



Mejora del maíz frente al cambio climático: fuentes de tolerancia a la sequía

Las variaciones en la temperatura, en la humedad y en la calidad de nuestro suelo provocadas por el incesante cambio climático afectan directamente a la gestión de los cultivos de maíz forrajero. En este trabajo se aborda el estudio de la tolerancia a la sequía en diferentes variedades de maíz y las consecuencias que pueden tener en su rendimiento.

P. Revilla¹, A. Djemel^{2,4,5}, L. Álvarez-Iglesias¹, N. Pedrol^{2,4}, A. López-Malvar^{2,4}, Ely Gutiérrez³, Roger Reyes³, B. Ordás¹, A. Butrón¹, J.C. Jiménez-Galindo¹, A. Ordás¹, R. Santiago^{2,4}, A. Cao^{1,2}, D. Figueroa¹, M. Caicedo¹, A. Alonso¹, B. Lago¹, A. Carballada¹, M. Martínez¹, R. A. Malvar¹

¹Misión Biológica de Galicia (CSIC), Pontevedra

²Universidad de Vigo

³CODDEFFAGOLF, Honduras

⁴Agrobiología Ambiental. Calidad de Suelos y Plantas (Universidad de Vigo). Unidad Asociada a la Misión Biológica de Galicia (CSIC)

⁵École Nationale Supérieure Agronomique (Argel, Argelia)

Los datos de los que disponemos indican que el cambio climático afectará negativamente a los cultivos de manera global, aunque a escala local los efectos esperados son variables. Por ejemplo, en Pontevedra, el clima será ligeramente más extremo e irregular. El cambio climático ya

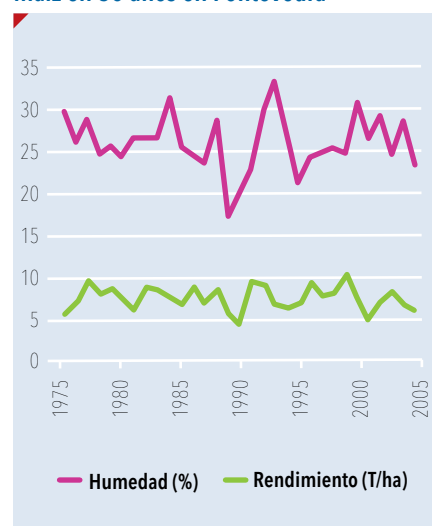
está perjudicando los cultivos, especialmente en los países en vías de desarrollo, donde se dispone de menos recursos para afrontar este problema, pero España y el área mediterránea, en general, también están expuestas a los efectos negativos del cambio climático. Según indican los modelos publicados,

estos cambios incluyen variaciones en las temperaturas y en la cantidad y en los patrones de la distribución de las lluvias, de modo que aumentarán los fenómenos meteorológicos adversos, especialmente, los periodos de sequía.

Entre 1975 y 2005, las variaciones en el rendimiento y la humedad del maíz en Pontevedra fueron irregulares y no siguieron una tendencia significativa, ni de aumento ni de disminución (figura 1). Estos datos son coherentes con las variaciones climáticas que se observaron durante ese periodo, pues tan solo hubo un aumento de las temperaturas máximas y una disminución de las temperaturas mínimas de 0,08 °C/año en ambos sentidos, al tiempo que se observó una distribución irregular de la lluvia. Por otra parte, durante estos años se introdujeron variedades progresivamente más productivas y esta mejora no se reflejó en los rendimientos, lo que sugiere que podría haber una compensación entre la aportación positiva de las nuevas variedades y la negativa de las nuevas condiciones ambientales.

Desde el ámbito de la mejora de cultivos, tenemos la posibilidad de desarrollar variedades capaces de afrontar condiciones climáticas adversas, así como las plagas y las enfermedades que vayan asociadas a las nuevas condiciones climáticas. Para eso, ne-

Figura 1. Rendimiento y humedad del maíz en 30 años en Pontevedra





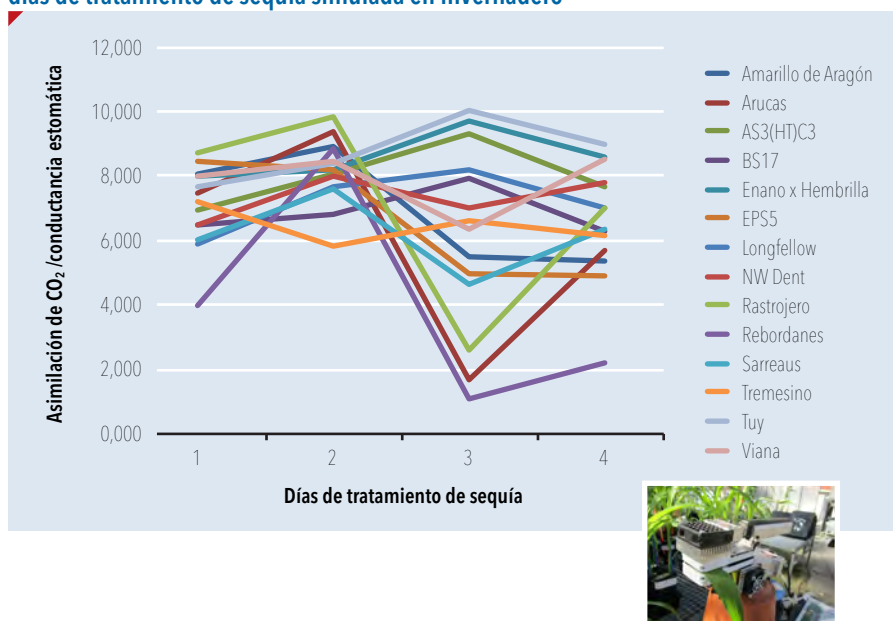
► EL DESARROLLO RADICULAR JUEGA UN PAPEL CLAVE EN LA ADAPTACIÓN A LA SEQUÍA

cesitamos encontrar variedades que puedan proporcionar tolerancia a los diversos niveles de estrés e identificar los posibles mecanismos de tolerancia que estas variedades puedan aportar. Durante los últimos años, en la Misión Biológica (CSIC) evaluamos colecciones de variedades de maíz locales y exóticas para encontrar fuentes y mecanismos de tolerancia a la sequía.

En primer lugar, evaluamos una colección de variedades de nuestra zona climática en condiciones simuladas de sequía utilizando un polímero llamado polietilenglicol 6000 (PEG6000) que impide la captación de agua por las raíces. Pudimos constatar que hay variación en la respuesta de las diversas variedades frente a esta dentro de los rangos de sequía normales para nuestras condiciones, pero ninguna de las variedades evaluadas mostraba una capacidad destacable en la eficiencia del uso del agua (medida como la relación entre la tasa fotosintética y la conductancia estomática) a medida que progresaba el tratamiento de sequía (figura 2). Observamos que las variedades responden mejorando su eficiencia en el uso del agua cuando comienzan a experimentar la sequía, pero, en general, tienen reducciones posteriores de la eficiencia a medida que esta progresa, experimentando altibajos según las condiciones ambientales de cada día.

En un segundo estudio, evaluamos la respuesta a la sequía de una colección de variedades de maíz procedentes de los oasis del desierto del Sáhara argelino, tanto en laboratorio como en campo, en Argel y en terrenos del INORDE en Xinzo de Limia (figura 3). Estas variedades fueron seleccionadas por los agricultores para ser capaces de producir maíz en las condiciones extremas del desierto, por lo que esperábamos que desarrollaran mecanismos de adaptación a temperaturas extremas y a la sequía. De hecho, observamos que algunas de estas variedades destacaban por su valor agronómico en condiciones de sequía en relación con su comportamiento en condiciones óptimas de riego. En algunos casos la tolerancia era particularmente importante en germinación; en otros,

Figura 2. Eficiencia en el uso del agua (tasa fotosintética/conductancia estomática, medidas con el equipo que se muestra en la fotografía) de 14 variedades de maíz durante 4 días de tratamiento de sequía simulada en invernadero



en desarrollo radicular, y en otros, en la eficiencia del uso del agua. Aunque el rendimiento de estas variedades es bajo de acuerdo con nuestras expectativas, estas variedades del desierto pueden aportar genes de tolerancia a la sequía que podremos utilizar en sucesivos programas de mejora.

En estas dos primeras fases, constatamos que hay variabilidad dentro del maíz de nuestro entorno geográfico mediterráneo para la tolerancia a la sequía y que esta tolerancia se expresa en diferentes caracteres que podríamos combinar e incorporar a nuestras variedades adaptadas y seleccionadas

por alto valor agronómico. No obstante, la biodiversidad disponible en el germoplasma de maíz de Europa y África es limitada si se compara con la existente en América, ya que el maíz se originó en Centroamérica hace unos 10.000 años y se diversificó enormemente durante milenios. Por el contrario, solo una parte de esa diversidad fue introducida en Europa y en el resto del mundo desde la conquista de América hace cinco siglos. Por tanto, cabe la posibilidad de que el maíz centroamericano desarrollase otras formas de adaptación que no estén presentes en nuestro germoplasma. ►►



Figura 3. Evaluación de variedades del Sáhara argelino en terrenos del INORDE (Xinzo de Limia) en condiciones de sequía (izquierda) y con riego (derecha), donde se aprecia el menor crecimiento de las variedades en sequía

► EXISTEN VARIEDADES DE MAÍZ TOLERANTES A LA SEQUÍA Y ESTA TOLERANCIA SE EXPRESA EN DIVERSAS CARACTERÍSTICAS A LO LARGO DEL CICLO DE CRECIMIENTO DE LA PLANTA

En consecuencia, una tercera fase consistió en la evaluación de una muestra de variedades procedentes de una zona tropical árida en Honduras. Debido a la falta de adaptación de estas variedades tropicales, no es posible evaluarlas en campo en nuestro ambiente, por lo que nos limitamos a evaluaciones *in vitro* y en invernadero en la fase juvenil mediante el uso de PEG6000 (figura 4).

En esta muestra encontramos variedades tolerantes a la sequía desde la germinación hasta el fin del estadio juvenil. Algunas de estas variedades destacaron por su tolerancia a la sequía en un solo aspecto, pero otras comprendían diversas formas de tolerancia. El desarrollo radicular juega un papel clave en la adaptación a la sequía y en esta muestra de variedades pudimos identificar tres formas de tolerancia a la sequía en planta juvenil relacionadas con el desarrollo radicular:

1. Mantener el desarrollo radicular conjunto.
2. Mantener el número y la masa de raíces secundarias a expensas de la principal.
3. Mantener la longitud de la raíz principal a expensas de las secundarias.

En conjunto, estos resultados indican que existen variedades de maíz tolerantes a la sequía y que esta tolerancia se expresa en diversas características a lo largo del ciclo de crecimiento de la planta. Los mecanismos de tolerancia a la sequía que identificamos podrían incorporarse a variedades mejoradas que pudieran combinarlos con los caracteres de valor agronómico y de calidad. Con todo, para optimizar este proceso, es preciso estudiar la base genética y fisiológica que los sustenta. Precisamente, ya iniciamos tanto la obtención de líneas a partir del material



Figura 4. Evaluación de variedades en condiciones de sequía simulada en invernadero



Figura 5. Evaluación de líneas recombinantes en condiciones simuladas de sequía en una cámara de cultivo

tolerante a la sequía como el estudio de su regulación genética. El primer paso de esta nueva fase consiste en la evaluación de líneas que presentan diversas combinaciones génicas para identificar los genes que pueden estar asociados a la respuesta a la sequía (figura 5).

Una vez concluidas estas fases iniciales de estudio de la diversidad y de la base genética de la tolerancia a la sequía en maíz, continuaremos con la obtención de variedades con mayor tolerancia a la sequía, así como con el estudio de los mecanismos genéticos y fisiológicos que la explican. ■