

# El Cultivo de Maíz en Andalucía bajo el Impacto del Cambio Climático



1. Introducción
2. Factores ambientales
3. Proyecciones climáticas futuras
4. Impactos del cambio climático
5. Adaptaciones
6. Avances
7. Conclusiones generales



Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera  
**CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA,  
PESCA Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**Unión Europea**

Fondo Europeo  
de Desarrollo Regional



El cultivo de maíz en Andalucía bajo el impacto del cambio climático/[Gabaldón-Leal C, Santos C, Porrás R, Lorite IJ] - Córdoba. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2019. 1-21 p. - (Área de Agricultura y Medio Ambiente).  
Cambio climático- Adaptación - Maíz



Este documento está bajo Licencia Creative Commons.  
Reconocimiento-No comercial-Sin obra derivada.

Impacto del cambio climático sobre el maíz en Andalucía

© Edita JUNTA DE ANDALUCÍA. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.

Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible.

Córdoba, Marzo 2018.

**Autoría:**

Clara Gabaldón-Leal <sup>1</sup>

Cristina Santos Rufo <sup>1</sup>

Juan Rafael Porrás Pérez <sup>1</sup>

Ignacio J. Lorite Torres <sup>1</sup>

<sup>1</sup> IFAPA, Centro Alameda del Obispo, Córdoba

**Agradecimientos:**

Este trabajo fue financiado por el proyecto “Assessing options for the sustainable intensification of Agriculture for integrated production of food and non-food products at different scales” (Intensificación sostenible de la Agricultura Mediterránea PP.INI.ERA201500.1) ERA74-SUSTAG-IFAPA

## 1. Introducción

---

En Andalucía, la superficie de maíz para grano es de alrededor de 17.700 ha, el 5,4% del total nacional (Anuario de Estadística Agraria del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, datos 2017). De esta superficie, el 99% está en regadío, con una dotación media de aproximadamente 5.000 m<sup>3</sup>/ha.

Los altos consumos hídricos y la baja rentabilidad de este cultivo por los altos costes energéticos son la causa del significativo descenso en la superficie cultivada desde 2012, un 62%. Así, el maíz ha sido reemplazado por otros de menos necesidades hídricas como cereales de invierno o cultivos leñosos, como el olivar o el almendro.

En términos de producción, los datos publicados en el Anuario de Estadística 2017 muestran un 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.

## 2. Factores ambientales que influyen en la producción de maíz en Andalucía

### 2.1 Fenología:

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 la floración.

Es importante saber cuando ocurren las diferentes fases fenológicas para evaluar el impacto de los eventos extremos como sequías u olas de calor, ya que estos eventos pueden tener gran repercusión en la producción final dependiendo del estado fenológico en el que se encuentre el cultivo.



Figura 1. Flor masculina maíz (penacho)

## 2. Factores ambientales que influyen en la producción de maíz en Andalucía

### 2.2 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.



Figura 2. Toma de riego por goteo

## 2. Factores ambientales que influyen en la producción de maíz en Andalucía

### 2.3 Eventos de estrés térmico:

La producción de maíz puede verse seriamente afectada por procesos de estrés térmico durante los periodos críticos de floración y llenado del grano (Fig. 3).

El estrés térmico en estas fases sensibles, unido al estrés hídrico, puede incrementar aún más las pérdidas. Así, el cierre de los estomas debido al estrés hídrico aumenta aún más la temperatura de la planta, generando un daño adicional a la misma y repercutiendo en la producción final.



Figura 3. Detalle fallo fecundación mazorca debido al estrés térmico.

## 2. Factores ambientales que influyen en la producción de maíz en Andalucía

### 2.4 Concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera:

La concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera afecta a la eficiencia en el uso del agua en el proceso de intercambio gaseoso planta-atmósfera. Si bien menor que en las plantas C3, en las plantas C4 también se detecta un efecto positivo del incremento de CO<sub>2</sub> atmosférico. Así, para el cultivo del maíz (C4), se identificaron incrementos en la cosecha y menores requerimientos de agua (Fig. 4).



Figura 4. Cultivo de maíz en invernadero con alta concentración de CO<sub>2</sub>. Izquierda: plantas maíz en primeros estadios desarrollo. Derecha: plantas maíz en floración.

## 3. Proyecciones climáticas futuras para las zonas maiceras andaluzas

### 3.1 Incremento de temperaturas:

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; Fig. 5). Para el periodo crítico del maíz, primavera y verano, los incrementos de la temperatura oscilan entre los 1-3.5°C, y 1.5-4.3°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.

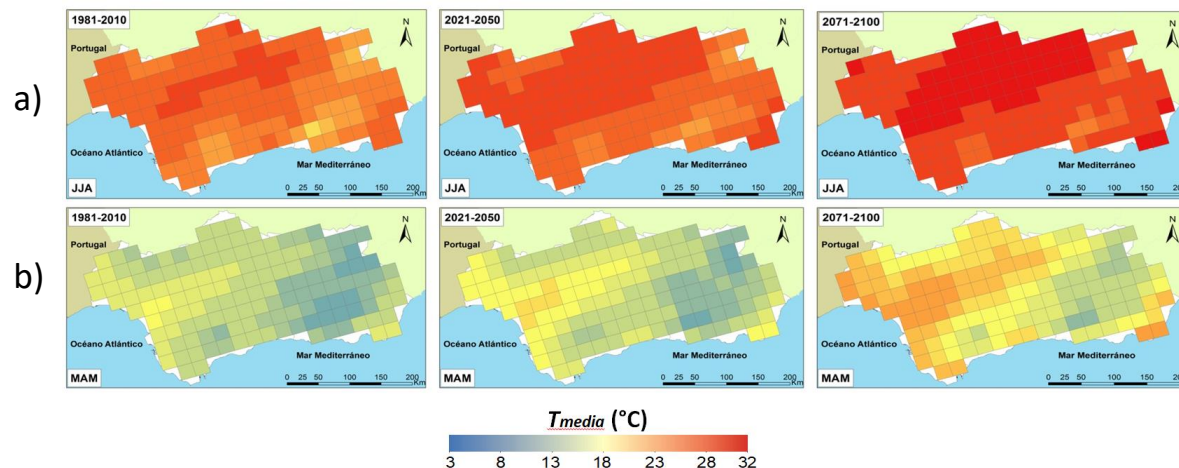


Figura 5. Temperatura media estimada por modelos climáticos. a) meses de verano (junio, julio y agosto). b) meses de primavera (marzo, abril y mayo). Izquierda: periodo control (1981-2010), centro: futuro cercano (2021-2050) y derecha: futuro lejano (2071-2100)



## 3. Proyecciones climáticas futuros para las zonas maiceras andaluzas

### 3.2 Aumento eventos extremos de temperatura

Los modelos climáticos muestran un incremento en el número e intensidad de eventos extremos de temperatura durante la 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 por estos eventos.

### 3.3 Disminución precipitaciones

Los modelos climáticos predicen 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.

## 3. Proyecciones climáticas futuros para las zonas maiceras andaluzas

### 3.4 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; Fig. 6). 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.

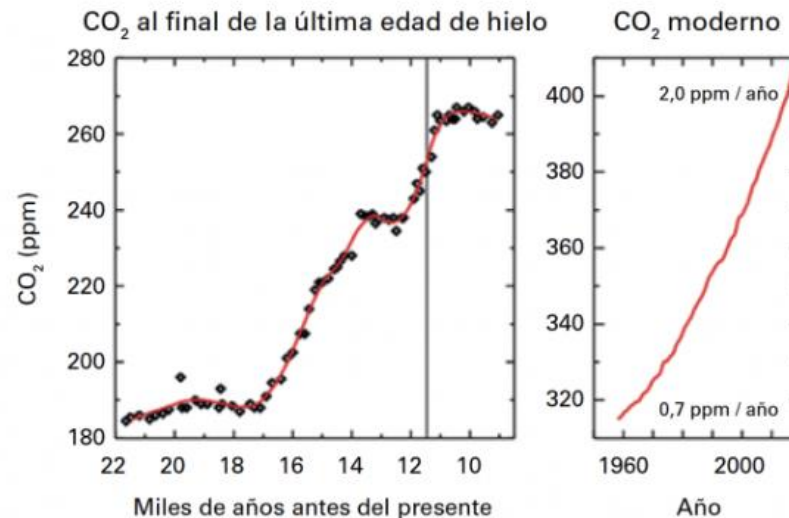


Figura 6. Concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera. Izquierda: CO<sub>2</sub> al final de la última edad de hielo.

Derecha: CO<sub>2</sub> moderno.

Fuente: Organización Meteorológica Mundial.

## 4. Impactos del cambio climático sobre el maíz en Andalucía

### 4.1 Adelanto fechas fenológicas:

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.

En el futuro lejano (2071-2100) 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 (Fig. 7).

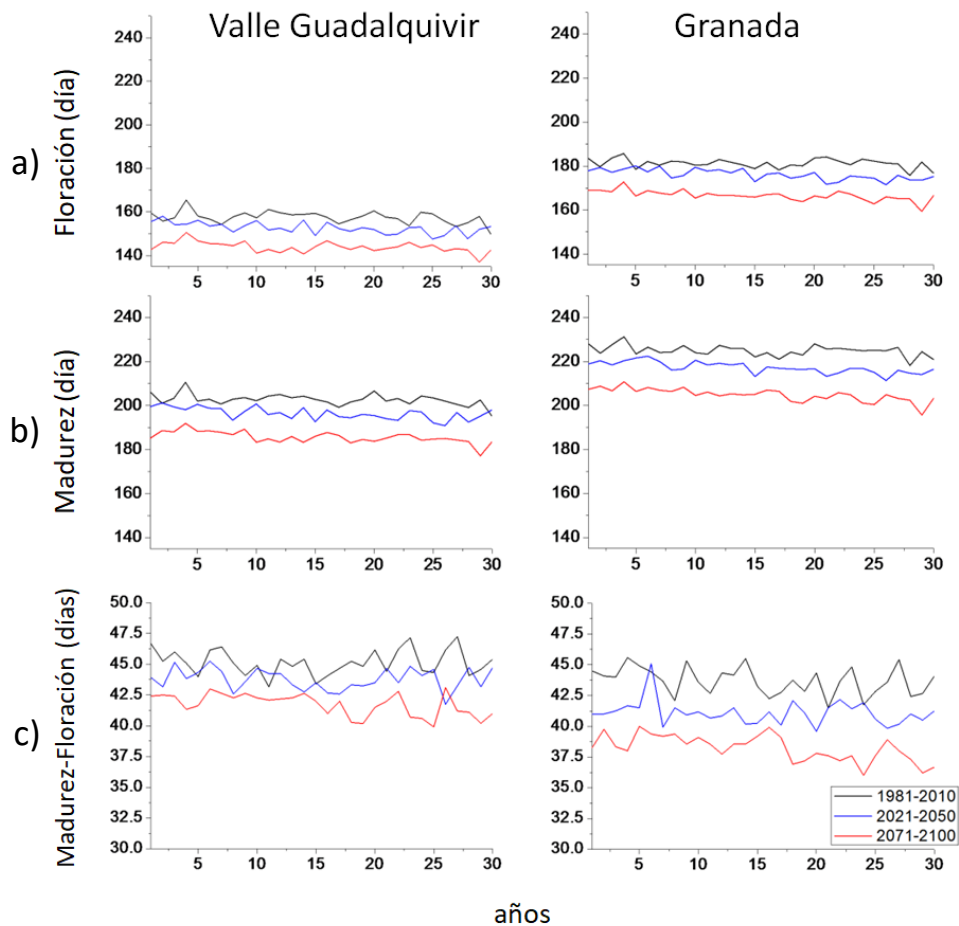


Figura 7. Fechas fenológicas para los tres periodos: control, futuro cercano y futuro lejano en el Valle del Guadalquivir (izqda.) y en Granada (dcha.). a) fecha floración, b) fecha madurez y c) días duración periodo floración a madurez

## 4. Impactos del cambio climático sobre el maíz en Andalucía

### 4.2 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) (Fig. 8), 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.



Figura 8. Flor masculina (penacho) a la izquierda, y flor femenina (mazorca) a la derecha

## 4. Impactos del cambio climático sobre el maíz en Andalucía

### 4.3 Daños por asincronía y temperaturas extremas durante floración

El índice de daño de producción por temperaturas altas en el futuro muestra un aumento de alrededor de un 40% (Fig. 9), siendo más acusado cuando se analiza el periodo futuro lejano. El calculo se basa en las temperaturas críticas y limitantes que afectan a la producción total (35 y 45°C, respectivamente) durante el período sensible a la temperatura (floración) y el índice de daño de producción es calculado a partir del rendimiento alcanzable simulado normalizado por el valor máximo para cada período y ubicación.

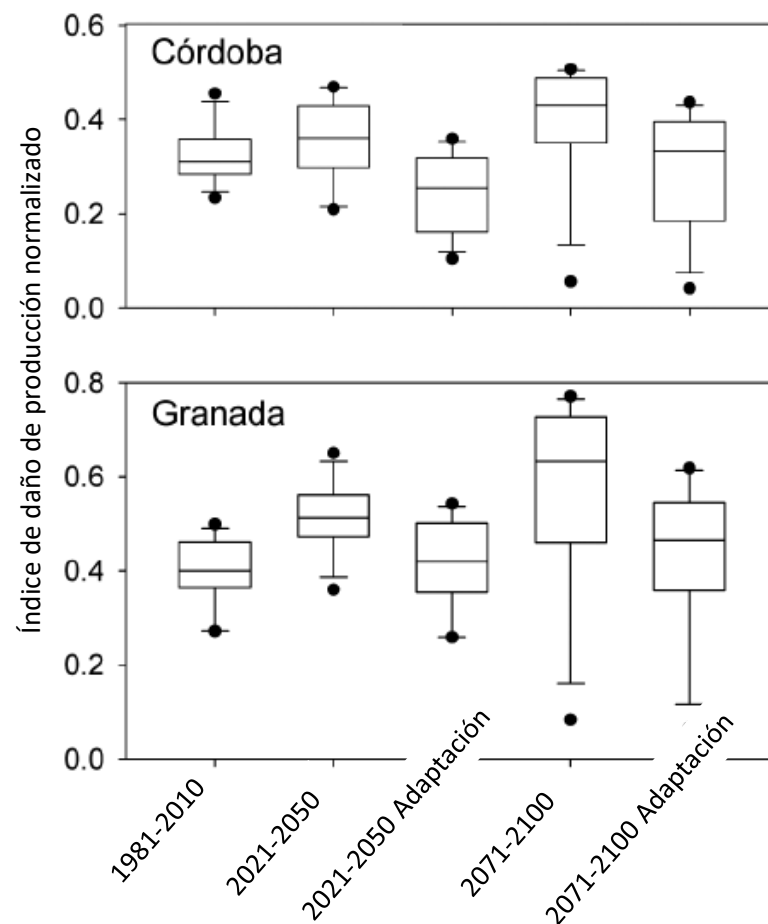


Figura 9. Daños en la producción por eventos extremos en los periodos control (1981-2010), futuro cercano (2021-2050) y futuro lejano (2071-2100), con y sin adaptación (siembra temprana y mayor tasa llenado grano). Parte inferior de la caja: primer cuartil; línea en el medio: mediana; parte superior de la caja: tercer cuartil; Líneas verticales (bigotes): máximo y mínimo; puntos: valores atípicos.

## 4. Impactos del cambio climático sobre el maíz en Andalucía

### 4.4 Impacto en la producción

Todos los factores citados anteriormente resultan en una estimación de 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 (Fig. 10).

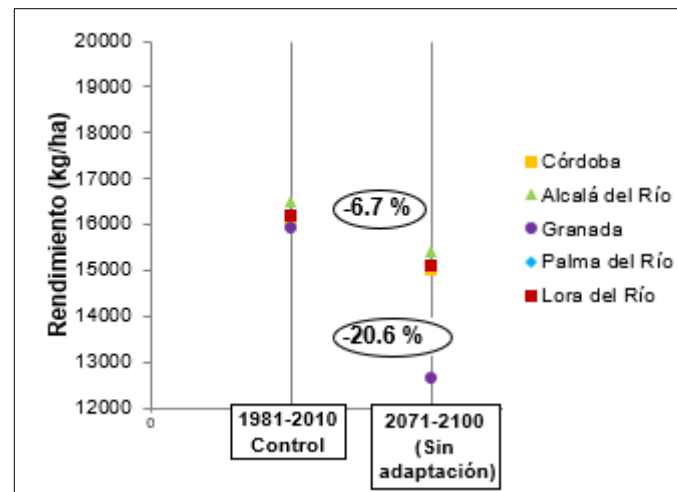


Figura 10. Rendimiento estimado en el periodo control (1981-2010) y en el futuro lejano (2071-2100) sin adaptación. En círculos el porcentaje de variación

## 4. Impactos del cambio climático sobre el maíz en Andalucía

Descensos similares fueron estimados para el resto de la Península Ibérica y Europa (Fig. 11). De hecho, como se puede comprobar, 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.

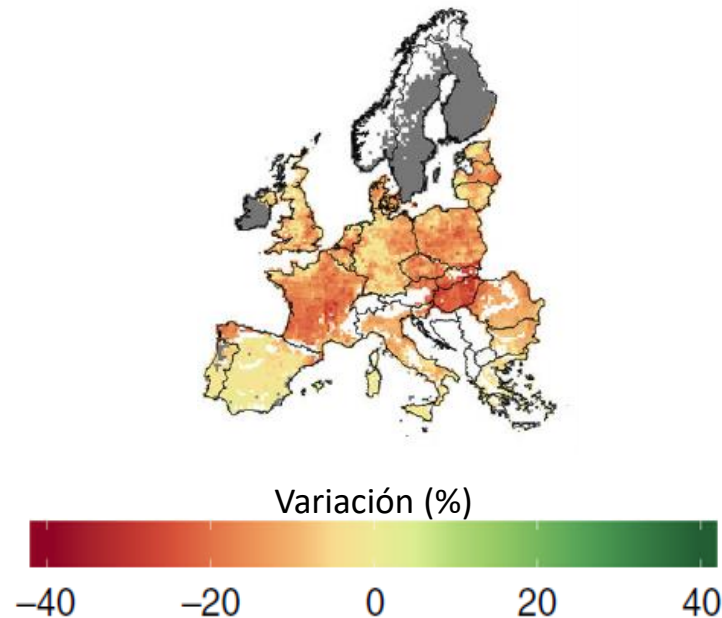


Figura 11. Variación en el rendimiento del maíz comparando el periodo (1981-2010 con el futuro (2040-2069).

## 4. Impactos del cambio climático sobre el maíz en Andalucía

### 4.5 Disminución de requerimientos de riego y aumento en la productividad del agua

Se prevé una disminución de hasta el 25% en las necesidades de riego 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 de los estomas causado por el aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Fig. 12).

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.

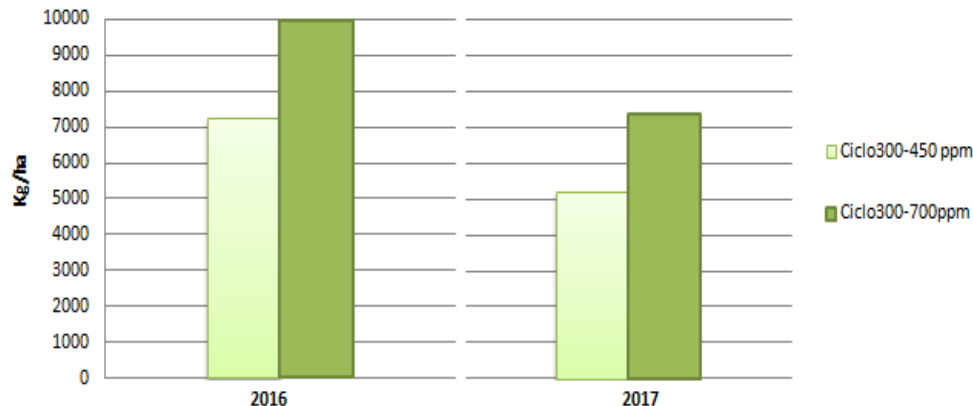


Figura 12. Efecto del aumento de CO<sub>2</sub> en la producción de maíz (ciclo FAO 300) con dos concentraciones de CO<sub>2</sub>: 450 ppm y 700 ppm para los años 2016 y 2017.

Fuente: elaboración propia con datos experimentales IFAPA Alameda del Obispo.



## 5. Adaptaciones al cambio climático sobre el maíz en Andalucía

### 5.1 Adelanto fechas de siembra y selección de cultivar

Gracias a la experimentación y modelización llevada a cabo desde IFAPA (Fig. 13), 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.



Figura 13. Ensayo de maíz realizado en el Centro IFAPA Alameda del Obispo (Córdoba) con dos fechas de siembra distintas.

## 5. Adaptaciones al cambio climático sobre el maíz en Andalucía

---

### 5.2 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.

## 5. Adaptaciones al cambio climático sobre el maíz en Andalucía

### 5.3 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 estima que se lograrían recuperar la producción del periodo control (Fig. 14). 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.

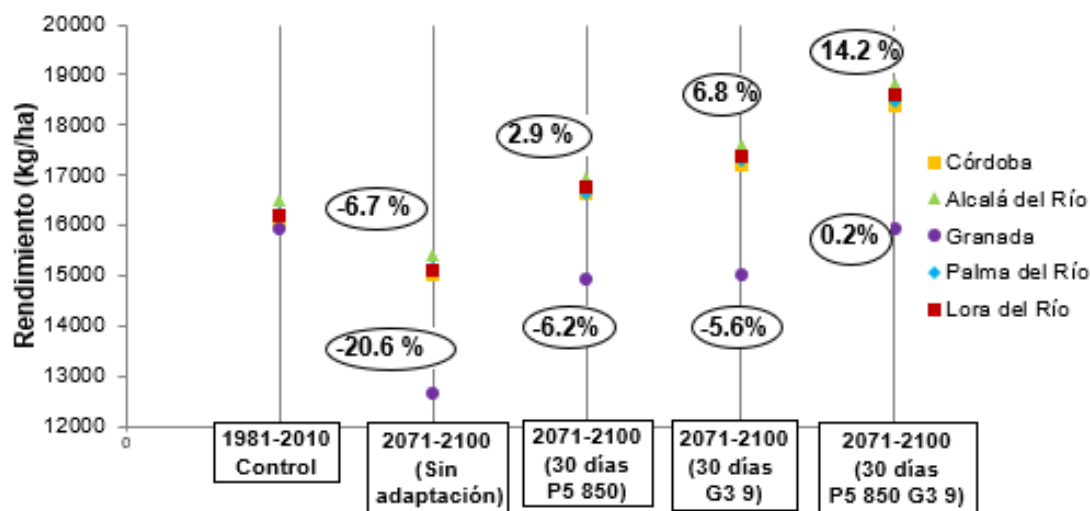


Figura 14. Rendimiento estimado en el periodo control (1981-2010) y en el futuro lejano (2071-2100) sin adaptación y con diferentes medidas de adaptación. En círculos, el porcentaje de variación respecto al periodo control. P5=850: valor del coeficiente del modelo para la duración del llenado del grano. G3=9: valor del coeficiente del modelo para la tasa de llenado del grano.

## 5. Adaptaciones al cambio climático sobre el maíz en Andalucía

### 5.4 Mejora de la gestión y eficiencia del riego:

Mejorando 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.

Seguimiento de la gestión del riego en parcela por medio de contadores individuales, permitiendo identificar prácticas de riego incorrectas, e impulsando 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.

Empleo de técnicas de teledetección y modelización que permiten conocer las necesidades de riego de los cultivos con un alto nivel de precisión.



Figura 15. Toma de riego

## 5. Adaptaciones al cambio climático sobre el maíz en Andalucía

### 5.5 Cambio a cultivos de otoño/invierno:

Los altos requerimientos de riego del cultivo del maíz 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.



Figura 16. Ensayo maíz, cultivo de verano (izquierda) y trigo, cultivo de invierno (derecha). Fuente: RAEA Maíz (2017) y Trigo (2017-2018)

## 5. Adaptaciones al cambio climático sobre el maíz en Andalucía

### 5.6 Promoción de los servicios de asesoramiento empleando nuevas tecnologías:

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.

#### Avance de Recomendaciones de Riego para Cítricos. Campaña 2018

Recomendaciones de riego bruto (RB) en litros por árbol y día (l/árbol/día) para el cultivo de cítricos en Hornachuelos (Córdoba). Estación agroclimática de referencia: Hornachuelos.

Mes	Diámetro de copa (m)	Marco de plantación (m)			
		3 X 7	4 X 5	4 X 6	5 X 6
		RIEGO BRUTO (l/árbol/día)	RIEGO BRUTO (l/árbol/día)	RIEGO BRUTO (l/árbol/día)	RIEGO BRUTO (l/árbol/día)
May	2	-	-	-	-
	3	23	25	17	3
	4	-	43	44	39
Jun	2	31	32	27	22
	3	67	65	70	75
	4	-	84	97	109
Jul	2	40	39	41	43
	3	72	71	75	80
	4	-	91	103	116
Ago	2	35	35	36	38
	3	64	62	67	71
	4	-	80	92	104
Sep	2	25	25	26	27
	3	46	45	47	51
	4	-	57	65	73
Oct	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	4	-	4	-	-

Figura 17. Avance de Recomendaciones de riego para cítricos (campaña 2018). Fuente: SERVIFAPA

## 6. Avances lucha cambio climático

### 6.1 Empleo de sensores:

Con la monitorización del sistema suelo-planta-atmósfera por medio de tecnologías que realicen medidas precisas y en tiempo real se logra un conocimiento completo de los sistemas agrarios (Fig. 18). Así, por ejemplo, la monitorización de la planta en todo su perfil 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 requiere ser actualizada muy a menudo para que sea realmente útil al agricultor.



Figura 18. Sensores instalados en ensayos de maíz realizados en el Centro IFAPA Alameda del Obispo (Córdoba). Izquierda datalogger, Derecha sensores de temperatura y humedad.

## 6. Avances lucha cambio climático

**6.2 Mejora varietal:** 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.

**6.3 Variabilidad genotípica:** Cada año se estudian e incorporan al mercado nuevas variedades de maíz. 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.



Figura 19. Ensayo maíz con diferentes fechas de siembra en el Centro IFAPA Alameda del Obispo (Córdoba).



## 7. Conclusiones

---

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. 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 completamente los efectos negativos del cambio climático.

Igualmente, la consideración de cambios en el patrón de cultivos y la optimización de las estrategias de reparto del agua de riego a escala 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.

# El Cultivo de Maíz en Andalucía bajo el Impacto del Cambio Climático

## Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera

Avenida de Grecia s/n  
41012 Sevilla (Sevilla) España  
Teléfonos: 954 994 595 Fax: 955 519 107  
e-mail: [webmaster.ifapa@juntadeandalucia.es](mailto:webmaster.ifapa@juntadeandalucia.es)



Cofinanciado por el Programa Operativo del Fondo Social Europeo de Andalucía 2007-2013



Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera  
**CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA,  
PESCA Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**Unión Europea**

Fondo Europeo  
de Desarrollo Regional

