

# Impacto del cambio climático sobre la agricultura andaluza: Maíz

---

*Gabaldón-Leal C, Santos C, Porras R, Lorite IJ*

## Resumen

Los efectos del cambio climático sobre el cultivo del maíz han sido ampliamente estudiados a nivel europeo y mundial debido a su importancia económica y social. En Andalucía, aunque su cultivo es relativamente bajo en comparación con otros cultivos, es interesante su estudio al ser un cereal con altos requerimientos de riego y productividad baja, generando serias dudas sobre su sostenibilidad en el medio y largo plazo. Así, el maíz se ha mostrado muy sensible tanto al estrés hídrico como térmico, factores que hacen a este cultivo especialmente vulnerable al impacto del cambio climático. Los estudios realizados por IFAPA muestran que los aumentos de temperatura previstos con el cambio climático acortarán su ciclo, limitando el tiempo de llenado del grano y por tanto su producción final. Por otro lado, el efecto de eventos extremos de temperatura durante etapas sensibles como floración generará efectos muy negativos sobre la producción final ya que se verá afectada la viabilidad del polen y la sincronía entre la aparición de las flores femeninas y masculinas. A pesar de estos impactos, la reducción de cosecha estimada para el periodo 2021-2050 no es especialmente alta, rondando el 1 % en el Valle del Guadalquivir, y alcanzando caídas en torno al 5% en zonas de la provincia de Granada, siendo mayores para el periodo 2071-2100, llegando al 7 y 20%, respectivamente.

Las medidas de adaptación del cultivo del maíz se centran en el adelanto en la fecha de siembra y selección de nuevas variedades con cambios relativos a la duración y la tasa de llenado de grano. Así, adelantos de 30 días en la fecha de siembra logran reducir significativamente el impacto de los eventos extremos en floración, mitigando casi en su totalidad los impactos negativos del cambio climático sobre el maíz y consiguiendo una reducción significativa de las necesidades de riego. Otras medidas de adaptación se centrarían en la mejora de la gestión del riego e incluso en la sustitución de este cultivo por otros con ciclo invernal, con la consiguiente reducción en las necesidades de riego.

## El cultivo del maíz en Andalucía en la actualidad

La superficie de maíz para grano cultivada en Andalucía en 2017, según datos del Anuario de Estadística Agraria del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, fue de aproximadamente 17700 hectáreas, representando el 5.4% del total

nacional. La práctica totalidad de esta superficie (99%) es cultivada en regadío, con una dotación media de aproximadamente 5.000 m<sup>3</sup>/ha.

La superficie cultivada con maíz en Andalucía ha descendido significativamente desde el año 2012, llegando a una caída del 62%. Este descenso se ha debido fundamentalmente a la baja rentabilidad de este cultivo en regadío, propiciada por el fuerte incremento de los costes energéticos ocurridos en los últimos años. Así, el maíz está siendo sustituido por cultivos hortícolas, cereales de invierno y olivar en intensivo, todos ellos cultivos con menores necesidades hídricas.

En términos de producción, los datos publicados en el Anuario de Estadística 2017 muestran una producción total de 192.000 toneladas de grano, que supone un 5,1 % del total nacional, con una producción media por hectárea de 11.900 kg.

### ¿Cuáles son los factores ambientales que influyen en la producción de maíz en Andalucía?

Las condiciones climatológicas afectan de forma decisiva al cultivo del maíz en diferentes aspectos. Así, los principales factores que afectan a la producción de maíz en Andalucía se resumen en estas cuatro categorías:

a. [La fenología del cultivo](#)

La fenología, es decir la sucesión de las diferentes etapas del cultivo, está estrechamente relacionada con las temperaturas. Así un aumento o descenso en las temperaturas puede producir un acortamiento o alargamiento del ciclo, modificando el momento en que ocurren las diferentes fases fenológicas del cultivo, tales como floración. El estudio de la fenología es esencial para conocer el impacto de los eventos extremos como sequías u olas de calor sobre el cultivo, puesto que la fase fenológica en la que ocurren estos eventos condiciona el impacto final sobre la producción.

b. [La transpiración del cultivo del maíz y el estrés hídrico](#)

La producción de maíz está directamente relacionada con la transpiración total de la planta durante su ciclo de cultivo. Cuando el aporte hídrico no es el suficiente, se produce estrés hídrico. El estrés hídrico provoca el cierre de los estomas de la planta, lo cual limita la transpiración de esta, y produce pérdidas en la cosecha e incrementos de su temperatura. Además, se ha comprobado que la ocurrencia de estrés hídrico durante la floración y el llenado del grano provoca pérdidas adicionales de producción. Estos factores hacen que el cultivo del maíz en Andalucía sea casi en su totalidad en regadío.

c. [Eventos de estrés térmico](#)

Eventos de temperatura elevada durante la floración y el llenado del grano pueden generar un impacto muy negativo sobre la producción de maíz (Figura 1), ya que ambas fases fenológicas del cultivo son especialmente sensibles a episodios de temperaturas extremas. Además, dado que usualmente los episodios de sequía (estrés hídrico) y de olas de calor (estrés térmico) coinciden, los efectos sobre la producción pueden ser especialmente negativos. Esto ocurre debido a que los mecanismos de la planta para evitar el estrés hídrico

(cierres de estomas) son contraproducentes para evitar los daños por estrés térmico puesto que pueden generar un incremento adicional de la temperatura de la planta.



**Figura 1.** Efectos del estrés térmico en la mazorca

d. [Concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera](#)

La concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es de gran importancia para el desarrollo de los cultivos y las necesidades de riego, al afectar a la eficiencia en el uso del agua en el proceso de intercambio gaseoso entre la planta y la atmósfera. Si bien hay diferencias entre plantas C3 y C4, incluso en estas últimas se detecta un efecto positivo del incremento de CO<sub>2</sub> atmosférico. Así, para el cultivo del maíz, una planta C4, se identifican incrementos en la cosecha y menores requerimientos de agua.

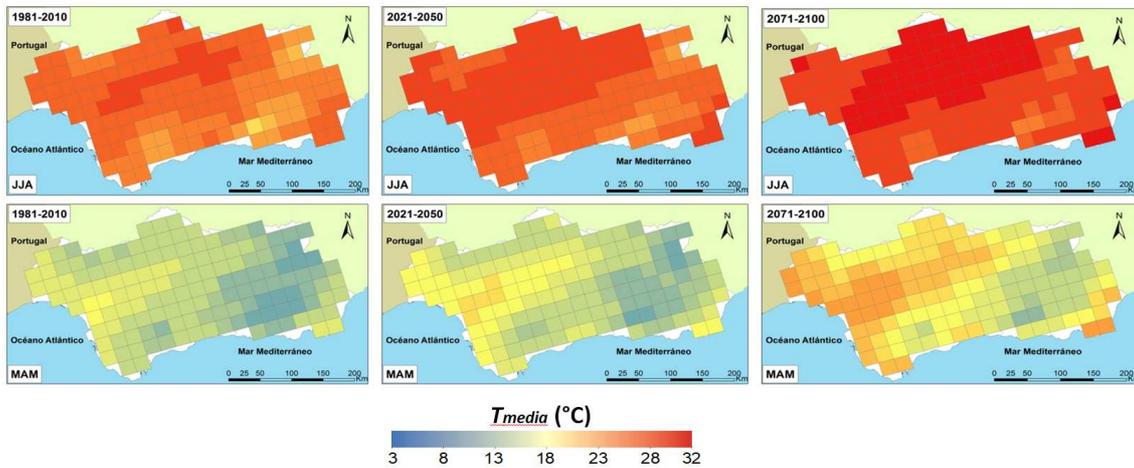
[¿Cuáles son los pronósticos climáticos futuros para las zonas maiceras andaluzas?](#)

Las proyecciones de clima futuro se realizan a través de modelos climáticos basados en escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. Los modelos climáticos que se utilizan para una escala regional como es Andalucía son los Modelos Regionales de Clima. Para reducir la incertidumbre en las estimaciones asociadas a las proyecciones climáticas, se evita emplear un único modelo climático, recomendándose emplear un número elevado de ellos. Empleando este grupo de modelos, las proyecciones se proporcionan para tres periodos, el de referencia o control (1981-2010), el futuro cercano (2021-2050) y el futuro lejano (2071-2100). Estas proyecciones muestran los siguientes resultados para la región andaluza.

a. [Incremento de la temperatura](#)

Para los periodos futuros (2021-2050 y 2071-2100) todos los modelos proyectan un aumento en la temperatura media comparado con el periodo referencia (1981-2010). Para el periodo crítico del maíz, primavera y verano, los incrementos de la temperatura oscilan entre los 1 a 3.5°C, y los 1.5 y 4.3°C respectivamente. Dentro de la zona maicera en Andalucía, las temperaturas más altas se registrarán en el Valle del Guadalquivir, mientras que las más

suaves, dentro del incremento general de temperatura, se registrarán en la provincia de Granada (Figura 2).



**Figura 2.** Temperaturas medias para los tres periodos de simulación (referencia 1981-2010, futuro cercano 2021-2050 y futuro lejano 2071-2100), para los meses de junio, julio y agosto (Figuras superiores) y los meses de marzo, abril y mayo (Figuras inferiores).

b. [Aumento eventos extremos de temperatura](#)

Los modelos climáticos muestran un incremento en el número e intensidad de eventos extremos de temperatura durante los meses de primavera y verano. Así, según estos modelos dentro de la zona de cultivo del maíz en Andalucía, el Valle del Guadalquivir será la zona más afectada.

c. [Disminución de precipitaciones](#)

Los modelos climáticos proyectan una disminución de precipitaciones en Andalucía, si bien las proyecciones futuras sobre precipitación tienen un nivel mayor de incertidumbre que las realizadas para la temperatura. Así, los modelos muestran un descenso en las precipitaciones para los meses de primavera, especialmente acusado en el Valle del Guadalquivir. Igualmente se prevé un aumento en la intensidad de los eventos extremos tanto de sequía como de lluvias torrenciales, ambos perjudiciales tanto para los cultivos como para el suelo y su posible pérdida de nutrientes.

d. [Incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico](#)

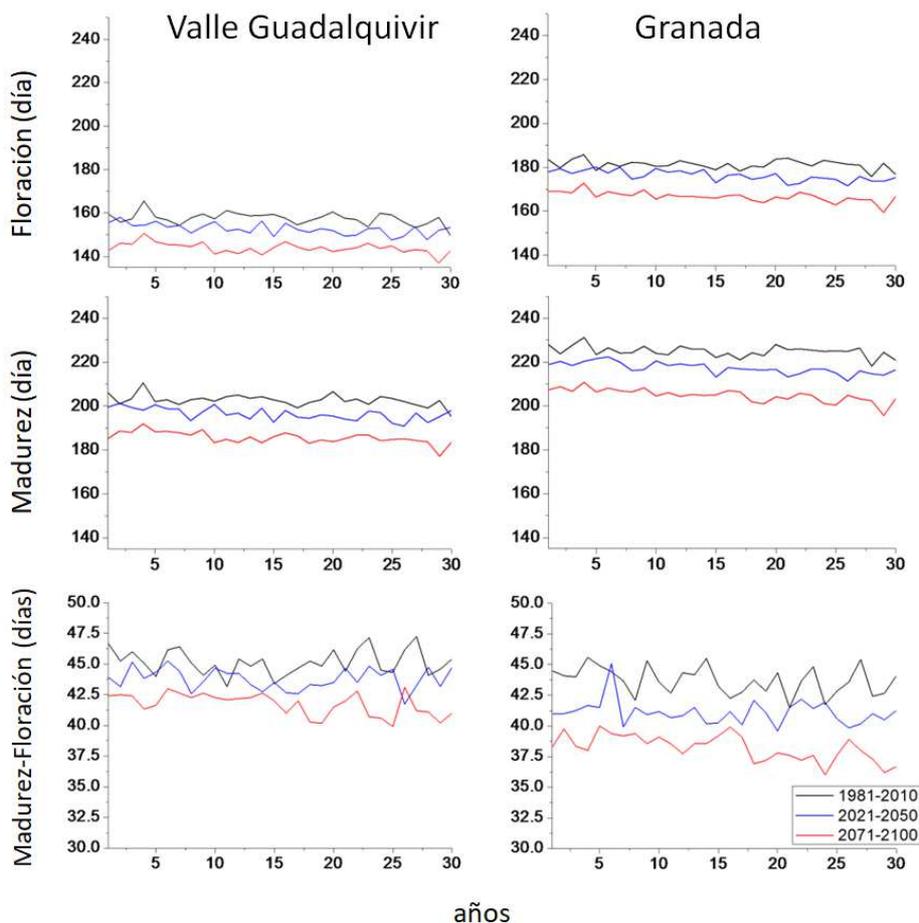
El incremento de CO<sub>2</sub> atmosférico, principal gas de efecto invernadero, continúa sufriendo un aumento continuo, alcanzando en la actualidad alrededor de 400 ppm, siendo un 145% mayor a los niveles preindustriales (antes de 1750). El previsto incremento en la temperatura está ligado al incremento de los gases de efecto invernadero dado que los modelos climáticos están basados en las previsiones de emisiones de gases futuras. Estas emisiones futuras son representadas por diferentes escenarios de emisión que describen las fuerzas motrices de las futuras emisiones, como pueden ser el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico, el cambio tecnológico o las medidas de mitigación adoptadas.

## ¿Cuáles son los impactos previsibles del cambio climático sobre el maíz en Andalucía?

A continuación, se evalúan algunos de los impactos del cambio climático sobre el cultivo del maíz en Andalucía, resultado de trabajos de experimentación y modelización del cultivo bajo condiciones climáticas actuales y futuras, teniendo en cuenta el incremento de CO<sub>2</sub> y unas condiciones óptimas de manejo del cultivo (implicando una gestión óptima del riego y un control adecuado de plagas y enfermedades).

### a. Adelanto en la fenología del cultivo

El incremento de temperaturas provocará un adelanto en las fechas de inicio de cada una de las etapas fenológicas del cultivo. Así, manteniendo constante la fecha de siembra, las etapas de floración y madurez experimentarán un adelanto, especialmente significativo para el periodo de futuro lejano (2071-2100). Así, para este periodo el adelanto será de alrededor de 17 días para la zona del valle del Guadalquivir, y de 20 días para comarcas situadas en la provincia de Granada (Figura 3).

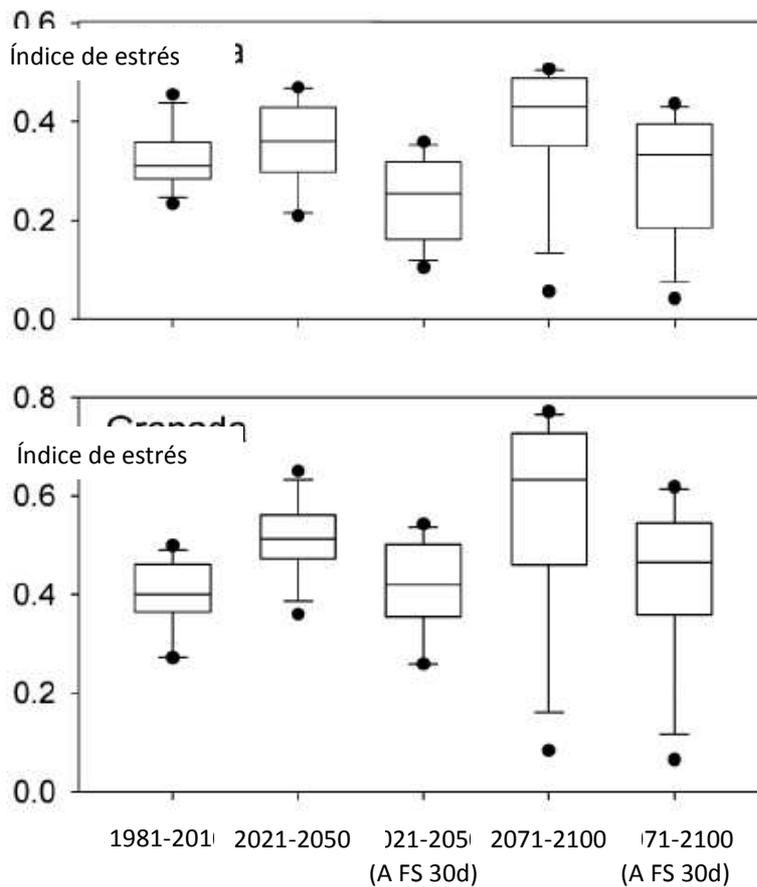


**Figura 3.** Fechas de floración (a), madurez (b) y duración en días entre madurez y floración (c) para los tres periodos de simulación (referencia 1981-2010, futuro cercano 2021-2050 y futuro lejano 2071-2100).

b. Daños por asincronía y temperaturas extremas durante floración

El incremento de temperatura durante la fase de floración puede provocar una asincronía entre la aparición del penacho (flor masculina) y la mazorca (flor femenina), provocando fallos en la fecundación de los granos y, por tanto, una disminución de la producción. Además, las temperaturas extremas en el momento de floración también generan daños en la viabilidad del polen, provocando un menor poder fertilizante y con ello un menor número de granos fertilizados.

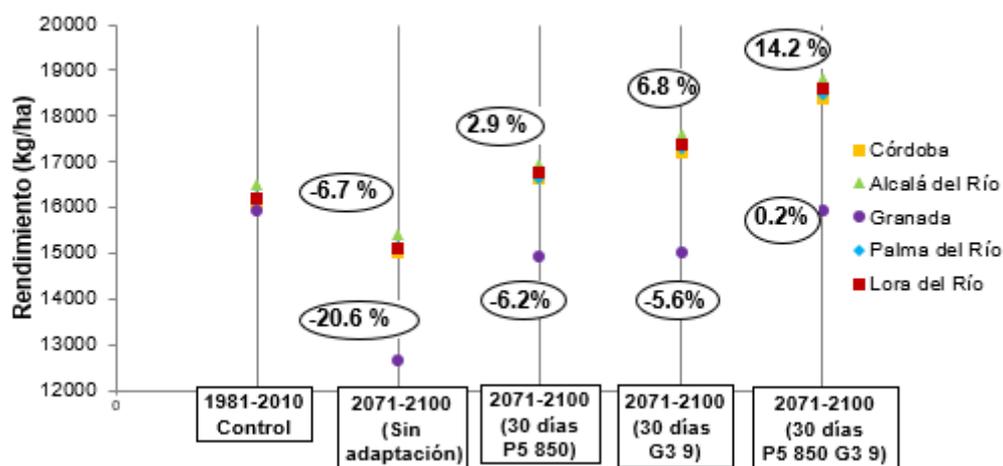
Los daños por eventos extremos de temperatura están relacionados con la ocurrencia de estos en estados fenológicos sensibles del cultivo del maíz, como son la floración y el llenado del grano, considerando una temperatura crítica de 35°C (a partir de la cual comienzan a producirse daños) y una temperatura límite de 40°C (cuando la producción se reduce a cero). Bajo estos supuestos se observa un aumento de alrededor de un 40% en el daño causado por temperaturas altas en el futuro, siendo más acusado cuando se analiza el periodo futuro lejano (Figura 4).



**Figura 4.** Índice de daños asociados a eventos de estrés térmico para el maíz en dos localidades representativas de Andalucía

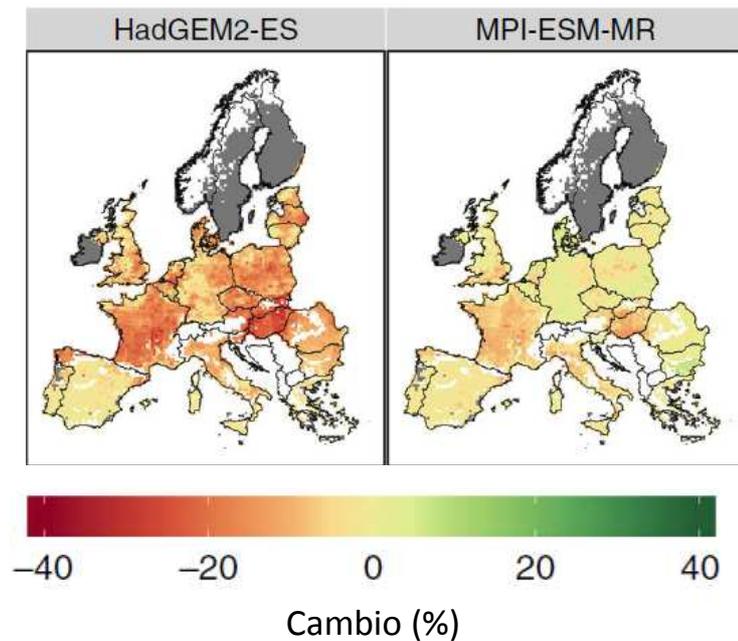
### c. Disminución de la producción

Todos los factores citados anteriormente dan como resultado un ligero descenso en la producción de maíz de alrededor del 1.2% para el Valle del Guadalquivir para el futuro cercano (2021-2050), mientras que en Granada los descensos serán de aproximadamente el 5%. El descenso será más acusado para el periodo del futuro lejano (2071-2100), con unas caídas de alrededor del 6.5% para el Valle del Guadalquivir y del 20% para la zona de Granada (Figura 5).



**Figura 5.** Producción de maíz en el periodo control (Columna 1), en el futuro lejano sin ninguna medida de adaptación (Columna 2), con adelanto en la fecha de siembra (30 días) y ampliando el tiempo de llenado de grano (Columna 3), con adelanto en la fecha de siembra (30 días) e incrementando la tasa de llenado del grano (Columna 4), y con adelanto en la fecha de siembra y combinando los dos factores genéticos anteriores (Columna 5).

Descensos similares fueron identificados para el resto de la Península Ibérica y Europa (Figura 6). De hecho, como se puede comprobar en la Figura 6, gracias a que el cultivo del maíz en la península ibérica es en regadío, el impacto del cambio climático sobre la producción es menor al pronosticado para el resto de Europa, generalmente cultivado en secano.



**Figura 6.** Cambios en la producción de maíz para Europa considerando dos modelos climáticos diferentes

d. [Disminución de requerimientos de riego y aumento en la productividad del agua](#)

Se prevé una disminución de hasta el 25% en las necesidades de agua del maíz, y un aumento en la productividad del agua de riego de hasta el 22%. Esto es debido al adelanto en la fecha de madurez, evitando así los meses más cálidos, a la reducción de la longitud del ciclo de cultivo y a la mejora en la eficiencia en el uso del agua asociada al cierre estomático causado por el aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Figura 7).

La limitada reducción en las producciones comentada anteriormente, junto con la significativa caída en las necesidades de riego propiciará un importante incremento de la productividad del agua.



**Figura 7.** Cosecha de maíz en fresco de ciclo 300 en invernadero con dos concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico (450 y 700 ppm).

## ¿Cómo podemos adaptar las zonas maiceras andaluzas al cambio climático?

El cultivo de maíz tiene el inconveniente de ser un cultivo altamente dependiente del riego, por lo que una disminución en la disponibilidad de agua para el regadío hace muy vulnerable a este cultivo en Andalucía. Aun así, existen adaptaciones que pueden limitar los impactos del cambio climático sobre este cultivo, y se exponen a continuación:

### a. Adelanto en la fecha de siembra

Gracias a la experimentación y modelización llevada a cabo desde IFAPA (Figura 8), se ha determinado que un adelanto de la fecha de siembra utilizando variedades actuales reducirá el impacto del cambio climático sobre el cultivo de maíz. Así, un adelanto en la fecha de siembra de 30 días permitirá la recuperación de la producción del periodo control en el periodo de futuro cercano (2021-2050), pero no llega a recuperar la producción en el futuro lejano (2071-2100). Para el periodo de futuro lejano la opción recomendada sería realizar la siembra 45 días antes de la actual, pero ni siquiera así se consigue recuperar la producción del periodo control: en la zona de Granada la producción futura sería en torno a un 9-11% inferior a la del período control (1981-2010), mientras que en zona del Valle del Guadalquivir, la producción sería aproximadamente un 3% inferior a la del periodo control.



**Figura 8.** Campo experimental con diferentes fechas de siembra en la finca IFAPA “Alameda del Obispo” en Córdoba.

### b. Elección apropiada de variedades

La selección de variedades con una mayor duración de la fase de llenado de grano sería suficiente para recuperar la producción correspondiente al periodo control durante el periodo de futuro cercano. Sin embargo, para el período futuro lejano, esta medida lograría que la producción se recuperase en el Valle del Guadalquivir, pero en la comarca de Granada las producciones seguirían siendo inferiores.

En estos estudios, el empleo de variedades con tasas de llenado de grano superiores proporcionó resultados similares a los obtenidos con una mayor duración de la fase de llenado de grado. De igual modo, una combinación de ambos cambios aumentó la producción en hasta un 10% en el Valle del Guadalquivir, pero en Granada las producciones seguirían estando un 10% por debajo a las obtenidas en el periodo control.

#### c. [Integración de diferentes medidas de adaptación](#)

Combinando estrategias de adelanto en la fecha de siembra (30 días antes) con cambios en la duración y tasa de llenado anteriormente descritas, se lograría recuperar la producción del periodo control (Figura 5). Así, la integración de las diferentes medidas lograría incrementar un 14% la producción en el Valle del Guadalquivir, e igualar las producciones en la comarca de Granada (Figura 5).

#### d. [Mejora de la gestión y eficiencia del riego](#)

Como se ha comentado anteriormente, el cultivo del maíz en Andalucía es totalmente dependiente del riego, y por tanto, la mejora en la gestión y eficiencia de este es de gran importancia, constituyéndose como una medida de adaptación al cambio climático prioritaria. La mejora en la gestión del riego se logrará por medio de una mejora de la eficiencia de los sistemas de conducción y aplicación en parcela, reduciendo al máximo las pérdidas de agua por roturas en las tuberías/canales de distribución y mejorando la uniformidad en la aplicación del riego en parcela promoviendo el riego por goteo frente al riego por superficie. Igualmente, el seguimiento de la gestión del riego en parcela por medio de contadores individuales permitirá identificar prácticas de riego incorrectas e impulsar un asesoramiento específico que contribuirá a reducir el consumo de agua en el riego del maíz, permitiendo adaptarse a nuevos escenarios con menor disponibilidad de agua para riego. Finalmente, el empleo de técnicas de teledetección y modelos de balance de energía permiten conocer las necesidades de riego de los cultivos con un alto nivel de precisión, siendo este conocimiento la base para la realización de una gestión eficiente de los recursos hídricos disponibles.

#### e. [Cambio a cultivos de otoño/invierno](#)

Los altos requerimientos de riego del cultivo del maíz en Andalucía en un contexto de menor disponibilidad de agua para la agricultura, unido a los altos costes asociados al riego, hacen que la rentabilidad del cultivo del maíz pueda verse seriamente amenazada. Además, como se ha visto con anterioridad, estas limitaciones pueden no ser resueltas con medidas de adaptación como el adelanto en la fecha de siembra. En estas circunstancias, la sustitución del cultivo del maíz por cultivos de otoño/invierno como el trigo puede constituir una eficaz medida de adaptación al cambio climático. De hecho, estos cambios ya están ocurriendo y la superficie de maíz en Andalucía se ha visto significativamente reducida en los últimos años.

#### f. [Promoción de los servicios de asesoramiento empleando nuevas tecnologías](#)

La integración de diferentes medidas de adaptación incrementa la complejidad de la labor diaria de los agricultores andaluces. Las estrategias de riego deficitario, nuevas prácticas agrícolas como la agricultura de conservación y siembras tempranas, o el empleo de nuevas variedades requieren de una formación específica y dinámica para el sector agrario. De esta manera, sistemas de información geográfica, sistemas de apoyo a la toma de decisiones, redes de estaciones meteorológicas, páginas web y aplicaciones móviles con información en tiempo real, son ya algunas de las herramientas empleadas para mejorar la gestión de los cultivos en

las zonas agrarias andaluzas, viéndose su desarrollo reforzado por la necesidad de soluciones ante los efectos del cambio climático.

### ¿Qué avances contribuirán a adaptar las zonas maiceras andaluzas al cambio climático?

Para poder evaluar correctamente los impactos y promover medidas de adaptación eficaces al cambio climático para el cultivo del maíz en Andalucía, se deben tener en cuenta nuevas metodologías que mejorarán de manera notable la sostenibilidad de estos sistemas en el futuro. Aquí se describen algunas de ellas:

#### a. Empleo de sensores

En un contexto de cambio climático, con la ocurrencia de eventos climáticos extremos, la correcta caracterización en tiempo real de los sistemas agrarios es de vital importancia. Esto se consigue monitorizando el sistema suelo-planta-atmósfera por medio de tecnologías que realicen medidas precisas, con una fácil y rápida obtención de la información. Así, por ejemplo, la monitorización de la planta en todo su perfil (Figura 9) es esencial al estudiar situaciones de estrés térmico para poner en marcha sistemas de defensa que reduzcan el impacto de tales eventos (por ejemplo, realizando un riego). Esta información debería ser actualizada muy a menudo para que sea realmente útil al agricultor. Sin embargo, esto no ha sido posible con la serie de sensores empleados hasta hace poco en la agricultura andaluza.



...n térmica del mismo

Recientemente, nuevas tecnologías como la desarrollada desde la plataforma FIWARE está cambiando y resolviendo muchas de las limitaciones existentes. Así, con esta tecnología todos los datos obtenidos por los sensores pueden ser analizados en plataformas de acceso libre, en tiempo real y con unos costes muy reducidos, pudiendo utilizarse para el estudio de eventos extremos de una manera más eficiente y rápida.

#### b. Mejora varietal

Como se ha visto en este trabajo, la mejora de variedades de maíz tiene una gran importancia a la hora de limitar los impactos del cambio climático, buscando variedades más

resistentes tanto al estrés térmico como hídrico. Igualmente, la búsqueda de variedades con ciclos de llenado más largos o más eficientes debe ser una línea de trabajo prioritaria.

c. [Variabilidad genotípica](#)

Cada año se estudian e incorporan al mercado nuevas variedades de maíz, gracias a los esfuerzos de los programas de mejora continua de iniciativa pública y privada. Este aumento de la variabilidad genotípica genera una gran biodiversidad cultivada, la cual tiene un efecto muy positivo a la hora de luchar contra los efectos del cambio climático. Así, los efectos negativos de una plaga o enfermedad, acrecentada por las nuevas condiciones climatológicas, pueden verse frenados por la variedad de genotipos presentes en el campo andaluz. Es por ello por lo que este tipo de actuaciones tendrán gran relevancia en el futuro y deberán ser potenciadas.

## Conclusiones generales

El cultivo de maíz es especialmente vulnerable al cambio climático debido a su dependencia del riego y su alta sensibilidad al estrés hídrico y térmico durante las fases de floración y llenado de grano. Además, sus altos requerimientos de riego y su baja rentabilidad contribuyen a incrementar las dudas sobre la sostenibilidad de estos sistemas en Andalucía. Es por ello que, en un contexto de recursos hídricos limitados y baja rentabilidad de la agricultura, la búsqueda de medidas que reduzcan el consumo e incrementen la productividad es imprescindible. Así, implantando medidas de adaptación relacionadas con el adelanto de la fecha de siembra o con el empleo de variedades que incrementen la duración del periodo de llenado de grano y/o la tasa de llenado de este, se consiguen, en la mayoría de los sistemas maiceros andaluces, revertir los efectos negativos del cambio climático.

Sin embargo, a pesar del efecto positivo de las medidas de adaptación expuestas en este trabajo, los sistemas de maíz en Andalucía seguirán siendo muy vulnerables al efecto del cambio climático y otros factores relacionados con la competencia por los recursos hídricos y la baja rentabilidad de estos sistemas. Es por lo que la consideración de cambios en el patrón de cultivos y la optimización de las estrategias de reparto de agua a nivel de parcela, zona regable y cuenca serán imprescindibles en el medio y largo plazo para asegurar la sostenibilidad de los sistemas de regadío en Andalucía.