

# Aplicación de la biotecnología en el mejoramiento del cultivo

*Dr. Marcelo Helguera*

## 1- Introducción

Tradicionalmente, el mejoramiento genético de trigo se basa en la selección de individuos que acumulen el mayor número posible de caracteres agronómicos deseables a partir de poblaciones segregantes. Este proceso de selección se repite en sucesivas generaciones, de modo tal que, por un lado, se reduce la variabilidad genética inicial y por otro se fijan el número mayor posible de caracteres deseables en líneas avanzadas de mejoramiento. El éxito del proceso depende de la heredabilidad de los caracteres en cuestión. Herencias poligénicas, interacciones con otros genes y con el ambiente, etc., son factores que limitan la eficiencia de selección de un carácter y dificultan la obtención de líneas avanzadas estabilizadas de buen comportamiento.

## 2-Problemáticas del mejoramiento

La realidad actual enfrenta al mejoramiento con diversos tipos de situaciones:

- 1) Las nuevas variedades de trigo no permanecen mucho tiempo en el mercado, principalmente por problemas de enfermedades (rápidamente se vuelven susceptibles frente a patógenos), o por bajo rendimiento (el rápido recambio de variedades hace que rápidamente se vean superados los rendimientos de las viejas variedades por las nuevas que ingresan en el mercado).

2) La demanda creciente de diversificar la producción de trigos en función de requerimientos industriales específicos (pan, pastas, galletitas, etc.), impulsada por sectores industriales del mercado interno e internacional.

## 3-Soluciones posibles

Una forma de resolver de modo eficiente esta coyuntura consiste en complementar los programas de mejoramiento tradicionales con herramientas biotecnológicas. Entre estas herramientas (tecnologías), las de mayor difusión en el cultivo de trigo son: 1) los marcadores moleculares; 2) el cultivo de tejidos; y 3) la transformación genética.

A partir de la incorporación de estas herramientas en el mejoramiento, es posible modificar el escenario del trigo en dos áreas principales: 1) reemplazando el concepto de producción de un solo tipo de trigo de exportación (commodity) por el de producción de especialidades derivadas de trigo con mayor valor agregado en el componente tecnológico (noodles, galletitas dulces, "crackers", masa congelada, pan de molde, pastas, gluten con alto contenido de aminoácidos esenciales, almidones "waxys", plásticos biodegradables, etc.); 2) protegiendo el cultivo contra enfermedades mediante la incorporación de nuevas fuentes de resistencia a patógenos, como roya de la hoja, fusariosis de la espiga, etc.; 3) logrando un mejor ajuste al ambiente de las variedades (adaptación) a partir del mayor conocimiento de la regulación genética de caracteres como la vernalización, el fotoperíodo, etc.

Todos estos ejemplos tratan de la manipulación de caracteres simples o genes principales de caracteres complejos, donde la biotecnología es, comparativamente, más eficiente que el mejoramiento tradicional, no sucede lo mismo con caracteres más complejos como, por ejemplo, tolerancia a salinidad, tolerancia a sequía, alto rendimiento, etc., donde el mejoramiento tradicional es más efectivo.

#### **4- Selección asistida por marcadores (SAM)**

La SAM es en la actualidad la vía más económica y efectiva para capitalizar el creciente caudal de información genómica-molecular de trigo y especies emparentadas, e incorporar rápidamente caracteres valiosos en un germoplasma cualquiera. Esta tecnología se basa en identificar una secuencia singular o única de ADN (marcador molecular) cercana a un carácter de interés agronómico (por ejemplo un gen de resistencia a roya de la hoja). Una vez logrado esto, las plantas portadoras de ese carácter agronómico son rápidamente seleccionadas en poblaciones segregantes, según presenten o no el marcador. El proceso de selección "molecular" se independiza del fenotipo y del ambiente y puede hacerse en cualquier estadio fenológico de la planta.

La mecánica de incorporar caracteres agronómicos en un individuo utilizando marcadores moleculares no genera las controversias en la opinión pública que actualmente poseen los organismos transgénicos. Países como EEUU, Canadá, Australia, Inglaterra, Francia, etc., tienen incorporada la selección asistida por marcadores moleculares al mejoramiento tradicional de trigo para resolver problemas puntuales de calidad industrial y susceptibilidad a ciertas enfermedades como roya de la hoja, fusariosis de la espiga, etc.

#### **5- Actividades desarrolladas en el INTA, Laboratorio de Biotecnología, EEA Marcos Juárez**

El Laboratorio de Biotecnología de la EEA Marcos Juárez está llevando adelante proyectos relacionados con marcadores moleculares en las siguientes áreas de investigación:

- 1) Reducción del uso de pesticidas en la producción de trigo, ampliando la base de resistencia genética a enfermedades fúngicas.
  - Roya de la hoja
    - Introgresión de los genes Lr47, Lr37-Sr38-Yr17 y Lr51 asistida por marcadores en germoplasma de trigo elite. Todos estos genes son fuentes de resistencia a roya de la hoja, inéditos, no presentes en el germoplasma actual de trigo en la Argentina.
      - Identificación de genes de resistencia durable a roya de la hoja y desarrollo de marcadores útiles para el mejoramiento genético. Variedades seleccionadas de la resistencia durable: Sinvalocho y Buck Manantial. Proyecto Nacional de INTA, coordinado por Francisco Sacco de INTA IGEAF Castelar.
  - Fusariosis de la espiga de trigo (FET)
    - Introgresión asistida por marcadores moleculares del QTL 3BS en germoplasma de trigo argentino. Esta región genómica se encuentra ligada a la resistencia a fusariosis de la espiga proveniente de la variedad Sumai 3.

## 2) Desarrollo de germoplasma de trigo con calidades diferenciadas

- Utilización de marcadores moleculares para las proteínas puroindolina A y B como estrategia para modificar la textura del endosperma de grano. Desarrollo de germoplasma de trigo con textura de grano blanda, útil para la elaboración de bizcochuelo y galletitas del tipo cookies.
- Propiedades físico-químicas del almidón. Desarrollo de marcadores moleculares para caracterizar el gen GBSS en los genomas A, B y D de trigo (este gen es responsable del carácter "almidón waxy"). Utilización de estos marcadores para 1), desarrollo de germoplasma de trigo parcialmente "waxy" (adecuado para la elaboración de fideos noodles japoneses o chinos); 2), desarrollo de germoplasma de trigo con almidón totalmente "waxy", evaluación de este producto como sustituto de almidones "waxys" de maíz, papa, etc.
- Caracterización de la variabilidad genética en proteínas de reserva de germoplasma de trigo argentino. Determinación de la constitución óptima de gluteninas y gliadinas del grano para usos industriales específicos (pan de molde, galletita, bizcochuelos, masas congeladas, fideos candeales, etc.)

## 3) Adaptación al ambiente

- Desarrollo de marcadores moleculares para el gen Vrn-1, responsable del carácter vernalización en trigos hexaploides (requerimiento de frío para inducir espigazón).
- Caracterización del germoplasma de trigo argentino utilizando marcadores basados en el gen VrnA1.
- Utilización de marcadores moleculares ligados a Vrn-1 como estrategia para modificar el requerimiento de frío en variedades de trigo (convertir variedades invernales en primaverales y viceversa).

## 4) Caracterización de germoplasma e identificación varietal

- Utilización de la variedad genética presente en gliadinas, gluteninas de alto peso molecular, loci VrnA1, pinA y pinB, etc. para desarrollar un "fingerprinting" único para cada variedad/línea de mejoramiento de trigo.

## **6- CVT INTA-Bioceres, un ejemplo de la utilización de marcadores moleculares en un programa de mejoramiento de trigo**

Objetivo general del convenio: "Creación, multiplicación y comercialización de cultivares de trigo pan"

Actividades relacionadas con el uso de marcadores moleculares:

### 1) Caracterización de germoplasma utilizando marcadores genéticos

- Gluteninas de alto peso molecular
- Gliadinas y secalinas

2) Introgresión de genes de interés agronómico asistida por marcadores moleculares en líneas elite del CVT.

- Genes de resistencia a roya de la hoja

- Resistencia a fusariosis de la espiga
- Gen responsable del incremento del contenido proteico en grano proveniente de la variedad Glupro
- Modificación del requerimiento de frío (vernalización) en líneas elite del CVT.

## **7- Grupo de trabajo**

Leonardo Vanzetti, Mercedes Nisi (Lab. Biotecnología INTA EEA Marcos Juárez)

Beatriz Formica (Banco de Germoplasma INTA EEA Marcos Juárez)

## **8- Colaboradores y referentes**

Jorge Dubcovsky (UCDavis CA, EEUU)

Gabriela Tranquilli, Silvina Lewis, Marcela Manifesto, Laura Pfluger, Enrique Suárez (IRB INTA Castelar)

Francisco Sacco (IGEAF INTA Castelar), Norma Paniago (CNIA INTA Castelar), Viviana Echenique (Cátedra de Genética, Fac. Cs. Agropecuarias UNS Bahía Blanca), Roberto Racca (IFFIVE INTA)

Carlos Bainotti, Jorge Frascina, José Salines, Jorge Nisi, Martha Cuniberti (INTA EEA Marcos Juárez)

Mejoradores del CVT INTA-Bioceres

# **Manejo integrado de las enfermedades del trigo**

## **Nuestra oportunidad para asegurar la sustentabilidad del cultivo**

**Marcelo A. Carmona**

### **Consideraciones sobre los efectos de las enfermedades sobre los procesos fisiológicos**

#### **Origen de los daños y pérdidas**

De un modo simple y general, los daños ocasionados por las enfermedades de las plantas representan la diferencia entre la producción obtenida a campo en kilogramos o toneladas, y la que potencialmente sería alcanzable en ausencia de la enfermedad. Asimismo, esta diferencia expresada en unidades monetarias (pesos o dólares), conformaría las frecuentemente denominadas pérdidas ocasionadas.

Existe un consenso general entre los especialistas en agricultura respecto a que las enfermedades están causando significativas y crecientes pérdidas en la mayoría de los cultivos extensivos. Sólo en el cultivo de trigo y para América del Sur, los daños promedio estimados oscilan entre 20 al 30 %, valores que pueden puntualmente ser mayores, dependiendo del genotipo, características del patógeno y de las condiciones ambientales.

El origen de estos daños es, seguramente, consecuencia del proceso de interferencia de los mecanismos generadores del rendimiento y de los efectos morfo-fisiológicos directos que los patógenos generan sobre el cultivo. Los principales procesos biológicos afectados por los patógenos son la fotosíntesis, respiración, translocación de agua y nutrientes, y reproducción.

Cualquier interferencia en estos procesos vitales genera un mal funcionamiento de la planta en la utilización de los recursos del ambiente necesarios para su crecimiento y desarrollo. Probablemente, el efecto más negativo que muchas de las enfermedades causan es la ineficiencia en la absorción de la radiación, generando una disminución de la fotosíntesis y su eficiencia, mayor reflectancia, menor biomasa, y desvíos de energía y fotoasimilados, que son usufructuados por los patógenos o utilizados por la planta en sus mecanismos de defensa. Estos efectos se visualizan mediante la generación o anticipo de senescencia, disminución del índice de área foliar (**IAF**), de la radiación solar absorbida y de la duración del área foliar sana (**DAFS**). Estos cambios pueden ser debidos a una disminución en el contenido de clorofila o por mal funcionamiento o destrucción de cloroplastos, cambios energéticos, hormonales, bioquímicos, hídricos, ocasionados por el “parasitismo” colonizador de los patógenos.

Si bien, y de modo general, los principales componentes del rendimiento del trigo afectados por los patógenos, son el número de granos  $m^2$  y el peso de los mismos, para entender cuáles son los componentes que son afectados por una determinada enfermedad, es preciso estudiarla en función de su agente causal (biotrófico-necrotrófico), momento de aparición en el ciclo ontogénico del trigo, su intensidad de ataque (incidencia-severidad) y del tipo de órgano más afectado. Además de considerar los componentes numéricos del rendimiento, la calidad de la semilla cosechada es otro factor afectado por los patógenos. Como ejemplo destacado, merece nombrarse a las numerosas especies de *Fusarium*, algunas de las cuales son capaces de generar peligrosas micotoxinas.

Para evitar los daños y pérdidas y lograr altos rendimientos en el cultivo de trigo, el productor cuenta con el Manejo Integrado de Enfermedades (**MIE**) que mediante un proceso dinámico de decisión *jerarquiza tácticas y estrategias* para asegurar la sustentabilidad.

## Manejo Integrado vs. Control Integrado

### ¿Por qué Manejo Integrado?

En el *control integrado* se emplean todas las tácticas disponibles, teniendo siempre presente el retorno económico. El significado del control da idea de dominancia, poder y mando, resultado muy difícil de obtener al hablar de patógenos.

En el *manejo integrado* de enfermedades, además de aplicar todas las medidas disponibles, se toma en consideración la sustentabilidad ecológica, tendiendo como principio a la racionalización del uso de agroquímicos. Manejo da idea de conducción, de gobierno, pensando en disminuir la enfermedad por debajo del nivel de daño, económico. Lamentablemente, en fitopatología se ha utilizado muy poco el concepto de Umbral o nivel de daño. Manejo es un proceso continuo que considera a las enfermedades dentro del agroecosistema y no ofrece, por lo tanto, una mirada ajena de la realidad del sistema de producción.

Además de las diferencias semánticas o etimológicas de las palabras *control* y *manejo* es necesario dejar claramente establecido que las medidas sanitarias no deben ser nunca consideradas antinómicas ni divergentes, sino, por el contrario, complementarias. Esto quiere decir, por ejemplo, que la aplicación racional de fungicidas la resistencia genética y las prácticas culturales son integradamente útiles y no excluyentes.

En el **MIE** las principales estrategias de control se basan en el uso de cultivares resistentes, uso de semilla sana o tratada eficientemente, en la aplicación de fungicidas basada en el umbral de daño económico (**UDE**) y en el control por prácticas culturales. De esta manera, se puede visualizar por lo expuesto, que la sustentabilidad de la actividad agrícola y en especial bajo siembra directa, será más fácilmente obtenida a través del **MIE**.

### ¿Cuáles son las tácticas disponibles para desarrollar el MIE?

### ¿Cómo se establecen las preferencias en la elección de medidas de control?

El primer paso hacia el éxito es la concientización de la problemática de los patógenos y el conocimiento del origen de los daños y pérdidas. Será necesario también entender los mecanismos de supervivencia y nutrición de los patógenos (¿está alojado en la semilla?, ¿sobrevive en el rastrojo?, ¿se disemina por el viento?, ¿vive sólo en tejidos vivos?, ¿hay disponibilidad de resistencia?). Además de ello, será necesario conocer básicamente los aspectos epidemiológicos y de los procesos infecciosos. Muchas tácticas deberán ser tomadas incluso antes de la siembra por ser económicas y efectivas para “defenderse” de las fuentes de inóculo (elección de cultivares, fecha de siembra, tratamiento de semilla, rotación). Posteriormente, en el cultivo implantado, el diagnóstico correcto y la cuantificación de las enfermedades en cuestión (incidencia y severidad), conformarán la base sobre la cual se tomarán las decisiones de aplicación racional y económica de fungicidas (predicción, uso de umbrales). Es conveniente recordar siempre que el mayor éxito en control de una enfermedad se logra con aplicación de varias medidas (control cultural, genético, biológico y químico) y no sólo con una de ellas. Es por eso que el uso de fungicidas debería estar enmarcado dentro del manejo integrado.

**1) Siembra de cultivares resistentes a las royas y oídio.** Debe contarse con toda la información disponible de los criaderos y estaciones experimentales, sobre el comportamiento de los genotipos más difundidos (Annone y Galich, 2000). Utilizar aquellos que equilibren rendimiento con buen comportamiento frente a enfermedades. Esto es básicamente para royas y oídio, pues los mismos no

tienen capacidad de sobrevivir en los rastrojos y, dada su biología, es posible obtener cultivares con genes de resistencia (Cuadro 1 y 2). Aunque es considerada una práctica de manejo exitosa, el control de la roya de la hoja a través de la resistencia genética, ejerce un efecto a corto plazo, de aproximadamente 2 a 3 años, debido a la alta variabilidad del patógeno (Kolhi y Reis, 1994). Por esta razón, se ha observado que muchos cultivares han aumentado su susceptibilidad año tras año. Por lo tanto, no debe olvidarse que el uso reiterado y difundido de un mismo cultivar para una zona dada, puede causar el "quiebre de esta resistencia" y provocar graves epidemias, con las consecuentes pérdidas económicas. Finalmente, y para los casos en que se decida seleccionar un cultivar susceptible por su alto potencial de rendimiento, deberá planificarse con mayor probabilidad el uso adecuado de fungicidas como componente integrante de la inversión en la producción.

**2) Rotación de cultivos** para el control de manchas y pietín. Para este grupo de patógenos, llamados necrotróficos, el grado de remoción de los rastrojos del cultivo tiene un impacto directo en su capacidad de sobrevivir de una campaña a otra (Cuadro 2). Cuando se entierran los rastrojos o se los deja mineralizar (rotación) se está disminuyendo la capacidad de supervivencia, por lo tanto, habrá menor cantidad de inóculo y, como consecuencia, será menor la gravedad de estas enfermedades en el cultivo a implantar. Por el contrario, la acumulación y permanencia de restos culturales provenientes de un cultivo enfermo, es también la acumulación y la garantía de la presencia de estos patógenos necrotróficos hasta tanto no se descompongan. Por eso, la rotación de cultivo debería transformarse en una práctica obligatoria en sistemas bajo siembra directa.

Para la región pampeana sur (con temperaturas medias más bajas), experiencias en manejo de cultivos muestran que la rotación de cultivos con los mismos cereales de invierno (avena trigo y cebada) bajo siembra directa, con un intervalo de uno o más inviernos, fue significativamente eficiente en reducir la incidencia y severidad de las manchas foliares (Carmona, *et al* 2001). De esta forma, la evaluación del cultivo de trigo como antecesor de cebada, de avena como antecesor del trigo, y de cebada para la avena, mostraron resultados promisorios para el manejo de manchas.

**3) Fertilización:** Es preciso recordar que el estado nutricional, también es un factor del hospedante que puede incidir en el proceso infectivo de los patógenos. De manera general, los parásitos necrotróficos como los causantes de manchas, colonizan de mejor manera los tejidos poco vigorosos, débiles o deficitarios de nutrientes. En estos casos, la fertilización puede cambiar el status de la planta, mejorar sus mecanismos naturales de defensa, y la intensidad de la enfermedad puede detenerse o "diluir" su severidad frente a la aparición de nuevas hojas. Este efecto es común observarlo en campos "nutricionalmente pobres" y afectados por la mancha amarilla. Para los parásitos biotróficos (roya), la tendencia parece ser inversa. Un caso interesante de la relación estatus nutricional-intensidad de ataque, se observa en el pietín. Un déficit de nutrientes, aporte de nitrógeno como nitrato, falta de fósforo y de manganeso, predisponen más a las plantas al ataque de esta pudrición radicular. De cualquier forma, es conveniente recordar que las prácticas de fertilización constituyen un factor influyente y colabora con el manejo sanitario, pero no es en sí misma una herramienta de control.

**4) Sistema de predicción:** Predecir es estimar el futuro del cultivo y los eventuales daños causado por alguna enfermedad. Para enfermedades estrechamente relacionadas con el ambiente como la Fusariosis, los sistemas de predicción permiten planificar decisiones de manejo con mayor certidumbre. Los modelos existentes para esta enfermedad (Moschini *et al* 2001) han contribuido significativamente en la decisión de su control químico. Sin embargo, siempre es necesario recordar que esta enfermedad es la de más difícil control en todo el mundo. La técnica de aplicación, la oportunidad ambiental para la misma, la dificultad para mojar con fungicidas las anteras sueltas y presas, la asincronía de la floración y la incertidumbre para la predicción de las condiciones predisponentes, son algunos de las causas que explicarían la baja eficiencia de control.

**5) Tratamiento eficiente de semillas** (para manchas y carbones). Las semillas infectadas por patógenos es una excelente vía para la introducción de enfermedades en países o campos donde antes no existían. A través del tratamiento de semillas se busca evitar la introducción de aquellos patógenos que se transmitan por las mismas. También, la posibilidad de diseminación de nuevas razas de patógenos por la semilla infectada, justifica el tratamiento químico, especialmente para el intercambio internacional. No sólo debe tratarse contra carbones sino, principalmente, contra los patógenos causantes de manchas foliares. Es una medida que complementa necesariamente a la rotación de cultivos. Bajo condiciones de monocultivo con rastrojo infestado por fructificaciones de hongos causantes de manchas, no se debería tratar la semilla para el control de los mismos. Para el caso del pietín, estudios experimentales muestran que principios químicos agregados a las semillas, como triticonazole, silthiofam y la mezcla de fluquinconazole+prochloraz+sales de cobre, podrían disminuir o atenuar los ataques tempranos de esta enfermedad (Madariaga, com. pers. 2003).

**6) Uso de fungicidas (para manchas, royas y fusariosis).** El control químico o quimioterapia constituye una herramienta muy útil que debe formar parte de una estrategia definida de manejo integrado de las enfermedades. La aplicación eficiente de fungicidas ha demostrado en muchos cultivos aumentos significativos de los rendimientos y de la calidad de la producción. Desde el punto de vista epidemiológico, el uso de fungicidas pueden reducir el inóculo inicial (ej. tratamiento de semillas) y/o disminuir la tasa de infección (aplicación foliar). Esta técnica debe ser usada racionalmente para poder asegurar el retorno económico de la aplicación y evitar contaminaciones innecesarias. Es importante recordar que los fungicidas no deben aplicarse preventiva ni tardíamente, solamente y sí sólo cuando los valores de una determinada enfermedad alcancen el umbral de daño económico (**UDE**) (Carmona y Reis, 2001).

Una excepción merece destacarse: es el caso de la fusariosis, donde por sus características epidemiológicas, el tratamiento debería ser de carácter preventivo.

**7) Sistemas de decisión para el uso racional y económico de fungicidas.** Un ejemplo es el desarrollado por Carmona y Reis (2001). Este sistema, que deriva de estudios agronómicos, económicos y epidemiológicos, cuantifica en forma simple la contribución relativa de algunos de los factores de producción existentes o aplicados en el cultivo de trigo, de modo de poder estimar el potencial productivo, teniendo siempre presente como preocupación principal, que el uso de tratamiento químico debe asegurar el retorno económico al productor. El sistema pondera algunos de los factores que contribuyen a la generación de los rendimientos de granos de trigo en una graduación (aporte relativo) de los mismos para cada situación, zona y lote particular de producción. El usuario, luego de cuantificar su lote, obtiene una calificación sobre si ese campo en cuestión generará un potencial productivo bajo, medio o alto. Posteriormente, y basándose en los nuevos criterios de los Umbrales de Daño recientemente desarrollados por los mismos autores, el sistema le indica la conveniencia o no de la aplicación, la probabilidad de retorno económico y el momento de realizarla. Asimismo, es posible estimar los daños y pérdidas en función del nivel de enfermedad registrado para cada caso particular. Otro ejemplo de este tipo de aproximación a la toma de decisiones es la guía desarrollada por el grupo de Fitopatología de la EEA INTA Pergamino (Annone, 2000). En ella la decisión se toma en base a las expectativas de rendimiento, a la definición del perfil sanitario de la variedad de trigo, en base a 21 tipos que consideran el comportamiento (riesgo alto, moderado o bajo) a las principales enfermedades, a nueve posibles estrategias que integran estado vegetativo/reproductivo, nivel de síntomas y/o condiciones ambientales.

Cuadro 1. Preferencia en métodos de control de enfermedades de trigo y cebada (Modificado por Carmona de: Reis y Kohli, 1994.)

Enfermedad	Método de Control			
	Resist. Genética	Trat. de semilla	Rotación de cultivos	Control químico
Roya de la hoja	***	*	---	**
Roya del tallo	***	---	---	**
Roya estriada	***	---	---	**
Oídio	***	**	---	*
Carbón volador	***	**	---	---
Carbón cubierto	***	**	---	---
Fusariosis	***	---	---	*
Mancha marrón o borrosa	*	***	***	**
Mancha amarilla	*	***	***	*
Mancha en red	*	***	***	*
Escaldadura	*	**	***	*
Salpicado necrótico por <i>Ramularia</i>	*	?	***	***
Septoriosis	**	**	***	**
Rayado bacteriano	*	***	**	---
Pud. radicular común por <i>B. sorokiniana</i> 1	---	**	***	---
Pietín	---	---	***	---

1= Conidio inactivo en el suelo    \*\* Segunda preferencia    \*\*\* Método preferido  
 --- Control improbable    \* Tercera preferencia

Cuadro 2: Importancia relativa de fuentes de inóculo en el desarrollo del ciclo biológico de hongos causantes de enfermedades en cereales de invierno.

Inóculo primario (fuentes)	<i>Bipolares Sorokiniana</i>	<i>Drechslera avenae</i>	<i>DD. teres</i>	<i>D. ritircirepentis</i>	<i>Septoria nodorum</i>	<i>Septoria tritici</i>	<i>Fusarium graminearum</i>	Royas	<i>Ustilago Tilletia</i>	Oídio
1. Semillas	xxx	xxx	xx	xx	xx	?	x	-	xxx	-
2. Restos culturales (rastrajo)	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	-	-	-
3. Conidios en reposo en suelo	xx	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. Hospedantes secundarios	x	?	?	x	?	?	xxx	?	-	?
5. Otros hospedantes cultivados	xx	?	?	x	?	?	xxx	?	-	?
6. Plantas voluntarias (guachas)	xx	x	x	x	?	xx	xx	xx	-	X

Referencias. (-): No ocurre. (x): Poca importancia. (xx): Importante. (xxx): Mucha importancia. (?) Poca información disponible

## Estrategias para el manejo de fungicidas: su relación con la generación del rendimiento

Los fungicidas son utilizados desde hace mucho tiempo en otros cultivos (vid, papa, manzana, etc.) y han evolucionado considerablemente con el resultado de la aparición de nuevas moléculas químicas eficientes (ej. estrobirulinas), generando un importante mercado económico y competitivo. En Argentina, durante los últimos años, han ocurrido importantes cambios tecnológicos tendientes a maximizar los rendimientos del cultivo de trigo. Se han destinado recursos y energía al sistema a través del riego, fertilización, incorporación de nuevos genotipos, uso de fungicidas, tratamiento de semilla, etc. De todo ellos, merece destacarse la adopción del uso de fungicidas con el objetivo de maximizar los rendimientos. El análisis de numerosos ensayos realizados con fungicidas, muestran como fortaleza de la decisión, que en la mayoría de las veces se han obtenido incrementos importantes en los rendimientos. Contrariamente, la mayor debilidad puede encontrarse en la necesidad de mayor capacitación para optimizar la elección del principio activo y el momento de interacción planta-fungicida- patógeno. En muchas oportunidades se puede considerar mucho más importante el momento oportuno de la aplicación, que el principio químico seleccionado. Tan importante es el momento adecuado de la pulverización, que un excelente fungicida con sus marcadas virtudes químicas puede, sin embargo, verse perjudicado y hasta castigado si se lo aplicara en forma y momento inadecuados (ej. aplicación tardía). Por eso, es necesario capacitar a técnicos y productores para concientizar sobre los efectos de la oportunidad de aplicación. Un fungicida no es una "poción mágica", sino, por el contrario, una herramienta real que permite al cultivo expresar su potencial de rendimiento eliminando el factor enfermedad.

El uso de fungicidas para controlar enfermedades foliares debe realizarse en el momento en que el cultivo pueda beneficiarse por el aumento del área fotosintéticamente activa debido al control de la enfermedad. Un fungicida no aumenta el rinde ni es una panacea por sí mismo, sino que sólo permite expresar el potencial de rendimiento del genotipo, eliminando el factor enfermedad. En muchos de los cultivos de granos se han determinado períodos fenológicos y fisiológicos denominado "críticos" por la importancia que tienen los eventos que ocurren dentro de los mismos y de sus interacciones con el ambiente en la generación del rendimiento agronómico.

El período crítico (**PC**) en el cultivo de trigo comprende desde 20 a 30 días antes del 50 % de floración y 10 días posteriores al 50 % de floración (Fischer, 1985, Abbate *et al*, 1997, Miralles, 2003) Es justamente en este período donde el cultivo debe llegar con la mayor área foliar sana posible, para que la absorción de la radiación sea óptima y pueda completarse la formación de las flores y el cuaje de los granos, determinándose el número final de granos por espiga. El rendimiento del cultivo puede explicarse numéricamente por el número de granos por m<sup>2</sup> (**NG**), y el peso de los granos (**PG**). El primer componente es el que mejor explicaría la variabilidad de los rendimientos.

En este período, un sombreado, stress, o disminución del área foliar sana (menor absorción de radiación), afectará significativamente el número de granos por m<sup>2</sup>, principal componente numérico del rendimiento, además del peso de los granos. En este sentido, los umbrales determinados hace algunos años (Carmona, *et al* 1999 a y b y Carmona, *et al* 2000 a), están orientados para lograr preservar este período crítico del trigo del stress generado por enfermedades. Por lo tanto, se aconseja no retrasar la aplicación, debiendo realizar un oportuno monitoreo desde encañazón y siguiendo orientativamente los umbrales de decisión. A modo de ejemplo, y siguiendo este razonamiento funcional, el Cuadro 3 muestra cómo ante aplicaciones crecientes de fungicidas en encañazón para lograr menores valores de intensidad de la roya de la hoja (*Puccinia recondita* f sp. *tritici*), se producen aumentos en los rendimientos, al compararlas con el testigo sin tratar. Estos aumentos llegaron hasta 1000 kg/ha. Al descomponer numéricamente al rendimiento, se observa que el número de granos y el peso fueron significativamente menores en el testigo. Los gráficos 1 y 2 muestran una alta asociación entre el número y peso de granos y la severidad de la roya. A medida que la severidad de la roya aumenta, los rendimientos disminuyen, porque disminuyen el número y peso de los granos. En este mismo ensayo, aplicaciones tardías no mostraron, estadística y económicamente, la misma asociación.

Cuadro 3. Rendimiento y sus componentes como respuesta a gradientes de la roya de la hoja logrados con dosis y subdosis de fungicida aplicados en encañazón. Cv. Baguette 10, SD Armstrong 2002. (Carmona y Sugia, inédito en ejecución)

	<b>Rendimiento (kg/ha)</b>	<b>Granos m<sup>2</sup> (N°)</b>	<b>Peso 1000 (g)</b>
Testigo enfermo	1752 a	6490 a	26 a
Dosis media 200 cc/ha	2470 b	7053 b	33 b
Dosis normal 400 cc/ha	2444 b	7111 b	33 b
Dosis doble 800 cc/ha	2611 b	7237 b	33 b
Testigo "sano" 3 x 800 cc/ha	2754 b	7195 b	35 c

Dosis crecientes de Fungicida (Azoxystrobyn + Cyproconazole) (estrobirulina+ triazol) Medias seguidas por las mismas letras dentro de cada columna, no difieren significativamente al 5 % de probabilidad.

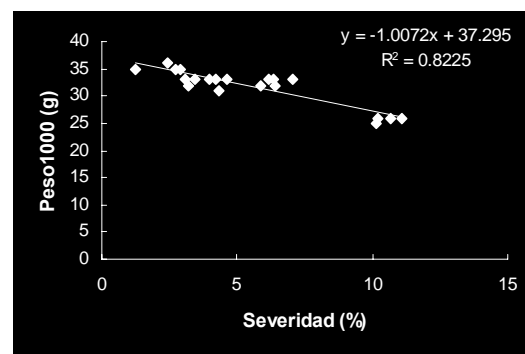
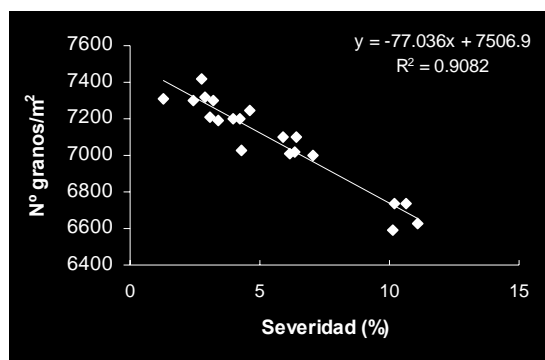


Grafico 1 y 2 Nº de granos/m<sup>2</sup> . Peso de 1000 y la severidad de la roya de la hoja en encañazón. (Carmona y Sugia, inédito, en ejecución)

**“El umbral de daño económico es la piedra fundamental del MIE“ (Munford)**

El concepto de Umbral de Daño Económico (**UDE**) se expresa como el valor de enfermedad en el cual la pérdida ocasionada equivale al costo de aplicación del fungicida. Los investigadores justifican que la aplicación de fungicida debe ser hecha antes que la epidemia de una enfermedad alcance o exceda el **UDE**; por lo tanto, se sugiere el Umbral de Acción (**UDA**) como el mejor indicador del momento de aplicación de fungicidas. Este **UDA** siempre es menor al **UDE**, y para su cálculo se propone sustraer 5 puntos porcentuales al **UDE**.

El **UDE** es determinado utilizando como base de cálculo la fórmula de Munford & Norton (1984) modificada para enfermedades:

$$IE = Cc / (Pp \times Cd \times Ec), \text{ donde } , (2)$$

IE = intensidad de la enfermedad = UDE

Cc = costo del control

Pp = precio de la tonelada de trigo

Cd = coeficiente de daño (se calcula en función del rendimiento potencial)

Ec = eficiencia del control del fungicida usado. (Los trabajos de los investigadores deberán aportar a los usuarios los datos relativos a la Ec de los fungicidas recomendado para uso en trigo.

**Umbrales de referencia** (para rendimiento promedio de 3 a 4 t, u\$d 110 t de trigo, y u\$d 25 de costo de control a partir de encañazón y en cvs susceptibles).

**Manchas** 40-50 % de incidencia, Eficiencia de control 70 %

**Roya** 15-20 % de incidencia, Eficiencia de control 80 %

**Validación del uso de los Umbrales. Algunos ejemplos**

	<b>Rendimiento (kg/ha)</b>	<b>DIF</b>	<b>Rendimiento (kg/ha)</b>	<b>DIF</b>	<b>Rendimiento (kg/ha)</b>	<b>DIF</b>
	<b>Ensayo 1</b>		<b>Ensayo 2</b>		<b>Ensayo 3</b>	
<b>Testigo sin fungicida</b>	1752 a		4609 a		3537 a	
<b>Tratamiento con fungicida según UDA</b>	2444 b	692	5967 b	1358	4145 b	+608

Enfermedades: Mancha amarilla y roya de la hoja.

Fuente: Carmona, M y Sugía, V. (2003) FAUBA.

## Consideraciones finales

Desde hace algunos años, los efectos negativos de las enfermedades sobre el rendimiento y la calidad del cultivo de trigo se han incrementado considerablemente. La expansión del sistema de siembra directa, pero sin rotación de cultivos (monocultivo), la difusión de genotipos susceptibles, el uso de semillas infectadas, los cambios climáticos y la poca diversidad de cultivares sembrados, probablemente contribuyeron al aumento de la ocurrencia e intensidad de enfermedades. De esta manera, el actual panorama sanitario de las enfermedades en Argentina y en el Cono Sur, es muy diferente al de diez años atrás. Por eso, hoy, productores, investigadores, profesionales técnicos y asesores, nos debemos asociar en un nuevo y gran desafío: **generar una cultura del Manejo Integrado de Enfermedades (MIE)** para afianzar la sustentabilidad, aumentar la producción y satisfacer las exigencias sanitarias y de calidad internacionales, en un mundo con necesidad de integración.

La realidad agropecuaria del país, los cambios en la agricultura, tecnología y en el manejo de los recursos, obligan a estudiar nuevos impactos y problemáticas, y, consecuentemente, otras tácticas y estrategias de manejo. En este nuevo marco conceptual, el **MIE** emerge como una decisión imprescindible para usar los recursos y técnicas en forma racional y fundamentalmente, permitir la continuidad de la producción agrícola en el tiempo y en equilibrio.

## Bibliografía

- Annone, J. G. 2000. Guía práctica para la toma de decisiones en el uso de fungicidas en trigo. Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino. pág. 32
- Annone, J. G.; Galich, M. y Galich, A. (2000). Perfil sanitario de cultivares. Agromercado Nº 44 pág. 17-19.
- Carmona, M.; Reis, E. M. y Cortese, P. 1999a Mancha Amarilla y Septoriosis de la Hoja. Diagnóstico, Epidemiología y Nuevos Criterios para el Manejo. pág. 32.
- Carmona, M.; Cortese, P.; Moschini, R.; Pioli R.; Ferrazzini, M y Reis, E. 1999b Economical damage Threshold for fungicide control of leaf blotch and tan spot of wheat in Argentina. Expuesto y publicado en el XIV<sup>th</sup> International Plant Protection Congress Jerusalem, Israel, Julio 25-30, 1999. pág.119.
- Carmona, M.; Cortese, P.; Moschini, M.; Pioli, R.; Ferrazzini, M. y Reis, E. 2000a. Economical damage Threshold for fungicide control of leaf blotch and tan spot of wheat in Argentina Proceedings Workshop en Doencas em sistema de plantio direto con enfase em Mancha Foliar e Giberela, Organizado por Embrapa -Trigo, Procisur -IICA, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 6-8 de Junio, Brasil 2000.
- Carmona, M.; Reis, E. M. y Cortese P. 2000b Royas del Trigo. Diagnóstico, epidemiología y estrategias de control. 21
- Carmona, M. 2001 Manual para el manejo Integrado de enfermedades en el cultivo de trigo pág. 32.
- Carmona, M. y Reis, E. M. 2001 Sistema de puntuación para la evaluación del potencial de producción del cultivo de trigo. Su utilidad para la aplicación racional y económica de fungicidas. pág. 24.
- Carmona, M.; Sugia, V.; Schmidt, A y Delfino S. El control cultural como estrategia del manejo integrado de enfermedades del trigo. Congreso Nacional de trigo y III Simposio Nacional de cereales de invierno. Villa Carlos Paz, Córdoba, 24 al 28 de setiembre de 2001. Publicado en Actas (cd).
- Fischer, R. A. 1985 Number of kernels in wheat crops and he influence of solar radiation and temperature. Journal of Agricultural Science 105, 447- 461.
- Kolhi, M. M. y Reis, E.M. 1994. Estrategias en el control de enfermedades de trigo. Actas de Conferencias del III Congreso Nacional de Siembra Directa 31/8-2/9/94 pág. 174-192.
- Miralles, Daniel 2003. Entender la generación del rendimiento como estrategia para reducir la incertidumbre en el manejo de trigo Jornada de Actualización técnica del cultivo de trigo, Tres Arroyos, mayo de 2003.
- Moschini, R.; Pioli, R.; Carmona M. y Sacchi, O. Empirical predictions of wheat head blight in the Northern Argentinean pampas region. Crop Sci. 41 1541- 1545, 2001.