



Seminario

Manejo del riego y suelo en el cultivo del palto

27-28 de Septiembre de 2006

Gobierno de Chile
Ministerio de Agricultura

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)
Institute of Agricultural Research

El Centro Regional de Investigación (CRI) La Platina
Santa Rosa 11610 - La Pintana - Santiago - Chile
Teléfono: (562) 757-5100 - Fax: (562) 541-7667

<http://www.inia.cl/platina>

Efecto del Déficit de Oxígeno en el Suelo en la Fisiología y Productividad de Palto

Bruce Schaffer
University of Florida
Tropical Research & Education Center

Causas principales de un suelo poco aireado

- 1) Inundación
- 2) Drenaje muy lento
- 3) Suelo compactado

Suelo poco aireado = suelo con bajo contenido en oxígeno

El oxígeno se difunde ~10,000x más lentamente en agua que en aire

Demasiada agua en el suelo = el contenido en oxígeno no es suficiente para el metabolismo de la planta

3 Clasificaciones del contenido de oxígeno en el suelo

1) Normoxia – El contenido de oxígeno en el suelo es suficiente

3 Clasificaciones del contenido de oxígeno en el suelo

- 1) **Normoxia** – El contenido de oxígeno en el suelo es suficiente
- 2) **Anoxia** – nada de oxígeno en el suelo
 - Encharcamiento prolongado

La anoxia es un problema en las huertas de palto del sur de Florida

- Los suelos son porosos
- Capa freática próxima a la superficie
- Lluvias fuertes frecuentes



Huerta de mango - Florida



Huerta de palto – Florida



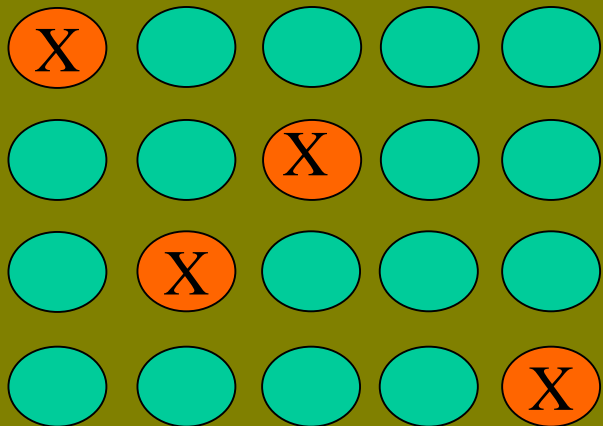
Los suelos llegan a ser rápidamente anóxicos



3 Clasificaciones del Contenido de Oxígeno en el Suelo

- 1) **Normoxia** – El contenido de oxígeno en el suelo es suficiente
- 2) **Anoxia** – nada de oxígeno en el suelo
 - encharcamiento prolongado
 - todas las plantas morirán eventualmente de anoxia

Paltos en Florida
después de una
inundación



El patrón aleatorio en la
muerte de árboles sugiere la
implicación de *Phytophthora*

P. cinnamomi fue encontrado en la mayoría de las huertas de palto en Florida

En Florida, *Phytophthora* no es un problema si la aireación del suelo es adecuada



Interacción entre encharcamiento (bajo contenido de oxígeno en el suelo) y *Phytophthora*

3 Clasificaciones del Contenido de Oxígeno en el Suelo

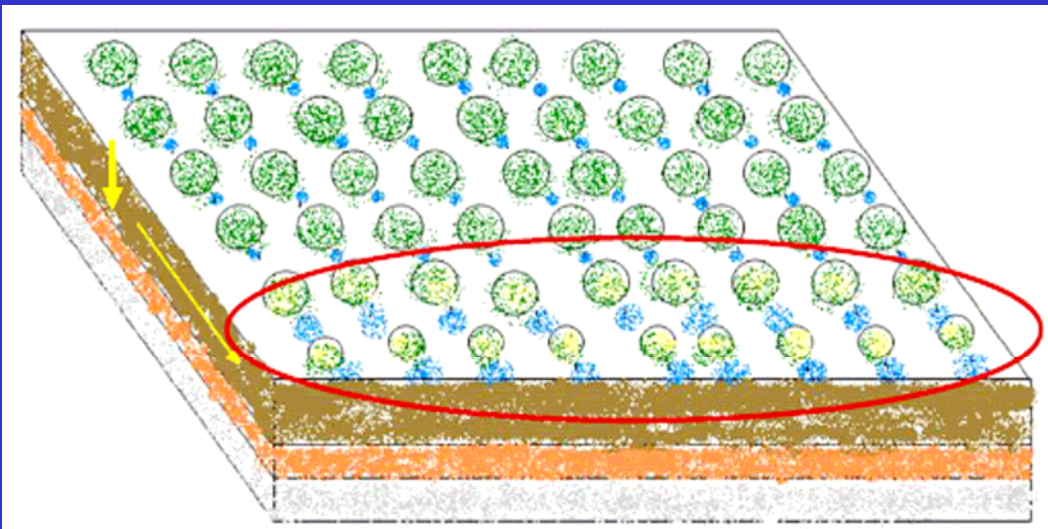
- 1) **Normoxia** – El contenido de oxígeno en el suelo es suficiente
- 2) **Anoxia** – nada de oxígeno en el suelo
 - encharcamiento prolongado
 - todas las plantas morirán eventualmente de anoxia
- 3) **Hipoxia** – bajo contenido de oxígeno en el suelo
 - encharcamiento temporal o drenaje pobre (o lento) del suelo

El Problema en Huertas de Palto en Chile - Hipoxia?

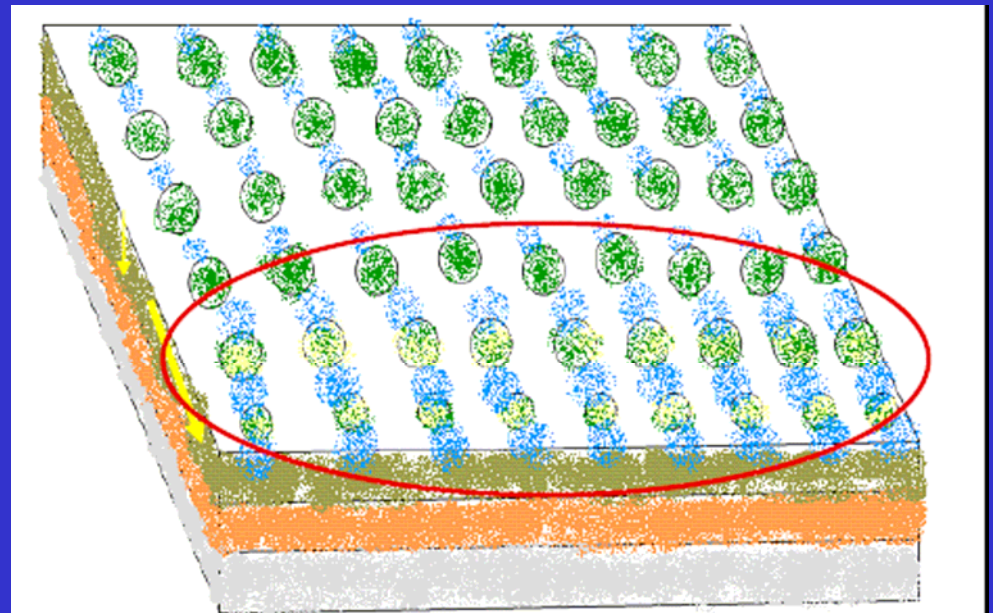


**Aireación pobre en
huertas de palto en Chile**

Fotos: Pilar Gil



En Chile, la distribución agrupada de los árboles muertos sugiere hipoxia prolongada o anoxia



3 Clasificaciones del Contenido de Oxígeno en el Suelo

1) **Normoxia** – El contenido de oxígeno en el suelo es suficiente

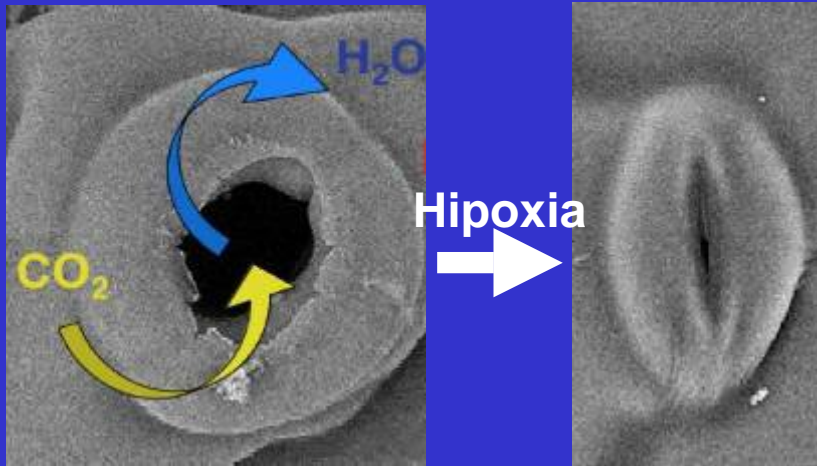
2) **Anoxia** – nada de oxígeno en el suelo

- encharcamiento prolongado
- todas las plantas morirán eventualmente de anoxia

3) **Hipoxia** – bajo contenido de oxígeno en el suelo

- encharcamiento temporal. Drenaje pobre o lento del suelo
- muchas especies de plantas tienen mecanismos fisiológicos, anatómicos, morfológicos y/o bioquímicos para adaptarse a la hipoxia

Adaptaciones fisiológicas a la Hipoxia



Cierre estomático

Menos pérdida de agua de la hoja

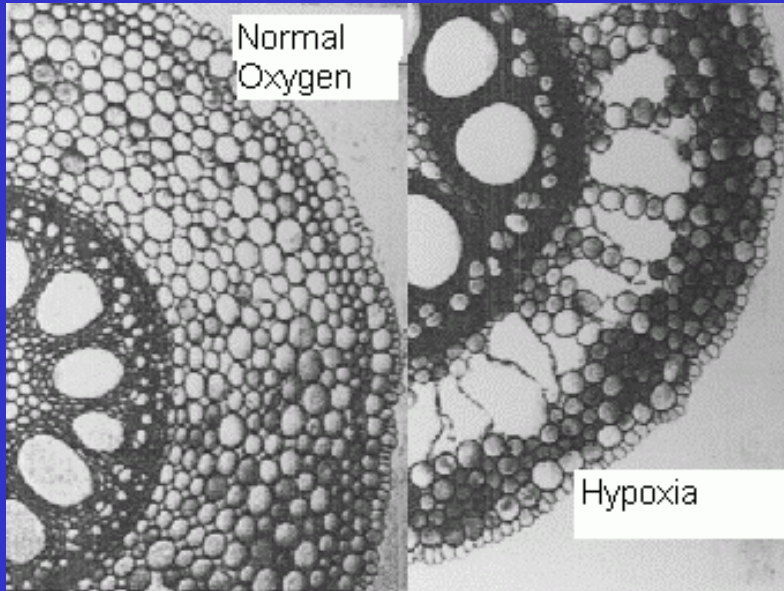
Epinastia de hojas

Protege las hojas contra el sol directo y el calor - reduce la transpiración

Los paltos presentan estas adaptaciones



Adaptaciones Anatómicas y Morfológicas a la Hipoxia



Producción de aerénquima
-Aumento del movimiento de oxígeno en los vástagos

Ejemplo: *Annona glabra* →

Portainjerto potencial para otras especies de *Annona* (i.e., Atemoya)

Sobrevive con las raíces sumergidas > 12 meses

Schaffer, 1998



Adaptaciones Anatómicas y Morfológicas a la Hipoxia

Producción de raíces adventicias



Ejemplo: Manglar



Adaptaciones Anatómicas y Morfológicas a la Hipoxia

Lenticelas hipertrofiadas



Ejemplo: *Mangifera indica*



Funciones:

Incremento de O_2 a las raíces:

Excreción de productos químicos tóxicos

Larson, Davies, y Schaffer, 1991

Larson, Schaffer, y Davies, 1993

Palto – Cómo evitar el estrés por déficit de oxígeno en el suelo

Adaptaciones fisiológicas

Cierre estomático

Epinastia de hojas

Adaptaciones Anatómicas y Morfológicas

???

Adaptaciones Moleculares o Bioquímicas

???

Tolerancia de algunas frutas subtropicales y tropicales al déficit de oxígeno en el suelo

Tolerante	Moderada Tolerancia	Ninguna Tolerancia
<i>Psidium guajava</i>	<i>Litchi chinensis</i>	Palto <i>Persea americana</i>
<i>Manilkara zapota</i>	<i>Dimocarpus longan</i>	<i>Pouteria sapota</i>
<i>Cocos nucifera</i>	<i>Citrus latifolia</i>	<i>Annona squamosa</i>
<i>Citrus</i> sp. (grafted)	<i>Pouteria campechiana</i>	<i>Carica papaya</i>
	<i>Mangifera indica</i>	<i>Passiflora edulis</i>
	<i>Averrhoa carambola</i>	<i>Artocarpus altilis</i>

Qué sucede a las plantas cuando el contenido de oxígeno en el suelo es bajo (Hipoxia o Anoxia)?

- 1) Se altera el metabolismo radical
- 2) Se inhibe el metabolismo de vástagos y hojas
- 3) Disminuye la absorción de agua y minerales
- 4) Se reduce el crecimiento vegetal y la producción
- 5) Muerte de órganos y, eventualmente, de plantas enteras

Muchos de estos acontecimientos ocurren simultáneamente

Los primeros efectos del déficit de oxígeno en el suelo se manifiestan en la respiración de la raíz

- Se inhibe la respiración radical

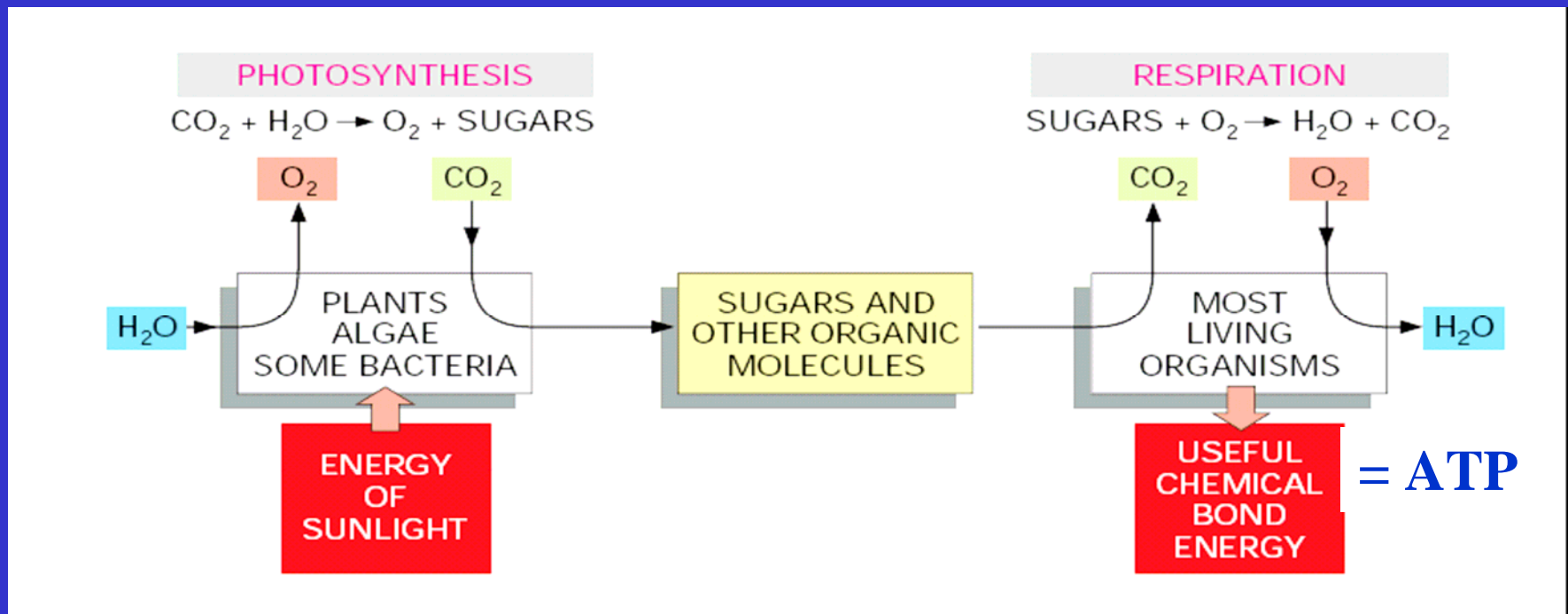


Diagrama simplificado de la respiración de la planta

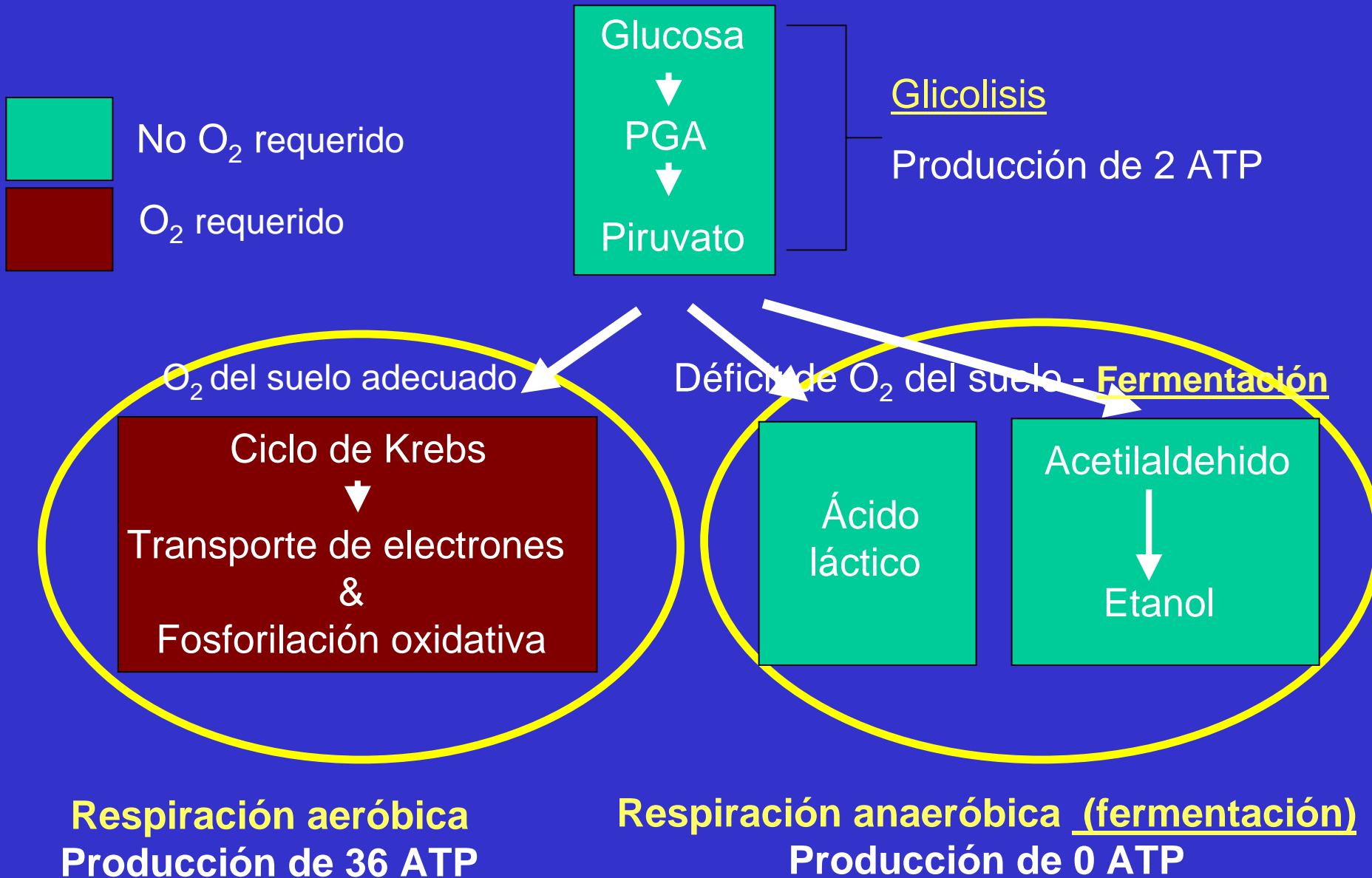
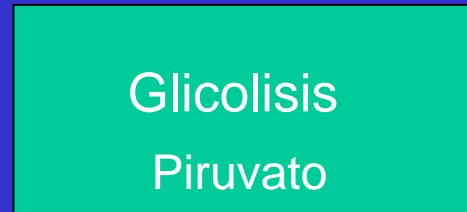


Diagrama simplificado de la respiración anaeróbica (fermentación)



Fermentación ácido láctica



Si las condiciones anaeróbicas persisten:
Disminuye el pH en la célula y muere

Acidosis citósolica

Diagrama simplificado de la respiración anaeróbica (fermentación)

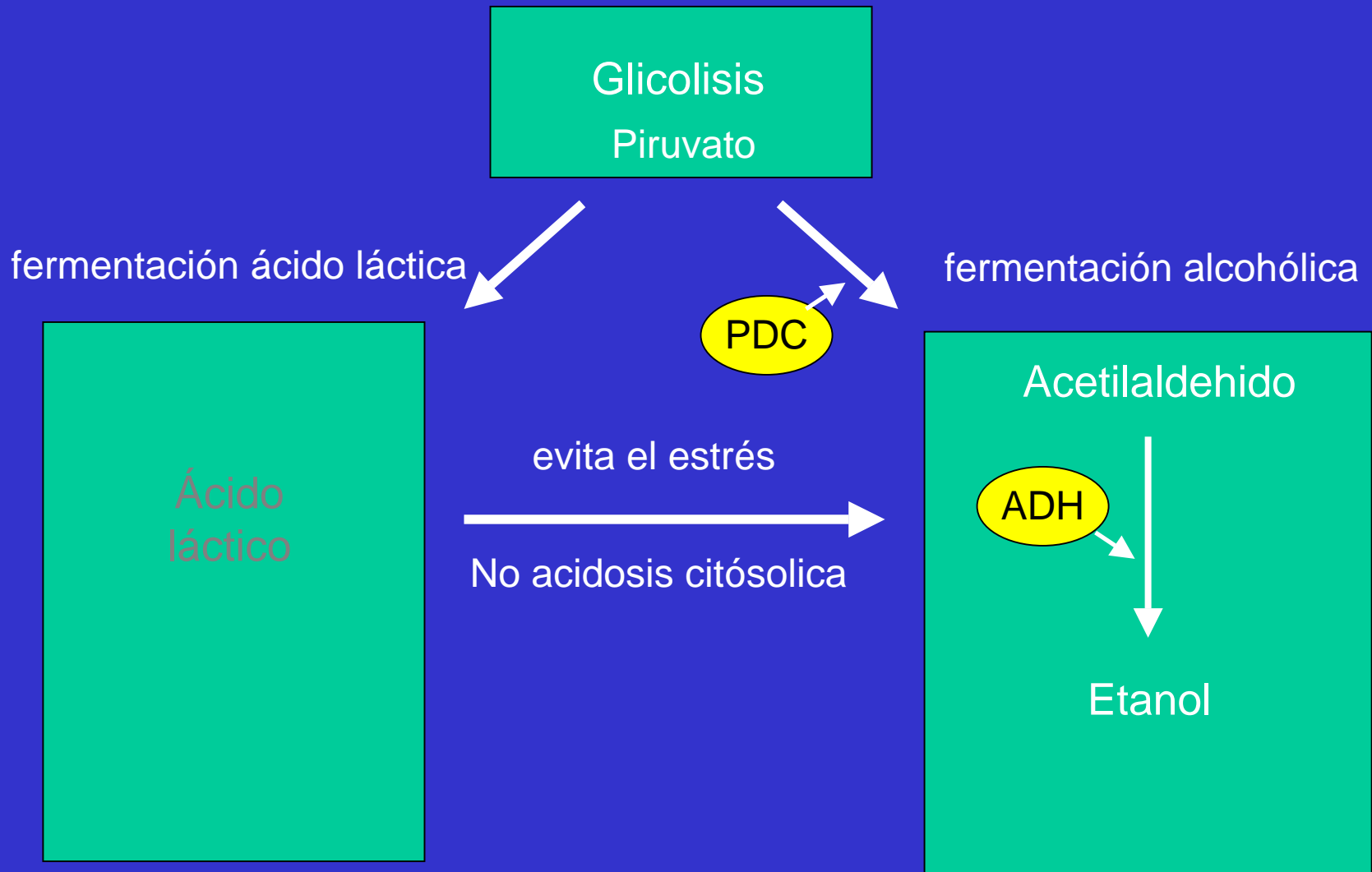


Diagrama simplificado de la respiración anaeróbica (fermentación)

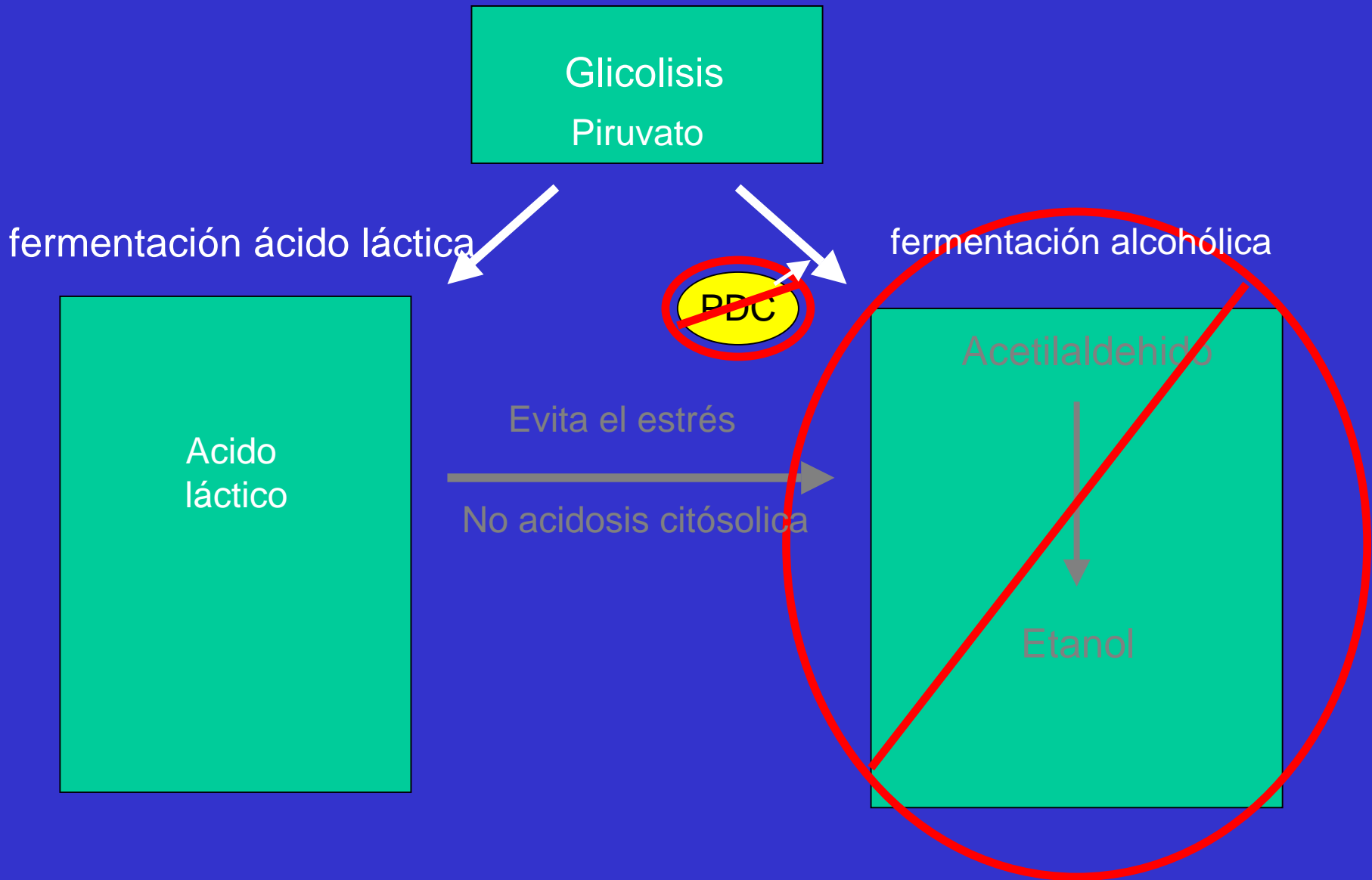
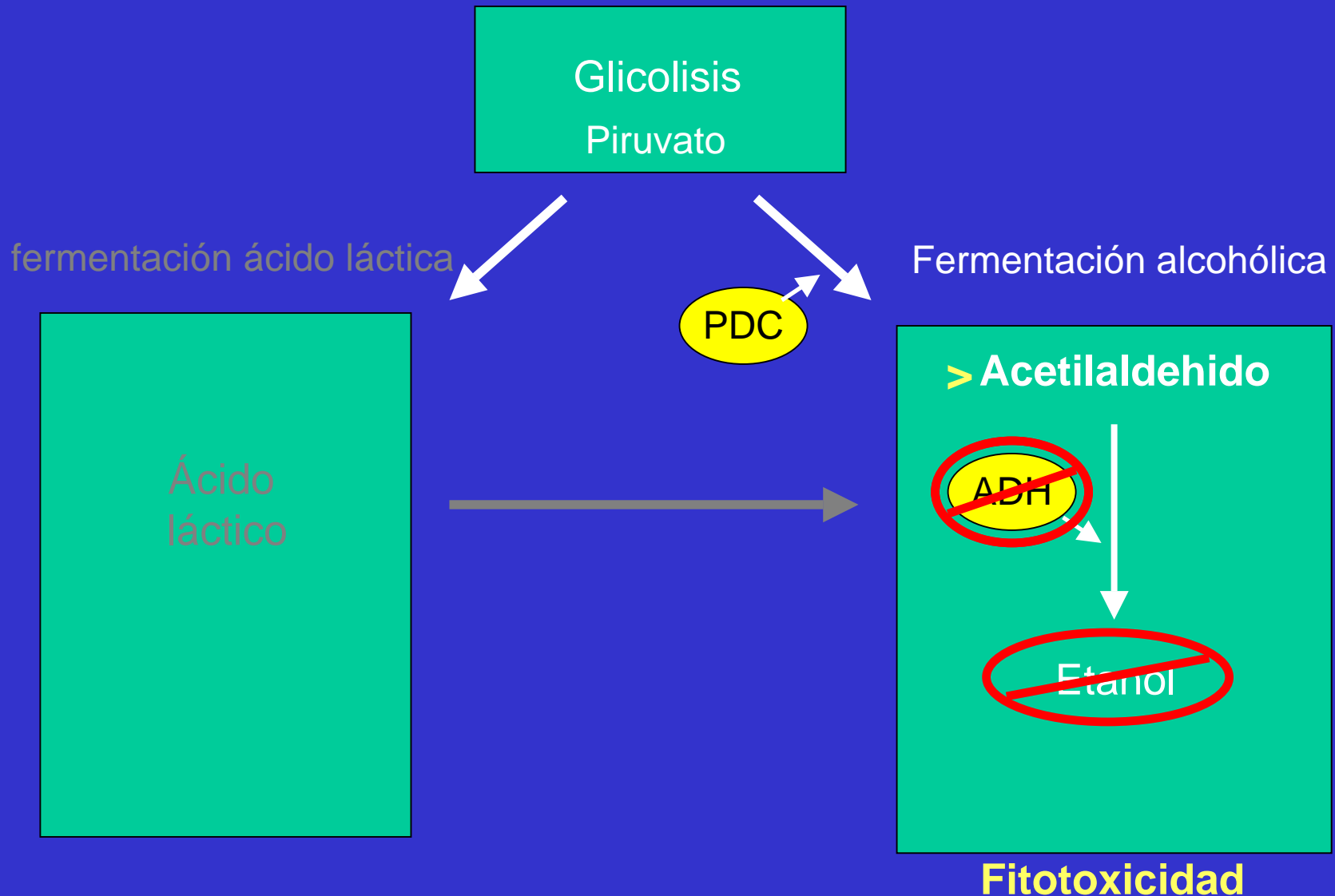


Diagrama simplificado de la respiración anaeróbica (fermentación)



Etileno

Implicado en muchas respuestas de la planta al déficit de oxígeno en el suelo

Biosíntesis Del Etileno



Biosíntesis Del Etileno - Hipoxia

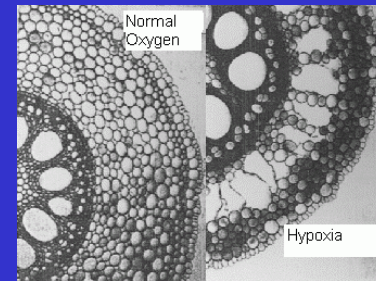


Cómo etileno evita el estrés

Epinastia de hoja



Producción de aerénquima



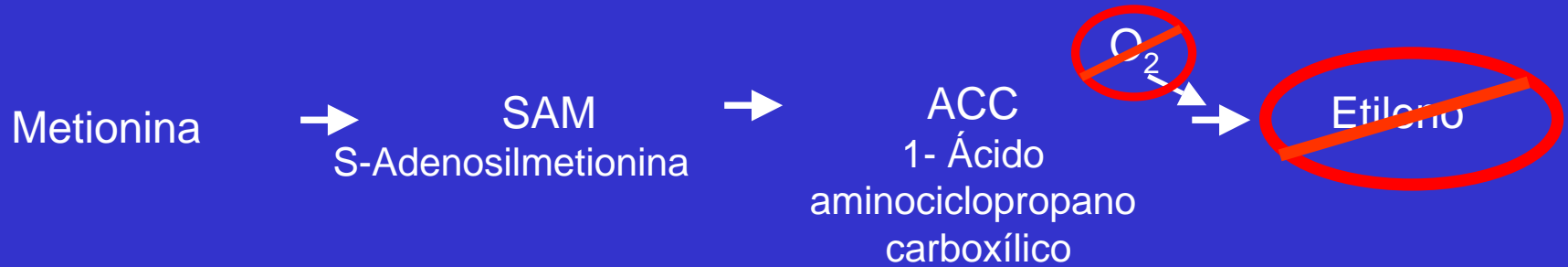
Producción de raíces adventicias



Lenticelas hipertrofiada



Biosíntesis Del Etileno - Anoxia



Anoxia

Reducción en ACC y etileno

Ninguna respuesta adaptativa al déficit de O_2

La actividad de la enzima alcohol deshidrogenasa y la síntesis de etileno son muy importantes para evitar el estrés por déficit de oxígeno en el suelo

Avances Moleculares Recientes

Recientemente, un gen que aumenta los niveles de la enzima alcohol deshidrogenasa y la producción de etileno en arroz tolerante al encharcamiento fue aislado y clonado

¡La inserción del gen en las plantas de arroz sensibles al encharcamiento las hizo tolerantes!

Xu, et al., 2006

Intercambio de gases en hoja – Primera respuesta medible al déficit de oxígeno en el suelo



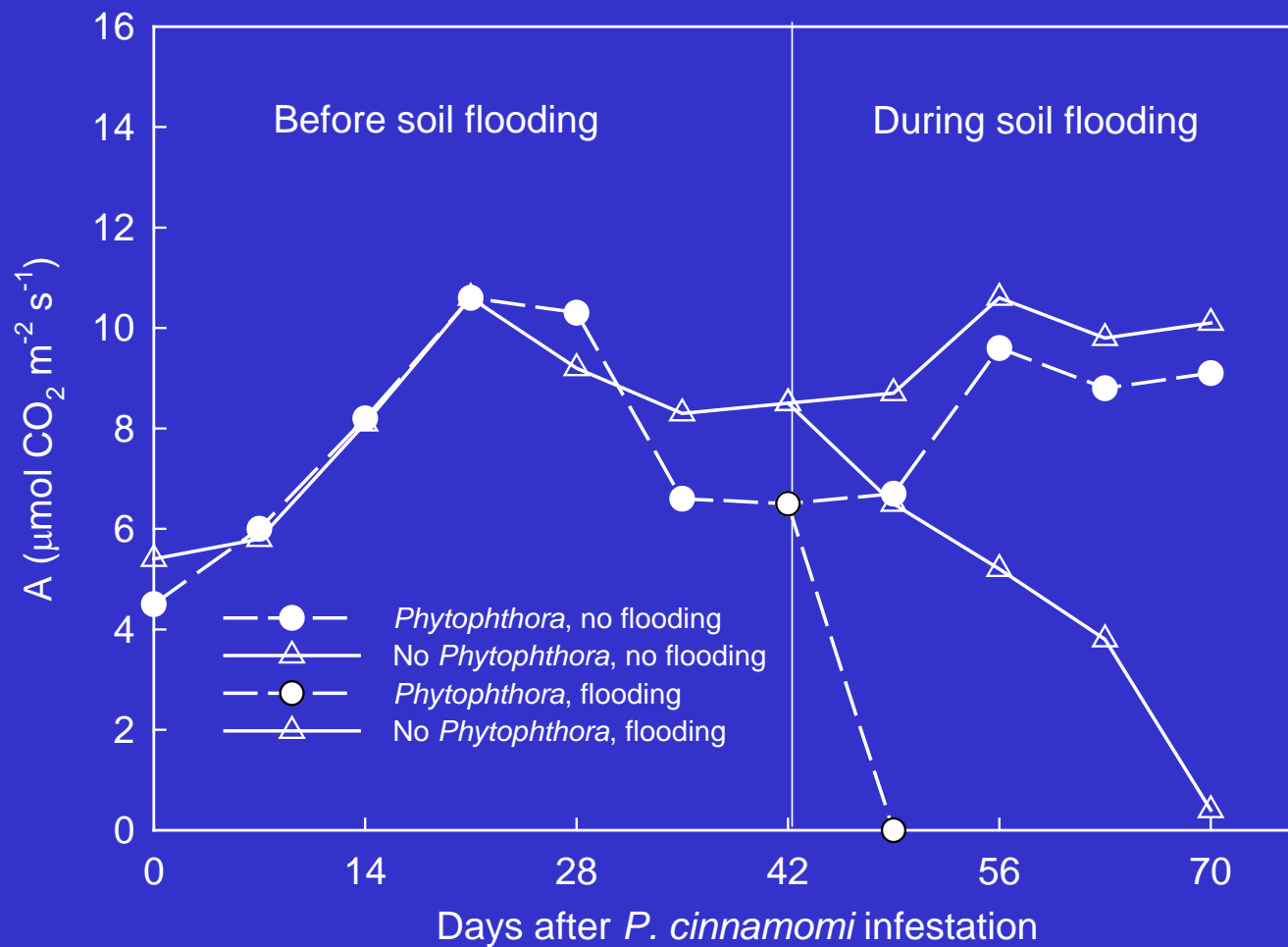
Analizador de gases portátil para la determinación de la fotosíntesis y de la transpiración

El intercambio de gases en la hoja es un indicador de la respuesta de una planta al déficit de oxígeno en el suelo antes de que aparezca cualquier síntoma visible

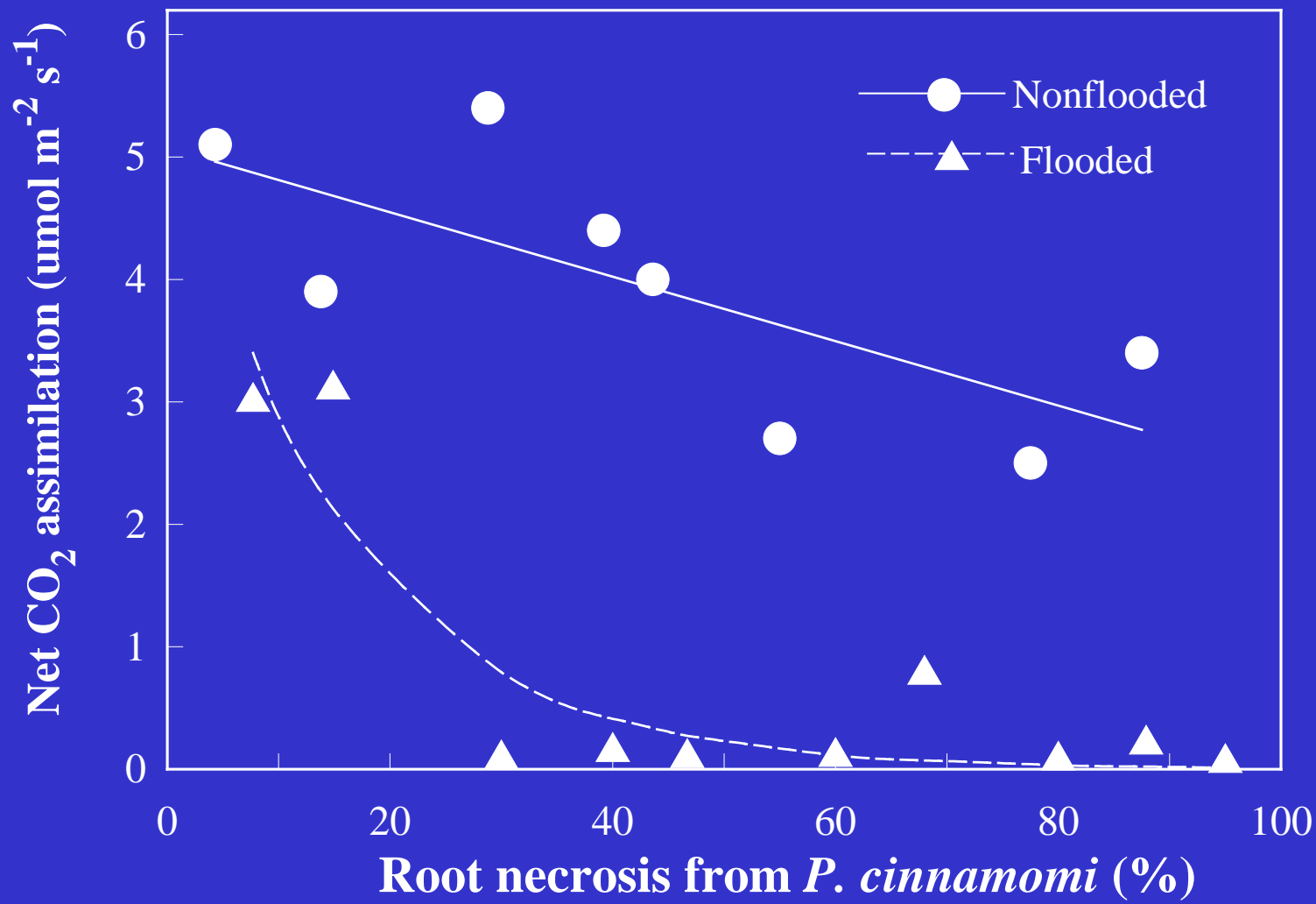
Pilar Gil determinando el intercambio de gases en hojas de Palto en Florida



Efecto del encharcamiento y de *Phytophthora* en el suelo de Florida sobre la fotosíntesis de palto



Efecto del encharcamiento y de *Phytophthora* en el suelo de Florida sobre la fotosíntesis de palto

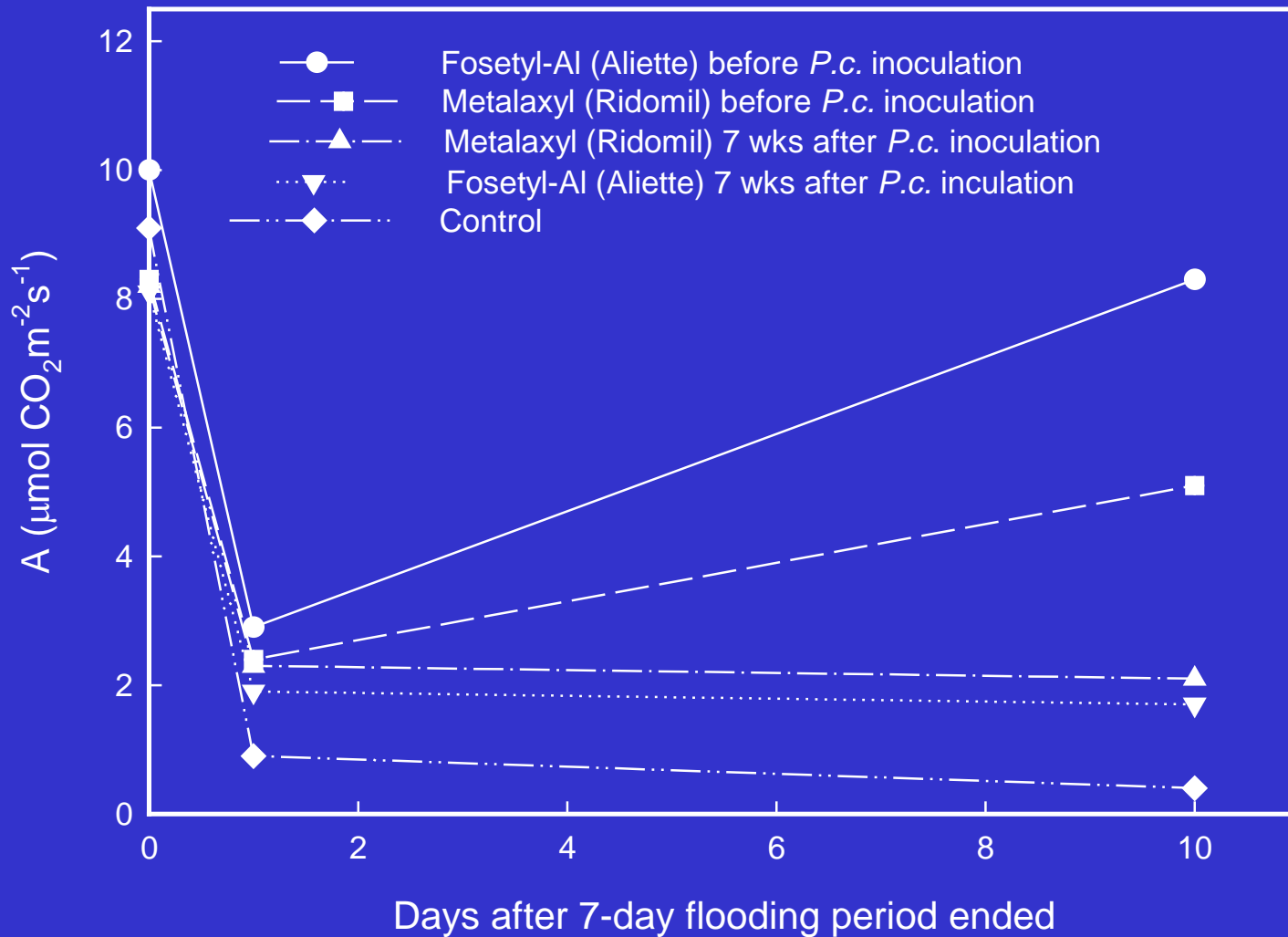


En suelos donde hay interacción encharcamiento x Phytophthora

Los fungicidas preventivos pueden mejorar la recuperación del árbol al encharcamiento



Efecto de los fungicidas en la recuperación del palto al encharcamiento en el suelo de Florida



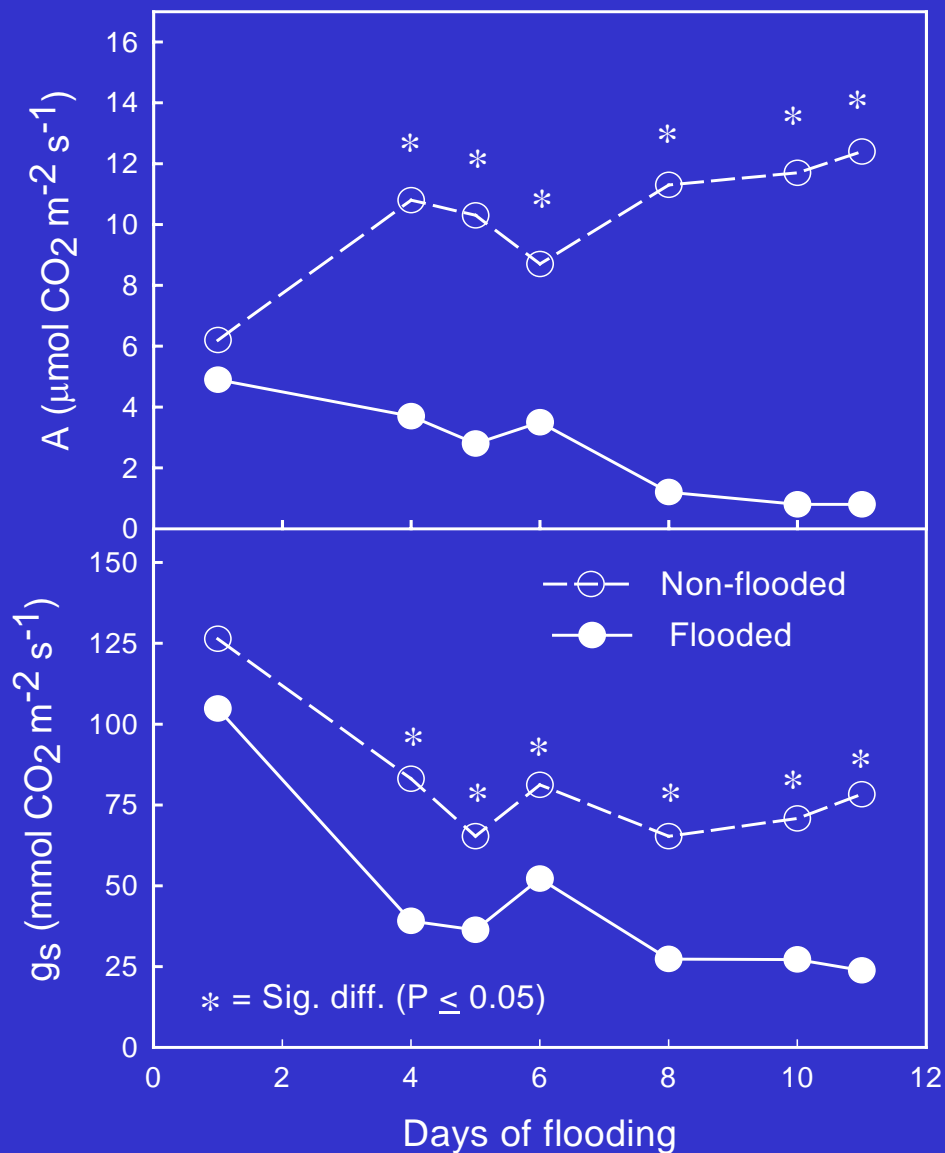
En áreas donde hay una interacción entre el encharcamiento y *Phytophthora*, el uso de fungicidas para prevenir daños por encharcamiento no es práctico porque:

- Es muy caro
- *Phytophthora* no es un problema en suelos bien aireados de Florida cuando no están encharcados

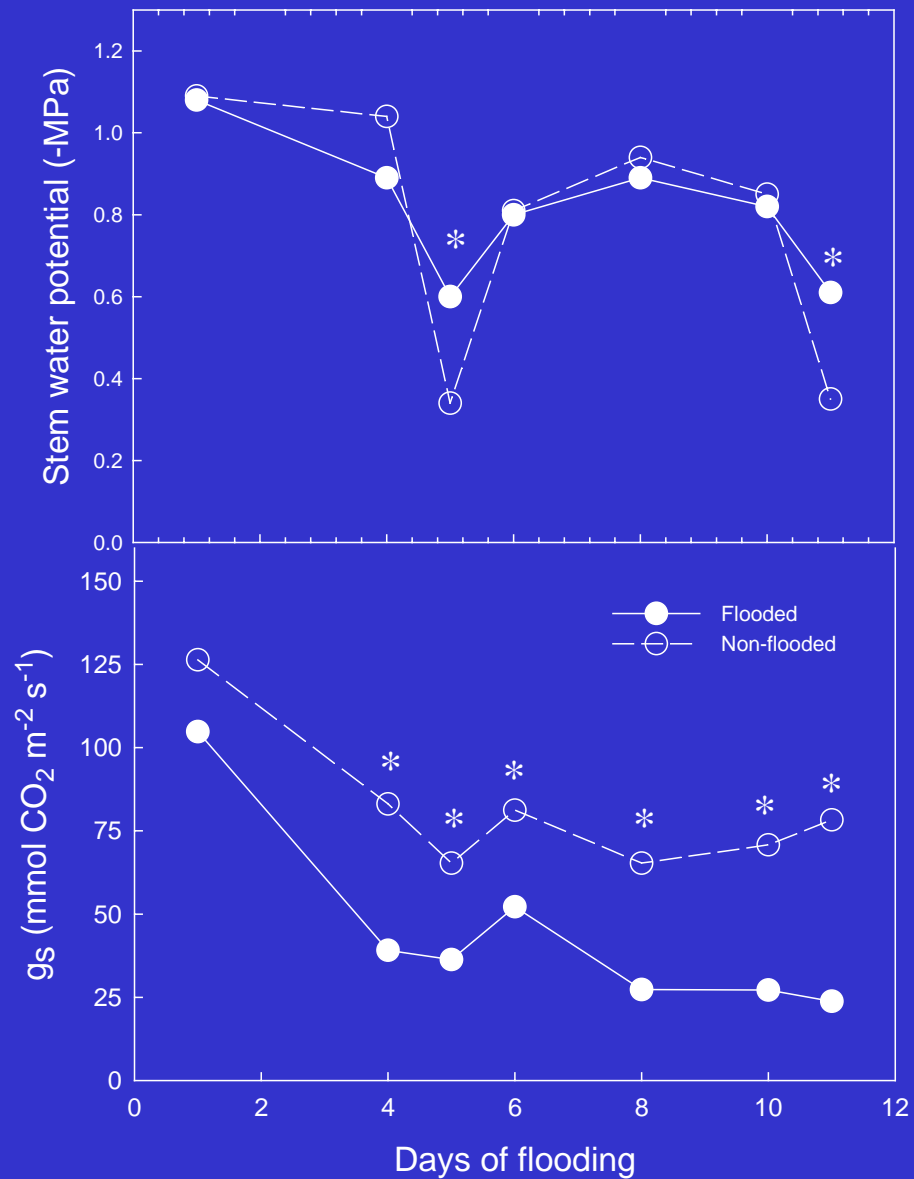
En estas áreas, el uso de los potainjeros resistentes de *Phytophthora* es una aproximación práctica para reducir daño potencial por encharcamiento

Sin embargo: ¡El déficit de oxígeno en el suelo solamente (sin *Phytophthora*) también puede estropear y matar eventualmente a los árboles!

Efecto del encharcamiento en el intercambio de gases en la hoja de palto en un suelo con un alto contenido en materia orgánica – No *Phytophthora*



Potencial hídrico en el xilema y conductancia estomática (gs) de palto



Efecto del déficit de oxígeno en el suelo sobre el contenido de nutrientes en hojas de palto cv. Hass

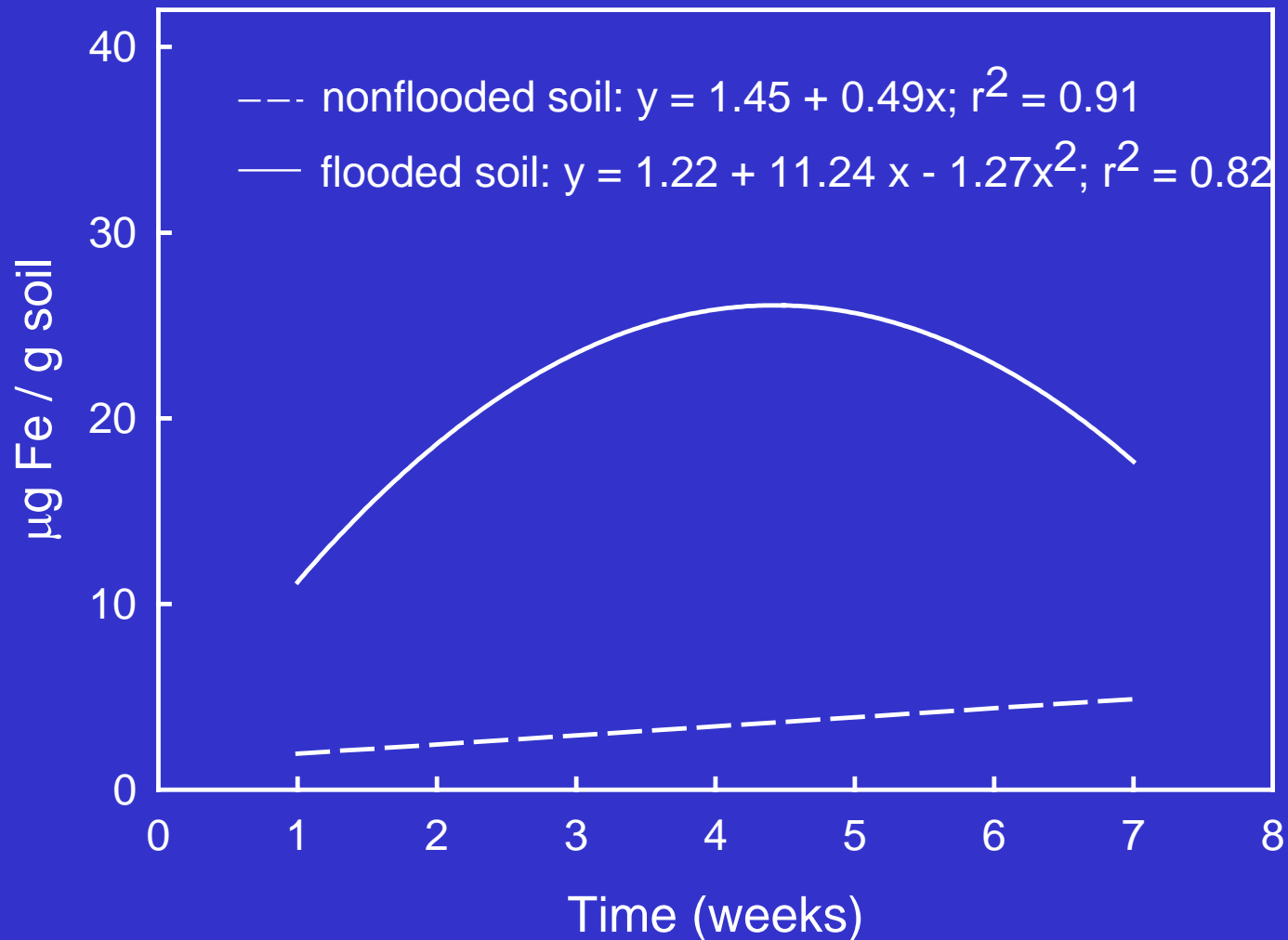
	Elemento	O ₂ contenido del suelo alto (21%)	O ₂ contenido del suelo bajo (2.5%)	Sig.
Concentración de nutrientes en las hojas	N (%)	2.0	1.9	**
	P (%)	0.12	0.10	***
	K (%)	0.74	0.60	***
	Ca (%)	1.6	1.4	***
	Mg (%)	0.61	0.51	***
	Zn (ppm)	27	21	***
	Mn (ppm) *	95	66	***

*La concentración de manganeso en las hojas a veces aumenta cuando el contenido de O₂ en el suelo es bajo

Efecto del déficit de oxígeno en el suelo en sobre el contenido de nutrientes en hojas de palto cv. Hass

	Elemento	O ₂ contenido del suelo alto (21%)	O ₂ contenido del suelo bajo (2.5%)	Sig.
Concentración del nutrientes de la hojas	N (%)	2.0	1.9	**
	P (%)	0.12	0.10	***
	K (%)	0.74	0.60	***
	Ca (%)	1.6	1.4	***
	Mg (%)	0.61	0.51	***
	Zn (ppm)	27	21	***
	Mn (ppm)	95	66	***
	Fe (ppm)	39	47	***

Efecto del Encharcamiento sobre el Hierro Disponible en Suelo Calcáreo





En suelos con pH altos, la deficiencia de Fe es frecuente

El encharcamiento por un corto periodo de tiempo (hipoxia) puede mejorar la asimilación de hierro

- Reducción de Fe^{3+} a Fe^{2+} en el suelo
- Fe es más soluble

El encharcamiento o la escasa aireación del suelo por un largo periodo de tiempo puede causar toxicidad por hierro

Resumen de los efectos del déficit de oxígeno en el suelo sobre la concentración de nutrientes en hojas de palto

- 1) En suelos con bajos contenidos de O_2 disminuye la concentración de la mayoría de los elementos en las hojas
- 2) En suelos con un bajo contenido de O_2 , el Mn y el Fe se reducen y son más solubles y absorbidos más fácilmente por las plantas
- 3) La hipoxia generalmente aumentó la concentración de Fe en las hojas
- 4) Sin embargo, la hipoxia unas veces disminuye y otras aumenta la concentración de Mn en la hojas
-¿por qué?

Fe y Mn son absorbidos activamente por las raíces de palto. Cuando el contenido de O_2 en el suelo es bajo, la absorción de Fe se ve favorecida frente a la de Mn

Efecto del déficit de oxígeno en el suelo en el crecimiento de portainjertos de aguacate 'Hass'

	Contenido alto de O ₂ en el suelo (21%)	Contenido bajo de O ₂ en el suelo (2.5%)	Sig.
Hojas (g)	23.7	21.0	NS
Vástagos (g)	26.4	23.9	NS
Raíces (g)	38.0	22.2	***
Total planta (g)	88.1	67.0	***

Slowik et al., 1979

Efecto del encharcamiento en el crecimiento de 'Simmonds' sobre el portainjerto 'Waldin'

	No encharcado	Encharcado	Sig.
Hojas y vástagos (g)	32.6	28.2	NS
Raíces (g)	19.3	8.5	***
Total Planta (g)	51.9	36.9	***

Ploetz y Schaffer, 1989

Muerte de paltos 'Beta'
después de 10 días de
inundación



Gil y Schaffer, 2006

Después de 10 días de encharcamiento:

Las plantas 'Beta' murieron

¡Las plantas 'Hass' sobrevivieron!

-Los dos sobre Portainjerto 'Waldin'

Gil y Schaffer, 2006

Razón más probable:

Las plantas 'Hass' eran más vigorosas antes de encharcarlas



'Beta' sobre Waldin



'Hass' sobre Waldin

Cv.	fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
Beta	6.2 ± 3.9
Hass	12.2 ± 1.5
Sig.	**

Efecto del encharcamiento en el crecimiento del vástago y en la producción de 'Hass' en una huerta en Israel

	Sin inundación	Inundación
Circunferencia del tronco (cm)	348.9	311.3
Número medio de fruta por árbol	121.4	69.5

Zamet, 1997

Muerte de árboles de palto en huertas como resultado de anoxia o hipoxia por un largo periodo de tiempo



Photo: P. Gil

Muerte de árboles de palto en huertas como resultado de anoxia o hipoxia por un largo periodo de tiempo

Factores que afectan a la mortalidad de los árboles en las huertas :

- Tipo de suelo (porosidad y química)
- Grado y duración de la hipoxia o de la anoxia
- Presencia o ausencia de *P. cinnamomi*
- Portainjertos
- Factores Climaticos (temperatura, humedad)
- Relación Raíz/Tronco y Raíz/Copa
- Edad de Planta o Estado de Desarrollo
- Vigor del Vástago?

Posible Solución a los Problemas del Déficit de Oxígeno en el Suelo en Huertas de Palto

Necesidad de Clones de Portainjertos Resistentes al Déficit de Oxígeno en el Suelo

La mayoría de la selección y del desarrollo de portainjertos de palto se ha realizado para la resistencia a *Phytophthora* o para la tolerancia a la salinidad

Necesidad de los Portainjertos Clónicos Resistentes al Oxígeno Bajo del Suelo

La mayoría de la selección y del desarrollo de portainjertos de palto se ha realizado para la resistencia a *Phytophthora* o para la tolerancia a la salinidad

“La producción de palto casi ha desaparecido de la mayoría de los sitios donde la aireación está limitada ... son los suelos más que los portainjertos los que se deben seleccionar para superar este problema”

Ben-Ya-acov y Michelson, Hort. Rev., 1995

!!!Ahora, esto no es cierto!!!

Debido a:

- El rápido crecimiento en los tamaños y números de huertas
- Cambio global del clima

No hay clones portainjertos de palto que sean muy tolerantes al bajo contenido de oxígeno en el suelo

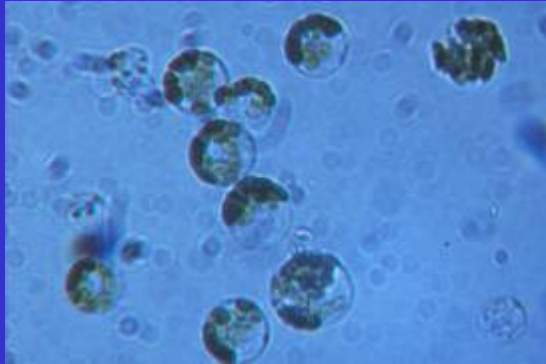
Persea borbonia



- Resistente a *Phytophthora*
- Moderadamente tolerante al bajo contenido de oxígeno en el suelo
- No se cruza sexualmente ni es compatible su injerto con *Persea americana*

Fusión de Protoplastos

Persea borbonia x *Persea americana*



Witjaksono y Litz, 1999

Preparación de suelos compactos o Pobremente Drenados

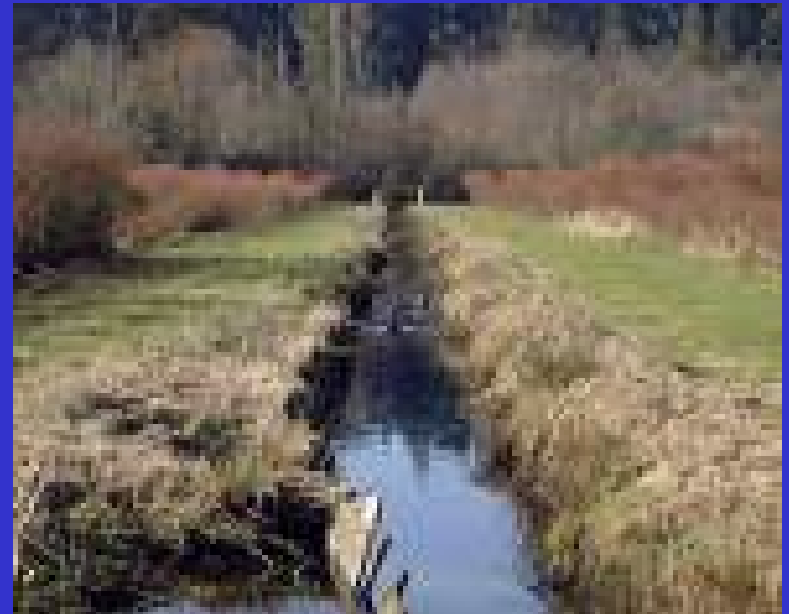
Subsolador



Aumenta la aireación en el suelo antes de plantar

Mejorar el drenaje del suelo antes de plantar

Instalación de zanjas de drenaje superficiales



Plantación de árboles en
bancales



Recomendación en Florida:

0.91 m alto x 0.09-1.5 m
ancho

Recolección de la Fruta y Poda

Puede ser la única solución posible frente a la inundación repentina de una huerta

Suprimir una porción de la copa reduce la demanda de transpiración en las raíces estresadas

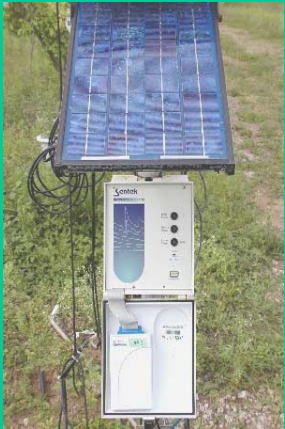
Es difícil saber cuánto quitar porque no podemos ver el sistema radical

Solución: Si es posible, retirar toda fruta y efectuar una poda severa



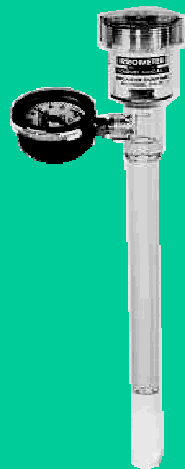
Manejo del riego

Medida de contenido del agua en el suelo

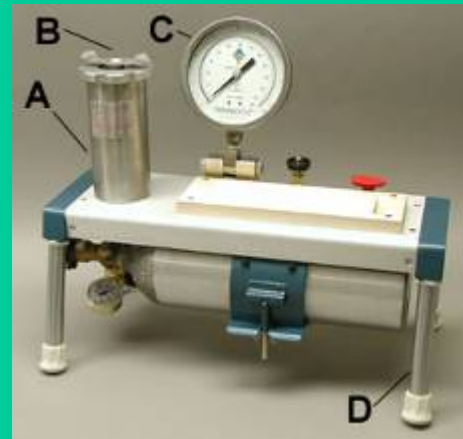


Sensores de la capacitancia

Tensiómetros



Medida del estado del agua de la planta



Bomba de Scholander



Dendrómetro electrónico



Sensores de la capacitancia en huertas de palto en Florida

Panel Solar

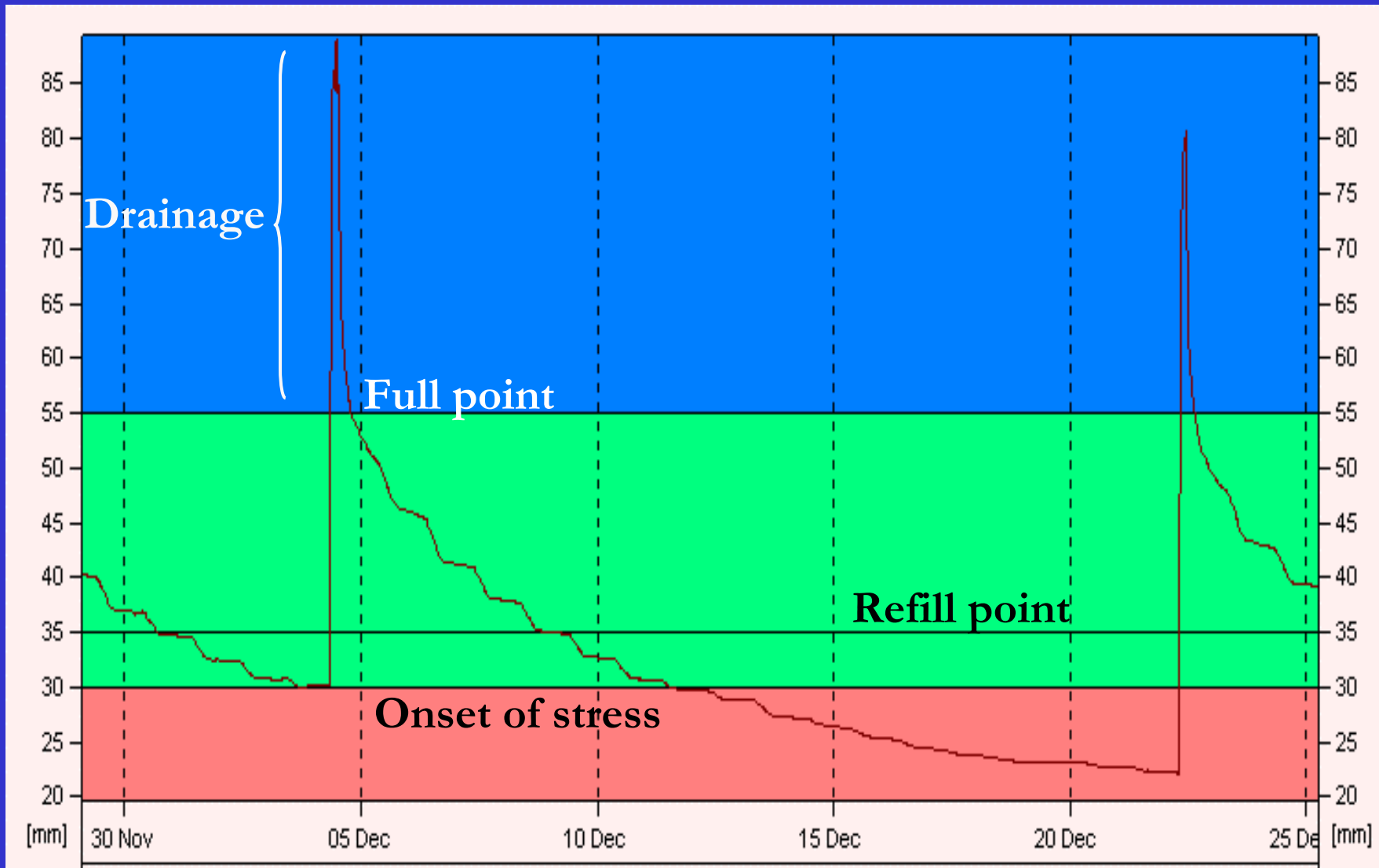


Almacenamiento de datos



Medidas Continuas del Contenido de Agua en el Suelo

Soil water content (%)



Date

Tensiómetros automáticos



A photograph of several avocados hanging from a tree branch, surrounded by green leaves. The avocados are dark green and have a bumpy texture. The background is filled with more green leaves, creating a dense, natural setting.

¡Gracias!