

CAMBIO CLIMATICO Y ALGUNOS ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR.

Sergio Abarca Monge.¹

RESUMEN

El cambio climático es un fenómeno que está produciendo variaciones en la biosfera y que afecta a los seres vivos. En el cultivo de caña azúcar, la interacción de competencia planta/maleza, puede ser uno de los aspectos relevantes ante el cambio climático. Desde el punto de vista fisiológico, el efecto del consumo de CO₂ por parte de las malezas es de importancia en relación, pues las concentraciones de CO₂ en la atmosfera se están incrementando. Como es conocido en igualdad de condiciones, el aumento de la concentración de CO₂ favorece más el crecimiento de las plantas C₃ que C₄. Así mismo la temperatura durante el crecimiento, también afecta la respuesta a la elevación de CO₂. Por lo tanto el cambio climático traerá desafíos en las relaciones de competencia entre maleza/cultivo, no obstante el grado de incertidumbre es alto, por lo que es necesario incrementar el nivel de conocimiento para realizar los ajustes necesarios tanto en mitigación de sus efectos, como en adaptación de nuevas estrategias de control. Sobre el clima y la variabilidad y cambio climático en Costa Rica; se puede inferir, que es posible que en las regiones cañeras con clima de influencia Pacífico, como las localizadas en el pacífico norte y parte baja del Valle Central Oriental, se beneficien de mayor radiación solar, producto de un decrecimiento de la precipitación, lo que podría inducir a cielos más despejados. Mientras otras zonas más húmedas arriba de 2000 mm de precipitación anual, y sobre los 600 m de altura, con clima de influencia Atlántico, podrían tener un incremento de la nubosidad afectando la radiación fotosintética incidente tanto en la cantidad como en el periodo durante el día. Un caso estudiado recientemente es la zona de Turrialba, donde ha disminuido la radiación solar incidente en los últimos años, pero con un aumento de la temperatura, precipitación y humedad, así como una extensión del periodo lluvioso. Aunque se redujo la radiación solar, la investigación continua, con un aporte significativo en el área de mejoramiento genético, entre otras áreas de las ciencias agronómicas, podría haber tenido dos efectos, el primero detener el decrecimiento que se hubiera dado con las prácticas y variedades de hace 40 años atrás, y en segundo lugar, obtener un incremento, que aunque tal vez un poco menor al potencial productivo, si fue significativo.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno que está produciendo variaciones en la biosfera y que afecta a los seres vivos. La agricultura no escapa a sus efectos, y se ha sugerido el monitoreo y seguimiento de este fenómeno, que permita medir los cambios en el clima, los efectos que estos traerán a los ecosistemas, y a las actividades del hombre.

¹ Convenio MAG (INTA-SFE)/UCR. Sede Regional del Atlántico. e-mail: abarca@proteconet.go.cr

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) indica que el calentamiento global llevará a una intensificación del ciclo hidrológico global (IPCC, 2003). En las regiones tropicales, los efectos del cambio climático, aparte del incremento de la temperatura, serán una mayor nubosidad y por consiguiente una mayor precipitación (Mazza y Roth, 1999). Los modelos de simulación sobre los escenarios climáticos y su impacto sugieren una reducción en la producción agrícola más severa en las regiones tropicales (IPCC, 2001). Lo anterior se debe a que; de acuerdo a los modelos, los cultivos pueden absorber hasta incrementos entre 2-3 grados de temperatura antes de presentar signos de stress térmico. Sin embargo, en los trópicos los cultivos exhiben una mayor susceptibilidad al aumento de temperatura, dado que crecen bajo condiciones cercanas a la máxima temperatura tolerable. (Easterling & Apps, 2005). En la mayoría de los casos el cambio climático, tiene influencia directa adversa en la producción agrícola y su calidad; por lo tanto, las estrategias agro-meteorológicas para enfrentar los cambios de clima, son esenciales para prevenir impactos negativos en la sociedad y el desarrollo económico. (Cerri, et al, 2007). A manera de ejemplo, se ha considerado que, por efectos del clima, está cambiando la zonificación agroclimática del café arábigo en Brasil (Silva, et al, 2006). Uno de los puntos más sensibles para la agricultura, en relación con las variaciones del clima los es el comportamiento de las plagas, enfermedades y malezas. En consecuencia, se prevé un incremento en la incidencia, acortamiento del ciclo biológico, aumento de la virulencia de las plagas, y susceptibilidad de los cultivos. (Bordon, et al, 2006)

En este sentido se podría esperar que el efecto combinado de cambios en la temperatura, los patrones de lluvia, tasas de evo-transpiración y concentración de CO₂, puedan afectar las interacciones biológicas de los seres vivos que habitan en los diferentes ecosistemas de la faja tropical. Por lo tanto, los agro-ecosistemas serán afectados, tanto en las entradas y salidas

como las relaciones y procesos entre los componentes del sistema. Dado que las cantidades y distribución de elementos climáticos como lluvia, temperatura, humedad relativa y radiación solar son vistos conceptualmente como ingresos al sistema cultivo, y no podemos controlar aspectos relacionados con la forma, la cantidad y la distribución de ingreso, es necesario buscar mecanismos de adaptación de los sistemas agrícolas ante los cambios que se están sucediendo en el clima.

Entre más nos acerquemos de los polos hacia el ecuador, mayor importancia tienen los factores biológicos en la producción de los cultivos, la cantidad de especies que interactúan en el agro-ecosistema se incrementa, y los factores que afectan los rendimientos de las cosechas son más difíciles de manejar (Ewel, 1971). En el caso de Costa Rica, donde hay gran diversidad de microclimas es posible que las prácticas agrícolas y el manejo de los cultivos en relación con el cambio climático presenten variaciones.

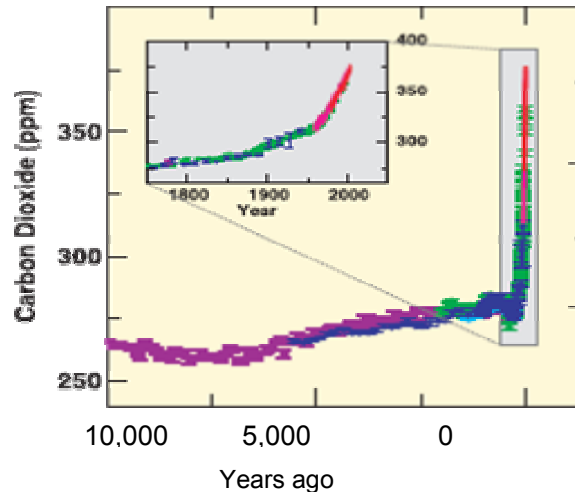
Aspectos Agroecológicos.

El efecto del Cambio Climático en la caña de azúcar, de acuerdo con diferentes ramas del conocimiento agronómico, se puede dividir en dos áreas principales: efectos fitosanitarios y agro-eco-fisiológicos. Se espera que con el cambio climático, la distribución geográfica, el vigor, la virulencia y el impacto de las malezas, plagas y enfermedades de las plantas se afecte. Para el cultivo de la caña de azúcar en relación con la vulnerabilidad ante el cambio de clima, dentro del área fitosanitaria las malezas podrían ser de relevancia.

Interacción Cultivo/Maleza

En el cultivo de caña azúcar, la interacción de competencia planta/maleza, puede ser uno de los aspectos relevantes ante el cambio climático. Desde el punto de vista fisiológico, el efecto

del consumo de CO₂ por parte de las malezas es de importancia en relación con el cambio climático, pues las concentraciones de CO₂ en la atmosfera se están incrementando, como se puede observar en la figura 1.



**Figura 1. Aumento de concentración de CO₂ en la biosfera.
IPCC, 2007**

Por lo tanto, puede haber un “efecto fertilizante de CO₂”, que permitiría incrementar la eficiencia del uso de agua en la maleza, por el cierre parcial de las estomas dado el incremento de CO₂ en la biosfera. No obstante, la evapotranspiración del agro-ecosistema no necesariamente se vería afectada ya que, hay otros factores limitantes en la interacción maleza/cultivo. (Patterson, 1995).

En el cultivo de la caña de azúcar, como sucede en otras monocultivos, se sincroniza el crecimiento, la competencia e interacción de plantas C₃ y C₄ por el momento de siembra, y se sostiene durante el ciclo de cultivo por medio de las subsiguientes labores culturales. A diferencia de lo que sucede en los ecosistemas naturales, donde no existe tal sincronización, dado el dinamismo producido por los procesos de colonización y sucesión de las especies de

plantas en el tiempo. Por otra parte, en los terrenos de cultivo, la flora de malezas ha sido homogenizada a través de la dispersión y distribución que ha hecho el hombre a través del tiempo en los sucesivos ciclos de cultivo. Dado lo anterior, la combinación de especies de plantas tipo maleza, no ocurre en los ecosistemas naturales, como se da en los agroecosistemas.

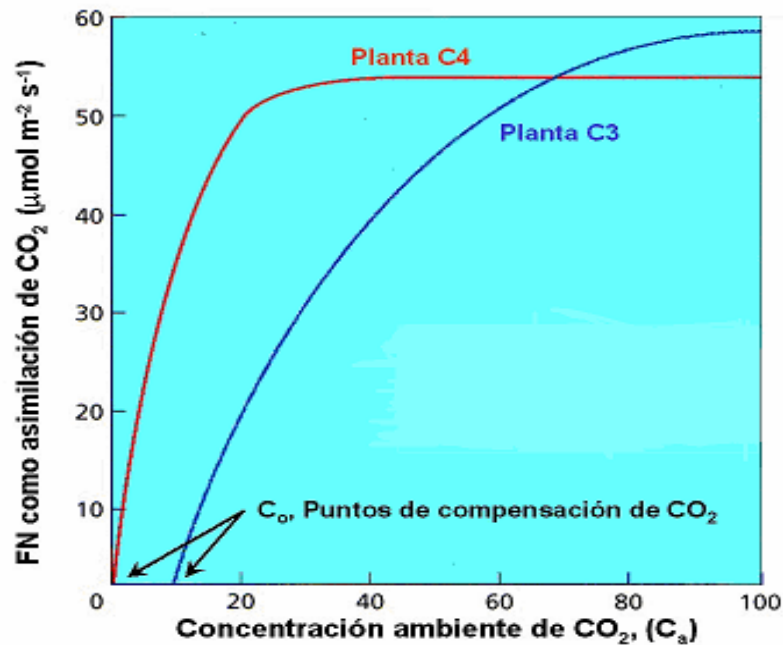


Figura 2. Respuesta de la fotosíntesis neta y la concentración de CO_2 en plantas C_3 y C_4 . Odum y Barret, 2006

Como es conocido en igualdad de condiciones, el aumento de la concentración de CO_2 favorece más el crecimiento de las plantas C_3 que C_4 (Figura 2). Así mismo la temperatura durante el crecimiento, también afecta la respuesta a la elevación de CO_2 , no obstante hay variaciones de acuerdo a las especies (Patterson, 1995). En diferentes experimentos de competencia las especies C_3 generalmente se beneficiaron por el enriquecimiento de CO_2 a expensas de las especies C_4 (Carter y Patterson, 1983; Wray y Strain, 1987; Patterson y Flint, 1990). Por ejemplo, Patterson *et al* (1984) indican que cuando pusieron a competir plantas de

soya (C₃) y pasto Johnson (*Sorghum halepense*) que es una planta C₄, la soya se favoreció cuando se incremento el CO₂ de una concentración de 350 a 675 ppm.

Tabla 1. Respuesta en biomasa de plantas C₃ y C₄ al duplicar la concentración de CO₂.

Categoría	Rango de Respuesta
Cultivos C ₃	1,10 a 2,43
Cultivos C ₄	0,98 a 1,24
Malezas C ₃	0,95 a 2,72
Malezas C ₄	0,56 a 1,61

Patterson (1999)

Aparte de los cambios fisiológicos comentados anteriormente por el incremento de CO₂, el cambio climático podrá traer otros efectos en el crecimiento de las malezas, como lo es la distribución geográfica. Tomando en cuenta que las principales variables climáticas que controlan la distribución de las plantas en el planeta son la temperatura y la precipitación (Holdridge, 1978; Odum y Barret, 2006) es de esperar cambios en las diferentes regiones del mundo, con respecto a las zonas de vida ecológicas originales. La mayoría de las malezas y cultivos de épocas secas y calientes son originarios del trópico; esto hace que algunas especies, respondan a pequeños incrementos de temperatura. Por ejemplo, el crecimiento de algunas especies de leguminosa se incrementa significativamente cuando aumenta la temperatura (día/noche) de 21/17°C a 26/20 o 29/23°C (Flint et al, 1984). La biomasa de una planta C₄ dicotiledónea como *Amaranthus hybridus* a una temperatura de 29/20 °C fue 240% más que a una temperatura 26/17 °C (Flint y Patterson, 1983), de igual forma responden los pastos tipo maleza a incrementos de temperatura (Patterson 1993). Esto es de importancia si se tiene en cuenta que la temperatura global aumento en 0,8 °C con respecto al siglo pasado y en las última tres décadas tubo un incremento de 0,6 °C, (NASA, 2005) y se espera que continúe dicha tendencia en por lo menos en las próximas dos décadas.

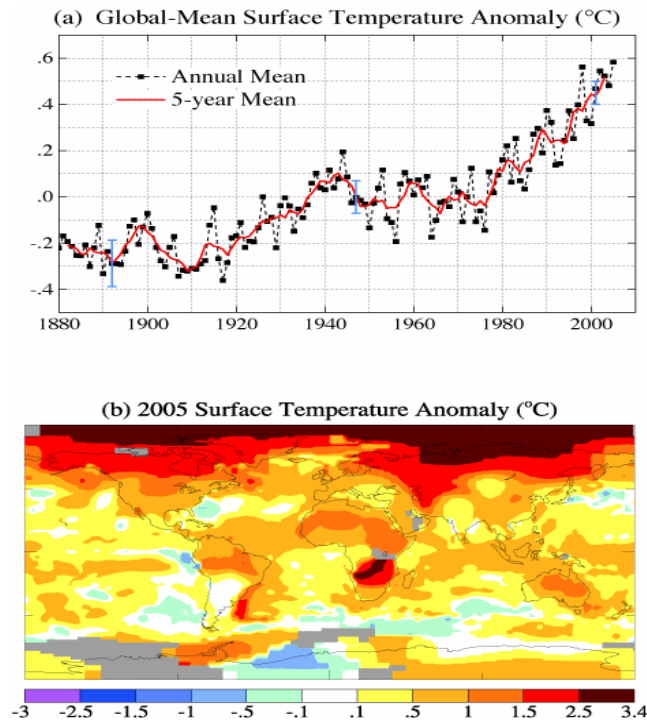


Figura 3. Incremento Global de Temperatura. NASA, 2005

Aunque para el caso de Costa Rica como país ubicado en la faja tropical, y en general Meso-America no es importante el calentamiento global en función de la latitud, si es importante en términos de altitud, donde se podrán observar efectos similares a los esperados en latitudes superiores a 26°. Así por ejemplo, se esperaría un mayor rango de distribución de especies como *Rottboellia cochinchinensis* que ha mostrado incrementos de biomasa de alrededor de 88% y 68% en su área foliar en 36 días, cuando se ha incrementado la temperatura en 3°C (26/20 a 29/23°C día/noche). (Patterson y Flint, 1990).

Dado lo anterior, es de esperar que el cambio climático tenga implicaciones en el manejo y control de las malezas en la caña de azúcar. Una de las primeras medidas de control será evitar la dispersión transfronteriza, que se da por el trasiego de mercancías con potencial de transportar plantas invasivas o partes con potencial de propagación y reproducción,

especialmente de regiones tropicales a regiones templadas. Otras de las medidas son cambios en las estrategias de combate, mediante una menor disturbación de suelos, uso de productos biotecnológicos, variación en los métodos de control químico, por los que es posible que se requiera de mayores recursos tecnológicos para la aplicación y efectividad de los herbicidas.

Por otra parte, el incremento de la temperatura y por ende de la actividad metabólica de las malezas, podría mejorar la penetración, translocación y efectividad de algunos herbicidas en algunas plantas. Mientras en otros casos, como por ejemplo las malezas rizomatosas y tuberosas del tipo de planta C_3 podrían incrementar sus tasas de fotosíntesis al tener mayor concentración de CO_2 con lo que aumentaría la dificultad para su control.

En conclusión, el cambio climático traerá desafíos en las relaciones de competencia entre maleza/cultivo, no obstante el grado de incertidumbre es alto, por lo que es necesario incrementar el nivel de conocimiento para realizar los ajustes necesarios tanto en mitigación de sus efectos, como en adaptación de nuevas estrategias de control.

Aspectos agro-fisiológicos

Dentro de las variables climáticas tradicionales que más afectan el cultivo de caña de azúcar están la precipitación, humedad relativa y radiación solar (Subirós, 1995). De acuerdo con la información del Comité Regional de Recursos Hidráulicos (2008) sobre el clima y la variabilidad y cambio climático en Costa Rica; se puede inferir, que es posible que en las regiones cañeras con clima de influencia Pacífico, como las localizadas en el pacífico norte y parte baja del Valle Central Oriental, se beneficien de mayor radiación solar, producto de un decrecimiento de la precipitación, lo que podría inducir a cielos más despejados. Mientras

otras zonas más húmedas arriba de 2000 mm de precipitación anual, y arriba de los 600 m de altura, con clima de influencia Atlántico, podrían tener un incremento de la nubosidad afectando la radiación fotosintética incidente tanto en la cantidad como en el periodo durante el día. Desde el punto de vista agronómico es posible que en las regiones en que disminuya la precipitación, sea necesario incrementar el periodo del riego, producto del cambio climático con forme este se incremente, y en las regiones más húmedas la disminución de la radiación, el incremento de las lluvias durante la zafra y una alta humedad relativa aumenten en forma paulatina, trayendo consigo otra problemática, como menos producción de biomasa y dificultades para la cosecha por mal tiempo, entre otros.

Tabla 2. Variación de la Precipitación y Temperatura Máxima y Mínima Promedio Anual, en zonas cañeras de Costa Rica. Periodo (1961-2005)

Zona Cañera	Precipitación Anual				Temperatura Promedio			
	1961-1990	1991-2005	Dif (mm)	DIF (%)		1961-1990	1991-2005	Dif °C
Bajo Tempisque	1908	1735	-173	-9,0	Máx.	33,1	32,9	-0,2
					Mín.	22,2	22,6	0,4
Valle El General	3850	3609	-241	-6,	Máx.	31,8	31,9	0,1
					Mín.	22,5	22,7	0,2
V. C. Occidental medio	2149	1972	-177	-8	Máx.	26,4	26,7	0,3
					Mín.	16,9	17,9	1
V. C. Occidental bajo	2095	2010	-85	-4,0	Máx.	26,4	26,7	0,3
					Mín.	16,9	17,9	1
Zona Norte (Llanura)	2817	3208	391	14	Máx.	30,6	31,1	0,5
					Mín.	21,7	21,8	0,1
V. C. Oriental (Este)	2445	2685	240	10	Máx.	22,9	22,3	-0,6
					Mín.	13	13,8	0,8

Comité Regional de Recursos Hidráulicos (2008)

Un caso estudiado recientemente es la zona de Turrialba (Figura 4), donde ha disminuido la radiación solar incidente en los últimos años, pero con un aumento de la temperatura, precipitación y humedad, así como una extensión del periodo lluvioso. Esto ha dado pie a que dentro del esquema de zonas de vida de Holdrige 1978, la localidad se mueva dentro del hexágono hacia una condición per húmeda.

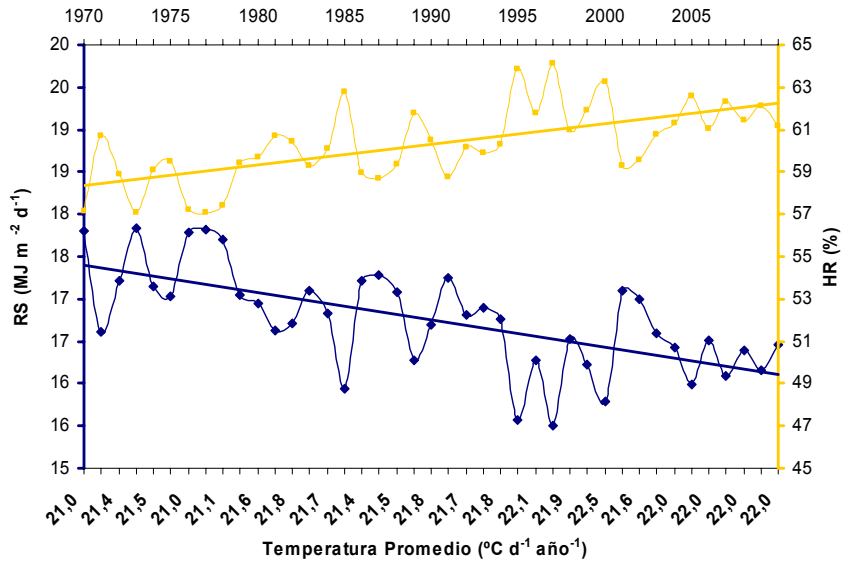


Figura 4. Variación de la Humedad Relativa y la Radiación Solar, con respecto a la temperatura media. Periodo 1970-2008

Partiendo de una estimación teórica de la reducción de la producción primaria neta de una planta C_4 como la caña de azúcar, en las condiciones de Turrialba, podemos visualizar como podrían haber sido los rendimientos de producción de biomasa en las últimas décadas por la variación de la radiación solar. Para la estimación tomaremos un supuesto de transformación de energía a biomasa de 0,0156 MJ/g (Loomis y Connor, 2002) y como radiación máxima, la más alta en el periodo en análisis, que fue para la época de 18,77 MJ/m² (1970-74). Después simularemos la producción en base al promedio nacional reportado por DIECA (2009) en fusión de la radiación solar en el tiempo con tres escenarios:

- radiación promedio para cada serie de años, sin mejoramiento tecnológico del cultivo,
- radiación promedio para cada serie de años, con mejoramiento el mejoramiento obtenido
- radiación promedio en el periodo 1970 - 74, con el mejoramiento logrado.

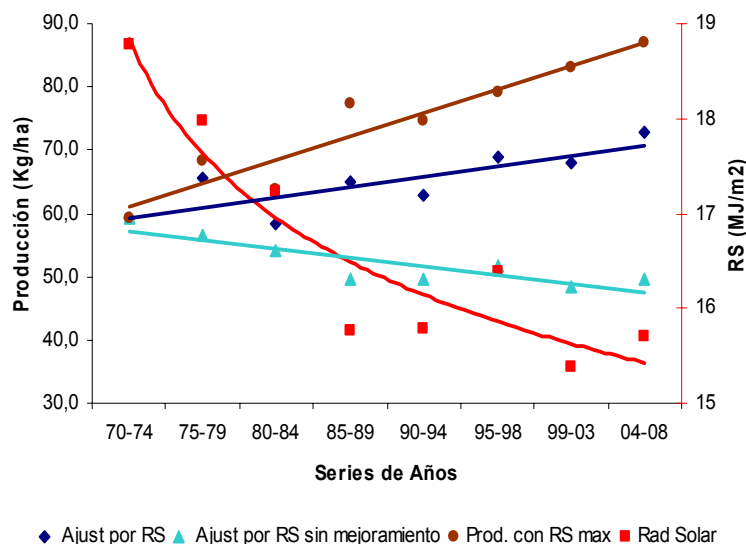


Figura 5. Estimación del efecto de la radiación en producción de caña de azúcar, en tres escenarios: una radiación máxima y mejoramiento tecnológico, radiación real y mejoramiento tecnológico, radiación real y sin mejoramiento tecnológico. Para la Zona de Turrialba en 38 años. Arreglo con datos de DIECA, 2009; CATIE, 2009² y estimados de producción para 1999-2008

De la figura 6, se concluye que aunque se redujo la radiación solar, la investigación continua, con un aporte significativo en el área de mejoramiento genético, entre otras áreas de las ciencias agronómicas, podría haber tenido dos efectos, el primero detener el decrecimiento que se hubiera dado con las prácticas y variedades de hace 40 años atrás, y en segundo lugar, obtener un incremento, que aunque tal vez un poco menor al potencial productivo, si fue sustancial, y junto con otros atributos de las nuevas variedades como el incremento en rendimiento de azúcar, ha logrado enfrentar el cambio climático en una región que se volvió más húmeda y nubosa en los últimos años.

² Datos Estación Meteorológica de CATIE, Periodo 1970-2008.

LITERATURA CITADA

- Burdon, J.J.; Thrall, P.H.; Ericsson, L. 2006. The current and future dynamics of disease in plant communities. *Annual Review of Phytopathology*, 44:19-39, 2006.
- Cerri, C.; Sparovek1, G.; Bernoux, M.; Easterling, W.; Melillo.M; Clemente, C. 2007. Tropical Agriculture and Global Warming: Impacts and Mitigation Options. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 64 (1):83-99.
- Easterling, W.E.; Apps, M. 2005. Assessing the Consequences of Climate. Change for Food and Forest Resources: A View from the IPCC, Climatic Change. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria*.70:165-189.
- Holdridge L. 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA.261p.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001: Impacts, adaptation & vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge:University Press. 1000p.
- IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Kanagawa. 675p.
- CARTER, D R.; PATTERSON, K.M. 1983. Effects of a CO2 Enriched Atmosphere on the Growth and Competitive Interaction of a C3 a C4 grass. *Oecologia* 58. 188-193.
- COMITÉ REGIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS. 2008. Cambio Climático. Segunda Comunicación Nacional. Clima, Variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica. IMN, San José, C.R. 75p.
- EWEL, J. J. 1971. Experiments in Arresting Succession with Cutting and Herbicides in Five Tropical Environments, Thesis Ph, D. Department of Botany, University of North Carolina, Chapel Hill, NC, USA, 248 p.
- FLINT, E.P.; PATTERSON, D.T.; MORTENSEN, D.A.; RIECHERS, G.H.; BEYER, J.L. 1984. Temperature Effects on Growth and Leaf Production in Three Weed Species. *Weed Science* 32, 665-663.
- HOLDRIDGE, L. 1978. Ecología Basada en Zonas de Vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- IPCC, 2007. Causas del Cambio. *In*: Cambio Climático 2007. Informe de Síntesis. Grupo Intergubernamental de Cambio Climático. Ginebra, Suiza. 38 pp.
- LAICA, 2009. Caracterización Estadística de los Indices de Producción y Rendimiento Agroindustrial en Costa Rica 1970-1988. DIECA/Estadísticas. http://www.laica.co.cr/pdf/d_estadisticas/06.pdf (Último Acceso 22 de Agosto 2009)
- LOOMIS, R.S.; CONNOR, D.J. 2002. Ecología de los Cultivos: Productividad y Manejo en sistemas agrarios. Mundi-Prensa. México. 591p.
- MAZZA, P., ROTH, R. 1999. Global warming is here: the scientific evidence. *Earth Island Journal*. 14(3):14.
- NASA, 2005. Global temperature trend: 2005 summation. Administración Nacional de la Aeronáutica y el Espacio. (<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/2005/>. Ultimo acceso 23 de junio 2009).
- ODUM, E.; BARRET, G. 2006. Fundamentos de Ecología. 5^{ta} ed. Thomson. Mexico. 589 p.
- PATTERSON, D.T. 1993. Implications of Global Climate Change for Impact of Weed, Insects, and Plant Diseases. *In*: International Crop Science. Vol. I. Crop Science Society of America. Madison, Wisconsin, pp 273-280.

PATTERSON, D.T.; FLINT, E.P. 1980. Potential Effects of Global Atmospheric CO₂ Enrichment on the Growth Competitiveness of C₃ and C₄ Weed and Crop Plants. *Weed Science* 28, 71-75.

PATTERSON, D.T.; FLINT, E.P.; BEYERS, J.L. 1984. Effects of CO₂ Enrichment on Competition Between a C₄ weed and C₃ Crop. *Weed Science*. 32, 101-105.

PATTERSON, D.T. 1995. Weeds in Changing Climate. *Weeds Science* 43, 685-701.

PATTERSON, D.T.; WESTBROOK, J.K.; JOYCE, R.J.C.; LINGREN, P.D.; ROGASIK, J. 1999. Weeds, Insects and Diseases. *Climatic Change* 43, 711-727.

SILVA, A.L.; ROVERATTI, R.; REICHART, K.; BACCHI, O.O.S.; TIMM, L.C.; BRUNO, I.P.; OLIVEIRA, J.C.M.; DOURADO NETO, D. 2006. Variability of water balance components in a coffee crop in Brazil. *Scientia Agricola*, 63:105-114.

SUBIRÓS, R. F. 1995. El Cultivo de la Caña de Azúcar. UNED. Costa Rica. 441p.

WRAY, S.M.; STRAIN, B.R. 1987. Competition in Old-Field Perennials Under CO₂ Enrichment. *Functional Ecology*. 1, 145-149.