sistema de rotación utilizado por el agricultor. En este ejercicio no se consideran casos donde los tres cultivos en consideración tienen rendimientos óptimos, de manera a someter a mayor stress al análisis, a pesar de la existencia de productores con tratamientos particulares que superan estos valores.

En los últimos años con el boom de precios de commodities agrícolas los precios de sus insumos también han sufrido variaciones sustanciales. Esta divergencia entre precios de insumos y productos finales ha acarreado pérdidas a los productores, considerando los rezagos propios entre los periodos de siembra y cosecha. Por esta razón, se ha procedido a definir cinco escenarios de precios de producto y costos estimados en el Cuadro 6.

Cuadro 6. **Escenarios teóricos de precios de producto y costos estimados de dos insumos y tres principales cultivos de Paraguay**

Concepto	Escenarios				
	1	2	3	4	5
P (US\$/kg)	0,57	1,30	0,57	1,30	1,30
K (US\$/kg)	0,75	0,75	1,10	1,10	1,10
Soja (US\$/ton)	300	300	300	300	160
Maíz (US\$/ton)	130	130	130	130	90
Trigo (US\$/ton)	190	190	190	190	130

Los supuestos analizados para cada escenario son los siguientes:

- Si bien el interés principal del presente trabajo es el análisis del impacto de la fertilización en trigo, el agricultor paraguayo siempre alterna cultivos. En el supuesto caso, este agricultor realizará un cultivo de soja de verano, un maíz de media estación (zafriña) y un trigo de invierno. En todos los casos la soja será el cultivo principal.
- Los valores de rendimiento considerados son promedios nacionales.
- Se han considerado combinaciones de solamente dos valores para cada insumo y producto considerado, a saber:
 - **Fósforo:**
Bajo: \$ 0,57 kg⁻¹
Alto: \$ 1,30 kg⁻¹
 - **Potasio:**
Bajo: \$ 0,75 kg⁻¹
Alto: \$ 1,10 kg⁻¹
 - **Soja:**
Bajo: \$ 160 ton⁻¹
Alto: \$ 300 ton⁻¹
 - **Maíz:**
Bajo: \$ 90 ton⁻¹
Alto: \$ 130 ton⁻¹

— **Trigo:**

Bajo: \$ 130 ton⁻¹

Alto: \$ 190 ton⁻¹

- Los referidos valores corresponden, en el caso de productos, a precios obtenidos en la finca por el productor en distintas etapas, y en el caso de insumos a precios mínimos y máximos efectivamente pagados por el productor.
- Las combinaciones de escenarios se han realizado considerando situaciones de stress que podría enfrentar eventualmente el productor.
- Se han ponderado los valores de fósforo y potasio a precios de junio 09
- Se ha desarrollado un modelo de flujo de caja del productor a 5 años sobre valores de 1 ha.

— **Las compras se realizan en**

Setiembre para soja,

Diciembre para maíz

Abril para trigo

— **Los valores de costos extra fertilizante por hectárea considerados son de**

Soja US\$ 205

Maíz US\$ 250

Trigo US\$ 255

- Se ha considerado una inversión de tres cultivos (iniciando con soja) para campos de clase muy baja, baja y mediana fertilidad con el objeto de recomponer estos suelos a niveles adecuados de fertilidad. Con posterioridad a la corrección de los suelos se ha considerado una tasa de fertilización de mantenimiento.
- Los Rendimientos considerados fueron de:
 - Soja: 2.500 kg ha⁻¹
 - Maíz: 4.000 kg ha⁻¹
 - Trigo: 2.500 kg ha⁻¹
- Se han considerado escenarios para las campañas agrícolas con la secuencia bueno, medio, malo, medio, bueno. Se han contemplado 4 escenarios de campañas agrícolas
 - Alternos Buenos: Se inicia con soja buena, maíz medio y trigo malo.
 - Alternos Malos: Se inicia con soja mala, maíz medio y trigo bueno.
 - Comienzo Bueno: Se inicia con soja buena, maíz bueno y trigo bueno.
 - Comienzo Malo: Se inicia con soja mala, maíz malo y trigo malo.
- Las campañas han generado mermas en el rendimiento de los distintos cultivos según los siguientes parámetros:
 - Bueno: Rendimiento 100%

- Medio: Rendimiento 80%
- Malo: Rendimiento 60%
- Se ha considerado una tasa de descuento para el Valor Actual Neto del 12% anual en dólares americanos.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico se ha realizado con un sistema de equilibrio parcial y con un sistema de estática comparativa, es decir, considerando el cambio de una sola variable a la vez¹.

Las recomendaciones de fertilización han sido económicamente rentables para todos los casos en tres cultivos consecutivos en cualquiera de los escenarios considerados y para todos los tipos de suelos a los precios actuales de fertilizantes (Cuadro 7). La única excepción ha sido el caso de corrección de suelos de muy baja fertilidad en escenarios de muy malas campañas agrícolas. La inversión en corrección de suelos ha generado retornos sumamente importantes en promedios, incluso ante consideraciones de bajos rendimientos por eventos climáticos y en suelos de muy baja fertilidad natural.

Cuadro 7. **Resultados del análisis económico de la fertilización en distintos escenarios productivos y de costos de insumos para tres clases del suelo**

Escenario	Clase de Suelo	VAN	TIR	Utilidad Final
Alternos Buenos	Muy Bajo	\$ 425,42	81,68%	\$ 554,32
	Bajo	\$ 596,83	132,53%	\$ 731,32
	Medio	\$ 747,61	190,61%	\$ 889,07
Alternos Malos	Muy Bajo	\$ 216,47	39,01%	\$ 349,32
	Bajo	\$ 387,88	68,96%	\$ 526,32
	Medio	\$ 538,66	103,29%	\$ 684,07
Bueno	Muy Bajo	\$ 672,39	104,23%	\$ 851,32
	Bajo	\$ 843,80	153,75%	\$ 1.028,32
	Medio	\$ 994,58	208,99%	\$ 1.186,07
Medio	Muy Bajo	\$ 317,87	56,15%	\$ 451,82
	Bajo	\$ 489,28	94,03%	\$ 628,82
	Medio	\$ 640,06	138,40%	\$ 786,57
Malo	Muy Bajo	-\$ 36,65	6,74%	\$ 52,32
	Bajo	\$ 134,76	34,96%	\$ 229,32
	Medio	\$ 285,54	68,79%	\$ 387,07
Promedio		\$ 483,63	98,81%	\$ 622,40

CONSIDERACIONES FINALES

La obtención de elevados rendimientos de trigo, es una necesidad en función de los altos costos de producción y la creciente competitividad debido al proceso de globalización. Lograr elevados rendimientos es una compleja interacción de factores entre clima, planta y suelo. Para lograr éxito, es necesario tener el mejor ambiente posible para el crecimiento del cultivo, utilizando prácticas de manejo conservacionista, fertilización con criterios adecuados, selección de variedades adaptadas para cada región, correcta épocas de siembra y la utilización del control integrado de malezas, plagas y enfermedades. Las combinaciones de estas prácticas varían en diferentes situaciones de producción y niveles de manejo de la fertilidad del suelo; pero son fundamentales para el éxito final.

¹ Para más información, ver Varian (1990).

Para la fertilización de cultivos en el sistema de siembra directa, se sugiere adoptar las recomendaciones que son un resultado de las investigaciones locales. Por tanto, el gerenciamiento de los recursos y la toma de decisiones en el manejo de la fertilidad de los suelos puede ser la diferencia entre el fracaso y el éxito de la agricultura nacional.

La práctica de fertilización en trigo en particular y en la agricultura en general, es una inversión orientada a la generación de rendimientos económicos estables de mediano plazo y constituye un sistema de cobertura contra eventos que han generado altísima volatilidad en la agricultura paraguaya. La globalización de la producción agrícola ha dotado a ésta del riesgo adicional de alta volatilidad en precios de productos. La construcción del suelo se constituye así en una tarea fundamental orientada a reducir la volatilidad climática.

Se sabe que la fertilización realmente efectiva por el productor, va a depender también de cuestiones como el histórico del área, condiciones financieras y de crédito, expectativa de productividad y del precio de los productos agrícolas, pero, se sugiere tomar decisiones concretas y conscientemente; y para esto, el muestreo eficiente del suelo (época y metodología correcta) para análisis de la fertilidad del mismo, es fundamental.

Bibliografía citada

- BARRETO, F. 2008. Recomendações de fertilização fosfatada e potássica para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. Tesis de doctorado. Universidad Federal de Santa Maria, RS, Brasil.
- CERETTA, C. A. & PAVINATO, P. S. Adubação em linha ou a lanço no plantio direto. In: VI curso de fertilidade do solo em plantio direto, 2003. Trabalhos publicados. Ibirubá. p. 23-35.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre: SBRS - Núcleo Regional Sul, 2004. 394p.
- CUBILLA, A.M.M. Calibração visando recomendações de fertilização fosfatada para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.160p. (Tese de Mestrado).
- FATECHA, A. Guía para la fertilización de cultivos anuales y perennes de la región oriental del Paraguay. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Subsecretaría de Estado de Agricultura, Dirección de Investigación Agrícola. Caacupé, Paraguay, 1999.
- GARCIA, F. 2008. Manejo nutricional del cultivo de trigo: ¿Donde estamos y donde vamos?. In Trigo en SD. G. Fernández Palma and M. E. Magnelli (ed.). AAPRESID. Rosario, Santa Fe, Argentina. ISSN 1850-0633.
- KLEPER, D.; ANGHINONI, I. Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos de solo. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v.2 p.79-86, 1996.
- KOHLI M.M & CUBILLA, L.E, Primer Seminario Nacional de Trigo: “del grano al pan”. Asunción: CAPECO, 2007. 120p.
- MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; BOHNEN, H. Métodos de análise do Laboratório de Análise de solo In: Recomendações de adubo e calcário para as principais culturas do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS, 1969. 39p. (Boletim Técnico, 2).
- SCHLINDWEIN, J.A. Calibração de métodos de determinação e estimativa de doses de fósforo e potássio em solos sob sistema plantio direto. Porto Alegre – UFRGS, 2003. 169f. Tese doutorado.
- VARIAN, HAL, (1992), *Microeconomic Analysis*, New York: WW Norton & Co. 3rd. Edition.
- WENDLING, A. Recomendação de nitrogênio e potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 124p. (Tese de Mestrado)
- WIETHÖLTER, S.; BEN, J. R.; KOCHHANN, R. A. & PÖTTKER, D. Fósforo e potássio no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. SBRS/NRS. Lages, SC.1998. 160p.

El papel de los abonos verdes en reducir la dependencia a la fertilización nitrogenada: La experiencia en un Oxisol del Alto Paraná

FRANCISCO J. VALLEJOS M.

Coordinador, Programa de Conservación de Suelo, IAN.

E-mail: fjvallejasm@hotmail.com

Resumen

Los abonos verdes son cultivos que se siembran para mejorar el suelo ya que contribuyen a su sostenibilidad a largo plazo. Entre los años 1994 a 2000 se realizó el Proyecto de Desarrollo y Difusión de Sistemas de Aprovechamiento del Suelo orientado a su conservación. Los ensayos de rotación de cultivos compararon cuatro sistemas de cultivos en siembra directa con cobertura en el invierno y cobertura en el verano. Estos fueron fertilizados anualmente con la fórmula 20 kg/ha P_2O_5 y 40 kg/ha K_2O , excepto para el trigo del sistema II y el maíz que no recibieron N. En el de cobertura de verano la soja fue inoculada con *Bradyrhizobium*. En los seis años estudiados, el trigo produjo en promedio 2185 kg/ha de rendimiento sobre los sistemas de cultivos, variando entre 1587 a 2891 kg/ha. La productividad media obtenida estuvo de acuerdo con los 20 kg/ha de N mineral aplicado. En el sistema II que dependió de N aportado por la *Crotalaria juncea*, no se observaron diferencias con la fertilización química; solo en un año favorable alcanzó 2806 kg/ha. Esta productividad requerirá de la aplicación de 50 kg/ha de N mineral.

La productividad media del maíz en los sistemas de cultivo II y III fue de 5962 kg/ha llegando a ser el máximo de 7360 kg/ha. La productividad media próxima a 6000 kg/ha fue posible debido a la fijación simbiótica realizada por el Lupino Blanco Amargo, lo que requeriría la aplicación de 70 kg/ha de N mineral. La presencia de abonos verdes en los sistemas II y III produjo una mayor cantidad de rastrojos alcanzando biomásas consideradas suficientes para mantener el suelo productivo. Se recicló más carbono, importante para el mantenimiento de la materia orgánica del suelo, hasta un 50% más de N disponible para el trigo y el maíz y más K_2O particularmente para el sistema III.

La productividad anual de granos de los diferentes sistemas fue similar en tanto que las cantidades de nutrientes exportadas en los granos, en cuanto a la fórmula de fertilización utilizada, fue insuficiente en especial para el potasio. Las menores cantidades exportadas por el sistema IV son el resultado de las cosechas perdidas de soja precoz y maíz tardío debidas a sequías y heladas.

Abstract

The role of green manure crops in reducing dependence on nitrogen fertilization: Experiences in an Oxisol of Alto Parana

The green manures are the crops seeded to improve the soil and contribute to its long term sustainability. Between 1994 and 2000, a project 'Development and Extension of Soil Utilization Systems' aimed at soil conservation was conducted. The crop rotation trials compared four cropping systems in direct seeding with summer and winter ground cover. These systems were fertilized annually using a mixture of 20 kg/ha of P_2O_5 and 40 kg/ha of K_2O , except for the wheat crop in system II and maize which did not receive any nitrogen. During the summer, soybeans were inoculated with *Bradyrhizobium*. In the six years study, wheat gave an average yield of 2185 kg/ha over all the systems, ranging between 1587 and 2891 kg/ha. The average productivity obtained is in line with 20 kg/ha of mineral nitrogen applied. In system II, that depended on the nitrogen provided by *Crotalaria juncea*, no differences were observed with the mineral fertilization; the best yield being 2806 kg/ha. This productivity would require the application of 50 kg/ha of mineral nitrogen.

The average maize productivity in the cropping systems II and III was 5962 kg/ha reaching to a maximum of 7360 kg/ha. The average productivity of around 6 tons/ha which requires an application of approximately 70 kg of mineral nitrogen was made possible through the nitrogen fixation by Bitter White Lupin. The presence of green manures in the systems II and III produced large quantity of stubble considered sufficient for maintaining soil productivity. More carbon for maintaining the soil organic matter, availability of almost 50% more nitrogen for wheat and maize crops and more potassium especially for the system III were recycled. The annual productivity of the grains in the different systems was similar, in spite of the insufficient fertilization utilized, especially for potassium, and considering the amount of nutrients exported in the grain. The low quantities exported by the system IV were caused by the loss of early soybean and late maize crops to drought and frost respectively.

El abono verde ayuda a mejorar la fertilidad del suelo.



INTRODUCCIÓN

Los abonos verdes son cultivos que se siembran para mejorar el suelo. Son herramientas que contribuyen a la sostenibilidad de dicho recurso (Derpsch *et al.*, 2000). Una de las maneras en que se puede apreciar su contribución es valorando sus efectos residuales positivos sobre los cultivos que le siguen en un sistema de rotación de cultivos. Entre esos efectos se destaca su papel como fertilizante, siendo su aporte de nitrógeno el más conocido (Vallejos *et al.*, 2001). La importancia de los abonos verdes aumenta en cultivos con estrechos márgenes de rentabilidad, como el trigo, especialmente en años con una relación de precios de insumos: precio del grano desfavorable para el productor.

Entre los años de 1994 a 2.000 se realizó el Proyecto Desarrollo y Difusión de Sistemas de Aprovechamiento del Suelo Orientados a su Conservación, “Conservación de Suelos MAG – GTZ”. Durante este periodo y mediante un acuerdo con la JICA, se instalaron una serie de experimentos en el Centro Tecnológico Agropecuario en Paraguay, “CETAPAR”. El experimento de rotación de cultivos fue uno con el objetivo de estudiar las estrategias de fertilización usando los abonos verdes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento rotación de cultivos fue en el campo experimental del CETAPAR/JICA. Dicho campo está ubicado en el Distrito Yguazú, Departamento de Alto Paraná, a 25° 27' de latitud sur y 55° 02' de longitud oeste, con una altitud de 280 msnm y en un suelo Oxisol. El clima del lugar se clasifica según Koeppen (1931) como Cfa: subtropical, húmedo, mesotérmico, con veranos calurosos e inviernos con heladas ocasionales y tendencia de concentración de lluvias en los meses de verano, sin estación seca definida.

En el experimento de rotación de cultivos se compararon los siguientes sistemas de cultivos en siembra directa:

- El **sistema I** con la secuencia trigo (100 %) /soja (100 %), considerada doble monocultivo, porque ambos se sembraron todos los años en el mismo lugar.
- El **sistema II** con la rotación de dos años: trigo (50 %)/lupino blanco amargo (50 %) en el invierno y soja (50 %) /maíz (50 %) en el verano. Después de la cosecha del maíz se sembró la *Crotalaria juncea*.
- El **sistema III** con la rotación de tres años: trigo (33 %) /lupino blanco amargo (33 %)/avena negra (33 %) en el invierno y soja (66 %) /maíz (33 %) en el verano. Después de la cosecha del maíz también se sembró la *Crotalaria juncea*.
- El **sistema IV** con el trigo (50 %) /maíz tardío (50 %) en el invierno y la soja (precoz 50 % y tardía 50 %) /girasol (50 %) en el verano.

Los sistemas de cultivos estudiados, las proporciones de siembra y el período que ocuparon se observan en el Cuadro 1 y la Figura 1.

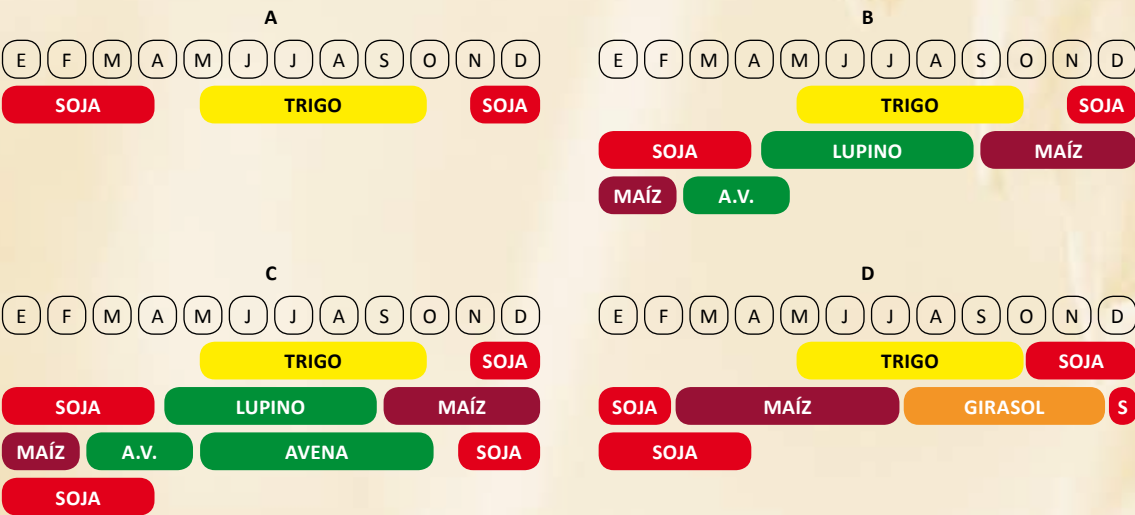
Cuadro 1. **Sistemas de cultivos y estrategias de fertilización del experimento de rotación de cultivos, CETAPAR, Yguazú. 1.994 a 2.000**

	Cobertura en el Invierno		Cobertura en el Verano	
Sistema I	Trigo (F)	100%	Soja (I)	100%
Sistema II	Trigo (F)	50%	Soja (I)	50%
	Lupino	50%	Maíz (F)	50% Crotalaria
Sistema III	Trigo (F)	33%	Soja (I)	33%
	Lupino	33%	Maíz (F)	33% Crotalaria
	Avena (F)	33%	Soja (I)	33%
Sistema IV	Trigo (F)	50%	Soja (p) (I) - Maíz (t)	50%
	Maíz (t) - Girasol (F)	50%	Soja (t) (I)	50%

F) Fertilizado anualmente, con la fórmula 20 kg.ha⁻¹ N, 60 kg.ha⁻¹ P₂O₅ y 40 kg.ha⁻¹ K₂O, excepto para el trigo del sistema II y el maíz que no recibieron N.
I) Inoculado con *Bradyrhizobium* sp.

Fuente: Casaccia, Kliwer, Vallejos. Proyecto Conservación de Suelos MAG-GTZ.

Fig. 1. **Períodos ocupados por los cultivos de los sistemas I (A), II (B), III (C) y IV (D) estudiados en el experimento de rotación de cultivos. CETAPAR, Yguazú. 1.994 a 2.000**



La estrategia de fertilización fue la siguiente:

- No se buscaron productividades record.
- No se fertilizaron los cultivos sino el sistema.

Se utilizó la fórmula 60 kg.ha⁻¹ P₂O₅ y 40 kg.ha⁻¹ K₂O, que se aplicó sólo una vez al año y fue la misma para todos los sistemas de cultivos estudiados. La aplicación de N, fue diferente para los cultivos: el **maíz** no recibió N mineral, dependió del aporte del lupino blanco amargo, el **girasol** recibió 20 kg.ha⁻¹ de N mineral, también el **trigo** que sucedió a la soja, pero el **trigo** que se sembró después del maíz tampoco recibió N mineral, sino del aporte de la *Crotalaria juncea* y finalmente la **soja** que obtuvo el N de la inoculación con *Bradyrhizobium* sp y el resto de los nutrientes provino del residual de los fertilizantes usados en los cultivos precedentes. El momento de la aplicación de los fertilizantes también puede observarse en el Cuadro 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los sistemas de cultivos produjeron en media 2.185 kg.ha⁻¹ de trigo (Cuadro 2). En los seis años estudiados, el rango de rendimiento de trigo varió entre 1.587 a 2.891 kg.ha⁻¹.

Cuadro 2. **Rendimiento (kg.ha⁻¹) de los cultivos de invierno del experimento de rotación de cultivos, CETA-PAR, Yguazú. 1.994 a 2.000**

	Invierno	Media	Mínimo	Máximo
Sistema I	Trigo	2.175	1.727	2.769
Sistema II	Trigo	2.213	1.587	2.806
	Lupino			
Sistema III	Trigo	2.203	1.631	2.891
	Lupino			
	Avena			
Sistema IV	Trigo	2.151	1.739	2.684
	Maíz (t)	2.623	0	4.805

t) Maíz de siembra tardía.

Fuente: Casaccia, Kliwer, Vallejos. Proyecto Conservación de Suelos MAG-GTZ.

En general, las productividades medias obtenidas del trigo estuvieron de acuerdo con los 20 kg.ha⁻¹ de N mineral aplicado. Al considerar el **sistema II**, en el que el trigo se sembró después del maíz y dependió del N aportado por la *Crotalaria juncea* (que en media apenas tuvo dos meses de crecimiento), no se observan diferencias y en un año favorable se alcanzó 2.806 kg.ha⁻¹, dicha productividad requeriría de la aplicación 50 kg.ha⁻¹ de N mineral (Wendling, A. 2005).

La productividad media del maíz de los **sistemas de cultivos II y III** se presenta en el Cuadro 3, la misma fue de 5.962 kg.ha⁻¹. El menor valor registrado es 4.338 kg.ha⁻¹ y el mayor llegó a 7.360 kg.ha⁻¹ de maíz.

Cuadro 3. **Rendimientos (kg.ha⁻¹) de los cultivos de verano del experimento de rotación de cultivos, CETA-PAR, Yguazú. 1.994 a 2.000**

	Verano	Media	Mínimo	Máximo
Sistema I	Soja	3.082	2.198	3.440
Sistema II	Soja	3.170	2.425	3.581
	Maíz	6.024	4.338	7.360
Sistema III	Soja	3.194	2.442	3.748
	Maíz	5.899	4.432	7.301
	Soja			
Sistema IV	Soja (p) - Soja (t)	2.161	0	3.534
	Girasol	1.452	691	2.119

Fuente: Casaccia, Kliwer, Vallejos. Proyecto Conservación de Suelos MAG-GTZ.

Las productividades medias del maíz, próximas a los 6.000 kg.ha⁻¹, se obtuvieron sin la aplicación de N mineral. Parte del N necesario provino de la fijación simbiótica realizada por el lupino blanco amargo.

Para obtener esas productividades se recomienda la aplicación de 70 kg.ha⁻¹ de N mineral (Wendling, A. 2005). La productividad anual de rastrojos de los diferentes sistemas estudiados y el contenido estimado del carbono, nitrógeno, fósforo y potasio (los dos últimos en su equivalencia de unidades de fertilizante) se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. **Productividad de rastrojos y nutrientes presentes en los rastrojos (kg.ha⁻¹.año⁻¹) en los sistemas del experimento de rotación de cultivos, CETAPAR, Yguazú. 1.994 a 2.000**

	Rastrojos	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Sistema I	6.713	3.214	93	23	110
Sistema II	9.958	4.685	156	30	166
Sistema III	10.751	5.110	159	32	211
Sistema IV	8.396	3.877	106	23	169

Fuente: Casaccia, Kliwer, Vallejos. Proyecto Conservación de Suelos MAG-GTZ.

La presencia de los abonos verdes en los **sistemas II y III** produjo una mayor cantidad de rastrojos en los mismos, permitiendo que alcanzaran cantidades de biomasa consideradas suficientes para mantener al suelo productivo. En ellos se reciclaron más Carbono, importante para el mantenimiento de la materia orgánica del suelo (Sá J. *et al.*, 2004), hasta un 50 % más de N, disponible para el trigo y el maíz y más K₂O, particularmente para el **sistema III**.

La productividad anual de granos de los diferentes sistemas estudiados y el contenido estimado de nitrógeno, fósforo y potasio (en su equivalencia de unidades de fertilizante) se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. **Productividad y nutrientes (kg.ha⁻¹.año⁻¹) del experimento de rotación de cultivos, CETAPAR, Yguazú. 1.994 a 2.000**

	Granos	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Sistema I	5.257	230	50	84
Sistema II	5.704	173	60	70
Sistema III	4.858	170	48	70
Sistema IV	5.274	83	37	29

Fuente: Casaccia, Kliwer, Vallejos. Proyecto Conservación de Suelos MAG-GTZ.

Es una consecuencia de los sistemas de cultivos que a pesar de que las cantidades de granos cosechados fue similar para todos los sistemas, el contenido de nutrientes de los mismos varió entre ellos. Las cantidades de nutrientes exportadas en los granos representan un llamado de atención en cuanto a la fórmula de fertilización utilizada que fue insuficiente para el mantenimiento y reposición de nutrientes, en especial para el potasio (Wendling, A. 2005). Esto puede comprometer la sostenibilidad de los sistemas. Las menores cantidades exportadas por el **sistema IV** son el resultado de las cosechas perdidas de soja precoz y maíz tardío debidas a sequías y heladas.

CONCLUSIONES

Los abonos verdes tienen el potencial de aportar cantidades importantes de nutrientes, en especial de nitrógeno. Estos pueden aumentar la eficiencia de los fertilizantes minerales para alcanzar expectativas de productividad medias a altas. Son herramientas que contribuyen a la sostenibilidad del sistema productivo.

Bibliografía

- DERPSCH, R; FLORENTÍN, M. Y MORIYA, K. 2000. Importancia de la siembra directa para alcanzar la sustentabilidad agrícola. MAG-GTZ. San Lorenzo (Paraguay) 40 p.
- SÁ, J.; CERRI, C.; PICCOLO, M.; FEIGL, B.; BUCKNER, J.; FORNARI, A.; SÁ, M.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; VENZKE-FILHO, S.; PAULLETTI, V.; NETO, M. O plantio direto como base do sistema de produção visando o sequestro de carbono. Plantio Direto. p. 45 -61, nov./dic. 2004.
- VALLEJOS, F.; KLIEWER, I.; FLORENTÍN, M.; CASACCIA, J.; CALEGARI, A. Y DERPSCH, R. 2001. Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa. Sistemas de Producción Tractorizados. MAG-GTZ. San Lorenzo (Paraguay)
- WENDLING, A. 2005. RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO PARA TRIGO, MILHO E SOJA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO PARAGUAI. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria, RS, Brasil, 123 p.

La avena negra es el principal cultivo de cobertura de suelo usado en Paraguay.



La madurez despareja del trigo promueve al agricultor usar la desecación.



Desecación temprana de trigo por causa de las lluvias adelantadas de primavera.



Desecación de trigo con diferentes dosis y momentos de aplicación de glifosato 48% previa a la cosecha

**ADRIÁN PALACIOS¹, AKIO NAKAMURA², GUADALUPE ALTAMIRANO¹,
ANUNCIO ALMADA¹, JAVIER SZOSTAK¹ Y EPIFANIO ALTAMIRANO¹**

¹CRIA/DIAMAG y ²Cooperativa Pirapó.

E-mail: adrilacios@gmail.com

Resumen

En los últimos ciclos del trigo muchos agricultores estuvieron utilizando el glifosato para la desecación del cultivo y de las malezas con el fin de adelantar la cosecha y la siembra inmediata de la soja muchas veces o para sembrar otro cultivo en época alternativa. Esta situación ha generado algunas quejas de los industriales que relacionan la desecación del cultivo con glifosato a una disminución de la calidad de la harina.

Con el propósito de determinar estos efectos sobre el grano de trigo fueron instalados dos ensayos en el ciclo 2009, uno en la localidad de Capitán Miranda y otro en Pirapó. El objetivo del trabajo fue identificar el estadio fenológico del cultivo en que debe hacerse la desecación y también la dosis a ser empleada. El diseño fue en bloques completos al azar con arreglo factorial. Uno de los factores fue el momento de la aplicación del glifosato (a los 106, 110, 116, 122 y 127 días después de la emergencia del cultivo). El otro factor fue la dosis aplicada del producto (uno, dos y tres litros por hectárea).

Los resultados preliminares señalan que tanto el rendimiento, el peso de mil granos y el peso hectolítrico han ido incrementándose a partir de la primera aplicación a los 106 DDE. Los mejores resultados agronómicos fueron conseguidos con las aplicaciones hechas a partir de la madurez fisiológica, a los 122 y 127 DDE. No hubo diferencias entre las distintas dosis del desecante usado, por lo que 1 litro por hectárea ha sido suficiente para una buena desecación.

Abstract

Pre harvest desiccation of wheat utilizing three doses of 48% glyphosate at five crop stages

Many farmers have been utilizing glyphosate to desiccate the wheat crop and weeds with an objective to advance the harvest and allow immediate seeding of the soybeans or other crops at the right time. However, some concern regarding the impact of this practice on the quality of wheat flour has been raised by the milling industry. With an objective to determine these effects, two experiments, one each at Pirapó and Capitan Miranda, Itapúa, were conducted in 2009. The major goal was to identify the phenological stage of the crop to desiccate and the proper doses of the desiccant to be employed. The trial was conducted in a completely randomized block design with factorial arrangements. One of the factors was the moment of glyphosate application (106, 110, 116, 122 and 127 days after the emergence of the crop, DAE). The other factor was the doses applied (1, 2 or 3 l/ha). The preliminary results demonstrate that wheat yield, thousand kernel weight and the test weight increased significantly after the first application at 106 days after emergence. However, the best agronomic results were obtained with applications done at 122 and 127 DAE. No significant differences between the doses were observed suggesting thereby that the lower dose of 1 l/ha of glyphosate was enough for crop desiccation.

Ing. Agr. Adrián Palacios explica sobre la importancia de la correcta fecha de siembra para evitar problemas con las lluvias en la cosecha.



INTRODUCCIÓN

El cultivo de trigo, junto al maíz de ínter zafra, es el mas importante componente de la rotación durante el ciclo de invierno en la agricultura mecanizada del Paraguay. Aunque para muchos, es un ciclo riesgoso debido a las inclemencias del tiempo durante el desarrollo del cultivo, pocos cuestionan su contribución a la implantación de soja, cultivo de gran importancia nacional, por su valor a la economía del productor y su aporte de rastrojos en la rotación.

Entre distintos factores climáticos que afectan al cultivo, las lluvias tempranas en la primavera, posiblemente asociadas a los cambios climáticos, están causando muchos inconvenientes, no solo de punto de vista de una cosecha normal sino también por una gran cantidad de problemas que acarrearán de él. Entre ellos se puede mencionar el rebrotado tardío de los macollos presentando así una dificultad para la cosecha; disminución de la producción; lavado de los granos y consecuentemente la pérdida de calidad; y sobre todos el brotado de granos en la espiga debido al inicio de la actividad enzimática.

Para subsanar estos inconvenientes, muchos agricultores comenzaron a usar el desecado del cultivo, usando el glifosato o el paraquat. El objetivo que esta práctica persigue es desecar el cultivo y las malezas con el fin de adelantar la cosecha, asegurar una buena calidad de grano y la siembra inmediata de la soja. Esta situación ha generado algunos cuestionamientos de parte de los industriales que relacionan la desecación del cultivo con una disminución de la calidad de la harina.

Con los objetivos de identificar el estadio fenológico del cultivo en el que debe hacerse la desecación y determinar la dosis del desecante (en este caso glifosato), se hicieron dos ensayos en el campo experimental del Centro Regional de Investigación Agrícola (CRIA), Capitán Miranda y en Cooperativa Pirapó durante el 2009. Los resultados de estos ensayos y algunas conclusiones preliminares están reportadas en este trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En las dos localidades, el diseño experimental del ensayo fue en bloques completos al azar con arreglo factorial. Uno de los factores fue el momento de la aplicación del glifosato (a los 106, 110, 116, 122 y 127 días después de la emergencia del cultivo (DDE) en CRIA y después de 123, 129 y 133 DDE en la Cooperativa Pirapó. La dosis del glifosato (uno, dos y tres litros por hectárea) fue usada en ambos ensayos. Cada unidad experimental estuvo compuesta de diez hileras de cinco metros de longitud, distanciadas entre si a 0,34 metros.

Las siembras de la variedad Itapúa 65 fueron efectuadas el 19 y el 22 de mayo en Pirapó y CRIA respectivamente. En todos los casos se hizo una fertilización básica con aproximadamente 150 kg/ha de 18-46-00, resultando en un nivel de 27-69-00 kg/ha de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente. La fertilización en cobertura se realizó a los 45 días después de la siembra (DDS), manualmente al voleo con buena humedad del suelo, aplicándose urea en una cantidad equivalente a 40 kg/ha de nitrógeno. Previo a la siembra se hizo el tratamiento de semillas con un insecticida, imidacloprid (70%) a 120 g/100 kg semilla y un fungicida, thiram + carbendazim a 200 ml/100 kg semilla.

Los dos ensayos fueron llevados sin problemas de malezas, insectos y enfermedades.

En el CRIA, el control de plantas dañinas se hizo primeramente con una desecación de la parcela previa a la siembra con glifosato a razón de 2,5 litros por hectárea. A partir de los 30 DDS, se efectuó la aplicación de la mezcla de 6 g/ha de metsulfurón-metil más 0,8 l/ha de fenoxaprop-P-etil. Se hizo también control de insectos en caso necesario en estadios iniciales de desarrollo. El control de las enfermedades fue realizado con dos aplicaciones de Tebuconazole a 0,5 l/ha cada una, la primera 20 días antes de la espigazón y la segunda en plena floración.

La aplicación del desecante en el CRIA se inició a los 106 DDE del cultivo, usando cinco estadios del desarrollo del cultivo, tres de ellos previo a la madurez fisiológica y dos posteriores (Cuadro 1). En todos los casos, fue usado un pulverizador a gas carbónico a presión constante de 40 libras por pulgada cuadrada

y caudal de 150 l/ha. El ancho de la barra de aplicación fue de dos metros quedando el resto de la unidad experimental como testigo apareado. Los datos del ensayo fueron tomados de la parte central de la franja afectada por el herbicida.

La cosecha fue realizada en forma escalonada a medida que los granos de los tratamientos llegaban a

Cuadro 1. **Momento de aplicación de las tres dosis de glifosato, humedad del grano y fecha de cosecha del trigo. CRIA, 2009**

Fecha aplicación	DDE	% humedad	Estadio fenológico	Fecha cosecha
14-set-09	106	54,6	12 DAMF ¹	28-set-09
18-set-09	110	44,4	8 DAMF	01-oct-09
24-set-09	116	42,4	2 DAMF	05-oct-09
30-set-09	122	36,3	4 DDMF ²	07-oct-09
05-oct-09	127	31,9	9 DDMF	10-oct-09

¹ DAMF (días antes de la madurez fisiológica).
² DDMF (días después de la madurez fisiológica).

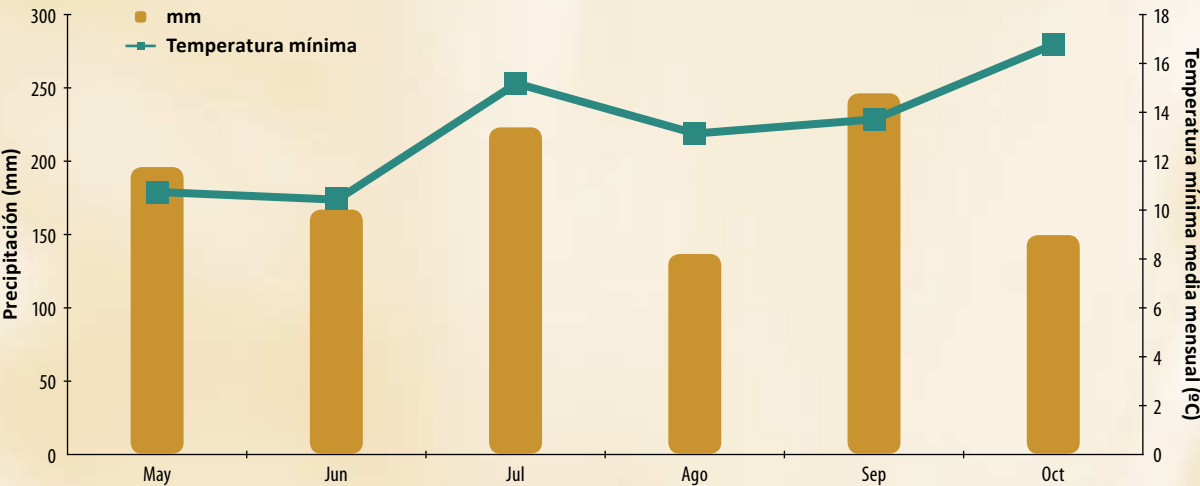
la humedad adecuada para la misma, y fue utilizada la cosechadora de parcelas experimentales de la marca Wintersteiger - Nurserymaster Elite. Se cosechó cuatro hileras de cinco metros de longitud totalizando un área útil de 6,8 metros cuadrados. Luego, los granos fueron ventilados y se determinó el peso de campo, porcentaje de humedad, peso de mil granos y peso hectolítrico. El rendimiento de grano fue corregido a 14% de humedad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenómenos meteorológicos del ciclo

El ciclo del cultivo fue anormal en cuanto al exceso de las precipitaciones observadas, Fig. 1. Los meses de agosto y octubre fueron los que registraron menor cantidad de precipitaciones, pero igual fueron más de 150 mm. A su vez, los meses de julio y septiembre fueron con mayor cantidad de precipitación caída que afectó el desarrollo del cultivo en la fase productiva.

Fig. 1. **Precipitación mensual registrada en la Estación Meteorológica del CRIA. Ciclo 2009**



La temperatura mínima media del mes de junio fue la menor y fue favorable para el desarrollo del cultivo (Fig. 1). Aun con los aumentos observados en los meses de agosto y septiembre, estas no fueron muy altas y la temperatura mínima promedio fue alrededor de 13°C.

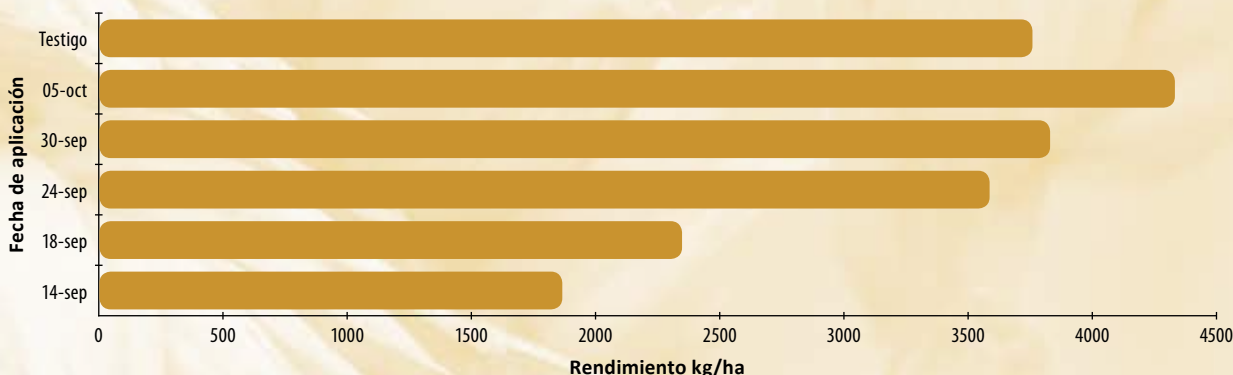
En general las condiciones meteorológicas registradas durante el ciclo del cultivo fueron favorables para el desarrollo normal del trigo.

Datos agronómicos

■ Rendimiento

Rendimiento según épocas de aplicación: el promedio general de rendimiento según épocas de aplicación muestra un aumento desde la primera pulverización efectuada el 14 de septiembre de 2009 hasta llegar a estabilizarse a partir del 30 de septiembre, como puede apreciarse en la Fig. 2. Esta disminución de rendimiento está directamente relacionada con el porcentaje de la humedad en el grano y el momento de desecación y ya que esta operación fue realizada a los 12, ocho y dos días antes de la madurez fisiológica. Las desecaciones realizadas después de la madurez fisiológica ya consiguen una productividad estable. Considerando la posibilidad de cosecha una semana después del desecado, los resultados preliminares apoyan su aplicación hasta 36% de la humedad en el grano, especialmente en los años húmedos como el 2009.

Fig. 2. Promedio de rendimiento según épocas de desecación de trigo con diferentes dosis y momentos de la aplicación de glifosato 48% previa a la cosecha. Cap. Miranda, ciclo 2009



Rendimiento según dosis de glifosato: No se observó alguna ventaja en rendimiento o la mejoría en la calidad del desecado con el incremento de la dosis de glifosato (Fig. 3). Considerando la igualdad de eficiencia en la desecación, los resultados preliminares apoyan la utilización de la menor dosis del glifosato, de 1 l/ha, para no tener problemas de la residualidad en el grano.

Fig. 3. Promedio de rendimiento de trigo según la dosis del desecante y los momentos de la aplicación de glifosato 48% previa a la cosecha. Capitán Miranda, ciclo 2009



PESO HECTOLÍTRICO Y EL PESO DE MIL GRANOS

Peso hectolítrico y el peso de mil granos según dosis de glifosato y épocas de aplicación

Los datos presentados en las Figs. 4 y 5 muestran la misma respuesta a la desecación para el peso específico y el peso de mil granos que fue observada para el rendimiento. En aplicaciones efectuadas antes de la maduración fisiológica hubo disminución tanto en el peso específico como en el peso de mil granos de la cosecha. Sin embargo, el desecado a partir del momento que el cultivo haya llegado a la madurez fisiológica no representa alguna penalidad en estos parámetros y las variaciones observadas no son significativas. Igual a lo observado para el rendimiento, no hubo interacción dosis x peso específico o con el peso de mil granos, confirmando de esta manera la ventaja en utilizar la dosis baja del desecante.

Fig. 4. Promedio de peso hectolítrico según dosis y momentos de la aplicación de glifosato 48% previa a la cosecha. Capitán Miranda, ciclo 2009

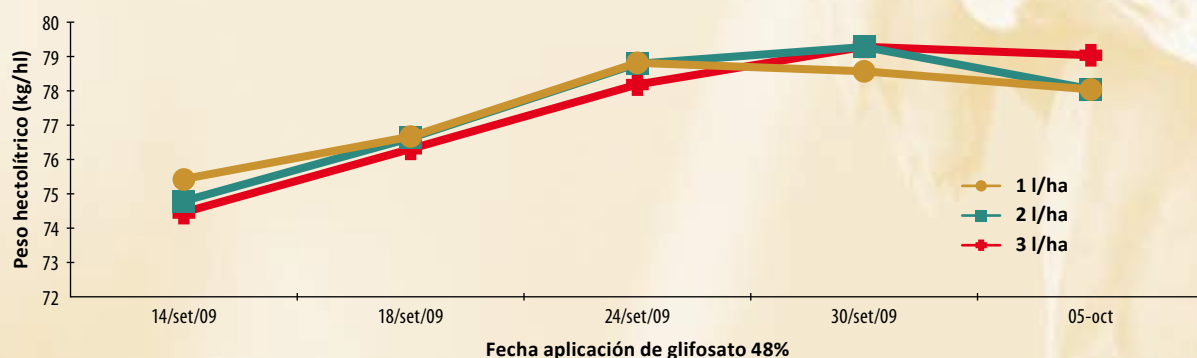
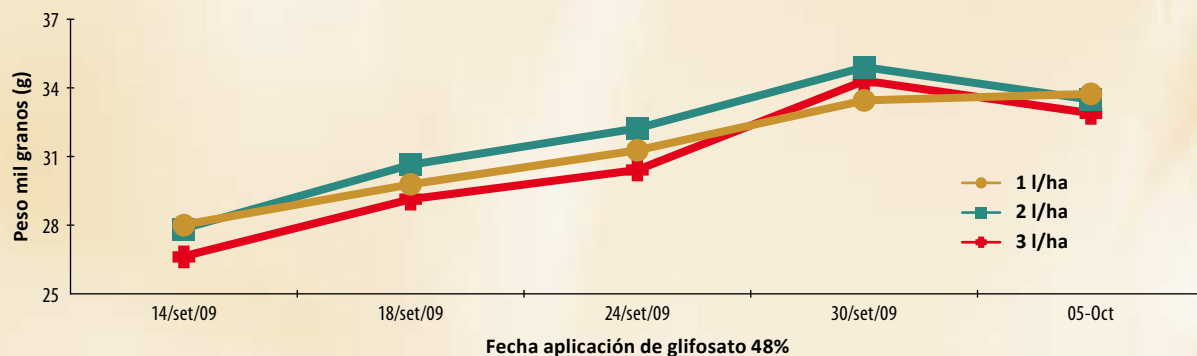


Fig. 5. Promedio del peso de mil granos según dosis y momentos de la aplicación de glifosato 48% previa a la cosecha. Capitán Miranda, ciclo 2009



PARÁMETROS DE LA CALIDAD

Extracción harinera

A partir del primer estadio de la desecación a los 106 DDE, 12 días antes de la madurez fisiológica, se observó un aumento en el porcentaje de la extracción harinera. Sin embargo, los mayores valores de extracción se consiguieron con aplicaciones efectuadas a partir de la madurez fisiológica, el 30 de septiembre (122 DDE), 5 de octubre (127 DDE) y con el testigo. La clasificación del potencial de la molienda, según el uso de molino Quadrumat, varían entre una franja de mas de 72 (excelente) hasta menor a 61 (muy bajo), Williams *et. al.* (1988). La diferencia de extracción harinera entre la aplicación anticipada de glifosato, ocurrida el 14

de septiembre, y la aplicación realizada en madurez fisiológica es de más de 3%. A medida que la desecación se aproximó al estadio de madurez fisiológica esta diferencia ha sido menor; en los casos de 18 y 24 de septiembre esta fue de mayor a 1%. La extracción harinera conseguida a partir de la desecación posterior a la madurez fisiológica, supera a 65% en promedio que puede considerarse como buena, Fig. 6.

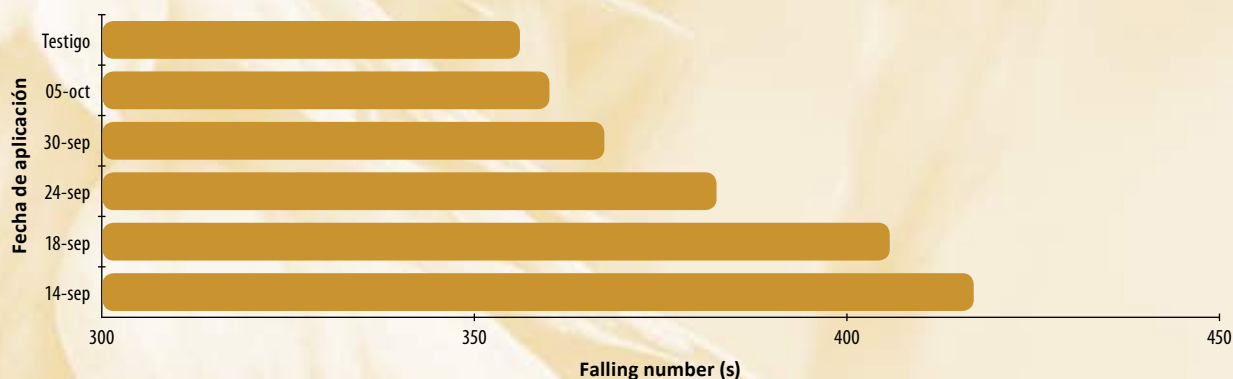
Fig. 6. Promedio del porcentaje de la extracción harinera según dosis y momentos de la aplicación de glifosato 48% previa a la cosecha. Capitán Miranda, ciclo 2009



ÍNDICE DE CAÍDA O FALLING NUMBER, FN

Considerando la falta de la actividad enzimática durante el llenado de grano, las aplicaciones anticipadas al estadio de madurez fisiológica consiguieron los valores mas altos del falling number. Dependiendo de que tan temprano se haya desecado el trigo, estas variaron entre 360 a 420. La desecación efectuada desde la madurez fisiológica en adelante aun mostró valores normales mayores a 350, (Fig. 7).

Fig. 7. Promedio de falling number según dosis y momentos de la aplicación de glifosato 48% previa a la cosecha. Capitán Miranda, ciclo 2009

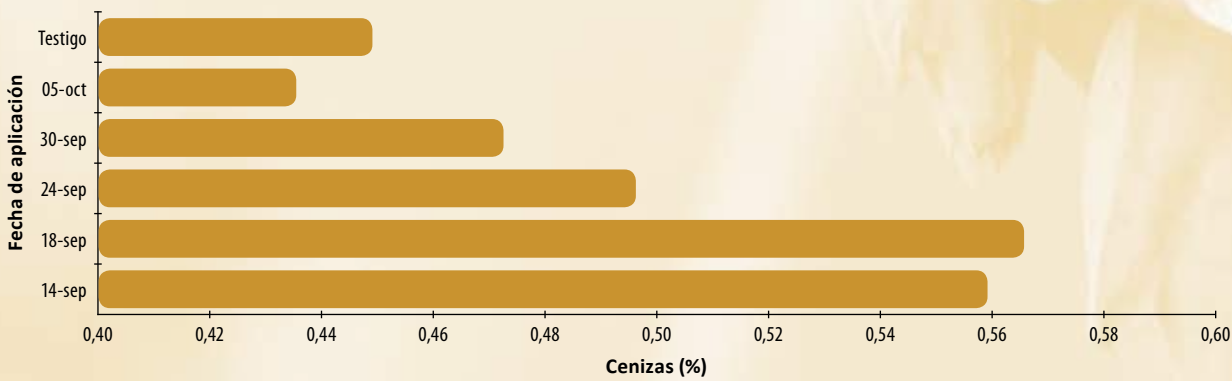


El valor del falling number de la harina influye en la calidad del pan. Una harina con valor de FN de 350, es apta para producir panes de mayor calidad, con más volumen, menor porosidad y si se aprieta con el dedo la miga, esta vuelve a su lugar. Algunas harinas con valores del FN mayores a 400 no permiten fabricar panes de buena calidad, ya que sufren una disminución del volumen y la mayor porosidad en la miga.

CENIZAS

Uno de los problemas del desecado prematuro de trigo se observa en el llenado del grano y consecuentemente alto grado de ceniza que esta puede dejar en la molienda afectando negativamente el color de la harina y del pan. Sin embargo, los datos observados en este estudio mostraron que el contenido de cenizas del trigo desecado después del estadio de madurez fisiológica estuvo por debajo de 0,48%, mientras que los desecados antes de este estadio estuvieron entre 0,49 a 0,56%. Según la tipificación de las harinas de trigo en Argentina, basada en el porcentaje de ceniza, las que tienen por debajo de 0,48% son consideradas harina tipo 0000, entre 0,48% y 0,55% harinas 000 y entre 0,55% y 0,69% harinas 00. Según el momento de la aplicación del glifosato, una desecación anticipada produce harinas de trigo tipo 000 o tipo 00, y una aplicación posterior al estadio de madurez fisiológica una harina tipo 0000.

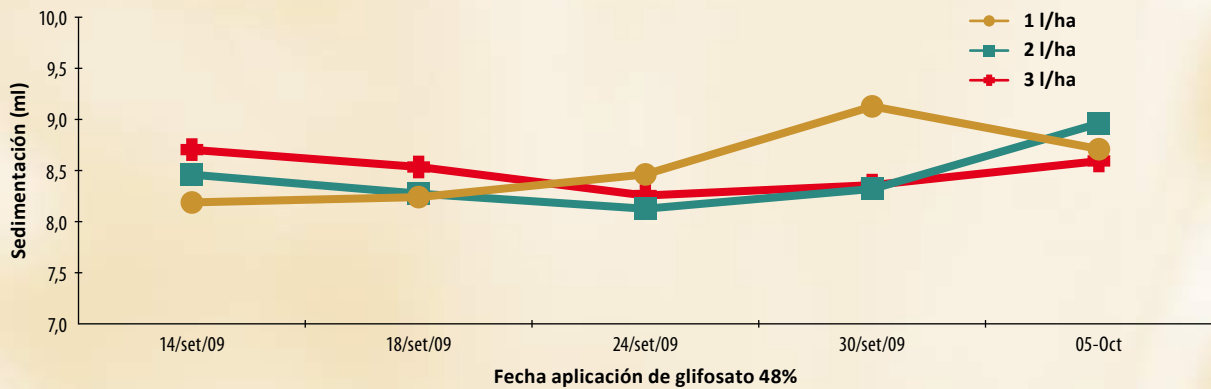
Figura 8. Promedio de cenizas según dosis y momentos de la aplicación de glifosato 48% previa a la cosecha. Capitán Miranda, ciclo 2009



MICRO SEDIMENTACIÓN

La clasificación de la calidad de grano, en cuanto a su fuerza de gluten, hecha en base a la prueba de micro-sedimentación con sulfato dodecil de sodio (MS-SDS), adjudica a los valores entre 7,5 ml y 9,9 ml como débiles (Williams *et. al.*, 1988).

Fig. 9. Promedio de micro-sedimentación según dosis y momentos de la aplicación de glifosato 48% previa a la cosecha. Capitán Miranda, ciclo 2009



Los datos de micro-sedimentación proporcionados por el laboratorio del CRIA colocan a todos los tratamientos entre 8 a 9 ml (Fig. 9). En base a estos datos se puede resumir que la variedad Itapúa 65, sea considerada como débil. Sin embargo, el aspecto mas importante de este hecho es que distintas épocas del desecado o la dosis del desecante no han afectado el valor del micro-sedimentación como representante de la fuerza del gluten. Este aspecto es el resultado mas importante del punto de vista de la calidad y comercialización del trigo en un año complicado por las lluvias donde el agricultor debe tomar las medidas par salvar su inversión y la cosecha.

ALVEOGRAFÍA

La prueba de alveografía (fuerza de gluten) hecha por Lic. Quim. Graciela Cabrera en colaboración con el Molino Milagro de Campo 9 en el material cosechado en CRIA muestra claramente la ventaja del desecado para mantener una alta calidad de grano. Los datos presentados en el Cuadro 1 muestran que todos los tratamientos del desecado cosechados antes de la madurez normal del testigo (cosecha 15 de octubre) lograron una mejor fuerza del gluten apreciada por el mercado. Considerando que no se observan diferencias significativas entre distintas dosis del glifosato utilizados para desecar las parcelas, el uso de la menor dosis puede ser recomendable para no encarecer esta práctica y evitar cualquier impacto de residuos en el grano.

Por otra parte, aun cuando hay diferencias en el valor del W en la misma fecha del desecado, estas no son significativas. A su vez se puede observar que con la demora en el desecado, 10 días antes de la cosecha, los valores de la fuerza son menores debido a su exposición a las lluvias. En este caso el mayor rendimiento logrado en esa fecha del desecado sufriría algo en la parte de calidad aun cuando es mejor que el testigo. En otras palabras, la práctica del desecado puede ser una buena herramienta en lograr no solo un buen rendimiento sino también para cuidar de la calidad del grano cosechado que permite mejorar el ingreso del agricultor.

Cuadro 1. Los valores de la alveografía en trigos desecados antes de la cosecha

Trt	Fecha de aplicación	DDS	DDE	Glifosato l/ha	Fecha de cosecha	W	P	L	P/L
1	14-Sep	115	106	1	28-Sep	238	92	61	1
2	14-Sep	115	106	2	28-Sep	245	91	62	1
3	14-Sep	115	106	3	25-Sep	256	100	54	2
4	18-Sep	119	110	1	01-Oct	243	95	52	2
5	18-Sep	119	110	2	01-Oct	263	78	74	1
6	18-Sep	119	110	3	01-Oct	257	95	57	2
7	24-Sep	125	116	1	05-Oct	234	85	65	1
8	24-Sep	125	116	2	05-Oct	211	81	63	1
9	24-Sep	125	116	3	05-Oct	245	81	72	1
10	30-Sep	131	122	1	07-Oct	242	77	76	1
11	30-Sep	131	122	2	07-Oct	255	87	74	1
12	30-Sep	131	122	3	07-Oct	214	76	65	1
13	05-Oct	136	127	1	10-Oct	228	77	72	1
14	05-Oct	136	127	2	10-Oct	205	73	66	1
15	05-Oct	136	127	3	10-Oct	223	81	64	1
16	Testigo				15-Oct	196	75	62	1

Bibliografía

- William, P.C., Jaby, El Haremei, F., Ortiz Ferreira, G. y Srivastava, J.P. 1988. Preliminary observations on the determination of wheat strength by near-infrared reflectance. *Cereal Chem.* 65: 109-114.

*La panificación es la prueba final
para medir la calidad de un trigo.*



Mejoramiento de la calidad industrial del trigo y el efecto de factores ambientales y del manejo del cultivo

GRACIELA CABRERA ARREDONDO¹ Y MOHAN KOHLI²

¹ Encargada de Laboratorio de Control de Calidad y Agroindustria, Instituto Agronómico Nacional, IAN/DIA/MAG y ² Consultor Internacional, CAPECO
E-mail: gc580613@hotmail.com

Resumen

La calidad del grano de trigo está determinada por características genéticas, factores ambientales y la interacción entre la variedad y el ambiente en que se desarrolla. Otro factor fundamental es el manejo agronómico del cultivo por los productores.

La temperatura óptima durante la antesis y hasta la madurez fisiológica del trigo es de 16°C. A partir de ésta y hasta 30°C por cada grado centígrado de aumento se produce una disminución de rendimiento de grano de aproximadamente 3 a 4 %. Esto se explica por una menor acumulación del almidón en el grano. Como las proteínas son menos sensibles puede ocurrir un aumento de su concentración. En los trigos cuyo destino es la panificación o la elaboración de fideos esto podría mejorar la fuerza de las masas. Pero, con temperaturas superiores a 30°C, la relación positiva entre proteína y fuerza de la masa se quiebra y puede tornarse negativa. El estrés térmico puede disminuir el volumen de pan y de sedimentación (SDS) sin modificarse el contenido proteico del grano. También, aceleraría el “aflojamiento” de las masas, medido como la disminución de la relación P/L y disminuiría el porcentaje de absorción de agua.

La falta de agua en la etapa de macollamiento influye en el llenado del grano, la cantidad y calidad de las proteínas. El efecto de las lluvias continuas después de la madurez fisiológica, provoca una pérdida económica durante su comercialización, por la germinación del grano que compromete su utilización industrial. Iniciar el cultivo fuera de la época óptima, una deficiente preparación de suelos, una siembra desprolija hace que crezca y se desarrolle desuniforme y madure en condiciones desfavorables, lo que compromete la calidad del grano.

El manejo de la fertilización nitrogenada y azufrada mejora el contenido de proteínas y dureza del grano. Un balance entre nitrógeno y azufre es esencial para que posea una buena calidad panadera. El contenido de proteína afecta a la fuerza y extensibilidad del gluten.

Finalmente, atender el control de las enfermedades como la Alternaria que oscurece la harina y sus productos, y el Fusarium que reduce el rendimiento de harina y presenta problemas de seguridad alimentaria por la producción de distintas toxinas.

Abstract

Wheat industrial quality and its interactions with crop management and climatic factors

The quality of a wheat grain is determined by genetic characteristics, environmental factors and their interaction. Agronomic management of the crop used by the farmers is a key to quality characteristics. Approximately 16° C is considered to be the optimum temperature during the wheat flowering and until physiological maturity. From this point on, the wheat crop loses between 3 to 4% in yield with every degree of increase in temperature caused by reduced starch accumulation in the grain. As the proteins are less sensitive to temperature, an increase in their concentration can occur. In wheats for bread making or pasta elaboration, this situation can improve the dough strength. However, with temperatures above 30° C this positive relationship between the protein and dough strength is destroyed leading to a negative relationship. High temperature stress can diminish the bread volume and sedimentation without modifying the protein content of the grain. This will lead to loosening of the dough and can be measured in the lower P/L ratio and water absorption. Any water deficit from crop elongation stage on influences grain number and their filling as well as the quantity and quality of the proteins. On the other hand, continuous rains after physiological maturity of the crop provoke severe sprouting and loss of quality for industrial utilization of grain. Untimely seeding of the crop and/or inadequate seeding results in an uneven germination and disuniform maturity of the crop leading to poor grain quality. In terms of fertilization, adequate nitrogen and sulfur fertilization improves the protein quantity and the grain hardness. The balance between the nitrogen and sulfur nutrients is essential to achieve a good baking quality. The protein quantity affects the strength and extensibility of the gluten. Finally, the diseases such as *Alternaria* (which darkens the flour and its products) and *Fusarium* (which reduces the flour yield and results in toxin production damaging for health) must be controlled.

El brotado precosecha del trigo es un gran problema de calidad.



INTRODUCCIÓN

La calidad del grano de trigo de una variedad está determinada principalmente por características genéticas, pero también esta altamente influenciada por factores ambientales y la interacción que pueda existir entre la variedad y el ambiente en que se desarrolla (Matus T. & Vega S., 2004). Otro factor fundamental para asegurar la obtención de un grano de buena calidad esta asociado al manejo agronómico del cultivo por los productores (Matus T. & Vega S., 2004).

Entender esas influencias es importante para la producción y comercialización de una consistente y alta calidad de producto.

Para el fitomejorador, el concepto de calidad es la estabilidad de respuesta al ambiente de los genotipos a través de una eficiente selección. Para el productor la calidad de un trigo viene definida por su potencial de rendimiento y alto peso específico. Para los molineros y panaderos la consistencia en la calidad de las variedades es muy importante, ya que no requiere de cambios en los procesos de industrialización.

INTERACCIÓN GENOTIPO X AMBIENTE

De los factores ambientales que alteran la calidad del grano, uno de los más importantes es la temperatura durante el llenado del grano. (Randall y Moss 1990; Blumenthal y col. 1991). (Cuadro 1).

Cuadro 1. **Impacto del estrés térmico sobre la calidad del grano de trigo**

Factor ambiental		Efecto en la calidad
Estrés térmico	Alta Temperatura (>32 °C) Período corto (< 36 hs)	- Aumenta el contenido proteico - cantidad de proteína - calidad de proteína (exceso de gliadina en condiciones de alta temperatura)
	Alta Temperatura (>32 °C) Por período largo (36 hs)	- Disminuye calidad proteina (excesiva cantidad de gliadina) - Disminuye calidad de panificación

Temperaturas superiores a los 16° C, desde la antesis hasta la madurez fisiológica disminuyen la acumulación del almidón y las proteínas en el grano (Wardlaw y Wrigley, 1994). Como las proteínas son menos sensibles puede ocurrir un aumento de su concentración. En los trigos cuyo destino principal es la panificación o la elaboración de fideos, un aumento en el porcentaje de proteínas generalmente conduce a un incremento de la calidad que se evidencia a una mejora de la fuerza de las masas. No obstante, cuando la temperatura durante el llenado del grano supera un cierto umbral, usualmente los 30° C, la relación positiva entre porcentaje de proteína y fuerza de la masa se quiebra y puede incluso tornarse negativa (Randall y Moss, 1990; Blumenthal y col., 1991; Ciaffi y col., 1996).

El estrés térmico puede disminuir el volumen de pan y de sedimentación (SDS) sin modificarse el contenido proteico del grano (Graybosch y col., 1995 y Peterson y col., 1998). También, aceleraría el “aflojamiento” de las masas, medido como la disminución de la relación P/L (tenacidad/extensibilidad) mediante el uso del Alveógrafo de Chopin y disminuiría el porcentaje de absorción de agua (Corbellini y col., 1997).

Las proteínas de reserva del grano, gluteninas y gliadinas, son las principales responsables de las propiedades reológicas de las masas. Durante los episodios de estrés térmico, tanto las síntesis de gliadinas como las de sub-unidades de gluteninas de bajo peso molecular continúan; en tanto que la de sub-unidades de gluteninas de alto peso molecular se reduce y hasta puede verse suspendida (Blumenthal, 1990 a y b,

1994). Puesto que el tamaño relativo de las proteínas poliméricas depende de su composición, en particular entre sub-unidades de gluteninas de alto y bajo peso molecular, la reducción o suspensión de la síntesis de gluteninas de alto peso molecular puede afectar negativamente la formación de los grandes agregados responsables de la cohesividad del gluten y la fuerza de las masas (Bernardin y col., 1995).

Otro aspecto que puede presentarse es el estrés hídrico (Cuadro 2). La intensidad de la sequía depende de la falta de precipitaciones en diferentes etapas críticas del desarrollo del cultivo. Lluvias escasas y especialmente erráticas provocan la disminución del número de granos por espiga, pero en sequía más prolongada se detectaron efectos negativos en la etapa de llenado de granos, por lo que la expresión final observada en la presencia de granos chuzos y de poco peso. Esto dificulta el proceso industrial en los molinos (LACO Laboratorio Agropecuario 2004/2005).

Cuadro 2. Interacción entre el estrés hídrico y la calidad de granos de trigo

Factor ambiental		Efecto en la calidad
Estrés hídrico	Sequía	- Llenado de grano - Cantidad de proteína - Calidad de proteína
	Humedad alta	- Brotado de espiga - Actividad enzimática alta (bajo FN) - Pobre calidad de panificación

Por otra parte, algunas variedades de trigo tienen la tendencia a brotar en la espiga cuando, en la época de madurez fisiológica y cosecha, hay elevada humedad ambiental debido a la ocurrencia de lluvias. En consecuencia, ocurre una disminución de la productividad, reducción del Peso Hectolítrico, disminución del vigor de la semilla y reducción de la calidad de la harina. Esto se debe a la activación y síntesis de las enzimas hidrolíticas, alfa y beta amilasas y de las proteasas (Belderok, 1968; Gordon et al., 1977; Derera, 1979; Bahatt et al., 1981).

La germinación de cereales causa, además del aumento de la actividad enzimática pérdida de la materia seca, aumento proporcional aparente del tenor de proteínas, mudanzas en la composición de aminoácidos, disminución del tenor de almidón, aumento en los azúcares y discreto aumento de lípidos, fibras y ciertas vitaminas y minerales (Fig.1). Los aumentos atribuidos a ciertos nutrientes no son totalmente verdaderos. Ellos simplemente reflejan la pérdida de materia seca, principalmente en forma de carbohidratos, debido a la respiración durante la germinación (Lorenz, 1980)

Los valores de alveografía y farinografía son dos parámetros importantes para la calidad del trigo.

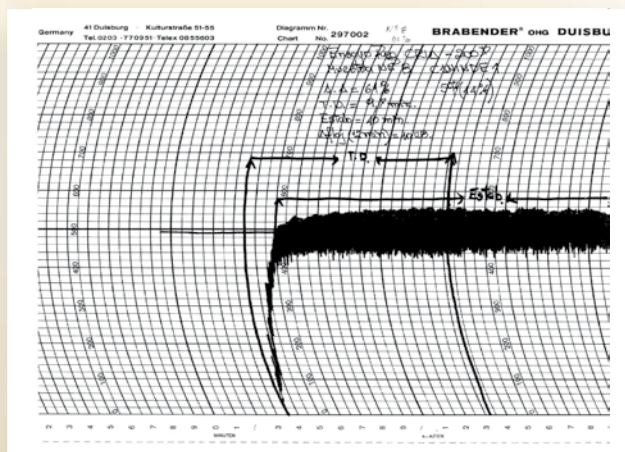
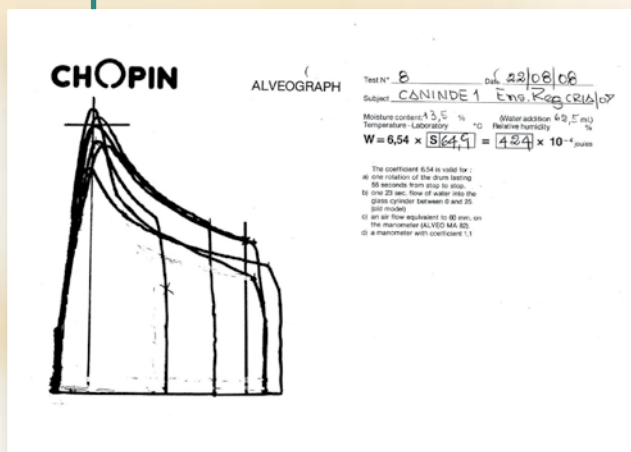


Fig. 1. Impacto de la actividad enzimática alfa amilasa sobre la calidad del trigo



INTERACCIÓN ENTRE LAS PRÁCTICAS DE MANEJO DEL CULTIVO Y LA CALIDAD DEL GRANO

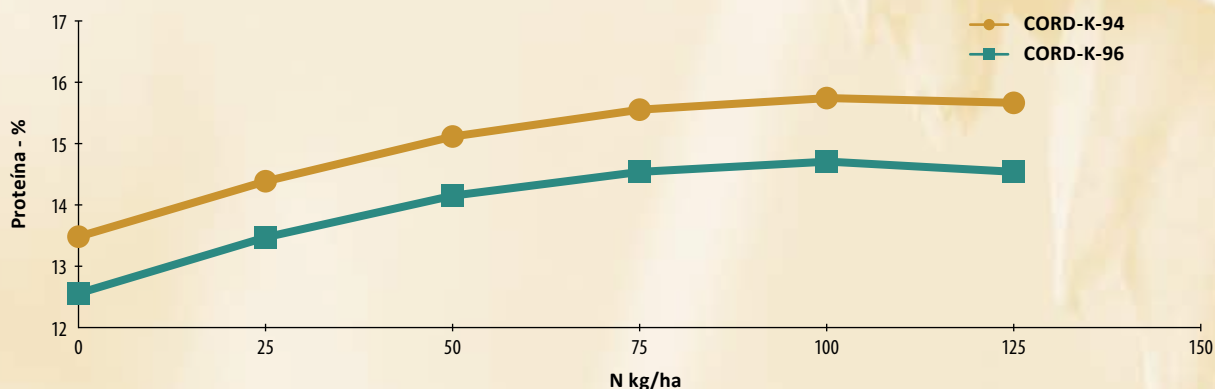
Iniciar el cultivo fuera de la época óptima, una deficiente preparación de suelos, una siembra desprolija hace que crezca y se desarrolle desuniforme y madure en condiciones desfavorables, lo que compromete la calidad del grano (Fig. 2). Sembrar un trigo en su fecha óptima no representa ningún costo adicional al agricultor. La fecha de siembra esta relacionada con el tipo de variedad y con la zona agro ecológica en la cual se efectuará la siembra de trigo, además de ser un factor muy importante a considerar para el éxito del cultivo, ya que permitirá que la variedad exprese su máximo potencial. Los rangos de fechas para algunas variedades se deben a que son capaces de rendir bien en un periodo relativamente amplio, aunque siempre se podrá señalar una fecha óptima.

Fig. 2. Interacción entre distintas prácticas agronómicas y la calidad del trigo

Factor		Afecta
Fecha de siembra (temprana, tardía)	→	Período de madurez –Proteína en grano –Peso hectolítrico
Tipo de siembra (plano, surcos, etc.)	→	Desarrollo de la planta –Peso hectolítrico –Proteína en grano
Densidad de siembra (baja, alta)	→	Competencia de las plantas –Proteína en grano –Panza blanca (trigo cristalino)
Fertilización (dosis, tiempos, fuentes)	→	Disponibilidad de nutrientes –Proteína y dureza de grano –Panza blanca (trigo cristalino) –Almidón en el endospermo

La calidad panadera del trigo se asocia frecuentemente con los niveles de proteína en grano, la cantidad y calidad del gluten y las propiedades reológicas de la masa. El nitrógeno (N) y el azufre (S) son los nutrientes que con mayor frecuencia condicionan la obtención de contenidos adecuados de gluten y de proteína en los granos de trigo (Reussi et al 2006). Se ha determinado que tanto el sistema de labranza como la fertilización con N afectan el rendimiento y el contenido de proteína del grano (Falotico et al, 1999), (Fig. 3). Algunos investigadores han determinado menores índices de calidad de la harina bajo siembra directa aún con la aplicación de N (Sempé & Chidichimo, 2004). La relación entre el rendimiento y el contenido de proteína en grano depende de la disponibilidad de N. En situaciones de baja disponibilidad de N, el rendimiento del cultivo aumenta por el agregado de este nutriente, mientras que los niveles de proteína en grano no se modifican o disminuyen. En situación de disponibilidad media, el agregado de N, incrementa simultáneamente los rendimientos y la proteína. Frente a una alta disponibilidad de N, la fertilización con este nutriente provoca solamente un efecto sobre la concentración de proteína de grano.

Fig. 3. **El impacto de la fertilización nitrogenada sobre la proteína en el grano de trigo**



La aplicación foliar de N en los estadios avanzados del cultivo aumenta el contenido de proteína del grano, el de gluten y reduce la proporción de la panza blanca, lo cual es relevante cuando se buscan granos de trigo de calidad para la panificación. El fraccionamiento de la dosis de N tiene como beneficio adicional que permite una mayor eficiencia de uso de N y, por consiguiente, menor riesgo ambiental. Por lo tanto, las decisiones de manejo como el momento, la dosis y la fuente de N utilizada son importantes, ya que las mismas permiten obtener mayores niveles de proteína y de gluten en la harina (Echeverría & Studdert, 1998).

La nutrición azufrada influye sobre la calidad del grano de trigo. Castle y Randall (1987), estudiaron la respuesta del azufre durante el desarrollo del grano y encontraron que la síntesis y la acumulación de la mayor cantidad de proteínas, ocurrieron prematuramente cuando se presentaron deficiencias de azufre con respecto de los casos en que la concentración de S en el grano fue la adecuada. Este resultado puede ser explicado por el hecho de que la deficiencia de azufre acorta el periodo inicial del desarrollo del grano, el cual es caracterizado por la alta división celular y la baja tasa de acumulación de proteínas.

En granos de trigo maduros, la mayor parte del azufre está presente en proteínas, formando aminoácidos azufrados como metionina, cisteína y cistina. Generalmente con altos niveles de azufre, hay un incremento en la cantidad de aminoácidos que contienen azufre (Wrigley et al., 1980 y Byers et al., 1987). Las deficiencias azufradas en trigo no solo reducen la calidad nutricional, sino que también afectan negativamente la calidad industrial de la harina. Varios estudios han reportado la influencia del azufre sobre la calidad panadera del grano de trigo, en que encontraron que el volumen de la hogaza de pan aumenta con el agregado de S (Haneklaus et al., 1992, Haneklaus and Schnug, 1992). En relación con esto, se obtuvieron respuestas en rendimiento de grano al agregado de azufre hasta con 20 kg de S ha⁻¹, mientras que se encontraron incrementos en el volumen de la hogaza de pan con aplicaciones de hasta 100 kg de S ha⁻¹ (Zhao et al, 1999).

Algunas variaciones en la magnitud de la respuesta a azufre pueden ser atribuidas a diferencias en el abastecimiento del nitrógeno. Debido a que el nitrógeno y el azufre son componentes estructurales de las proteínas, las interacciones entre ambos elementos son comunes que ocurran (Rendig, 1986). Un balance entre nitrógeno y azufre en el grano es esencial para que el trigo posea una buena calidad panadera (Randall y Wrigley, 1986).

INTERACCIÓN ENTRE LA PRESENCIA DE ENFERMEDADES Y LA CALIDAD DEL GRANO

Las enfermedades causan pérdidas económicas severas como resultado de menores rendimientos de granos y disminución de la calidad física (menor tamaño de grano) e industrial del mismo (Fig. 4).

La calidad industrial se ve afectada porque el hongo es capaz de destruir los gránulos de almidón, las paredes celulares y las proteínas del endospermo. Todo ello redunda en una menor capacidad de molienda para la elaboración de panificados y pastas en trigo (Díaz de Ackerman, 2002).

Fig. 4. **Impacto de algunas enfermedades de trigo sobre la calidad de granos producidos**

Enfermedad	Efecto en la calidad
<i>Alternaria helminthosporium</i> (punta negra, embrión)	- oscurece la harina - oscurece el producto
<i>Fusarium</i> (chupado, colorrosa)	- produce toxinas - reduce rendimiento de harina - produce micotoxinas
Carbon (<i>Tilletia</i> sp.)	- oscurece la harina y oscurece el producto - produce olor y sabor a pescado en la harina y en el producto (niveles > 3.0%)

De acuerdo a los resultados observados por Vázquez (2002) concluye que el daño de *Fusarium* no afecta la cantidad de proteínas, pero si su funcionalidad. El hecho de que el Gluten Index no es afectado significativamente por el grado del daño del *Fusarium* pero W (fuerza del gluten) si, se puede explicar en el periodo de descanso que tiene la masa durante el análisis alveográfico: al estar la masa a 25°C durante 20 minutos, las enzimas proteolíticas del *Fusarium* actúan sobre las proteínas del gluten, debilitándolo (Nightingale, Marchylo, Clear, Dexter and Preston 1999).

Cabe destacar que la disminución del W se debe básicamente a disminución de P (tenacidad), ya que no existe efecto significativo sobre L (extensibilidad).

Los parámetros relacionados con color de pan (color externo y color de miga) si mostraron diferencia significativa. Tanto la miga como la corteza del pan se oscurecen. Por un lado, al aumentar el daño de *Fusarium* es más difícil separar endospermo del grano de la porción externa, y por lo tanto la harina esta mas contaminada con salvado; por consiguiente, los productos son más oscuros (Vázquez, 2002).

A su vez, se conoce que el hongo produce enzimas, como por ejemplo amilasas, las que promueven el oscurecimiento del pan (Vázquez, 2002). Sin embargo, la característica más relevante de este hongo es la capacidad de producir micotoxinas que son nocivas para la salud humana y animal. El hongo *Fusarium graminearum* es capaz de producir toxinas tales como Deoxinivalenol (DON), la Zearalenona (ZEA) y muchas otras que son factores del rechazo de la cosecha (Dexter, et al 1996).

Dexter et al (1996) menciona que el DON es estable durante la molienda, a pesar de su partición en concentraciones variables. También es estable durante la panificación. Los niveles de DON se reducen en las

pastas cocidas, porque se lixivía en el agua de cocción, y en productos alcalinos como las tortillas debido a la descomposición. La retención de DON en las harinas es cercana al 50% del contenido en el grano.

Algunas especies de *Alternaria* tales como *A. triticina* ocasionan manchas severas en las hojas y espigas y el manchado del grano, con pérdidas del rendimiento de hasta un 60% bajo condiciones favorables a la infección y desarrollo de la enfermedad. Según Perelló et al (2005) existen referencias sobre su presencia en diferentes partes del mundo que han alcanzado una incidencia superior al 90% en los granos. Por tratarse de hongos responsables de la “punta negra”, sus efectos se traducen en el manchado u oscurecimiento de las harinas y alteraciones en su calidad. A esto debe sumarse el potencial riesgo de producción de micotoxinas contaminantes de alimentos y por ende perjudiciales a la salud humana y animal.

IMPACTOS DE ESTAS INTERACCIONES SOBRE LA CALIDAD DEL TRIGO EN PARAGUAY

La variabilidad climática interanual y entre distintas regiones productoras de trigo son factores que por sí afectan la calidad de la cosecha nacional. Mayores complicaciones son los resultados de las variadas prácticas de manejo especialmente, poca fertilización nitrogenada e inadecuado control de las enfermedades en el campo.

Se conoce que todas las variedades sembradas a nivel nacional son consideradas aptas para la panificación directa. Sin embargo, existen diferencias entre ellas en cuanto a su adaptación a las condiciones variables presentes en el país como también en su nivel de resistencia a distintas enfermedades. La falta de un buen conocimiento de caso puede llevar al agricultor producir un producto no demandado por el mercado o de baja calidad con sus consecuencias negativas en la economía.

Los datos de distintos parámetros de calidad sobre algunas variedades principales en dos regiones del país son elocuentes para señalar la problemática presente de año a año (Cuadros 3 y 4).

Las altas temperaturas durante el llenado de grano son perjudiciales para la calidad panadera.



Cuadro 3. Variabilidad en cuatro parámetros de calidad de trigo en dos regiones del país, 2007-08

Variedad	Peso Específico (kg/ha)				Proteína en grano (%)			
	Yjhovy		Encarnación		Yjhovy		Encarnación	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
ITAPÚA 40-OBLIGADO	75.2	77	69.4	82	13.3		12.4	14.0
ITAPÚA 50-AMISTAD	77.9	76	73.7	80	14.7	15.0	13.4	13.5
ITAPÚA 65-DON VALERIO	77.4	80	78.4	84	13.8	15.5	12.3	14.4
IAN 10-DON ARTE	76.7	78	75.8	78	14.4		13.5	
CD 104	76.1	79	74.2	83	13.3	14.7	14.0	13.4
IPR 85	77.5	78	75.6	83	14.4	16.1	13.5	15.5
BRS 208	74.2	72	74.3	78	14.6		14.4	
Variedad	Gluten húmedo (%)				Gluten seco (%)			
	Yjhovy		Encarnación		Yjhovy		Encarnación	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
ITAPÚA 40-OBLIGADO	32.5	39.2	28.6	37.4	11.0	13.4	9.4	12.9
ITAPÚA 50-AMISTAD	36.0	39.6	30.5	35.3	12.2	13.5	10.8	12.1
ITAPÚA 65-DON VALERIO	36.2	39.9	29.0	39.0	12.2	13.5	10.3	13.2
IAN 10-DON ARTE	34.0		29.3		12.0		10.7	
CD 104	31.1	39.3	34.6	33.6	11.4	14.0	12.5	12.6
IPR 85	34.3	38.7	27.2	37.9	12.1	13.9	10.1	13.9
BRS 208	39.0		36.1		13.1		12.6	

Cuadro 4. Variabilidad en cuatro parámetros de calidad de trigo en dos regiones del país, 2007-08

Variedad	Fuerza de Gluten, W (10 ⁻⁴ J)				Índice de caída (FN) seg			
	Yjhovy		Encarnación		Yjhovy		Encarnación	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
ITAPÚA 40-OBLIGADO	292	198	287	258	405	320	411	384
ITAPÚA 50-AMISTAD	431	268	402		425	351	366	376
ITAPÚA 65-DON VALERIO	388	278	262	307	460	413	378	463
IAN 10-DON ARTE	414		311		401		410	
CD 104	408	359	411		434	341	440	385
IPR 85	540	460			474	275	419	
BRS 208	456		442		540		529	
Variedad	SDS (ml)				Ceniza (%)			
	Yjhovy		Encarnación		Yjhovy		Encarnación	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
ITAPÚA 40-OBLIGADO	11.5	11.0	11.0	11.0	1.43		1.64	
ITAPÚA 50-AMISTAD	13.5	13.5	16.0	13.5	1.50		1.78	
ITAPÚA 65-DON VALERIO	9.5		11.0	10.0	1.41		1.67	
IAN 10-DON ARTE	13.0		15.5		1.47		1.87	
CD 104	13.5	14.0	13.0	11.5	1.33		1.85	
IPR 85	14.5	20.0	17.0	15.5	1.47		1.64	
BRS 208	14.5		15.0		1.45		1.93	

El análisis comparativo de estas variedades en dos regiones del país y en dos años fue realizado a través de un proyecto regional de colaboración con otros países de la región y recibió el apoyo del Centro

Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT, con sede en México. El objetivo principal del estudio fue cuantificar la variabilidad observada en la calidad de trigo en distintos años y promocionar sus resultados entre los agricultores como también la industria nacional y regional para buscar la manera de lograr una mayor estabilidad. El aspecto más claro de estos datos es que la variabilidad existe en todos los países de la región, más relacionados con las condiciones climáticas del año pero también influenciados por las diferencias del manejo practicadas por los agricultores.

Para subsanar esta variabilidad es crítico tener esta base de datos todos los años para identificar los materiales genéticos que demuestren mayor estabilidad y promover su uso en los programas de mejoramiento como también a nivel de producción. Es la única manera en la cual el país puede lograr una estabilidad de producción y tener cosechas todos los años que sean exportables.

Bibliografía

- Bernardin, J.E., S.C. Witt y J. Milenic. (1995). Storage protein synthesis in the wheat endosperm at elevated temperature. *Chemistry in Australia* 61: 499-500.
- Belderok, B. (1968). Seed dormancy problems in cereals. *Field Crop Abst.*, v. 21, p. 203
- Bhatt, G.M. et al. (1981) Preharvest sprouting in hard red winter wheat: Assessment of methods to detect genotypic and nitrogen effects and interactions. *Cereal Chem.*, v. 58, p. 300.
- Blumenthal, C., I.L. Batey, C.W. Wrigley y E.W.R. Barlow. (1990) a. Gliadin genes contain heat-shock elements: possible relevance to heat-induced changes in grain quality. *J. Cereal Sci.* 11: 185-187.
- Blumenthal, C., I.L. Batey, F. Bekes, C.W. Wrigley y E.W.R. Barlow. (1990) b. Involvement of a novel peptide in the heat shock response of Australian wheats. *Aust. J. Plant Physiol.* 17:441-449.
- Blumenthal, C., I. L. Batey, F. Bekes, C.W. Wrigley y E.W.R. Barlow. (1991). Seasonal changes in wheat grain quality associated with high temperatures during grain filling. *Aust. J. Agr. Res.* 42:21-30.
- Blumenthal, C., C.W. Wrigley, I. L. Batey, y E.W.R. Barlow. (1994). The heat shock response relevant to molecular and structural changes in wheat yield and quality. *Aust. J. Plant Physiol.* 21: 901-909.
- Byers, M., Franklin, J., Smith, S.J. (1987) The nitrogen and sulphur nutrition of wheat and its effects on the composition and baking quality on the grain. *Aspects Appl. Biol.* 15, 337-344.
- Corvellini, M., M.G. Canevar, L. Mazza, Ciaffi, D. Lafiandra y B. Borghi. (1997). Effect of the duration and intensity of heat shock during grain filling on dry matter and protein accumulation, technological quality and protein composition in bread and durum wheat. *Australian Journal of Plant Physiology* 24: 245-260.
- Castle, S. L.; Randall, P. J. (1987). Effects of sulfur deficiency on the synthesis and accumulation of proteins in the developing wheat seed. *Aust. J. Plant Physiol.* 14, 503-516.
- Ciaffi, M.; L. Tosí, B. Borghi, M. Corbellini, and D. Lafiandra. (1996). Effect of heat shock during grain filling on the gluten composition of bread wheat. *Journal of Cereal Science* 24: 2, 91-100.
- Derera, N.F. (1979) The audit. Of sprouting. *Cereal Res. Comm.* V.15, p. 15

- Dexter, J.E.; Clear, R.M.; Preston, K.R. (1996). Fusarium head blight: effect on the milling and baking of some Canadian wheats. *Cereal Chemistry (USA)* 73 (6): 695 – 701
- Díaz de Ackerman, M., Pereyra, S., & Stewart, S. (2002) Antecedentes y Perspectivas de Control de Fusariosis de la Espiga en Trigo. Serie Actividades de Difusión INIA 282:1-9.
- Echeverría, H. E.; Studdert, G.A. (1998). El contenido de nitrógeno en la hoja bandera del trigo como predictivo del incremento de proteína en el grano por aplicaciones de nitrógeno en la espiga. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 103 (1), p. 27- 36.
- Falotico, J., Studdert, G. y Echeverría, H.E. (1999) Nutrición Nitrogenada del Trigo bajo Siembra Directa y Convencional. *Ciencia del Suelo*. 17:9-20
- Graybosch, R.A., C.J. Peterson, D.R. Shelton y P.S. Baenziger (1995) Environmental modification of hard red winter wheat flour protein composition. *Journal of Cereal Science* 22: 45-51.
- Gordon, I.L.; Derera, N.F.; Balaam, L.N. (1997) Selection against sprouting damage in wheat. I. Germination of unthreshed seed, with a standard wetting procedure. *Aust. J. Agric. Res.*, v.28, p. 583-596.
- Haneklaus, S., Evans, E. y Schnug, E. (1992) Baking quality and sulphur content of wheat I. Influence of grains sulphur and protein concentrations on loaf volume. *Sulphur in Agriculture* 16 (1992) 31-34.
- Haneklaus, S. y Schnug, E. (1992) Baking quality and sulphur content of wheat II. Evaluation of the relative importance of genetics and environment including sulphur fertilization. *Sulphur in Agriculture* 16 (1992) 35-38.
- LACO Laboratorio Agropecuario. La cosecha de trigo y su Calidad. Campaña 2004/05. In: www.lacocapacitacion.com.ar/documentos/005.pdf
- Lorenz, K. (1980). Cereal Sprouts: composition, nutritive value, food applications. *CRC Crit. Rev. Food Sci Nutr.*, v.13, n. 4, p. 353-385.
- Matus, I., Vega, A. (2004) Variedades. *Boletín de Trigo. INIA, Quilamapu*. p. 7-25.
- Nightingale, M.A., Marchylo, B.A., Clear, R.M., Dexter, J.E., Preston, K.R. (1999) Fusarium Head Blight: Effect of fungal Proteases on Wheat Storage Proteins. *Cer. Chem.* 76: 150-158.
- Perelló, A., Carranza, M. y Larran, S. (2005). Patógenos de semillas asociados al manchado del grano de Trigo. *Actas XIII Congreso Latinoamericano de Fitopatología, Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina*, p 447.
- Peterson, C.J., R.A. Graybosch, D.R., Shelton y P.S. Baenziger (1998). Baking quality of hard winter wheat: Response of cultivars to environment in the Great Plains. En: *Wheat Prospects for Global Improvement*. H.J. Braun et al Eds. Kluwer Academic Publishers.
- Randall, P.J., Wrigley, C.W. (1986) Effects of sulfur supply on the yield, composition and quality of grain from cereals, oilseeds, and legumes. *Adv. Cereal Sci. Technol.* 8, 171-206
- Randall, P.J. y H. J. Moss (1990). Some effects of temperature regime during grain filling on wheat quality. *Australian Journal of Agricultural Research* 41: 603-617.
- Rendig, V.V., (1986) Sulfur and crop quality. En: Tabatabai, M.A. (Ed.) *Sulfur in agriculture*. Agron. Monogr. 27, ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, PP. 635-652.
- Reussi, N; Echeverría, H; Barbieri, P; Sainz Rosas, H (2006) Nitrógeno y Azufre en Trigo: ¿Rendimiento y proteínas? *INPOFOS. Informaciones Agronómicas* N° 30. p. 7-9.
- Selles, F. y Zentner, R. 1998. Environmental factors affecting wheat protein. PP. 139-150. In: D. Fowler y col. (eds) *Wheat Protein Production and marketing*. Univ. Ext. Press. Univ. of Saskatchewan. Saskatoon. SK. Canada.
- Sempé, M. y Chidichimo H. 2004 Efecto del Sistema de Labranza en la calidad industrial de Trigo. *Actas CD* (2 páginas). VI Congreso Nacional de Trigo. Bahía Blanca, Buenos Aires del 20 al 22 de octubre de 2004. 312-313.
- Vázquez, D (2002) Influencia del Fusarium en la calidad Industrial del Trigo. *Mesa Nacional de Trigo. 4º Jornada de Rendimiento y Calidad de Trigo*. Mercedes. p. 45-53.
- Wardlaw I.F. y C.W. Wrigley (1994). Heat tolerance in temperate cereals: an overview. *Australian Journal of Plant Physiology* 21: 695-703.
- Wrigley, C.W., du Cros, D.L., Acher, M.J. et al, (1980) The sulfur content of wheat endosperm proteins and its relevance to grain quality. *Australian Journal of Plant Physiology* 7 p. 755-766.
- Zhao, F.J., Hawkesford, M.J. y Mac Grath, S.P. (1999) Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *Journal of Cereal Sci.* 1-17 p. 1-15.

El llenado de las barcazas con trigo paraguayo.



Más de 800.000 toneladas de trigo paraguayo son exportados a los mercados regionales e internacionales.



Los Mercados Externos del Trigo y sus Requerimientos

SONIA TOMASSONE

Asesor Comercio Exterior, CAPECO

E-mail: stomassone@capeco.org.py

Resumen

El cultivo de trigo está difundido en todo el mundo y se cultiva en una gran cantidad de países, con diversas geografías y climas. La época de siembra y cosecha difiere según el hemisferio y también si se trata de trigo de invierno o de primavera. La oferta exportable del hemisferio Norte se concentra entre Mayo y Agosto. Australia y Argentina, países ubicados en el Hemisferio Sur, vuelcan sus excedentes al mercado entre Noviembre y Febrero.

Si bien EEUU es el principal exportador mundial de trigo, el sector triguero de los Estados Unidos está enfrentando cambios significativos, volcándose hacia otros rubros con mejores ingresos, disminuyendo su participación en el mercado mundial en un 17% considerando el periodo 2000-2009. Rusia y Ucrania han emergido como exportadores significativos en los últimos años y asimismo existen nuevos exportadores emergentes como Uruguay y Paraguay quienes han incrementado su participación como proveedores mundiales, especialmente accediendo a mercados tradicionales argentinos.

Entre los principales importadores emergentes se encuentran los Países Árabes y del África, especialmente los países que integran la SACU (Sudáfrica, Lesotho, Botswana, Namibia y Swazilandia), Sudan, Egipto y Nigeria así como algunos países asiáticos como Tailandia e Indonesia.

Con respecto a la tendencia de los precios del trigo, después de un periodo de ajustes y dadas las grandes zafas de trigo en los países del norte de África así como una buena producción en varios países importadores de Asia, las necesidades de importación se reducirían lo que se traduciría en una reducción en los precios en los próximos meses acorde Bloomberg. No obstante, para la zafra 2010/11 los precios tenderían nuevamente a subir conforme las condiciones climáticas así como la incidencia de los fondos de commodities.

Con relación a la situación del trigo en Paraguay, se proyecta un crecimiento en el área de cultivo para los próximos años, acompañando el crecimiento del área sojera y se es-

para un mejoramiento en la calidad del trigo paraguayo. Es importante recalcar que en 7 años se pasó de depender de un solo mercado de exportación (Brasil) a más de 23 nuevos mercados habilitados contando con acceso preferencial a los mercados de la Comunidad Andina, Israel, SACU y para el próximo año se espera proseguir las negociaciones con la Unión Europea y Países Árabes que son mercados potenciales para nuestro trigo.

Entre las principales recomendaciones se puede resaltar:

- Seguir invirtiendo en tecnología y mejoramiento de la calidad del trigo paraguayo, apuntando a un trigo de alta calidad para consumo humano, adaptado a nuestro clima, considerando que el comercio agrícola mundial se volverá muy competitivo, con nuevos jugadores competidores.
- Invertir en el mejoramiento de la logística de exportación y los accesos a mercados.
- Seguir buscando nuevos mercados de exportación y trabajando en forma conjunta con la Cancillería Nacional.

Abstract

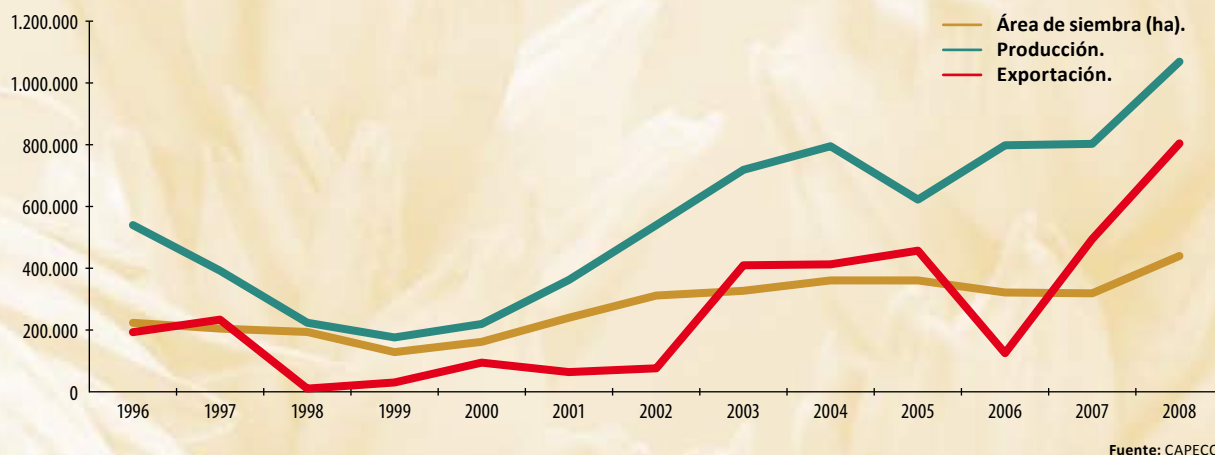
Foreign wheat markets and their requirements

Wheat is seeded in many countries representing different geographical regions and climates. Its seeding and harvest seasons differ in different hemispheres and also whether the crop is winter or spring in nature. The availability of grain for export concentrates between May and August in the northern hemisphere. Argentina and Australia, situated in the southern hemisphere, offer their grain for export between November and February. Although the United States is the major exporting country in the world, it is undergoing significant changes by producing better income products and reduced its participation in the wheat export market to approximately 17% during 2000-09. Over the last few years Russia and Ukraine have emerged as major exporters along with new countries such as Paraguay and Uruguay increasing their share in the world wheat market. Among the major emerging importers are Arabic countries, North Africa, countries integrating South African Customs Union, SACU (South Africa, Lesotho, Botswana, Namibia, Swaziland), Sudan, Egypt and Nigeria, as well as some Asian countries such as Thailand and Indonesia. According to Bloomberg, after the large production years in North Africa and some Asian countries, the demand for wheat imports will probably reduce putting a pressure on the world price. However, for the 2010-11 crop season, the prices are likely to increase again depending on the climatic conditions and the entry of hedge funds in the commodity markets. The area under wheat in Paraguay is likely to increase over the next few years, accompanying the soybean area, and better quality wheat is expected to be harvested. It is important to mention that over a period of seven years, Paraguay has moved from depending on a single market (Brazil) to more than 23 new markets. Preferential tariff entries have also been worked out with Andean Community, Israel and SACU. Further negotiations are in progress with European Union and Arabic countries that can become potential markets for the Paraguayan wheat. In order to keep progressing in the future, Paraguay must invest in the development of wheat technology and high quality for human consumption adapted to local climatic conditions. It will also be important to invest in improving the logistics of export and access to the markets. Paraguay must keep on looking for new markets to export its wheat and do so with the help of Ministry of Foreign Affairs.

EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE TRIGO EN PARAGUAY

En el último decenio, el área de siembra de trigo en el Paraguay prácticamente se ha duplicado y gracias a las investigaciones tendientes al mejoramiento del producto, se ha logrado aumentar el rinde y la calidad, lo que se tradujo en un incremento considerable de las exportaciones del rubro (+314%), (Fig.1).

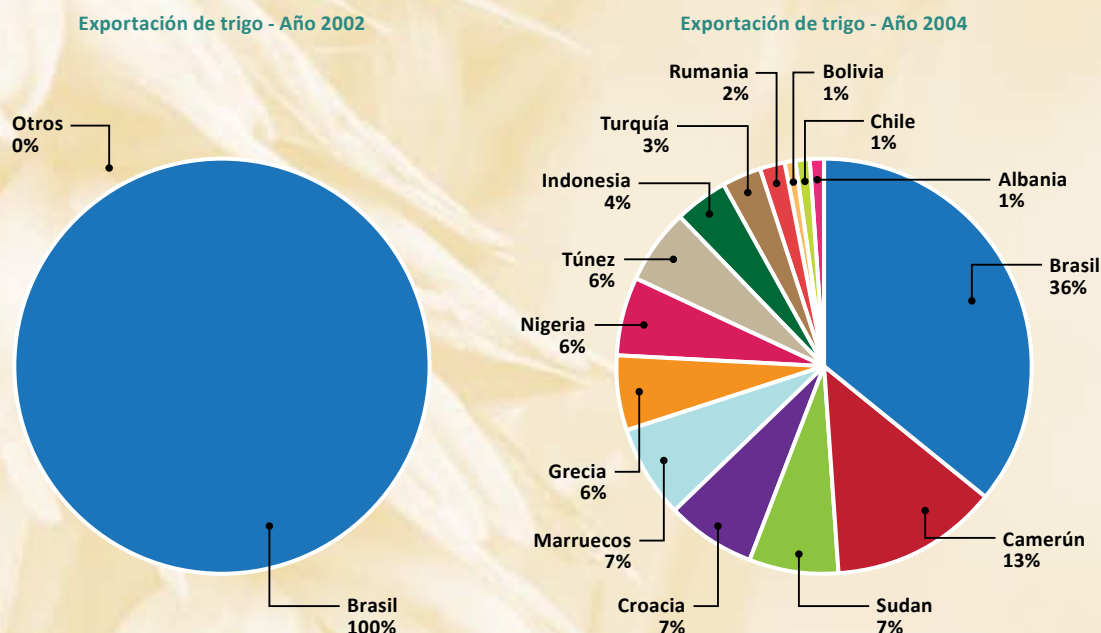
Fig. 1. Evolución de la producción de trigo en Paraguay



EXPORTACIÓN DE TRIGO PARAGUAYO

Hasta el año 2002, el único mercado de exportación del trigo paraguayo era el Brasil (Fig.2 a). Siete años después, el país cuenta con 23 países habilitados para exportar y se encuentra en un proceso de habilitación del mercado de otros ocho países (Fig 2b).

Fig. 2. a y b. Países o regiones destinos de la exportación triguera de Paraguay



Debido a la contracción del mercado brasileño y a un aumento de la producción local, se empezaron a diversificar los mercados, lo que llevó necesariamente a buscar terceros mercados a partir de Noviembre del 2003. Aun así Paraguay sigue siendo el tercer mayor proveedor de trigo a Brasil después de Argentina y los Estados Unidos de América.

Actualmente se están realizando los análisis de riesgos respectivos para el trigo en nuevos mercados de Asia y Medio Oriente. Una vez que se cuente con la habilitación fitosanitaria, se podrán realizar las exportaciones esos mercados.

En el año 2009, gracias a la eliminación del impuesto brasileño PIS/COFIN a las importaciones de trigo y maíz, Brasil volvió a ser un mercado atractivo para las exportaciones paraguayas (Fig.3). Sin embargo, es importante diversificar más los mercados de exportación para evitar las fluctuaciones frecuentes (Fig. 4).

Fig. 3. **La importancia de Brasil como importador de trigo paraguayo en 2009**

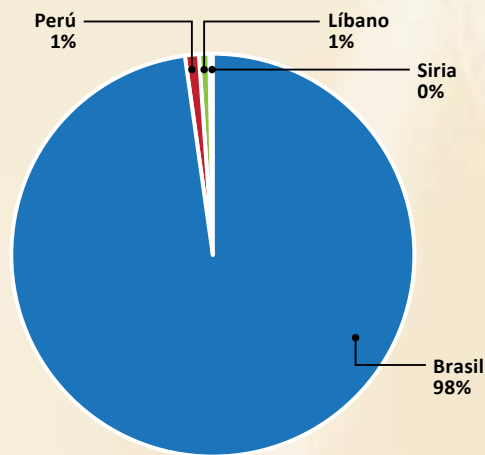
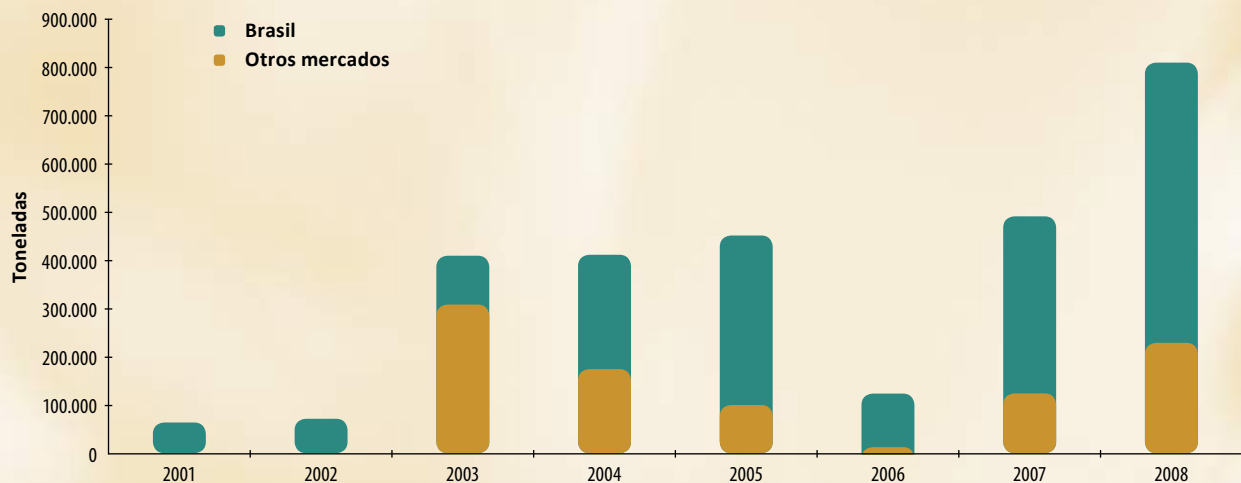


Fig. 4. **La necesidad de diversificar los mercados de exportación de trigo paraguayo**



PREFERENCIAS NEGOCIADAS POR PARAGUAY

Actualmente Paraguay cuenta con algunos mercados en los que ingresa su producto con preferencias arancelarias de importación por encima de Argentina, que es el principal competidor. La elimi-

nación de impuestos en estos mercados ayuda a compensar los costos logísticos dando mayor competitividad al trigo paraguayo. El descuento de salida al mar repercute directamente en el precio pagado al productor. En este sentido, a medida que se negocien mejores preferencias menor será el descuento a los productores; motivo por el cual éstos deberían ser los más interesados en que se realicen negociaciones de preferencias. Algunas preferencias negociadas para el trigo paraguayo están presentadas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. **Algunas preferencias negociadas para la exportación de trigo paraguayo**

En el marco de la ALADI
MERCOSUR: 100% Preferencia.
Bolivia: 100% Preferencia.
Colombia: 100% Preferencia.
Venezuela: 100% Preferencia.
Cuba: 100% Preferencia.
Ecuador: 58% de preferencia sujeta a cronograma de degravación al 2015.
Perú: 22% de preferencia sujeta a cronograma de degravación al 2017.
En el marco de otras negociaciones
Israel: 100% preferencia cupo 50.000 ton.
SACU: 50% preferencia sin restricción de cupo.
EEUU: SGP.

REQUERIMIENTOS SANITARIOS Y DE CALIDAD DE LOS MERCADOS

Un aspecto sumamente importante a tener en cuenta es la reglamentación sanitaria y los requisitos de calidad exigida por los países. Es posible negociar muy buenas preferencias, hacer promoción del trigo nacional en el exterior, pero no es posible ingresar producto a esos mercados sin cumplir los requisitos. Cada mercado cuenta con condiciones sanitarias específicas.

Para acceder por primera vez a un mercado, se debe realizar el análisis de riesgo fitosanitario por la autoridad sanitaria oficial. En este se analizan, entre otros factores, los insectos, bacterias, malezas, hongos y virus que afectan al trigo del país exportador para proceder a su posterior habilitación como potencial proveedor. Estos análisis deben ser realizados por las autoridades sanitarias de cada país. En el caso de Paraguay, el SENAVE, es el encargado de realizar estos procedimientos con sus pares de los países destino.

Actualmente Paraguay cuenta con habilitación sanitaria para exportar trigo a más de 23 países entre los que se encuentran: Brasil, Chile, Bolivia, Perú, Uruguay, Camerún, Marruecos, Nigeria, Túnez, Líbano, Siria, Sudan, Croacia, Indonesia, Turquía, Rumania, Albania, Mozambique, Irán, Suiza, La Unión Europea, entre otros mercados. Dentro del MERCOSUR se está trabajando con un estándar de requisitos sanitarios. En ese sentido, Paraguay está insistiendo especialmente en este tema debido a las constantes normativas nuevas que imponen Brasil y Argentina, que son publicadas en sus gacetas y entran a regir al día siguiente, sin dar tiempo a que los países vecinos se adapten a las mismas.

El MERCOSUR ha aprobado requisitos fitosanitarios para *Triticum* spp. (trigo) a ser aplicados en el intercambio comercial entre los Estados Partes. El Grupo Mercado Común resolvió aprobar el “Sub-estándar 3.7.16: Requisitos Fitosanitarios para *Triticum* spp. (trigo) según País de Destino y Origen, para los Estados Partes” siendo los Organismos Nacionales competentes para la implementación de la Resolución:

- **Argentina:** Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos – SAGPyA a través del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria - SENASA

- **Brasil:** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA a través de la Secretaria de Defesa Agropecuária - SDA
- **Paraguay:** Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAG a través del Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas - SENAVE
- **Uruguay:** Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca – MGAP a través de la Dirección General de Servicios Agrícolas – DGSA

El estándar 3-7-16, si bien aún no es completo, sirve de base para que cuando surge una nueva traba se pueda reclamar su aplicación si no estuviera enmarcada en dicho estándar. Aunque parezca difícil de creer, muchas veces es más fácil vender productos a la Unión Europea que a países vecinos.

Ejemplo de Brasil

De acuerdo a la Normativa Nº 7 del Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), los trigos están clasificados (de acuerdo con su Alveografía e Índice de caída (falling number)) en cinco clases, Cuadro 2:

Cuadro 2. Normativa Brasileña para clasificación de trigo

Clase	Alveografía (10 ⁻⁴ J)	Índice de caída
	Mínimo	Mínimo (segundos)
Trigo Blando	50	200
Trigo Pan	180	200
Trigo Mejorador	300	250
Trigo para otros usos	Cualquiera	< 200
Trigo Durum	-	250

Brasil tiene bastante diversificadas sus normativas. Cualquier nueva normativa debería ser comunicada a su organismo par, SENAVE, previa aplicación, circunstancia que no está siendo respetada.

Por otra parte, Brasil clasifica al trigo en 5 clases: trigo blando, trigo pan, trigo mejorador, otros usos y trigo durum. También tipifican el trigo en la instrucción normativa 1, de acuerdo a su peso hectolítrico, humedad máxima, materias extrañas permitidas, porcentajes de insectos entre otros parámetros que de no ser cumplidos, el exportador recibe descuento por parte de los importadores (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tipificación del trigo según la Instrucción Normativa Nº 1, del 27/1/1999, del MAPA

Tipo	Peso hectolitrico (kg/hl) Mínimo	Humedad (%) Máxima	Materias extrañas e Impurezas	Granos Damnificados		
			(% Máxima)	Por Insectos (% Máxima)	Por calor, mojados y ardidos (% máxima)	Chuzos, triguillo y quebrados (% máxima)
1	78	13	1	0,5	0,5	1,5
2	75	13	1,5	1	1	2,5
3	70	13	2	1,5	2	5

Los padrones mínimos requeridos para el trigo de acuerdo a la Normativa 7 del MAPA son:

35 - TRIGO

31.1 - TRIGO, farelo

É o subproduto resultante da moagem do trigo, composto de pericarpo, aleurona, partículas finas de gérmen, e das demais camadas internas dos grãos e outros resíduos resultantes do processamento industrial do trigo (*Triticum sp.*), para obtenção da farinha, deve ser isento de matérias estranhas à sua composição.

Especificação:

Umidade (máximo)	13,50 %
Proteína Bruta (mínimo)	14,00 %
Extrato Etéreo (mínimo)	3,00 %
Fibra Bruta (máximo)	11,00 %
Matéria Mineral (máximo)	6,50 %
Aflatoxinas (máximo)	50 ppb

35.2 - TRIGO, triguinho

É o produto obtido na classificação do trigo (*Triticum sp.*), consistindo de grãos refugados na classificação:

Especificação:

Umidade (máximo)	12,00 %
Proteína Bruta (mínimo)	12,00 %
Fibra Bruta (máximo)	6,00 %
Matéria Mineral (máximo)	4,00 %
Impurezas(máximo)	1,00 %

Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesquería y Abastecimiento del Brasil.

En el caso de Argentina, también cuenta con resoluciones por tipo de trigo, incluso se detallan premios y castigos por tipo de padrón (Cuadro 4):

Cuadro 4. Comercialización de Trigo Pan en Argentina - Resolución 1262/2004 – Tolerancias máximas para cada grado

Grado	Peso hectolítrico Min. kg/hl	Materias extrañas %	Granos dañados		Granos con Carbón %	Granos Panza Blanca %	Granos quebrados y/o chuzos %
			Granos ardidos y/o dañados por calor %	Total dañados %			
1	79	0,2	0,5	1	0,1	15	0,5
2	76	0,8	1	2	0,2	25	1,2
3	73	1,5	1,5	3	0,3	40	2

4. FUERA DE ESTANDAR:

La mercadería que exceda las tolerancias del GRADO 3 o que exceda las siguientes especificaciones, será considerada fuera de estándar.

- 4.1. Humedad: CATORCE POR CIENTO (14 %).
- 4.2. Picado: CERO COMA CINCUENTA POR CIENTO (0,50 %).
- 4.3. Insectos y/o arácnidos vivos: Libre.
- 4.4. Semillas de trébol de olor (Melilotus sp .): OCHO (8) cada CIEN (100) gramos.
- 4.5. Asimismo, aquel trigo pan que presente olores comercialmente objetables, granos punta negra por carbón, granos punta sombreada por tierra, granos revolcados en tierra, aquel tratado con productos que alteren su condición natural, o que por cualquier otra causa sea de calidad inferior, también será considerado fuera de estándar.

5. GRADO:

Dentro del tipo contratado el comprador está obligado a recibir mercadería de cualquiera de los TRES (3) GRADOS establecidos en este estándar.

- 5.1. BONIFICACIONES Y REBAJAS POR GRADO EN EL PRECIO GRADO 1: Bonificación UNO COMA CINCO POR CIENTO (1,5 %). GRADO 2: Sin Bonificación ni Rebaja. GRADO 3: Rebaja UNO POR CIENTO (1 %).

■ Parámetros de calidad industrial requeridos por las distintas industrias

Argentina cuenta con normas específicas para trigo blando, trigo fideo, estableciendo premios y castigos fuera de padrón (Cuadro 5).

Cuadro 5. Normas específicas para el trigo para su uso en distintos productos industriales

	% Prot	W	P	L	P/L	% Cenizas	% Gluten Hum.	Gluten Index	Estabil. Farinógrafo (min)	Falling Number (seg)	Impurezas
Pan francés en tablas		330/370	100/110	100/130	0,8/1,0	< 1,7	28/30				
Pan molde (lactal)		> 280			0,9/1,1		> 30	> 0,6	> 20	300/330	
Tapas de empanadas		> 240			0,9/1,0	< 0,55	> 26				Libre
Pastas frescas	> 12	> 270			0,9	< 0,5	> 33		17	> 280	Libre
Galletitas		200/400	70/80	80/100	0,8	< 1,8	27				
Galletitas dulces		250 +/- 20	80/100	80/100	1,0		20/23			425	
Grisines		120	50	100	0,5						
Pastas de candeal	> 12/13	180/350	110/120	50	1,2/2,5	< 0,55/0,75	28/34				Libre

Actualmente los países demandan la calidad de trigo para usos específicos, sea para pan, para pasta, etc. Paraguay puede lograr una ventaja apuntando a un producto con identidad preservada. Si bien es difícil competir con Argentina, no es imposible. Al contar con un producto diferenciado, se podrá negociar mejores precios y acceder a nichos de mercados importantes como sucede con la soja paraguaya por su alto valor proteico.

La Tipificación de los EEUU

Estados Unidos de América clasifica al trigo en grado 1, 2, 3, 4 y 5, según diferentes parámetros. Si el comprador necesita un tipo especial, debe aclararlo haciendo referencia al padrón americano, por ejemplo: U.S. No. 2 or better Northern Spring wheat, Ergoty, Dockage 0.5% (Cuadro 6).

Cuadro 6. **Clasificación de trigo por grados en los EEUU y sus requerimientos**

Grades and Grade Requirements					
	Grades U.S. Nos.				
	1	2	3	4	5
Minimum pound limits of:					
Test Weight*					
Hard Red Spring wheat or White Club wheat lbs/bu (kg/hl)	58.0 (76.4)	57.0 (75.1)	55.0 (72.5)	53.0 (69.9)	50.0 (66.0)
Durum lbs/bu (kg/hl)	60.0 (78.2)	58.0 (75.6)	56.0 (73.0)	54.0 (70.4)	51.0 (66.5)
All other classes and subclasses (kg/hl)	60.0 (78.9)	58.0 (76.4)	56.0 (73.8)	54.0 (71.2)	51.0 (67.3)
Grading factors					
Defects:					
Damaged kernels					
Heat (part of total)	0.2	0.2	0.5	1.0	3.0
Total	2.0	4.0	7.0	10.0	15.0
Foreign material	0.4	0.7	1.3	3.0	5.0
Shrunk and broken kernels	3.0	5.0	8.0	12.0	20.0
Total ^{1/}	3.0	5.0	8.0	12.0	20.0
Wheat of other classes: ^{2/}					
Contrasting classes	1.0	2.0	3.0	10.0	10.0
Total ^{3/}	3.0	5.0	10.0	10.0	10.0
Stones	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Maximum count limits of:					
Other material in one kilogram:					
Animal filth	1	1	1	1	1
Castor beans	1	1	1	1	1
Crotalaria seeds	2	2	2	2	2
Glass	0	0	0	0	0
Stones	3	3	3	3	3
Unknown foreign substances	3	3	3	3	3
Total ^{4/}	4	4	4	4	4
Insect-damaged kernels in 100 grams	31	31	31	31	31
U.S. Sample grade is Wheat that:					
(a) Does not meet the requirements for U.S. Nos. 1, 2, 3, 4, or 5; or					
(b) Has a musty, sour, or commercially objectionable foreign odor (except smut or garlic odor) or					
(c) Is heating or of distinctly low quality.					
^{1/} Includes damaged kernels (total), foreign material, shrunk and broken kernels.					
^{2/} Unclassed wheat of any grade may contain not more than 10.0 percent of wheat of other classes.					
^{3/} Includes contrasting classes.					
^{4/} Includes any combination of animal filth, castor beans, crotalaria seeds, glass, stones, or unknown foreign substance.					

Unión Europea

El caso de la Unión Europea, como en el caso de los EEUU, cuenta con requisitos específicos en cuanto a proteínas, impurezas, entre otros, estableciendo los mínimos y máximos permitidos, Cuadro 7.

Cuadro 7. Clasificación de trigo en la Unión Europea y sus requerimientos

13. 4. 97

ES

Diario Oficial de las Comunidades Europeas

Nº L 98/5

ANEXO I

ANEXO I

CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE LOS PRODUCTOS IMPORTADOS

(sobre la base de un grado de humedad del 12 % en peso o equivalente)

Producto	Trigo blando y escanda (*) salvo el tranquillón			Trigo duro	Maíz vítreo	Maíz distinto del maíz vítreo	Otros cereales
Código NC	1001 90			1001 10	1005 90 00	1005 10 90 y 1005 90 00	1002, 1003 y 1007 00 90
Calidad	Alta	Media	Baja				
1. Porcentaje mínimo de contenido de proteínas	11,0	11,5	—	—	—	—	—
2. Peso específico mínimo en kg/hl	77,0	74,0	—	76,0	76,0	—	—
3. Porcentaje máximo de contenido de impurezas (Schwarzbesatz)	1,5	1,5	—	1,5	—	—	—
4. Porcentaje mínimo de granos vítreos	—	—	—	75,0	95,0	—	—
5. Índice de flotación máximo	—	—	—	—	25,0	—	—

(*) Estos criterios se aplican a la escanda sin ceniza.

Para determinar la clasificación del trigo importado, la UE efectúa toma de muestras para determinar la calidad.

En el caso del trigo blando de calidad estándar alta y media, se realiza un análisis del contenido de proteínas, del peso específico y del porcentaje de impurezas (Schwarzbesatz), como se establece en el Reglamento (CEE) nº 2731/75 del Consejo.

En el caso del trigo duro, se realiza el análisis del peso específico, del porcentaje de impurezas (Schwarzbesatz) y del contenido de granos vítreos.

En el caso de los residuos, a la fecha no existen normativas muy estrictas. No obstante, la Unión Europea ha empezado a solicitar análisis de residuos.

Cuando la Comisión reconoce oficialmente los certificados de calidad del trigo blando y del trigo duro realizados y expedidos por el Estado de origen de la mercancía, las tomas de muestras y los análisis solamente se efectúan para comprobar la calidad certificada en un número de lotes suficientemente representativos (Cuadro 8)

Cuadro 8. **Formulario de la comprobación de calidad certificada y los niveles de tolerancia**

TOLERANCIA		
Tolerancia prevista	Trigo duro y blando	Maíz vítreo
sobre el porcentaje de contenido de proteínas	- 0,7	—
sobre el peso específico mínimo	- 0,5	- 0,5
sobre el porcentaje máximo de impurezas	+ 0,5	—
sobre el porcentaje de granos vítreos	- 2,0	- 3,0
sobre el índice de flotación	—	+ 1,0

SITUACIÓN DEL MERCADO MUNDIAL DE TRIGO

El cultivo de trigo está ampliamente difundido en todo el mundo y se cultiva en una gran cantidad de países, con diversas geografías y climas. La época de siembra y cosecha difiere según el hemisferio y también si se trata de trigo de invierno o de primavera. En el Cuadro 9 se resumen el momento de siembra y de cosecha en algunos de los principales productores y exportadores mundiales:

Cuadro 9. **Las épocas de siembra y cosecha de trigo en países principales productores y exportadores**

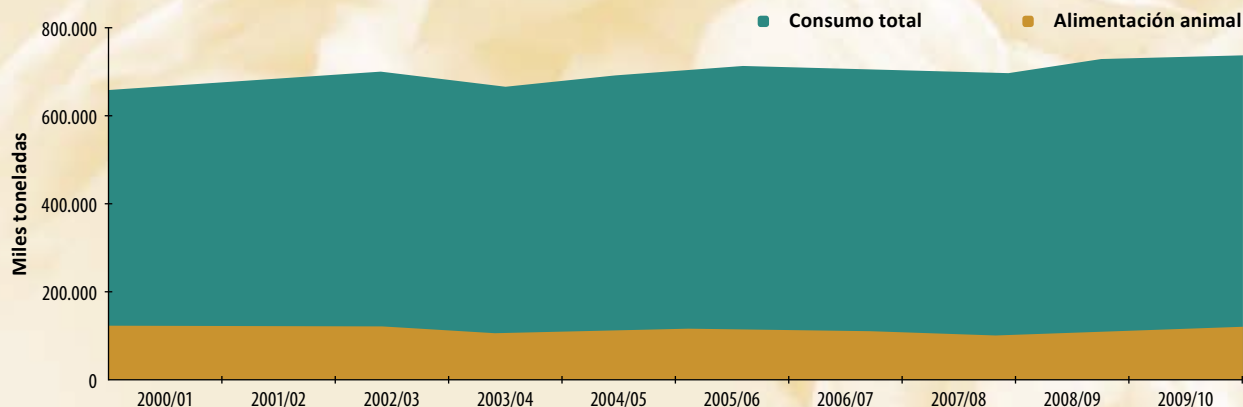
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
USA/Invierno					C	C	C	S	S	S		
USA/Primavera				S	S		C	C	C			
China/Invierno					C	C			S	S		
Unión Europea						C	C	C		S	S	
Australia					S	S				C	C	C
Argentina	C			S	S	S	S	S			C	C

S: Siembra
C: Cosecha

La oferta exportable del hemisferio Norte se concentra entre Mayo y Agosto. Australia y Argentina, países ubicados en el Hemisferio Sur, vuelcan sus excedentes al mercado entre Noviembre y Febrero.

Históricamente, la producción de trigo ha tenido como destino principal el consumo humano. Su utilización como insumo forrajero está asociada a condiciones climáticas que puedan haber afectado el cultivo durante su desarrollo (brotado debido a exceso de humedad en la cosecha). Por otra parte, en algunas regiones, como Europa y EEUU, la utilización de trigo en balanceados para consumo animal es normal en años con sobre oferta del cereal y bajos precios a nivel internacional (Fig. 5).

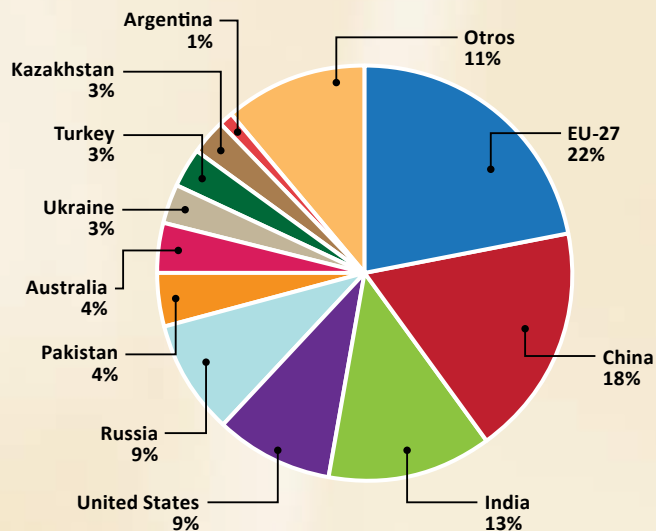
Fig. 5. El consumo total de trigo y proporción usada para alimentación animal



PRINCIPALES PRODUCTORES MUNDIALES DE TRIGO

Los principales productores de trigo son la Unión Europea, China e India, seguido por Estados Unidos y Rusia (Fig. 6).

Fig. 6. Principales países productores de trigo en el mundo



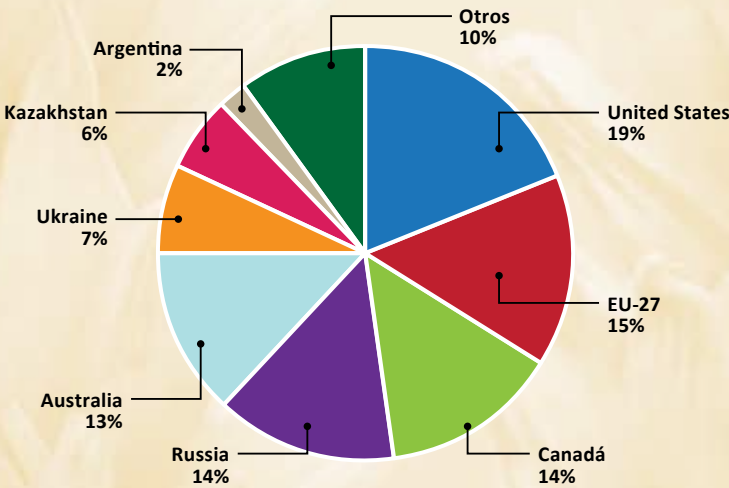
OFERTA Y DEMANDA MUNDIAL DE TRIGO

Estados Unidos, como país, es el principal exportador de trigo a nivel mundial. Sin embargo, el sector triguero de los Estados Unidos está enfrentando cambios significativos, volcándose hacia otros rubros con mejores ingresos, disminuyendo su participación de casi 30% a un 17% en el periodo 2000-2009.

Rusia y Ucrania, por su lado, han emergido como exportadores significativos en los últimos años. Asimismo existen nuevos exportadores emergentes como Uruguay y Paraguay quienes han incrementado su participación como proveedores mundiales, especialmente accediendo a mercados tradicionales argentinos.

El 75% de las exportaciones mundiales provienen de los Estados Unidos, Unión Europea, Canadá, Rusia y Australia (Fig. 7).

Fig. 7. Principales países exportadores de trigo en el mundo



Entre los exportadores emergentes, comparando su crecimiento en el último decenio, se encuentra Uruguay, que pasó de exportar 9.000 ton en el 2000 a 1.200.000 ton en el 2009, siendo el país que registra el mayor crecimiento. Le siguen en crecimiento Ucrania, Rusia, Paraguay y Pakistán (Fig. 8).

Fig. 8. Principales exportadores emergentes de trigo en el mundo. Periodo 2000-2009 (Miles de ton)

	2000		2009
1. Uruguay	9	→	1.200
2. Ucrania	78	→	9.000
3. Rusia	696	→	18.000
4. Paraguay	93	→	800
5. Pakistán	253	→	1.000

	2000		2009
1. India	1.569	→	1.569
2. Argentina	11.272	→	2.500
3. USA	28.904	→	23.814

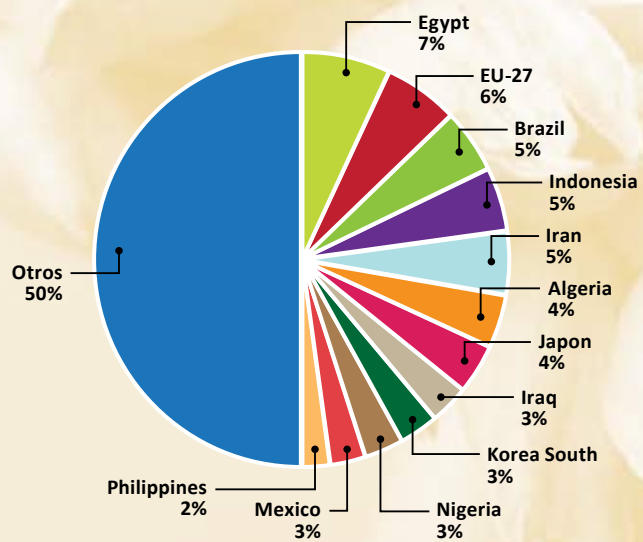
Fuente: USDA.

Los países importadores de trigo se hallan bastante pulverizados. Al año 2009, como se había pronosticado en el Primer Seminario del Trigo realizado en Asunción en noviembre del 2005, Egipto pasó a ser el principal importador mundial de trigo, seguido por la Unión Europea, Brasil, Indonesia e Irán.

Una adecuada clasificación de calidad del grano puede generar mayores mercados para trigo paraguayo.



Fig. 9. Principales países importadores de trigo en el mundo



Entre los principales importadores emergentes se encuentran los Países Árabes y del África, especialmente los países que integran la SACU, Sudan, Egipto y Nigeria así como algunos países asiáticos como Tailandia e Indonesia (Fig. 10).

Fig. 10. Principales importadores emergentes de trigo en el mundo. Periodo 2000-2009 (Miles de ton)

	2000	2009
1. Saudi Arabia	25	6.300
2. Pakistán	50	1.000
3. Siria	59	1.800
4. Sudáfrica	438	1.500
5. Sudán	520	1.500

	2000	2009
1. Marruecos	3.632	1.800
2. India	441	0
3. Brasil	7.177	6.500

Fuente: USDA.

PRECIOS MUNDIALES DE TRIGO

Después de un periodo de ajustes y por las grandes zafras de trigo en los países del norte de África así como una buena producción en varios países importadores de Asia, las necesidades de importación fueron reducidas. Esto traduce en una reducción en los precios en los próximos meses acorde Bloomberg. No obstante, para la zafra 2010/11 los precios tenderían nuevamente a subir conforme las condiciones climáticas así como la incidencia de los fondos de commodities.

El Retorno de la Inversión en la Investigación y el Desarrollo del Trigo en Paraguay

JULIO GIMÉNEZ

Economista, CAPECO

E-mail: gimenezjc@me.com

Resumen

La variación de los ingresos obtenidos por agricultores se debe principalmente a dos motivos. Uno debido a un aumento de la productividad y el segundo debido a un incremento en los precios del producto. Para conocer la proporción del aumento en los ingresos debido a la inversión en mejora tecnológica, se descompuso la variación del ingreso en los componentes citados más arriba y luego dividido en dos periodos de análisis. Primero antes del inicio del proyecto “Fortalecimiento de la Investigación y la Difusión del Cultivo de Trigo en Paraguay”, periodo 1997-2002 y el segundo después de la implantación del proyecto iniciado en 2003.

El rendimiento promedio en el periodo 2003-2008 ha sido aproximadamente de 76% superior al periodo precedente (1997-2002). Por otro lado, los precios (expresados en términos de 2007) han crecido en un 20%. Estos dos factores combinados han provocado que los ingresos totales aumentasen *intra* periodo en más del 100%.

La pregunta que surge inmediatamente es “¿qué proporción del incremento se ha debido a un aumento en la productividad?”. Y la respuesta es más que contundente; el aumento consistente de la productividad registrado en el último periodo explica cerca del 70% el aumento en los ingresos, mientras que el aumento del nivel de precios no llega a explicar siquiera la quinta parte del aumento en los ingresos.

El ingreso promedio del productor de trigo para el periodo 1997-2002 era de aproximadamente de US\$ 208 por ha (en dólares de 2007). En tanto que para el periodo 2003-2008, el ingreso ascendía a un promedio de cerca de US\$ 440 por cada hectárea.

Esta diferencia ha generado un aumento significativo en los ingresos que percibe el productor, y por lo tanto el retorno a la inversión en investigación y desarrollo (I+D) en trigo han sido positivos.

Abstract

The return to investment in wheat research and development in Paraguay

The variation in farm income is caused by two primary reasons: first, related with a change in productivity and second, due to a change in the price of the product. In order to assess the proportion of the increased farm income caused by increased investment in technology, the variation in the income was decomposed into its components and then divided in two periods of analysis. First period was before the project “Strengthening of Research and Extension of Wheat Crop in Paraguay” (1997-2002) and the second period, after the start of the project in 2003. The average yield during 2003-08 was 49% superior to an equal period earlier. On the other hand, wheat prices (expressed in 2007 terms) increased by 20%. These two factors combined have led to a total increase in the farm income by 80% between the two periods. The immediate question: what proportion of the increase has been caused by the increased productivity was worked out? The analysis presented in here shows that a significant level, over 60%, of the variation in the increased income has come from increased productivity and the change in prices contributes to less than 25% of the variation. The average income of a wheat farmer between 1997-2002 was approximately 214 US dollars (dollar value of 2007) per hectare. During 2003-08, this income increased to nearly 440 US dollar per hectare. This difference has generated significant increase in the farmer’s income. Therefore the return of investment in the research and development of wheat in Paraguay has been significantly positive.

Proceso de hibridación en trigo.



INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

El desarrollo y la adopción de tecnologías mejoradas en la agricultura han sido las fuentes de transformación de la mayoría de los países que han pasado de economías agrarias a economías industrializadas entre 1800 y finales del siglo XX (Hayami y Ruttan, 1985).

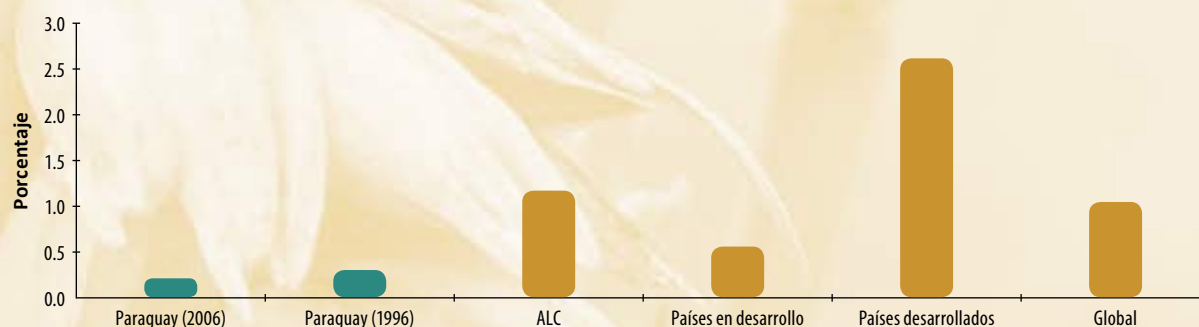
Los primeros esfuerzos de los Estados Unidos dirigidos hacia la cooperación incluían mayormente transferencias de tecnologías norteamericanas a los países en desarrollo, pero con resultados muy desalentadores. Las variedades de cultivos (granos) y ganado que había hecho la transformación de la estructura productiva en los EEUU simplemente no se adaptaban a Sudamérica y principalmente a Paraguay por sus condiciones climáticas. Considerando que los factores de producción como clima, suelo y las plagas prevalente en los EEUU y en los trópicos son muy diferentes, la inversión en investigación y desarrollo local es necesario para conseguir tecnologías apropiadas.

En 1943 la Fundación Rockefeller ayudó a México para desarrollar su propia tecnología agrícola y hacia finales de 1950 México ya era autosuficiente en la producción local de sus alimentos. De igual manera, la Fundación Ford había ayudado a Filipinas en la producción de arroz y la creación de un centro internacional de investigación enfocado al arroz. Este hecho se convertiría en el inicio de una nueva era de investigación agrícola internacional. Ya para finales de 1960 el programa de investigación existente, de la Fundación Rockefeller en México, sería transformado en dos programas internacionales de investigación en maíz y trigo que posteriormente se convierte en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT (Baum, 1986).

Las asistencias de desarrollo dirigidas a la investigación agrícola crecían durante 1970 y 1980 a medida que los donantes buscaban instalar centros tanto locales como internacionales de investigación dirigidas a desarrollar especies mejor adaptadas a las condiciones locales. A pesar de que el crecimiento del apoyo a la investigación agrícola durante estas décadas fue bastante rápido, el monto de ayuda financiera nunca llegó a ser suficiente en términos absolutos. Los fondos no alcanzaron siquiera el 5% del total de las cooperaciones dirigidas a países en desarrollo a los largo de 2002.

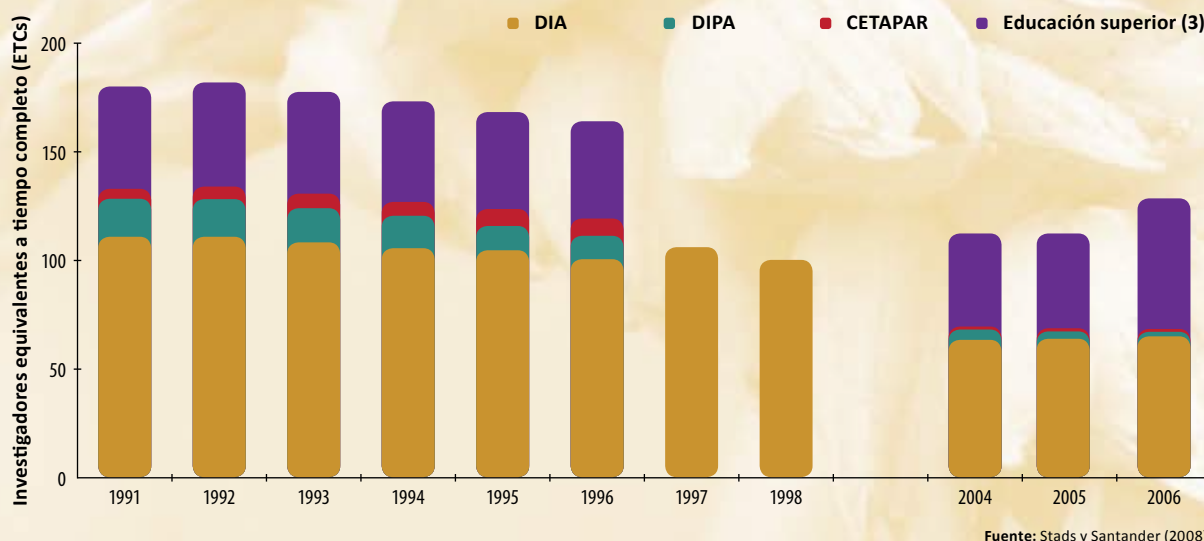
En América del Sur, los Institutos Nacionales de Investigación Agrícola o Agropecuaria fueron creados durante la década de 1960s y 70s. Sin embargo, las inversiones nacionales en investigación agrícola fueron mínimas considerando las necesidades o las demandas por la tecnología local. En la década de 90s, las inversiones en la investigación agrícola hechas por una gran mayoría de países suramericanos era menos de 1% del producto agrícola nacional. Paraguay es probablemente el único país de la región que nunca creó un Instituto o Centro de Investigación Agrícola y la manejo en forma pobre desde una dirección en el Ministerio de Agricultura y Ganadería. A pesar del apoyo Americano (USAID) y Japonés (JICA) en creación de varios centros de investigación en agricultura en el país, estos nunca recibieron apoyo ni financiero ni de personal para llevar adelante las tareas asignadas (Fig. 1). Lo mas grave es que el sistema nacional postergó la prioridad al perfeccionamiento

Fig. 1. **Porcentaje del Producto Interno Bruto Agrícola invertido en la investigación agropecuaria pública de Paraguay, comparación regional y global**



Fuente: Stads y Santander (2008).

Fig. 2. Comparación de la composición de los Investigadores agropecuario publico, 1991-1998 y 2004-2006



de sus técnicos y a las necesidades del campo para resolver una multitud de problemas que mantienen a la producción agrícola, especialmente a nivel de campesinos, con eficiencia baja (Fig.2). En 2000, la inversión de Paraguay en investigación y desarrollo también era inferior al promedio oficial del año 2000 para América Latina y el Caribe (\$1,14), los países en desarrollo (\$0,55) y el promedio global (\$0,98) (Beintema y Stads 2008).

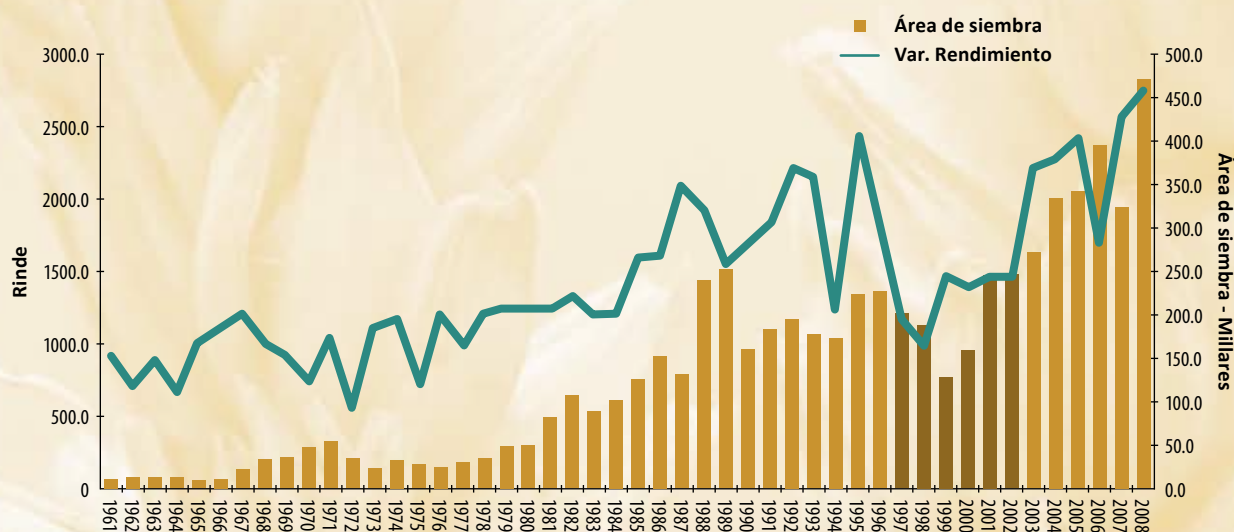
TRIGO EN PARAGUAY

La producción nacional de trigo dio sus inicios en la década de los 60. En su primera etapa estuvo caracterizada por un fuerte crecimiento debido principalmente al soporte dado por el Plan Nacional del Trigo en el periodo (1961 – 1975). La superficie sembrada de trigo tuvo un fuerte incremento en los primeros diez años, entre 1961 y 1971, llegando a un crecimiento acumulado de alrededor de 500%, a una tasa promedio anual de 30% anual, pasando de las 8.000 ha. en 1961 a unas 51.000 ha. para 1971 (Fig 3). Sin embargo, las epidemias durante los años 1972 y 1975 desalentaron a los agricultores y como consecuencia la superficie cultivada cae alrededor de un 50% y la producción a una tercera parte en el año 1975 (Kohli, 2004). En la fase inicial de cultivo de trigo el rendimiento promedio estuvo en un rango de entre 547 y 1200 kg/ha. con un promedio de 915 kg/ha.

Desde este inicio el país ha pasado por altibajos en la producción de trigo durante los últimos 50 años hasta la presente década en la cual además de lograr el autoabastecimiento de este cereal, el país ha convertido en un exportador del grano. En gran medida este cambio se debe al apoyo del **Proyecto “Fortalecimiento de la Investigación y la Difusión del Cultivo de Trigo en Paraguay”**. En su primera etapa (2003-2007), este proyecto fue financiado por la Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas, CAPECO y desarrollado en colaboración con la Dirección de Investigación Agrícola, DIA, dependiente del Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG. Desde 2008, el Instituto de Biotecnología Agrícola, INBIO, financia el proyecto con la participación activa de CAPECO y del MAG/DIA.

En el 2008 el país logró producir alrededor de 1.300.000 toneladas de trigo frente a la demanda interna de casi 500.000 toneladas. De esta manera se pudo exportar casi 800.000 toneladas. Por su parte, el rendimiento actual se encuentra por encima de los 2.500 kg/ha, comparable con el de países tradicionalmente productores de trigo como es el caso de Argentina. Este cambio, mostrado en la Figura 3, merece un especial análisis desde el punto de vista del retorno que ha tenido sobre la inversión realizada en la investigación de trigo con el objetivo de determinar la validez del apoyo a otros rubros agrícolas así como demostrar que la inversión en la investigación triguera ha dado resultados positivos al aumentar el ingreso del productor.

Fig. 3. La superficie de trigo en hectáreas y la variación anual de siembra durante 1961-2007



Fuente: FAO y CAPECO.

EL RETORNO DE LA INVERSIÓN

Existen varias metodologías estadísticas para contrastar las diferencias entre dos grupos, el grupo antes del tratamiento y después, sin embargo, la disponibilidad de datos “después del tratamiento” (2003-2009) es muy limitada para la aplicación de los contrastes estadísticos usuales.

Por esta razón se ha optado por realizar un análisis de los factores que han liderado los cambios en el ingreso del productor de trigo. En otras palabras, el procedimiento trata de descomponer los ingresos entre los fundamentos que han provocado su incremento.

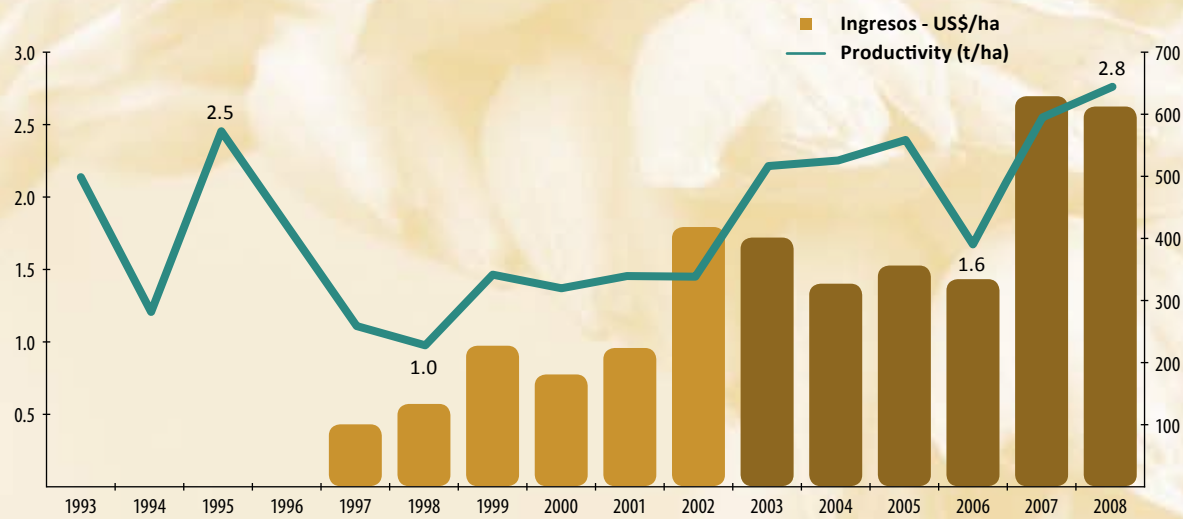
El ingreso por unidad de producción puede variar básicamente a consecuencia de dos factores, un aumento de la productividad y/o un incremento en los precios del producto. Para realizar este análisis primeramente se ha tenido que expresar los precios en términos de un año base, en este caso se ha seleccionado el año 2007 debido a que los índices de precios calculados por el Banco Central del Paraguay tienen como base ese mismo año. Una vez hecho esto, se calculan los ingresos brutos primeramente para el periodo¹ 1997-2002. Debido a que el proyecto ‘Fortalecimiento de la Investigación y Difusión del Cultivo de Trigo en Paraguay’ se inicia en 2003, a partir de este mismo año se incluyen la inversión como un “costo” y se calculan los beneficios netos.

¹ La selección del periodo de análisis se realiza principalmente basados en la disponibilidad de información acerca de los precios.

Ing. Agr. Ramón López de Sem-Agro explicando las virtudes de la variedad Canindé 2.



Fig. 4. Rendimiento promedio de trigo en Paraguay y los ingresos obtenidos por los agricultores (1993-2008)



En el Cuadro 1 se han calculado la media y desviación estándar para dos periodos, primeramente para el periodo pre Proyecto de Fortalecimiento (1961-2002); y otro para el periodo de implementación del Proyecto (2003-2010). Si bien el número de observaciones para cada periodo son significativamente diferentes, aún es posible obtener algunas conclusiones importantes respecto el rendimiento del trigo para esos periodos. Primero, el rendimiento medio para los últimos 8 años observados (2003-2010) ha sido superior que el periodo anterior al Proyecto (1961-2002). En segundo lugar, la volatilidad medida por la desviación estándar ha sido menor en el periodo posterior al Proyecto (2003-2010). En resumen, luego del inicio del Proyecto los rendimientos han sido mayores al mismo tiempo que la variabilidad del mismo se redujo.

Cuadro 1. Media y Desviación Estándar para el Rendimiento del Trigo en Paraguay

Series 1961-2001	Estadísticas
Número de observaciones	42
Media (kg/ha)	1,295.2
Desviación estándar	439.3
Series 2003-2010	Estadísticas
Número de observaciones	8
Media (kg/ha)	2,258.1
Desviación estándar	402.8

Fuente: Elaboración propia con datos de CAPECO.

A partir de estas observaciones, se procede a estimar los ingresos de la manera descrita anteriormente, con el objetivo de compararlos para los periodos (1993-2002) y (2003-2008), para los que se tienen datos (oficiales) de precios pagados al productor y rendimientos. En la Cuadro 2, en la segunda y tercera columna se tienen los datos de rendimiento, precio e ingreso promedio para los dos periodos comparados.

Cuadro 2. **Variación de rendimientos e ingresos en el cultivo de trigo en Paraguay**

Concepto	1991-2002	2003-2008	Var. (8)
Rinde prom. (t/ha)	1.3	2.3	76
Precio prom. anual al productor (deflactado)	159	191	20
Ingreso medio US\$/ha	208	441	112

Fuente: Elaboración propia con datos de CAPECO y MAG.
Ingreso expresa Gs. constantes de 2007

En la última columna es posible apreciar la variación porcentual entre ambos periodos para los indicadores seleccionados. Por ejemplo, el rendimiento para el último periodo (2003-2008) los rendimientos han sido aproximadamente un 76% superiores al periodo precedente. De igual manera, los precios (expresados en términos de 2007) ha crecido en un 20%. Estos dos factores combinados han provocado que los ingresos totales aumentasen *intra* periodo en aproximadamente 112%.

Por supuesto que ahora la pregunta es ¿qué proporción del incremento del ingreso se ha debido al aumento en la productividad? Para responder a esta pregunta se presenta la descomposición descrita anteriormente acerca de las fuentes del crecimiento de los ingresos, Cuadro 3.

Cuadro 3. **Fuentes de Variación del Ingreso**

Fuentes de la variación del ingreso (%)	
Var. debido a la productividad	68
Var. debido a precios	18

Fuente: Elaboración propia con datos de CAPECO y MAG.

La respuesta es más que contundente, el aumento consistente de la productividad explica casi el 70% del aumento en los ingresos, mientras que el aumento del nivel de precios no alcanza siquiera a explicar la quinta parte del aumento de los ingresos. En conjunto, estos dos factores explican el 86% del aumento del ingreso, lo restante puede ser atribuido a otros factores que no han sido tomados en cuenta en el análisis.

El ingreso promedio del productor de trigo para el periodo 1997-2002 era en dólares de 2007 de aproximadamente de US\$ 214 por ha. En tanto que para el periodo 2003-2008, el ingreso ascendía a un promedio de cerca de US\$ 440 por cada hectárea. Esta diferencia ha generado un aumento significativo en los ingresos que percibe el productor, y por lo tanto el retorno a la inversión en investigación y desarrollo (I+D) en trigo han sido positivos.

En conclusión, puede decirse que, tal como lo afirma Sachs (2008), que uno de los aspectos claves para lograr el desarrollo económico, es aumentar el rendimiento de los cultivos y para esto es fundamental lograr que los productores más pobres tengan acceso a semillas mejoradas, fertilizantes, y técnicas que permitan reponer los nutrientes del suelo. Y esto solamente puede ser conseguido por un lado mejorando la distribución de la inversión en el sector rural y por otro lado adoptando medidas de política que mejoren el acceso a crédito de los campesinos pobres.

Bibliografía

- Baum, W. C. 1986. Partners Against Hunger: The Consultative Group on International Agricultural Research. *Washington, DC: The World Bank*
- Beintema, N. M., and G.J Stads. 2008. Agricultural R&D Capacity and Investments in the Asia-Pacific Region Research Brief No. 11. In: *Agricultural Science and Technology Indicators (ASTI) Initiative. Washington, DC: IFPRI*
- Hayami, Y., and V. W Ruttan. 1985. Agricultural Development: An International Perspective (Revised Ed.). *Baltimore: Johns Hopkins University Press.*
- Kohli, M. M. 2004. El Largo Camino Para El Autoabastecimiento De Trigo En Paraguay. *Revista Campo Agropecuario* [Asunción].
- Sachs, J.D. 2008. A New Deal for Poor Farmers. Web log post. *ECONOMICS AND JUSTICE*. Project Syndicate, 20 May 2008.
- Stads, Gert-Jan, and Víctor Santander. 2008. ASTI Country Brief No. 40. *Agricultural Science & Technology*.

El equipo técnico del Programa de Trigo en el CRIA, Capitán Miranda, Itapúa.



ARTEMAC^{s.a.}

Tte. Vera 2856 e/ Cnel. Cabrera y Dr. Caballero
Asunción, Paraguay
Telefax: (021) 612 404 - 660 984 - 621 770/2

Otras publicaciones apoyadas por CAPECO

- 1. Avances y Resultados de la Investigación del Trigo en el Paraguay.**
Compilado por Lidia de Viedma; Ricardo Pedretti; M. M. Kohli; Graciela Gómez. Asunción: MAG/DIA/CRIA, IICA, CAPECO, 2004. p. 124.
- 2. CAPECO, Una trayectoria, una realidad.**
25 Años de CAPECO. Asunción, 2005. p. 119.
- 3. Resultados de Investigación: Roya de la Soja.**
Acuerdo de Cooperación MAG/CAPECO/USDA. Paraguay, 2006. p 49.
- 4. Primer Seminario Nacional de Trigo. Del grano al Pan.**
Eds. M. M. Kohli y L. E. Cubilla. 2007 CAPECO, Asunción, Paraguay. p 120.
- 5. Segundo Seminario Nacional de Trigo: Del Grano al Pan.**
Eds. M. M. Kohli, L. E. Cubilla y Lidia de Viedma. 2009. CAPECO, Asunción, Paraguay. p 140.
- 6. Manual del Productor, Guía para la Producción de Trigo.**
Eds. M. M. Kohli, Lidia de Viedma, L. E. Cubilla. MAG/DIA/CRIA/CAPECO. p 40.

Otras publicaciones apoyadas por INBIO

- 1. *Macrophomina phaseolina*, hongo causante de la pudrición carbonosa del tallo.**
Facultad de Ciencias Agrarias (UNA) e Instituto de Biotecnología Agrícola. Orrego F, Aida L. (Editora) San Lorenzo, Paraguay, 2009. 107 p.
- 2. Comportamiento de 13 cultivares de soja en siete épocas de siembra en la región sureste de Paraguay.**
Morel Yurenka, Aníbal. 2009. Centro Regional de Investigación Agrícola (DIA-MAG) & INBIO. Boletín de Investigación, Capitán Miranda, Itapúa, Paraguay. 20 p.
- 3. Aspectos biológicos de *Spodoptera eridania* (Lepidoptera, Noctuidae) criadas en diferentes tipos de dietas. Plaga del cultivo de Soja.**
Gómez, Victor A. Facultad de Ciencias Agrarias (UNA) & Instituto de Biotecnología Agrícola. Departamento de Protección Vegetal. San Lorenzo, Paraguay. 2009. 40 p.

NUEVA VARIEDAD

CANINDE 11

**PRECOZ ALTO POTENCIAL DE RENDIMIENTO
Y TOLERANTE A SEQUIA**

