

DESARROLLO Y OPTIMIZACION DE SISTEMAS AGRICOLAS BASADOS EN PLANTAS HALOFITAS EN SUELOS MEDITERRANEOS AFECTADOS POR SAL

PRIMA S2 2019. Proyectos I+D+i Programación Conjunta Internacional. Referencia PCI2020-111977

Dr. José Antonio Hernández
CEBAS-CSIC

Desafíos de la Agricultura en el siglo 21

9700 millones en 2050: 20% por encima de la población actual (2023).
800 millones con problemas de desnutrición.

The World Health Organization estimates that one third of the world is well-fed, one third is under-fed and one third is starving. By 2050 that number could be significantly larger when the world's population is expected to reach a whopping 9 billion. The world's driest regions in Northern Africa and the Middle East are also the fastest growing, putting them at a an especially high risk of furthering the food crisis.

Se debe aumentar la producción en un 20% para 2050, especialmente en países en vías de desarrollo



RETOS a los que se enfrenta la Cuenca Mediterránea en un futuro próximo

Context: Challenges in the Mediterranean area, at a glance

The loss of agro-biodiversity

Food insecurity

One of the most vulnerable regions to climate change

25% of total irrigated land are salt affected

Mono-cultural approach of intensive agriculture and excessive use of mineral fertilizers

529 million people in 2025

Need to promote a sustainable and eco-friendly agriculture with improved yields and productivity

Mar Menor en peligro. Próximamente, el Mar Mediterráneo también



Sistema de cultivo basado en plantas halófitas para la desalinización de suelos salinos



Producción Agrícola comprometida: Suelos marginales (baja calidad)
Uso de halófitas para remediación de suelos salinos
Agricultura salina

Agricultura Salina

- **La agricultura salina:**

- se define como el uso de cultivos tolerantes a la salinidad, en condiciones salinas, combinado con una buena gestión del suelo y el agua, para proporcionar soluciones que contribuyan a la seguridad alimentaria, nutricional e hídrica, mientras los cultivos se adaptan al cambio climático (Nakacz et al 2021).

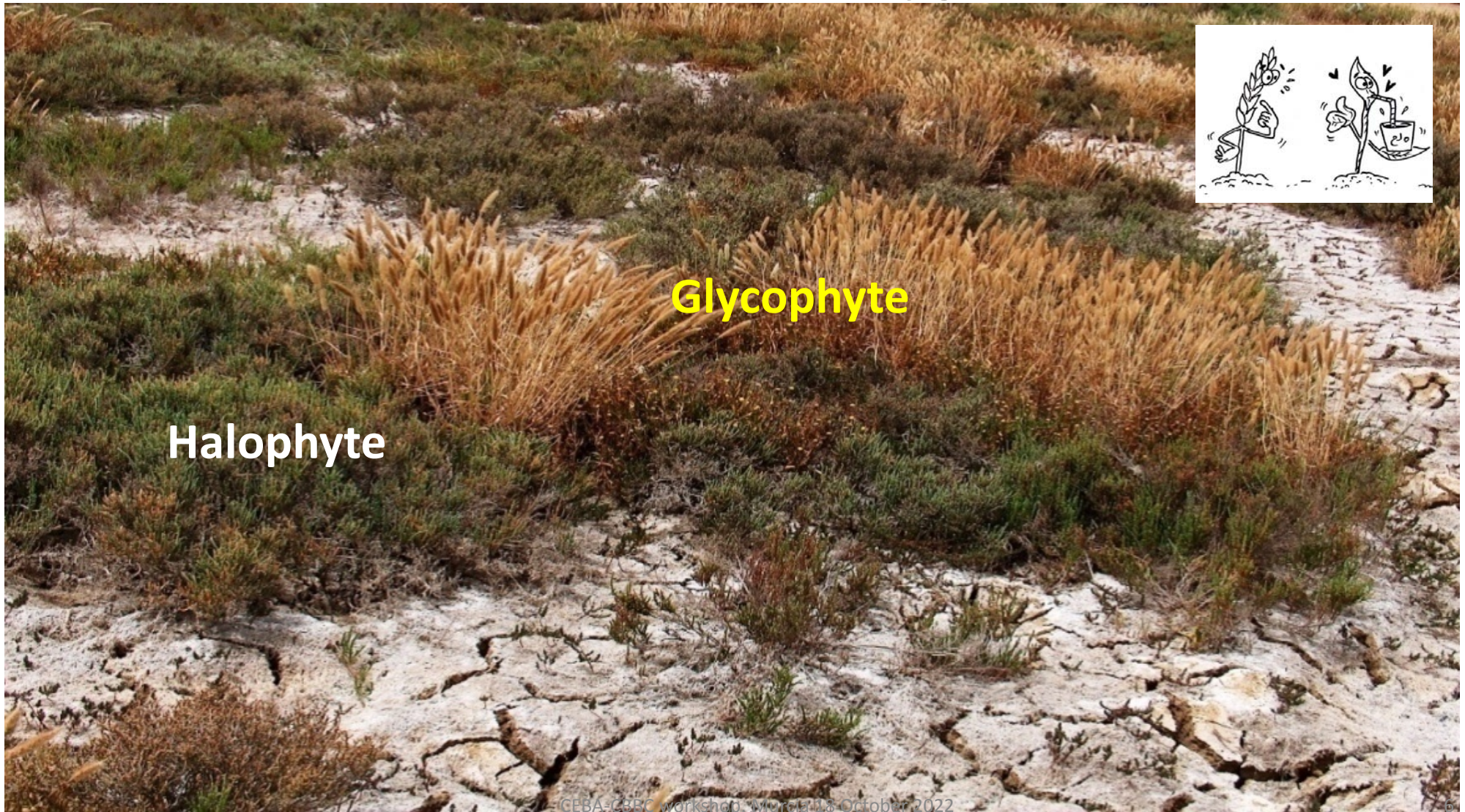
- **Recursos para la implementación:**

Recursos hídricos salinos: aguas subterráneas salobres, agua de mar, salmuera (desalinización), agua de drenaje, efluentes de acuicultura.

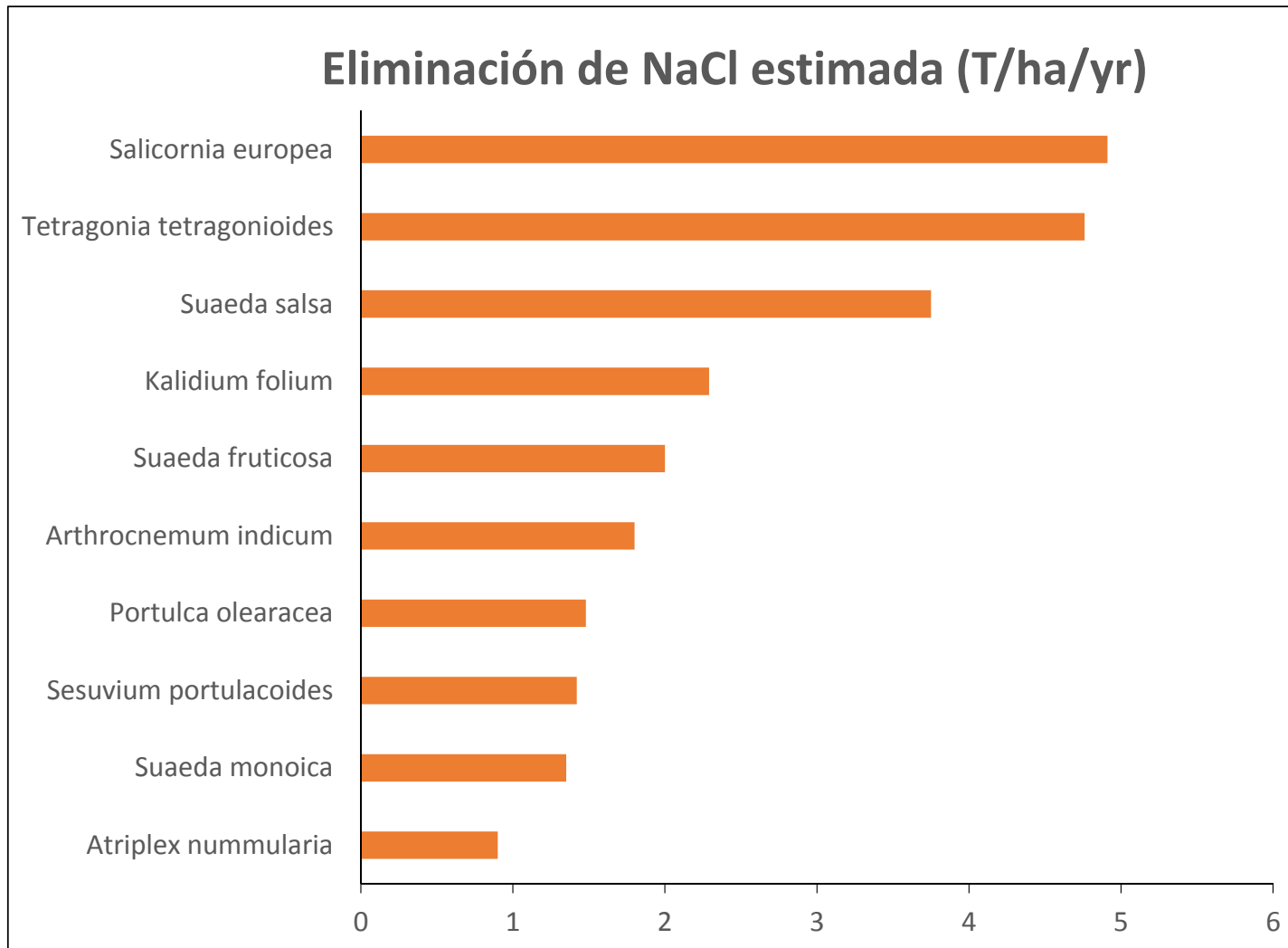
Suelos degradados (salinos, salino-sódicos, suelos yermos, etc...

Plantas (variedades tolerantes a salinidad, plantas halófitas,..)

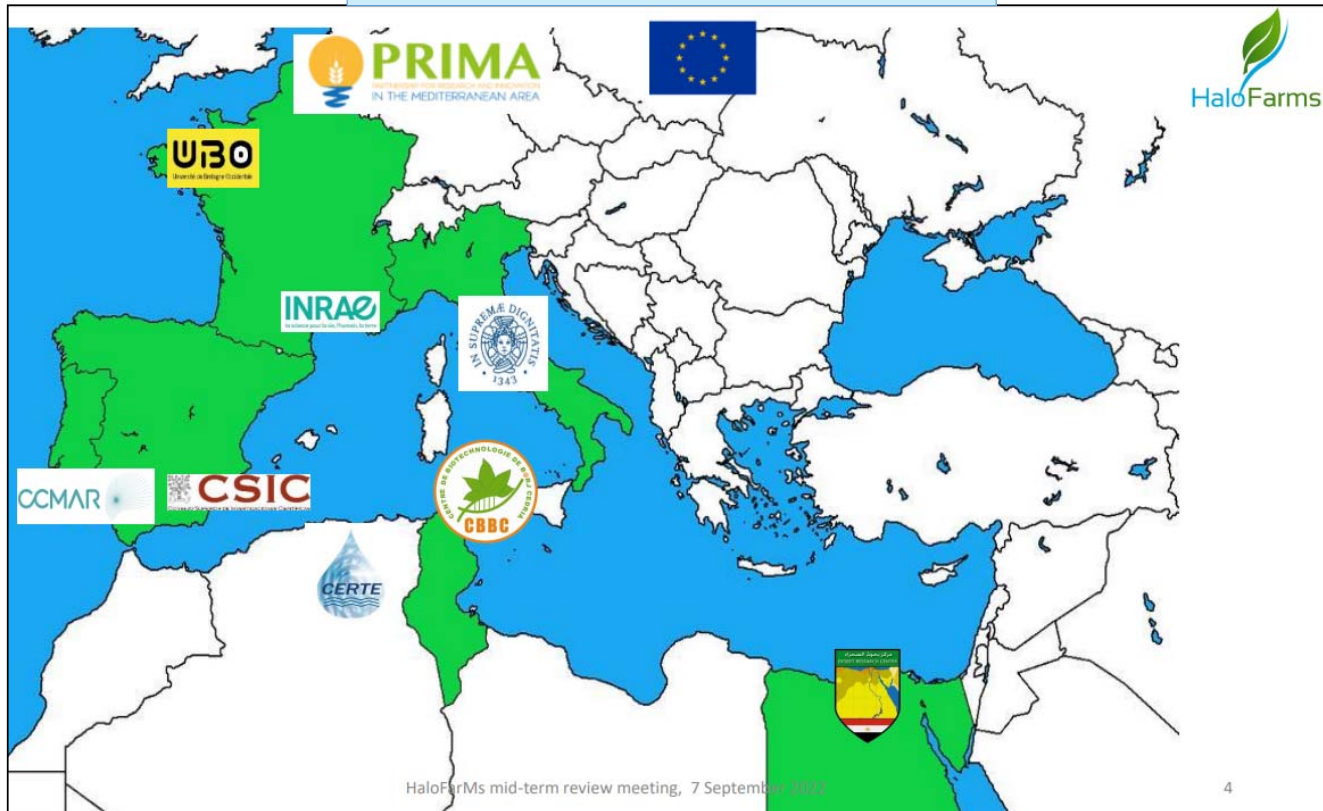
En suelos salinos: Asociación entre halófitas y glicófitas



Potenciales halófitas utilizadas en la remediación de suelos salinos



SOCIOS DEL PROYECTO HALOFARM



**Túnez: CBBC, Centre Biotechnology of Borj Cedria
CERTE (Centre de Recherches et Technologies des Eaux).**

Egipto: Desert Research Center (DRC).

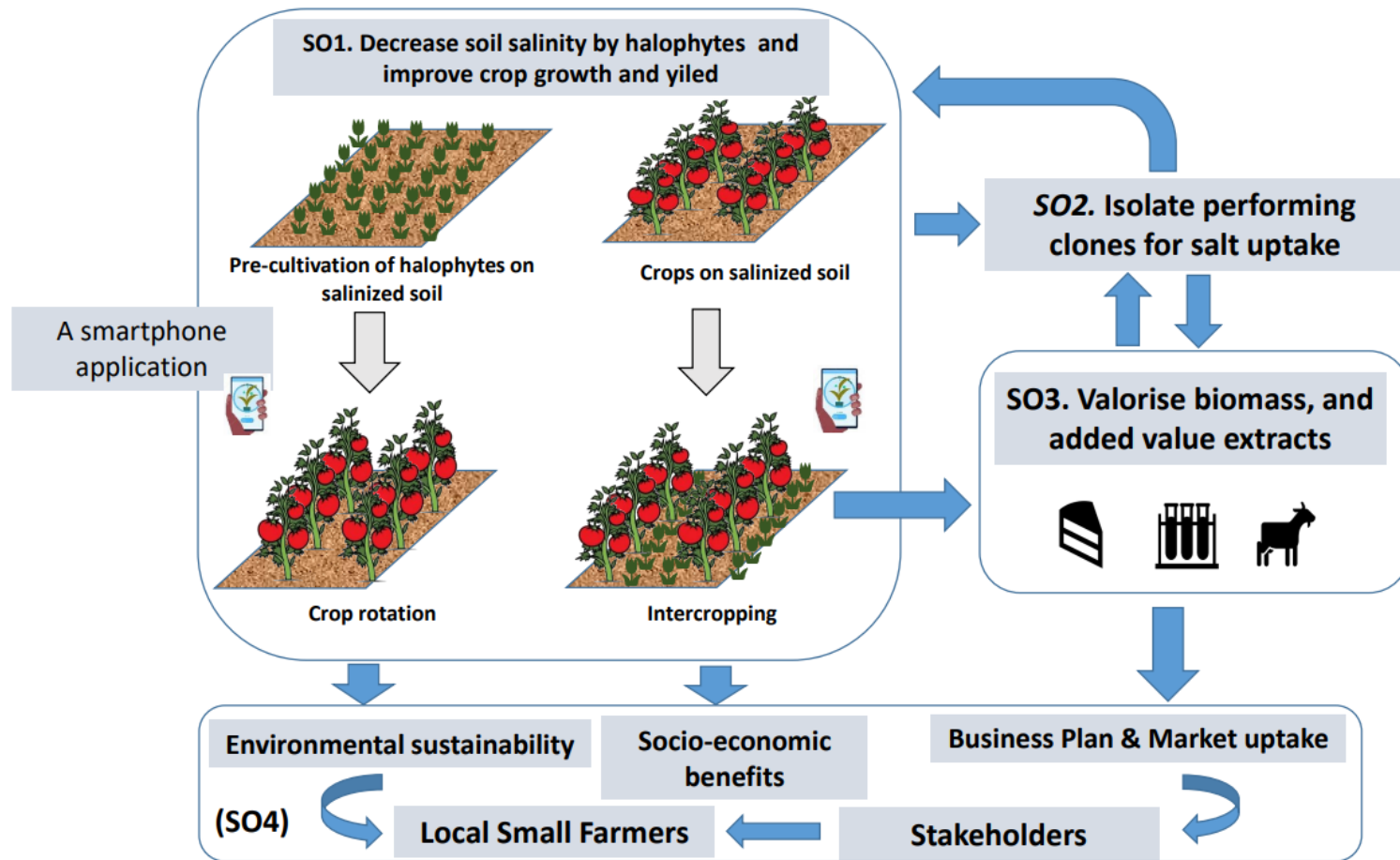
Portugal: CCMAR (Centre of Marine Sciences of Algarve)

España: CEBAS-CSIC.

Italia: Universidad de Pisa.

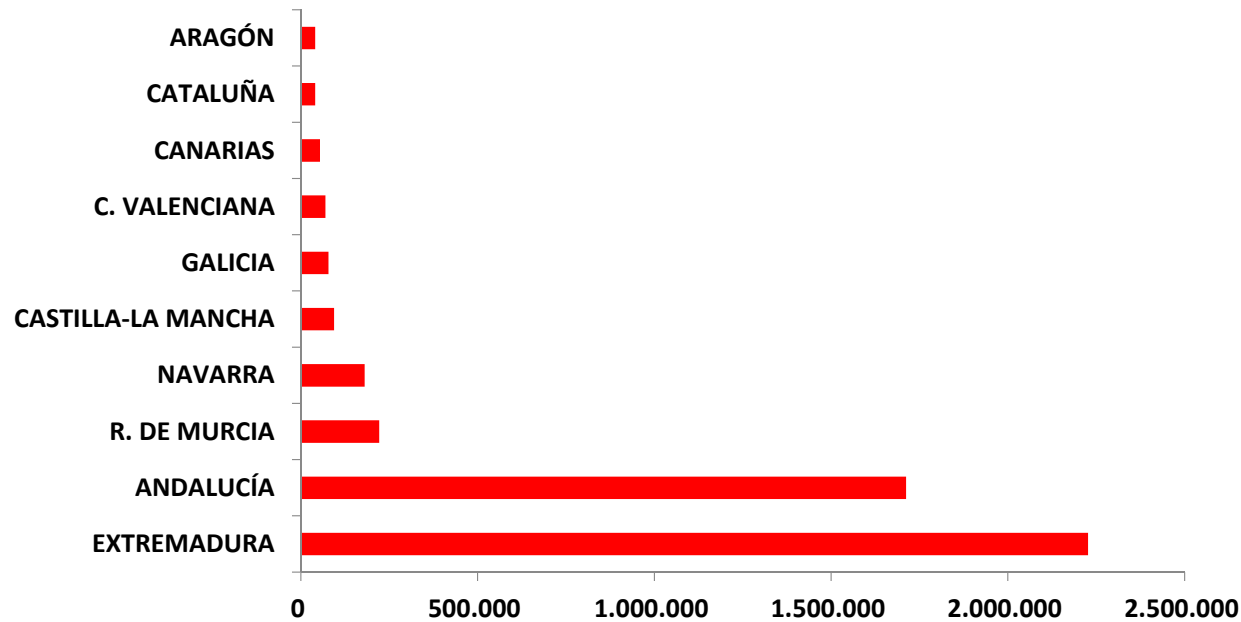
Francia: UBO (Université de Bretagne Occidentale),

Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA)



EN TODOS LOS EXPERIMENTOS SE HA USADO PLANTAS DE TOMATE

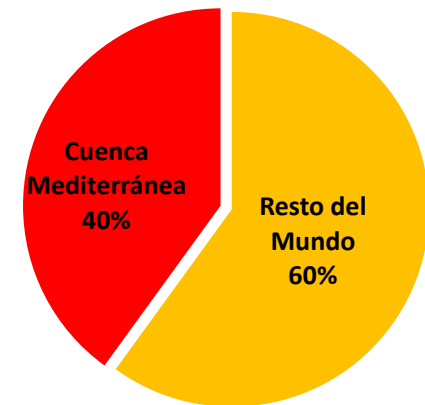
Producción Tomate 2021 (Tn)



(<https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/>)

¿Porqué el tomate?

Producción Tomate (Millones Tns)



(<https://fenix.fao.org/faostat/internal/es/#home>).





CEBAS-CSIC Grupo Biotecnología de Frutales

Investigadores en plantilla incluídos en el proyecto

- Dr. José Antonio Hernández (IP); Dr. Abel Piqueras; Dr. Pedro Díaz Vivancos



Investigadores colaboradores



- Dr. Gregorio Barba Espín (Contratado)
- Carmen Jurado Mañogil (PhD Contratada)
- Dr. José Ramón Acosta Motos (UCAM)
- Ms. Verónica Becerra (Beca JAEintro)
- Ms. Ghofrane Atrous (PhD, CBBC, Túnez)

WP2: Mixed cultivation of halophytes and crops species in salt affected soils

AGRICULTURAL DEMONSTRATION CENTER LA PILICA
(AGUILAS, MURCIA, SPAIN)



Soil Na⁺ and Cl⁻ reaches 950 ppm and 1500 ppm, respectively

Desconocemos la profundidad del muestreo

D. Fernández Usero

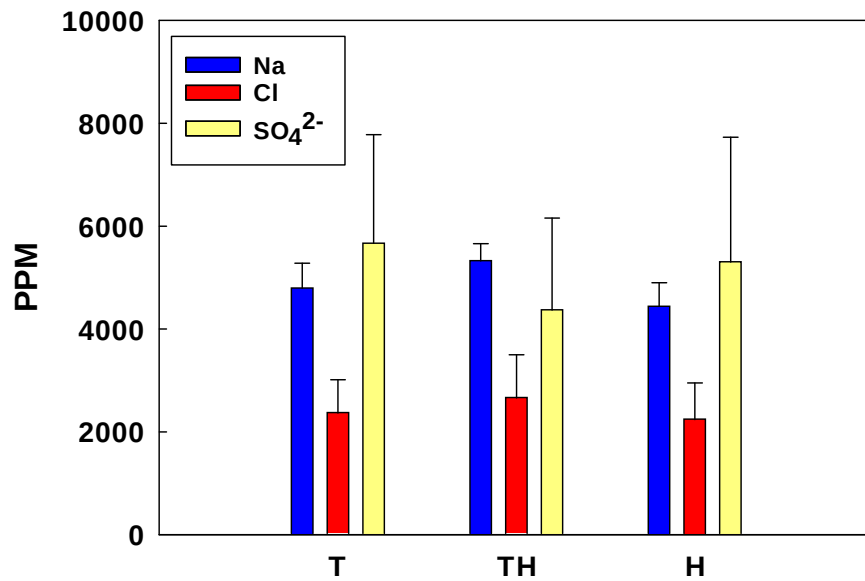


D. Antonio Aroca Martínez
Jefe de Servicio de Formación y
Transferencia Tecnológica



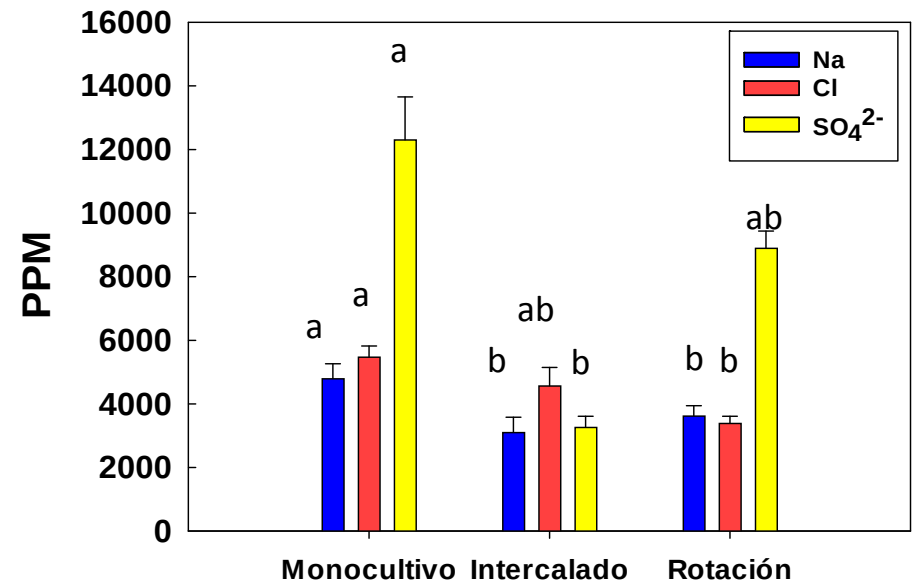
Dirección General de Agricultura,
Industria Alimentaria y Cooperativa
Agraria de Murcia

Esto nos encontramos después del primer experimento (30 cm profundidad):



T: tomate; TH: cultivo mixto; H: halófitas

DATOS EN EL SUELO ÚLTIMO EXPERIMENTO



SE ADICIONÓ 30 mM NaCl en el riego

PRIMER EXPERIMENTO



13 March 21



31 March 21

18 dap



29 April 21

46 dap



Arthrocaulon macrostachium



25 May 21

73 dap



16 June 21

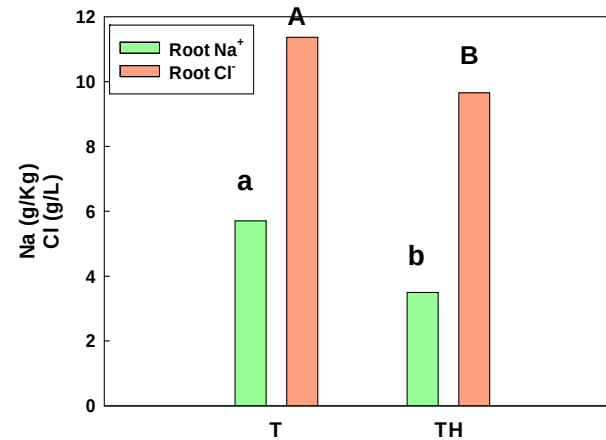
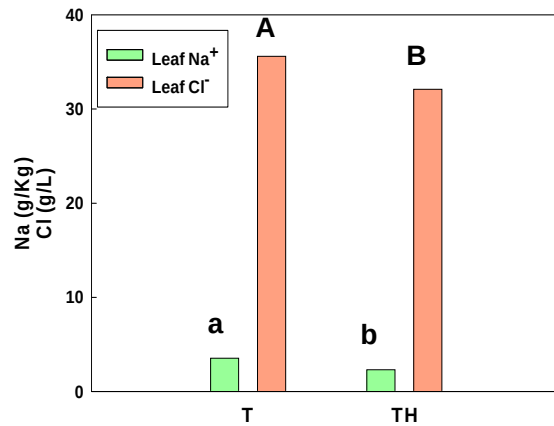
95 dap

Tomate cv. Sargento
Arthrocaulon macrostachyum

	Na (g/Kg)	Fe (g/kg)	Al (g/kg)	Cl ⁻ (g/L)	SO ₄ ²⁻ (g/L)	
Tomato	3.50 a	0.13	0.15	35.61 a	8.09	Leaves
Tomato + halophytes	2.27 b	0.10	0.09	32.10 b	8.84	
	F = 12.48**	F = 0.51 n.s.	F = 1.00 n.s.	F = 6.06*	F = 0.07 n.s.	
Halophyte	54.67 b	0.04 b	0.05 b	72.50 b	10.28	
Halophyte + tomato	66.41 a	0.12 a	0.18 a	100.82 a	12.73	
	F = 6.79*	F = 24.47**	F = 27.48***	F = 14.78**	F = 3.48 n.s.	Roots
Tomato	5.70 a	0.63 b	0.91	11.37 a	4.04	
Tomato + halophytes	3.49 b	0.73 a	0.94	9.65 b	3.98	
	F = 14.71**	F = 60.00***	F = 0.04 n.s.	F = 6.48*	F = 0.06 n.s.	
Halophyte	5.71	0.25 a	0.29 a	8.63 b	8.44	
Halophyte + tomato	6.46	0.20 b	0.24 b	10.19 a	4.86	
	F = 3.19 n.s.	F = 7.61*	F = 15.62**	F = 21.05**	F = 3.15 n.s.	

Absorción de iones fitotóxicos en tomate

Curiosamente, las plantas de tomate en co-cultivo con halófitas acumularon menos Na y Cl en hojas y raíces que las plantas de tomate cultivadas en monocultivo.

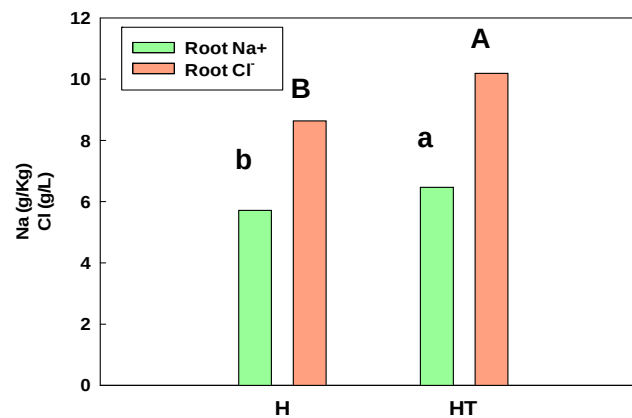
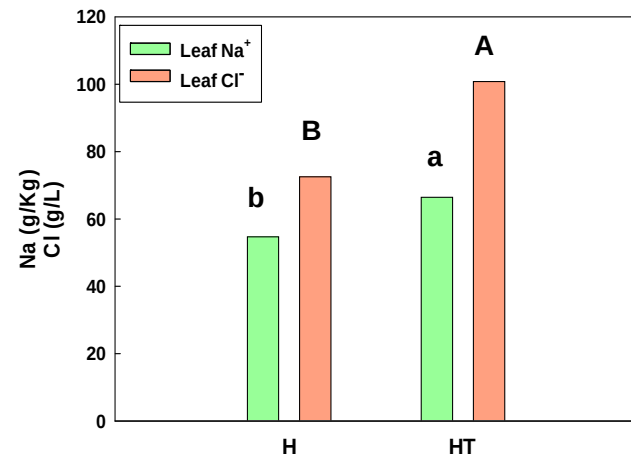


LAS PLANTAS DE TOMATE ACUMULAN MÁS Cl QUE Na

Relación Na Parte Aérea/Raíz : 0,61 (T); 0,65 (TH)

Relación Cl Parte Aérea/Raíz : 3,13 (T); 3,32 (TH)

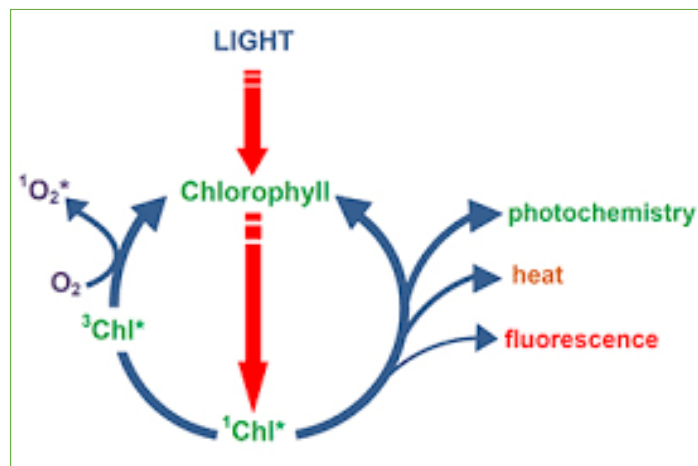
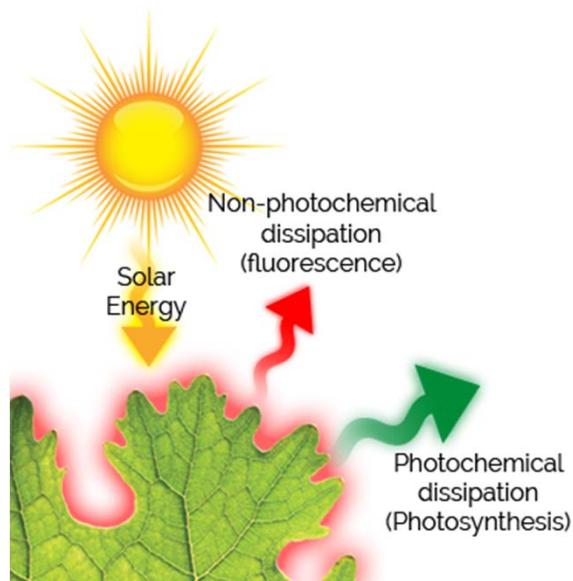
Las plantas halófilas tienen contenidos más altos de Na y Cl en hojas y raíces cuando crecen en co-cultivo (cultivo intercalado) que cuando crecen solas



Relación Cl Parte Aérea/Raíz: 8,4 (H); 9,9 (HT)

Relación Na parte Aérea/Raíz: 9,6 (H); 10,3 (HT)

FLUORESCENCIA DE CLOROFILAS

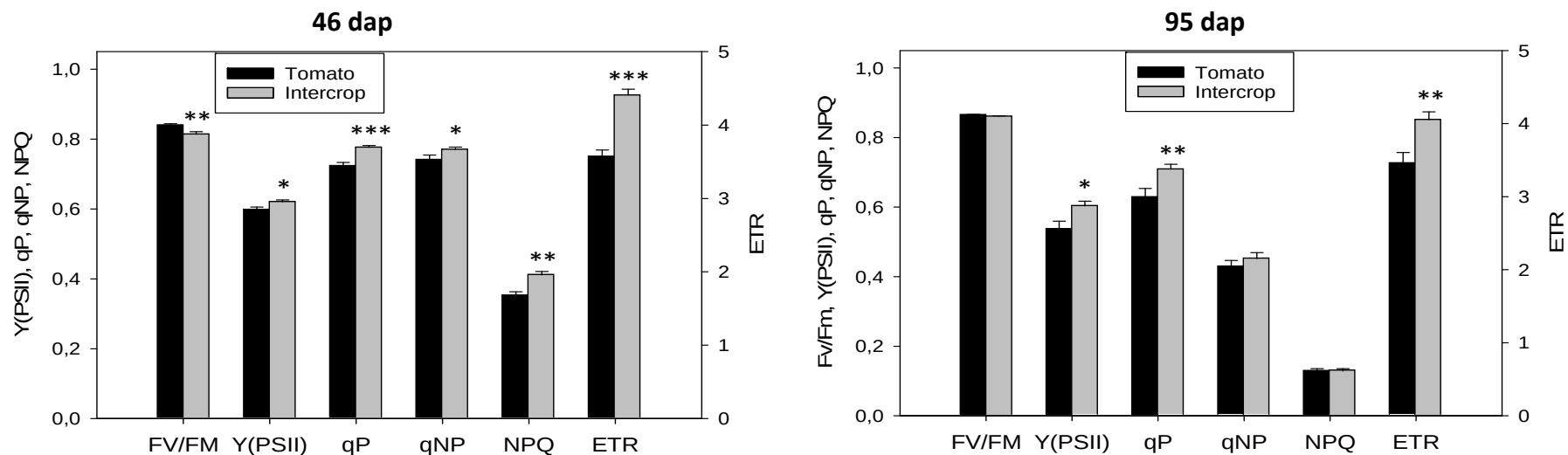


Técnica muy útil que permite hacer un seguimiento de la fotosíntesis



Fv/Fm	Máxima eficiencia del PSII si todos los centros estuvieran abiertos
Y(PSII)	Rendimiento cuántico del PSII (Relación CO ₂ asimilado/nº fotones absorbido)
qP	Proporción de centros de reacción abiertos del PSII
qNP NPQ	Apagado no fotoquímico: estima la constante de velocidad para la pérdida de calor de PSII
ETR	Tasa de transporte electrónico

FLUORESCENCIA DE CLOROFILAS

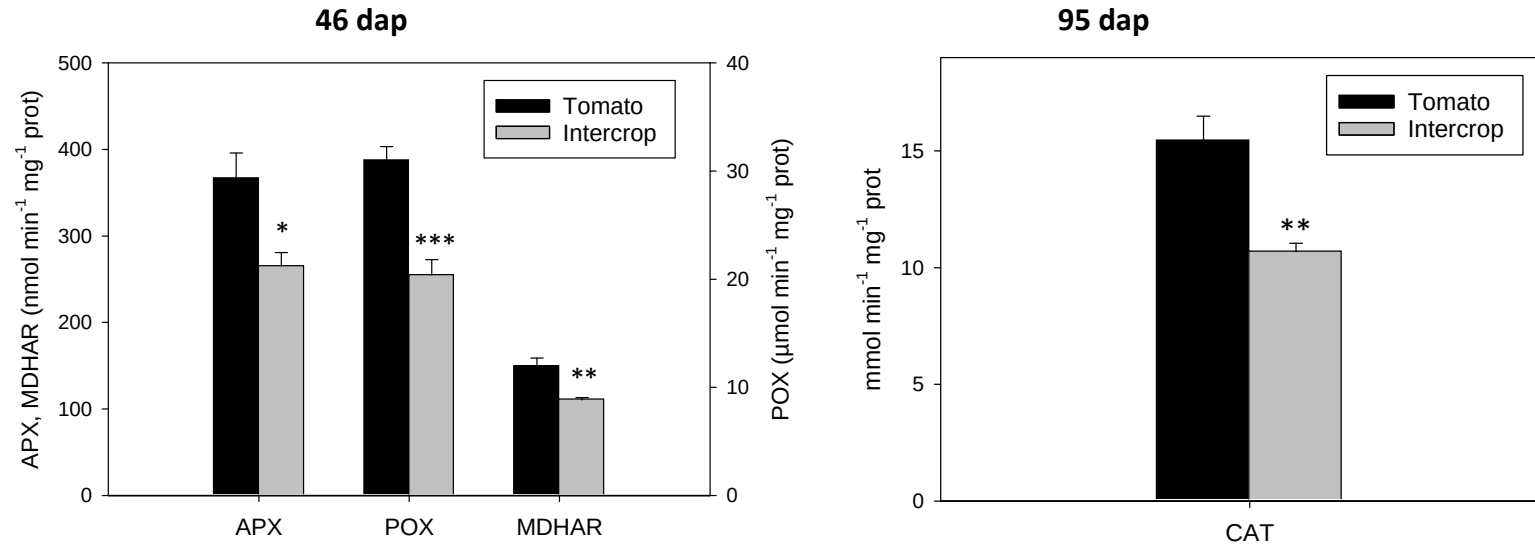


CAMBIOS EN LOS PARÁMETROS DE QUENCHING FOTOQUÍMICO Y NO FOTOQUÍMICO

Fv/Fm	Máxima eficiencia del PSII si todos los centros estuvieran abiertos
Y(PSII)	Rendimiento cuántico del PSII (Relación CO ₂ asimilado/nº fotones absorbido)
qP	Proporción de centros de reacción abiertos del PSII
qNP NPQ	Apagado no fotoquímico: estima la constante de velocidad para la pérdida de calor de PSII
ETR	Tasa de transporte electrónico

El cultivo mixto mejora la fotosíntesis

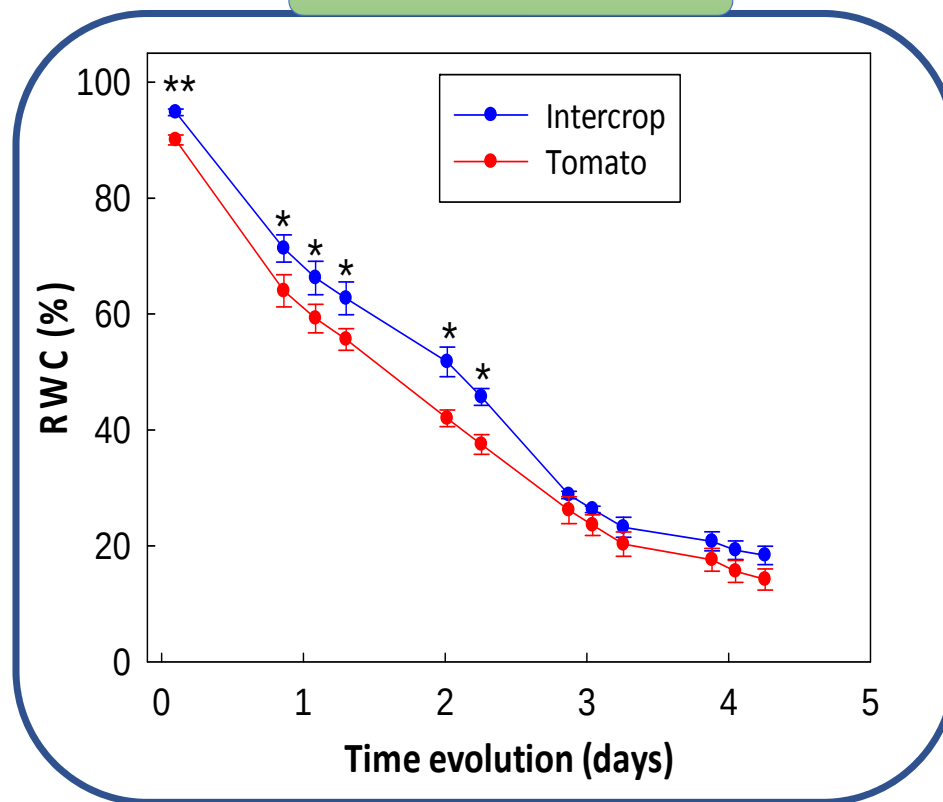
ENZIMAS ANTIOXIDANTES



Cambios en las enzimas eliminadoras de H₂O₂

No se observaron diferencias en el parámetro de estrés oxidativo
(Peroxidación lipídica)

RWC EVOLUTION (95 DAP)

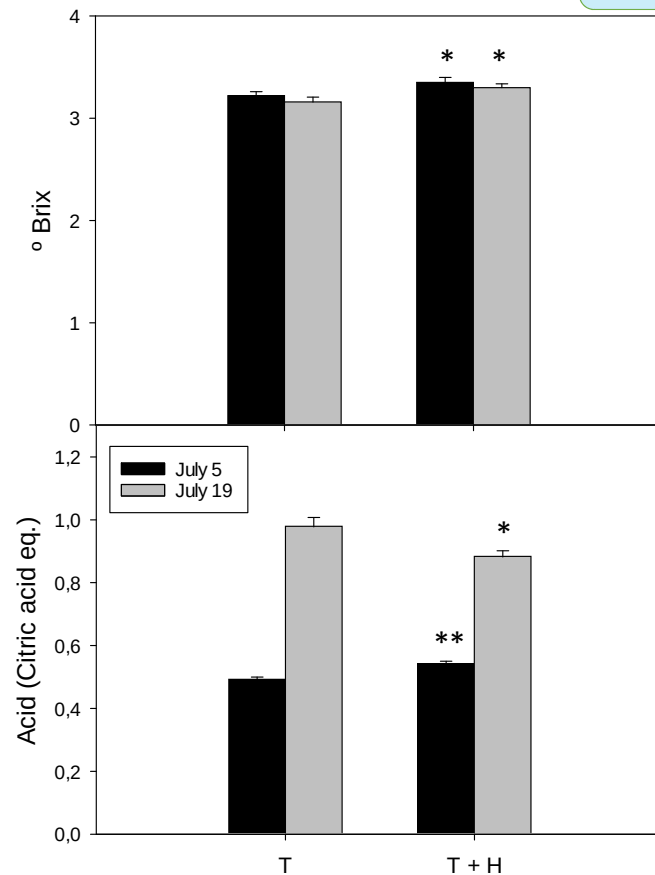


Tacto de las hojas en monocultivo y en cultivo mixto era diferente

$RWC = [(FW - DW) / (SW - DW)] \times 100$,
 FW (peso fresco hoja); DW (peso seco hoja)
 SW (peso hoja a saturación)

Observamos que las hojas de plantas de tomate cultivadas en presencia de halófitas tenían un mayor RWC: podrían ser más tolerantes a la desecación

Calidad de Frutos



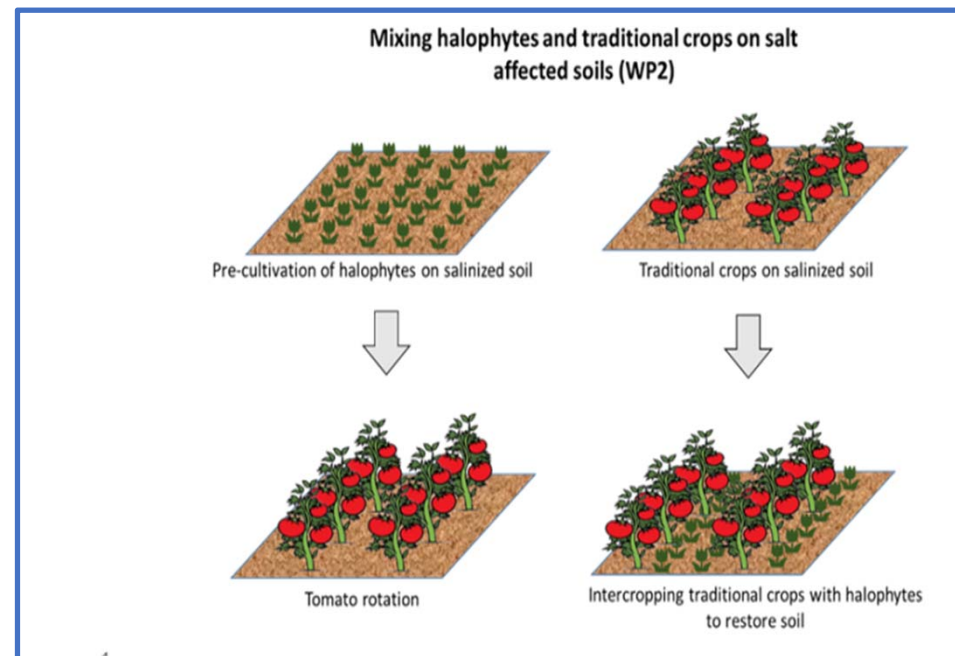
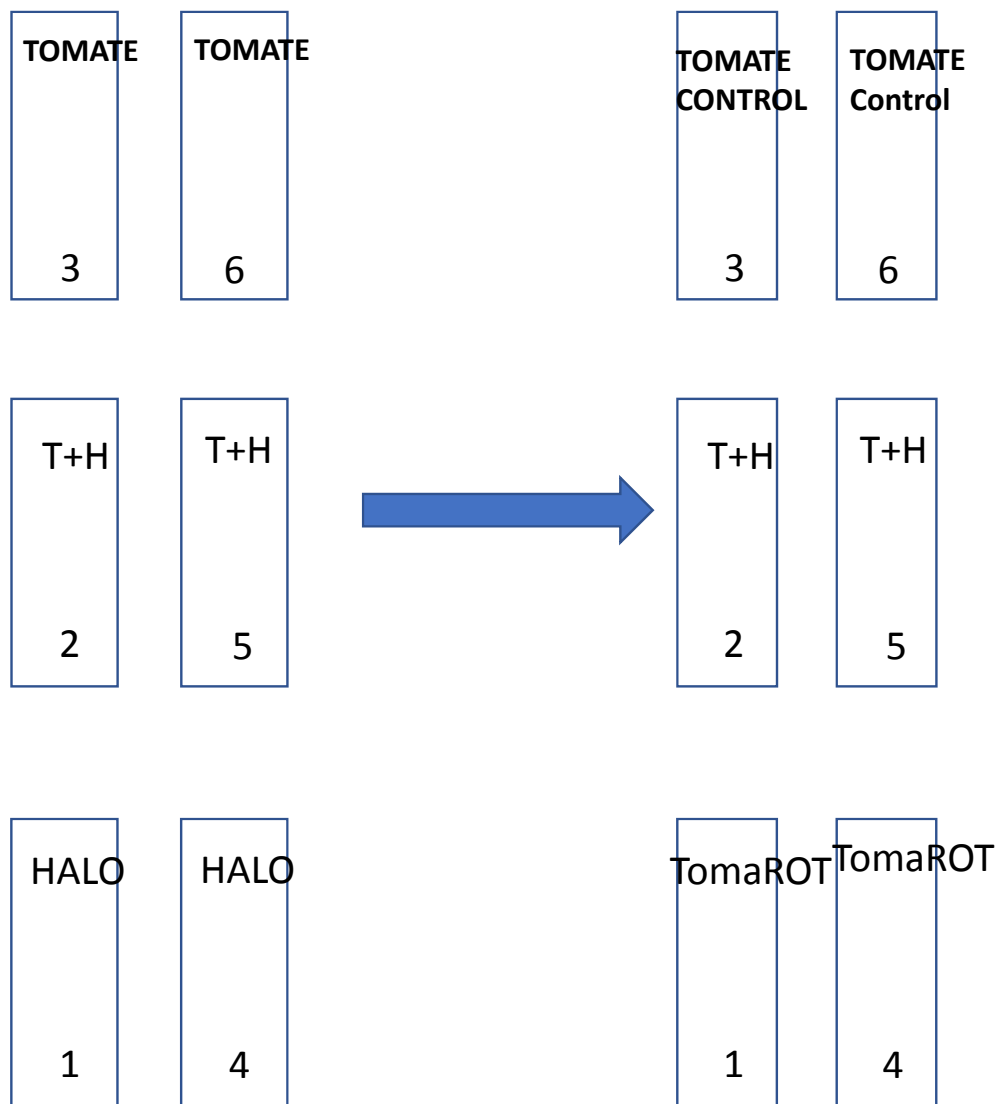
5 Julio: Segundo corte
19 Julio : Tercer corte

No hay diferencias en producción



SIN CAMBIOS IMPORTANTES: ligero aumento de °Brix del fruto en presencia de halófitas. Los tomates del cultivo combinado fueron ligeramente más ácidos que los tomates de plantas cultivadas en monocultivo (**¿más ácidos orgánicos?**). Sin embargo, comportamiento contrario en los tomates cosechados 14 días después.

TEMPORADA OTOÑO-INVIERNO: ROTACIÓN DE CULTIVOS



29 nov 2021



TC



TH



TR

20 DICEMBRE 2021



TC

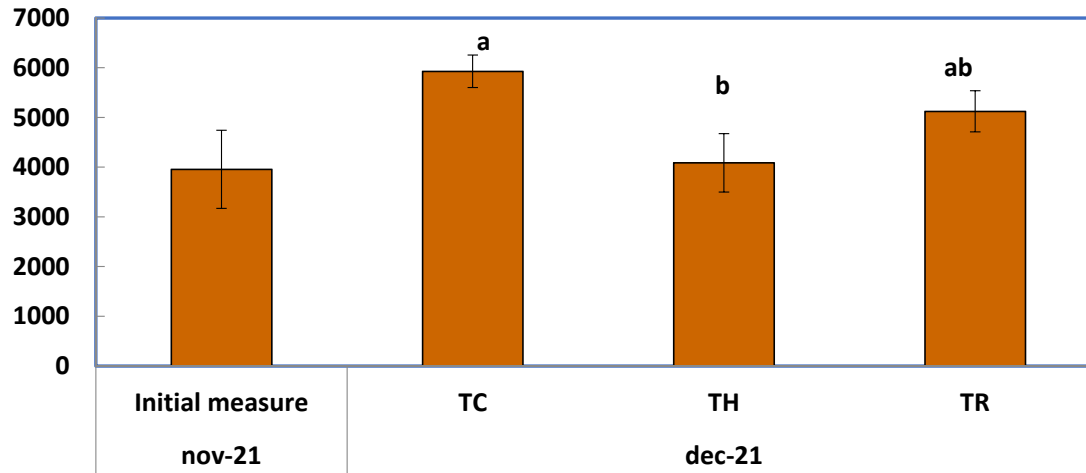


TH

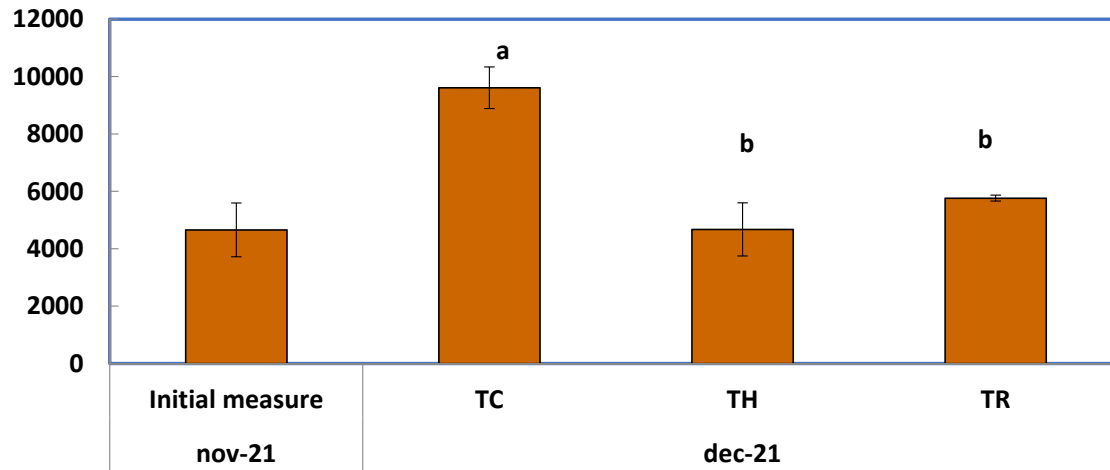


TR

Soil Na⁺ (ppm)



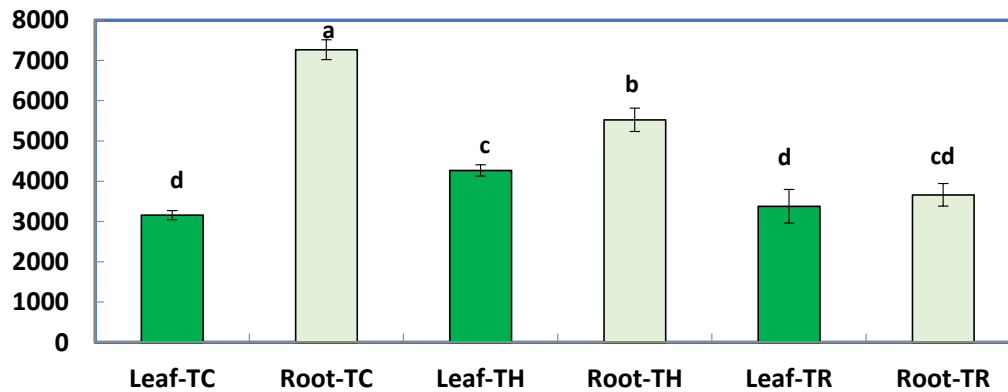
Soil Cl⁻ (mg/L)



Más acumulación de Na y Cl en el suelo donde se cultivó el Tomate Control (TC, monocultivo)

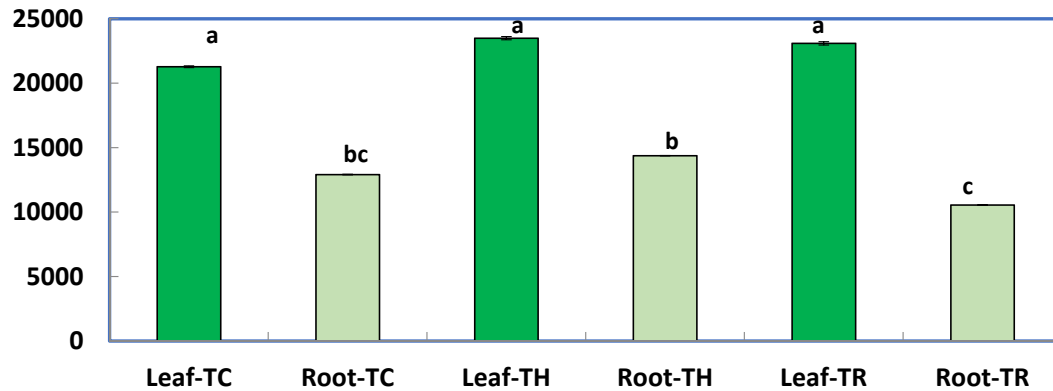
January 2022

Plant Na⁺ (ppm)



TR acumuló menos Na en hojas y raíces que las otras combinaciones. En general más Na en raíces que en hojas.

Cl (mg/L)



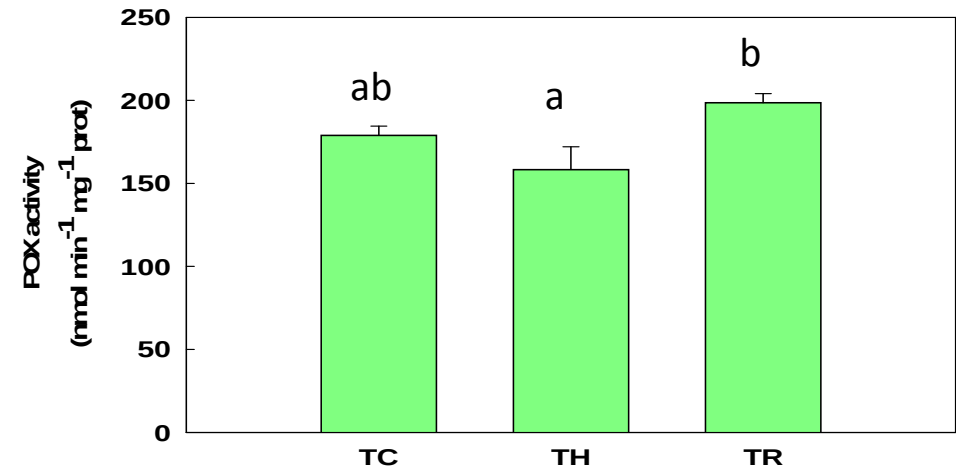
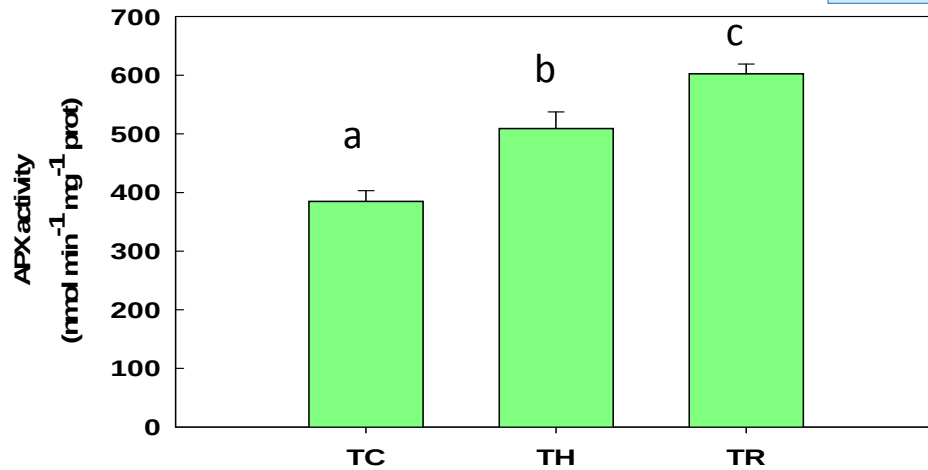
Clara acumulación de Cl en hojas de tomate

No hay diferencias en la acumulación en hojas. Menor acumulación de Cl en las raíces de TR, en comparación con TH.

73 DAP



Mecanismos antioxidantes



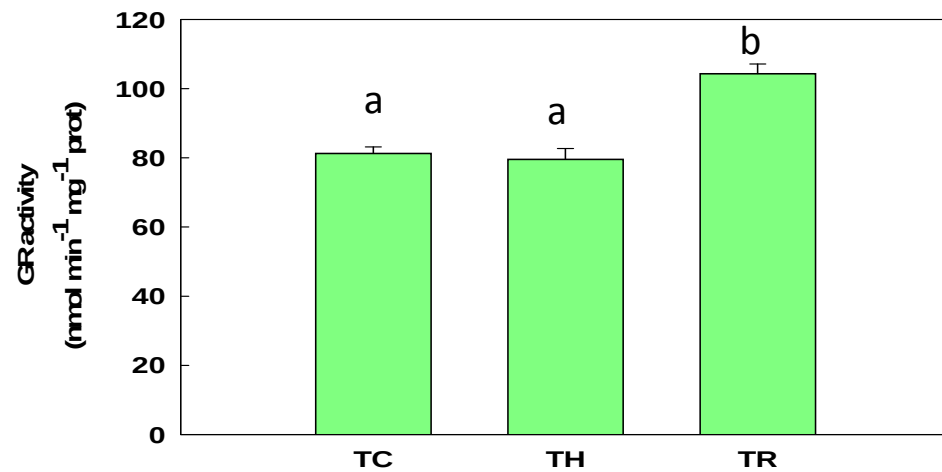
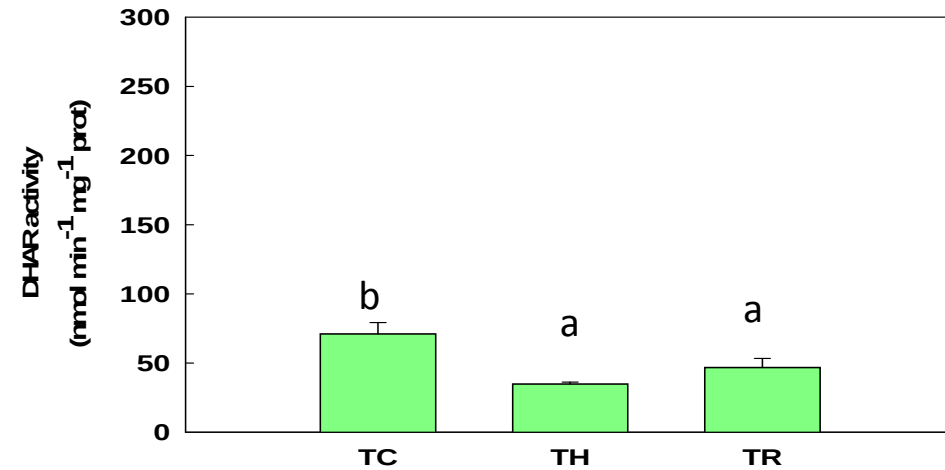
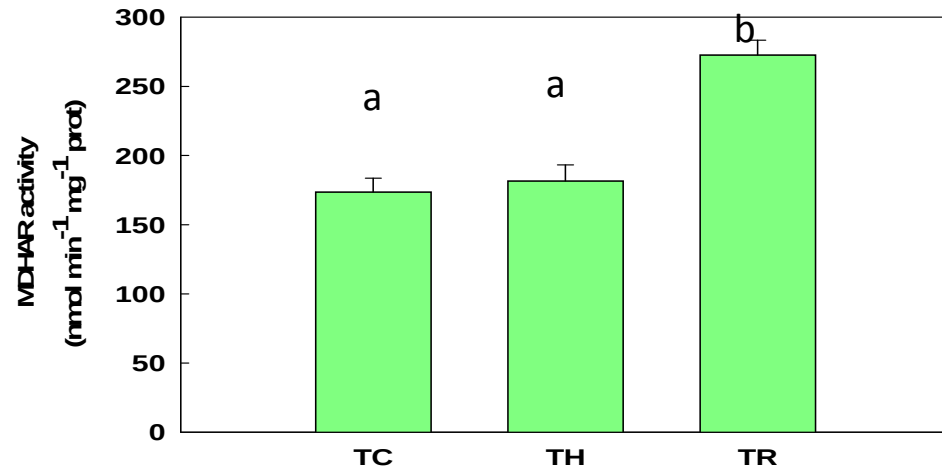
APX y POX son enzimas que eliminan H₂O₂

Las plantas rotadas pueden eliminar el H₂O₂ de manera más eficiente que las plantas control y las intercaladas

Mecanismos antioxidantes



73 DAP



MDHAR y DHAR: Reciclan ascorbato
GR: Recicla GSH

MDHAR es la principal enzima recicladora de ASC. Nuevamente, las plantas rotadas tienen una mayor capacidad para reciclar ASC y GSH

73 DAP

HISTOQUIMICA DE PRODUCCIÓN DE ESPECIES REACTIVAS DEL OXÍGENO (ROS)

DAB

Acumulación de H_2O_2



Control ASC
Control negativo

Tom control

Tom + H

Tom Rot

NBT

Acumulación de $O_2^{\cdot-}$



Control Cl_2Mn
Control negativo

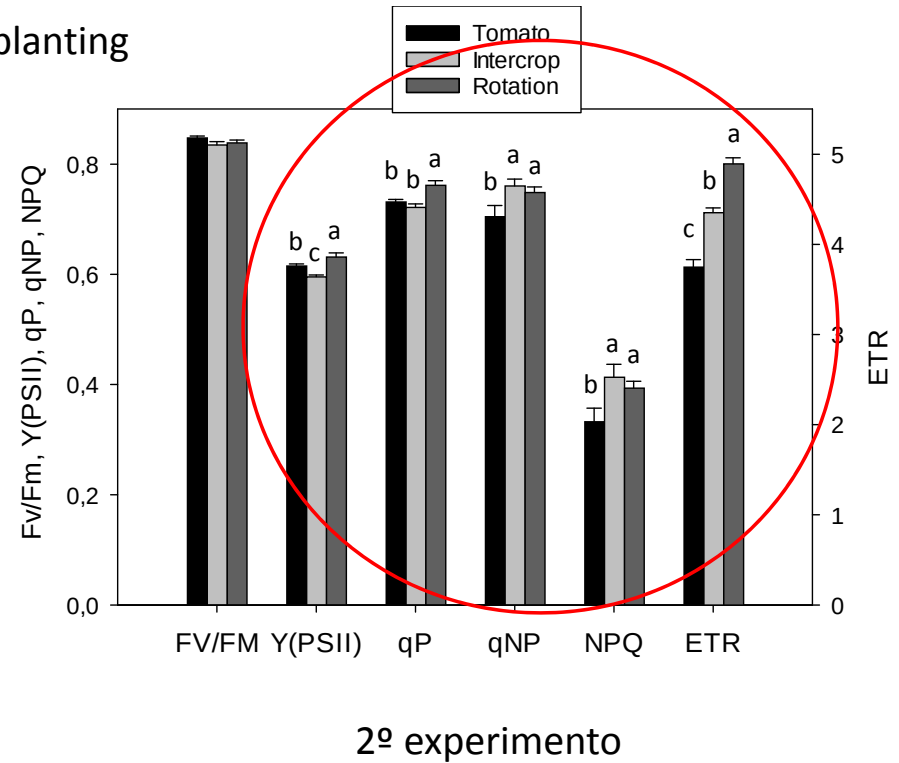
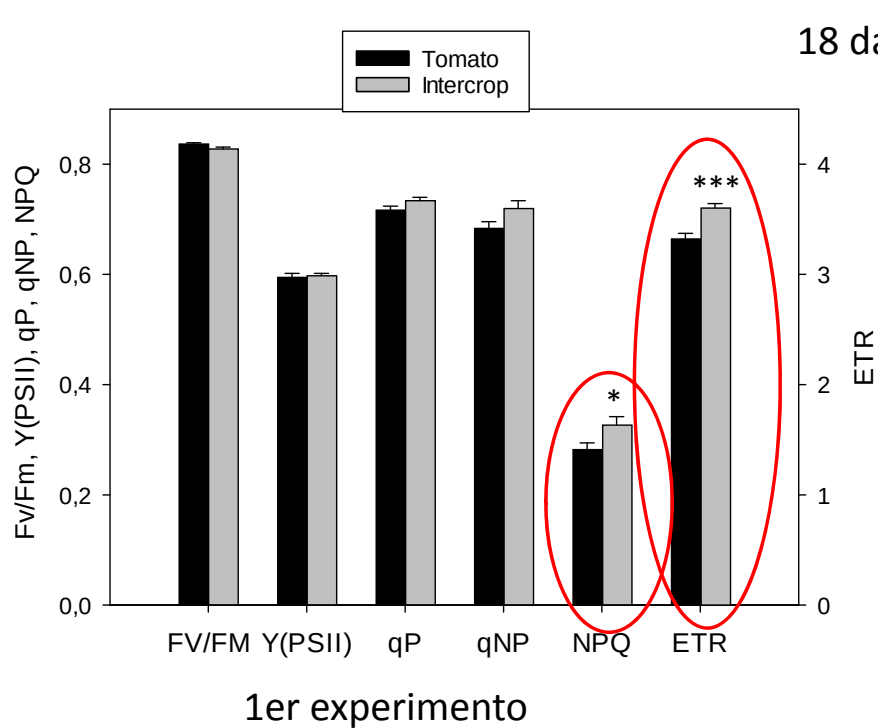
Tom control

Tom + H

Tom Rot

Hojas de TR acumulan menos ROS. Correlación con más enzimas eliminadoras de H_2O_2 y enzimas que regeneran los antioxidantes ascorbato y glutatión

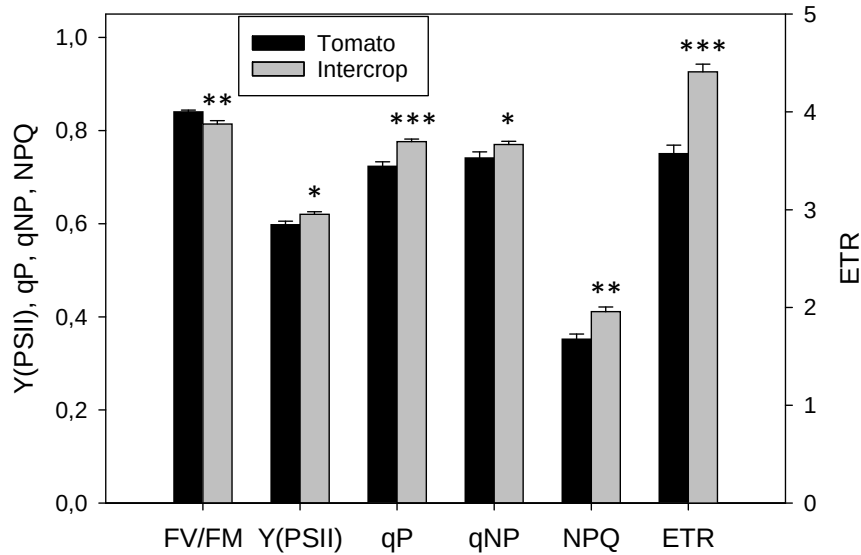
FLUORESCENCIA DE CLOROFILAS



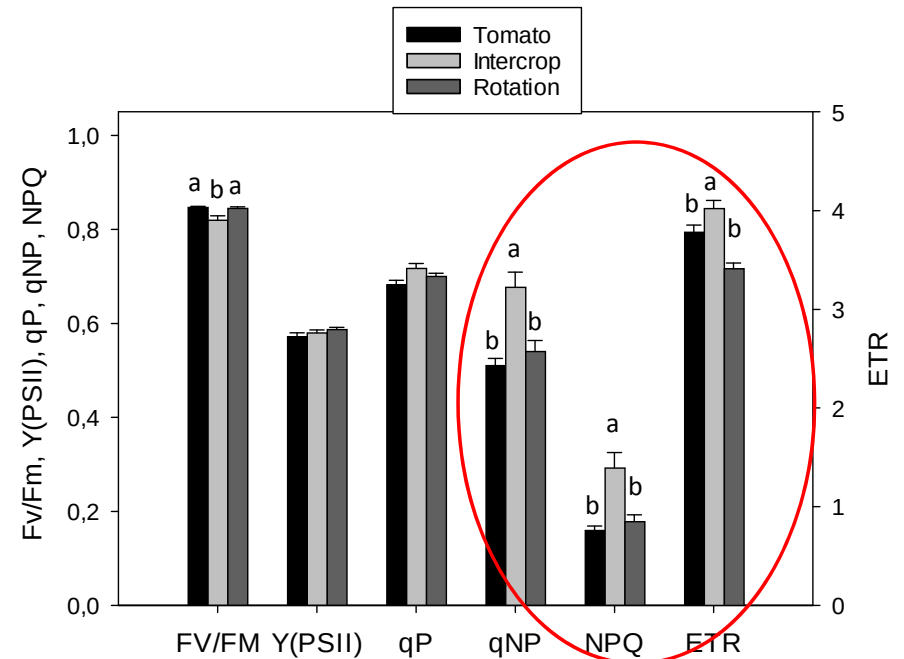
Intercropping: se repite resultado. Mejores valores de NPQ, qNP y ETR.
Rotación: Mejor Y(II), qP y ETR

MEJORAN LA FOTOSÍNTESIS

46 days after planting



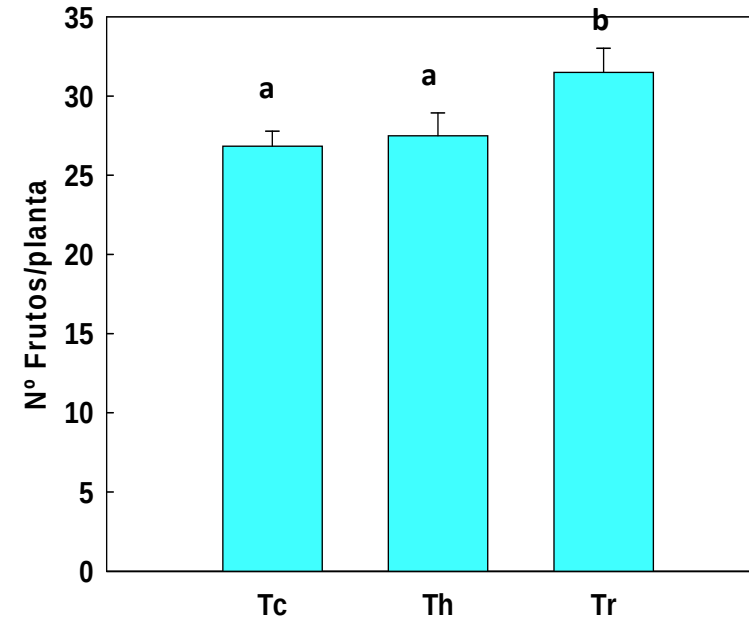
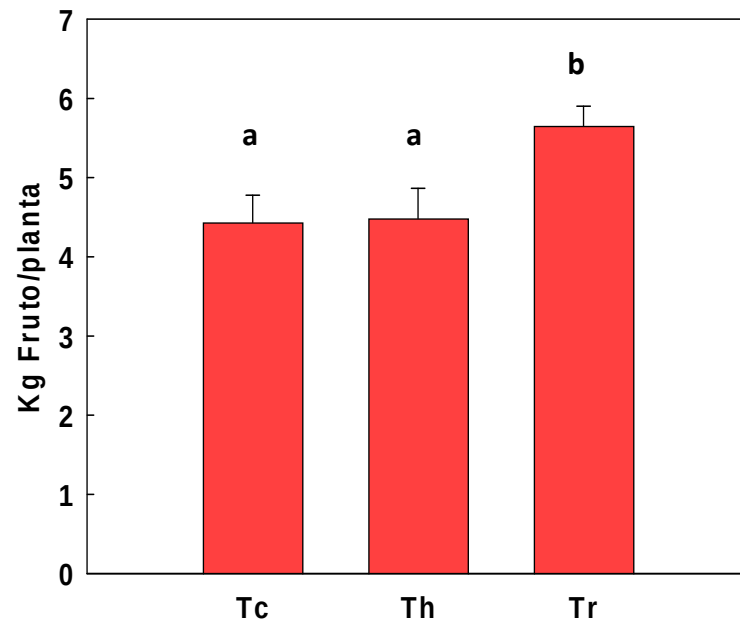
1er experimento



2º experimento

De nuevo, Intercropping mejora qNP, NPQ y ETR. En condiciones de estrés (salinidad), pueden eliminar el exceso de energía luminosa en forma de calor: Protección al cloroplasto

PRODUCCIÓN

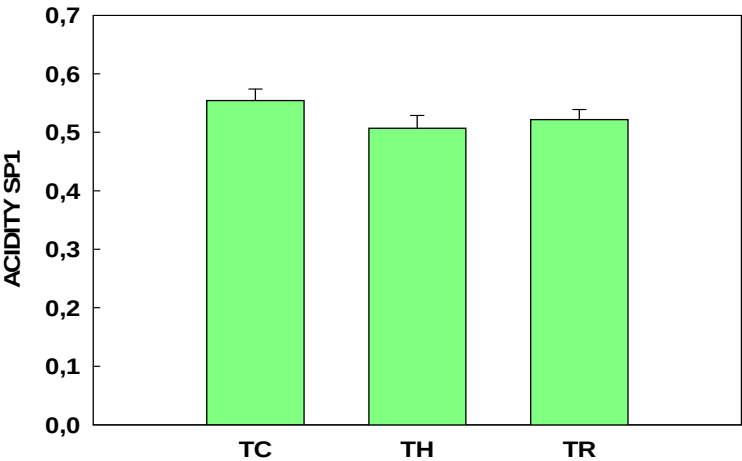
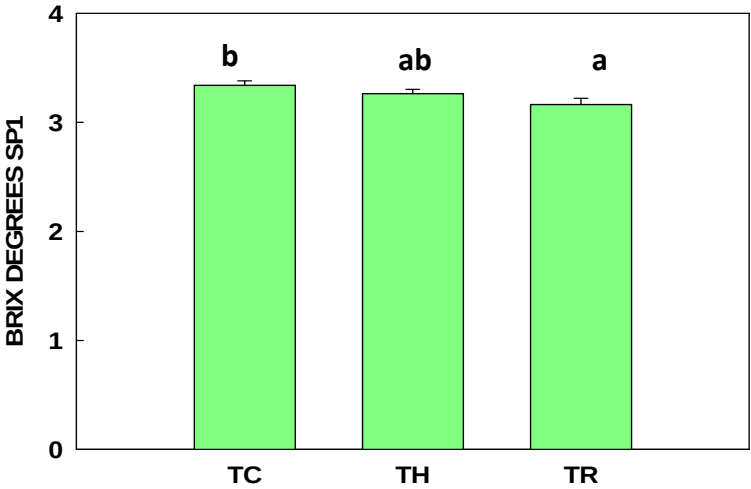


ROTACIÓN DE CULTIVOS: 25% MÁS DE PRODUCCIÓN, DEBIDO SOBRE TODO POR PRODUCIR MÁS FRUTOS POR PLANTA

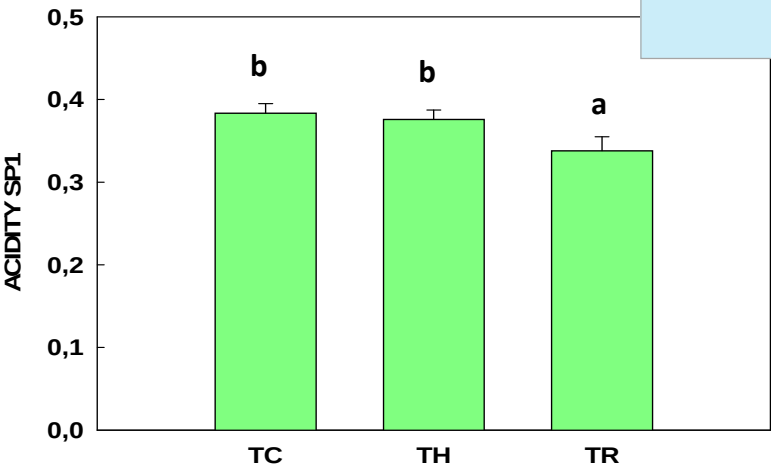
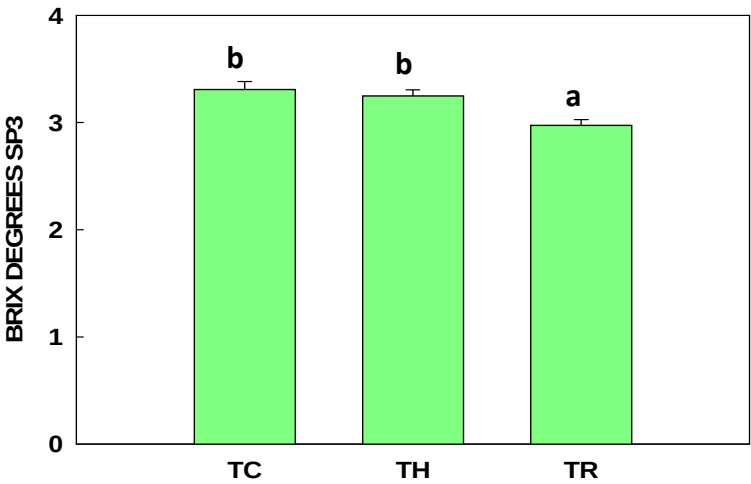
PRODUCCIÓN Y CALIDAD



93 DAP



128 DAP



Las frutas de TR tuvieron menos grados Brix (SP1 y SP3) y menor acidez (SP3). Probablemente tengan un menor contenido de ácidos orgánicos

Trabajo futuro

EXPERIMENTOS EN CAMPO CON AGRICULTORES

Actualmente tenemos contactos con un agricultor de Huercalovera, que tiene problemas de salinidad en el suelo



Conclusiones

El cultivo mixto:

- Reduce la absorción de iones fitotóxicos en hoja y raíz
- Reduce el contenido de Na y Cl en suelo
- Mejora los parámetros fotosintéticos de las plantas de tomate
- Aumenta el RWC
- Mejora la biodiversidad

Rotación de cultivos:

- Reduce la absorción de iones fitotóxicos en hoja y raíz
- Reduce el contenido de Na y Cl en suelo
- Mejora los parámetros fotosintéticos de las plantas de tomate
- Aumenta los mecanismos antioxidantes en hoja de tomate
- Menos acumulación de Especies Reactivas del Oxígeno (ROS)
- Se mejora la producción



THANK YOU FOR YOUR ATTENTION

HaloFarms