

PROYECTOS

Micotoxinas en maíz grano

Influencia del factor varietal, la frecuencia y dosis de riego

Marcos Apesteguía Barberena, José Miguel Bozal Yanguas, Joaquín Garnica Hermoso. INTIA
Luis Miguel Arregui Odériz, Miguel Angel Campo Bescós. UPNA
Cooperativa Agrícola de Artajona.

La presencia de micotoxinas en los cereales es una preocupación a nivel mundial. Se trata de toxinas generadas por el metabolismo de algunos hongos y que resultan perjudiciales para seres humanos y animales, pudiendo ser dañinas si los contenidos en la dieta son suficientemente altos. Es por ello que su presencia, tanto en cereales como en otros alimentos, se encuentra regulada y puede suponer un problema en su comercialización.

En las condiciones agroclimáticas de Navarra resulta especialmente importante el seguimiento y control de esta problemática en el cultivo de maíz para grano. En los últimos años, con la incorporación de nuevas zonas regables del Canal de Navarra, el cultivo ha ido ocupando áreas más al norte, donde las condiciones climáticas para el cultivo son distintas. Es por ello que desde el sector se plantea la necesidad de conocer mejor el manejo del cultivo en esas condiciones, que permita limitar el contenido de micotoxinas en el grano y evitar posibles problemas futuros en la comercialización.

En este contexto, se establece la colaboración entre INTIA y la Cooperativa Agrícola de Artajona, que a través de un proyecto PDR pretende determinar la influencia del factor varietal, la fecha de cosecha, la frecuencia y la dosis de riego en el contenido de micotoxinas en maíz. Durante la última década, INTIA ha trabajado la sensibilidad varietal a *Fusarium graminearum* y *Fusarium moniliforme*, principales hongos generadores de micotoxinas en el cultivo de maíz en campo. Este proyecto ha permitido dar un paso más allá y determinar en laboratorio el contenido en micotoxinas de las distintas variedades, así como trabajar otros factores importantes como son las estrategias de riego y la fecha de cosecha. En este artículo se recogen los resultados del proyecto tras dos campañas de trabajo experimental.

FUSARIOSIS Y MICOTOXINAS

Fusarium graminearum y *Fusarium moniliforme* son hongos de suelo que en condiciones favorables son capaces de colonizar partes aéreas de la planta. En especial durante la floración son capaces de infectar las mazorcas de maíz o las espigas en los cereales de invierno (Imágenes 1 y 2). Las micotoxinas que generan ambas especies de fusarium son distintas; *Fusarium graminearum* genera principalmente dos tipos de micotoxinas, Deoxinivalenol (DON) y Zearalenona (ZEA), y *Fusarium moniliforme* genera Fumonisin B1 y B2.

Ambas especies de fusarium están presentes en el cultivo de maíz en Navarra. No obstante, en nuestras condiciones de cultivo, se ha observado cómo las infecciones de *Fusarium graminearum* son las que alcanzan con mayor frecuencia severidades altas que llegan a resultar problemáticas en el cultivo. De la misma manera, en los muestreos y analíticas realizadas hasta el momento, las micotoxinas de tipo DON, relacionadas con la actividad de *Fusarium graminearum*, son las que alcanzan niveles más altos.

Factores de riesgo

Existen diversos factores de riesgo que condicionan la gravedad de los ataques de *Fusarium graminearum* en el cultivo de maíz para grano. Las condiciones climáticas de la campaña marcan de manera importante la severidad de las infecciones y el desarrollo del hongo, por lo que la problemática es muy variable de unas campañas a otras. En general, los años en que las condiciones climáticas permitan un secado rápido del grano son poco favorables al desarrollo de la enfermedad. Esto viene determinado principalmente por las temperaturas durante el final del verano e inicio de otoño. Pero también, condiciones climáticas que permitan un desarrollo rápido del cultivo durante todo el ciclo son favorables en este aspecto. Por otro lado, existen diversos factores agronómicos sobre los que podemos influir y que condicionan el riesgo.

En primer lugar, hay factores que influyen en la mayor o menor presencia de inóculo de la enfermedad en la parcela; el cultivo precedente y/o la rotación de cultivos, el manejo de los restos de cosecha y el laboreo. El manejo de estos factores debe ir encaminado a reducir la presencia de restos de cultivos sensibles a la enfermedad en superficie, que puedan ser una fuente importante de inóculo. Por otro lado, otro grupo de factores son aquellos que inciden sobre la dispersión del patógeno y la ocurrencia de infecciones sobre la mazorca. En este grupo son de especial importancia la sensibilidad varietal y el manejo del riego, factores que se han trabajado durante el proyecto. La presencia de plagas de taladros también es un factor importante que incide directamente sobre la ocurrencia de infecciones en la mazorca. Por último, hay una serie de factores que inciden en el crecimiento del hongo sobre la mazorca y la acumulación de micotoxinas en el grano: el ciclo de la variedad, la fecha de siembra, la fecha de cosecha y el secado tras

Imagen 1. Síntomas de *Fusarium graminearum* en mazorca.



Imagen 2. Síntomas de *Fusarium moniliforme* en mazorca.



la recolección. Como ya se ha comentado, un secado rápido de la mazorca en campo es importante para reducir el desarrollo del hongo y evitar la acumulación de micotoxinas. Este aspecto se puede favorecer utilizando ciclos cortos que se adapten a la zona de cultivo y no retrasando la fecha de siembra. Además, se posibilitará de esta manera una recolección temprana que evite la acumulación de micotoxinas en el grano. Cuestión que se debe evitar tras la recolección con un secado del grano lo más rápido posible tras la recepción del mismo.

DESARROLLO DEL PROYECTO: ENSAYOS DE CAMPO

Durante el desarrollo del proyecto se han realizado 3 ensayos de campo tanto en la campaña 2022 como en la campaña 2023. Un ensayo enfocado en evaluar los factores sensibilidad varietal y fecha de cosecha, y dos ensayos enfocados a testar estrategias de riego.

SENSIBILIDAD VARIETAL Y FECHA DE COSECHA

El primero de los ensayos se situó en la localidad de Larraga (Navarra) en una parcela con alta repetición del cultivo de maíz, en él se evaluaron 30 variedades de maíz, con un diseño de bloques al azar en tres repeticiones. La parcela elemental utilizada es de 10 metros de largo y 2,8 de ancho (4 líneas de maíz). Las fechas de siembra fueron 3/5/22 y 27/4/23. Durante el desarrollo del ensayo se realizó la determinación del contenido de micotoxinas en mazorca de las 30 variedades en 3 momentos distintos (Tabla 1). En total, en cada campaña se realizó el análisis de 150 muestras, una muestra por cada variedad en las dos primeras recolecciones y tres muestras por variedad en la cosecha.

Tabla 1- Fecha de recolección y determinación del contenido de micotoxinas

	Campaña 2022	Campaña 2023
Recolección manual 1	21/09/2022	27/09/2023
Recolección manual 2	19/10/2022	10/10/2023
Cosecha	30/11/2022	06/11/2023

Resultados

Durante las campañas en que se han realizado las experiencias en campo, la incidencia de fusarium sobre el cultivo ha sido muy baja. Las condiciones climáticas de ambas han condicionado notablemente la incidencia de la enfermedad. En ambas

campañas el ciclo del maíz ha sido muy rápido debido a las altas temperaturas y ha propiciado un adelanto en la llegada a madurez fisiológica del grano y a su secado posterior. La llegada a madurez fisiológica se produjo a principios de septiembre (dependiendo de la variedad), y el posterior secado del grano hasta humedades habituales de cosecha fue muy rápido a lo largo del mes de septiembre. De tal manera que entre finales de septiembre y principios de octubre todas las variedades se encontraban por debajo del 20 % de humedad en grano. Este artículo se centra en los resultados de contenido en micotoxinas que, a pesar del bajo nivel de síntomas de fusarium observados en campo, ofrecen una información más interesante.

Las analíticas realizadas determinan el contenido en grano de micotoxinas de tipo DON, ZEA y Fumonisinias. Los resultados confirman que en nuestras condiciones de cultivo son las micotoxinas de tipo DON las que alcanzan valores más altos y superan con mayor frecuencia los límites establecidos en la legislación. En la **Tabla 2** se muestra el número de analíticas que, del total de 150, superan el límite de consumo humano en cada campaña.

Tabla 2- Límites en el contenido de micotoxinas y resultados de las 150 muestras analizadas

Micotoxinas	Límite consumo humano (µg/kg)	Recomendación consumo animal (µg/kg)	Muestras que superan el límite de consumo humano	
			2022	2023
Deoxinivalenol (DON)	1.750	12.000	15	14
Zearalenona (ZEA)	200	3.000	10	4
Fumonisinias B1 + B2	2.000	60.000	4	4



Sensibilidad varietal

En el **Gráfico 1** se muestra el contenido en micotoxinas de tipo DON de las 30 variedades y en las tres recolecciones realizadas en cada campaña. Se observa una clara influencia varietal sobre el contenido final de micotoxinas en el grano, ya que en las mismas condiciones de cultivo se pueden observar niveles muy distintos del contenido de micotoxinas en grano en las diferentes variedades. Durante el año 2022, 12 de ellas superan en alguna de las recolecciones el límite máximo de consumo humano (1.750 µg/kg) y 5 destacan muy por encima del resto, con valores por encima de 3.000 µg/kg. Por otro lado, 9 de las variedades mostraron de manera consistente contenidos bajos en DON con valores por debajo de 1.000 µg/kg en todos los muestreos. Durante el año 2023, 9 de las variedades supera en alguna de las analíticas el límite máximo de consumo humano y 3 de ellas destacan muy por encima del resto superando muy ampliamente estos valores. Por otro lado, 12 de ellas mostraron en los distintos muestreos y de manera consistente contenidos bajos en DON, siempre por debajo de 1.000 µg/kg.

Fecha de cosecha

En cuanto al efecto de la fecha de recolección, se observa un incremento del contenido en DON conforme esta se retrasa, especialmente durante el año 2022 y en la tercera fecha (recolección final) frente a las dos fechas más tempranas. A pesar de ello, la acumulación de micotoxinas de tipo DON conforme se retrasa la fecha de cosecha no es tan acusada como cabría es-

perar e incluso se encuentran variedades con contenidos más elevados en las primeras fechas de recolección. Esto es probablemente debido al bajo nivel de actividad de *Fusarium graminearum* durante el periodo comprendido entre las distintas recolecciones, que sería consecuencia de la baja incidencia del hongo y al rápido secado del grano de maíz en campo.

INFLUENCIA DE LA ESTRATEGIA DE RIEGO

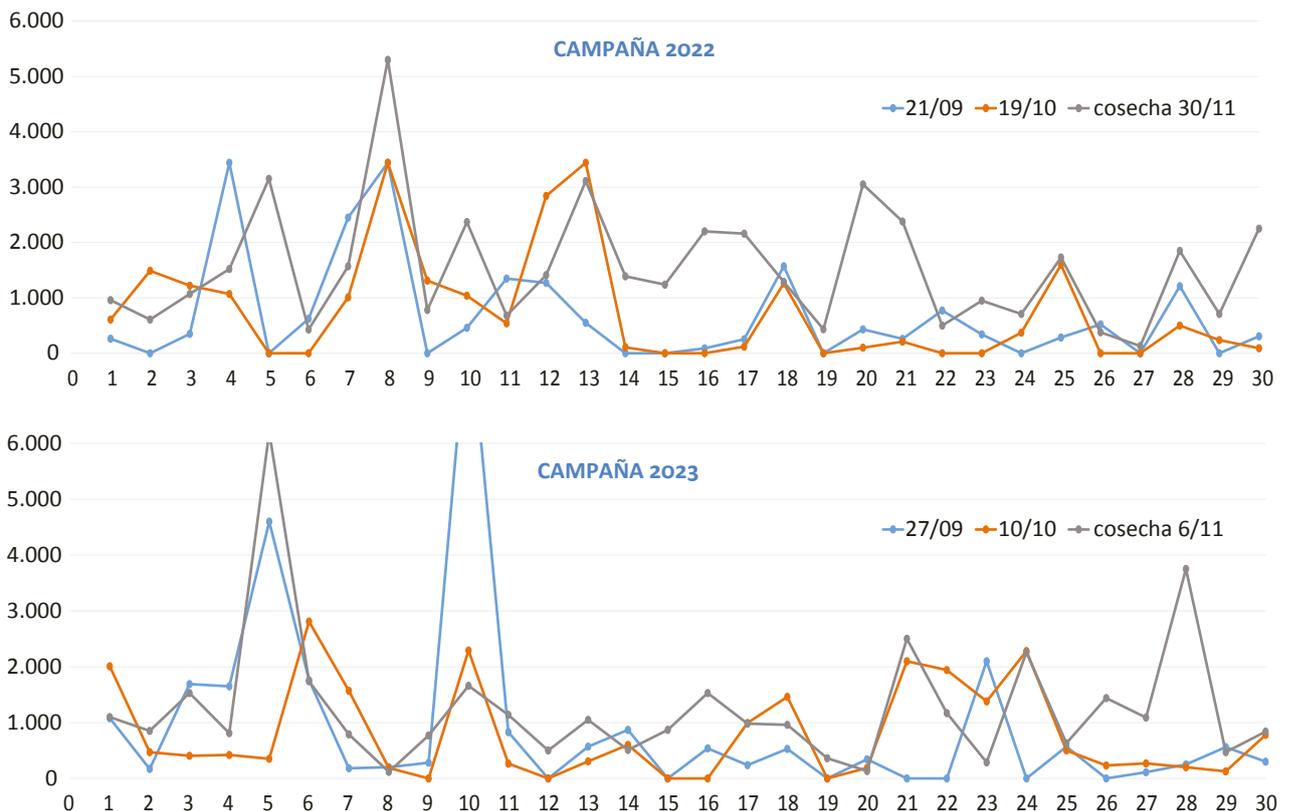
Durante 2022 y 2023 se llevaron a cabo 2 ensayos (cada año) en diferentes parcelas de agricultor y a escala de sectores de riego, para evaluar el efecto de la estrategia de riego en la presencia de Deoxinivalenol (DON) en el momento de cosecha, y otros parámetros del cultivo (NDVI, humedad del grano, rendimiento y consumo de agua).

En todos los ensayos se sembraron 2 variedades (una considerada como "Sensible" a DON y otra considerada como "Tolerante"). En cada tratamiento se instalaron sondas de humedad (en un número variable de 1 a 3 en función de la disponibilidad), para conocer el contenido de humedad en el perfil del suelo 0-60 cm.

Las estrategias de riego fueron dos:

- Riego "Frecuente": con riegos frecuentes que pasaron a ser diarios en el periodo de mayores necesidades del maíz, y con dosis aportadas según la dosis semanal recomendada por INTIA que llegó a ser de hasta 10 mm/día.

Gráfico 1- Contenido en micotoxinas DON (µg/kg) en las tres recolecciones



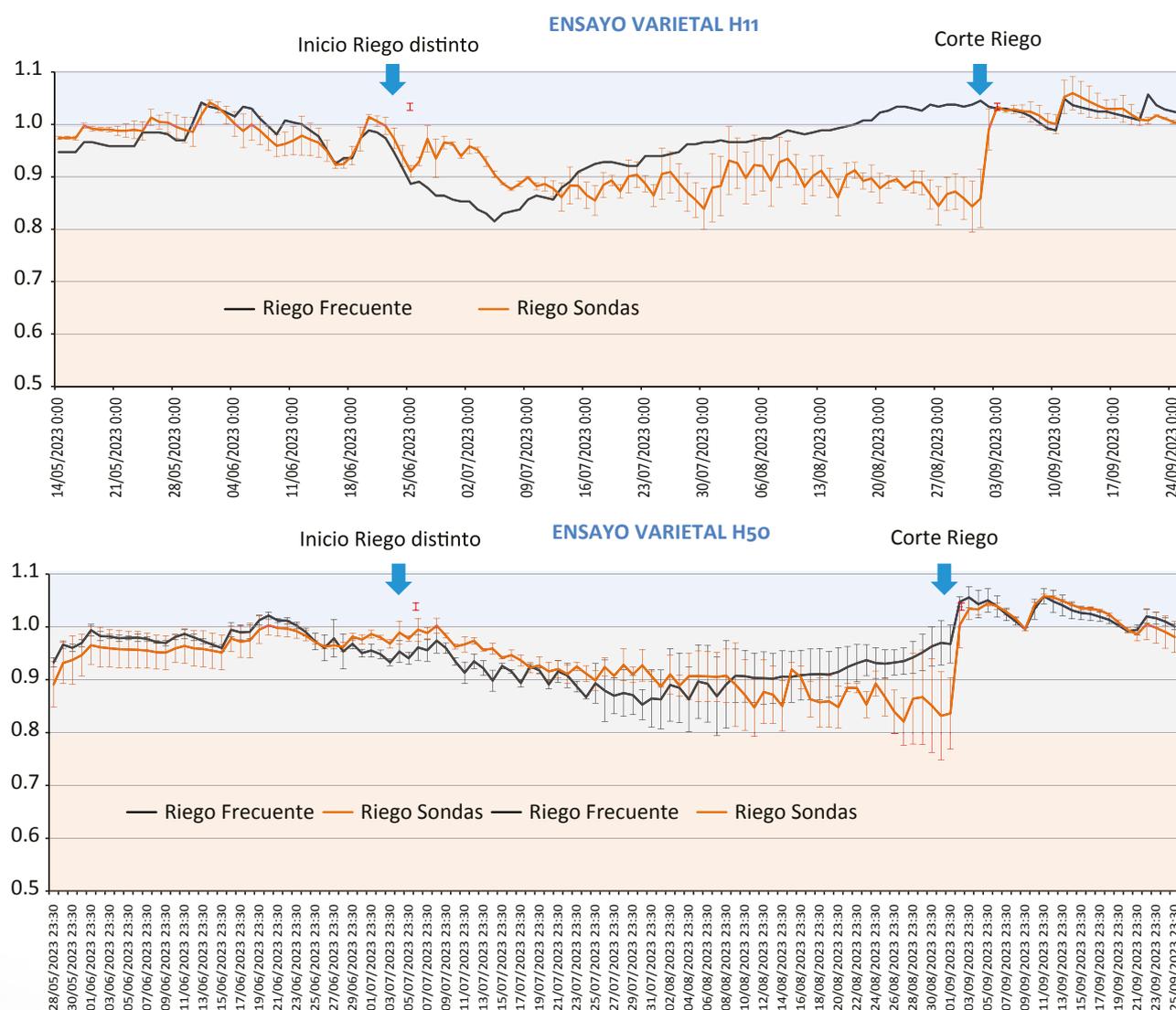
■ Riego mediante “Sondas” de humedad: el criterio de riego era mantener la reserva de agua entre el 80 % y el 100 % de Capacidad de Campo (Cc) con riegos espaciados 2-3 días incluso en el periodo de máximas necesidades y dosis aportadas de hasta 20 mm/día.

La cosecha se realizó mediante la cosechadora de microparcelas de INTIA en un caso, mediante una cosechadora de agricultor equipada con monitor de rendimiento en otro caso y mediante muestreos manuales cuando no fueron posibles los métodos anteriores. En la cosecha se determinó la humedad del grano, el rendimiento y la concentración de DON ($\mu\text{g}/\text{kg}$).

Resultados

En el **Gráfico 2** se observa que la reserva de agua del suelo durante el año 2023 para la estrategia de riego “Sondas”, se mantuvo dentro de los valores establecidos como criterio de riego (0,8-1), y de manera general, al mismo nivel o por debajo de la estrategia de riego “Frecuente”. Algo similar sucedió durante 2022. Este hecho se tradujo para los 4 ensayos en una reducción en el consumo de agua de riego para la estrategia “Sondas” en torno al 19-25 % respecto al agua aportada por la estrategia “Frecuente”.

Gráfico 2- Variación de la reserva de agua del perfil del suelo 0-60 cm. Año2023



Expresada como Fracción de Capacidad de Campo que es la reserva de agua que tiene el suelo en cada momento respecto a su valor de capacidad de campo. Valor 1: suelo a Capacidad de Campo en el perfil 0-60 cm.



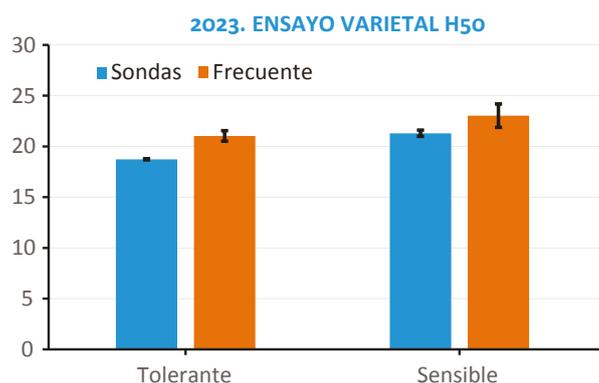
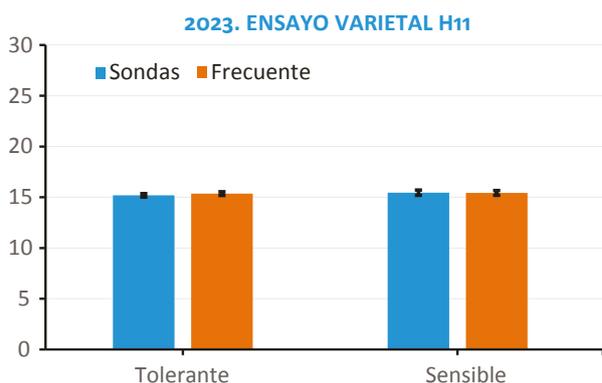
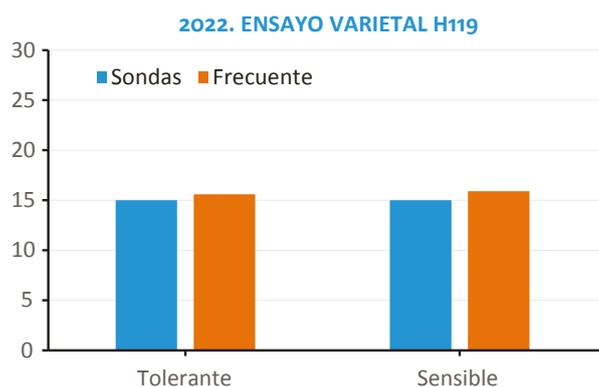
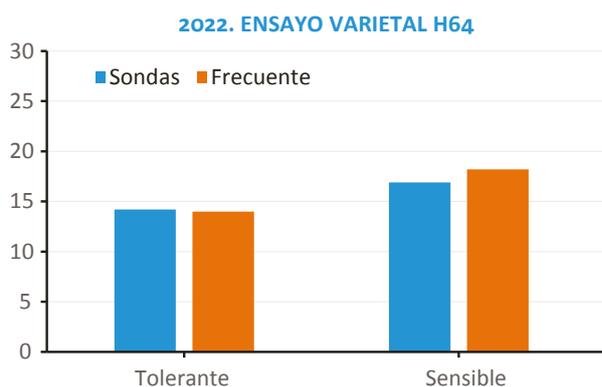
El índice de vegetación NDVI fue muy similar para ambas estrategias de riego en 2023, alcanzándose valores máximos de 0,8-0,9 y situándose la estrategia de riego “Frecuente” igual o por encima de la estrategia “Sondas”. Es decir, se observó una tendencia a mayor vigor del maíz con la dosis de riego “Frecuente”. Cabe destacar que en el caso del ensayo H50 se detectaron zonas con cierta deficiencia en Nitrógeno que pudo afectar a la lectura NDVI. Además, se observó que la mayor disponibilidad de agua en la estrategia “Frecuente” pudo inducir un ligero retraso en el fin de ciclo y quizás en el secado del grano. Este hecho se puede comprobar en el **Gráfico 3** donde, independientemente de la variedad considerada, se observa una tendencia a un mayor contenido en humedad del grano en el momento de recolección para la estrategia de riego “Frecuente” y que realizó un aporte mayor de agua de riego.

Como se ha indicado, al describir los hongos causantes de este tipo de micotoxinas, las condiciones meteorológicas juegan un papel muy importante. Todo lo que conlleve un retraso en el secado del grano (temperatura baja y humedad relativa alta) implicará un riesgo mayor de afección de *Fusarium graminearum* y, por tanto, mayor riesgo de presencia de DON. Como se puede observar en el **Gráfico 4**, de forma general, los valores más altos se asociaron con la estrategia de riego “Frecuente”, independientemente de la tipología varietal ensayada. El aporte de agua superior, unido a una mayor frecuencia de riego, hicieron que la planta estuviera más tiempo húmeda durante su ciclo y pudieron ser la causa de este incremento de DON en esta estrategia.

Siendo muy importante la concentración en micotoxinas en el grano ya que puede condicionar la comercialización del maíz para pienso, también se quiso comprobar el posible efecto de las estrategias de riego en el rendimiento del cultivo. En el **Gráfico 5** se muestra el rendimiento obtenido en cada uno de los ensayos. Como norma general, y salvo un caso (2022 Ensayo H64 variedad “Sensible”) en el que no hubo repeticiones para poder estimar la desviación del dato medio, el rendimiento obtenido para la estrategia de riego “Frecuente” tendió a ser más elevado (0-15 %) respecto al obtenido para la estrategia “Sondas”.

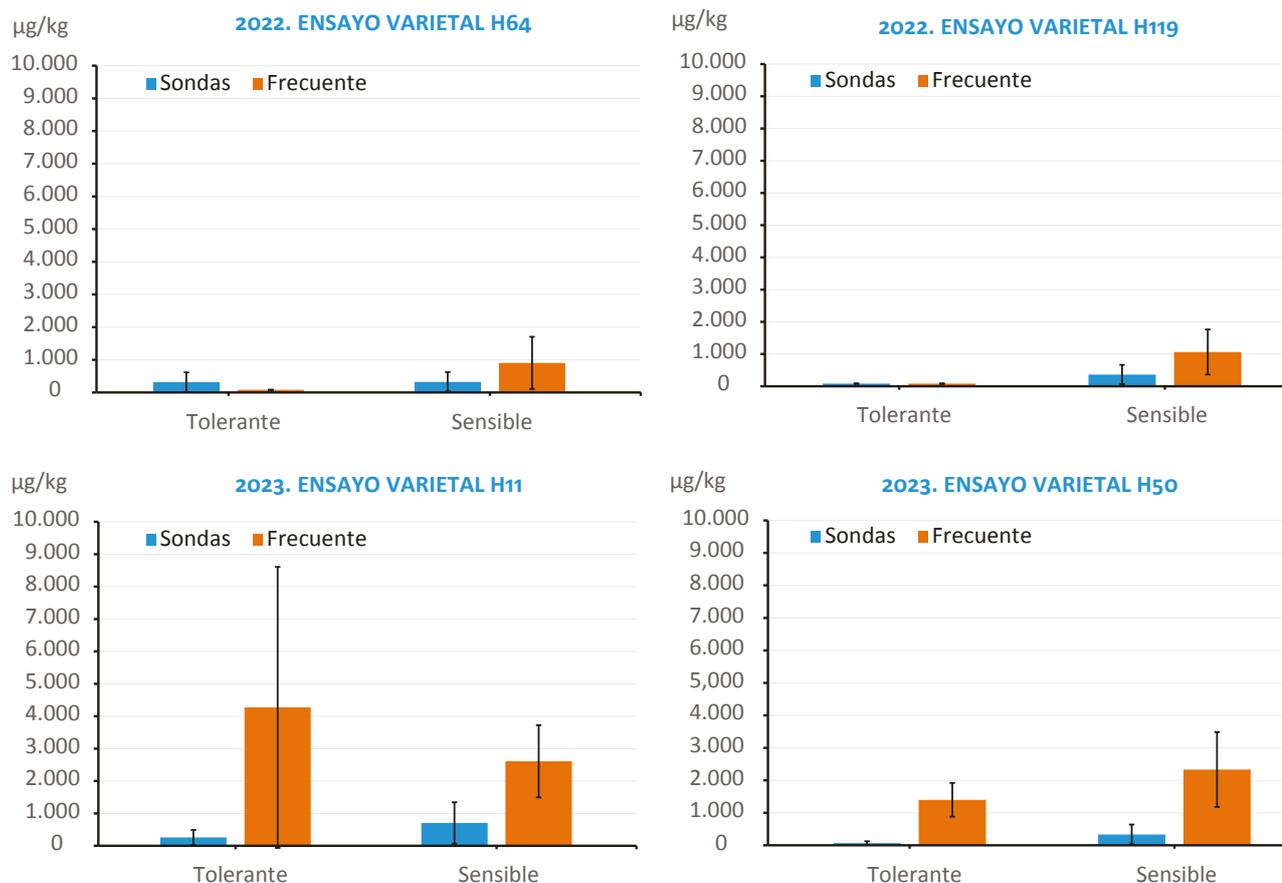


Gráfico 3- Humedad del grano en cosecha (%)



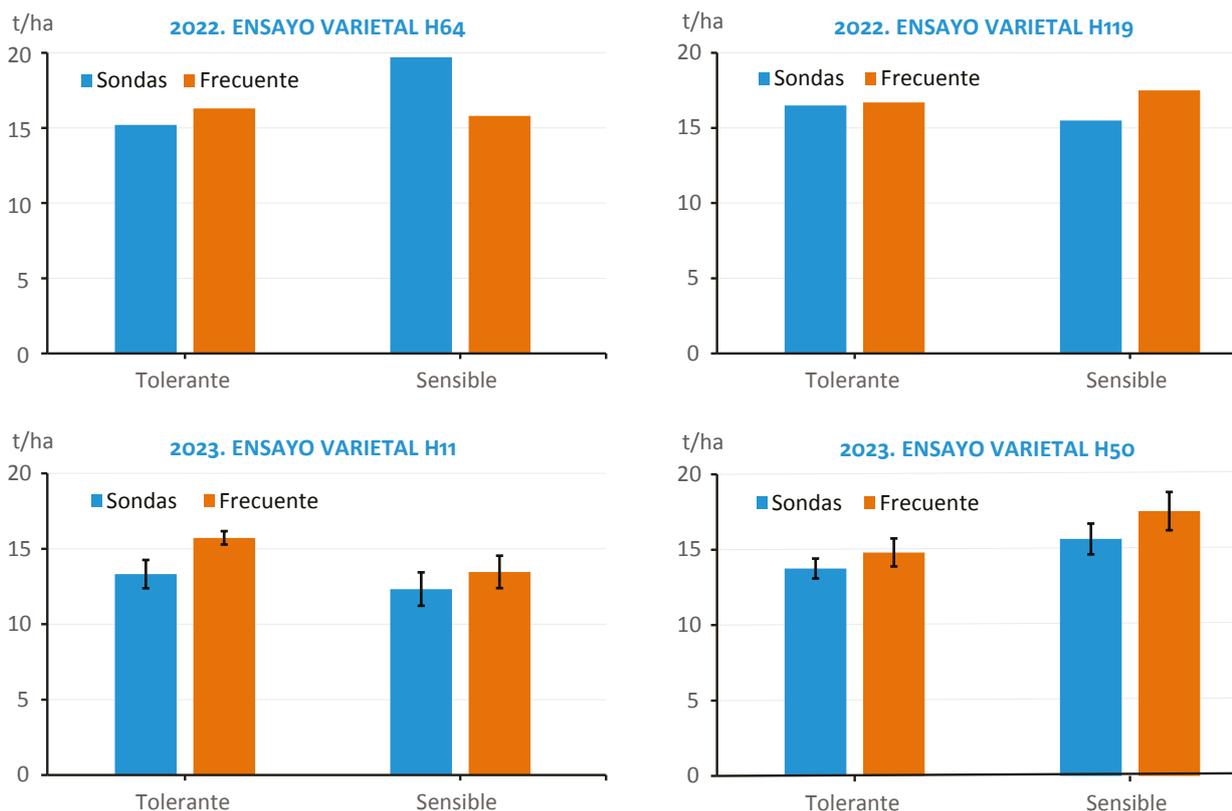
Para cada ensayo, tipo varietal y riego.

Gráfico 4- Concentración de micotoxinas DON en grano. Momento de recolección



Para cada ensayo, tipo varietal y riego.

Gráfico 5- Rendimiento en grano al 14 % de humedad



Para cada ensayo, tipo varietal y riego.

CONCLUSIONES

Los trabajos llevados a cabo en este proyecto han tenido lugar en dos campañas con baja afección de *Fusarium graminearum*. A pesar de ello, se ha comprobado cómo distintos factores agronómicos pueden influir en la presencia de micotoxinas de tipo DON en el cultivo de maíz. En este contexto las conclusiones principales que se extraen del trabajo realizado son las siguientes:

- La elección de la **variedad** influye de manera importante en el contenido final en micotoxinas de tipo DON en el grano de maíz.
- El retraso de la **fecha de cosecha** implica una mayor acumulación de micotoxinas de tipo DON en el grano de maíz. Aunque en situaciones de baja afección por *Fusarium graminearum*, la acumulación de micotoxinas no ha sido muy elevada.
- La **estrategia de riego** “Sondas” (hacia dosis y frecuencias de riego reducidas de forma controlada con sondas de humedad), puede afectar a la concentración de DON en el grano de maíz.

Esta nueva estrategia implicaría de forma general una tendencia a la disminución de la concentración de DON, pero también una tendencia a la disminución del rendimiento.

- Las estrategias para mantener unos niveles bajos de micotoxinas en el cultivo de maíz, no pueden basarse en un solo factor. Se debe utilizar el mayor número de factores disponibles que reduzcan el riesgo: variedad, riego, rotación de cultivos, laboreo, ciclo de la variedad, fechas de siembra y cosecha, etc.
- Es importante continuar con ensayos experimentales que permitan seguir evaluando la influencia de los distintos factores agronómicos sobre el contenido de micotoxinas en grano. Siendo muy necesaria la recogida de datos en distintas campañas, así como, distintas situaciones de cultivo. En cuanto a la estrategia de riego con “Sondas” sería interesante evaluar otras opciones como subir el nivel de agotamiento permisible de la estrategia a valores en torno al 85 %, reducir el perfil de suelo considerado a 0-50 cm o incluso evaluar la utilización de las sondas de humedad para la gestión del riego, pero únicamente en aquellos estados fenológicos del maíz donde sea más sensible para la aparición de *Fusarium graminearum*.

PROYECTO PILOTO

Proyecto “Influencia del factor varietal y la eficiencia del riego en el contenido de micotoxinas en maíz”.

Financiación: Gobierno de Navarra y FEADER: “Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural: Europa invierte en zonas rurales”, en el marco de las Ayudas a la submedida 16.2 de apoyo para los proyectos piloto y para el desarrollo de nuevos productos, prácticas, procesos y tecnologías, del PDR de Navarra 2014-2020. Convocatoria 2020.

El proyecto, en el que han participado como entidades socias INTIA, y la Cooperativa Agrícola de Artajona comenzó en mayo de 2022 y finaliza en febrero de 2024.

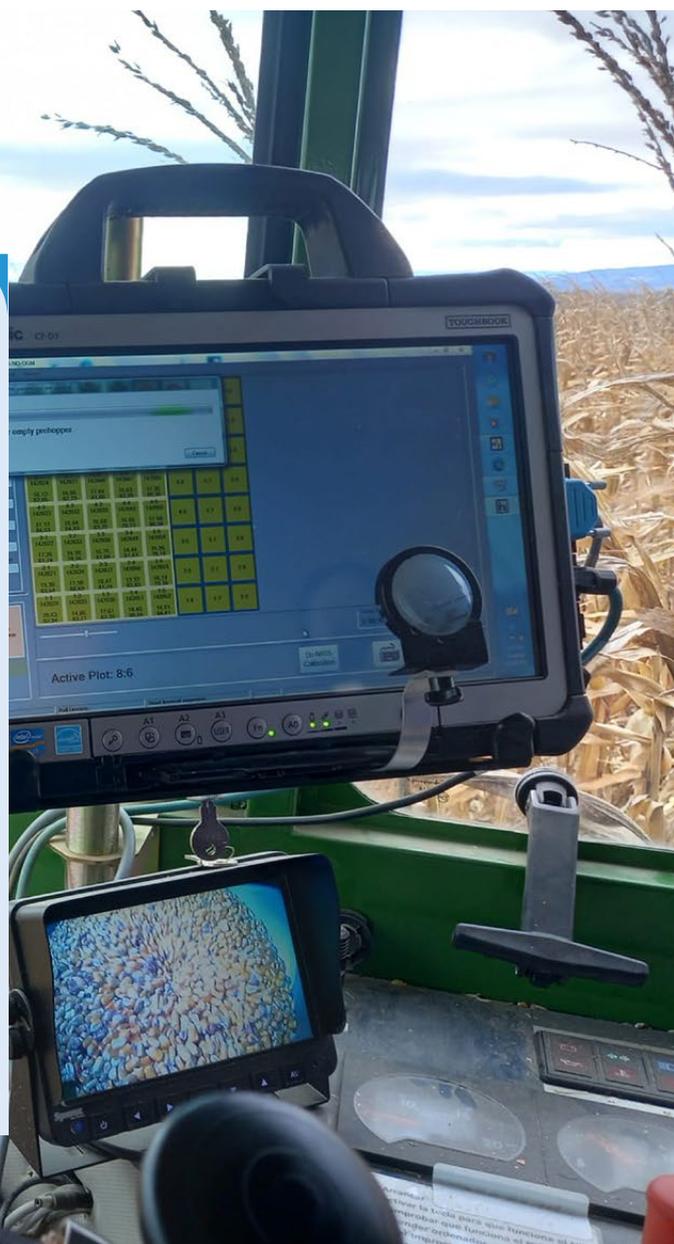


Unión Europea
Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural



“Europa invierte en zonas rurales”

Proyectos de investigación cofinanciados por el Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente del Gobierno de Navarra a través del Convenio con INTIA S.A. para el fomento de la I+D+i en el ámbito agrario





CAJA RURAL
DE NAVARRA

Plan
Disfruta
Seguro

Agrupar tus seguros,
paga mes a mes
y obtén hasta un
8% de bonificación
el primer año

8%

Bonificación el primer año sobre la prima de los seguros incluidos en el Plan Disfruta Seguro. Para acceder a la bonificación, se requiere la agrupación mínima de dos de los seguros incluidos en el Plan Disfruta Seguro, siendo al menos uno de ellos de nueva contratación. Todos los seguros asociados al Plan, deben estar contratados en la misma Caja Rural de Navarra, debiendo estar al corriente de pago con cargo a la tarjeta Tarifa Plana Multitranquilidad.

Los seguros incluidos en el Plan Disfruta Seguro son: Seguro Multirriesgo del Hogar, Seguro de Decesos, Seguro de Accidentes contratados con RGA Seguros Generales Rural S.A. de Seguros y Reaseguros, con CIF A-78524683 y clave de la DGSFP C-616. Seguro de Vida no vinculado contratado con RGA Rural Vida S.A. de Seguros y Reaseguros, con CIF A-78229663 y clave de la DGSFP C-595. Seguro del Automóvil para vehículos de primera categoría y Seguro de Motocicletas y Ciclomotores contratada con: Liberty Seguros compañía de Seguros y reaseguros S.A. con CIF A-48037642 y clave de la DGSFP C-0467. Reale Seguros generales, S.A. con CIF A78520293 y clave de la DGSFP C-0613 y Mapfre España con CIF A-28141933 y clave de la DGSFP C-0058.

La comercialización se realiza a través de RGA Mediación Operador de Banca-Seguros Vinculado, inscrito en el registro de mediadores de la DGSFP con CIF A79490264 y clave OV-0006, y con póliza de responsabilidad civil. Caja Rural de Navarra pertenece a la red de distribución de RGA Mediación OBSV, S.A. Consultar entidades aseguradoras con las que RGA Mediación mantiene un contrato de agencia de seguros en:

https://www.segurosrga.es/Documents/Entidades_contrato_RGA_Mediacion.pdf
Bases del Plan Disfruta Seguro a tu disposición en www.cajaruraldenavarra.com.



SEGUROS
RGA

Estamos
contigo



Más de 100 años
al servicio comercial y empresarial
de los agricultores y ganaderos
de las cooperativas socias



AN ENERGÉTICOS

Cereales Frutas y hortalizas Avícola Porcino Fertilizantes Semillas
Fitosanitarios Piensos Repuestos Carburantes Correduría de seguros

www.grupoan.com