

VARIEDADES DE MAÍZ GENÉTICAMENTE MODIFICADAS (GM), CON RESISTENCIA A LOS BARRENADORES: PRODUCTIVIDAD Y OTROS PARÁMETROS AGRONÓMICOS



Foto 1.- Tallo de maíz convencional atacado por barrenadores (arriba) y de maíz OMG, derivado del MON 810, sin ataque (abajo). Foto: J. Serra

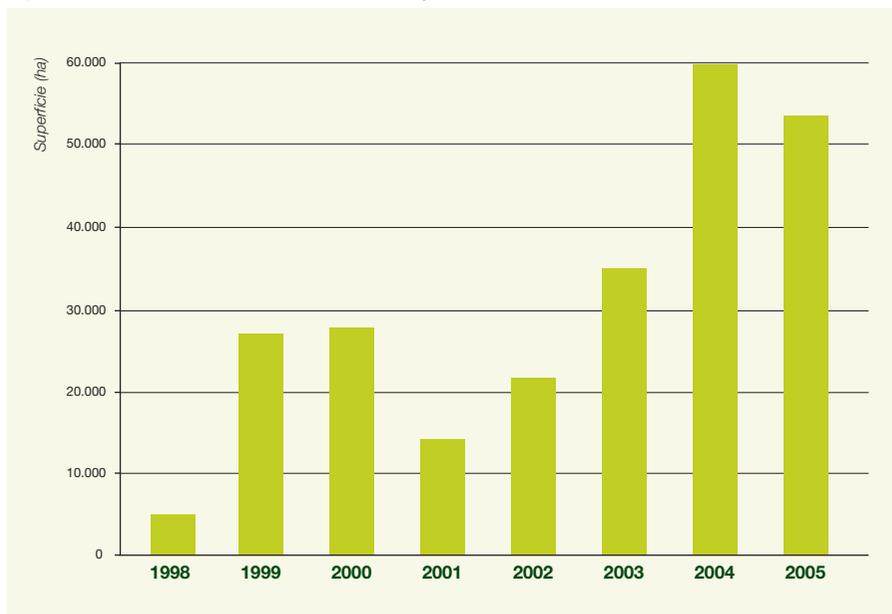


Foto 2.- Larva de *Sesamia nonagrioides* Lef. en el interior de un tallo de maíz. Foto: J. Serra

01 Introducción

El cultivo de variedades de maíz transgénicas se inició en España en el año 1998 tras la inscripción en el Registro de Variedades Comerciales español de las variedades COMPA CB y JORDI CB (BOE núm. 73, de 26/03/98) y con la consecuente autorización de su cultivo. Desde entonces, la superficie cultivada de maíz genéticamente modificado (GM) ha aumentado notablemente (Figura 1) con un total de 53.225 ha, en el año 2005. Este año, Cataluña ha sido la segunda comunidad autónoma en superficie de organismos genéticamente modificados (OGM), con 16.830 ha, y aproximadamente un 42% de superficie de maíz transgénico respecto al total cultivado. Estimaciones realizadas por el DARP en base a las ventas de semilla de variedades GM muestran que su cultivo se concentra en las comarcas de Lleida (88%) y de Girona (12%), dónde representan respectivamente el 60% y el 18% del maíz sembrado. Las variedades con una mayor superficie de cultivo en Cataluña durante el año 2005 han sido PR33P67 (45%) y DKC6575 (22%) (Figura 2), ambas con la modificación genética MON 810. Durante el 2005 el 95% de la superficie de maíz GM ha correspondido a variedades con esta modificación, frente a sólo un 5% de la CG00256-176.

Figura 1.- Evolución de la superficie cultivada de maíz transgénico en España (Fuente: MAPYA).



En este momento hay 31 variedades de maíz transgénicas autorizadas para la siembra en España, todas ellas con la modificación genética MON 810. La mayor parte de estas están inscritas en el Registro de Variedades Comerciales español (BOE núm. 60, del 11/03/03, BOE núm. 40, del 16/02/04 y BOE núm. 191, del 11/08/05) y el resto en el Catálogo Comunitario (Diario Oficial de la Unión Europea de 17/09/04).

En la Tabla 1 se muestran todas las variedades GM de ciclo 700, 600 y 500 registradas, si bien es probable que algunas de ellas no se comercialicen. Hace falta recordar que en campañas anteriores también estaba autorizado el cultivo de variedades que contenían la modificación CG 00256-176, como por ejemplo COMPA CB y BERREA, pero recientemente han sido excluidas del Registro de Variedades Comerciales español (BOE núm. 191, de 11/08/05).

Todas las variedades que contienen la modificación genética MON 810 muestran resistencia a las larvas de los barrenadores del maíz (*Sesamia nonagrioides* Lef. y *Ostrinia nubilalis* Hbn.) (Foto 1), por su capacidad de expresar en todas las partes de la planta y durante todo su ciclo vegetativo la proteína Cry1A(b), que es una toxina para las citadas larvas. Esta también la produce de forma natural la bacteria *Bacillus thuringiensis* y de aquí la denominación de variedades Bt.

02 Los barrenadores del maíz

En Cataluña, hay dos larvas de lepidópteros que se desarrollan en el interior de los tallos del maíz (barrenadores): la nocturna *Sesamia nonagrioides* Lef. (foto 2) y el piral *Ostrinia nubilalis* Hbn. Estas larvas producen pérdidas directas de producción y también indirectas como consecuencia de la rotura de plantas y el ataque de hongos, entre otras.

Figura 2.- Variedades de maíz transgénicas cultivadas durante el 2005 en Cataluña (Fuente: DARP)..

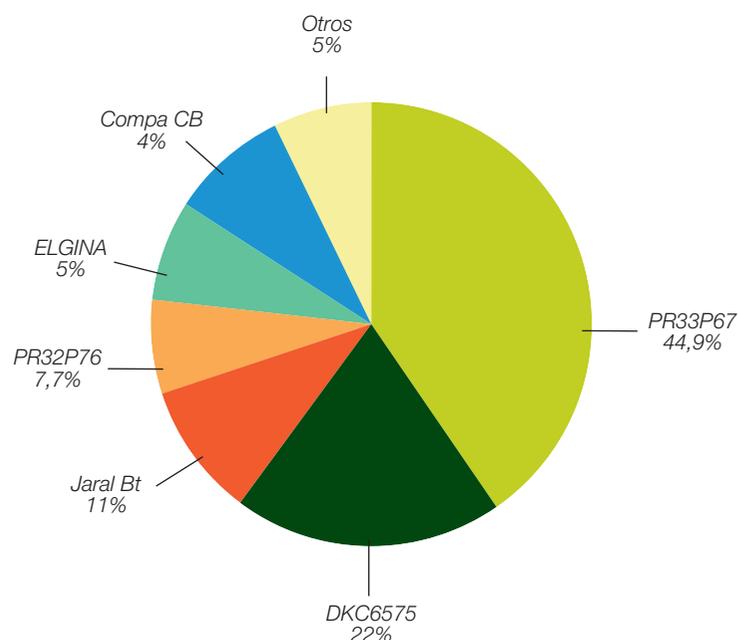


Tabla 1.- Variedades de maíz transgénicas de ciclos 700, 600 y 500, inscritas en el Registro de Variedades Comerciales español y comunitario.

VARIEDAD	EMPRESA COMERCIALIZADORA	PAIS DE REGISTRO	FECHA DE INSCRIPCIÓN
CICLO 700			
ARISTIS Bt	Nickerson Sur, S.A.	España	11/03/03
DKC6575	Monsanto Agricultura España, S.L.	España	11/03/03
CAMPERO	Advanta Ibérica	España	16/02/04
DKC6550	Monsanto Agricultura España, S.L.	España	16/02/04
PR32P76	Pioneer Hi-Bred Spain, S.L.	España	16/02/04
FOGGIA	Agrar Semillas, S.A.	España	11/08/05
HELEN Bt	Advanta Ibérica	España	11/08/05
PR32R43	Pioneer Hi-Bred Spain, S.L.	España	11/08/05
PR32W04	Pioneer Hi-Bred Spain, S.L.	España	11/08/05
RIGLOS Bt	Arlesa Semillas, S.A.	España	11/08/05
SF1035T	Semillas Fitó, S.A.	España	11/08/05
SF1036T	Semillas Fitó, S.A.	España	11/08/05
SF1112T	Semillas Fitó, S.A.	España	11/08/05
CICLO 600			
PR33P67	Pioneer Hi-Bred Spain, S.L.	España	11/03/03
CUARTAL Bt	Arlesa Semillas, S.A.	España	16/02/04
GAMBIER Bt	Nickerson Sur, S.A.	España	16/02/04
JARAL Bt	Semillas Fitó, S.A.	España	16/02/04
PROTECT	Golden Harvest	España	16/02/04
ELGINA	Pioneer Hi-Bred Spain, S.L.	Francia	17/09/04
DKC5784YG	Monsanto Agricultura España, S.L.	España	11/08/05
DKC6041YG	Monsanto Agricultura España, S.L.	España	11/08/05
CICLO 500			
ALIACAN Bt	Nickerson Sur, S.A.	España	11/03/03
LEVINA	Pioneer Hi-Bred Spain, S.L.	Francia	17/09/04
PR34N44	Pioneer Hi-Bred Spain, S.L.	España	11/08/05

La magnitud de estas pérdidas depende principalmente del número de orugas por planta y del estadio vegetativo en que se producen los ataques. Los ataques de los barrenadores varían de una parcela a otra por diferentes factores, entre los cuales se pueden destacar los siguientes:

02.01 La zona de cultivo.

Los ataques más importantes se dan normalmente en las comarcas litorales de Girona y de la zona de regadíos de Lleida, con valores medios muchas veces superiores a 1 larva/planta (equivalente aproximadamente a 75.000 larvas/ha). Por el contrario, otras zonas de clima más frío, como por ejemplo Fraga, se ven mucho menos afectadas (Tabla 2).

02.02 El año

En una misma zona de cultivo el ataque de barrenadores puede variar notablemente según la campaña (Tabla 3).

02.03 La fecha de siembra

Las siembras más tardías se ven normalmente más afectadas por los barrenadores en comparación con las siembras más precoces (Tabla 4).

02.04 La variedad

La resistencia a los barrenadores varía notablemente en función del híbrido. Las variedades GM que incorporan la modificación genética MON 810 presentan una resistencia prácticamente total a los barrenadores (Tabla 5). Los híbridos convencionales son sensibles a su ataque, si bien pueden darse diferentes niveles de susceptibilidad. En los ensayos de evaluación de variedades es difícil determinar las más resistentes debido a la gran variabilidad observada entre plantas de un mismo híbrido y entre zonas de un mismo ensayo.

Tabla 3.- Número medio de larvas de barrenadores por planta determinado, antes de la recolección, en las variedades de maíz convencional ARISTIS, CECILIA, CUARTAL, ELEONORA, HELEN, PR33P66, PR34N43 y TIETAR, en la localidad de La Tallada d'Empordà (Baix Empordà), durante los años 2004 y 2005.

	2004	2005
<i>Sesamia nonagrioides</i>	0,5	2,8
<i>Ostrinia nubilalis</i>	0,2	0,3
Total	0,7	3,1

Tabla 4.- Número medio de larvas de barrenadores por planta determinado, antes de la recolección, en las variedades de maíz convencional ELEONORA, GAMBIER, OROPESA y PR33P66, durante el año 2005, en la localidad de La Tallada d'Empordà (Baix Empordà), en función de la fecha de siembra

	7 de abril	27 de abril	20 de mayo
<i>Sesamia nonagrioides</i>	1,6	2,2	2,5
<i>Ostrinia nubilalis</i>	0,4	0,4	0,7
Total	2,0	2,6	3,2

Tabla 5.- Número medio de larvas de barrenadores por planta en función de la variedad determinado, antes de la recolección, en los ensayos realizados en La Tallada d'Empordà (Baix Empordà), durante los años 2004 y 2005.

VARIEDADES	<i>Sesamia nonagrioides</i> (larvas/planta)	<i>Ostrinia nubilalis</i> (larvas/planta)	Total (larvas/planta)
VARIEDADES CONVENCIONALES			
PR33P66	2,4	0,3	2,7
TIETAR	2,3	0,3	2,6
ELEONORA	2,0	0,2	2,2
CECILIA	1,5	0,3	1,8
HELEN	1,5	0,2	1,7
PR34N43	1,4	0,1	1,5
CUARTAL	1,1	0,3	1,4
ARISTIS	0,8	0,3	1,1
Media	1,6	0,3	1,9
VARIEDADES MG CON LA MODIFICACIÓN GENÉTICA MON 810			
HELEN Bt	0,1	0,1	0,2
ARISTIS Bt	0,1	0	0,1
CUARTAL Bt	0	0	0
DKC6575	0	0	0
PR33P67	0	0	0
Media	0	0	0,1

Tabla 2.- Número medio de larvas de barrenadores por planta determinado antes de la recolección en las variedades de maíz convencional DK626, DRACMA, MARZIA y SENEGAL, durante el año 2000, en las localidades de Palau d'Anglesola, La Tallada d'Empordà y La Vall d'en Bas.

	El Palau d'Anglesola (EL PLA D'URGELL)	La Tallada d'Empordà (EL BAIX EMPORDÀ)	La Vall d'en Bas (LA GARROTXA)
<i>Sesamia nonagrioides</i>	0,6	0,9	0
<i>Ostrinia nubilalis</i>	2,0	0,7	0,2
Total	2,6	1,6	0,2



TODAS LAS VARIEDADES QUE CONTIENEN LA MODIFICACIÓN GENÉTICA MON 810 MUESTRAN RESISTENCIA A LAS LARVAS DE LOS BARRENADORES DEL MAÍZ EN TODAS LAS PARTES DE LA PLANTA Y DURANTE TODO EL CICLO VEGETATIVO



LAS LARVAS DE BARRENADORES CAUSAN PÉRDIDAS DE PRODUCCIÓN TANTO POR SUS DAÑOS DIRECTOS COMO INDIRECTOS (ROTURA DE TALLOS, INFECCIONES FÚNGICAS, Etc.).

03 Productividad

El interés de las variedades de maíz Bt va unido a la presencia de barrenadores y en consecuencia será potencialmente mayor en aquellas zonas con una mayor probabilidad de ataques importantes.

Durante los años 2000 y 2001 se plantearon tres ensayos cada campaña, en las localidades del Palau d'Anglesola (Pla d'Urgell), La Tallada d'Empordà (Baix Empordà) y La Vall d'en Bas (Garrotxa), donde se comparó la producción de tres variedades transgénicas derivadas del MON 810 con sus isogénicas no transgénicas (Figura 3).

En las localidades con una elevada presión de barrenadores, caso del Palau d'Anglesola y La Tallada d'Empordà con un ataque medio de barrenadores superior a 1 larva/planta, se observó una producción superior de los híbridos GM en 751 y 1056 kg/ha, respectivamente. Por el contrario, en la localidad de La Vall d'en Bas, con una muy baja presión de barrenadores, no se observaron diferencias significativas de producción entre las variedades transgénicas respecto sus isogénicas.

En las zonas del regadío de Lleida y del litoral de Girona, durante los años 2004 y 2005, se han planteado ensayos para evaluar la adaptación de las nuevas variedades MG derivadas del MON 810 (ARISTIS Bt, CAMPERO, CUARTAL Bt, DKC6575, HELEN Bt, JARAL Bt y PR33P67) en comparación con variedades convencionales, algunas son isogénicas de las anteriores (ARISTIS, CUARTAL, TIETAR, HELEN y PR33P66 son isogénicas de ARISTIS Bt, CUARTAL Bt, DKC6575, HELEN Bt y PR33P67, respectivamente) y otros testigos de referencia (CECILIA, ELEONORA y PR32W86). En el conjunto de los cuatro ensayos realizados no se observan diferencias significativas de producción entre variedades (tabla 6), si

Figura 3.- Producción media de variedades de maíz transgénicas con resistencia a los barrenadores, en comparación con sus isogénicas, obtenida los años 2000 y 2001 en las localidades de Palau d'Anglesola (Pla d'Urgell), la Tallada d'Empordà (Baix Empordà) y la Vall d'en Bas (Garrotxa)

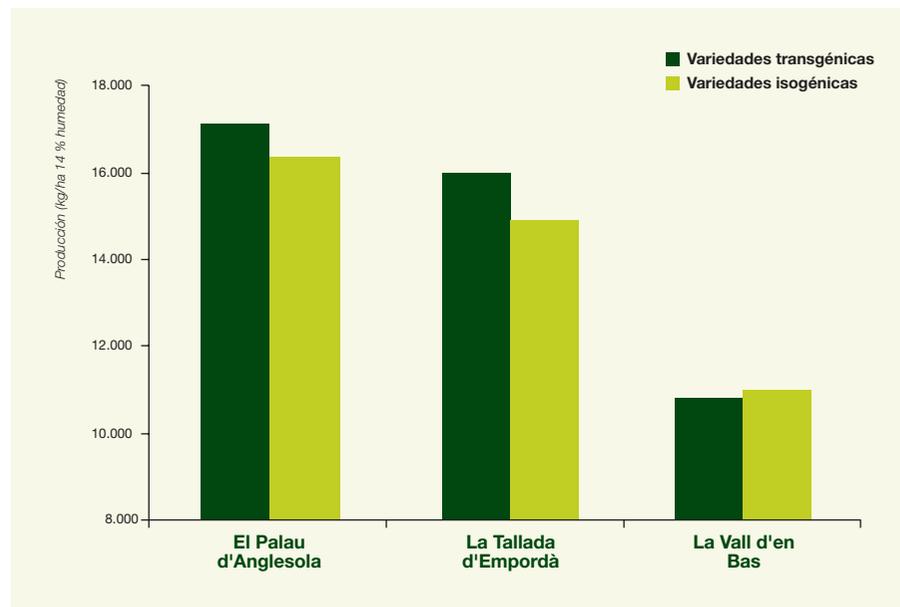


Tabla 6.- Producción de las variedades de maíz transgénicas y convencionales ensayadas en Palau d'Anglesola (Pla d'Urgell) y en la Tallada d'Empordà (Baix Empordà), durante las campañas 2004 y 2005.

VARIEDAD	PRODUCCIÓN (kg/ha 14 % de humedad)	ÍNDICE PRODUCTIVO (%)	SEPARACIÓN DE MEDIAS (Test Tukey $\alpha=0.05$)
DKC6575*	16.204	109,7	A
HELEN Bt*	16.183	109,5	A
PR32W86	16.090	108,9	A
PR33P67*	15.880	107,5	A
CAMPERO*	15.544	105,2	A
HELEN	15.235	103,1	A
ELEONORA	14.774	100,0	A
TIETAR	14.630	99,0	A
JARAL Bt*	14.536	98,4	A
CUARTAL Bt*	14.510	98,2	A
ARISTIS Bt*	14.396	97,4	A
PR33P66	14.080	95,3	A
ARISTIS	14.016	94,9	A
CUARTAL	13.940	94,4	A
CECILIA	13.523	91,5	A

Producción media del ensayo

14.903 kg /ha (14 % humedad)

Nivel de significación de las variedades

p-valor = 0.0523

Nivel de significación de la interacción variedad por localidad

p-valor = 0.0511

bien cuando se compara el rendimiento conjunto de los híbridos Bt con el de sus isogénicas convencionales, presentan una producción media superior en 1.055 kg/ha (tabla 7).

La Figura 4 combina gráficamente el índice productivo medio de las variedades ensayadas, en función de la localidad. El gráfico sugiere un comportamiento diferente de las variedades en función de la localidad de ensayo. Así, se observan algunas variedades GM (DKC6575, HELEN

Bt y PR33P67) y convencionales (PR32W86) que presentan un índice superior al del testigo ELEONORA, en las dos localidades. En otras variedades, principalmente GM (CAMPERO y ARISTIS Bt), este índice es superior sólo en la localidad de La Tallada d'Empordà. Finalmente, en algunas variedades convencionales (CECILIA y PR33P66) de ciclo más corto que ELEONORA es inferior en las dos localidades. Todas las variedades más productivas en el Palau d'Anglesola también lo son en La Tallada d'Empordà, pero no a la inversa.

En el regadío de Lleida hay un factor que incide sobre el comportamiento de los híbridos de maíz, tanto o más que la presencia de barrenadores, que es la presencia de virosis, principalmente MDMV (mosaicos) y MRDV (enanismo). Aquellas variedades más sensibles a los virus (ARISTIS, CUARTAL, ARISTIS Bt, entre otros), con independencia de que sean convencionales o GM, presentan un peor comportamiento productivo en esta zona (Figura 5).

04 Floración femenina y humedad del grano

No se observan diferencias en la fecha de floración femenina entre las variedades GM con la modificación MON 810 y sus isogénicas convencionales (tabla 8). Por el contrario, las variedades Bt presentan una mayor humedad en cosecha en comparación con sus isogénicas convencionales, probablemente como consecuencia de una mayor sanidad en los últimos estadios vegetativos. En el caso de fechas de siembra de inicios de abril y de cosecha durante la primera quincena de octubre, esta diferencia de humedad es aproximadamente de un 1%.

05 Componentes del rendimiento

En determinadas circunstancias, el número de mazorcas en el momento de la cosecha puede ser más elevado en las variedades GM con resistencia a los barrenadores, que en sus isogénicas convencionales, como consecuencia de un menor número de mazorcas que caen al suelo por daños indirectos del ataque de barrenadores. Estas también presentan un peso del grano significativamente más elevado (Tabla 9), al no verse limitado el proceso de engorde del grano por el ataque de esta plaga. Por el contrario, los datos también muestran un menor número de filas por mazorca en las variedades GM derivadas del MON 810.

En el momento que se fija este componente del rendimiento, los ataques de barrenadores normalmente son poco importantes; por lo tanto, la ex-

presión de la resistencia, en el caso de las plantas GM que contienen la modificación genética MON 810 (hay que recordar que presentan un promotor de tipo constitutivo), podría representar más un inconveniente que una ventaja, en comparación con las plantas de variedades convencionales.

En caso de darse ataques importantes de barrenadores, este menor número de filas por mazorca queda compensado posteriormente por un mayor peso del grano, y el resultado final es un incremento del rendimiento.

Tabla 7.- Producción media de las variedades de maíz GM en comparación con sus isogénicas convencionales ensayadas en Palau d'Anglesola (Pla d'Urgell) y en La Tallada d'Empordà (Baix Empordà), durante las campañas 2004 y 2005.

VARIEDADES	PRODUCCIÓN (kg/ha 14 % d'humedad)	ÍNDICE PRODUCTIVO (%)	SEPARACIÓN DE MEDIAS (Test Tukey $\alpha=0.05$)
MG	15.435	107,3	A
CONVENCIONALES	14.380	100,0	B

Nivel de significación del contraste MG/convencionales p-valor = 0.0117

Figura 4.- Índices productivos de las variedades GM y convencionales ensayadas en Palau d'Anglesola (Pla d'Urgell) y en La Tallada d'Empordà (Baix Empordà) durante las campañas 2004 y 2005, en función de la localidad de ensayo.

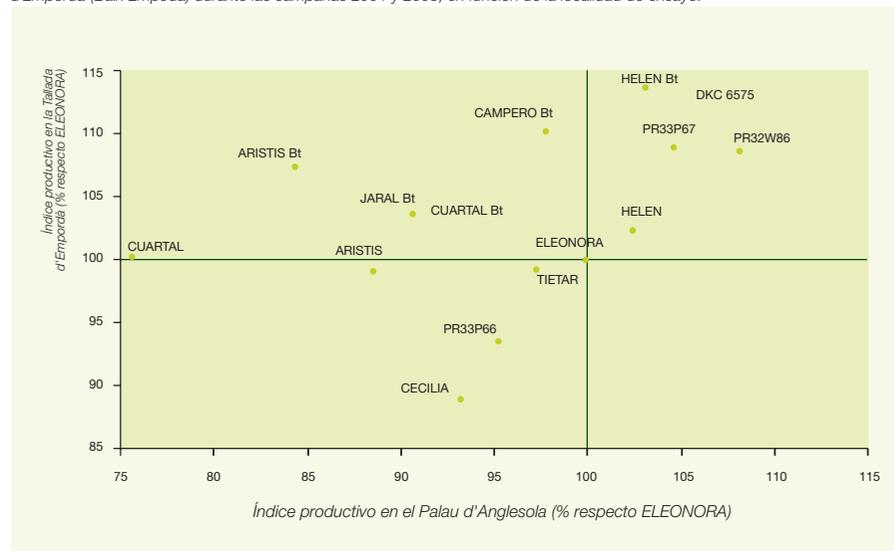
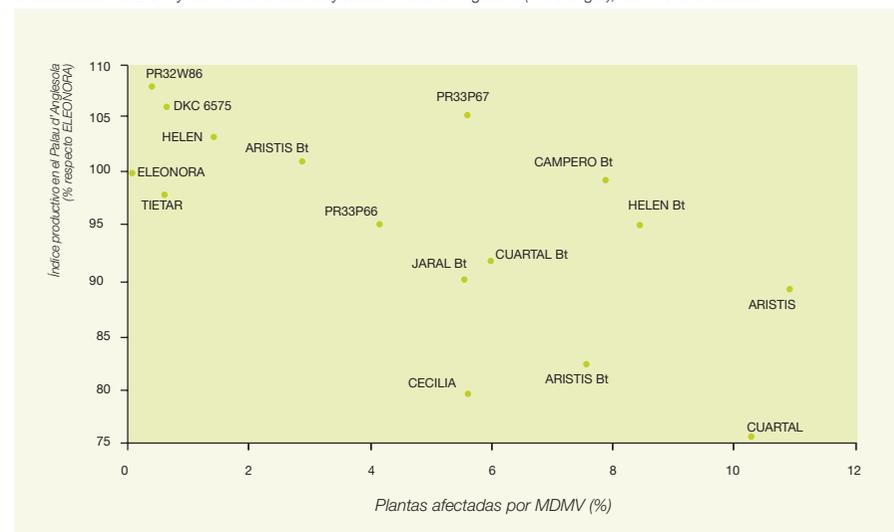


Figura 5.- Índice productivo respecto el testigo ELEONORA en función del porcentaje de plantas afectadas por el virus MDMV de las variedades de maíz GM y convencionales ensayadas en Palau d'Anglesola (Pla d'Urgell), durante el año 2005.



EN CATALUÑA EN LOS ATAQUES DE BARRENADORES MÁS IMPORTANTES SE DAN EN EL REGADÍO DE LLEIDA Y EN EL LITORAL DE GIRONA, PRINCIPALMENTE EN LAS SIEMBRAS MÁS TARDÍAS.



LA SIEMBRA DE VARIEDADES DE MAÍZ GM CON RESISTENCIA A LOS BARRENADORES SOLO SE JUSTIFICA EN AQUELLAS SITUACIONES CON ATAQUES IMPORTANTES DE ESTAS PLAGAS



Foto 3.- Granos de maíz atacados por hongos en comparación con granos sanos. Foto: J.Salvia.



Foto 4.- Plantas de maíz con podredumbres en la base de los tallos. Foto: J. Serra.

Tabla 8.- Fecha de floración femenina y humedad del grano de las variedades de maíz GM en comparación con sus isogénicas convencionales ensayadas en Palau d'Anglesola (Pla d'Urgell) y en La Tallada d'Empordà (Baix Empordà), durante las campañas 2004 y 2005.

VARIEDADES	FLORACIÓN FEMENINA	HUMEDAD (%)
GM	11 de julio	21,9 A
CONVENCIONALES	11 de julio	20,8 B

Nivel de significación del contraste GM/convencionales p-valor = 0,0108

Varietades con la misma letra no difieren significativamente entre sí según el test de Tukey ($\alpha=0,05$).

Tabla 9.- Componentes del rendimiento de las variedades de maíz GM en comparación con sus isogénicas convencionales ensayadas en La Tallada d'Empordà (Baix Empordà), durante las campañas 2004 y 2005.

VARIEDADES	Número de mazorcas/m ²	Número de filas/mazorca	Número de granos/fila	Peso de 1000 granos (g)
GM	7,26 A	16,0 B	40,7	405 A
CONVENCIONALES	6,75 B	16,5 A	41,0	379 AB
Nivel de significación del contraste MG/convencionales	p-valor = 0,0001	p-valor = 0,0011	p-valor = 0,5089	p-valor = 0,0002

Tabla 10.- Enfermedades, accidentes y nivel de fumonisinas en las variedades de maíz GM, en comparación con sus isogénicas convencionales, ensayadas en Palau d'Anglesola (Pla d'Urgell) y en La Tallada d'Empordà (Baix Empordà), durante las campañas 2004 y 2005.

VARIEDADES	Plantas afectadas por podredumbres en la base de los tallos (%)	Plantas rotas (%)	Granos atacados por hongos (%)	Fumonisina (B ₁ +B ₂ +B ₃) (% respecto convencionales)
GM	2,2 B	4,4 B	1,2 B	17
CONVENCIONALES	6,1 A	11,8 A	2,5 A	100
Nivel de significación del contraste MG/convencionales	p-valor = 0,0026	p-valor = 0,0282	p-valor < 0,0001	

Observaciones: Varietades con la misma letra no difieren significativamente entre sí según el test de Tukey ($\alpha=0,05$). La valoración del porcentaje de granos afectados por hongos y del nivel de fumonisinas en la cosecha se ha realizado únicamente en el ensayo de La Tallada d'Empordà del año 2005. El análisis de fumonisinas ha sido realizado por Anna Coll, Anna Nadal y Maria Pla, del Instituto de Tecnología Agroalimentaria de la Universidad de Girona.

06 Enfermedades y accidentes

Las heridas causadas en los tallos y en los granos por los barrenadores favorecen la aparición de podredumbres en la base de las plantas (foto 3), la rotura de las cañas y las infecciones por hongos en el grano (foto 4). En consecuencia, las variedades que presentan resistencia a los barrenadores se encuentran también indirectamente más protegidas frente a estas problemáticas (Foto 10). La resistencia a la rotura de las cañas es especialmente importante en las zonas más ventosas, como por ejemplo el Empordà.

El ataque de hongos en el grano contribuye a aumentar el nivel de micotoxinas en el momento de la cosecha. En consecuencia, las variedades GM que al no sufrir ataques de barrenadores, se ven menos afectadas por hongos en el grano, presentan también unos niveles menores de micotoxinas, principalmente de fumonisinas (Tabla 10). El ataque de barrenadores en las mazorcas es uno de los factores que más favorece la presencia de esta micotoxina.

07 Participantes y colaboradores

Joan Serra i Gironella
IRTA - Estación Experimental Agrícola Mas Badia
joan.serra@irta.es

Antoni López i Querol
Centro UdL - IRTA
antoni.lopez@irta.es

Jordi Salvia i Fuentes
IRTA - Estación Experimental Agrícola Mas Badia
jordi.salvia@irta.es