



Prof. Fábio M. DaMatta

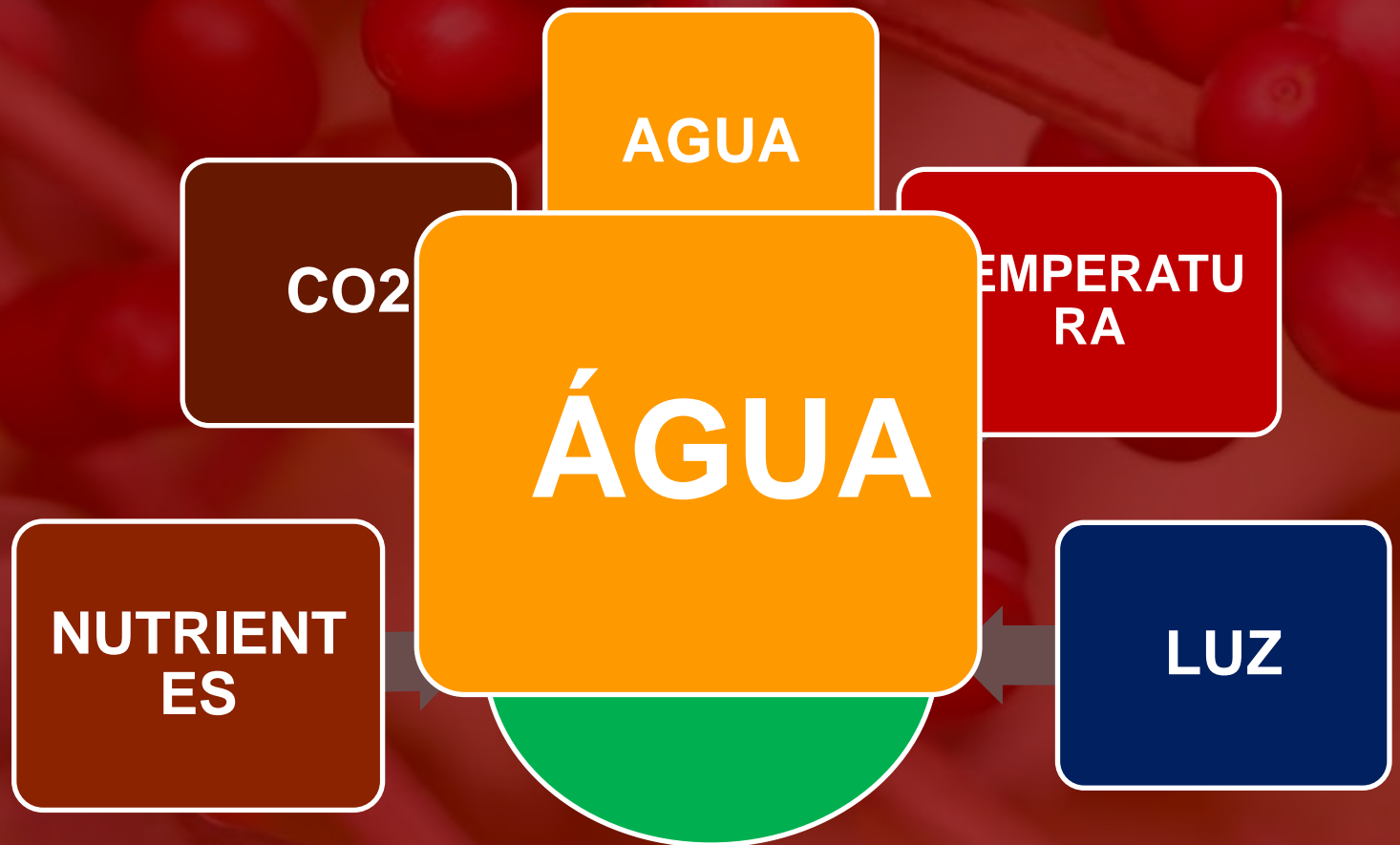
Departamento de Biologia Vegetal

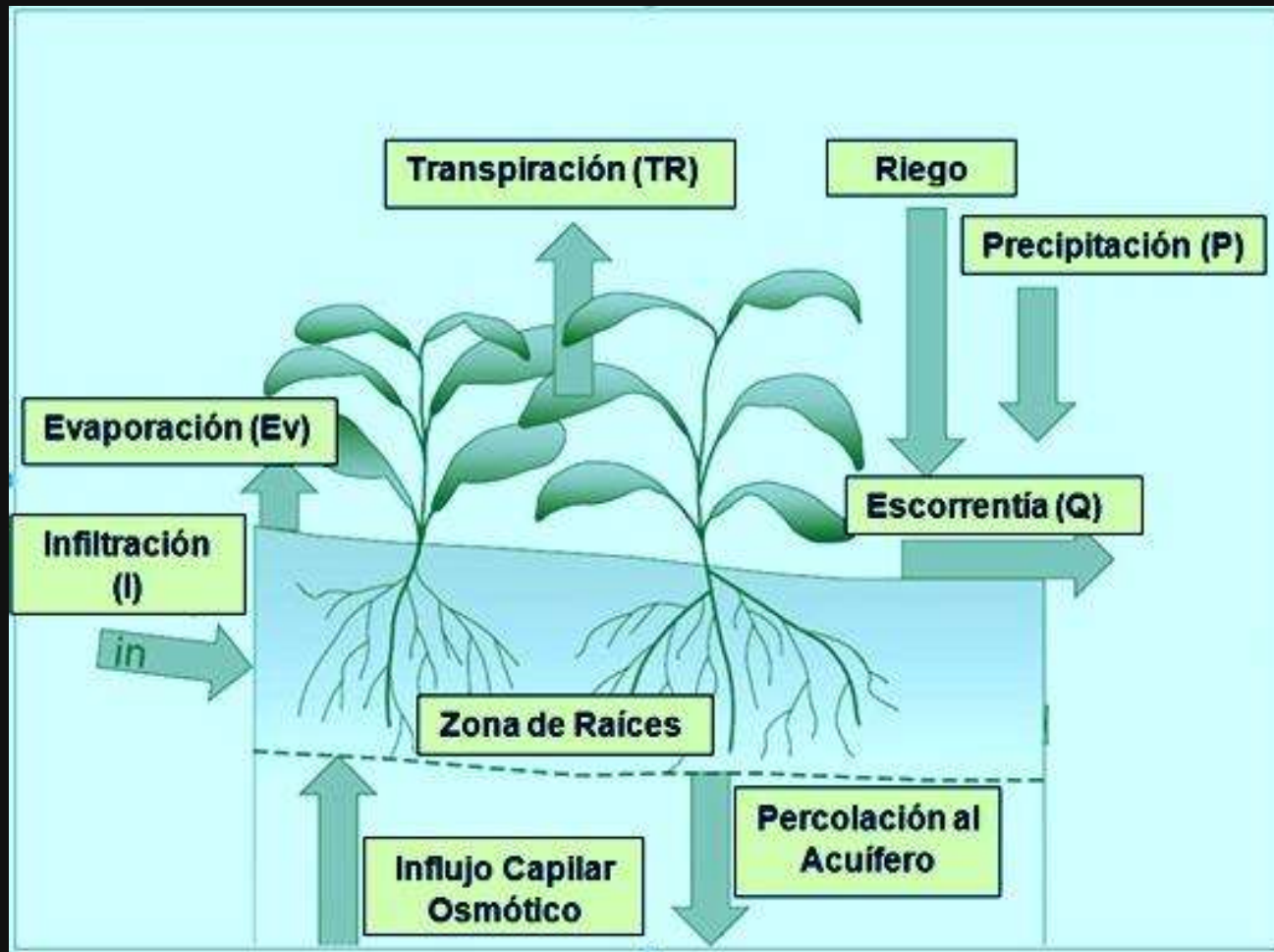
Universidade Federal de Viçosa - Brasil

E-mail: fdamatta@ufv.br

***Balance hídrico y
rendimiento del
café bajo
deficiencia
hídrica***

Crecimiento/desarrollo de las plantas



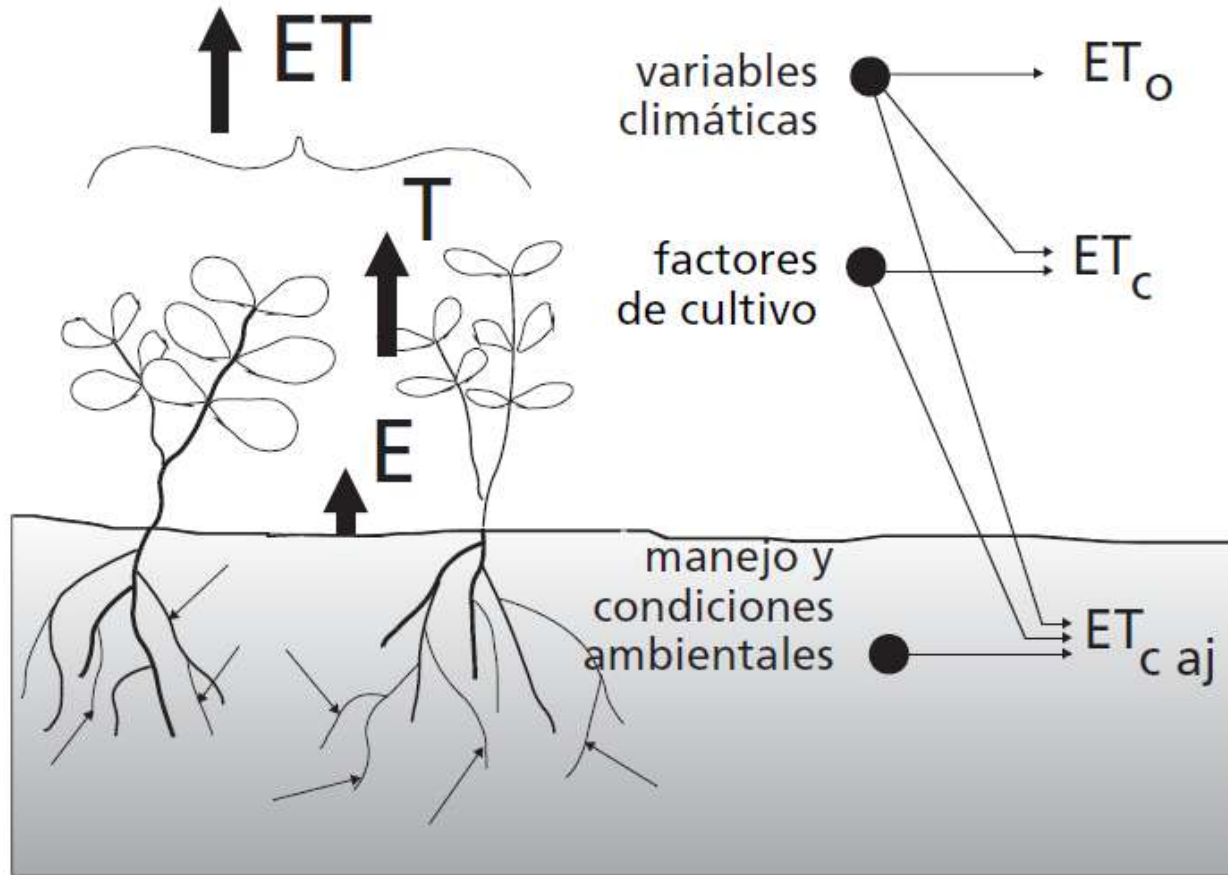


Balance de agua



FIGURA 3

Factores que afectan la evapotranspiración con referencia a conceptos relacionados de ET



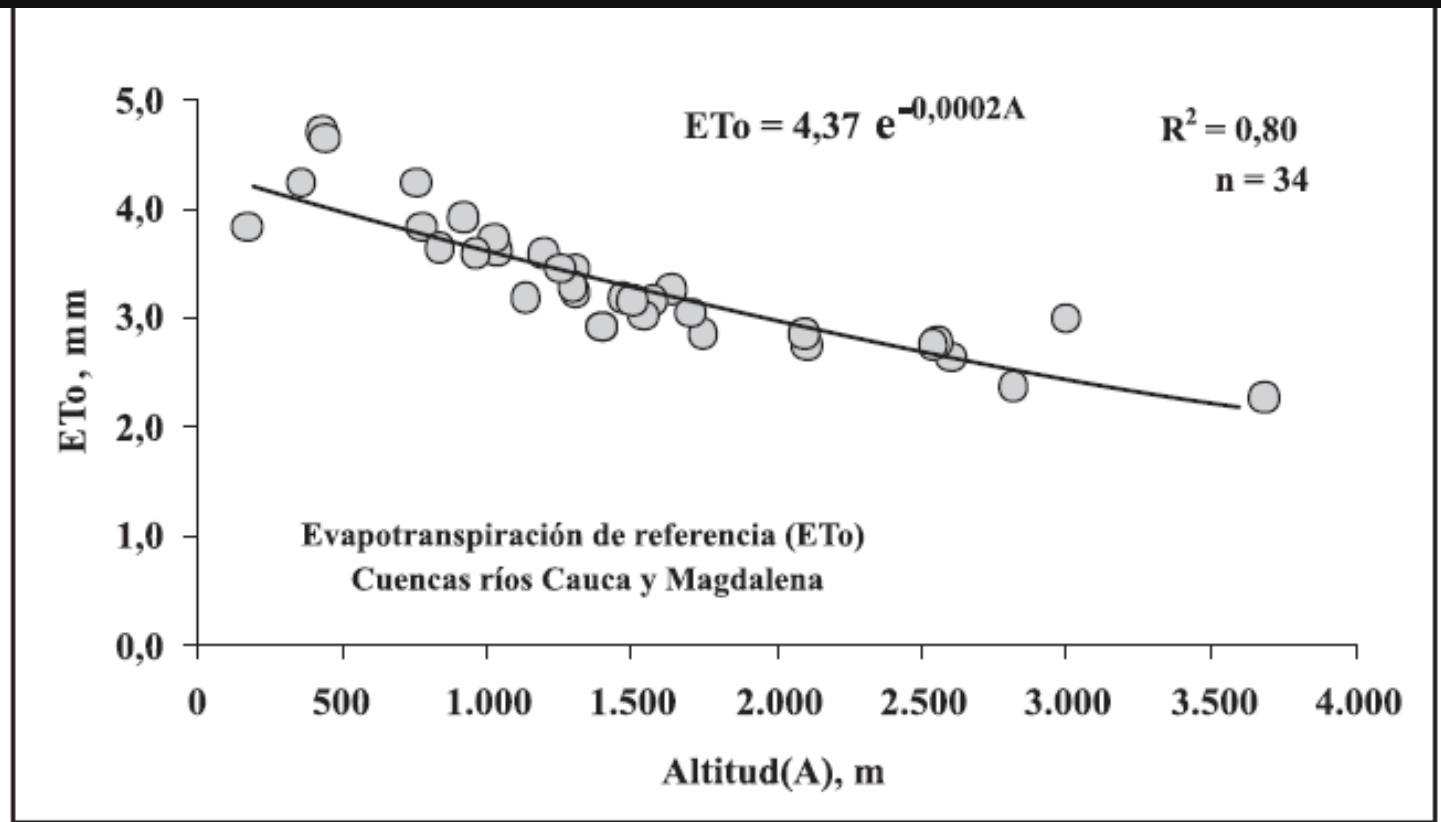
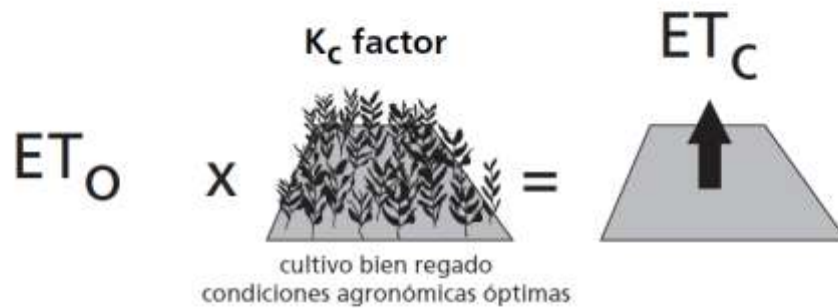


Figura 1. Relación entre la evapotranspiración de referencia (ETo) y la altitud (m) para las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena.





Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0), bajo condiciones estándar (ET_c) y bajo condiciones no estándar ($ET_{c\ aj}$)



Evapotranspiración real ó del cultivo

$$ET_{real} = ET_r * Kc$$

The diagram illustrates the equation $ET_{real} = ET_r * Kc$. The term ET_r is circled in red. Below ET_r is a box labeled 'CLIMA' with an upward arrow. Below Kc is a box labeled 'CULTIVO' with an upward arrow.

donde:

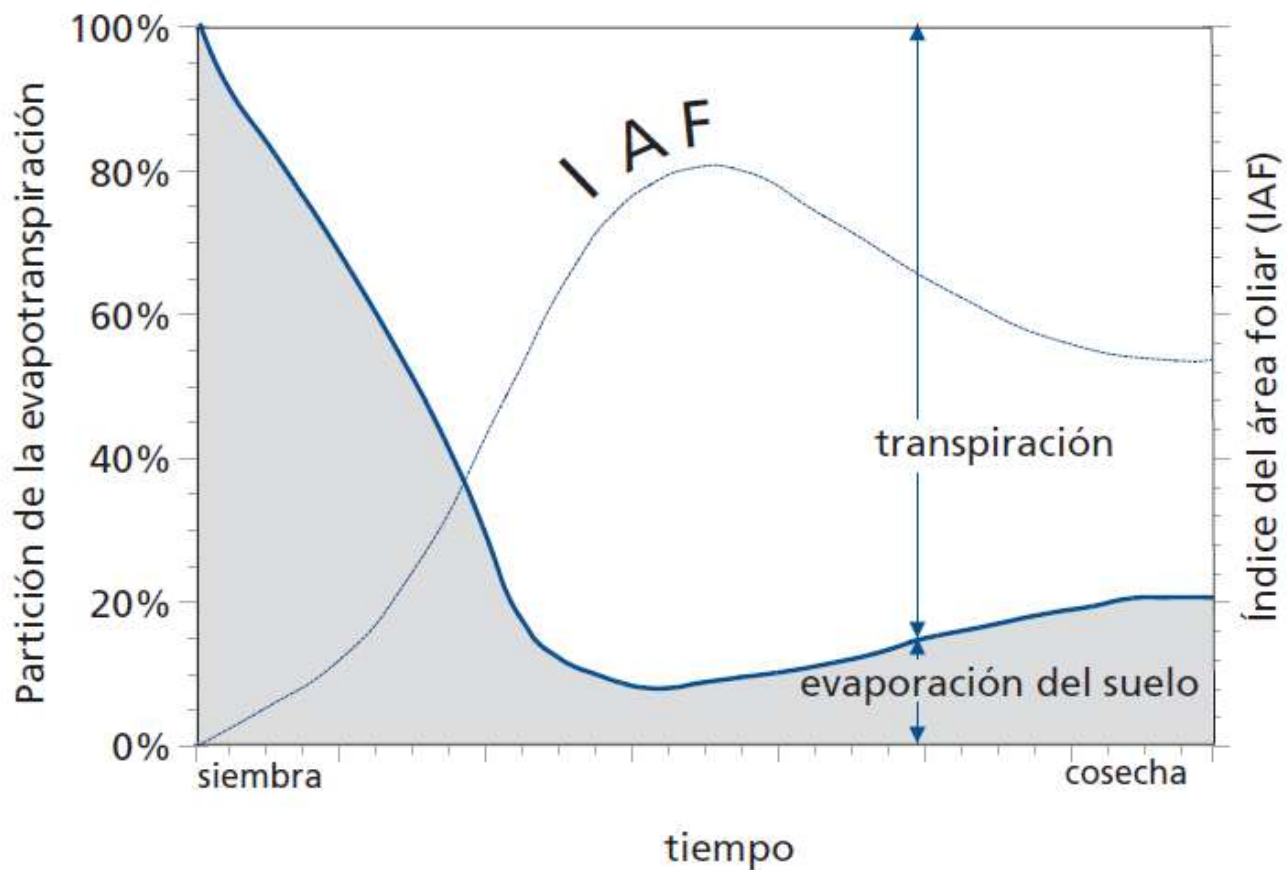
ET_{real} = evapotranspiración real del cultivo (mm/d)

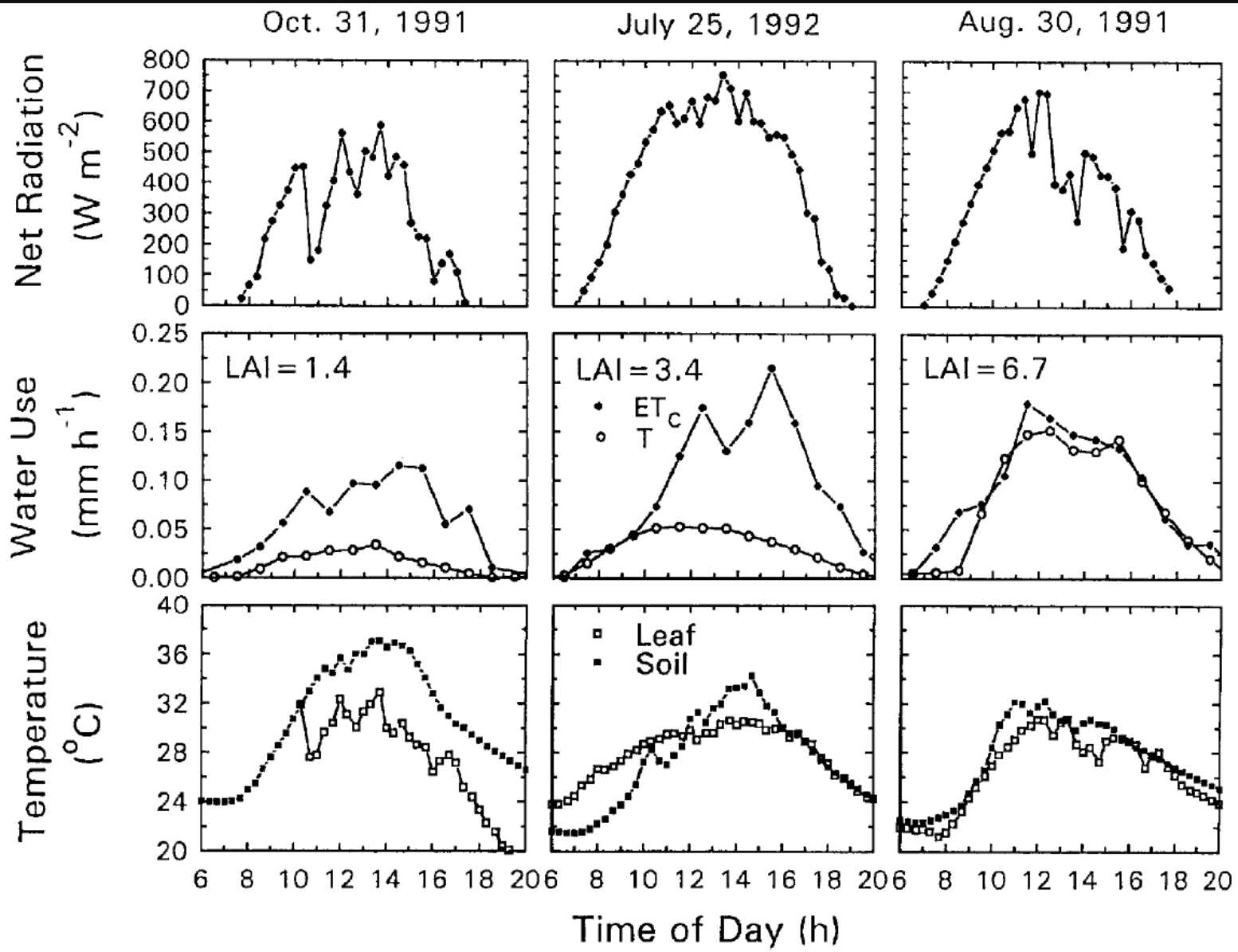
ET_r = evapotranspiración de referencia (mm/d)

Kc = coeficiente de cultivo



FIGURA 2
Repartición de la evapotranspiración en evaporación y transpiración durante el periodo de crecimiento de un cultivo anual





La capacidad de un planta producir materia seca es gobernada en gran medida por su capacidad para perder agua!



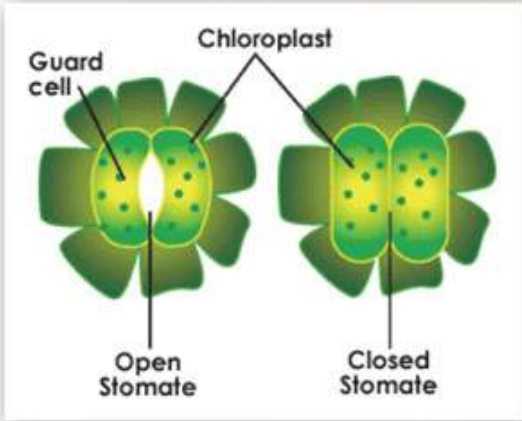


Figure 2: A schematic drawing of a plant's stomata showing an open and closed stomata.

Bird damage on ripe wheat ears.

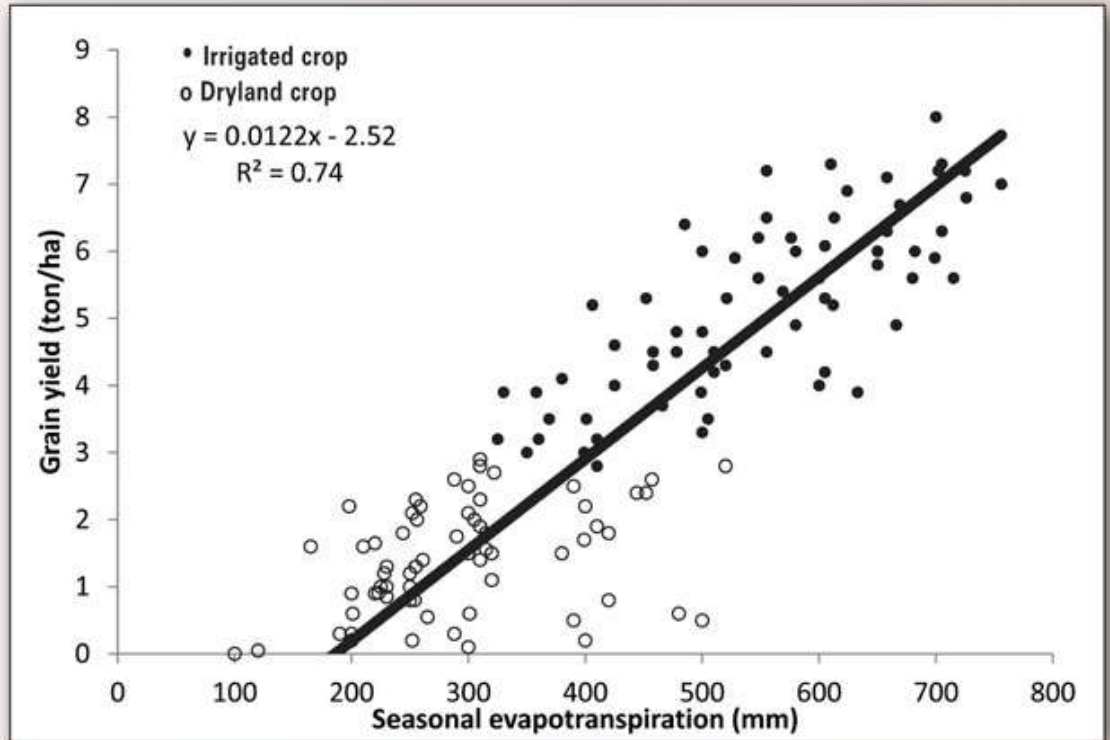
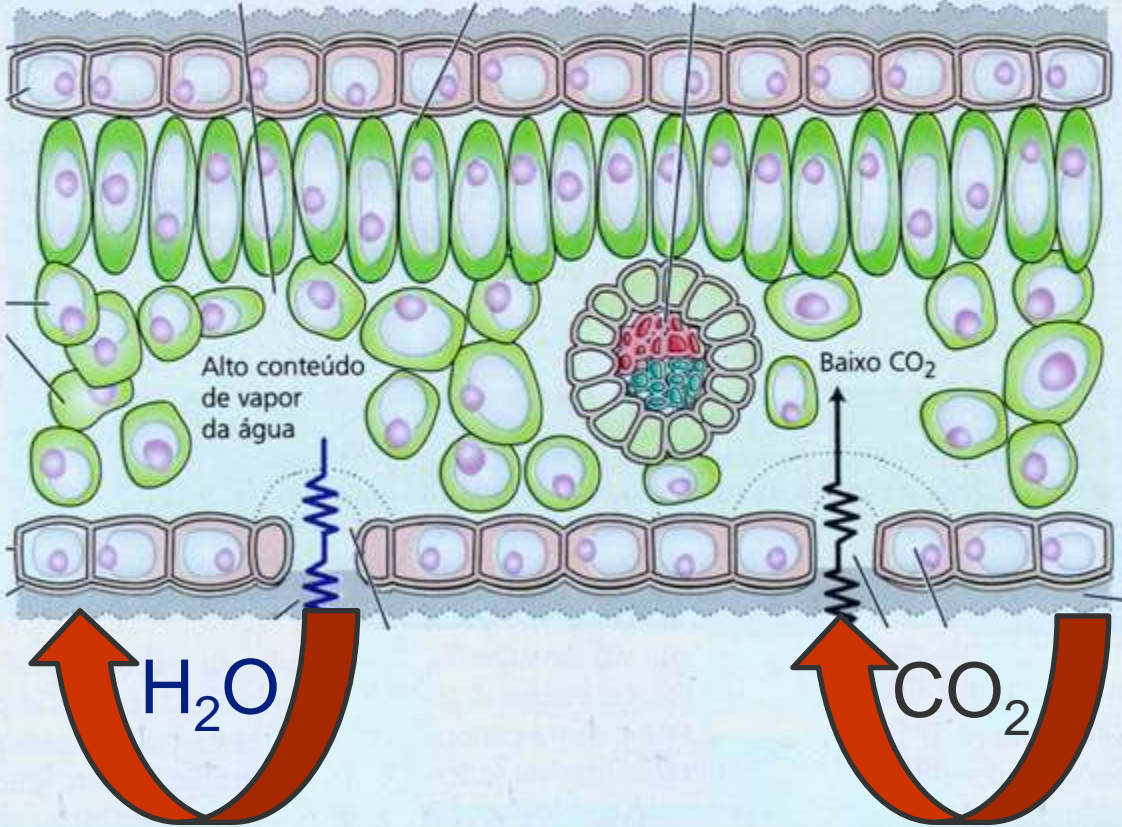
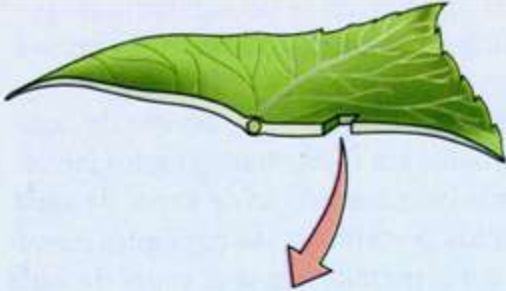
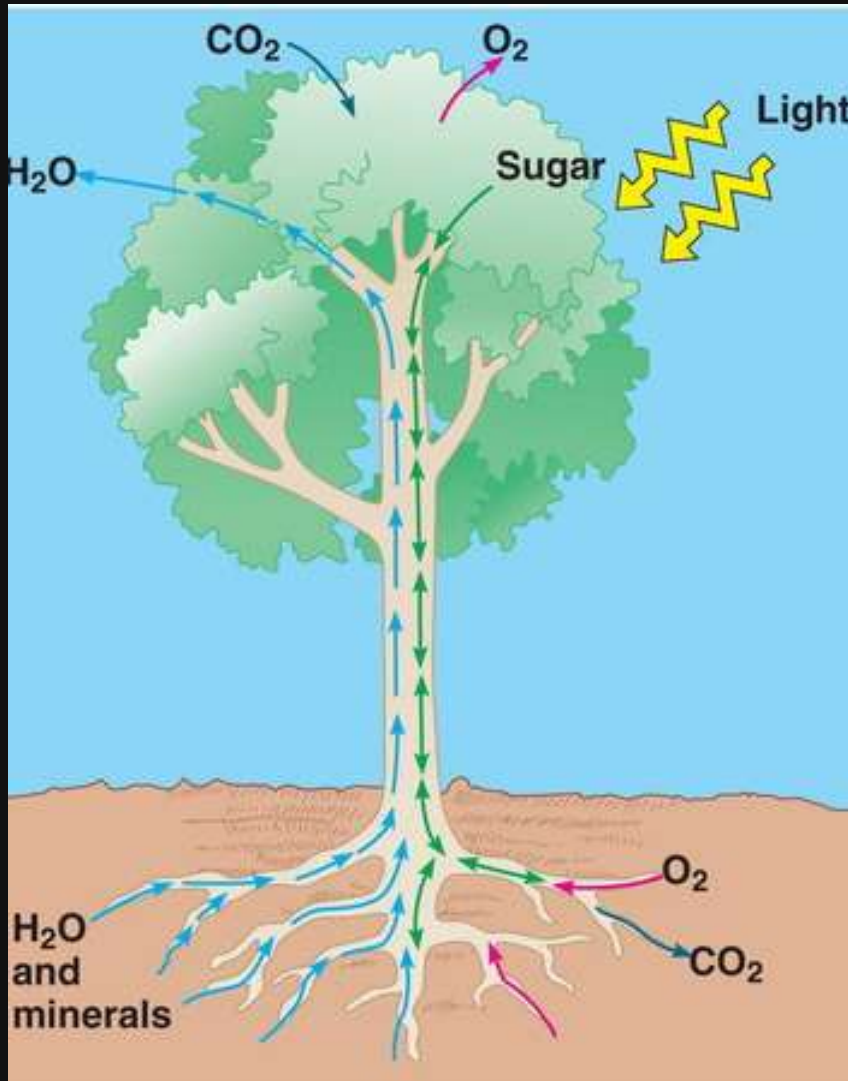


Figure 3: Relationship between grain yield and seasonal evapotranspiration from a 178 year old crop database in the USA.





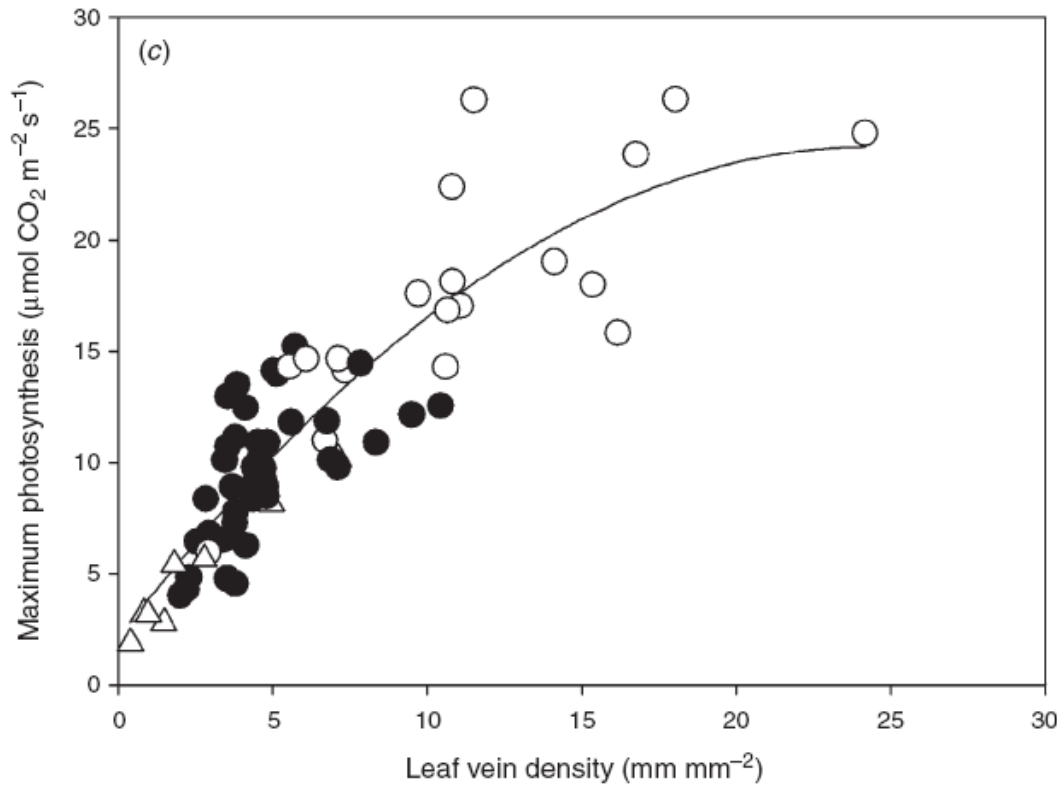


Capacidad para perder agua: estomas abiertos
→ mayor fotosíntesis

Capacidad de transporte de agua: la conductancia hidráulica del xilema

Capacidad de absorción de agua: cantidad y la profundidad de las raíces

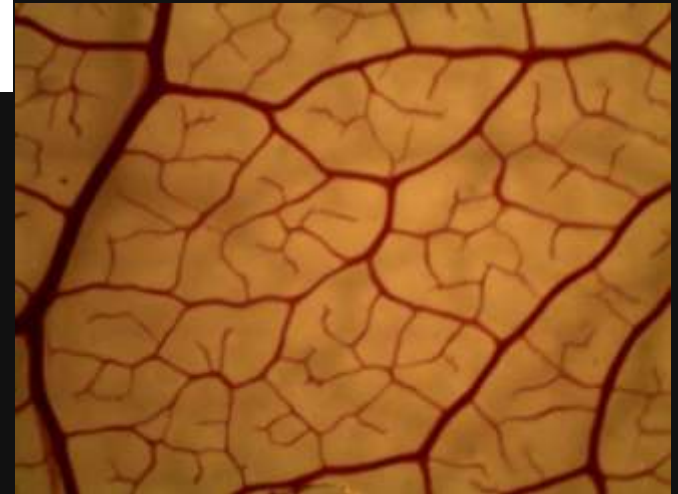




Densidad de
nervadura en café



Densidad de nervadura &
tasa de fotosíntesis



Status hídrico del café

Como cuantificar el grado de estrés hídrico?



Medición del potencial hídrico foliar (Ψ) en pre-alba



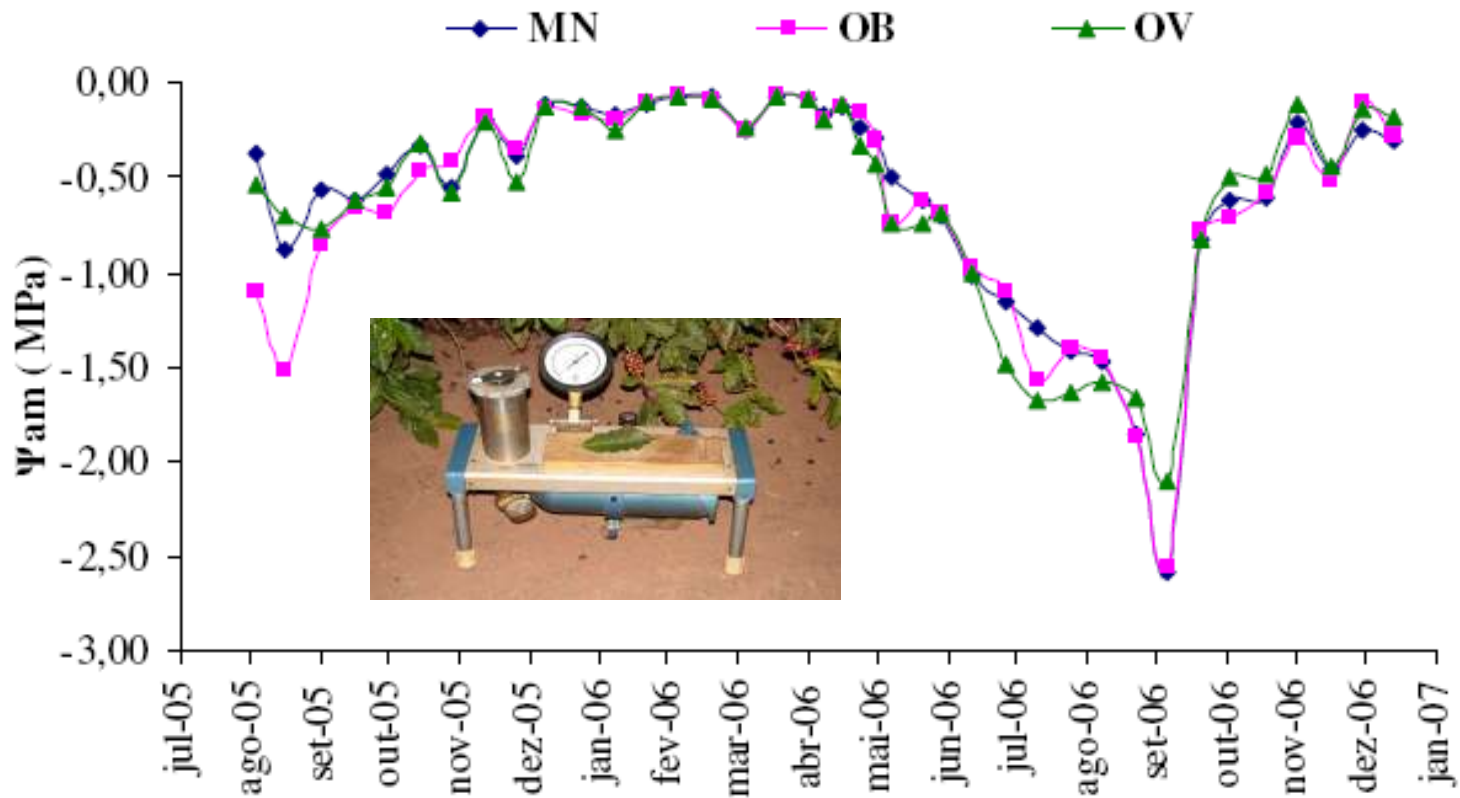


Figura 14 - Variação do potencial de água na planta medidos na antemanhã durante um ano para as cultivares MN, OB e OV.



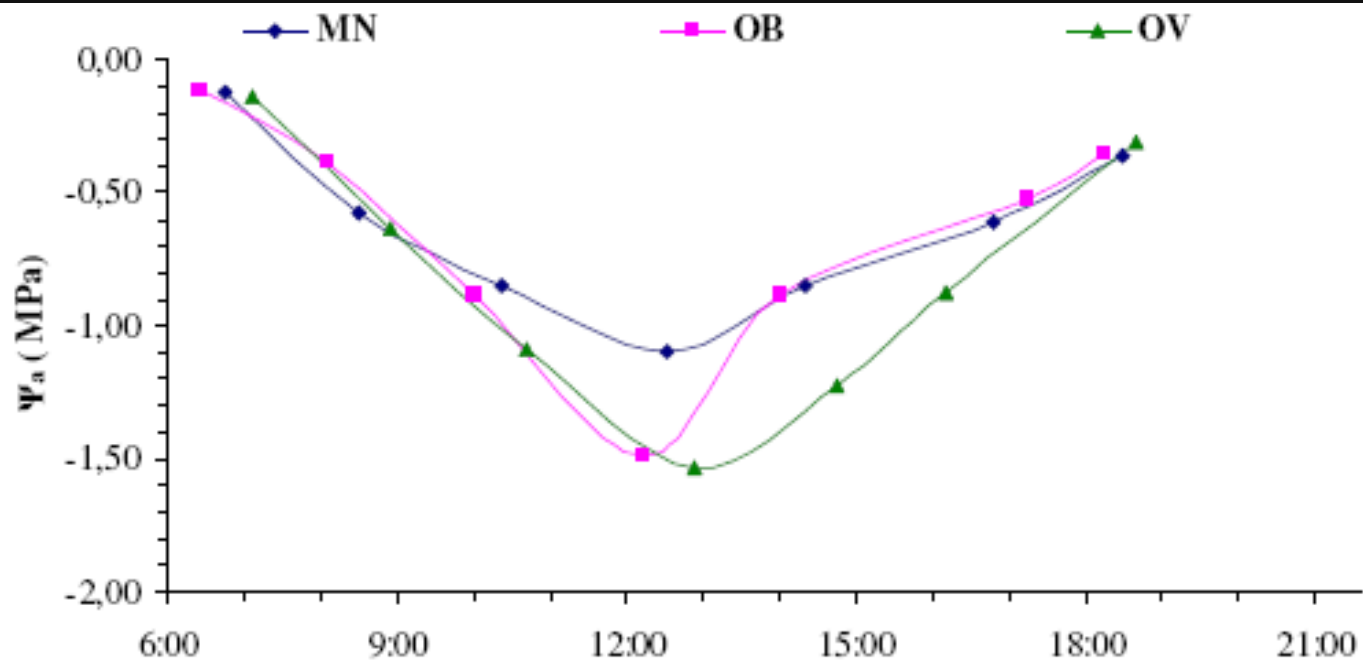


Figura 16 - Variação do potencial de água na planta do dia 13/04/2006.



Los avances científicos involucrados con la obtención de genotipos promisorios de café con respecto a la tolerancia a la sequía han sido muy débiles!



Desafíos para entender los mecanismos de la tolerancia a la sequía

- La sequía es un estrés multidimensional; y además una herencia poligénica;
- Sólo se conoce una pequeña proporción de los genes implicados en respuestas de las plantas a la sequía;
- Hay genotipos que se ven afectados no sólo por la disponibilidad de agua en el suelo, pero también por la disponibilidad de agua en la atmósfera;



Desafíos para entender los mecanismos de la tolerancia a la sequía

- Las respuestas de las plantas varían con la edad, la intensidad y la duración de la sequía (fuerte interacción genotipo x ambiente);
- Varios ciclos de producción para elegir algunos materiales promisorios;
- La tolerancia a la sequía & sistema radicular: Relación difícil de estudiar;
- Investigaciones usándose plantas cultivadas en macetas pequeñas en invernaderos.



¿El estrés hídrico es siempre perjudicial para el café?

- (I) Esto dependerá de cada etapa particular del ciclo de la cultura
- (II) La sequía puede, y es importante, para sincronizar la floración y romper la latencia de las yemas florales



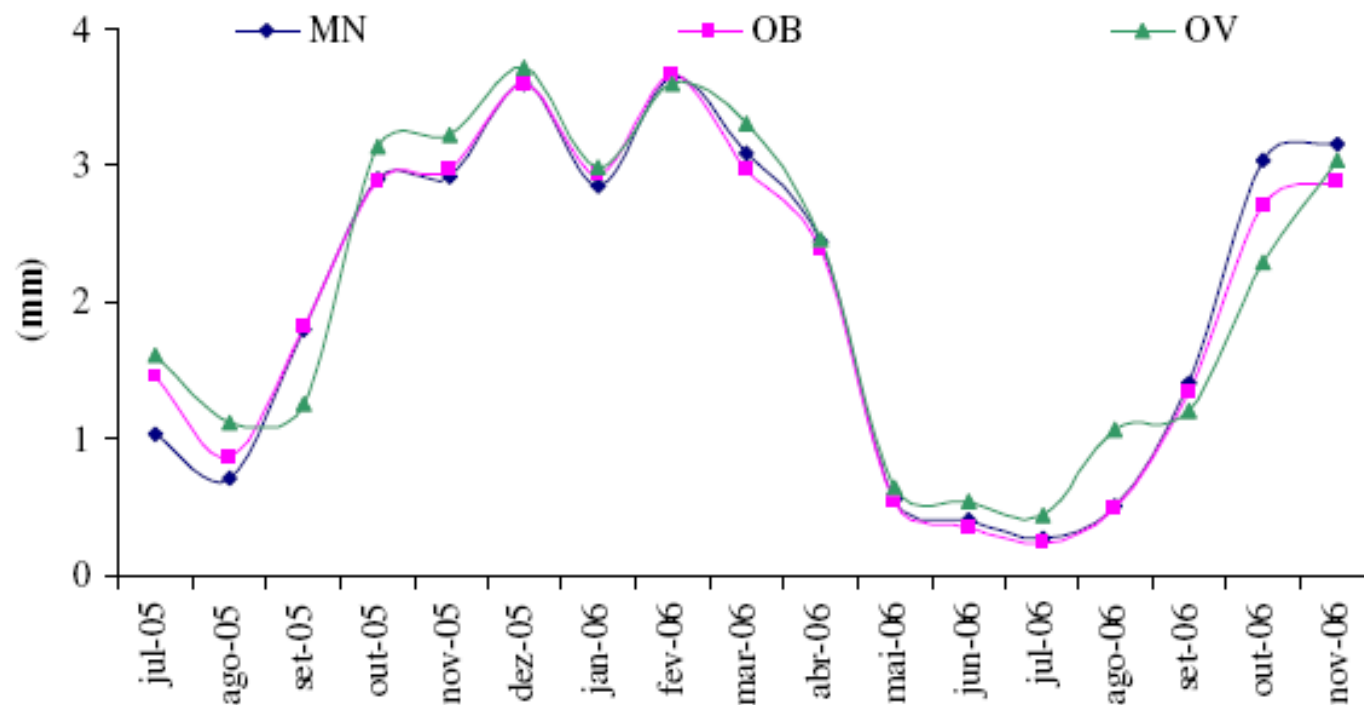


Figura 18 - Variação do consumo de água (ET_C) pelas três cultivares de café durante o período de um ano.



Efectos generales de la sequía

- Crecimiento reducido (vegetativo y reproductivo) del dosel;
- Promoción del crecimiento de la raíz;
- Reducción de las tasas de fotosíntesis;
- Aumento de las tasas de respiración de mantenimiento y fotorespiración;
- Consecuencias: caída de hojas, daño oxidativo, disminución de la producción, etc.



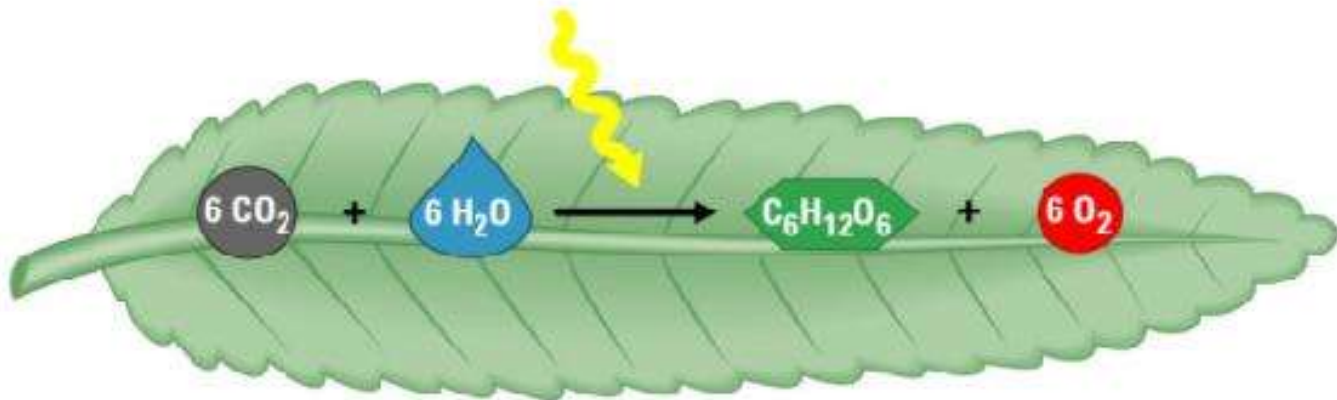
En cualquier caso, debemos tener en cuenta que:

- La sequía se asocia a menudo con otros dos factores: la alta irradiancia y temperatura alta;
- Sólo teniendo en cuenta estos tres factores simultáneamente, se puede entender correctamente como la sequía afecta a la producción de café.



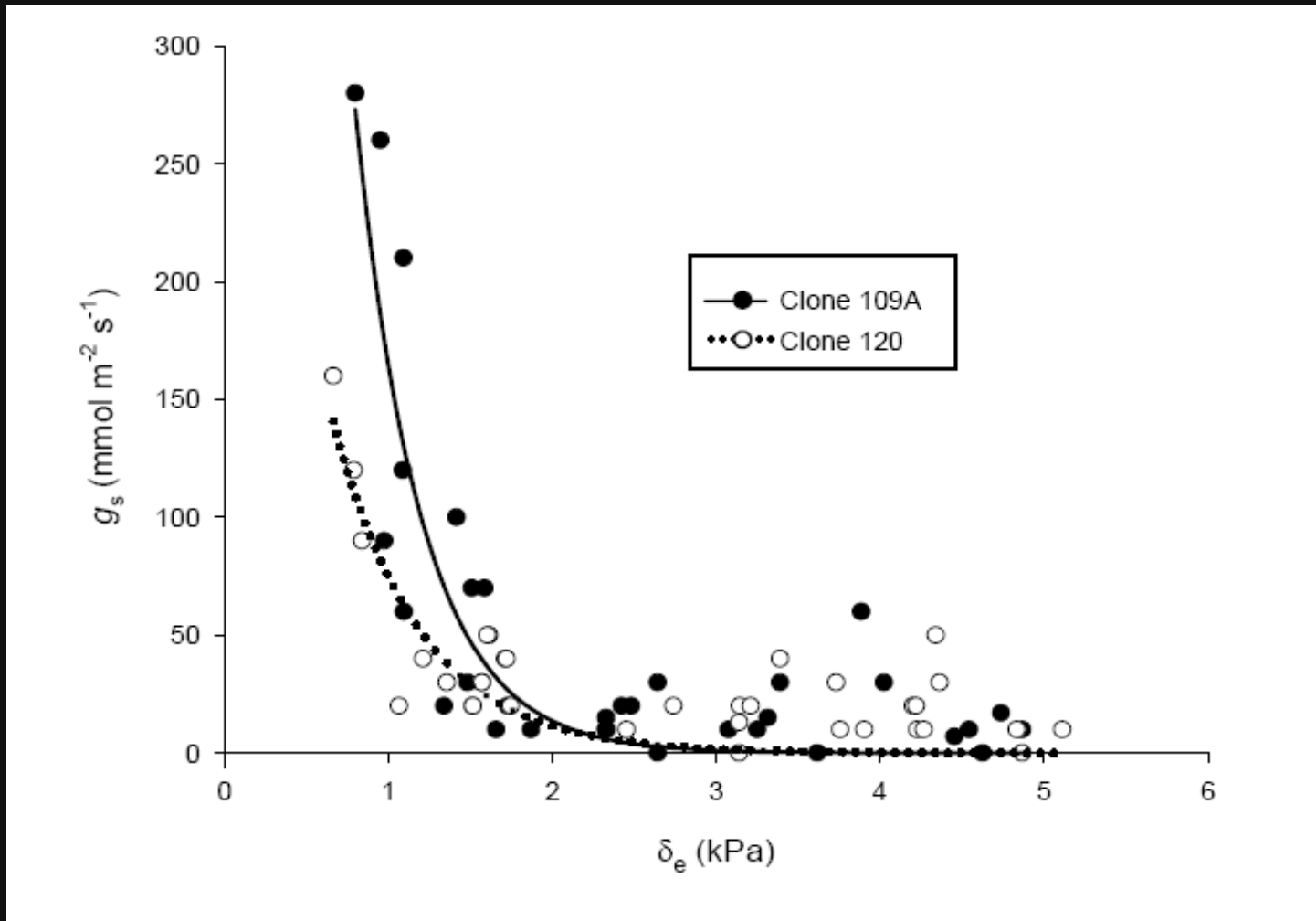
¿Qué sucede con la
fotosíntesis cuando ha escasez
de agua?





Relación entre la conductancia (apertura) estomática (g_s) y el potencial hídrico (Ψ_{pd}) en café





Relación entre la conductancia estomática (g_s) y el déficit de presión de vapor (δ_e) en café



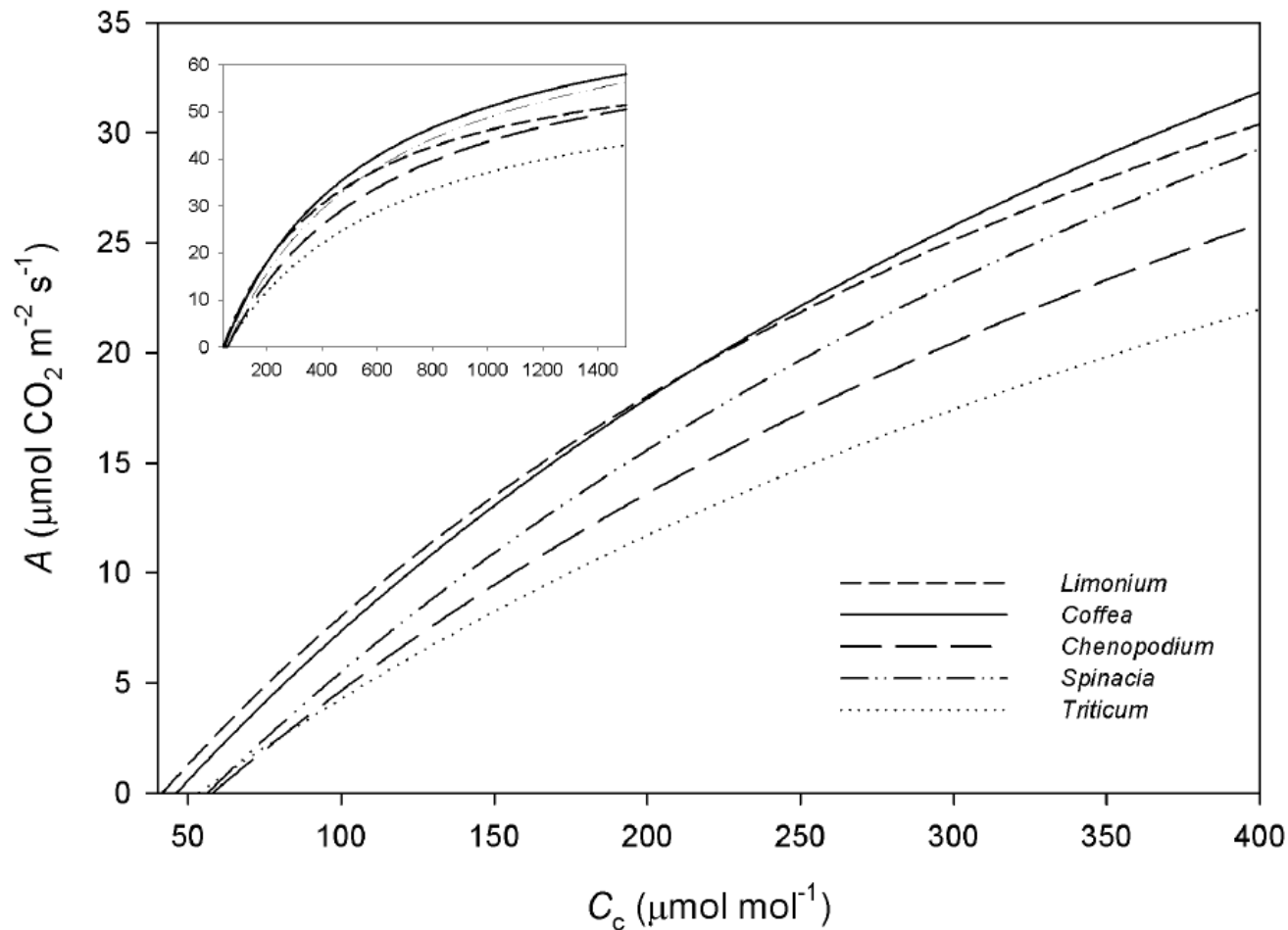
Fotosíntesis en café

Bajas tasas: ~4 a ~11 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Limitaciones difusionales

Limitaciones bioquímicas (RuBisCO)

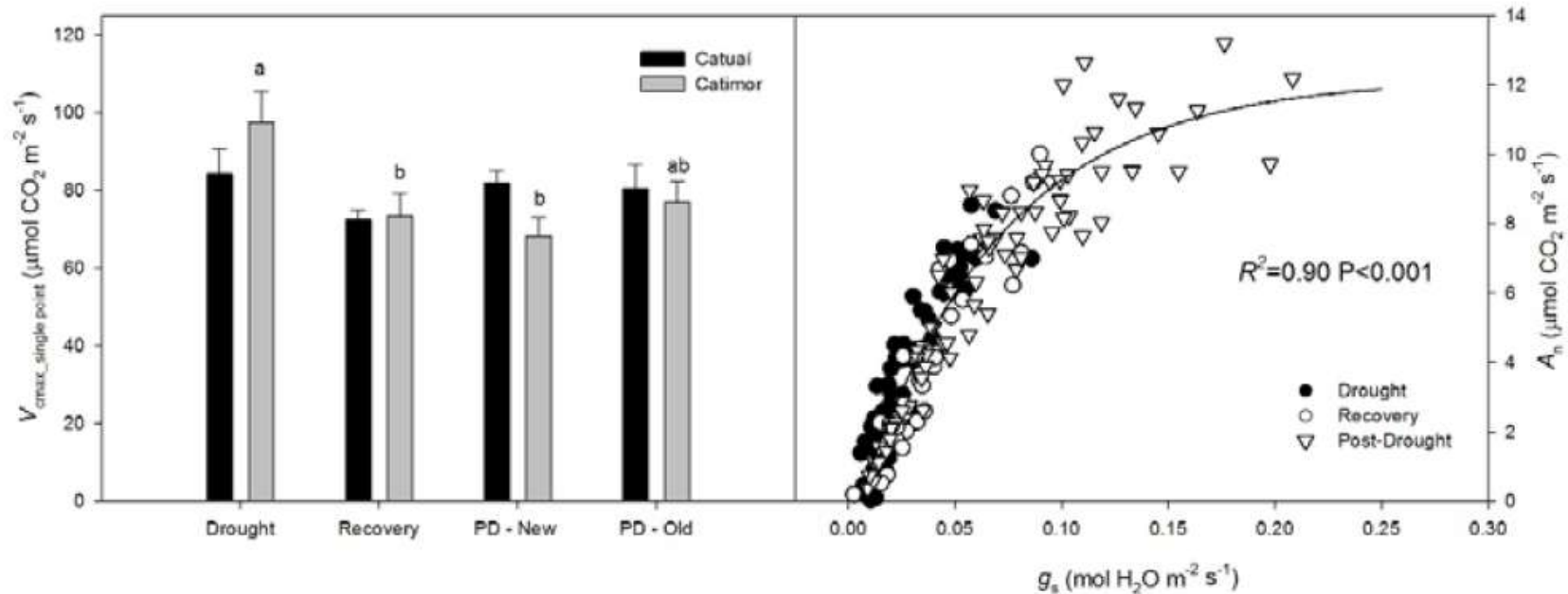




Comparación de la tasa fotosintética (A) en función de C_c ($[\text{CO}_2]$ en el cloroplasto) modelada con los parámetros cinéticos de Rubisco en café y otras especies C_3

Martins et al. 2014 (Plos One)

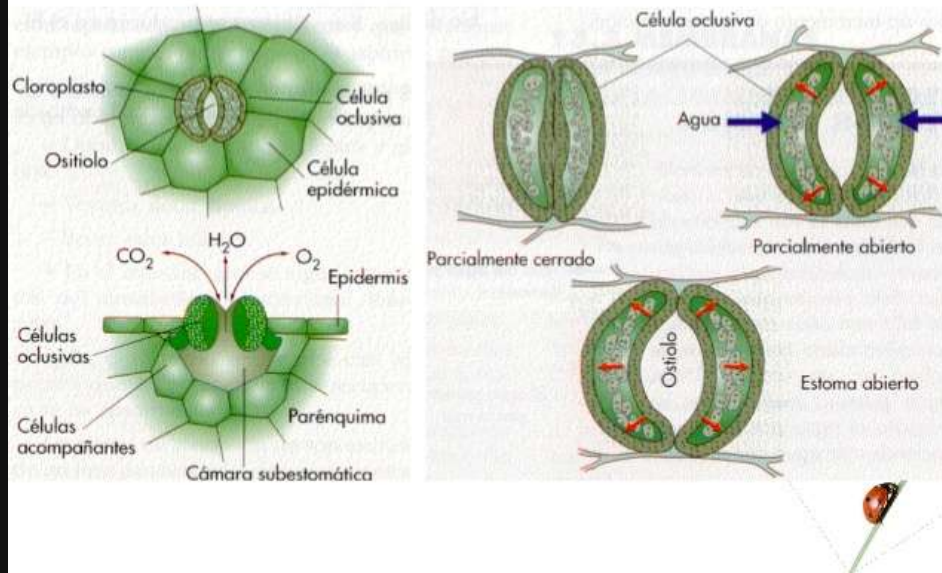




Capacidad máxima de carboxilación (V_{cmax}) y su relación con la conductancia estomatal (g_s) y las tasas de fotosíntesis (A_n) en dos cultivares de café sembradas en campo en diferentes regímenes hídricos (*Martins & DaMatta, resultados no publicados*)



INTERCAMBIO DE GASES



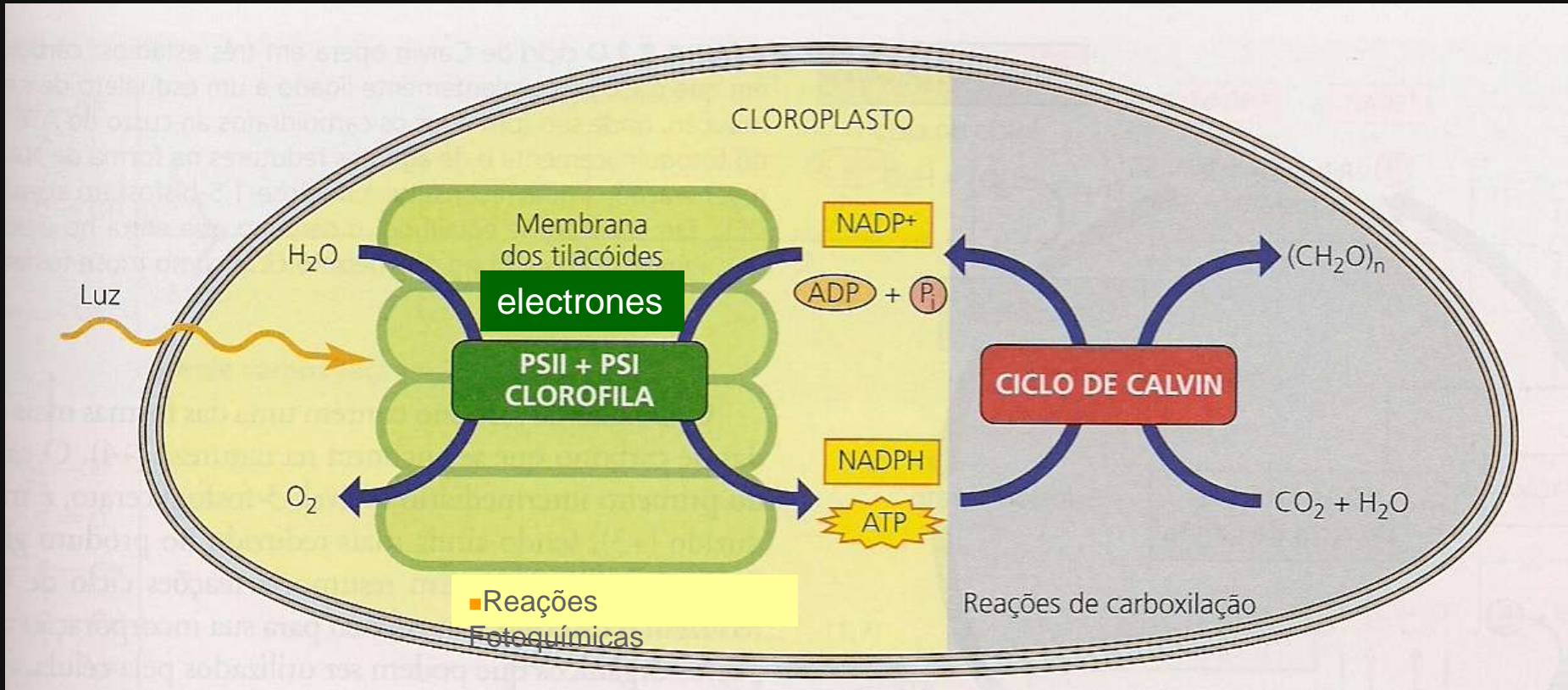
Resultado global:
la fotosíntesis
disminuida por
unidad de área
foliar (limitaciones
asociadas al
cierre estomático)

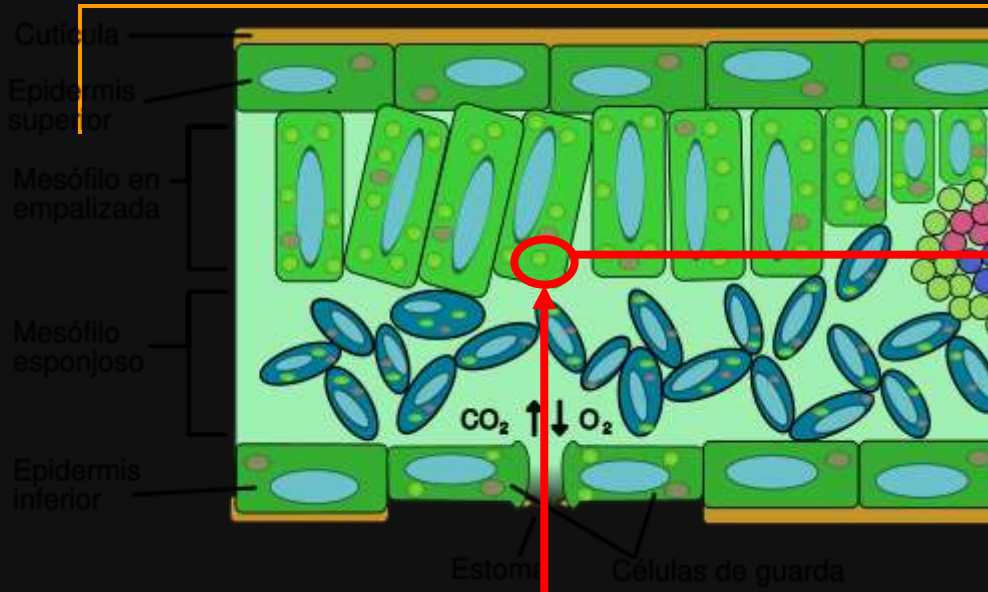


Fotosíntesis & daño oxidativo

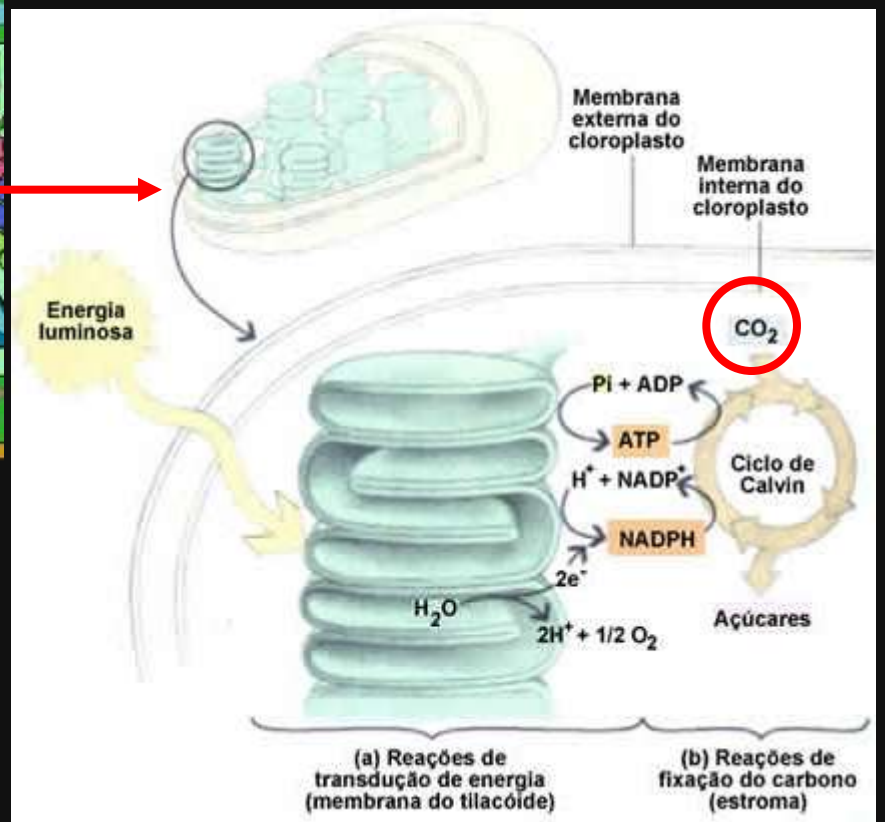


Las reacciones fotoquímicas y bioquímicos de la fotosíntesis





CO_2



$$\text{Flujo}_{\text{CO}_2} = (\Delta C_{\text{CO}_2}) / \text{resistencias}$$



Daños oxidativos

Común en las plantaciones de café mal fertilizadas, especialmente aquellas con muchos frutos bajo altas temperaturas o sometidas a la sequía, sobre todo en días soleados; cualquier otro factor que debilita la planta favorece la ocurrencia de daño oxidativo.

Alta irradiancia, temperatura alta y baja disponibilidad de agua (combinados o no), pueden conducir a una secuencia potencialmente catastrófica de acontecimientos, especialmente en las plantaciones de café que reciben la radiación solar en la tarde.

Como resultado visible, se forman zonas cloróticas / necróticas en las hojas, que culmina en caída de hojas



Por lo tanto, no sólo el follaje expuesta, sino también las hojas más internas, ahora reciben la radiación solar en cantidades superiores al necesario para saturar la fotosíntesis. Esto, junto con el aumento de la producción de etileno, potencializa aún más la caída de las hojas.

Para disminuir los daños oxidativos: algunos estudios han demostrado que la mejor orientación de la línea de siembra es este / oeste. La peor orientación es la orientación norte / sur.





Daños oxidativos



Consecuencias generales de la sequía sobre la fotosíntesis

- Disminución de la fotosíntesis por unidad de área foliar (estómatos)
- Disminución del área foliar (daños) y por lo tanto disminución de la fotosíntesis en la planta entera



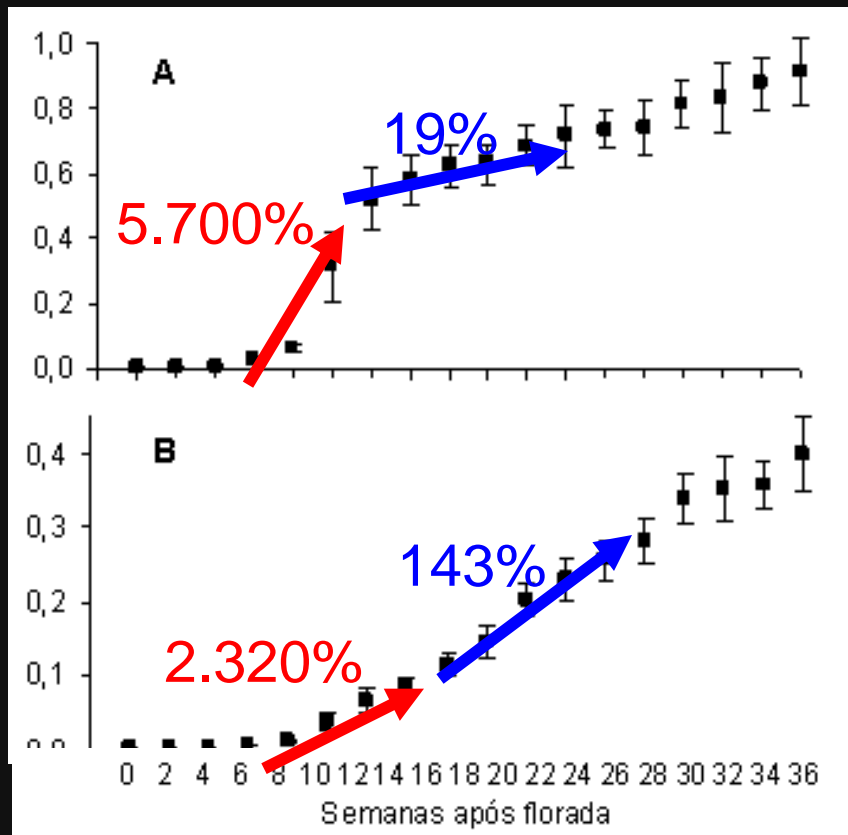
Desarrollo del fruto bajo condiciones de sequía



Crecimiento del fruto

Ronchi et al. 2006; Ronchi y DaMatta, 2007

Masa fresca (g/fruto)



Masa seca (g/fruto)



Las grandes diferencias estacionales en tamaño de las semillas no son causadas por cambios en el suministro de fotoasimilados sino por la **disponibilidad de agua**.

Los óvulos no alcanzan su tamaño máximo cuando se expanden en la estación seca.

Un suministro adecuado de agua durante la rápida expansión del fruto puede aumentar el tamaño de la semilla en un 60%.

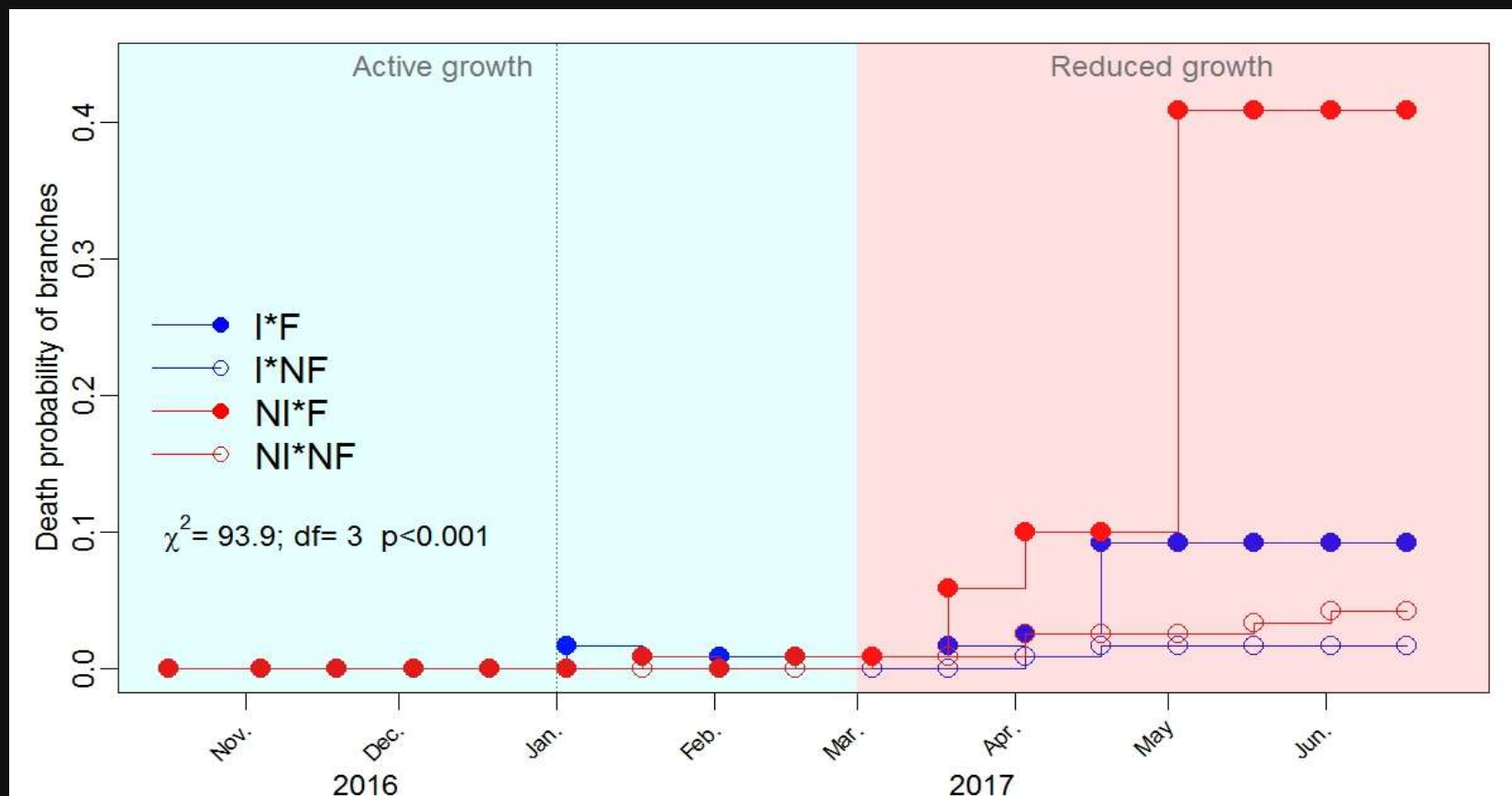


¿Qué sucede con fisiología de la planta cuando el llenado de frutos coincide con períodos secos y altas temperaturas?

- Disminución adicional de la fotosíntesis y aumento de la respiración: reducción general de la disponibilidad de carbohidratos
- Aceleración del ciclo productivo: menor tiempo para el llenado de los frutos



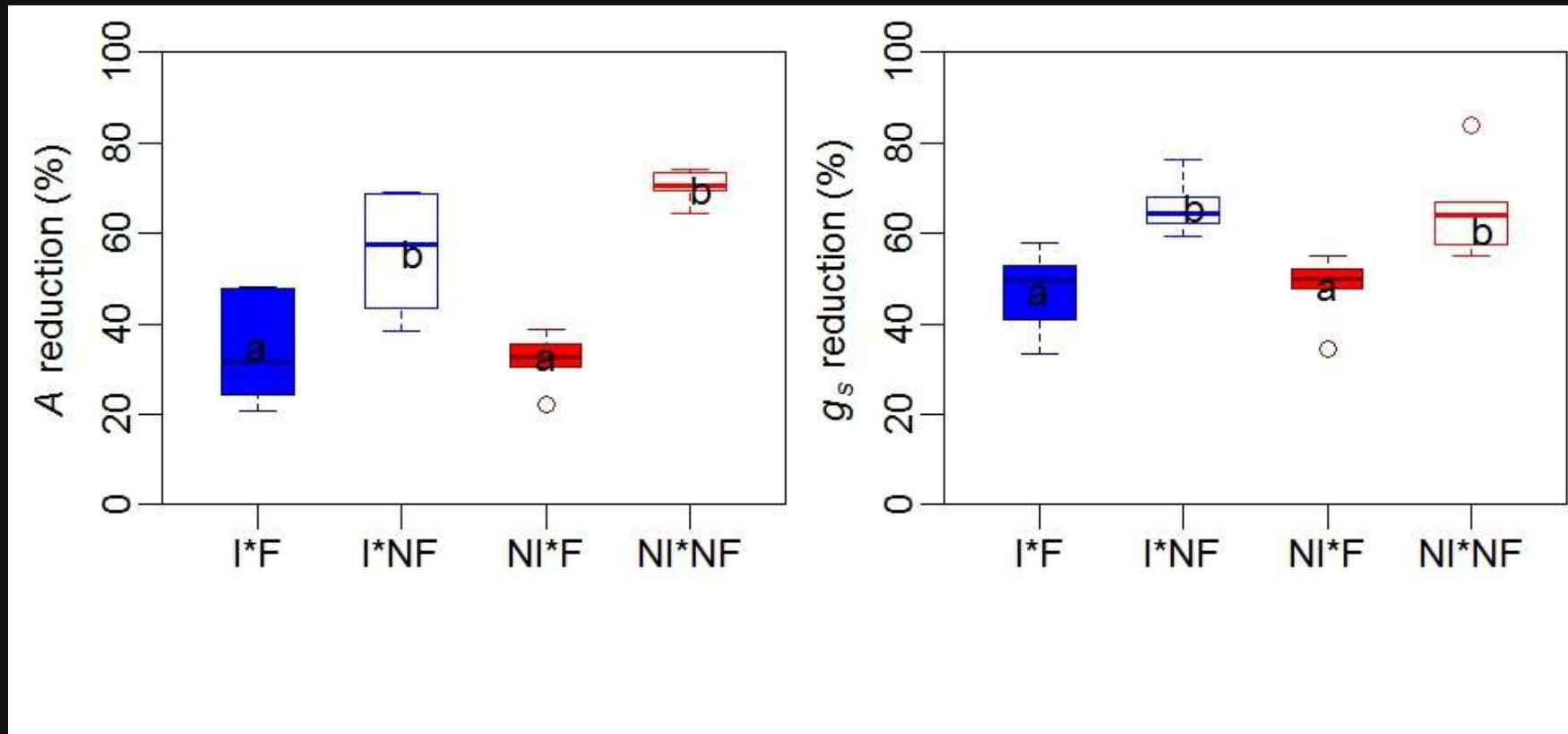
Morte de ramos em função da irrigação e frutificação



Araújo & DaMatta, resultados não publicados



Reduções de taxa de fotossíntese (A) e condutância estomática (g_s) em resposta a transições de DPV





À esquerda pode-se ver um fruto com grãos mal granados e à direita uma semente é normal e a outra chocha.



Chochamento total dos frutos, conhecido como coração negro, provocado por falta de água

Frutos pequenos
y mal formados:
reflejos en la
producción y en
la calidad



Consecuencias para la
producción en el siguiente año





A seca de ramos parece estar relacionada com o balanço de reservas da planta influenciada pela sua relação folha/frutos.



Material genético com vigor (esquerda) e sem vigor.

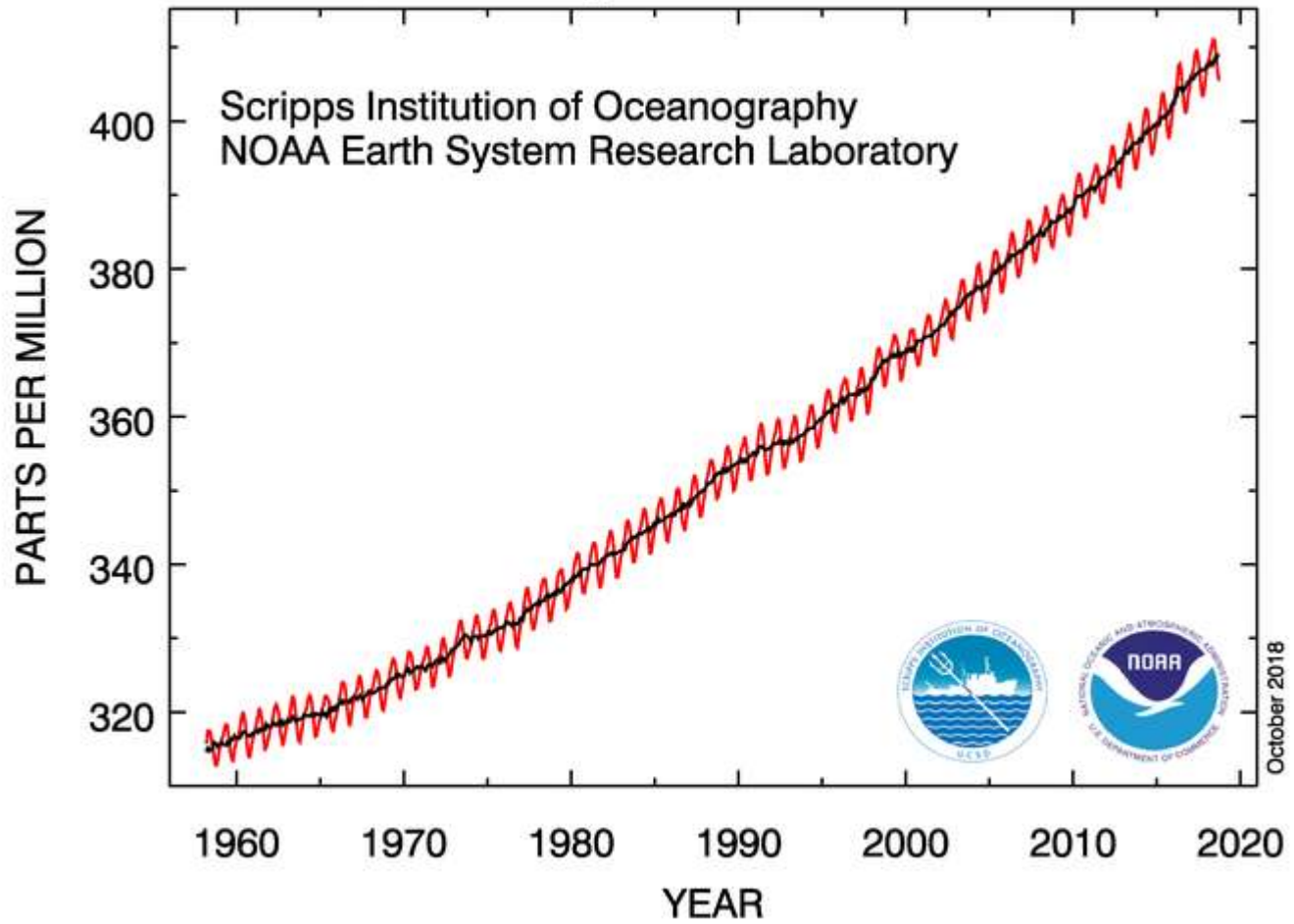
Síntomas más comunes, observados a menudo en genotipos más tempranos!

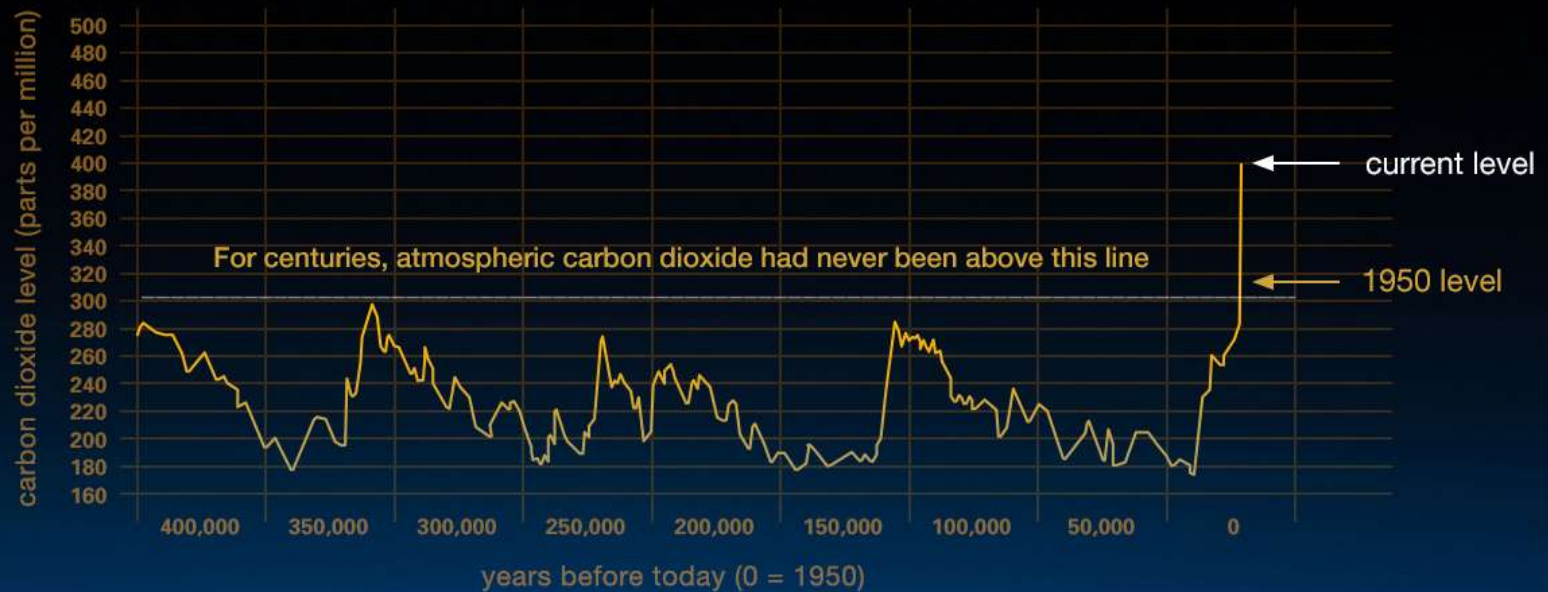


¿Qué sucederá con la caficultura en un escenario de cambios climáticos?



Atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory





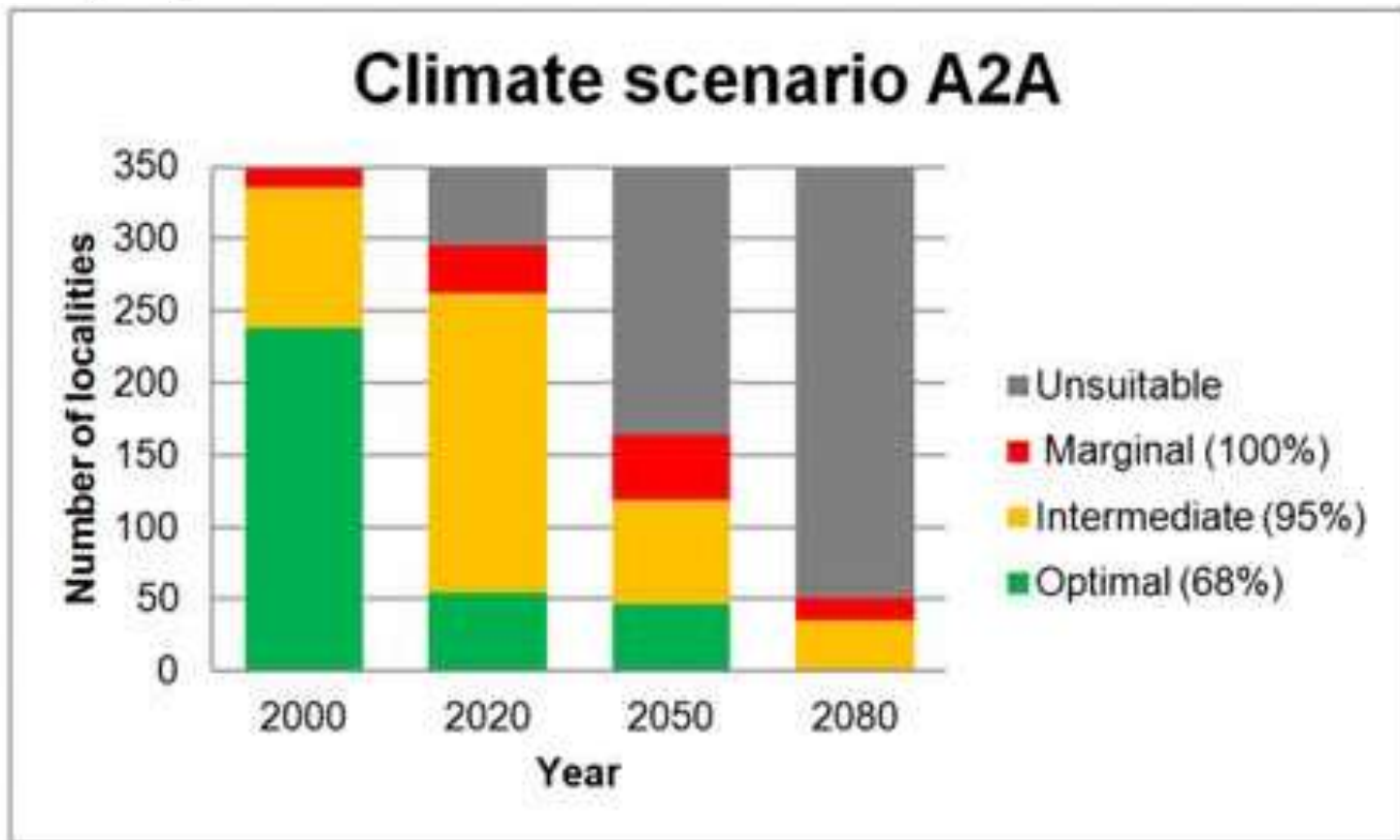
- 550-1000 ppm CO₂ en 2100; 2,16 ppm CO₂/año
- ↑ 1.8 – 4.0°C en la temperatura en 2100 (↑ 0,76°C)
- Extremos de precipitación (IPCC, 2014)



Predicciones para el futuro de la caficultura: sinistras y alarmistas... Basadas amplia- mente en aumentos de temperatura



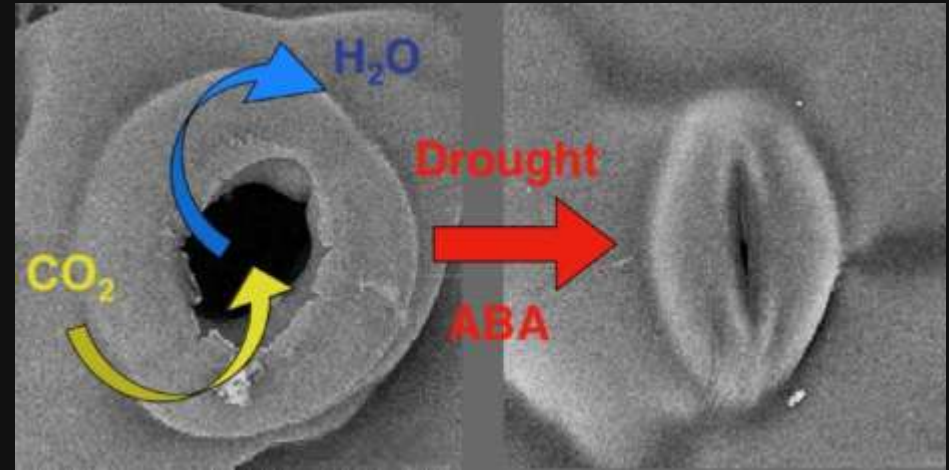
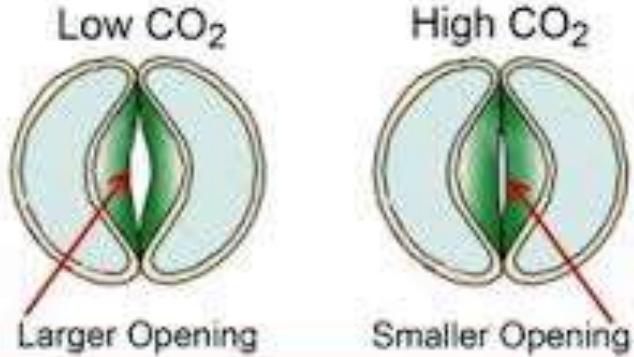
The Impact of Climate Change on Indigenous Arabica Coffee (*Coffea arabica*): Predicting Future Trends and Identifying Priorities



Fuente: Davis et al. (2012)

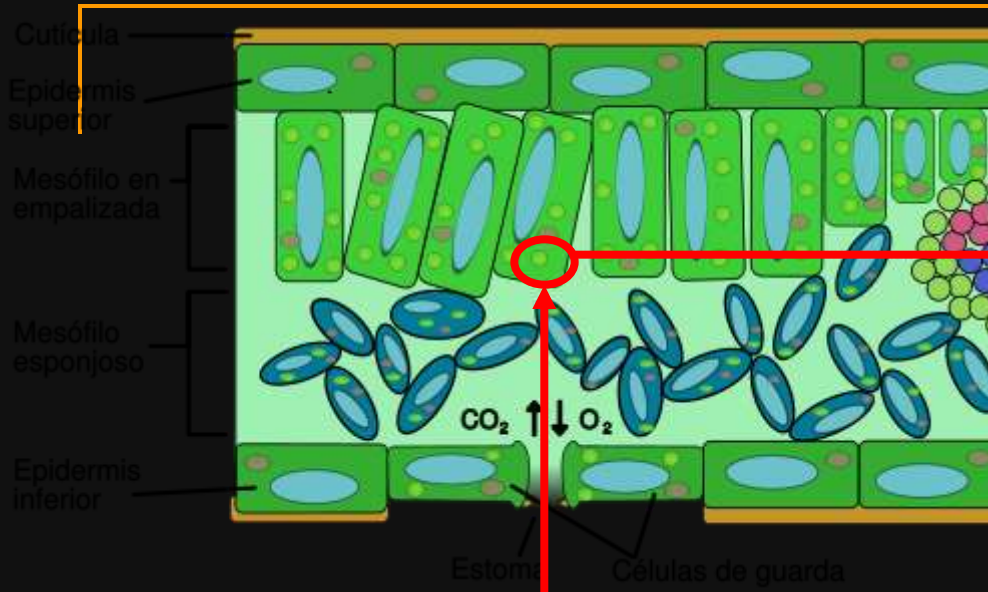


Plant Stomatal Pore

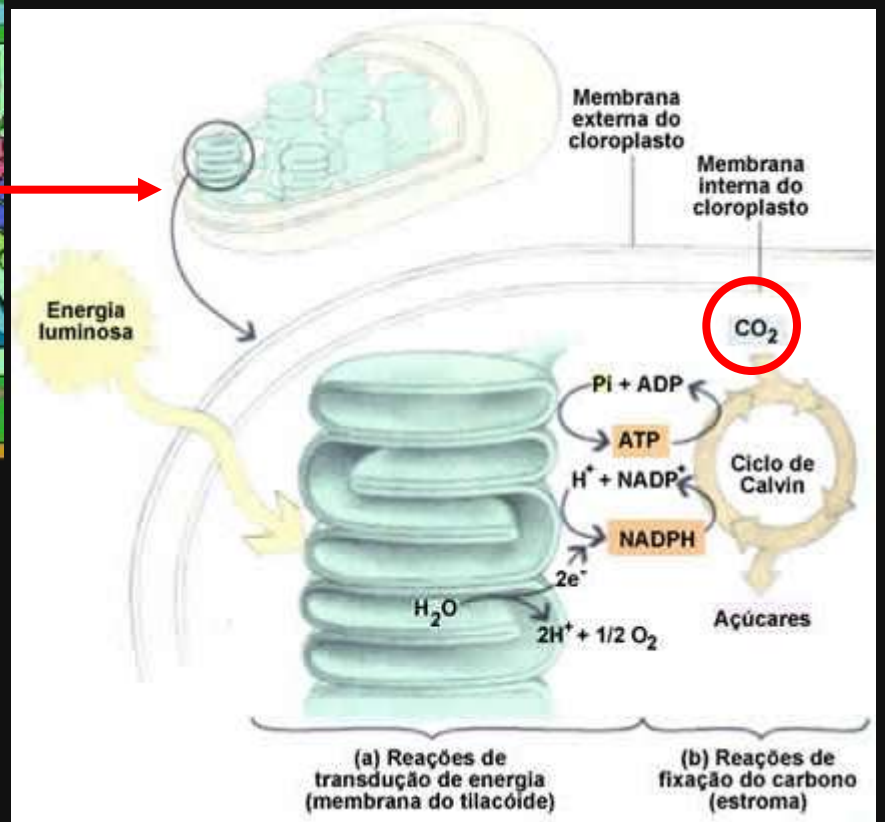


*Detalles sobre
estómatos & CO₂*





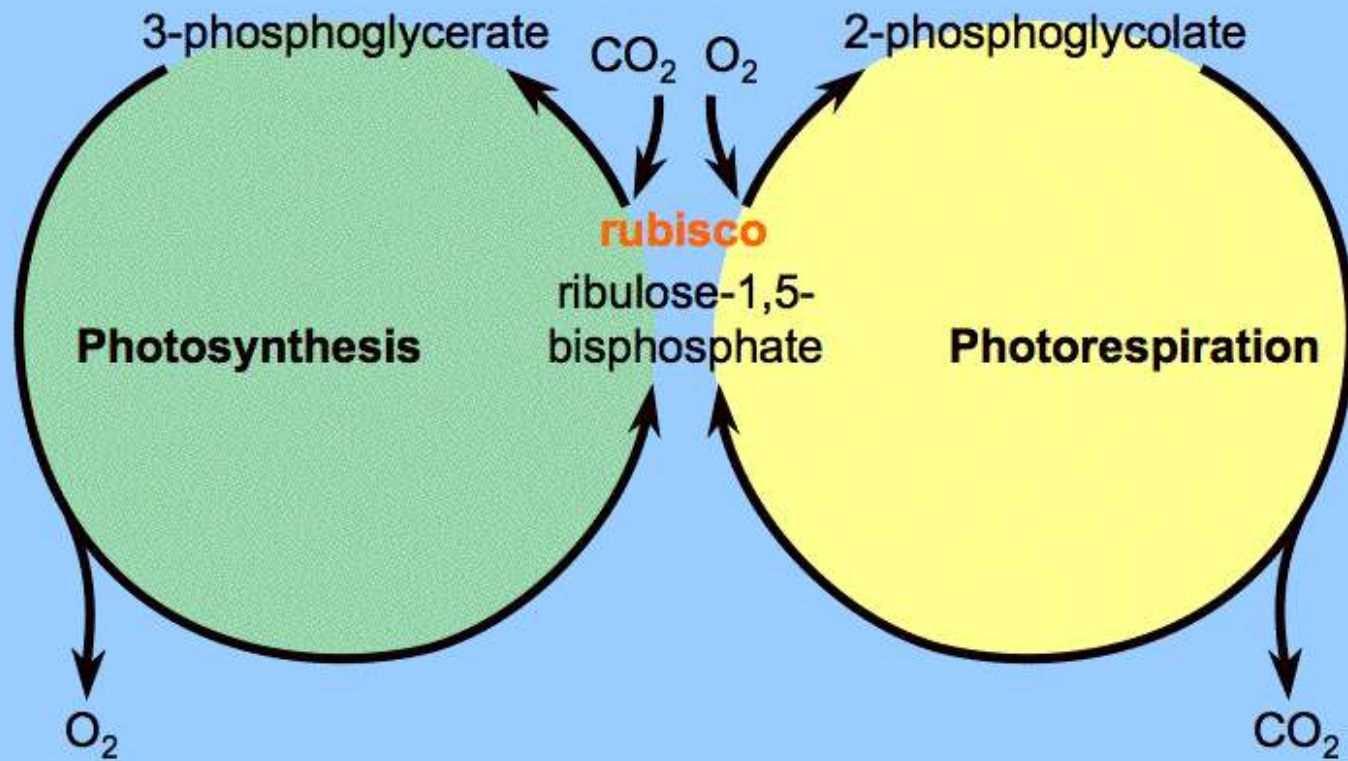
CO_2



$$\text{Flujo}_{\text{CO}_2} = (\Delta C_{\text{CO}_2}) / \text{resistencias}$$



Photorespiration: RubisCO and two substrates



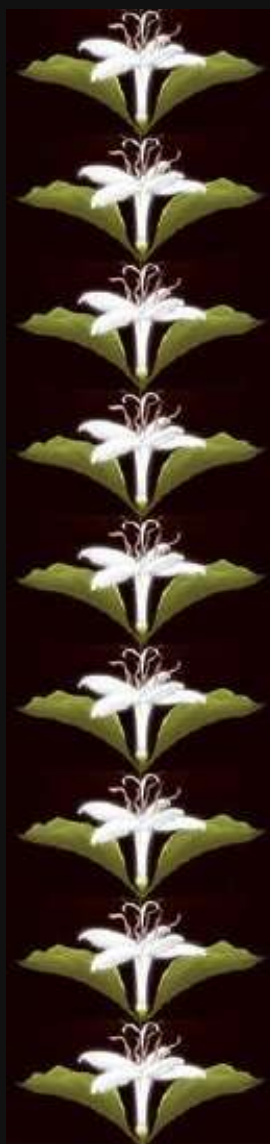
Rubisco = ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa



Respuestas generales y comunes de las plantas al incremento de $[CO]_2$

- ↓ apertura estomática: ↓ transpiración
- ↑ cobertura del suelo: ↓ evaporación
- ↑ diferencia de $[CO_2]$ entre la atmósfera y el cloroplasto: ↑ influjo de $CO_2 \rightarrow$ ↑ tasa de fotosíntesis y ↓ tasa de fotorrespiración
- ↑ eficiencia del uso de agua



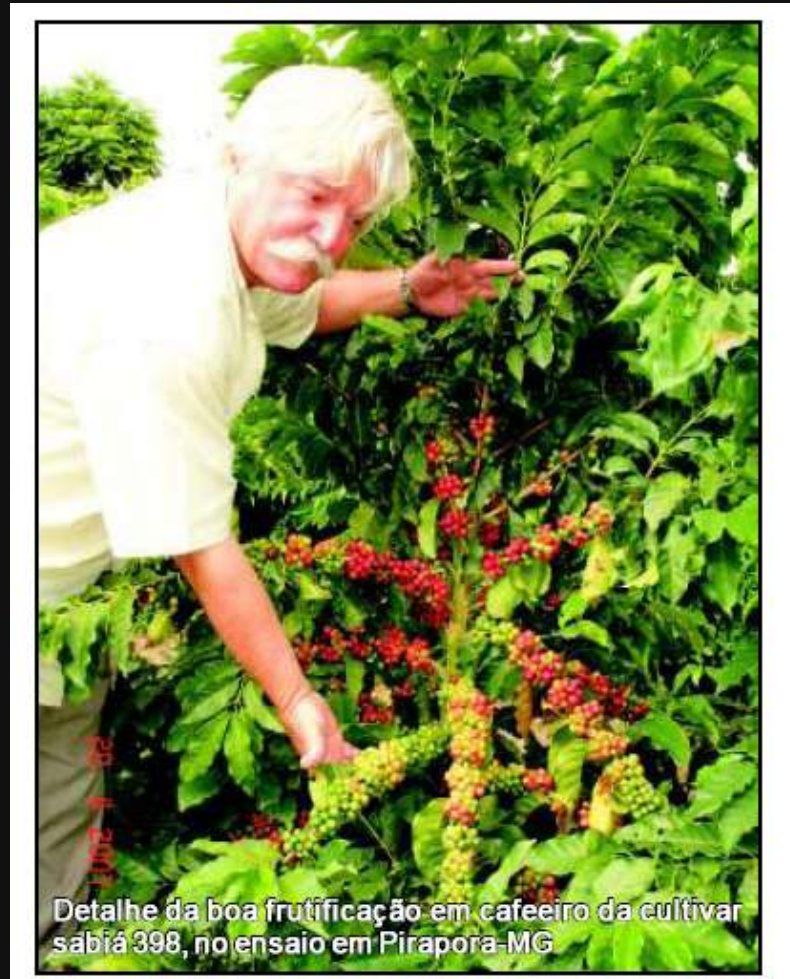


CONCLUSÕES:

- O aumento da temperatura mundial deverá causar mudanças e adaptações, mas não deverá ser catastrófica para a cafeicultura
- Tecnologias já disponibilizadas pela pesquisa fornecem evidências e subsídios para que a cafeicultura brasileira continue sustentável e produtiva
- Pesquisas sobre o assunto devem ser incrementadas e estimuladas para encontrar novas soluções
- Os informes sobre o tema devem ser mais cautelosos, para evitar interferência negativa no planejamento do agronegócio



Ensayos en Pirapora (promedio anual = 24,5°C) con la progenie Sabiá 398 y otros cultivares



Ensayos en Pirapora, densidad de siembra 3,6 x 1,0 m

Materiais do ensaio	Produtividade (scs/ha)			
	2007	2008	2009	Média
Sabiá 398	90	53	90	77
Catuai V. IAC 144	60	36	56	51
Icatu 2944, cv 859, cv 190	102	33	96	77
Acaiá 474;19	73	36	78	62



Incremento de $[\text{CO}_2]$

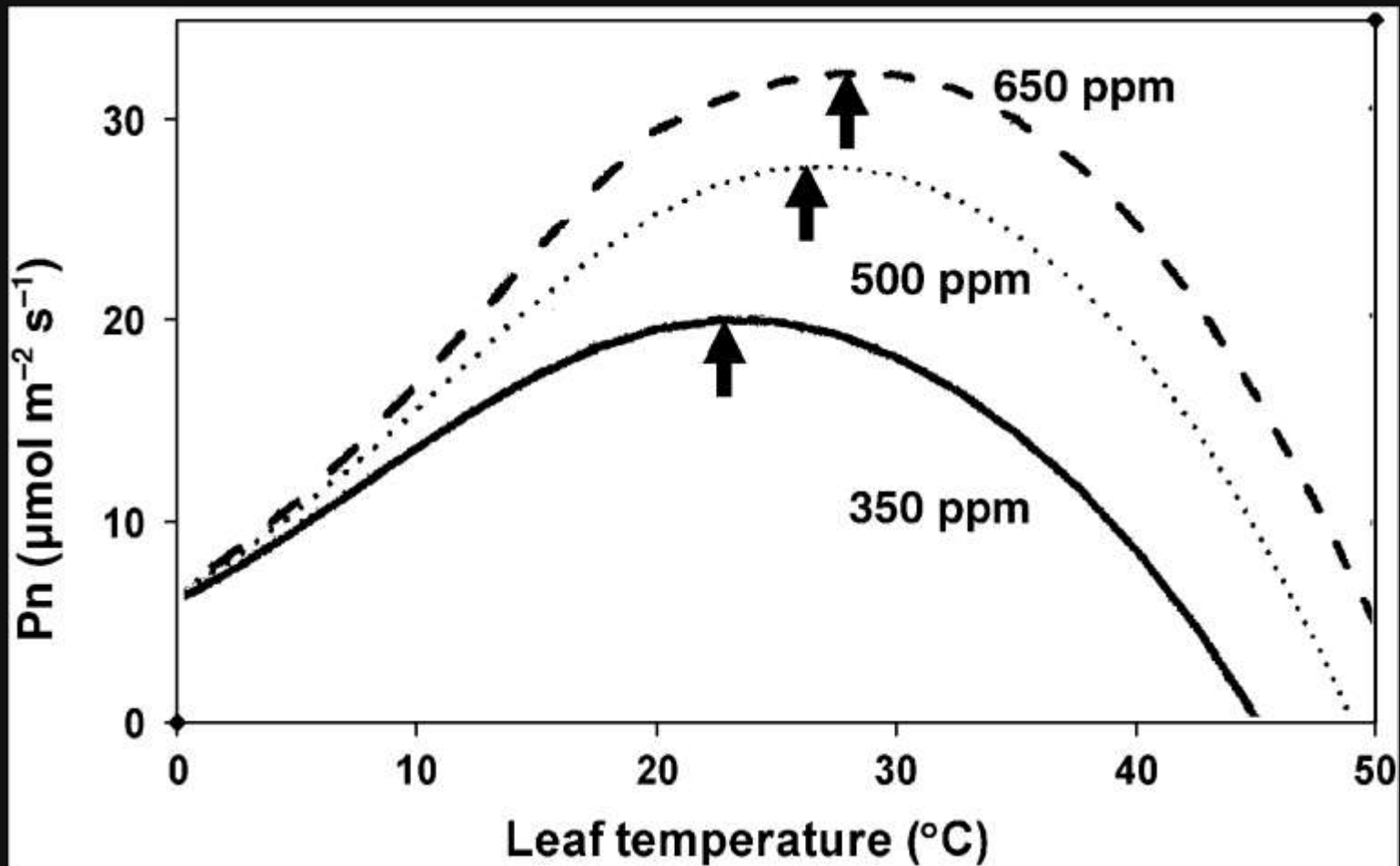


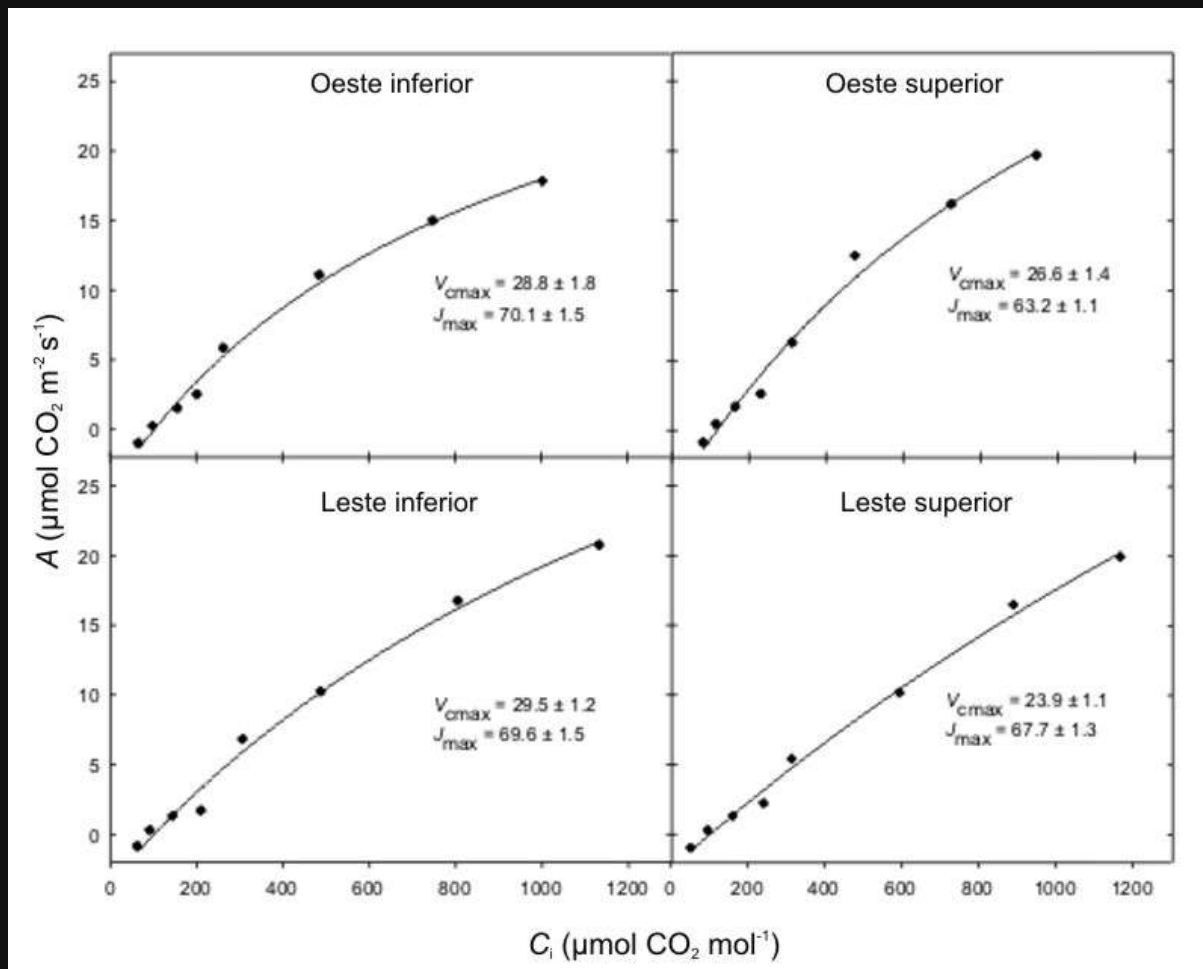
Respuestas generales y comunes de las plantas al incremento de $[\text{CO}_2]$

- ↓ apertura estomática: ↓ transpiración
- ↑ cobertura del suelo: ↓ evaporación
- ↑ diferencia de $[\text{CO}_2]$ entre la atmósfera y el cloroplasto: ↑ influjo de $\text{CO}_2 \rightarrow$ ↑ tasa de fotosíntesis y ↓ tasa de fotorrespiración
- ↑ eficiencia del uso de agua



Relación entre fotosíntesis, temperatura & CO₂





Curvas A/C_i en hojas de café bajo condiciones de laboratorio (Araújo et al., 2008, Plant Physiol. Biochem.)



Respuestas fisiológicas del café (en campo) al incremento de CO₂



Face = “free air CO₂ enrichment



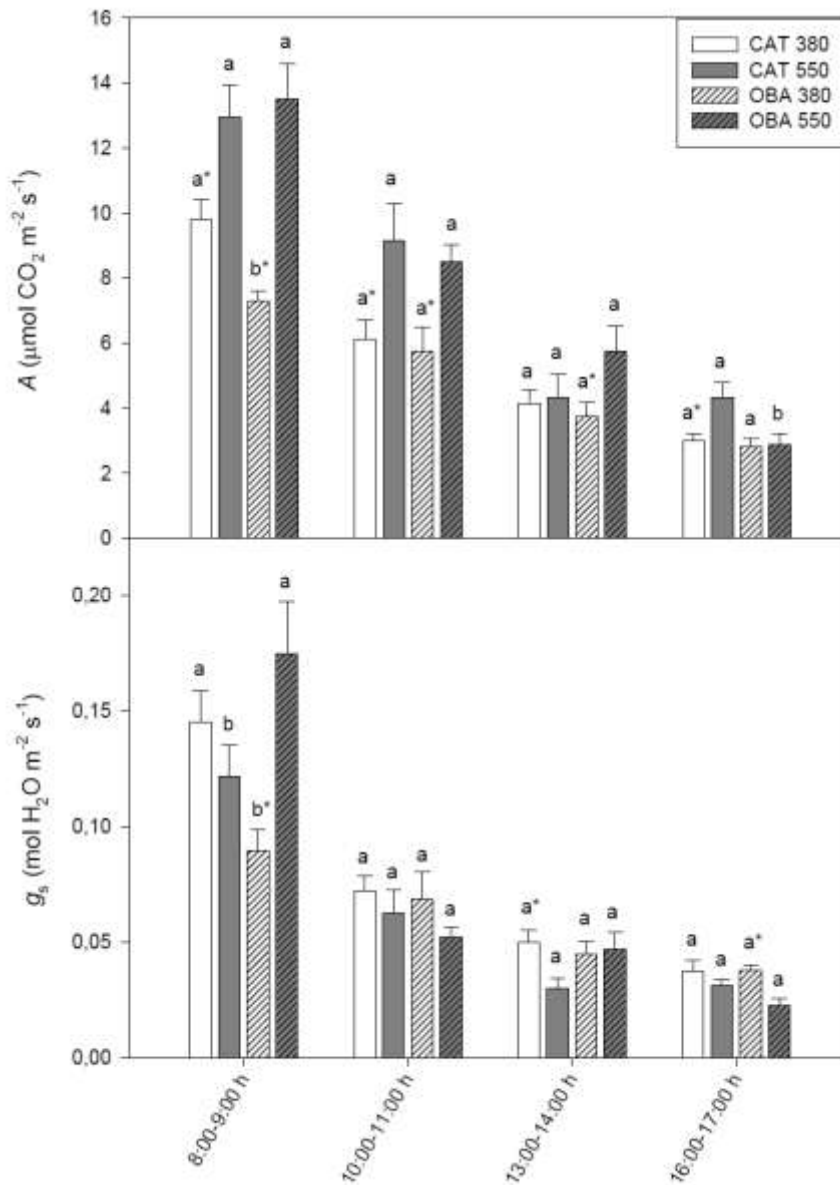




AIR LIQUIDE

Tassi

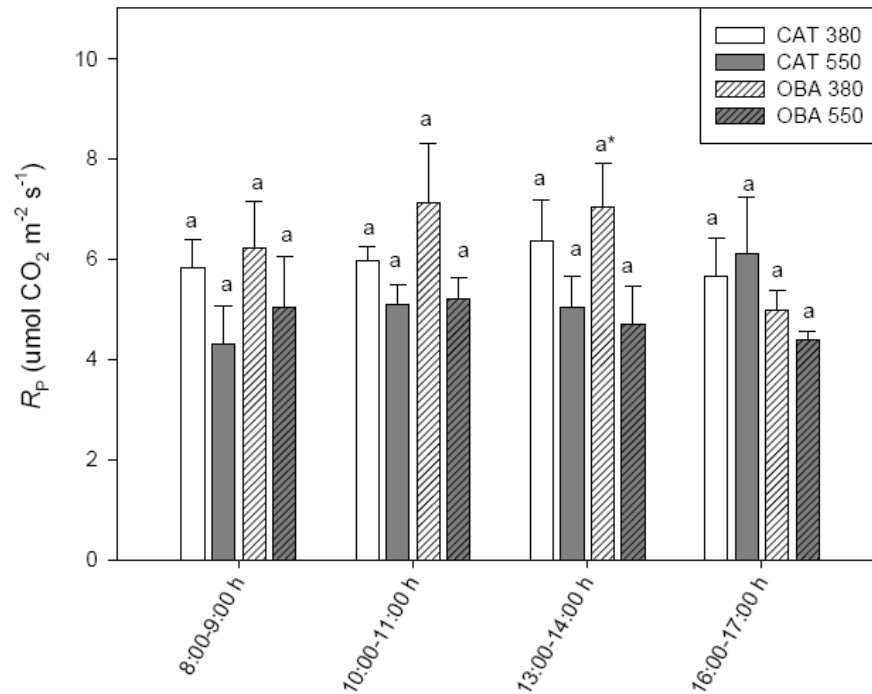
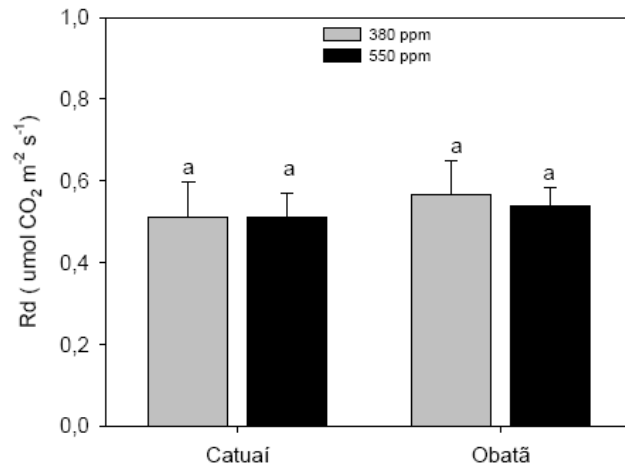
2534



Tasa de fotosíntesis (A) y conductancia estomatal (g_s) de plantas de Catuaí y Obatã sembradas en 380 o 550 ppm de CO_2

$\uparrow g_s = \uparrow$ apertura estomática

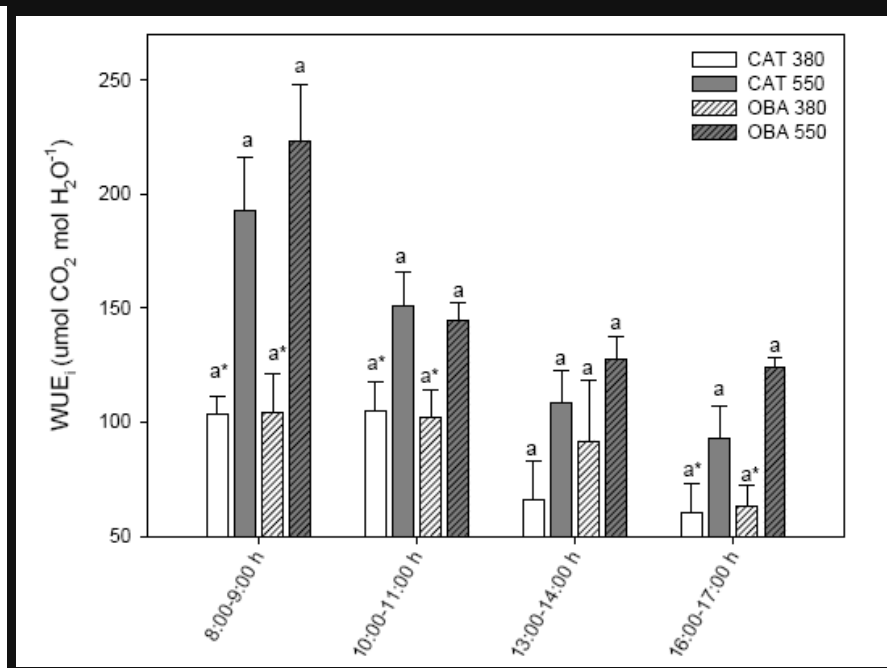
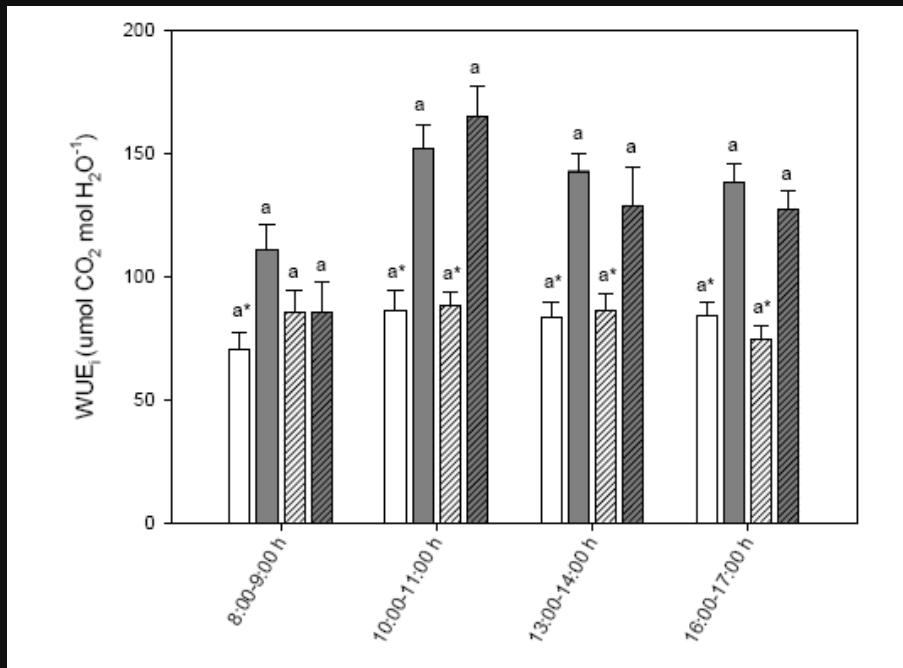


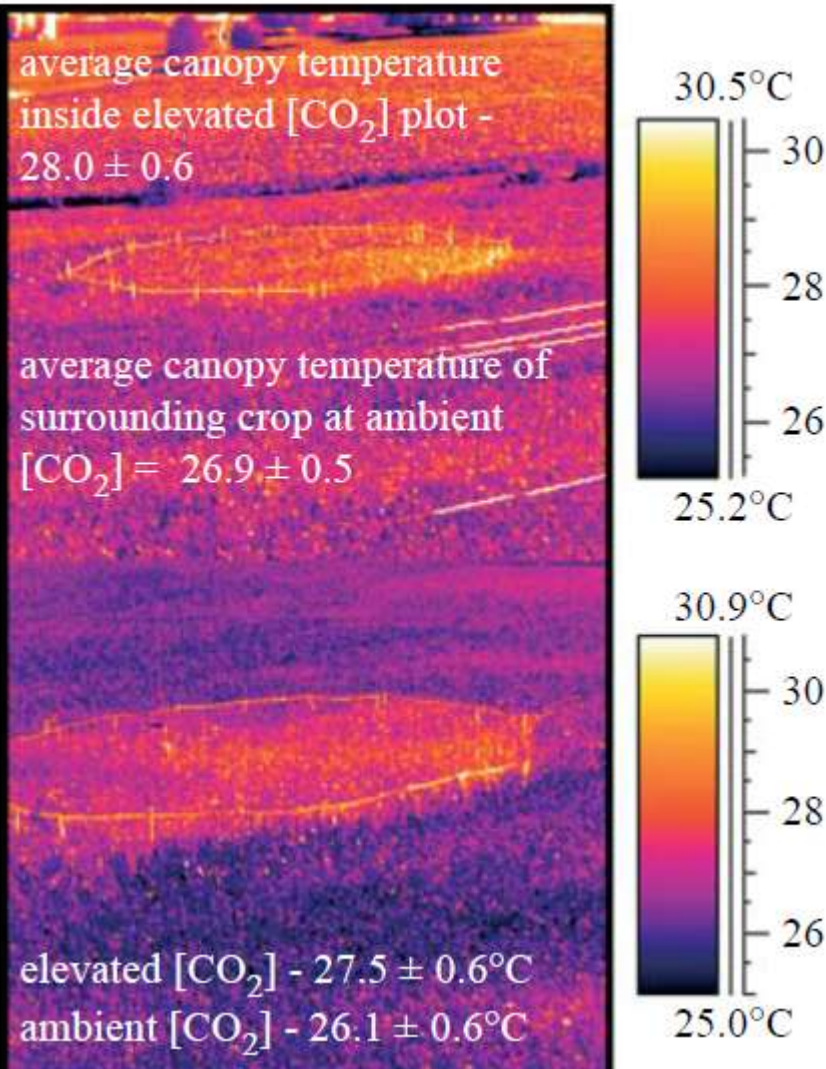


Tasa de respiración (R_d) y tasa de fotorespiración (R_p) de plantas de Catuaí Rojo y Obatã sembradas en 380 o 550 ppm de CO₂



Eficiencia del uso de agua (WUE) de plantas de Catuaí y Obatã sembradas en 380 o 550 ppm de CO₂, en febrero (izquierda) y agosto (derecha) del 2013





En algunas especies, el cierre de los estomas no responde al aumento de [CO₂], como parece ser el caso del café!

Proc. R. Soc. B (2009) **276**, 2333–2343
doi:10.1098/rspb.2008.1517



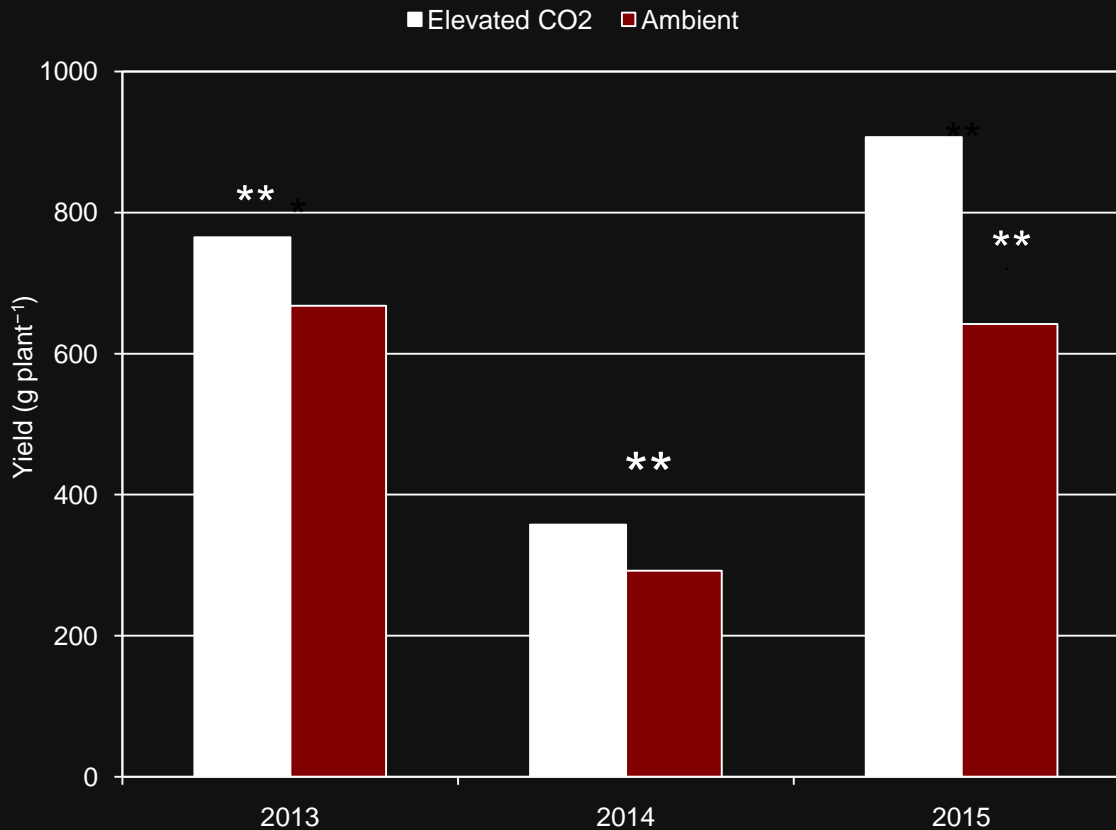
Face = plantas con 18 meses

Dentro del Face



Fuera del Face

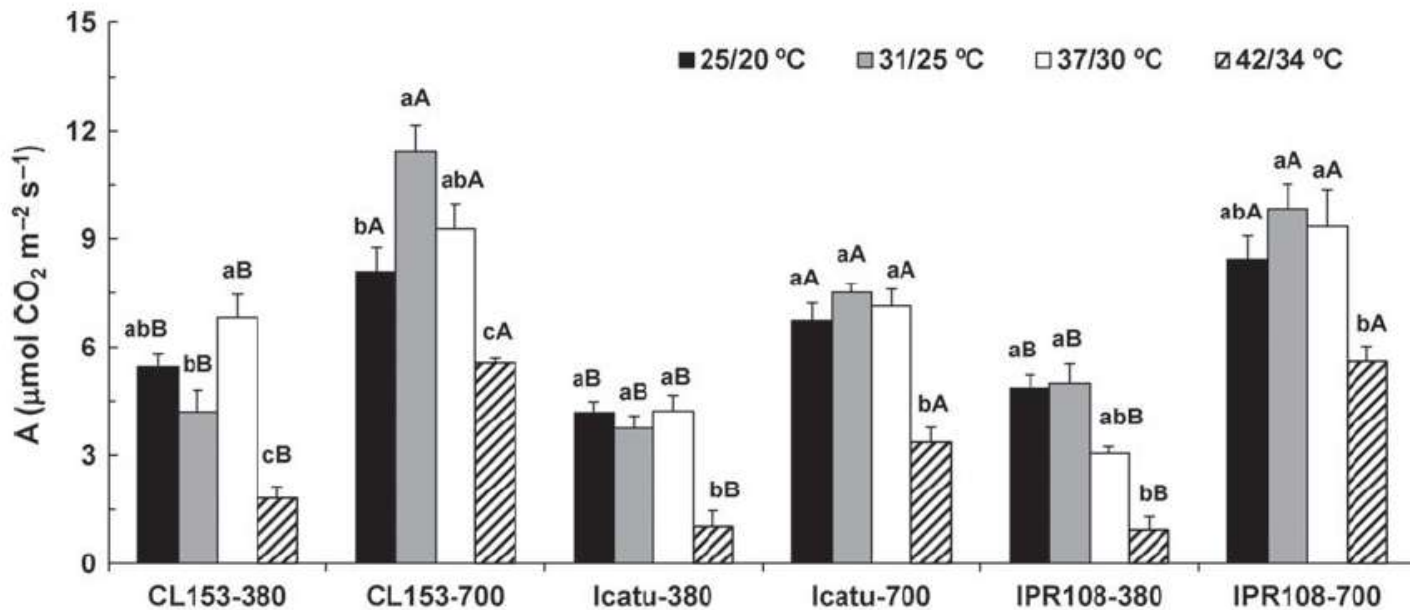




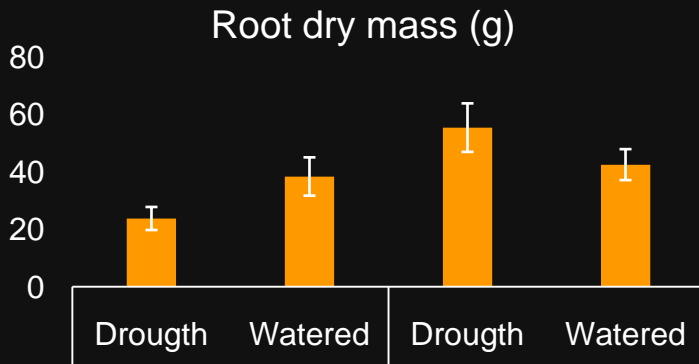
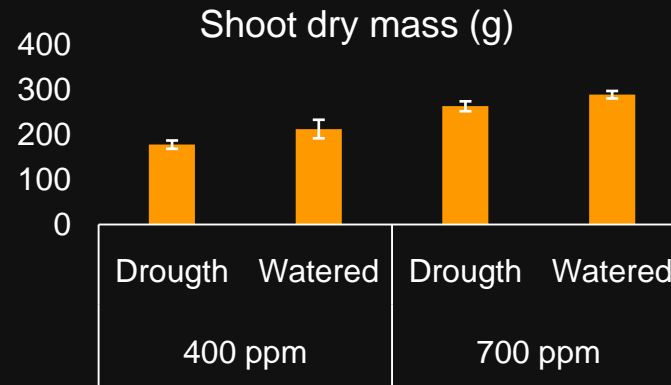
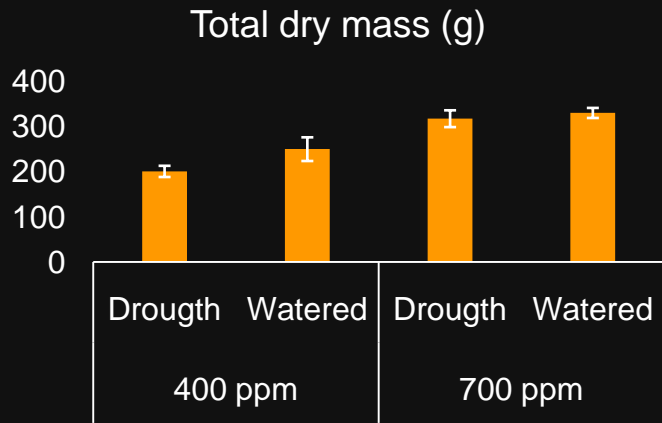
Efecto de la [CO₂] sobre la producción de café: alta (550 ppm) o ambiente (390 ppm) [CO₂]



Long-term elevated air [CO₂] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species



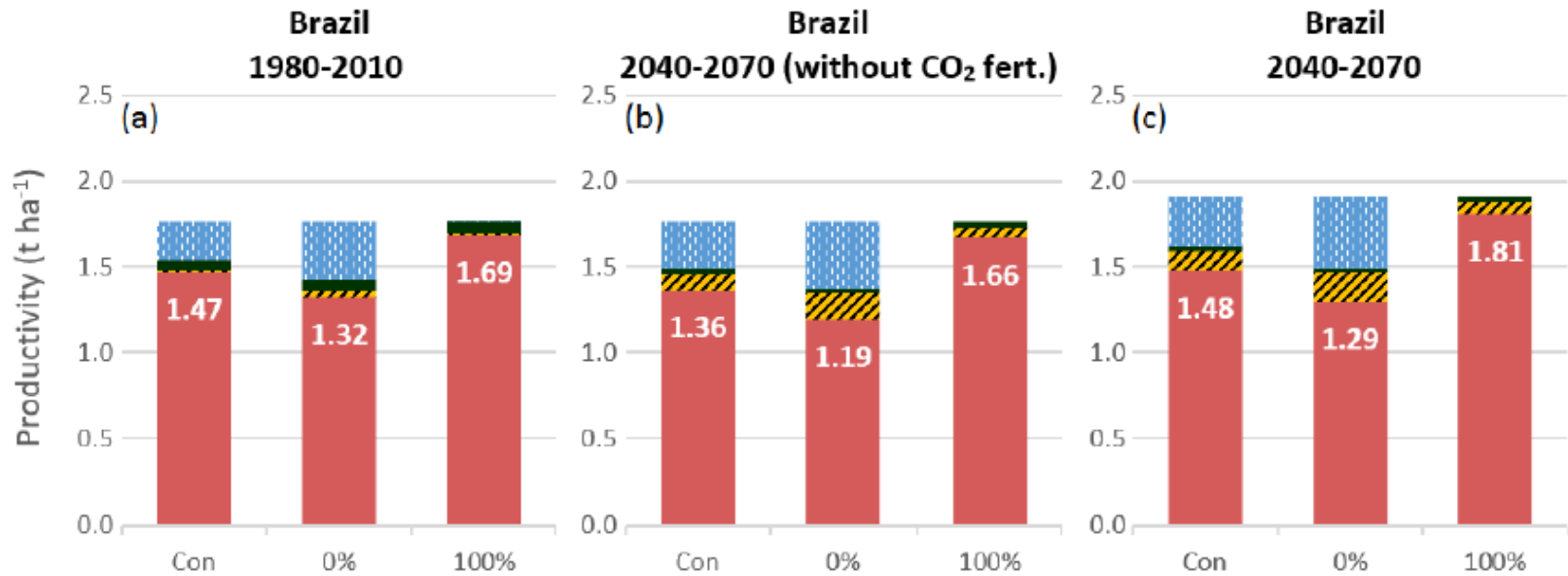
Biomasa de plantas de café en condiciones bien regadas o bajo sequía y sometidas a 400 o 700 ppm CO₂



En resumen, posibles ventajas del cafeto bajo alto[CO₂]

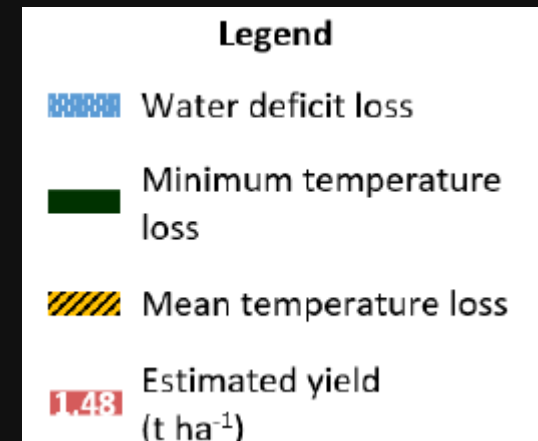
- ✓ Mayor tasa de fotosíntesis (35-56%)
- ✓ Mantenimiento de la apertura estomatal: menor calentamiento de las hojas
- ✓ Ausencia de aclimatación fotosintética
- ✓ Alteraciones mínimas en la concentración foliar de nitrógeno





Estimated Arabica yield and losses in Brazil, simulated for the periods 1980-2010 and 2040-2070 under different irrigation and CO₂ scenarios (Con=constant irrigation at the level of 2006; 0%=non irrigation; 100%=full irrigation)

Carbon dioxide fertilization offsets negative impacts of climate change on Arabica coffee yield in Brazil



Conclusiones

- Las predicciones catastróficas sobre el futuro de la caficultura no han considerado el efecto amortiguador del incremento del $[CO_2]$ y tampoco la variabilidad genética respecto a la tolerancia a elevadas temperaturas
- Parece haber una resistencia al calor relevante del café y que el incremento de $[CO_2]$ puede mitigar notablemente el impacto del calor en la fisiología del café, jugando así un papel clave en la sostenibilidad de los cultivos en futuros escenarios de cambio climático



Algunas respuestas al incremento de [CO₂] parecen depender del cultivar

- La incidencia de la roya parece disminuir (cv. Catuaí) o permanecer sin cambios (cv. Obatã) en respuesta a una mayor [CO₂]
- Se han encontrado disminuciones moderadas en el contenido de minerales foliares (de 7 a 25%) en alta [CO₂] en algunos cultivares, como en cv. Conilon (N, Mg, Ca, Fe) y cv. Icatu (N, K, Fe), pero no en cv. IPR 108 (excepto Fe)



Brechas en nuestros conocimientos sobre procesos clave de producción

- ✓ Floración: los aumentos de temperatura podrían ser más problemáticos durante ciertos períodos fenológicos como la floración; y no hay expectativa fisiológica de que el incremento del $[\text{CO}_2]$ pueda amortiguar estos impactos negativos
- ✓ Calidad de tasa: desarrollo del fruto más rápido con aumento de la temperatura → mala calidad de bebida ... Pero, y el efecto del CO_2 ???



Estrategias de mitigación

- ✓ La importancia de *C. canephora* y otras especies de *Coffea*: transferencia de genes a *C. arabica*; uso como porta-injerto
- ✓ La importancia de la sombra



*Muchas gracias por su
atención!...*

fdamatta@ufv.br

