

CAMBIO CLIMATICO Y AGRICULTURA: PERSPECTIVAS EN LA PRODUCCION EN CANTIDAD Y CALIDAD DE ALIMENTOS

Raúl Jaramillo¹

¹ *International Plant Nutrition Institute (IPNI). Oficina para el Norte de Latino América. Correo electrónico: rjaramillo@ipni.net*

INTRODUCCION

Está virtualmente confirmado, que el contenido de CO₂ en la atmósfera a finales del siglo XXI será de al menos de 500 partes por millón (ppm), esto representa un incremento de alrededor del 50% de los valores actuales (350 ppm) o de cerca al 100% si se consideran los valores previos a la revolución industrial del siglo XIX (280 ppm). Este incremento, de manera inequívoca, va a producir una serie de alteraciones en el clima a nivel local y mundial, algunos de los cuales se pueden ya se empiezan a observar en la actualidad.

Tanto las alteraciones del clima: incremento de temperatura, cambios en el patrón de lluvias y eventos extremos como sequías o tormentas, más el rol que pueda tener el cambio de la concentración de CO₂ atmosférico en la fisiología de los cultivos, van a afectar la producción de cultivos en numerosos aspectos, que con urgencia la comunidad científica y los actores políticos tratan de entender.

En el siguiente artículo pretendo hacer un resumen de la visión que tiene la ciencia en cuanto a las amenazas que conlleva el inminente cambio climático para la producción de alimentos en cantidades y con la calidad suficiente para alimentar a una población humana que llegará al máximo de 9000 millones de habitantes en el año 2050.

Antecedentes del cambio climático.

“Lo único permanente es el cambio mismo” – Heráclito, 500 a. C.

Visto en una escala de tiempo geológica, el clima de la Tierra ha experimentado profundos cambios a través de su historia. La ciencia de la Paleoclimatología encuentra evidencia de ciclos de temperatura relacionados con la oscilación del eje de la tierra y que se modifican por cambios en la producción y captura de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) que a su vez estarían relacionados con otros factores no completamente dilucidados, entre los que se supone las corrientes marinas pueden jugar un papel importante (Ruddiman, 2001; Figura 1). Tanto el metano como el dióxido de carbono aumentan la retención de energía reflejada en la tierra hacia el espacio, a manera del techo de un invernadero que captura el calor de la luz del sol. El CH₄, el CO₂ y otros gases con esta propiedad se han denominado gases de efecto invernadero (GEI)(IPCC, 2007a).

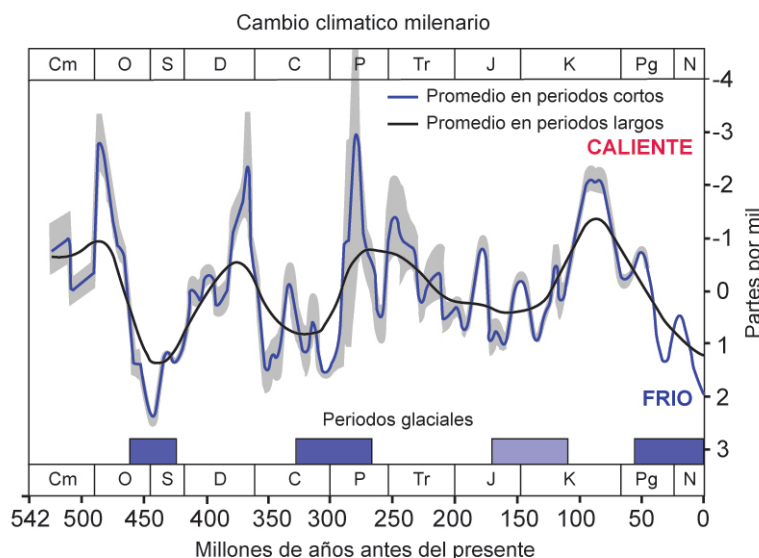


Figura 1. Ciclos de incrementos de temperatura aproximados por la presencia del isótopo de Oxígeno 18. La tierra ha sufrido varias épocas glaciales así como periodos sin presencia de hielo en los polos. (Adaptado de http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phanerozoic_Climate_Change.png)

Por ejemplo, la evidencia geológica observada en sedimento marino y en hielos milenarios indica que el tenor de CO_2 atmosférico ha oscilado en los últimos 400 000 años entre 200 a 280 ppm de manera natural, con largos ciclos de disminución de la temperatura que ocasionaron periodos glaciales asociados a concentraciones bajas de CO_2 (IPCC, 2007b; Ruddiman, 2001).

Durante los últimos doscientos años aproximadamente, la humanidad ha tenido un crecimiento tecnológico y económico que no se compara a nada que se haya visto en toda su historia anterior. La economía mundial, actualmente valorada en cientos de trillones de dólares, representa en cada año de la última década mucho más en valor transaccional que todo lo que la humanidad haya producido desde el inicio de la civilización hasta el siglo XIX (Sachs, 2008). Este formidable crecimiento económico ha estado acompañado de un uso masivo de energía, crecimiento poblacional y cambios en el uso de la tierra. Mucha de la energía que se emplea a diario proviene de combustibles “fósiles”, es decir del petróleo y naftas provenientes de la descomposición de biomasa y materia orgánica originada en épocas geológicas anteriores. La combustión de combustibles genera cantidades muy altas de GEI cada día.

Adicionalmente, el uso de la tierra en la agricultura, especialmente la ganadería y el cultivo del arroz ha generado cantidades considerables de GEI, al punto que Ruddiman (2003) ha llegado a proponer que la agricultura en los últimos 4000 años ha cambiado el clima y ha evitado una edad de hielo que debería estar iniciando en la actualidad.

Toda la evidencia que varios grupos de observación han obtenido en distintas partes del mundo señala convincentemente una tendencia actual de incrementos de temperaturas medias del planeta, al extremo de que este año 2010 pueda ser uno de los años más cálidos desde que se llevan registros del clima de manera formal. Adicionalmente, se ha vuelto cotidiano que en los registros del tiempo que se obtienen en todo el planeta, constantemente se están marcando nuevos records máximos y mínimos. Está claramente documentado que el inicio de la primavera en las regiones templadas ocurre más temprano

y que los días con heladas han disminuido simultáneamente y es evidente la pérdida de hielo en los glaciares de todo el planeta y la pérdida del casquete de hielos del polo norte. Todo lo anterior parecería indicar, que cómo en las épocas cálidas que vivió el planeta hace millones de años, las zonas tropicales y subtropicales se están expandiendo y las zonas templadas están reemplazando la tierra congelada del planeta.

Efectos de cambios en el clima y la atmósfera en plantas y cultivos

Las plantas, a diferencia de los animales, no tienen la posibilidad de moverse del sitio en el que están presentes. Ellas están directamente expuestas a los cambios y valores extremos que el clima de una localidad pueda mostrar a futuro.

Temperatura

Los distintos cultivos, en cada fase de su desarrollo, presentan una tasa de crecimiento que resulta de la diferencia entre la temperatura mínima en la que pueden funcionar (temperatura basal) y la temperatura ambiente, siempre que la temperatura no suba en exceso y más bien se aproxime a una temperatura óptima de desarrollo. La medida convencional para cuantificar este proceso es la suma de grados-día, es decir, la integral de la diferencia entre temperatura diaria promedio y la temperatura basal para cada fase fenológica.

Un aumento de temperatura promedio conseguiría disminuir los periodos fenológicos de un cultivo al cumplirse la suma de grados-día de una manera más breve. Sin embargo este cambio no necesariamente tendría consecuencias positivas, pues dependiendo del tipo de respuesta del cultivo los rendimientos pueden disminuir al presentarse un menor tiempo de maduración y llenado de granos.

Los cultivos presentan distintas tolerancias a temperaturas extremas. Los cultivos tropicales como la palma aceitera (*Elaeis guineensis*) o el banano de exportación (*Musa sp*), reducen su rendimiento cuando las temperaturas mínimas están por debajo de los 22 y 15 °C o por encima de los 33 o 37 °C respectivamente (Corley and Tinker, 2003; Soto, 1992). En este sentido se puede ver que la palma aceitera tiene un rango de adaptación mucho más estrecho y es por tanto más vulnerable a valores extremos de cambio de temperatura.

En general los cultivos pueden mejorar su respuesta a temperatura extrema cuando ciertas propiedades de la hoja permiten evacuar energía mediante radiaciones de onda larga o por convección (movimiento de aire) o cuando las plantas pueden aumentar su capacidad de toma de agua del suelo, por ejemplo con raíces más profundas. El mejoramiento de cultivos buscando mayor y más eficiente desarrollo radicular (Lynch and St Clair, 2004); Tuberosa) o una mayor disipación del calor por la hoja (White) puede ser una herramienta muy eficaz para mejorar nuestra capacidad de respuesta a temperaturas extremas.

En términos generales se puede afirmar que un aumento promedio de temperatura puede ser beneficioso en ciertos casos, por ejemplo disminuyendo el tiempo para la cosecha de cultivos. Pero de la misma manera existe la posibilidad cierta de daño por temperaturas extremas.

Precipitación y agua disponible

El consenso de los trabajos de simulación del clima (IPCC, 2007a) indica que a medida que aumente la temperatura del planeta aumentaría la cantidad de agua evaporada y la precipitación. Esto sin embargo no ocurriría de la misma manera en todo el planeta; se esperara de acuerdo a las

simulaciones, que las zonas templadas reciban un incremento neto en la precipitación, mientras que los trópicos recibirían menos lluvias y estarían expuestos a eventos de sequía como la que se observó en África durante el 2004 – 2006.

Las plantas requieren cantidades muy altas de agua, la que usan para sobre todo para regular la temperatura en la hoja a través de la evaporación estomática. Una hectárea de maíz en pleno crecimiento puede emplear hasta 67 m³ de agua al día para controlar la temperatura foliar. De todas las limitaciones de los cultivos, el agua y los períodos de sequía son los que reducen en mayor medida los rendimientos alrededor del mundo.

Las plantas al no disponer de agua para disipar el calor cierran los estomas y detienen la asimilación de CO₂, se ha comprobado que la fotosíntesis y no la respiración de la planta se suspende primero en estos casos (Taiz y Seiger). Al detener o disminuir la evapotranspiración, también aumenta la temperatura de la hoja y de llegar a valores extremos puede darse la muerte de la planta. Está claro entonces que la capacidad de tolerar temperaturas extremas o poder operar a temperaturas promedio superiores al promedio de un cultivo tiene una relación directa con el uso y captura del agua del suelo, lo que a su vez tiene relación con la capacidad de formación de raíces de un cultivo (BassiriRad et al., 2001; Lynch and St Clair, 2004).

Tenor de CO₂ atmosférico

El cambio en la química de la atmósfera más notable y directamente relacionado con el cambio climático es el incremento del CO₂ ambiental; se estima que el contenido de CO₂ atmosférico puede oscilar entre 550 a 750 ppm para finales del siglo XXI (IPCC). El CO₂ tiene también un rol central en la fisiología de las plantas, las que responden al aumento del CO₂ ambiental, en ausencia de estrés hídrico o nutricional, aumentando su tasa de fotosíntesis, aprovechando de mejor manera el agua y el nitrógeno, para al final producir una mayor biomasa y aumentar cosechas en el caso de cultivos.

Este beneficio no es igual en todos los casos, los cultivos que poseen el mecanismo fisiológico “C3” (por ejemplo banana, tomate, papa, trigo o arroz) podrían aumentar sus rendimientos entre el 10 al 20%, mientras que los cultivos “C4” (maíz, sorgo, caña de azúcar entre otros) solo incrementarían su producción hasta un 10% (IPCC, 2007a; Tubiello et al., 2007). El mecanismo que produce este beneficio superior en las plantas C3 tiene que ver con la disminución de pérdidas de energía en el proceso de competencia del CO₂ y el oxígeno (fotorespiración) asociado con el ciclo de la enzima Rubisco (*ribulosa-1,5-bisfosfato carboxylaza/oxigenaza*) y la fotosíntesis. Pero además, las plantas C3 tendrían la oportunidad de reducir sus aperturas estomáticas y disminuir la pérdida de agua por evapotranspiración, aumentando la eficiencia de uso del agua.

La mayor eficiencia en fotosíntesis y menor pérdida de energía beneficia el uso del nitrógeno por las plantas C3, pues por un lado se disminuye la cantidad de Rubisco que se debe producir y el nitrógeno necesario para formar esta enzima, la más abundante en todas las plantas (BassiriRad et al., 2001). Además que si existen mayor cantidad de asimilados en la raíz se puede captar mayor cantidad de nutrientes, por ejemplo se puede emplear mayor energía en la toma de nitratos del suelo (BassiriRad et al., 2001). Este fenómeno tendría un límite que variaría entre especies sin embargo, ya que según recientes descubrimientos la fotorespiración estaría relacionada con la capacidad de asimilar nitratos en la parte verde de las plantas (Bloom, 2006; Bloom et al., 2010). Las plantas C4 por otro lado, no se beneficiarían en la misma medida de un incremento de CO₂, pues sus adaptaciones fisiológicas están actualmente compensando estos procesos, en otras palabras, las plantas C4 han evolucionado para

utilizar el CO₂ en concentraciones bajas y no se beneficiarían de un aumento del CO₂ ambiental (Bloom, 2006; Korner, 2006).

Con todo lo anterior, en general, se esperaría un incremento en la productividad de cultivos, especialmente si consideramos que el agua y el nitrógeno son los principales limitantes de la agricultura a nivel mundial y que la mayoría de especies cultivadas pertenecen al grupo C3 (Figura 2).

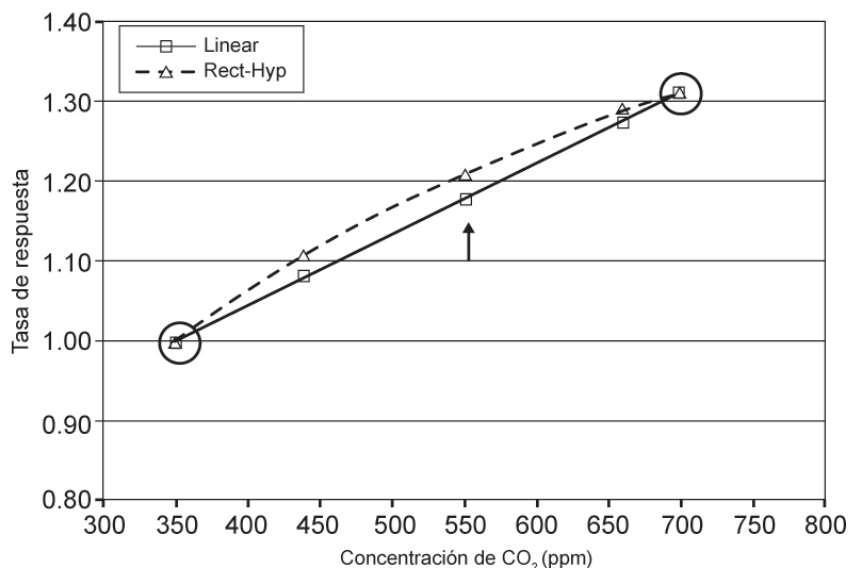


Figura 2. Tasa de respuesta de cultivos a CO₂ elevado (Respuesta con CO₂ elevado/Respuesta a CO₂ ambiental actual). La flecha indica la respuesta con un valor de 550 ppm CO₂, que es el valor anticipado a finales del siglo XXI. (Tubiello et al., 2007)

El efecto del incremento promedio de temperatura y aumento en CO₂ en los cultivos es variable y posee mucha incertidumbre

La investigación en la respuesta de plantas y cultivos al incremento de CO₂ tiene una larga historia, al menos desde los años 50 se iniciaron experimentos en laboratorio y en invernadero y se comprobó beneficio del incremento de CO₂ en la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas. A partir de los años 80 se apuntaló el trabajo con el uso de la tecnología FACE (*Free-Air Carbon Dioxide Enrichment*) que permite cultivar plantas en condiciones de campo con incremento en el CO₂ del aire. Los resultados de estos últimos estudios confirmaron los beneficios del incrementos de CO₂, aunque se comprobó así mismo que este beneficio no era tan marcado como los primeros ensayos sugerían y que el incremento en realidad corresponde a los valores que se mencionaron anteriormente: 10-20% de aumento en rendimiento para cultivos C3 y 0-10% en cultivos C4.

La mayoría de los sitios FACE se han concentrado en las zonas templadas del planeta, además, en casi todos los casos se ha procurado tener un nivel adecuado de nutrientes en el suelo (where is FACE). Excepcionalmente se ha estudiado casos de deficiencia de uno o dos elementos. Especialmente en los nuevos sitios FACE que se están adelantando en Australia y China, se está mirando con más atención al aspecto nutricional. En todo caso, el estudio de la respuesta de los cultivos con deficiencias o toxicidades minerales en condiciones de campo, es un tópico que está apenas iniciándose y que no

tiene en términos prácticos estudios de largo alcance para las zonas tropicales o con suelos de esta región.

El uso de modelos de simulación nos empiezan a dar señales claras de que es justamente en los trópicos, donde más acentuadas podrían ser las disminuciones del rendimiento de cultivos tan pronto como en los próximos treinta a cuarenta años (IPCC, 2007a; Tubiello et al., 2007). Además, de darse un incremento de temperatura superior a los 2°C para todo el planeta, las disminuciones en rendimiento serían generales para toda la agricultura del planeta. Este incremento de 2°C es muy probable con aumentos en el CO₂ atmosférico por encima de los 550 ppm.

Lo anterior sin embargo tiene un alto grado de incertidumbre y dependiendo de la zona y el cultivo esta respuesta puede aumentar o disminuir. Por ejemplo, en el caso del maíz, para los países de la zona Andina se habla de reducciones que pueden ser de hasta el 15 % en el caso de Venezuela o menos de 5% en Ecuador o Colombia (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2008). Según el reporte del (IPCC, 2007a), en términos generales los cereales en las zonas tropicales no recibirían beneficios de un incremento en temperatura, mientras que el trigo de invierno y otros cereales de clima templado pudiesen tener incrementos en rendimiento de hasta el 60%

Lo anterior, como se menciona, no tiene en consideración los efectos del manejo del suelo o las características deficiencias y toxicidades que pueden darse en regiones tan contrastantes como los Andisoles de Ecuador, Colombia o Costa Rica y los Oxisoles de los Llanos en Colombia y Venezuela o el Cerrado Brasileño. En este sentido – para nosotros, una de las tareas más urgentes es tratar de iniciar estudios con elevado CO₂ para nuestros suelos y cultivos.

Los eventos extremos del clima pueden borrar cualquier beneficio de CO₂ ambiental elevado

El IPCC (2007) confirma que existe una gran incertidumbre en cuanto al beneficio por el incremento en CO₂ y temperatura promedio para los principales cultivos. Al mismo tiempo, este reporte declara en forma muy clara que no existen dudas en cuanto a la posibilidad que valores extremos (temperaturas máximas elevadas y periodos de sequía extendidos) pueden borrar cualquier beneficio que se pueda esperar y de hecho reducir la producción de alimentos neta en todo el mundo.

En el año 2003 Europa sufrió una ola de calor que castigó el rendimiento de la mayoría de cultivos en un 36% de reducción en promedio y que le costó solo a la agricultura de Francia 3 millones de dólares en pérdidas de cereales, frutos y producción de vino. Posteriormente el Africa también sufrió de una sequía del 2004 al 2006 que redujo la producción de alimentos en hasta el 80% en algunos países. En este año Rusia ha congelado toda exportación de cereales luego de una intensa ola de calor que además fue acompañada de incendios forestales y de cultivos, esto se ha traducido en un incremento de alrededor del 25% en los valores del grano a nivel internacional.

En el futuro el cambio climático podría aumentar la frecuencia de eventos de este tipo, lo que claramente amenazaría en forma desproporcionada la producción de alimentos. Las alternativas para combatir este tipo de amenazas van más allá del manejo agronómico de los cultivos y depende de la respuesta de los gobiernos y mercados en términos de intercambio de alimentos más estable a nivel mundial y de la construcción de infraestructura para manejar riegos o inundaciones (Sachs, 2008; Tubiello et al., 2007)

Efectos del aumento de CO₂ en la calidad de los alimentos

Asumiendo que un cultivo puede aprovechar el incremento de la temperatura promedio y el aumento del CO₂ atmosférico, el incremento en la producción de biomasa tendría un efecto directo en la cantidad de cosecha que se puede obtener. Sin embargo, varios autores empiezan a recalcar que esto conlleva una dilución de proteína y posiblemente de minerales.

Como se ha mencionado, una planta con menor fotorespiración puede reducir su capacidad reducida para asimilar nitratos (Bloom, 2006; Bloom et al., 2010) además el consumo de agua por una planta C3 bajo elevado CO₂ disminuye, esto representa una cantidad menor de minerales que pueden ser arrastrados en el flujo de agua del suelo, en el caso de suelos con baja disponibilidad de nitrógeno una menor tasa de transporte solo exacerbaría la deficiencia. Al disminuir la concentración de N en la planta los residuos que se formen al final del ciclo en el caso de cultivos anuales va a tener un menor tenor de N lo que podría cambiar la relación carbono:nitrógeno y la tasa de mineralización, esto tendría un efecto de largo plazo en la capacidad de suministrar N por la materia orgánica que regresa al suelo.

Además, una menor evapotranspiración puede alterar la distribución interna de elementos que se mueven en el tejido muerto de la planta, el apoplasto, como es el caso del calcio. La deficiencia de calcio está relacionada con disminuciones en la calidad de fruta y semilla, en mayores dificultades en el almacenamiento y manejo post cosecha y en menor tolerancia a plagas y enfermedades.

En el caso de elementos cuyo principal mecanismo de captura es en base a la difusión, como el fósforo, una mayor biomasa se puede traducir en mayor adquisición, ya que al aumentar el carbono ubicado en la producción de raíces aumenta la cantidad de suelo explorado y su adquisición. Además, la mayor disponibilidad de asimilados puede estimular la asociación con micorrizas, aumentando igualmente la adquisición de fósforo por esta vía. La producción de mayor biomasa estimulada por una mayor disponibilidad de P puede, en teoría, aumentar el efecto de dilución de proteínas y otros minerales. Malavolta (2006) advierte acerca del peligro de desbalances causados por excesos de P frente al Zn en el caso del maíz, como ejemplos de una deficiencia inducidas por la dilución de elementos al incrementar la biomasa.

Todo lo anterior indica un riesgo de conseguir alimentos pero con valor alimenticio reducido, lo que volvería cuestionable las ganancias que pudiesen aparecer en cantidad de producto cosechado. Es urgente empezar a pensar en estrategias de manejo del nitrógeno y otros elementos que pudiesen disminuir este efecto, por ejemplo, se debe confirmar si el uso de fertilizantes amoniacales pueden compensar la falta de asimilación de los nitratos en el dosel de las plantas (Bloom, 2006).

El daño de malezas, plagas y enfermedades puede aumentar para la mayoría de cultivos

Todas las malezas, plagas y enfermedades que afectan a los cultivos van a responder también a los cambios del clima. En la mayoría de casos se habla de efectos aumentados en los daños por competencia biótica, por ejemplo, las malezas C3 al igual que los cultivos C3 se benefician de una mayor tasa fotosintética, además muchas malezas presentan adaptaciones de raíz y hojas que les permite aumentar su capacidad de competencia con CO₂ elevado, inclusive se ha observado que ellas aumentan su tolerancia la acción de herbicidas actualmente empleados con mucho éxito (Ziska and Bunce, 2006; **Figura 3**)

Una mayor temperatura ambiente representa menores tiempos para completar los ciclos de reproducción de plagas y enfermedades. Así como en el caso de cultivos de clima templado, el inicio del ciclo de enfermedad más temprano en el cultivo.

La nutrición mineral juega un rol fundamental en la resistencia a las enfermedades, como se ha mencionado se puede esperar que ciertos elementos se presenten en menor concentración y las plantas experimenten pérdidas de su tolerancia a estrés biótico. Desafortunadamente no existe investigación al respecto, es sumamente peligroso el no pensar en iniciar estudios al respecto, mirando por ejemplo la dinámica de plagas frente a variaciones de temperatura o fortaleciendo el mejoramiento de cultivos que puedan expresar tolerancia a plagas y enfermedades a través de varios mecanismos.

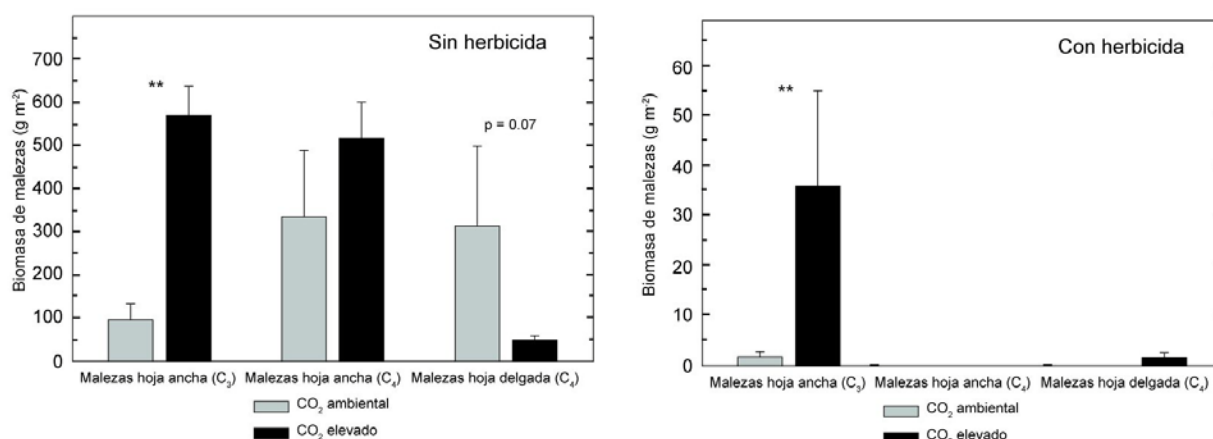


Figura 3. Efecto de CO₂ elevado en la proliferación de maleza con y sin la aplicación de herbicida. Nótese la ventaja de las malezas con fisiología C₃ y la aparente resistencia de un grupo a la aplicación de glifosato [Adaptado del trabajo del Dr. Lewis Ziska (Ziska and Bunce, 2006)]

Es urgente iniciar una respuesta al inminente cambio climático

Sosteni-agilidad

Se espera que para el año 2050 el número de habitantes en el planeta se estabilice y llegue al máximo de 9 000 millones de personas, esto se daría en sólo 40 años desde ahora –un espacio de tiempo temiblemente corto. Consecuente, los agricultores en el mundo tienen el llamado y la necesidad de aumentar la producción de alimentos a nivel mundial en por lo menos el 50% en estas próximas décadas. Aunque el incremento debería ser mayor, si como indica la Iniciativa del Milenio se quisiera disminuir el porcentaje de personas malnutridas en el planeta (Sachs, 2008). Esto en sí ya es un reto formidable para los agricultores e investigadores a nivel mundial, que se magnifica si se considera adicionalmente el efecto incierto que puede tener el cambio climático.

El novedoso concepto introducido por Jackson et al recientemente (2010) de la “sosteni-agilidad” (*sustainagility*) pone énfasis en “mantener opciones futuras para prepararnos para lo incierto y desarrollar capacidades de adaptación que considere relaciones en varias escalas”. Claramente, dada la complejidad y alta incertidumbre que tenemos sobre el cambio climático una parte importante de nuestra respuesta debe darse en desarrollar investigadores y agrónomos que puedan implementar estudios para desarrollar alternativas que nos permitan mitigar (no debemos pasar de 550 ppm de CO₂ ambiental) y adaptarnos al inminente cambio si queremos evitar hambrunas y conflictos por

conseguir alimentos. La ciencia debe comunicarse con mucha agilidad con los mercados y los políticos y los grupos o paneles como el IPCC deben tener mayor peso y voz en el futuro para que se puedan implementar cambios en nuestros sistemas agrícolas con la agilidad necesaria.

En este marco de cambios y necesidades, América Latina juega un rol sumamente importante. Por una parte es una de las zonas con mayor tierra disponible (1000 millones ha ; Bruinsma, 2003) y con rendimientos que normalmente están muy por debajo del teórico esperado. Con inversión e implementación de una agricultura sana y moderna, con posibilidad de cubrir los márgenes de productividad estamos seguros que la región puede responder al reto de crecer en producción, mitigando la producción de GEI y asegurando alimentos para más allá del siglo XXI.

BIBLIOGRAFIA

- BassiriRad, H., V.P. Gutschick, and J. Lussenhop. 2001. Root system adjustments: regulation of plant nutrient uptake and growth responses to elevated CO₂. *Oecologia* 126:305-320.
- Bloom, A.J. 2006. Rising carbon dioxide concentrations and the future of crop production. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86:1289-1291.
- Bloom, A.J., M. Burger, J.S.R. Asensio, and A.B. Cousins. 2010. Carbon Dioxide Enrichment Inhibits Nitrate Assimilation in Wheat and Arabidopsis. *Science* 328:899-903.
- Bruinsma, J., (ed.) 2003. *World Agriculture: Towards 2015/2030. A FAO perspective*, pp. 1-444. Food and Agricultural Organization, Rome.
- Corley, R.H.V., and P.B. Tinker. 2003. *The Oil Palm*. Fourth edition ed. Blackwell, Oxford, UK.
- IPCC. 2007a. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC. 2007b. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jackson, L., M. van Noordwijk, J. Bengtsson, W. Foster, L. Lipper, M. Pulleman, M. Said, J. Snaddon, and R. Vodouhe. 2010. Biodiversity and agricultural sustainability: from assessment to adaptive management. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2:80-87.
- Korner, C. 2006. Plant CO₂ responses: an issue of definition, time and resource supply. *New Phytologist* 172:393-411.
- Lynch, J.P., and S.B. St Clair. 2004. Mineral stress: the missing link in understanding how global climate change will affect plants in real world soils. *Field Crops Research* 90:101-115.
- Malavolta, E. 2006. Relación entre el fósforo y el zinc. *Informaciones Agronómicas* 63:12-14.
- Ruddiman, W.F. 2001. *Earth's climate: past and future* W.H. Freeman.
- Ruddiman, W.F. 2003. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Climatic Change* 61:261-293.
- Sachs, J. 2008. *Common wealth: economics for a crowded planet* Penguin Press.
- Secretaria General de la Comunidad Andina. 2008. *El cambio climático no tiene fronteras*. Impacto

del cambio climático en la Comunidad Andina Comunidad Andina, Secretaría General, Lima, Perú.

Soto, M. 1992. Bananos Cultivo y Comercialización, Costa Rica.

Tubiello, F.N., J.-F.o. Soussana, and S.M. Howden. 2007. Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104:19686-19690.

Ziska, L.H., and J.A. Bunce. 2006. Plant responses to rising atmospheric carbon dioxide, *In* J. I. L. Morison and M. D. Morecroft, eds. *Plant growth and climate change*. Blackwell Publishing, Oxford, UK.