

INTERCIENCIA

Revista de Ciencia y Tecnología de América

Interciencia

Asociación Interciencia

interciencia@ivic.ve

ISSN (Versión impresa): 0378-1844

VENEZUELA

2001

Ana Herrera / María Dolores Fernández / Elizabeth Rengifo / Wilmer Tezara
EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN ELEVADA DE CO₂ SOBRE LA FOTOSÍNTESIS
EN ESPECIES TROPICALES

Interciencia, octubre, año/vol. 26, número 010

Asociación Interciencia

Caracas, Venezuela

pp. 469-471

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Universidad Autónoma del Estado de México

reDalyC
LA MEMORIA CIENTÍFICA EN LÍNEA
<http://redalyc.uaemex.mx>

EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN ELEVADA DE CO₂ SOBRE LA FOTOSÍNTESIS EN ESPECIES TROPICALES

ANA HERRERA, MARÍA DOLORES FERNÁNDEZ,
ELIZABETH RENGIFO y WILMER TEZARA

La concentración de CO₂ ([CO₂]) en la atmósfera ha venido incrementando de manera exponencial a razón de unos 1,5 μmol mol⁻¹ año⁻¹ desde finales del siglo XVIII como resultado de la quema de combustibles fósiles, y se predice una concentración similar al doble de la concentración pre-industrial (280 μmol mol⁻¹) para mediados del siglo XXI (Houghton *et al.*, 1995). Esta elevación de la [CO₂] seguramente tendrá efectos importantes sobre la fisiología de las plantas y la producción de biomasa, ya que gran cantidad de estudios, mayoritariamente realizados en regiones templadas, han demostrado que la tasa fotosintética y el crecimiento de plantas C3 incrementa con un aumento de la [CO₂] de cultivo (Kimball, 1983). Adicionalmente, se predice que puede ocurrir un cambio cualitativo en los patrones de precipitación del globo (Erikson, 1992), por lo cual resulta importante estudiar el efecto del CO₂ elevado sobre la fotosíntesis y las relaciones hídricas de plantas tropicales, particularmente de aquellas que crecen en zonas con déficit hídrico recurrente. La escasez de estudios sobre plantas tropicales motiva el presente trabajo.

Efecto de la [CO₂] elevada sobre la fotosíntesis de plantas xerófitas

Para conocer el efecto de una concentración elevada de CO₂ sobre la fotosíntesis y el crecimiento de xerófitas se cultivaron plantas de *Ipomoea carnea* (C3), *Jatropha gossypifolia* (C3), *Alternanthera crucis* (C3-C4) y *Talinum triangulare* (CAM inducible) en cámaras abiertas diseñadas según Pérez (1998). Estas especies crecen en las zonas semi-áridas de Venezuela; sus mecanismos fotosintéticos y de resistencia a la sequía se conocen bien (Herrera *et al.*, 1991; Herrera *et al.*, 1994; Tezara *et al.*, 1998). En un primer experimento se cultivaron las plantas en una cámara a [CO₂] = 350 ± 3 μmol mol⁻¹ (AC), otra cámara a [CO₂] = 510 ± 10 μmol mol⁻¹ (EC) y una parcela control sin cámara (U) con un volumen limitado de suelo. En este experimento, la tasa fotosintética máxima (A_{max}) incrementó en todas las especies aproximadamente 3,5 veces por efecto de la [CO₂] elevada, disminuyendo después de algunas semanas (Fernández *et al.*, 1999). No hubo un efecto evidente de la ruta de fijación de carbono sobre la respuesta de cada especie al aumento de la [CO₂].

Hubo una reducción de la eficiencia de carboxilación en *I. carnea*, *J. gossypifolia* y *A. crucis* debida a la [CO₂] elevada, acompañada por una disminución en el contenido de rubisco respecto a las plantas control, de 3,2 a 2,9 (EC v. AC); 6,1 a 4,4 y 8,3 a 5,5 gm⁻², respectivamente. La sequía ocasionó una disminución en la A_{max} en todas las especies pero la [CO₂] elevada retrasó esa disminución (Tabla I). Las plantas cultivadas en EC presentaron cambios en la conductancia estomática (g) con respecto a las plantas cultivadas en AC y U en lluvia; en sequía, g fue mayor en EC que en los controles en plantas de *I. carnea* y *J. gossypifolia* (Tabla I), evidenciando el papel de la [CO₂] elevada sobre la mejora del estado hídrico de las plantas.

En un segundo experimento en que el número de réplicas fue cinco (AC y U, [CO₂] = 454 ± 3 μmol mol⁻¹, EC, [CO₂] = 677 ± 10 μmol mol⁻¹) y las plantas pudieron explorar un volumen grande de suelo, se encontró que la fotosíntesis del "ecosistema" fue mayor en [CO₂] elevada, tanto bajo riego como en sequía (Figura 1), sin encontrarse evidencias de regulación descendente de la fotosíntesis (Fernández *et al.*, 1999).

PALABRAS CLAVE / Fotosíntesis / Dióxido de Carbono / Especies Tropicales / Xerófitas /

Recibido: 22/06/2001. Aceptado: 25/06/2001

Ana Herrera. Licenciada en Biología, Universidad Central de Venezuela (UCV). Ph.D. Plant Sciences, University of London. Laboratorio de Ecofisiología de Xerófitas, Centro de Botánica Tropical, Instituto de Biología Experimental, IBE-UCV. Dirección: Apartado 47577, Caracas 1041 A. e-mail: aherrera50@hotmail.com

María Dolores Fernández. Licenciada en Biología, UCV. Ph.D. en Biología, UCV. Laboratorio de Ecofisiología de Xerófitas, Centro de Botánica Tropical, IBE-UCV.

Elizabeth Rengifo. Licenciada en Biología, UCV. Doctora en Biología, UCV. Laboratorio de Ecofisiología Vegetal, Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas.

Wilmer Tezara. Licenciado en Biología, UCV. Doctor en Biología, UCV. Laboratorio de Ecofisiología de Xerófitas, Centro de Botánica Tropical, IBE-UCV.

Efecto de la $[CO_2]$ elevada sobre la fotosíntesis de plantas de cultivo: efecto de la ausencia de limitaciones por sumidero sobre la regulación descendente de la fotosíntesis.

La regulación descendente de la fotosíntesis debida a la $[CO_2]$ elevada consiste en un descenso de la tasa fotosintética desde valores iniciales que son superiores a los medidos en plantas a $[CO_2]$ ambiental hasta valores a $[CO_2]$ ambiental (Wulff y Strain 1982; Lawlor y Keys 1993); se observa frecuentemente en experimentos en potes y ha sido atribuida a una limitación impuesta por el tamaño del sumidero, la disponibilidad de nutrientes y la restricción al crecimiento radical (Barrett y Gifford 1995, Drake *et al.*, 1997). Con el objeto de poner a prueba esta hipótesis y de observar el efecto de una $[CO_2]$ elevada sobre la fotosíntesis y el crecimiento de una especie tropical de cultivo, se hizo el mismo estudio descrito arriba, en plantas de yuca (*Manihot esculenta* L.). Se escogió esta especie porque presenta un sumidero grande, la raíz, el cual incrementa de tamaño a medida que crece la planta; las plantas fueron cultivadas sin limitación

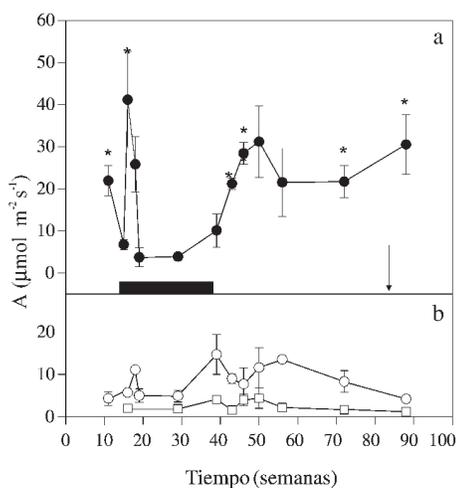


Figura 1. Cambios en el tiempo en la fotosíntesis del ecosistema constituido por plantas de *Ipomoea carnea*, *Jatropha gossypifolia*, *Alternanthera crucis* y *Talinum triangulare* cultivadas en cámaras sin techo a $[CO_2]$ elevada (símbolos llenos) y a $[CO_2]$ ambiental (símbolos vacíos). Círculos vacíos, plantas cultivadas en cámaras a $[CO_2]$ ambiental; cuadrados vacíos, plantas cultivadas en parcelas sin cámaras. Los valores son medias \pm EE (n = 3). El asterisco indica diferencias significativas entre el tratamiento a $[CO_2]$ elevada y los controles (p < 0,05). La barra llena en las abscisas señala el período durante el cual no se realizó la fumigación con CO_2 . La flecha indica el inicio de la sequía.

TABLA I
TASA FOTOSINTÉTICA Y CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA DE PLANTAS CULTIVADAS EN $[CO_2]$ ELEVADA Y AMBIENTAL

Especie	Tratamiento	A_{max} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			g ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)		
		U	AC	EC	U	AC	EC
<i>I. carnea</i>	regadas	21,9	20,0	28,7*	324	425	659*
	en sequía	-1,0	-1,0	9,5*	59	71	154*
	reirrigadas	14,6	12,4	33,3*			
<i>J. gossypifolia</i>	regadas	10,7	14,9	22,5*	867	513	317
	en sequía	1,2	0,2	1,1	33	16	17
	reirrigadas	11,5	16,9	22,8*			
<i>A. crucis</i>	regadas	22,5	24,6	40,2*	483	340	465*
	en sequía	10,7	7,3	24,7*	137	70	153*
	reirrigadas	22,2	19,9	29,2			
<i>T. triangulare</i>	regadas	10,2	6,4	22,4*	281	212	475*
	en sequía	-0,2	-0,9	-0,2	1	13	12
	reirrigadas	9,1	10,6	27,1*			

Las plantas regadas fueron medidas a las 82 semanas de tratamiento; las plantas en sequía fueron medidas después de 4 semanas de la suspensión del riego, desde la semana 82 hasta la 86. Las plantas fueron reirrigadas y las mediciones de tasa fotosintética en ellas hechas en la semana 89. Los valores son medias (n = 3). Las mediciones en la parcela sin cámara (U) y en la cámara control (AC) fueron hechas a una $[CO_2]$ = 350 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, y en la cámara con $[CO_2]$ elevada (EC) a una $[CO_2]$ = 560 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. Un asterisco denota diferencias significativas (p < 0,05) entre EC y los controles debidas a la $[CO_2]$ de crecimiento.

de sustrato. Estas dos particularidades garantizarían que la regulación descendente de la fotosíntesis no ocurra por limitación de sumideros. La Figura 2 muestra que la tasa fotosintética (A) de plantas cultivadas y medidas a $[CO_2]$ elevada fue mayor que la de plantas cultivadas y medidas a $[CO_2]$ ambiental durante todo el ciclo de cultivo. La $[CO_2]$ elevada ocasionó un aumento en la eficiencia de uso de agua intrínseca (EUAI = A/g) debido a una disminución de g. La respuesta fotosintética hacia el final del ciclo de cultivo presentó efectos indirectos del CO_2 (aclimatación), ya que la tasa fotosintética de plantas cultivadas y medidas a $[CO_2]$ elevada fue mayor que la de plantas cultivadas a $[CO_2]$ ambiental y medidas a $[CO_2]$ elevada (Fernández *et al.*, 2001, en prensa).

Efecto de $[CO_2]$ muy elevadas sobre la fotosíntesis de plantas que crecen alrededor de emanaciones naturales

Someter a las plantas a un incremento abrupto de la $[CO_2]$ desde los valores actuales hasta el doble o más del valor predicho para mediados del siglo XXI puede no reflejar la capacidad de respuesta fisiológica y anatómica de las plantas a un aumento gradual de la $[CO_2]$ atmosférica, pero las respuestas de plantas que han crecido por períodos largos en $[CO_2]$ > 350 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ pueden

dar una idea mejor de cuáles serán las respuestas de las plantas a un incremento antrópico de la $[CO_2]$ atmosférica por un

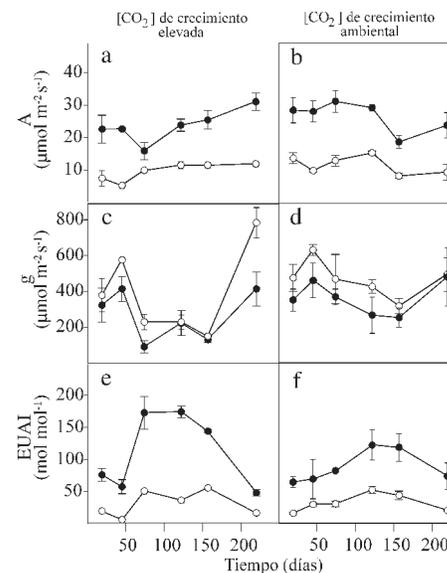


Figura 2. Cambios en el tiempo en la tasa fotosintética (a, b), la conductancia estomática (c, d) y la eficiencia de uso de agua intrínseca (e, f) de plantas de yuca cultivadas a $[CO_2]$ elevada (a, c, e) y ambiental (b, d, f) y medidas a una $[CO_2]$ de 350 (círculos vacíos) y 700 (círculos llenos) $\mu\text{mol mol}^{-1}$. Los valores son medias \pm EE (n = 5).

período de unos cien años. Situaciones naturales típicas que pueden ilustrar el caso son aquellas en que las plantas crecen en las cercanías de emanaciones naturales de CO₂, tales como volcanes y fumarolas (e.g. Miglietta y Raschi, 1993). Con el objeto de conocer las respuestas fisiológicas y anatómicas de las plantas a largo plazo a una [CO₂] supra-atmosférica natural, se estudiaron plantas de *Bauhinia multinervia* (Papilionaceae) y *Spatiphyllum cannifolium* (Araceae) que crecen cerca y lejos de dos emanaciones naturales de CO₂ ([CO₂] = 27,000 - 35,000 μmol mol⁻¹) en la península de Paria, Venezuela (Fernández *et al.*, 1998). En plantas de ambas especies que crecieron bajo [CO₂] elevada, la tasa fotosintética medida a [CO₂] = 1,000 μmol mol⁻¹ fue mayor que en plantas que crecieron a [CO₂] normal y fueron medidas a [CO₂] = 350 μmol mol⁻¹ (Tabla II). Esta respuesta fue el resultado de efectos directos del CO₂ sobre el aparato fotosintético. Concentraciones muy altas de CO₂ no inhibieron la fotosíntesis en estas especies; antes bien, les permitieron obtener balances de carbono mayores que los de plantas que crecieron a [CO₂] normal, y esto fue particularmente evidente durante la sequía. Estos resultados sugieren que las plantas pueden, en el lapso de pocas generaciones, responder a cambios muy pronunciados de la [CO₂] atmosférica sin detrimento de su capacidad fotosintética.

Conclusiones

Todas las especies de plantas tropicales examinadas, ya fueran silvestres o de cultivo, provenientes de hábitats con [CO₂] ambiental o supra-atmosférica, fueron capaces de incrementar su tasa fotosintética con un incremento - moderado o muy grande- de la [CO₂]. Los resultados aquí resumidos parecen indicar que, en ausencia de limitaciones de sustrato, las especies tropicales podrán

TABLA II
TASA MÁXIMA DE INTERCAMBIO
DIURNO DE CO₂ EN PLANTAS
Spatiphyllum Cannifolium y
Bauhinia Multinervia

	[CO ₂] de crecimiento	Tasa de intercambio de CO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹)	
<i>S. cannifolium</i>	lluvias	alta	10,7 ± 2,4
		baja	4,8 ± 1,2
	sequía	alta	2,0 ± 0,9
		baja	-1,9 ± 0,3
<i>B. multinervia</i>	lluvias	alta	13,4 ± 1,4
		baja	7,5 ± 0,4
	sequía	alta	4,2 ± 0,5
		baja	-2,4 ± 2,2

Las plantas crecieron en [CO₂] alta y baja durante la estación de lluvias y la sequía. Los valores son medias ± EE (n = 3).

beneficiarse de una duplicación de la [CO₂] atmosférica desde el punto de vista de su productividad y, posiblemente, de su estado hídrico.

REFERENCIAS

Barrett DJ, Gifford RM (1995) Acclimation of photosynthesis and growth by cotton to elevated CO₂: interactions with severe phosphate deficiency and restricted rooting volume. *Aust. J. Plant Physiol.* 22: 955-963.

Drake BG, González-Meler, MA, Long SP (1997) More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO₂? *Annual Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 48: 609-639.

Erikson J (1992) *The greenhouse effect. Tomorrow's Disaster Today.* McGraw-Hill, Inc., New York.

Fernández MD, Pieters A, Donoso C, Tezara W, Azkue M, Herrera C, Rengifo E, Herrera A (1998) Effects of a natural source of very

high CO₂ concentration on the leaf gas exchange, xylem water potential and stomatal characteristics of plants of *Spatiphyllum cannifolium* and *Bauhinia multinervia*. *New Phytol.* 138: 689-697.

Fernández MD, Pieters A, Azkue M, Rengifo E, Tezara W, Woodward FI, Herrera A (1999) Photosynthesis in plants of four tropical species growing under elevated CO₂. *Photosynthetic* 37: 587-599.

Fernández MD, Tezara W, Rengifo E, Herrera A (2001) Effects of an elevated CO₂ concentration on photosynthesis and growth of cassava plants in open top chambers. *Aust. J. Plant Physiol.* (En prensa).

Herrera A, Delgado J, Paragatuey I (1991) Occurrence of inducible Crassulacean acid metabolism in leaves of *Talinum triangulare* (Portulacaceae). *J. Exp. Bot.* 42: 493-499.

Herrera A, Tezara W, Urich R, Montes G, Cuberos M (1994) Mechanisms of drought tolerance in the C3 deciduous shrub, *Ipomoea carnea*. *Ecotrópicos* 7: 35-47.

Houghton J, Meira Filho LG, Bruce J, Hoesung L, Callander BA, Haites E, Harris N, Maskell K (1995) En *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios.* Cambridge University Press, Cambridge. pp. 58-66

Kimball BA (1983) Carbon dioxide and agricultural yield: an assemblage and analysis of 430 prior observations. *Agron. J.* 75: 779-789.

Lawlor DW, Keys AJ (1993) Understanding photosynthetic adaptation to changing climate. En Fowden L, Mansfield T, Stoddart J (Eds.) *Plant Adaptation to Environmental Stress.* Chapman and Hall. Londres.

Miglietta F, Raschi A (1993) Studying the effect of elevated CO₂ in the open in a naturally enriched environment in Central Italy. *Vegetatio* 104/105: 391-393.

Pérez MM (1998) Diseño y prueba de una cámara abierta para estudiar el efecto de la concentración supra-ambiental de CO₂ sobre la fotosíntesis en el campo. Tesis de M.Sc. en Ciencias, Mención Botánica, Universidad Central de Venezuela.

Tezara W, Fernández MD, Donoso C, Herrera A (1998) Seasonal changes in photosynthesis and stomatal conductance of five plant species from a semiarid ecosystem. *Photosynthetic* 35: 399-410.

Wulff, R, Strain B (1982) Effects of CO₂ enrichment on growth and photosynthesis in *Desmodium paniculatum*. *Can. J. Bot.* 60: 1084-1091.