



Café en zonas bajas → ambientes más cálidos

Reinterpretación ecofisiológica del límite térmico

Tatiana M. Saldaña Villota

Fisiología Vegetal

1er Simposio Colombo - Brasileño

Ecofisiología del Café

Avances científicos e innovaciones para enfrentar
los desafíos actuales y futuros en los agrosistemas

Organizan



Apoyan





Sistemas cafeteros en zonas bajas en Colombia (<1200 msnm)

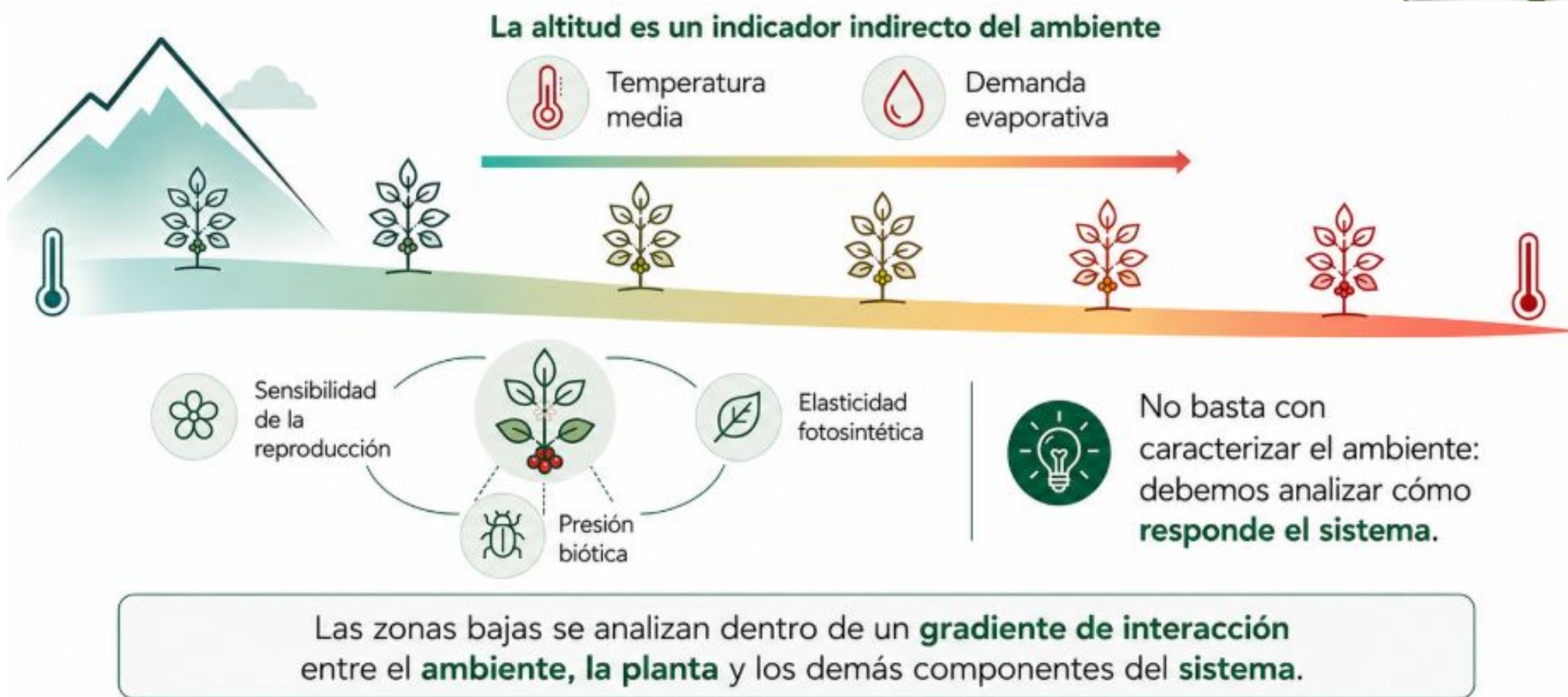
Delimitación operativa, no un umbral fisiológico. No significa que todos los ambientes situados por debajo de esa altitud tengan las mismas condiciones.



La altitud nos permite ubicar estos sistemas, pero no explica por sí sola su contexto ambiental



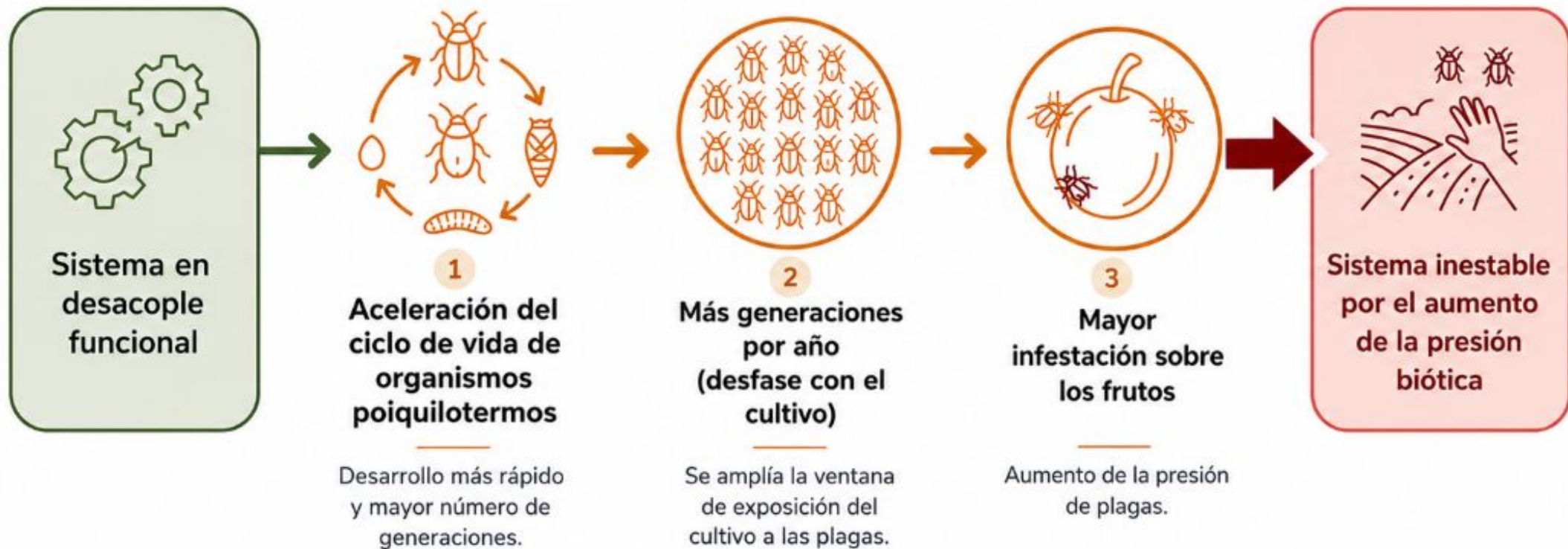
Zonas bajas → Ambientes más cálidos: De la altitud al gradiente térmico funcional





El límite térmico también redefine la presión biótica

El incremento térmico no solo afecta la fisiología del cultivo, sino también la **dinámica poblacional de plagas limitantes**





¿El **límite** del café en ambientes más cálidos responde a un umbral térmico único o a una estructura diferencial entre procesos?

Buscar una temperatura crítica permite identificar umbrales de daño para procesos específicos. Pero es insuficiente para explicar la estabilidad productiva el sistema.



No se niega la existencia de umbrales térmicos de daño. Se plantea si el **límite productivo** puede aparecer “antes”, en el momento en que alguno de estos procesos comienza a restringir el funcionamiento integrado del sistema.



Si los procesos tienen sensibilidades diferentes, el factor que limita al sistema no necesariamente siempre es el mismo



Asimilación y balance de carbono

Su restricción puede adquirir mayor importancia en condiciones relativamente frías



Procesos reproductivos

Su restricción puede adquirir mayor importancia al aumentar la temperatura

Inducción floral • desarrollo • llenado del fruto • maduración



Gradiente térmico creciente

Ambos grupos de procesos **permanecen activos**;
cambia su **importancia relativa** como limitantes del **funcionamiento y la producción**.

La posición y amplitud de esta transición dependen del genotipo y de las demás condiciones ambientales.



Intercambio gaseoso en alta demanda evaporativa

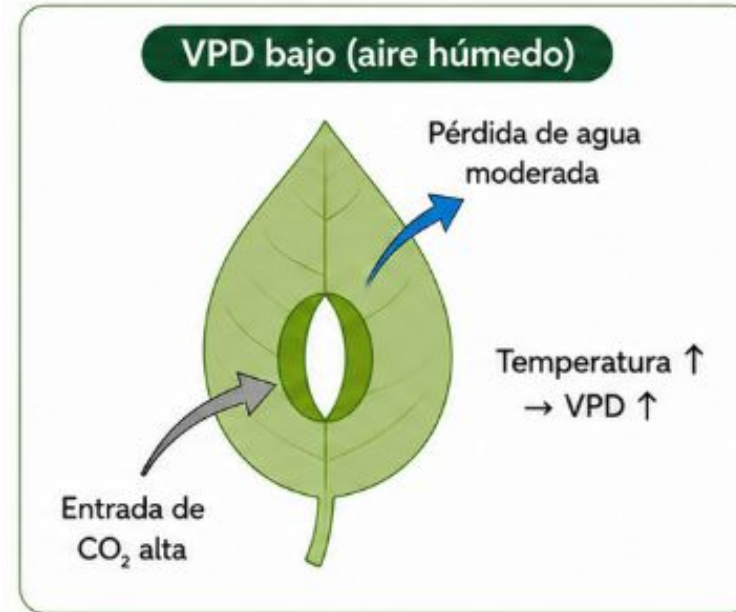


Déficit de presión de vapor (VPD)

La fuerza atmosférica que favorece la pérdida de agua desde la hoja.

Cuando la **temperatura** $\uparrow$ y la humedad no lo hace proporcionalmente, **VPD** $\uparrow$.

Frente a un mayor potencial de pérdida de agua, la planta reduce su conductancia estomática.



Regulación de la apertura de los estomas



Reducción de la conductancia estomática



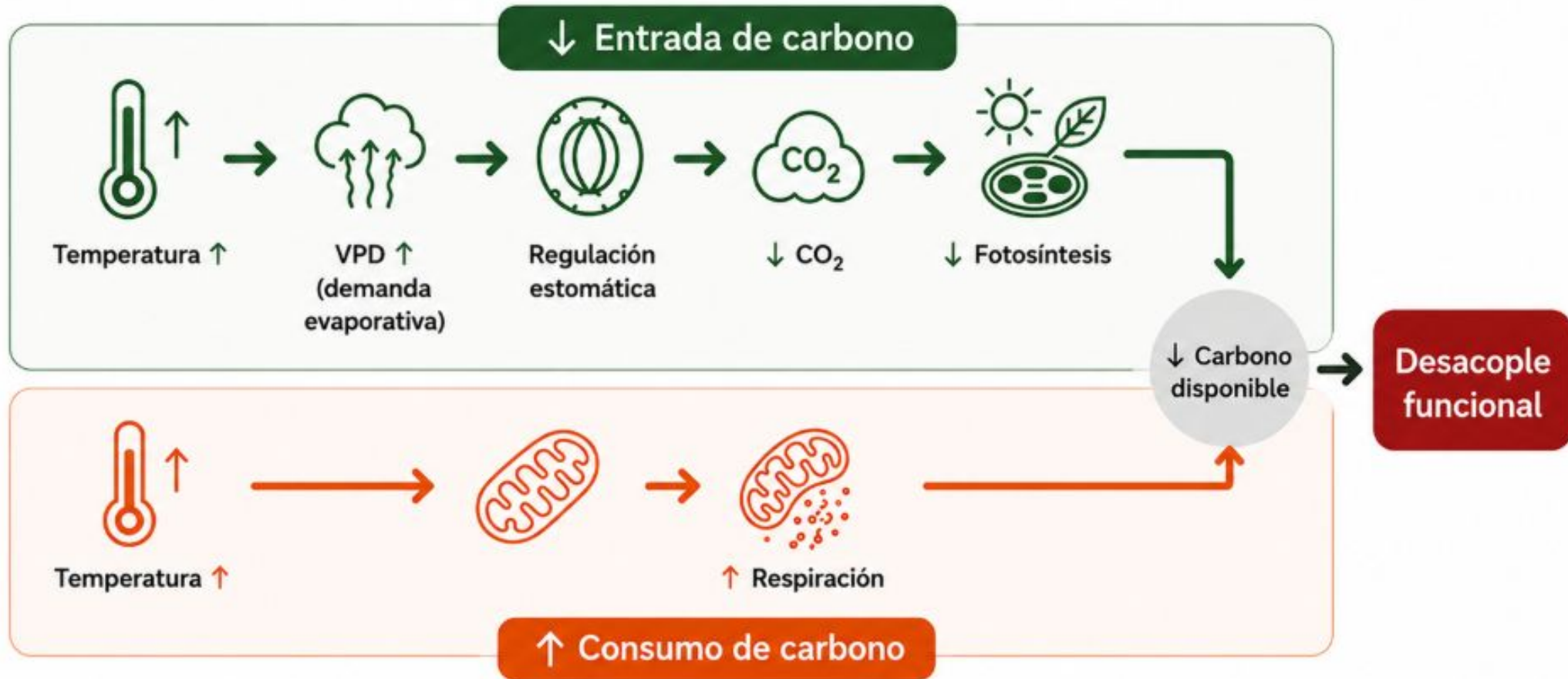
Restricción de la entrada de CO_2



Asimilación de carbono limitada por la atmósfera.



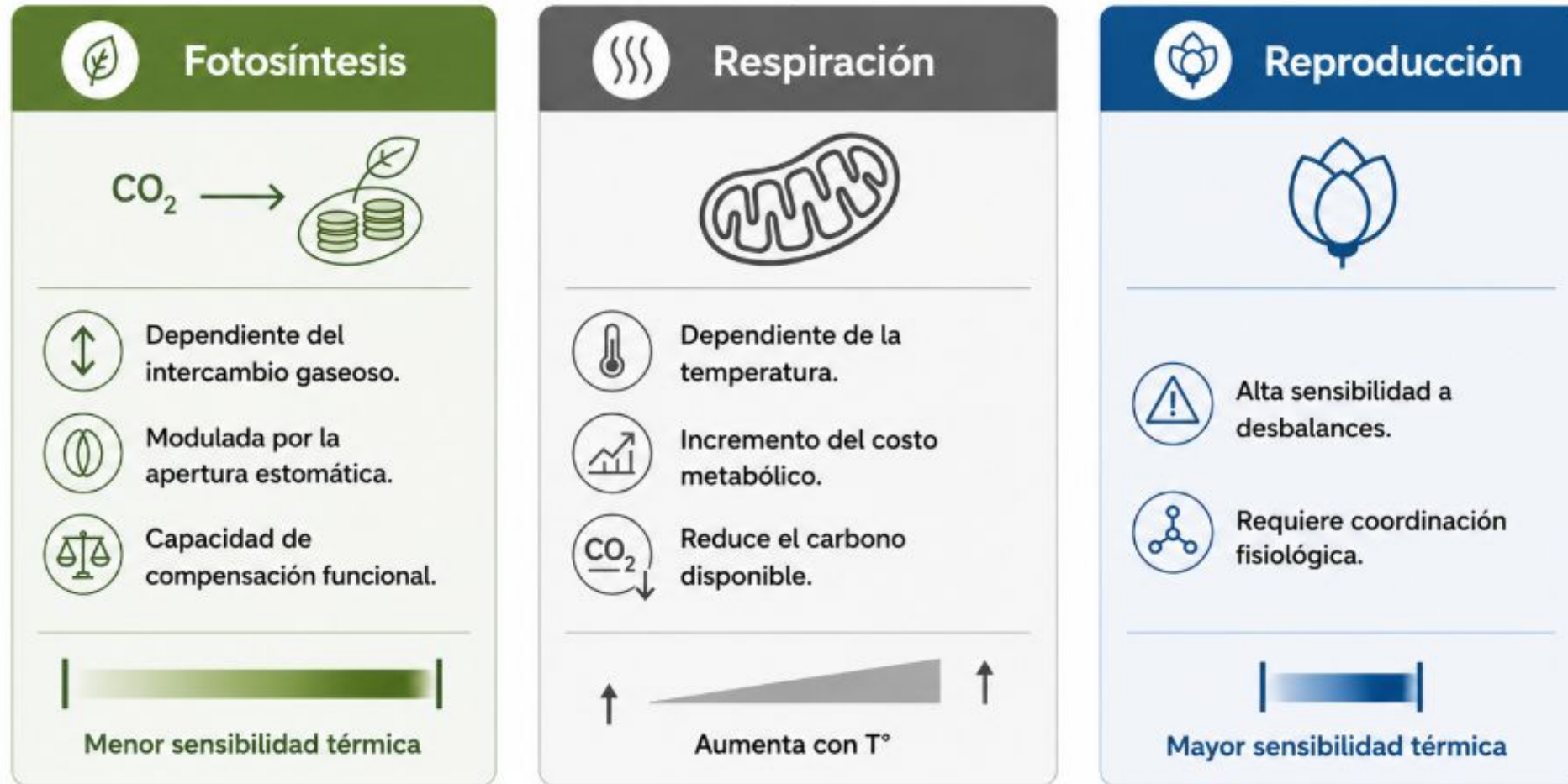
Secuencia fisiológica del desacople inducido por la atmósfera



El desacople emerge cuando la **entrada de carbono** disminuye mientras su **consumo** aumenta



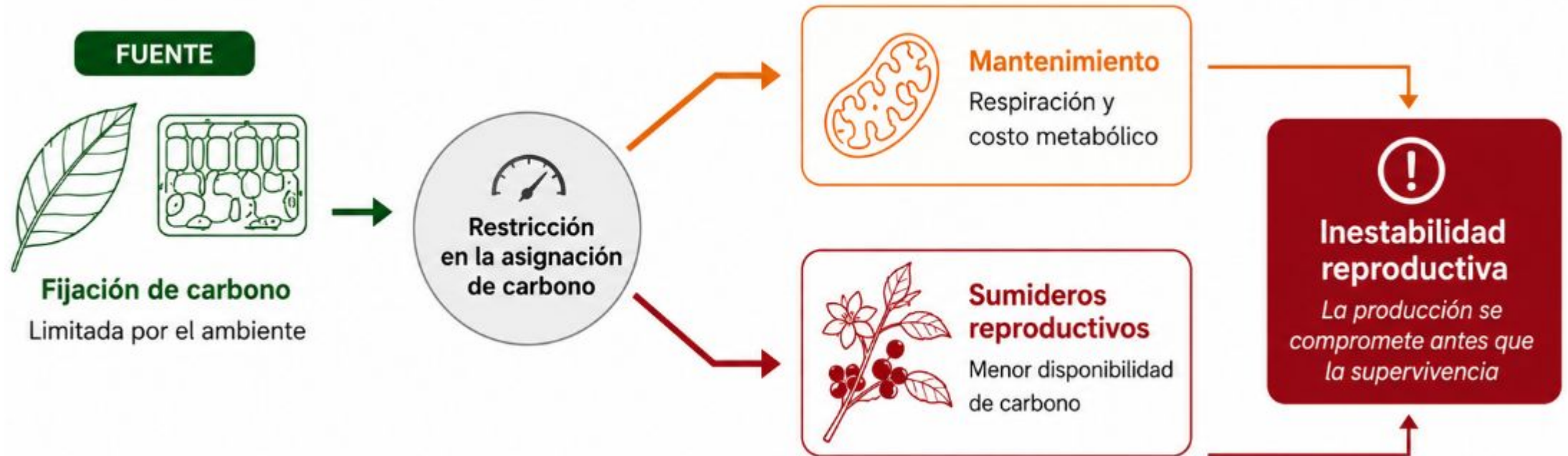
Sensibilidad fisiológica diferencial entre procesos



La respuesta diferencial entre procesos genera un **desbalance funcional del sistema**



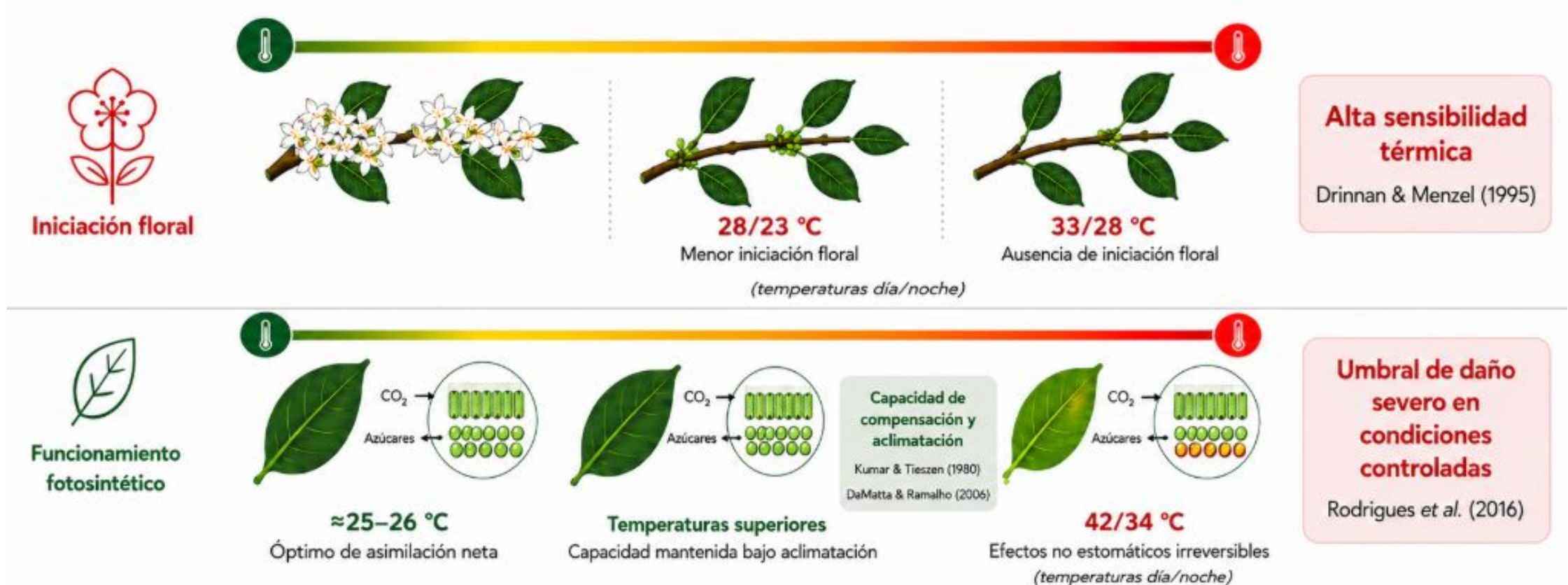
La reproducción es el punto crítico del balance fuente-sumidero



Cuando el carbono disponible no satisface la demanda de los sumideros reproductivos, la planta **prioriza su mantenimiento y se compromete la estabilidad reproductiva.**



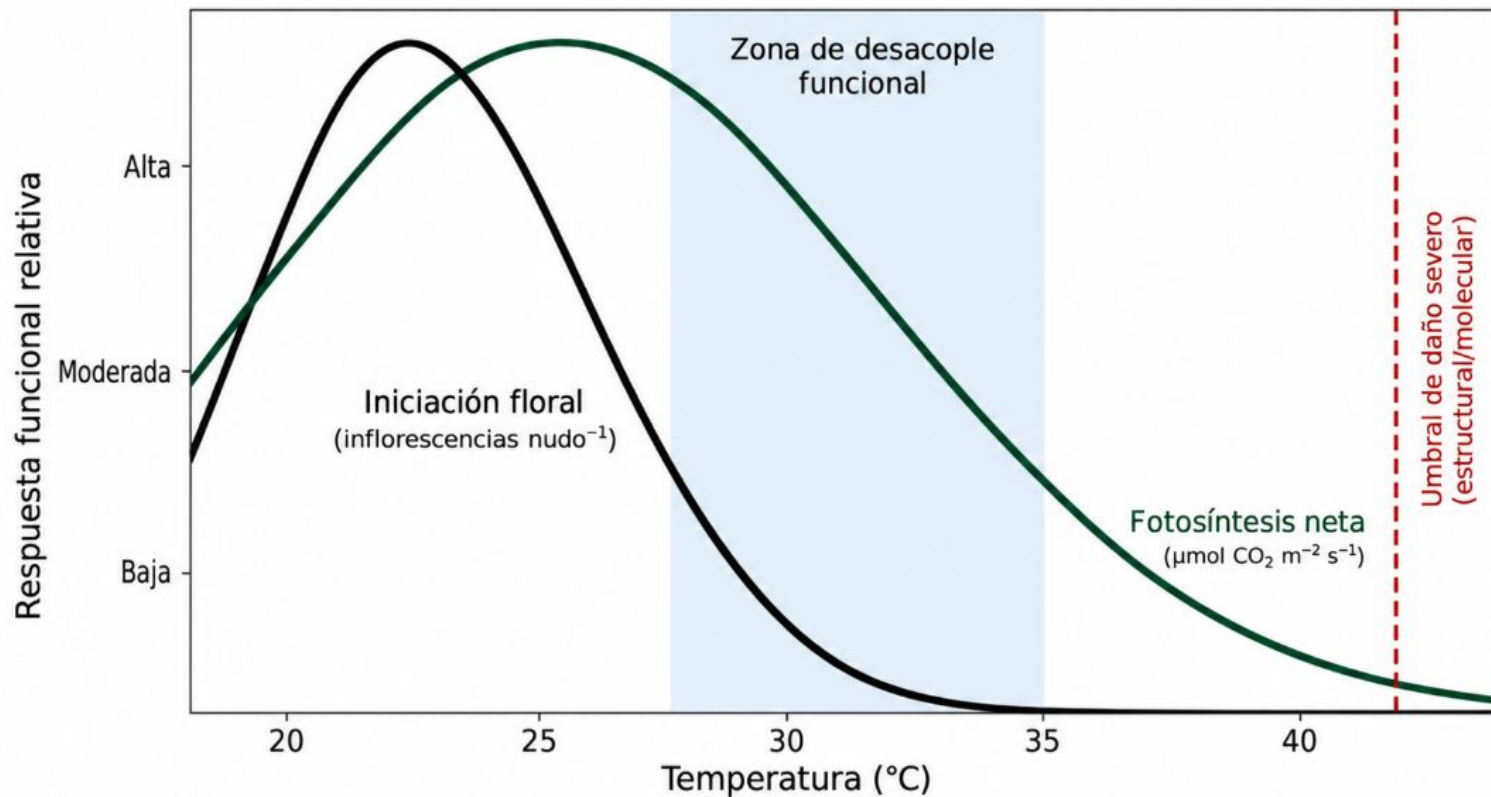
Evidencia fisiológica bajo incremento térmico



Valores de estudios en condiciones controladas y/o análisis fisiológicos específicos. No representan automáticamente rangos productivos en campo.



Desacople térmico entre procesos fisiológicos



Representación conceptual basada en evidencia experimental comparativa
(Kumar & Tieszen, 1980; Drinnan & Menzel, 1995; DaMatta & Ramalho, 2006; Ramalho et al., 2018).

Zona de desacople funcional

No es un rango térmico “malo”.

No es un umbral de daño.

No es estrés letal.

Intervalo térmico donde la fotosíntesis se mantiene, pero la reproducción y el balance carbono-respiración se deterioran



¿Qué implica el desacople funcional?

**Sistema acoplado**

**Sincronía** entre procesos

**Balance** entre entrada y uso de carbono

**Reproducción** funcional

Producción **estable**

**Sistema desacoplado**

**Pérdida** de sincronía

**Déficit** de carbono

Reproducción **comprometida**

Producción **inestable**

El problema no es que el sistema deje de funcionar, sino que **deja de funcionar de manera coordinada.**



Supervivencia fisiológica ≠ Estabilidad productiva



1 Sobrevivir

Evitar daño estructural.



Integridad de proteínas

Daño ~ **42 °C**



2 Funcionar

Mantener procesos fisiológicos, incluida la fotosíntesis.



Funcionamiento fotosintético

Óptimo ~ **25–26 °C**

Funcional hasta ~ **30–35 °C**



Desacople funcional

Pérdida temprana de coordinación entre procesos



3 Producir de manera estable

Mantener coordinados los procesos que determinan la reproducción y el rendimiento.



Estabilidad reproductiva

Alta sensibilidad a desbalance funcional (**>28 °C**)

Desbalance temprano del sistema



4 Rendimiento agronómico

Resultado de la coordinación entre procesos.



La producción estable emerge solo cuando la **reproducción** se mantiene **coordinada** con los demás procesos fisiológicos.

Necesario,
pero no suficiente
para el límite
agronómico

Por eso, el límite de interés agronómico **no está definido** por la temperatura máxima que la planta **puede soportar** ni por aquella en la que **todavía fotosintetiza**, sino por su capacidad de **sostener una producción estable**.



C. arabica y *C. canephora*

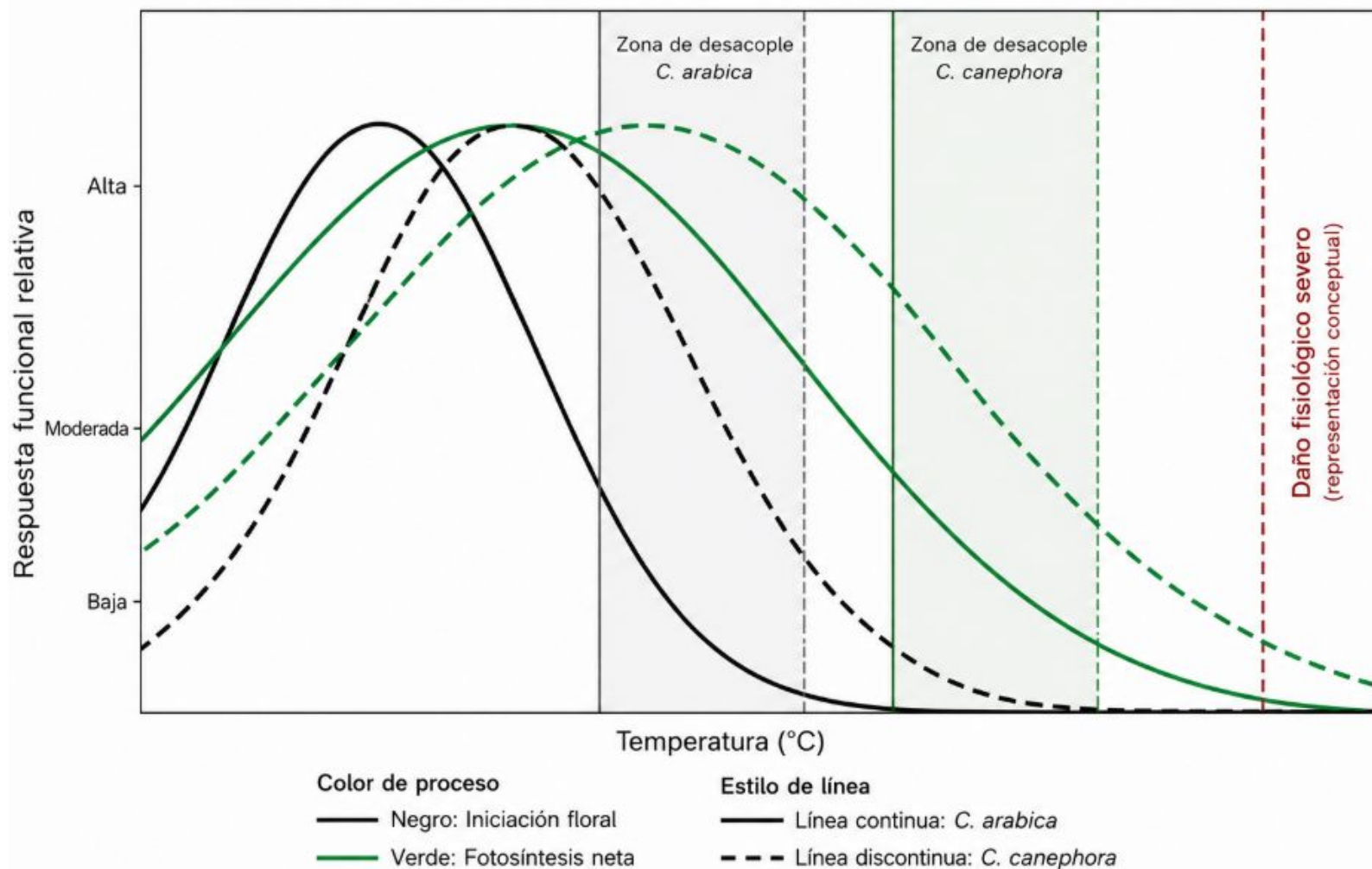
Mismo patrón fisiológico, distinto intervalo térmico

Proceso	<i>Coffea arabica</i>	<i>Coffea canephora</i>
 Estabilidad reproductiva	 Alta sensibilidad al desacople (>28 °C). (Drinnan & Menzel, 1995)	● Mantiene funcionalidad reproductiva en condiciones de mayor demanda atmosférica. (Crasque et al., 2025; Kath et al., 2020)
 Funcionamiento fotosintético	 Óptimo ~25–26 °C; funcional hasta 30–35 °C bajo aclimatación. (Kumar & Tieszen, 1980; DaMatta & Ramalho, 2006)	● Mayor estabilidad funcional bajo temperaturas elevadas. (DaMatta, 2007; Kath et al., 2020)
 Umbral de daño estructural	 Daño severo ~42 °C. (Ramalho et al., 2018)	● Umbral de daño estructural similar (~42 °C). (Ramalho et al., 2018)



El patrón fisiológico es el mismo;
lo que cambia es el **rango** donde el sistema evita el desacople

El desacople precede al daño estructural



Síntesis conceptual basada en Kumar y Tieszen (1980), Drinnan y Menzel (1995), DaMatta et al. (2018) y Marques et al. (2021).

El patrón es el mismo.

El intervalo térmico se desplaza.

El desacople ocurre antes del daño estructural

El desacople es una propiedad del sistema, no de la especie



Si el límite depende de la posición del sistema, la intervención debe ser funcional



El reto no es la supervivencia térmica, sino el rango donde el sistema mantiene **coordinación funcional**.



Intervenir es **desplazar el rango** donde el sistema se mantiene acoplado.



Generar variabilidad funcional (genética/fisiológica)



Coffea arabica



Base del sistema productivo



Alta calidad



Mayor restricción térmica



Coffea canephora



Desplaza el rango de acople hacia **condiciones más cálidas**



Híbridos interespecíficos



Integran atributos funcionales que permiten **mantener el sistema acoplado** sin sacrificar calidad





Materiales interespecíficos para ambientes más cálidos



La variabilidad genética permite **desplazar el rango** donde el sistema se mantiene acoplado.



C. arabica define la base del sistema, mientras *C. canephora* opera en un rango térmico distinto.



14 híbridos
interespecíficos

C. arabica x
C. canephora



4 líneas
provenientes de
cruzamientos

Caturra x Híbrido de
Timor



Objetivo
fisiológico

Desplazar el rango
donde el sistema se
mantiene acoplado bajo
mayor demanda
atmosférica

Variedad de Cenicafé para zonas marginales bajas
Variedad compuesta



Disclaimer

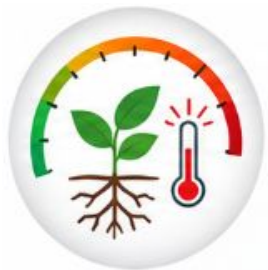
La **variedad** no es una solución cerrada; es una buena estrategia de desplazamiento funcional del sistema.



Es una estrategia para reposicionar el sistema dentro del gradiente térmico funcional.



El límite térmico del café es una propiedad del sistema



No es un
umbral fijo



No es una
propiedad
aislada de la
planta



Es una
propiedad
del **sistema**



Depende de la
coordinación
entre procesos



Entender el límite térmico del café exige pasar de la supervivencia a la función productiva.

No buscamos únicamente plantas que toleren temperaturas más altas, sino sistemas capaces de **continuar produciendo** bajo condiciones más cálidas.

Gracias



cenicafe.org



Cenicafé FNC



@cenicafe



cenicafé



CenicaféFNC



@cenicafefnc