

VALORIZACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

para mejorar la resiliencia del maíz al cambio global en el área mediterránea

A nivel global, la agricultura se enfrenta a los retos impuestos por el cambio climático, que plantea importantes retos en la producción de alimentos, principalmente debido a la sequía y las altas temperaturas. La sequía es el principal problema de la agricultura a nivel mundial; afecta a los cultivos en todas sus etapas, produciendo pérdidas de rendimiento de hasta el 100% en las etapas iniciales del desarrollo.

PEDRO REVILLA¹, LORENA ÁLVAREZ-IGLESIAS¹, OULA MAAFI², AREZKI MEKLCHE², ROGELIO SANTIAGO¹, CARLOS SOUTO³, ELISABETTA FRASCAROLI⁴, CARLOTTA BALCONI⁵, THOMAS ALTMANN⁶, M CARLOTA VAZ PATTO⁷, ALAIN CHARCOSSET⁸, CHAHINE KARMOUS⁹, ALI SAHRI¹⁰, SEKIP ERDAL¹¹, ABDEL KHALID ESSAMADI¹², ANA BUTRÓN¹, ANA LÓPEZ-MALVAR¹, ROSA ANA MALVAR¹

¹ Misión Biológica de Galicia (CSIC), Pontevedra, España;

² Escuela Nacional Superior Agronómica (ENSA), Argelia;

³ Universidad de Vigo, España;

⁴ Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari (DISTAL), Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Italia;

⁵ Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi del l'Economia Agraria (CREA), Italia;

⁶ Instituto de Genética Vegetal e investigación en Cultivos Vegetales de Leibniz (IPK, Gatersleben), Alemania;

⁷ Instituto de Tecnologia Química e Biológica António Xavier (ITQB NOVA), Universidade Nova de Lisboa, Portugal;

⁸ Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias y Ambientales (INRAE), Francia;

⁹ Instituto Nacional Agronómico de Túnez (INAT);

¹⁰ Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INRA), Marruecos;

¹¹ Instituto de Investigaciones Agrícolas Bati Akdeniz (BATEM), Turquía;

¹² Universidad Hassan I, Marruecos

Las predicciones indican que el cambio climático traerá periodos más frecuentes e intensos de sequía, acompañados de un previsible aumento de la temperatura global, junto con episodios más frecuentes de temperaturas extremas. La zona mediterránea se considera un área especialmente vulnerable donde, según las previsiones, los efectos negativos del cambio climático se verán exacerbados. En esta área, la agricultura podría verse particularmente afectada, ya que abundan las zonas áridas o semiáridas cuya extensión

aumentará con el cambio climático. Dentro de la cuenca mediterránea, los países del norte de África sufren un aumento de temperatura de más de 0,3°C/década y se ha estimado que un aumento de 1°C en la temperatura media anual disminuiría el rendimiento del maíz aproximadamente un 10%. El maíz es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial; sin embargo, es especialmente vulnerable a las altas temperaturas y la sequía. Además, las importaciones de maíz en la zona mediterránea constituyen una debilidad estratégica; concretamente, en España importamos la mayor

parte del maíz que consumimos para alimentación animal y humana, lo que nos convierte en un país con dependencia para la alimentación animal y humana.

Sistemas agrícolas innovadores para mejorar la sostenibilidad agroalimentaria

Con esta motivación, hemos puesto en marcha un proyecto internacional coordinado por el grupo de genética y mejora de maíz de la Misión Biológica de Galicia (CSIC) y financiado por la convocatoria PRIMA, por la Unión



FOTO 1
Participantes
en el proyecto
PRIMA
(12 socios
de 9 países)

Europea y por las agencias nacionales de los nueve países a los que pertenecen los doce grupos de investigación mencionados en las afiliaciones de los autores (**Foto 1**). El proyecto lleva por título “Capitalización del germoplasma de maíz mediterráneo para mejorar la tolerancia al estrés”, y con él se pretenden promover transformaciones progresivas de los sistemas agrícolas actuales hacia nuevos sistemas agrícolas innovadores para mejorar la sostenibilidad agroalimentaria. Esto se conseguirá implementando la realización de prácticas eficientes, rentables y ambiental y socialmente responsables.

En concreto, este proyecto pretende poner en valor las colecciones de germoplasma mantenidas en los países mediterráneos, con entradas que han sido seleccionadas para adaptarse

a una gran diversidad de entornos estresantes; promover prácticas innovadoras de manejo de cultivos para aumentar la calidad y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas ecológicos y familiares; capitalizar el conocimiento actual y el nuevo conocimiento que desarrollemos en el proyecto sobre los mecanismos de tolerancia al estrés abiótico (genéticos, bioquímicos, morfológicos y fisiológicos); y desarrollar herramientas de selección que aumentarán nuestra capacidad para optimizar los enfoques de los programas de mejora de la tolerancia del maíz al estrés ambiental. Se empleará, por tanto, la diversidad del maíz para el cultivo con bajos insumos en el área mediterránea rescatando este germoplasma para la agricultura sostenible del futuro.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO

- 1) Establecer colecciones de germoplasma de maíz adaptado a las zonas secas del Mediterráneo, reuniendo y evaluando variedades por su resistencia al estrés,
- 2) Apoyar sistemas agrícolas innovadores promoviendo la calidad y la sostenibilidad de modelos agrícolas basados en agricultura orgánica y agricultura familiar,
- 3) Estudiar los factores genéticos involucrados en la adaptación del maíz a la sequía y al estrés por calor,
- 4) Investigar los mecanismos fisiológicos y morfológicos implicados en las respuestas del maíz a dichos estreses,
- 5) Establecer modelos predictivos y criterios de selección para programas de mejora enfocados en la tolerancia al estrés; para ello se diseñarán modelos de selección fenotípica, asistida por marcadores y genómica para mejorar la tolerancia a estreses individuales y combinados, y
- 6) Poner a disposición de los productores nuevas variedades tolerantes al estrés, así como avanzados conocimientos, para que los utilicen las partes interesadas.



FOTO 2
Participantes en el
proyecto PRIMA

El proyecto implica evaluaciones de amplias colecciones en campo, cámara, invernadero y plataformas de fenotipado, así como el análisis genético y bioquímico en laboratorio. Algunos de los caracteres que se analizan son rendimiento, biomasa, humedad, intervalo entre floración masculina y femenina, asimilación neta de CO₂, conductancia estomática, transpiración, eficiencia en el uso del agua, contenido relativo en agua, desarrollo de raíces, composición de la pared celular y cantidad de pigmentos antioxidantes, como carotenos y antocianos.

Hemos constituido colecciones de hasta 1.000 líneas puras procedentes de España, Portugal, Francia, Italia, Turquía y Argelia, así como poblaciones de los países participantes y poblaciones mejoradas en España para diversos caracteres relacionados con la tolerancia a la sequía. Las líneas puras se han genotipado en Francia y se están evaluando para tolerancia a sequía y alta temperatura en condi-

ciones controladas, de manera que se podrán identificar genes y mecanismos de tolerancia (**Foto 2**). Un grupo selecto de la colección de líneas puras se ha cruzado con líneas puras élite para determinar la aptitud de las líneas autóctonas para la producción de híbridos tolerantes a los estreses y adaptados a las condiciones ambientales de regiones áridas mediterráneas. Las poblaciones también han sido genotipadas en Francia, y se están evaluando principalmente en Italia y Túnez, así como en Marruecos, España y Argelia (**Fotos 3 a 7**). Los primeros resultados muestran gran diversidad genética y fenotípica que permitirá seleccionar poblaciones adaptadas a cada ambiente. Estas poblaciones proceden de diversos ambientes áridos mediterráneos a los que se han adaptado históricamente mediante selección por los agricultores; de manera que también proporcionarán mecanismos de tolerancia a los estreses que sufren en los ambientes que se evalúan.

En cuanto a las poblaciones mejoradas, se evalúan en campo y cámara para seleccionar poblaciones que puedan ser transferidas a los agricultores o utilizadas en programas de mejora. Los resultados constituirán un paso esencial para la comprensión de la interacción entre genotipos y agroambientes y, por lo tanto, podrían conducir a genotipos seleccionados directamente por los agricultores y listos para usar. El conocimiento agroambiental se utilizará para buscar marcadores asociados a la tolerancia a los estreses, conocer la respuesta de la planta al estrés y construir modelos de mejora.

Este proyecto está conectado, además, con otros proyectos, como la red europea ("European Evaluation Network", EVA) del "European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources" (ECPGR), y los proyectos españoles PID2019-108127RB-I00, PDC2021-121254-I00 y PID2022-140991OB-I00, entre otros. De esos proyectos obtenemos poblaciones

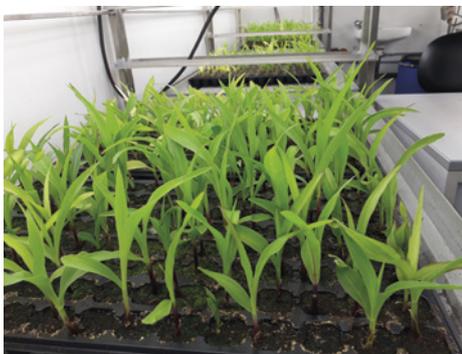


FOTO 3
Evaluación de tolerancia al calor de líneas de maíz en España



FOTO 4
Evaluaciones en condiciones controladas de sequía en Alemania



FOTO 5
Ensayos de maíz en Túnez



FOTO 6
Ensayo de maíz en Argelia



FOTO 7
Toma de datos fisiológicos en Marruecos

mejoradas, junto con líneas puras e híbridos que podrían tener valor potencial para las partes interesadas y los agricultores. En este caso, algunos de estos programas se están evaluando para tolerancia a la sequía, como selecciones para eficiencia fotosintética o para densidad de grano, mientras que otros programas de selección se están llevando a cabo. En concreto, estamos realizando un programa de selección para tolerancia a la sequía en dos poblaciones de maíz provenientes del desierto del Sáhara argelino, cruzadas por sendas líneas selectas de maíz proporcionadas por una empresa de semillas. Una de estas poblaciones es precoz y se cultiva en un oasis de la zona templada, mientras que la otra es tardía y procede de la zona tropical del desierto del sur de Argelia. En cuanto a las líneas puras y los híbridos provenientes de estos proyectos, cada año se producen y evalúan secuencialmente nuevos materiales mejorados, y aunque su transferencia está prevista para el final del proyecto PRIMA, se trata de un proceso de obtención y evaluación continuo.

Hasta ahora, los socios españoles del proyecto hemos desarrollado y puesto en práctica un método de evaluación de tolerancia las altas temperaturas en cámara de cultivo que proporcionará datos completos sobre las variaciones naturales en parámetros fisiológicos de amplias colecciones de germoplasma. Asimismo, en relación a la falta de agua en campo, hemos analizado parámetros como la tasa fotosintética, la transpiración, la conductancia, la eficiencia en el uso del agua o la eficiencia del fotosistema en la captación de luz. Y en cuanto a los análisis bioquímicos, hemos analizado diferentes componentes de la pared celular, que está involucrada en la respuesta de la planta a la deshidratación y a la recuperación; así como en pigmentos antioxidantes que permiten a la planta afrontar los estreses oxidativos, particularmente los carotenos y los antocianos. Durante la segunda mitad del proyecto se completarán las evaluaciones, y todos estos conocimientos servirán para



FOTO 8
Entrevistas con agricultores en Marruecos

seleccionar fuentes de tolerancia entre las variedades analizadas, así como para identificar criterios de selección y métodos que permitan optimizar la resiliencia del maíz ante la sequía y las altas temperaturas.

Impacto social

El impacto social del proyecto se fomenta apoyándose en contactos entre asociaciones que representan las necesidades de productores e investigadores para recopilar información precisa sobre las demandas de los interesados, tratar de satisfacer en la medida de lo posible esas demandas y transferir a los productores conocimientos técnicos para facilitar el cultivo de las poblaciones mejoradas tolerantes a la sequía.

Los diversos socios del proyecto internacional hemos realizado diferentes series de encuestas entre los agricultores de diversos países para conocer sus intereses y requisitos, además de haber tenido una reunión con el comité de partes interesadas (**Fotos 8 y 9**). En el caso concreto de la Misión Biológica de Galicia (CSIC), hemos realizado encuestas a los agricultores demandantes de semillas autóctonas. Hemos distribuido variedades entre los agricultores para el cultivo; por ejemplo, durante la primera mitad del proyecto el CSIC ha distribuido más de 40 poblaciones entre agricultores y productores. Además, hemos llevado a cabo un laboratorio viviente en



FOTO 9
Realización de encuestas a agricultores en Marruecos

el marco de la agricultura ecológica consistente en proporcionar semilla de variedades selectas para pan de maíz a agricultores ecológicos que probarán el valor potencial de estas variedades para su cultivo en condiciones ecológicas y la producción de pan de maíz, así como otro para ensayar el tradicional cultivo asociado de maíz y judías. Por otra parte, hemos realizado experimentos para probar compuestos activadores que, aplicados a las semillas, puedan paliar de forma innovadora los estreses ambientales.

A modo de conclusión

En resumen, el proyecto conjunto contribuirá al progreso del conocimiento mediante la disección de los mecanismos genéticos, bioquímicos, morfológicos y fisiológicos que subyacen a la tolerancia al estrés por sequía y altas temperaturas, y a capitalizar la diversidad de maíz para el cultivo con bajos insumos en el área mediterránea. Mientras que en la parte aplicada se fomentará el impacto social del proyecto apoyándose en contactos con asociaciones de productores para transferir conocimientos técnicos que faciliten el cultivo de los materiales tolerantes a la sequía mejorados.

Bibliografía

Queda a disposición del lector interesado en el correo electrónico: redaccion@editorialagricola.com