

Las royas del trigo y su control



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 773311

Para más información sobre el Proyecto RustWatch se puede visitar la página web: <https://agro.au.dk/forskning/projekter/rustwatch/> o seguirlo a través de las redes sociales: @RustWatchH2020.

Jesús Zúñiga Urrutia, Jesús Goñi Rípodas, Amaia Caballero Iturri, Marta Goñi Labat, Juan Antonio Lezaun San Martín, Carmen Goñi Górriz, Nerea Arias Fariña, Marcos Apesteguía Barberena. *INTIA*

Desde hace una década se está observando un resurgir de problemas fúngicos, sobre todo de roya en trigo, después de un periodo de muchos años en los que su incidencia había sido prácticamente nula. No es solo un problema local, afecta a toda Europa que ya en 2016 experimentó una de las epidemias más graves de roya amarilla en trigo durante más de 50 años. Además, la población preexistente de esta roya del trigo ha sido reemplazada por razas invasoras de origen no europeo.

Esta revista Navarra Agraria ya ha informado sobre diversos aspectos de la enfermedad de Roya y sus variantes, en artículos que se pueden consultar a través de la web: www.navarraagraria.com. En el número 244 (enero-febrero 2021), precisamente, se informó sobre la problemática concreta de la roya negra, la más dañina, de la que se están detectando focos por nuevas variantes genéticas. Y se ha analizado también la incidencia de roya amarilla y roya parda en distintas campañas.

Para abordar ese problema de manera conjunta, se puso en marcha el proyecto RustWatch con el objetivo de establecer un sistema de alerta temprana impulsado por las partes interesadas para mejorar la preparación y la resistencia a las enfermedades emergentes de la roya en el trigo, que es el cultivo agrícola más grande de Europa. Para ello, ha involucrado a 25 entidades y organismos. Por parte de España, ha participado la sociedad pública INTIA (Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias S.A.)

En este artículo damos una visión general de la problemática que generan estas enfermedades en el cultivo de trigo, con los datos más recientes, así como de los métodos para su monitorización y control.

LAS ROYAS DEL TRIGO



Las royas del trigo son patologías citadas desde tiempos muy remotos como responsables de importantes epidemias que provocaban graves daños y una disminución drástica de los rendimientos de los cultivos. En trigo nos encontramos con tres especies de roya, roya parda o roya de la hoja, la roya amarilla o roya estriada, y roya negra también nombrada como roya del tallo.

La importancia de estas patologías, en los últimos años, está principalmente marcada por el aumento de incidencia por roya amarilla en la última década, así como la presencia reciente de roya negra en algunas zonas de Europa.

ROYA PARDA

El patógeno

La roya parda o roya de la hoja está provocada por el hongo *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*, sinónimo: *Puccinia triticina*. Esta forma especial del patógeno afecta como huéspedes primarios a trigos blandos y duros, completando su ciclo biológico sobre huéspedes alternos (*Thalictrum*, *Clematis*...).

Hasta la reciente irrupción de la roya amarilla, la roya de la hoja era la más frecuente en trigo, debido a que prácticamente todos los años se presentaba de forma habitual con mayor o menor severidad en la práctica totalidad de las zonas productoras de trigo.

Ciclo biológico y epidemiología

Al igual que la roya negra y la roya amarilla, la roya parda es parásito obligado. Por tanto, para cada ciclo de cultivo, la in-

fección primaria puede llegar durante el periodo otoñal al trigo recién implantado creando focos iniciales poco detectables, que consiguen sobrevivir al invierno si este periodo es poco severo. A partir de estos focos, durante la primavera y en condiciones idóneas, se suceden ciclos infectivos que a través de uredosporas diseminan la enfermedad a otras plantas u otras parcelas, provocando zonas afectadas.

El desarrollo óptimo de roya parda se produce con temperaturas entre 15 y 20 °C, con presencia de agua sobre los tejidos y con temperaturas nocturnas suaves. El crecimiento del micelio y el proceso de esporulación óptimo se dan en un rango de temperaturas de alrededor de 25 °C, esto hace que en nuestras latitudes, en Navarra, la roya parda sea una patología que se presenta con mayor frecuencia en los estados finales del ciclo de cultivo.

Sintomatología

La roya parda se presenta formando pústulas (uredinios) que liberan un polvillo (uredosporas) de color anaranjado intenso al principio, que más tarde toma un tono más pardo o marrón. Estas pústulas se distribuyen de forma aleatoria sobre la superficie foliar sin seguir un patrón definido, como puede verse en las fotos inferiores. En ataques severos y variedades altamente sensibles se llegan a apreciar pústulas sobre glumas y aristas.

A final del ciclo, la enfermedad puede formar telios sobre las zonas afectadas, aunque son menos frecuentes que en el caso de roya amarilla o roya negra.

En las imágenes inferiores se pueden ver detalles de lesiones de roya parda. (Fotos INTIA)

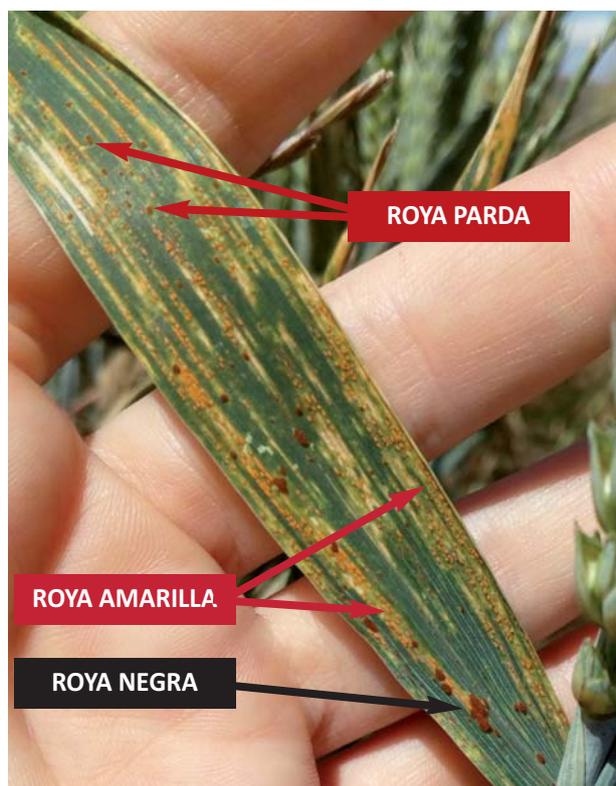


**Certis
te trae
el herbicida
que esperabas.**



Sunfire

Un nuevo día amanece,
sin malas hierbas



A la izquierda, detalle de tres royas.

Foto inferior, detalle de lesiones de roya negra en vainas y tallos.
(Fotos de INTIA)



ROYA NEGRA

El patógeno

La roya negra o roya del tallo en trigo, es una enfermedad provocada por el hongo *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, que puede afectar como huéspedes primarios a trigos tanto blandos como duros. Además, puede completar su ciclo biológico sobre huéspedes alternos, principalmente el agracejo (*Berberis vulgaris*), aunque se ha detectado en otros *Berberis* y especies afines. Se han descrito como huéspedes secundarios diversas gramíneas espontáneas, si bien no se consideran importantes en el ciclo del patógeno.

Ciclo biológico y epidemiología

A pesar de la existencia de huésped alternativo y huéspedes secundarios, se considera que las infecciones de roya negra se producen mayormente por continuas generaciones de uredinios (esporas) que son transportadas de una hoja a otra, entre distintas plantas y distintas parcelas, incluso a grandes distancias por medio de la lluvia y el viento.

La roya negra es la patología, entre las tres royas que afectan al trigo, que precisa de temperaturas más elevadas para su desarrollo, siendo estas sensiblemente superiores a las temperaturas óptimas de roya parda y muy superiores a las temperaturas óptimas de desarrollo que precisa roya amarilla. Las esporas presentan germinación óptima entre 15 y 24 °C y la presencia de agua libre sobre el cultivo, el crecimiento del micelio y el proceso de esporulación óptimo se dan en un ran-

go de temperaturas de alrededor de 30 °C. Esto hace que en general la roya negra sea una patología que se presenta con mayor frecuencia y gravedad en zonas cálidas, en los estados finales del ciclo de cultivo o situaciones de cultivo con maduración muy retrasada.

Sintomatología

Puccinia graminis presenta una **sintomatología que permite distinguirla** de otras royas del trigo. **Cuando se produce un ataque grave, la roya negra o roya del tallo se puede diferenciar de la roya parda y roya amarilla por las partes de la planta que son infectadas.** La roya del tallo es capaz de infectar los tallos, hojas, y vainas foliares de la planta, en algunas ocasiones puede infectar glumas del grano. Esta infección del tallo ayuda a separarla de otras royas. **La roya parda puede infectar la vaina de la hoja que envuelve el tallo, pero no el tallo en sí.** La roya amarilla se presenta frecuentemente en hoja, algunas veces sobre las vainas de las hojas y muy habitualmente se encuentran infecciones que afectan a las glumas del grano.

Cuando la enfermedad es menos severa y solo se pueden encontrar unas pocas lesiones, es importante centrarse en las características específicas de las lesiones. La roya del tallo causa lesiones alargadas u ovaladas en forma de ampolla, habitualmente alineadas de forma paralela a la nerviación de la hoja o al eje de los tallos. Las esporas de color rojo-anaranjado del hongo atraviesan el exterior de las capas del tejido vegetal dándole a los márgenes de la lesión un aspecto deshinchado. Este desgarramiento del tejido de la planta es visible sin necesidad de lupa de aumento. Comparadas a las lesiones de la roya del tallo, las lesiones de la roya parda son más pequeñas, tienden a ser más redondas y a causar menos desgarramiento del



Roya negra: Detalle de lesiones en hoja (foto izquierda) y lesiones en glumas y aristas (derecha). (Fotos INTIA)

exterior del tejido vegetal. Las lesiones de roya amarilla, en cambio, presentan pústulas alargadas muy pequeñas, alineadas en el sentido de la nerviación de la hoja presentando una esporulación claramente amarilla.

ROYA AMARILLA

El patógeno

La roya amarilla es una enfermedad fúngica que puede afectar a trigos tanto blandos como duros, a cebadas, triticales y otras gramíneas espontáneas. En Navarra, la enfermedad afecta principalmente a trigo y triticale, y está provocada por el hongo *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. Durante muchos años se había considerado que *P. striiformis* tenía un ciclo incompleto, ligado únicamente a gramíneas. En fechas recientes se ha descrito que la enfermedad llega a completar su ciclo biológico sobre hospedantes alternos como Berberis.

Ciclo biológico y epidemiología

Aunque estudios recientes han demostrado la existencia de otras plantas huéspedes, las infecciones primarias se producen sobre el cultivo de trigo en otoño por medio de esporas que alcanzan al cultivo recién implantado arrastradas por el viento, procedentes de trigos espontáneos u otras gramíneas de zonas frescas o de montaña, donde han sobrevivido al periodo veraniego. Estas primeras infecciones son difícilmente

identificables, pueden sobrevivir a las condiciones ambientales del invierno y pasan desapercibidas. A finales de invierno y comienzo de primavera, en condiciones adecuadas, la enfermedad se multiplica por sucesivos ciclos infectivos asexuales, provocando sobre las hojas gran número de uredinios (lesiones en forma de pústulas) productores de infinidad de esporas (uredosporas) que dispersan la enfermedad y son las responsables de infectar a otras plantas de la parcela, expandir la roya a otras parcelas cercanas o incluso dispersar el inóculo a grandes distancias, si existen vientos favorables para su transporte. Al final del ciclo vegetativo del trigo, en condiciones adversas para la roya, se crean cuerpos especiales de conservación de la enfermedad llamados telios, productores de teliosporas.

La enfermedad puede producir infecciones y desarrollarse a partir de 0 – 3 °C, y paraliza su desarrollo por debajo de estas temperaturas. Las pústulas infectivas pueden sobrevivir a temperatura de -4 °C. El óptimo para la infección y desarrollo de la roya amarilla se produce a temperaturas de 10-15 °C y con presencia de agua sobre las hojas. En condiciones óptimas, una espora de roya amarilla germina y produce una infección en un periodo de 1 a 3 horas, el ciclo de la enfermedad puede completarse en 7 días, sucediéndose numerosos ciclos infectivos lo que confiere a esta patología un desarrollo “explosivo”. Por encima de 22 – 23° C se detiene el desarrollo del patógeno. *P. striiformis* resulta sensible a la luz ultravioleta. De forma orientativa, se estima que la roya amarilla necesita de media 10 °C menos de temperatura que la roya parda para su óptimo desarrollo, es por ello que esta enfermedad se ha ligado a cultivos de trigo en zonas de litoral marítimo o a sistemas agrarios de montaña.



Rodal de foco inicial de roya amarilla, arriba. Abajo, parcela afectada de roya amarilla. (Fotos INTIA)





Pústulas de roya amarilla en distintos grados de afección. (Fotos INTIA)

Sintomatología

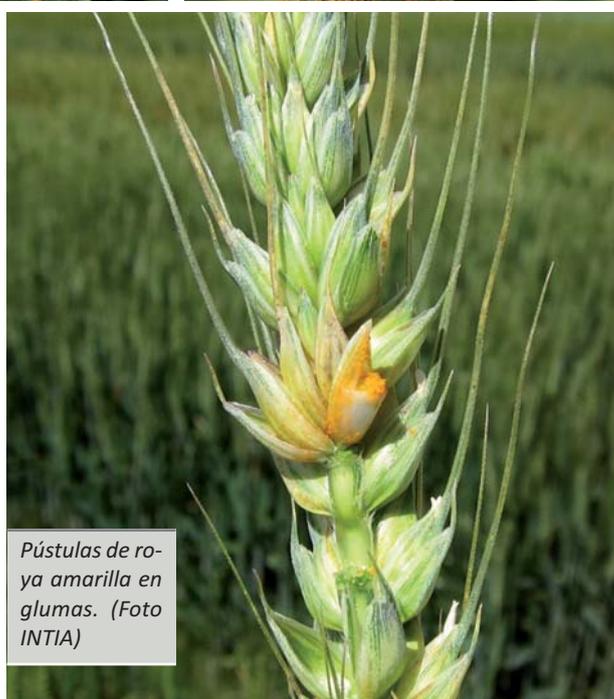
Sobre la parcela, las infecciones otoñales pasan inadvertidas, es a partir del fin de ahijado y comienzo de encañado cuando se observan los síntomas. La enfermedad se presenta en principio formando rodales de escasa superficie que observados a distancia tienen un aspecto clorótico y amarillento. En estos rodales, la práctica totalidad de las plantas están fuertemente afectadas de la enfermedad. En condiciones favorables estos primeros focos se multiplican y aumentan de tamaño, y pueden terminar por diseminar la roya a todo el resto de la parcela.

Si se observan con detenimiento las plantas afectadas, **en inicio de la infección se aprecian sobre el haz de las hojas unas pequeñas pústulas de color amarillo, alineadas longitudinalmente en el sentido de los nervios foliares**. Con la progresión de la enfermedad, **estas pústulas se multiplican llegando a ocupar la totalidad de la superficie foliar**, lo que les confiere un aspecto estriado (ver fotos superiores). Las pústulas toman un color más anaranjado y **liberan un polvillo (uredosporas)** de color amarillo anaranjado.

En caso de persistir las condiciones de infección en fases avanzadas del cultivo, se producen lesiones en espiga, llegándose a apreciar **pústulas sobre las glumas del grano**.

En condiciones adversas para el desarrollo de la enfermedad, se forman sobre las hojas unas pústulas de color café oscuro o negro, muy patentes sobre la hoja amarillenta; se trata de los **telios** (ver fotos inferiores).

Ataques de severidad importante sobre trigo provocan amplias zonas necróticas sobre las hojas, llegando a secarlas por completo, lo que disminuye la capacidad fotosintética de la planta. Así, el cultivo se debilita, se produce una reducción notable de migración de elementos nutritivos hacia el grano y los rendimientos productivos pueden reducirse hasta el 50%.



Pústulas de roya amarilla en glumas. (Foto INTIA)



Telios. (Fotos INTIA)



CONSEJOS BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES

RECICLAR LOS ENVASES DE SIGFITO (FERTILIZANTES, FITOSANITARIOS, BIOESTIMULENTES Y NUTRICIONES ENTRE OTROS), ES UNA OBLIGACIÓN DEL AGRICULTOR.

TE EXPLICAMOS CÓMO HACERLO :



1. Fíjate en que lleven el símbolo de SIGFITO en la etiqueta



2. No te olvides de los sacos de papel y las cajas de cartón, SIGFITO también los recoge



3. Enjuaga tres veces los botes de plástico



4. Separa el plástico (botes, garrafas y bolsas) de los envases de papel y cartón



5. Lleva todos los envases al punto de recogida de SIGFITO y pide allí tu albarán

02 MONITORIZACIÓN DE LAS ROYAS DEL TRIGO

La evolución y diseminación de nuevas razas de royas está siendo muy rápida, evolucionando en pocas campañas. Por ello, es de vital importancia realizar un seguimiento de estas enfermedades a dos niveles diferenciados. Mientras que, por un lado, se realiza una monitorización de la aparición y diseminación de los patógenos en cada campaña para realizar un control de los mismos lo más efectivo posible, por otro lado, se hace un seguimiento del comportamiento y evolución de las razas a nivel global.

INTIA lleva aplicando esta estrategia de seguimiento de enfermedades desde hace muchos años. A nivel local se ha desarrollado una herramienta colaborativa para el manejo de plagas y enfermedades, la Estación de Avisos (<https://estacionavisos.agrointegra.intiasa.es/>), que permite la monitorización de la aparición de las enfermedades de roya en cualquier campo de Navarra (Figura 1), la monitorización semanal de las enfermedades en campos piloto y la integración de modelos agroclimáticos (esta parte última está en desarrollo). Durante la campaña de cereal, INTIA realiza una monitorización constante de las royas a través de sus técnicos y colaboradores que registran las observaciones en cuanto se detectan los primeros síntomas en los campos o a través de puntos fijos de monitoreo establecidos anualmente. Además, la estación se alimenta con información recogida por técnicos de cooperativas y/o agricultores colaboradores, los cuales disponen de protocolos comunes para el seguimiento de las enfermedades.

Esta monitorización a nivel local se complementa con la estrategia de monitorización a nivel europeo enmarcada dentro del proyecto europeo H2020 RustWatch. Dentro del sistema de alerta temprana europeo que promueve este proyecto, se realiza un seguimiento y monitorización de las enfermedades de roya mediante diferentes acciones:

Por un lado, se han desarrollado diferentes herramientas que permiten la visualización de la afección de roya que presentan las distintas variedades cultivadas, así como el nivel de distribución de la enfermedad. Los datos recogidos a nivel local (en el caso de Navarra, los datos recogidos en la Estación de Avisos) se introducen o transfieren directamente a estas herramientas. En este contexto, esta acción se puede considerar como el primer paso para un sistema de alerta temprana a nivel europeo. Además, esta información puede alimentar las

Figura 1. Visor de la Estación de Avisos de INTIA donde se registra y visualiza la información sobre la detección de royas

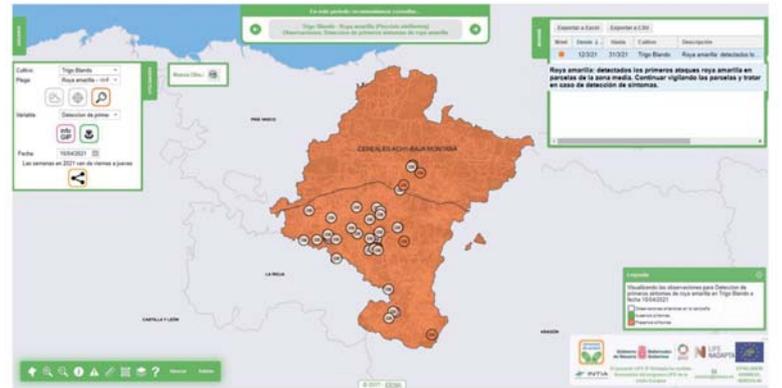
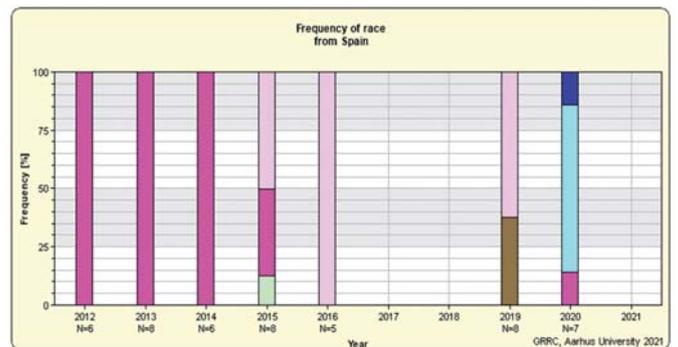


Figura 2: Evolución de la frecuencia de las razas detectadas en España desde 2012 hasta 2021. Información.



Data provider: GRRC, Denmark (<https://agro.au.dk/forskning/internationale-plattform/wheatrust/yellow-rust-tools-maps-and-charts/races-changes-across-years/>).

estrategias de muestreo, las estrategias para la prevención y el control mediante la Gestión Integrada de Plagas e incrementar la conciencia sobre los ataques potenciales que se puedan producir más tarde en la campaña.

Otro de los objetivos fundamentales de la monitorización de las royas dentro del proyecto es entender los mecanismos responsables de su aparición, dispersión y el establecimiento de epidemias. Es por ello que una parte de la monitorización de estos patógenos se basa en el muestreo y recogida de hojas y/o tallos de cereal infectados con roya por toda Europa para su posterior genotipado y fenotipado en los diferentes laboratorios de referencia. A través de este trabajo es posible obtener los grupos genéticos y las razas presentes en cada lugar y ver cuál es la evolución y movimiento de las mismas a través del tiempo y el espacio, tal y como se puede observar en la Figura 2.

Por otro lado, se realiza la identificación de nuevas virulencias de roya amarilla mediante la evaluación de 7 líneas de trigo que diferencian las razas. Estas líneas se han sembrado en diferentes localizaciones de toda Europa para facilitar el muestreo representativo de las poblaciones de roya del trigo en toda la región. Durante la campaña 2020-2021, la evaluación de estas líneas de trigo en España se está realizando en Navarra, Cataluña y Andalucía.

Además de todo lo anterior, se ha establecido un sistema de ensayos de campo en Europa donde se evalúa la susceptibilidad a la roya de diferentes variedades de trigo y líneas de mejora. De esta manera se puede acelerar el proceso de obtención de variedades resistentes en el futuro. Para ello, en los campos de ensayo se inoculan los trigos con una o una combinación de razas y/o se evalúan dichas variedades bajo condiciones de infección espontánea a partir de poblaciones de roya emergentes a nivel local.



03 ▶ ESTRATEGIAS DE LUCHA CONTRA LAS ROYAS

MÉTODOS PREVENTIVOS Y CULTURALES

Engloban acciones tendentes a minimizar la presencia del inóculo en la parcela, así como medidas para evitar las infecciones de la enfermedad, y las prácticas llevadas a cabo para dificultar el desarrollo de la patología una vez instalada sobre el cultivo.

La eficiencia de estos métodos culturales en el control de royas es baja. La biología y epidemiología de las puccinias hace que prácticas como el empleo de semillas sanas (o semillas tratadas), diferentes sistemas de laboreo, o una correcta gestión de los residuos del cultivo anterior, apenas tengan relevancia sobre la posterior incidencia de la enfermedad. De igual manera, un sistema de rotación de cultivos tampoco ha mostrado ser factor limitativo para los ataques de royas, puesto que el inóculo que provoca la infección primaria suele proceder de zonas distantes. Conseguir un desarrollo vegetativo adecuado en base a limitar la densidad de plantas y una buena gestión de la fertilización, quizás sea la medida que más influye para limitar el avance de las royas; no obstante, es frecuente ver cul-

tivos fuertemente afectados en situaciones de déficit de nitrógeno y poco vigorosos.

VARIEDADES RESISTENTES

El método más exitoso en la lucha contra estas enfermedades se basa en el empleo de variedades con caracteres de resistencia contra el patógeno. Resulta fácil de utilizar, accesible, económico, y muy eficaz si se siembran variedades con los caracteres de resistencia adecuados. Es un sistema muy dinámico, que obliga a investigadores y expertos en genética a un gran esfuerzo para poner a punto material vegetal con nuevos caracteres de resistencia frente a las nuevas cepas virulentas que surgen de royas.

INTA lleva realizado un trabajo muy intenso del seguimiento de la problemática y la sensibilidad varietal desde que hace 11 campañas aparecieron atípicas afecciones de roya amarilla en situaciones en las que no deberían haber aparecido (Figura 3). Desde el primer momento se detectó que el problema surgía con la aparición de nuevas razas del hongo de la roya amarilla,

Puccinia striiformis, que estaba provocando una inutilización de la buena herramienta de lucha contra la enfermedad que en ese momento se disponía que era la resistencia varietal.

Figura 3. Fecha de detección de la roya amarilla en los ensayos de INTIA en Navarra en estos últimos años



Durante estos años, el trabajo por parte de las empresas de mejora genética ha sido muy firme en la búsqueda de materiales que nuevamente puedan servir como herramienta en esta lucha. Por desgracia, esta vía no ha resultado de gran ayuda ya que gran parte de las variedades eran afectadas por la enfermedad, pero en la actualidad van apareciendo materiales a los que el hongo apenas les provoca daño. Sin embargo, los estudios realizados sobre el hongo están demostrando que éste tiene una gran capacidad de adaptación generando nuevas razas o nuevas cepas lo que hace que el problema prevalezca (**Gráfico 1**).

Este trabajo está vivo y, si se quiere disponer del factor varietal como un medio de lucha contra esta enfermedad, no se puede dejar de probar diferentes variedades y evaluar la sensibilidad de las mismas en las diferentes situaciones.

A la hora de evaluar las sensibilidades varietales, hay que tener en cuenta algunos aspectos importantes. A algunas variedades puede afectarles la enfermedad muy pronto, pero luego no permitir un desarrollo explosivo del daño, a otras variedades puede empezarles el problema más tarde, pero ser muy dañino (**Gráfico 2**). Esto es muy importante porque la estrategia de tratamientos fungicidas puede diferir entre ambos casos. Por otro lado, no hay que quedarse con la evaluación puntual de la enfermedad en un lugar y momentos concretos, ya que como se ha comentado anteriormente la situación evaluada en un lugar y momento puntuales puede variar en otro momento (otra campaña) por la existencia de otra raza diferente.

Desde INTIA se viene haciendo mucho hincapié en tratar de diversificar variedades para que la lucha sea más efectiva. Si en una zona en la que existe inóculo de una determinada cepa del hongo se siembra una superficie importante de una variedad que pueda ser susceptible a esa raza, por un lado, habrá un problema serio de afección sobre el trigo en esa zona, pero, por otro lado, se facilitará la multiplicación de esa raza del hongo. Sin embargo, si las variedades que se siembran en esa zona son diversas, es posible que a algunas les afecte esa raza, pero a otras no, así que por un lado se consigue salvar algunos de los trigos y, por otro, se dificulta la multiplicación del hongo.

CONTROL QUÍMICO

Se basa en la aplicación de productos de acción fungicida que limiten las infecciones y posterior desarrollo del patógeno, minimizando así las consecuencias producidas por los ataques del hongo. Si se aplica correctamente el sistema de lucha es muy eficaz, existen numerosos formulados fungicidas autorizados que poseen un excelente efecto en el control de las royas. Este sistema de control supone un esfuerzo suplementario de vigilancia del cultivo, prestando atención a la identificación de los primeros síntomas de enfermedades, puesto que en las condiciones adecuadas las royas presentan un desarrollo rapidísimo y de carácter explosivo, que hace ne-

Gráfico 1. Evolución de la sensibilidad mostrada por diferentes variedades en los ensayos de INTIA en Navarra en las últimas campañas

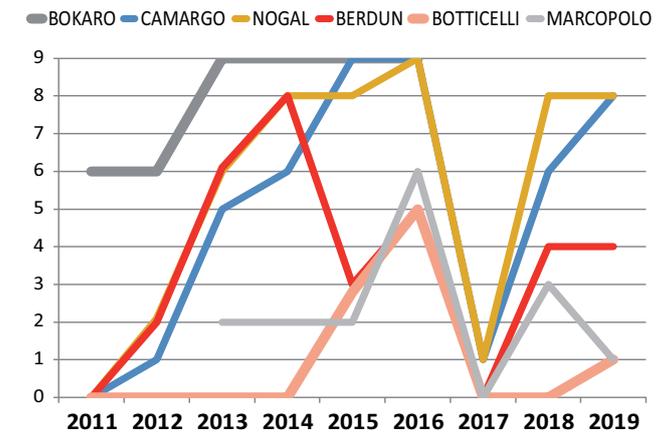
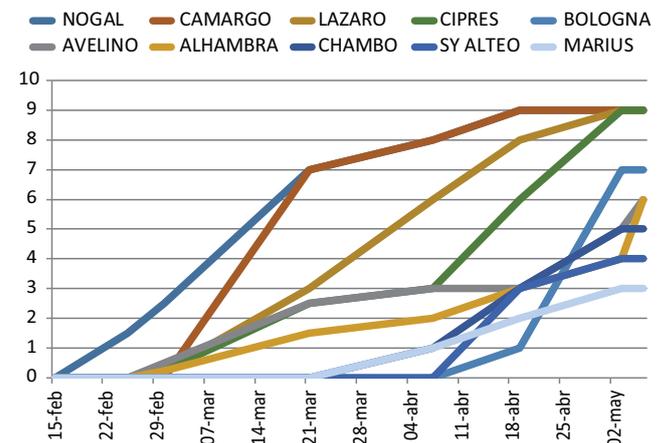


Gráfico 2. Evolución de la roya amarilla en diferentes variedades en una campaña concreta



cesario intervenir con los tratamientos fungicidas al inicio del ataque.

La aplicación de fungicidas resulta costosa económicamente, sobre todo en zonas de baja productividad. Las aplicaciones deben, además, contemplar la incidencia de otras patologías y adecuar los fungicidas y aplicaciones al control de otras enfermedades (septoria, etc.).

El manejo y aplicación de productos químicos no está exento de riesgos tanto para el aplicador como para el medio ambiente. La correcta gestión en el uso de fungicidas hace necesario alternar productos con distinta materia activa o distintos modos de acción.

EXPERIENCIA DE APLICACIÓN DE FUNGICIDAS PARA EL CONTROL DE LAS ROYAS EN NAVARRA

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos de aplicación de fungicidas en el control de roya amarilla realizados por INTIA.



Antecedentes y objetivos de las experiencias

Una vez extendida de forma generalizada la enfermedad, ya en 2012, 2013 y sucesivos, se observa en Navarra cómo campaña tras campaña la roya amarilla se detecta en el cultivo cada año en estadios más precoces, de tal manera que se va dilatando el periodo en el que la enfermedad produce nuevos ciclos y ataques sucesivos, siendo necesario en casos graves el mantener protegido el cultivo durante 60 a 75 o más días. Esto provoca situaciones habituales de dos o tres intervenciones con productos fungicidas para cubrir el periodo de ataque de roya sobre el cultivo.

Esta circunstancia de necesidad de repetir aplicaciones provoca una inquietud creciente, debido tanto a situaciones agronómicas (multitud de entradas reiteradas en parcela), factores económicos (alto coste de los tratamientos), implicaciones medioambientales (exceso de uso de productos fitosanitarios), o cumplimientos reglamentarios (número máximo de aplicaciones de cada formulado por campaña).

En este escenario, por parte de INTIA se prepararon una serie de experiencias para tratar de abordar estas cuestiones que más preocupación provocan, intentando definir los momentos más adecuados para tratar roya amarilla, la frecuencia y/o intervalos entre las aplicaciones, o incluso las dosis de fungicida utilizadas en el periodo de cultivo.

Los diferentes ensayos realizados no contemplan la comparación de eficacia en el control de roya amarilla, en sentido estricto, de cada una de las estrategias, sino más bien buscan el determinar cómo cada una de dichas estrategias propuestas incide en el comportamiento productivo del cultivo, el cual viene definido por un mejor o peor control de la patología pero que no está definida en estas experiencias. Los ensayos se realizan en cinco años, las campañas de 2015 a 2019, a razón de un ensayo por campaña.

Metodología

Los ensayos de estas cinco campañas se ubican en diferentes localizaciones de secano fresco de Navarra, en las cercanías de Pamplona. El diseño empleado ha sido el de bloques al azar con 4 repeticiones, parcelas elementales de entre 1,2 y 2 metros de anchura por 10 metros de longitud para una superficie de 12 o 20 m² de parcela.

La variedad de trigo ensayada ha sido Camargo en todas las campañas, a una dosis de semilla de 400 granos/m². La siembra se realiza en cada campaña en diferentes fechas, entre final de octubre y mediados de diciembre en función de las condiciones de cada año. La conducción del cultivo respecto a control de malas hierbas, aplicación de insecticidas y aporte de fertilizantes, etc., se hace acorde a las prácticas habituales del cultivo en la zona de ubicación de los ensayos.

El factor común en todos los años ha sido la aplicación de productos autorizados a diferentes dosis y en diferentes momentos del cultivo. Lógicamente, las campañas son diferentes entre sí, aunque mantienen una serie de elementos comunes para realizar la comparativa de los resultados obtenidos en cada año. En la **Tabla 1** se muestran las características de cada ensayo en cada una de las campañas, con la localización del ensayo y una indicación de la incidencia de roya amarilla ocurrida esa campaña. Las fechas de aplicación son bien diferentes en cada campaña, aunque sí mantienen el criterio del estado fenológico del cultivo. En dicha tabla se indican a modo de orientación la fecha más temprana de aplicación en cada campaña, las fechas intermedias y la fecha de la aplicación más tardía de fungicida.

La **Tabla 1** muestra, además, los productos fungicidas empleados, los cuales se aplicaron de forma alterna y sin superar el número máximo de aplicaciones autorizadas de cada formulado por campaña. Se expone también la cantidad total de

Tabla 1. Características de los ensayos de Royas realizados por INTIA. 2015-2019

Datos campaña	2015	2016	2017	2018	2019
Localización ensayo	Mendioroz	Arazuri	Orkoien	Uroz	Berriosuso
Incidencia de roya	Alta	Muy Alta	Baja	Baja	Media-Alta
Fecha temprana tratamiento	18 de marzo	17 de marzo	17 de marzo	18 de abril	4 de abril
Fecha centrada de tratamiento	8 de abril // 27 de abril	30 de marzo // 18 de abril	12 de abril // 2 de mayo	7 de mayo // 23 de mayo	25 de abril // 16 de mayo
Fecha tardía de tratamiento	12 de mayo	12 de mayo	20 de mayo	7 de junio	31 de mayo
Fungicidas (diferentes combinaciones y dosis)	tebuconazol 25% y ciproconazol + trifloxistrobin (ESCOLTA)	tebuconazol 25%, epoxiconazol 12,5% y ciproconazol + trifloxistrobin (ESCOLTA)	tebuconazol 25%, epoxiconazol 12,5% y ciproconazol + trifloxistrobin (ESCOLTA)	tebuconazol 25% y epoxiconazol + piraclostrobin (LOVIT COMET)	tebuconazol 25% y epoxiconazol + piraclostrobin (LOVIT COMET)
Dosis total de fungicida	1/2/3	1/1,7/2/2,4	1/1,75/2	1/1,75/2	1/1,75/2

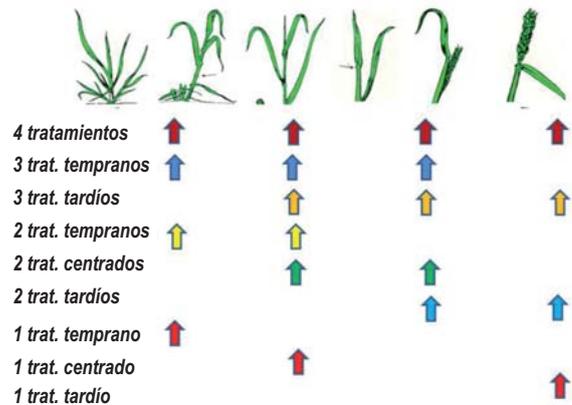
fungicida empleado en las estrategias. Conviene indicar que en el año 2015 se emplearon dosis completas de cada formulado, así la estrategia con tres aplicaciones supone 3 dosis fungicidas, la de una aplicación 1 dosis y la de dos tratamientos, 2 dosis. A partir de 2016 y hasta 2019 se emplean dosis reducidas de fungicida; así, con ligeras diferencias entre campañas, si se realizan cuatro tratamientos, la cantidad de fungicida utilizada es de 2 - 2,4 dosis. En las estrategias de tres tratamientos se utilizan 2 dosis, cuando se hacen dos aplicaciones se trata con 1,75 dosis y para estrategias de un único tratamiento se emplea 1 dosis.

Se diseñaron diferentes estrategias de momentos de aplicación de los fungicidas, que pasaron por la realización de uno, dos, tres y hasta cuatro tratamientos. No todas las estrategias están representadas todas las campañas, si bien siguen una pauta común en los momentos de aplicación para poder estudiar los resultados de manera conjunta. La **Figura 4** representa un modelo en que se recogen las diferentes estrategias ensayadas y el momento de aplicación (con ligeras diferencias cada año) de cada tratamiento fungicida.

Resultados

Para valorar el comportamiento frente a roya amarilla de las diferentes estrategias de aplicación empleadas, se ha tenido principalmente en cuenta el rendimiento productivo obtenido del cultivo. Para ello, en el momento de cosecha se recolecta cada parcela elemental de todas las diferentes estrategias de todas las repeticiones del ensayo, y se registra la producción de cada parcela, así como su contenido de humedad en el momento de la recolección. Los diferentes rendimientos de cada estrategia se comparan con la producción que se obtiene del testigo sin tratar. Para el rendimiento obtenido en el testigo se da un valor 100, el índice productivo de cada estrategia indica el porcentaje de diferencia de cada estrategia respecto al testigo. **La Tabla 2 muestra los índices de cada estrategia en cada campaña, mostrando además el rendimiento en kg/ha de trigo obtenidos en los testigos.**

Figura 4. Estrategias ensayadas y momento de aplicación de fungicidas



En la **campaña 2015** se incluyen 5 estrategias, entre una y tres aplicaciones de fungicida en el periodo entre el encañado y la floración del cultivo. En este año, con un ataque temprano y una incidencia alta de roya amarilla, la repercusión de las estrategias es muy importante; en el caso de tres aplicaciones se incrementa en un 45% el rendimiento. El tratamiento único aplicado tardíamente es el que menos incidencia tiene en el rendimiento, como se puede ver en la **Tabla 2**.

El **año 2016** resulta muy complicado, ya que se producen ataques de roya amarilla muy tempranos, con una severidad altísima y durante un largo periodo de ciclo del cultivo. Se realizan 5 estrategias que incluyen entre una y 4 aplicaciones de formulados fungicidas. El testigo sin tratar resulta severamente afectado por la enfermedad. La estrategia de 4 aplicaciones consigue aumentar en un 132% el rendimiento respecto a lo no tratado. Si se realizan 3 aplicaciones el incremento es del 106%. Con dos tratamientos del 80 al 86% de incremento. Incluso una única aplicación en fechas muy tardías protege al cultivo de los efectos de la enfermedad para incrementar un 39% el rendimiento, (**Tabla 2**).

Tabla 2. Resultados. Campañas 2015-2019

Estrategias de tratamiento	Índice productivo					Promedio
	2015	2016	2017	2018	2019	
4 Tratamientos	---	232	107	---	---	169
3 Tratamientos Tempranos	145	206	118	112	130	142
2 Tratamientos Tempranos	137	180	118	105	121	132
2 Tratamientos Centrados	135	186	113	105	120	132
3 Tratamientos Tardíos	---	---	109	115	124	116
1 Tratamiento Centrados	126	---	106	105	126	116
1 Tratamiento Tardío	112	139	107	98	110	113
2 Tratamientos Tardíos	---	---	111	103	115	110
1 Tratamiento Temprano	---	---	107	100	113	107
Testigo Sin tratar	100	100	100	100	100	100
Rendimiento del testigo (kg/ha)	5.643	5.678	5.135	5.008	5.836	5.326



Para **2017** se diseña un ensayo que incluye 9 diferentes estrategias con entre 1 y 4 aplicaciones en diferentes momentos. Las de mayor número de tratamientos tratan de proteger el cultivo durante el mayor tiempo posible en el periodo de sensibilidad, mientras que las estrategias de menos número de aplicaciones indican el periodo más crítico. En esta campaña, la incidencia de roya amarilla en el ensayo es muy baja, el testigo sin tratar da los peores rendimientos productivos de trigo. Las diferentes estrategias fungicidas, a pesar de aumentar en todos los casos con respecto al testigo, no presentan una distribución de aumento de rendimiento acorde a la intensificación de las aplicaciones.

En la **campaña 2018** se prepara una experiencia con 8 estrategias. Para un año con una incidencia baja de roya amarilla, las estrategias con tres aplicaciones obtienen una mejora del 12 – 15% sobre el testigo sin tratar, mientras que el resto de estrategias apenas mejoran en un 5% el resultado productivo respecto al testigo.

En **2019** se diseña un ensayo de 8 estrategias igual al del año 2018. La campaña cursa con una incidencia medio/alta de roya amarilla y las estrategias de tres aplicaciones mejoran al testigo en un 25 – 30% de incremento de rendimiento. Destaca el buen resultado de una única aplicación bien centrada. El testigo sin tratar da los resultados de rendimiento más bajos.



CONCLUSIONES

Las conclusiones que a continuación se enumeran hacen referencia a los resultados obtenidos en las experiencias y condiciones de realización que se han citado anteriormente.

- ✘ La **roya amarilla** (*Puccinia striiformis*) se revela como una enfermedad muy grave, capaz de producir una severidad altísima sobre el trigo, ocasionando hasta el 56 % de merma en el rendimiento productivo del cultivo.
- ✘ La incidencia y severidad de roya amarilla sufre **fluctuaciones entre unas campañas y otras**, provocando daños de diferente gravedad.
- ✘ En **ataque de roya muy precoz y severidad alta**, es necesario proteger el cultivo durante el periodo más amplio posible.
- ✘ El **periodo del cultivo que se muestra como más sensible al ataque de roya amarilla, se sitúa entre los 2/3 nudos y el inicio de espigado**. Los mejores resultados en estas experiencias los producen las estrategias que cubren correctamente ese periodo de sensibilidad.
- ✘ **Aplicaciones únicas muy tempranas o muy tardías** provocan una respuesta positiva del cultivo en los casos de afección grave de roya, pero son las estrategias que peores resultados dan.
- ✘ En caso de diseñar un programa de tratamiento contra roya amarilla con varias aplicaciones, es factible ajustar las dosis de fungicida. **Si se aplican dosis reducidas de fungicida, es primordial que las aplicaciones comiencen al inicio de ataque de la enfermedad, se respete una cadencia de aplicaciones de alrededor de 20 días y el programa de tratamiento aplique al menos una dosis completa de fungicida.**