

# XVI. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

# EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Alex Guerra y Alejandra Hernández\*

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático figura entre los retos de mayor envergadura para la humanidad en la actualidad. Existe evidencia científica sobre los cambios que se están manifestando y también sobre la relación entre éstos y las actividades humanas que los han ocasionado (IPCC, 2007). Las discusiones y debates internacionales se centran en cómo detener (o al menos desacelerar) el cambio climático futuro y, cada vez con mayor importancia, cómo lograr que la población se adapte a los cambios que se presenten. Es importante reconocer que el cambio climático no representa solamente un problema adicional para la humanidad, sino que éste confiere mayor grado de dificultad a los retos que ya existen. El presente capítulo tiene el objetivo de exponer brevemente el tema del cambio climático y su relación con el cultivo de la caña de azúcar. Aunque la investigación y capacitación de CENGICAÑA no ha abordado el tema deliberadamente, mucho de su trabajo sí tiene relación, como se indicará más adelante. Aparte de la relevancia general del tema, se incluye el capítulo especial porque la Agroindustria Azucarera Guatemalteca fundó una institución especializada en el cambio climático: el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). Éste no sólo se creó con el objetivo de apoyar a la Agroindustria Azucarera a enfrentar el cambio climático, sino constituye un aporte al país, pues su trabajo también incluirá a otros gremios, comunidades y la infraestructura nacional.

Aparte de la introducción, el capítulo contiene tres partes principales. La primera esboza la relación general entre el clima y el cultivo de la caña de azúcar. En esa misma parte se presenta el conocimiento sobre el cambio climático en Guatemala, la cual se concluye con los posibles efectos en la producción de azúcar. La segunda parte aborda el tema de la mitigación del cambio climático y el cultivo de la caña de azúcar, presentando en su inicio el contexto de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en Guatemala y luego indicando oportunidades de acción. La tercera parte trata el tema de la adaptación al cambio climático. En ésta se empieza con una introducción general a la adaptación para después enfocarse en el caso del cultivo de la caña

---

\* Alex Guerra es Ing. Forestal, Ph.D. Director General del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático ICC; Alejandra Hernández es Ing. Forestal M.Sc., Coordinadora del Programa de Investigación sobre Ecosistemas del ICC. [www.icc.org.gt](http://www.icc.org.gt)

de azúcar. Para finalizar, se presenta al ICC y sus principales líneas de investigación y de acción, haciendo énfasis en la oportunidad que hay de alcanzar beneficios para la Agroindustria Azucarera, las comunidades y el país, contribuyendo así con los esfuerzos globales.

## EL CAMBIO CLIMÁTICO

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) define al cambio climático como “el cambio de clima atribuible directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.”(IPCC, 2007). El objetivo de dicha convención consiste en estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, a un nivel que impida las interferencias antropogénicas peligrosas con el sistema climático global y que debería lograrse en un plazo que permita la adaptación natural de los ecosistemas al cambio climático, asegurando la producción de alimentos y el desarrollo económico sostenible.

A principios del siglo XIX, ya se había dado inicio con la investigación sobre los gases que componían la atmósfera y su capacidad de retener calor. Al momento de realizar la Primera Conferencia Mundial sobre Clima en Ginebra, en 1979, el tema tomó mayor auge. En 1989, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) que tiene como función analizar en forma exhaustiva, objetiva, abierta y transparente, toda la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender el fenómeno del cambio climático. Hasta la fecha, el IPCC ha generado cuatro informes generales (1990, 1995, 2001 y 2007), los cuales han sido determinantes para seguir avanzando en las negociaciones internacionales sobre el cambio climático. El último de ellos, presentado en 2007, permitió trazar una ruta para revisar los acuerdos internacionales sobre las acciones requeridas para realizarlas después del 2012.

Uno de los logros de las negociaciones internacionales es la existencia de compromisos vinculantes, adquiridos a través del Protocolo de Kioto, instrumento elaborado en 1997. Ahí se plasman las intenciones de reducción de las emisiones de los GEI y la creación de mecanismos de mercado para facilitar su cumplimiento. Del mismo modo, se fijan metas individuales (por país) de reducción o control de las emisiones de los GEI. Otro aspecto relevante fue la

elaboración de escenarios de emisiones que representan un futuro probable y, que a la vez, sirven de base para la elaboración de proyecciones climáticas.

Los resultados simulados mediante modelos y escenarios describen posibles efectos del cambio climático a nivel global y por sector, en caso de que no se tomen medidas de adaptación. A continuación se describen algunos efectos para el sector agrícola en general (Cuadro 1), especialmente aquellos que podrían afectar al cultivo de la caña en Guatemala.

**Cuadro 1. Fenómenos y tendencias y sus efectos en la agricultura, silvicultura y ecosistemas**

Fenómenos y orientación de las tendencias	Efectos en agricultura, silvicultura, ecosistemas
Menos días y noches más templados y más días y noches más cálidos y aumento de la frecuencia de períodos cálidos	Disminución del rendimiento en entornos más cálidos (estrés térmico) y aumento de plagas de insectos, así como de incendios incontrolados
Aumento de la frecuencia de lluvias intensas	Daños a los cultivos, erosión del suelo, imposibilidad de cultivar tierras por saturación hídrica de los suelos
Aumento de las áreas afectadas por la sequía	Degradación de la tierra, disminución de los rendimientos, daños e inhabilitación de cultivos, mayor riesgo de incendios incontrolados
Aumento de la actividad ciclónica tropical intensa	Daños a los cultivos
Mayor incidencia de niveles de mar extremadamente altos (excluidos los tsunamis)	Salinización del agua de riego, estuarios y sistemas de agua dulce

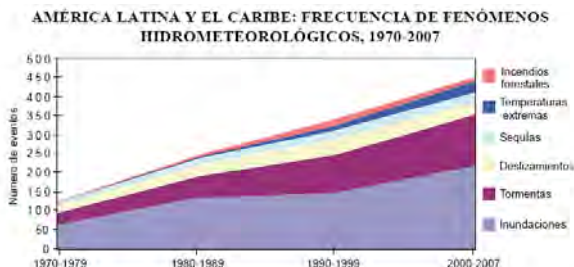
(CEPAL, 2009)

En América Latina se han observado los siguientes efectos (Cuadro 2):

**Cuadro 2. Efectos de fenómenos en América Latina**

Aumento de fenómenos meteorológicos extremos en los últimos 40 años en toda la región (episodios ENOS 1982-1983 y 1997-1998)
Incremento de la temperatura (América del Sur y el Caribe)
Aumento del proceso de degradación por cambio de uso del suelo (todos los países)
Incremento del porcentaje de desertificación (deforestación en Centroamérica)

(CEPAL, 2009)



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de "EM-DAT: Emergency Events Database" [base de datos, en línea] <http://www.em-dat.net>.

**Figura 1. Frecuencia de fenómenos hidrometeorológicos en América Latina y el Caribe (1970-2007)**

(Fuente: CEPAL, 2009)

La Figura 1 muestra la frecuencia de fenómenos hidrometeorológicos que se han presentado en América Latina y el Caribe desde los años 1970 hasta 2007. Se puede apreciar que desde hace 37 años, todos los tipos de fenómenos que generalmente suceden en tierras latinoamericanas han aumentado. En 1970, se contabilizaban menos de 150 fenómenos, los cuales ya incluían incendios forestales, sequías, deslizamientos, tormentas e inundaciones. En 2007, estos incidentes casi se han triplicado.

## RELACIÓN ENTRE EL CLIMA Y EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

### Condiciones climáticas para el cultivo de la caña de azúcar

El cultivo de la caña, al igual que todo cultivo, se desarrolla bajo determinadas condiciones climáticas y sólo en algunas su crecimiento resulta ser óptimo. Se conoce que la temperatura óptima para su desarrollo se encuentra en el rango de los 27°C a 33°C. Subirós (2000) menciona que a valores de 20°C, el crecimiento disminuye notoriamente y, si ésta desciende más, el crecimiento prácticamente se paraliza. Según Gawander (2007), las noches frías y madrugadas en que la temperatura no supere los 14°C en la época seca, o los 20°C en la época lluviosa, afectan en gran medida el proceso de fotosíntesis al día siguiente. Cuando la temperatura es mayor a los 35°C, aumenta la respiración y, como consecuencia, disminuye la tasa fotosintética, lo anterior conlleva a una reducción del crecimiento y de acumulación de materia seca. Mientras que los signos de marchitez se evidencian cuando la temperatura aumenta por arriba de los 36°C (Subirós, 2000). Si la temperatura es más alta, la tasa de crecimiento aumenta más que la fotosíntesis, lo cual perjudica la acumulación de sacarosa (Gawander, 2007).

En la actualidad, la red de 16 estaciones meteorológicas ubicadas en los cuatro estratos (alto, medio, bajo y litoral) del cultivo de la caña registra mediciones de la temperatura ambiente. La red permite contar con el rango de las temperaturas mínimas y máximas diarias y determinar así si éstas se encuentran en los valores óptimos para el desarrollo del cultivo. Durante enero 2010, por ejemplo, la temperatura mínima registrada fue de 14.1°C en la estación Puyumate, mientras que la máxima fue de 36.5°C en la estación Trinidad.

Tan importante como la temperatura aérea es la temperatura del suelo, la cual debe encontrarse alrededor de los 27°C para cumplir su papel en el desarrollo radical, la absorción de nutrientes y la actividad biológica. Por debajo de los 21°C, se convierte en un factor limitante para el desarrollo del cultivo y una temperatura de 24°C se considera como promedio adecuado (Subirós, 2000). En lo que respecta a esta variable, aún no se cuenta con mediciones realizadas de forma regular, por lo que podrían recomendarse con el fin de obtener una gama más amplia de datos que permitan caracterizar el desarrollo del cultivo con base en las condiciones climáticas.

También se sabe que durante la fase de maduración (4 a 6 semanas pre-cosecha), la variación de amplitud entre la temperatura diurna y nocturna tiende a favorecer considerablemente la maduración de la caña. Dicha variación se debería encontrar por encima de los 8°C (Díaz y Portocarrero, 2002). En el Cuadro 3, se puede observar el promedio de amplitud térmica durante septiembre 2010, para 13 estaciones en los diferentes estratos del cultivo de la caña. Para 11 de ellas, la amplitud térmica se mantuvo por encima de los 8°C. En el estrato litoral, dos estaciones registraron amplitudes menores a ese dato.

**Cuadro 3. Amplitud térmica (septiembre 2010) en la zona cañera de la costa sur**

Estrato <sup>1</sup>	Estación	Amplitud térmica (en °C)
<b>Alto</b>	CENGICANA	9.6
<b>Medio</b>	Costa Brava	9.2
	El Bálsamo	8.4
<b>Bajo</b>	Bouganvilla	8.4
	Petén Oficina	9.3
	Puyumate	8.8
	Tehuantepec	8.2
	Trinidad	8.4
<b>Litoral</b>	Amazonas	10.8
	Bonanza	7.7
	Irlanda	9.5
	San Antonio del Valle	7.7
	San Rafael	8.7

<sup>1</sup> Ver las características climáticas de los estratos del cultivo de la caña de azúcar en la costa sur descritas en el Cuadro 1 del Capítulo 2.

La literatura muestra que, en promedio, se requieren de 1,200 a 1,500 mm de precipitación pluvial, distribuidos durante todo el período vegetativo (Subirós, 2000). La demanda de agua aumenta con el crecimiento de la planta, puesto que la transpiración se incrementa. De igual forma, si la temperatura es elevada, la demanda de agua es mayor (Ibid). Como se puede apreciar en el Cuadro 4, los datos de precipitación recabados en 12 estaciones indican que el requerimiento del cultivo se cumple. La estación Trinidad ubicada en el estrato bajo registró 1,610 mm mientras que estaciones del estrato medio sobrepasaron los 4,000 mm. A pesar de que en todos los estratos la precipitación es mayor a los 1,500 mm, existe una estación seca (mediados de octubre a mediados de abril) en la que llueve muy poco, por lo que hay necesidad de aplicar riego al cultivo, especialmente en los estratos bajo y litoral.

**Cuadro 4. Precipitaciones (2009-2010) en la zona cañera de la costa sur**

<b>Estrato</b>	<b>Estación</b>	<b>Precipitación total (en mm)</b>
<b>Alto</b>	CENGICAÑA	4569
<b>Medio</b>	Costa Brava	4087.3
	El Bálsamo	4633.6
<b>Bajo</b>	Bouganvilia	2585.6
	Petén Oficina	2768.8
	Puyumate	2304.6
	Tehuantepec	2576.2
	Trinidad	1610.4
<b>Litoral</b>	Amazonas	3141.5
	Bonanza	3021.8
	Irlanda	3741.2
	San Antonio del Valle	2811.3

Durante el período previo a la cosecha, se considera ideal la disminución de la humedad para reducir el crecimiento y favorecer la formación y concentración de azúcares. Los excesos de lluvia así como las sequías son perjudiciales para la caña (Subirós, 2000). Existen algunas variedades que son tolerantes a los excesos de humedad, pero la gran mayoría se ve afectada por inundaciones. Un estudio realizado con dos variedades Canal Point en Belle Glade, Florida, concluyó que las inundaciones dieron como resultado la reducción del 38 por ciento del peso de la hoja y un mayor desarrollo de raíces adventicias (entre 4 y 15 veces más) en detrimento de las raíces primarias (Gilbert *et al.*, 2007).

Otro factor que puede limitar el cultivo de la caña de azúcar es el viento, el cual puede dañar el follaje, aumentar la evapotranspiración, reducir el crecimiento, causar la ruptura de tallos e incluso de sus bases, si la velocidad del viento se

mantiene por debajo de los 40 Km/hora, no causará daños; sin embargo, si ésta excede este límite, reduce el rendimiento de la caña (Subirós, 2000). Las mediciones de viento de junio, julio y agosto 2010, por ejemplo, indicaron que en 52 días, la velocidad máxima del viento excedió los 40 km/hora, estos datos se registraron en su mayoría en los estratos bajo (52%) y litoral (27%). En caso de presencia de huracanes, el peso fresco de los tallos podría reducirse hasta en un 54 por ciento y su contenido de sacarosa disminuir alrededor de 34 por ciento en los tallos quebrados (Subirós, 2000).

### **Efecto de eventos extremos en la producción**

Un evento extremo de lluvia puede ser definido climatológicamente como aquel que ocurre en uno de los extremos de la distribución de frecuencia climatológica, y la elección de un valor límite puede ser arbitraria y hasta subjetiva (Marengo *et al.*, 2004). De acuerdo con el glosario del IPCC (2001a), se llama evento extremo a un evento que es raro en un determinado lugar y estación (Ej. un evento extremo puede salir del percentil 10 ó 90). Los extremos varían de un lugar a otro, por lo que aquello que se define como extremo en un área específica, en otra puede ser común. Los eventos extremos no pueden atribuirse únicamente al cambio climático, ya que estos pueden ocurrir de forma natural, sin embargo, se espera que el cambio climático pueda incrementar su ocurrencia.

Unos estudios realizados en Australia han mostrado que a fuertes lluvias anómalas en determinada época del año les siguen rendimientos de caña de azúcar por debajo de lo normal en la siguiente cosecha (Kuhnel, 1993). En la isla de Viti Levu, los cambios en los regímenes de lluvias podrían conllevar a pérdidas agrícolas, valoradas en 14 millones de dólares. Lo anterior se debe a que la reducción en 8 por ciento de las lluvias afectaría a la mayoría de los cultivos de esa isla y especialmente a la caña de azúcar, que es muy sensible a las sequías. Tomando en cuenta el dato mencionado, se esperaría una caída en la producción de caña de azúcar de 9 por ciento aproximadamente para el año 2050, y a causa de fenómenos “El Niño”, se podría perder hasta el 50 por ciento de la producción cada cuatro años (Banco Mundial, 2000). Datos proporcionados por el ingenio Madre Tierra revelaron que las fuertes precipitaciones en la época lluviosa las cuales incluyen aquellas suscitadas por las tormentas Agatha, Alex y Matthew, durante la zafra 2010-2011, afectaron en gran medida la producción del cultivo de la caña. Para cinco zonas de producción, las lluvias de casi 2,000 mm que, en otras localidades rebasaron los 3,000 mm, provocaron la disminución en rendimiento del 10 por ciento al 28 por ciento comparado con la zafra 2009-2010 (ingenio Madre Tierra, 2011).



En 2005, la tormenta tropical Stan causó daños y pérdida en zonas agrícolas y ganaderas de 15 departamentos, entre los que se encuentran Retalhuleu y Escuintla. Además de las pérdidas económicas, se derivan daños de los fenómenos naturales en los activos ambientales como el suelo, la vegetación y el agua. Los primeros efectos resultan de los cambios en los servicios ambientales. Posteriormente, los efectos radican en la restauración o recuperación del capital natural para que el mismo vuelva a su estado original (o alguno que se le asemeje). Entre los que más pueden afectar el cultivo de la caña de forma directa o indirecta, se encuentran: la pérdida de suelos agrícolas por erosión hídrica, el arrastre de sedimentos, la alteración de los sistemas de drenaje natural. La pérdida de suelo por erosión debida al evento Stan correspondió a 12.7 por ciento de la erosión anual (CEPAL y Segeplan, 2005).

### **El clima futuro y el cultivo de la caña de azúcar**

A nivel mundial, una de las incógnitas de mayor preocupación la constituye la forma en que el cambio climático se va a manifestar. Por una parte se encuentra el calentamiento global, que atañe al cambio en la temperatura media de todo el planeta, el cual se sabe que no acontece de igual forma en todas partes (IPCC, 2007). Se ha observado hasta la fecha un mayor incremento en la temperatura en las zonas polares (latitudes altas) y en la cima de las montañas (altitudes elevadas) y lo más probable es que esa tendencia continúe hacia el futuro (ibid.). Por otra parte, el cambio climático se manifiesta a través de otras variables tales como la precipitación, el viento, la radiación solar y la actividad eléctrica. La mayor preocupación radica en la precipitación por los cambios que puedan darse en las cantidades anuales, la intensidad y la temporalidad, entre otras variables.

El estudio del clima en el futuro se basa eminentemente en los modelos de simulación. La comprensión e información sobre el sistema climático global con que se cuenta han sido utilizadas para crear modelos en computadoras. Estos muestran los cambios en el sistema ante distintos escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero, mismos que dependen de las fuentes de energía que se utilicen, las opciones tecnológicas que se creen, el manejo de la tierra y, en general, el modelo de desarrollo que la humanidad persiga. Es por eso que normalmente se presentan simultáneamente los resultados según distintos escenarios futuros. En cuanto a los modelos, la tendencia ha partido de los globales (Modelos de Circulación Global) a los regionales y los locales. Éstos últimos son los más difíciles de lograr y en donde mayores esfuerzos se están haciendo. Los modelos de circulación global más utilizados son 22.

A nivel de país se publicó la llamada *Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático*, estudio que se inició en 1998 y que incluyó un análisis de escenarios climáticos, socioeconómicos y ambientales a futuro que luego permitieron evaluar la vulnerabilidad de varios sectores importantes del país ante el cambio climático (Castellanos y Guerra, 2009). Su elaboración fue un compromiso que el país adquirió por haber firmado la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) al momento de su creación en 1992 y que se ratificó en 1995. Para el análisis climático histórico, el estudio tomó como base los registros de 1960 a 1990 de la red de estaciones del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

Para describir el comportamiento futuro del clima en Guatemala, se utilizaron tres escenarios de emisiones de GEI elaborados por el IPCC (IS92a, IS92c y IS92e). Los tres escenarios fueron seleccionados porque consideran las sensibilidades climáticas media, baja y alta, respectivamente, y un rango amplio de predicciones de calentamiento global basadas en el incremento de los GEI (MARN, 2001). Para evaluar los impactos que pueden surgir por los cambios en el clima, se identificaron cinco escenarios que abarcan la gama de situaciones futuras posibles: un escenario húmedo de poco cambio; un escenario húmedo de mucho cambio; un escenario seco de poco cambio; un escenario seco de mucho cambio y un escenario sin cambios.<sup>2</sup>

Según el estudio, todos los escenarios son consistentes en indicar que la temperatura se elevará entre 0.5 y 4 grados para el año 2050. Se prevé que el aumento en temperatura se reflejará en todos los meses y no en unos más que otros. Para la precipitación, los escenarios indican que podría haber una disminución de la precipitación en el trimestre julio-septiembre, que implica una intensificación del veranillo o canícula (MARN, 2001).

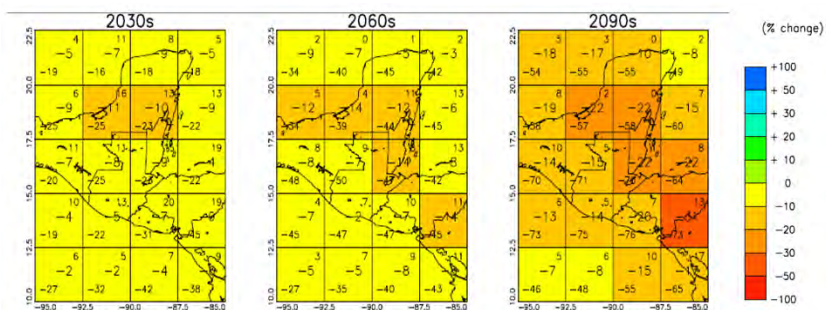
Se han hecho algunos otros intentos de proyecciones futuras del clima en Guatemala, especialmente en cuanto a temperatura y precipitación. La debilidad que presentan, sin embargo, es que se basan en información cuya resolución no captura el nivel de detalle que exige la variabilidad climática del país resultante de su orografía accidentada. A pesar de lo anterior, representan puntos de partida sobre los cuales se pueden buscar mejoras. Las Figuras 2 a la 5 muestran uno de dichos ejercicios y se basan en 15 modelos climáticos de los 22 que compusieron el ensamble utilizado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático para el reporte de la Cuarta Evaluación (McSweeney *et al.*,

---

<sup>2</sup> Se recomienda consultar el documento de Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (MARN, 2001) para conocer el proceso de elaboración de los escenarios y los supuestos en que se basan.

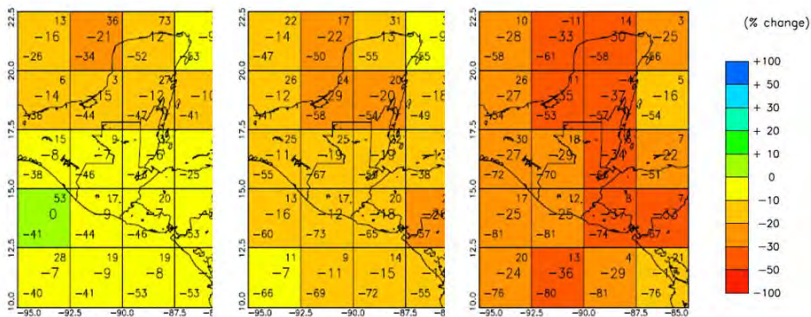
2009). Los valores están expresados como anomalías a partir del clima promedio del período 1970-1999.

En cuanto a la precipitación anual, la tendencia es a una leve disminución hasta la década 2060 y sólo disminuiría alrededor del 20 por ciento a finales de siglo, especialmente en el nororiente del país (ver Figura 2). Estos resultados son similares a las proyecciones realizadas por Sáenz-Romero *et al.* (2010). La evaluación enfocada en trimestres aporta información más específica. En la Figura 3 se aprecia que en el trimestre marzo-mayo, que es clave porque es la temporada de mayor demanda de agua para riego, la disminución de la precipitación se acentúa. La Figura indica que podrían esperarse disminuciones cercanas al 40 por ciento en el nororiente y oriente de Guatemala. Los eventos extremos, ejemplificados con la Figura 4, muestran un leve aumento realmente insignificante comparado con la magnitud de los eventos máximos de precipitación en un día.



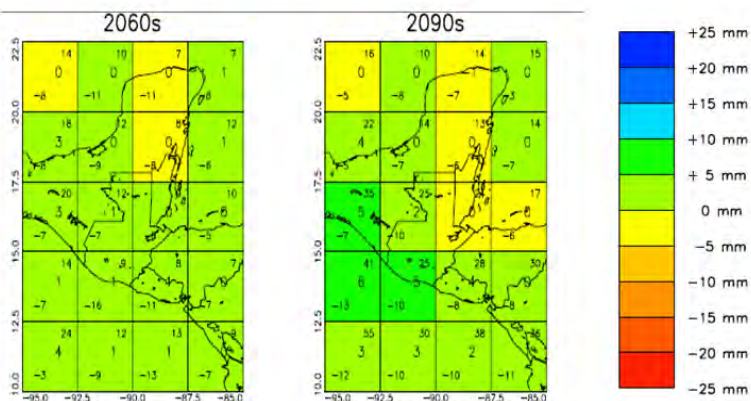
**Figura 2. Cambios porcentuales de precipitación anual**

(Fuente: McSweeney, 2010 en Guerra-Noriega, 2010).



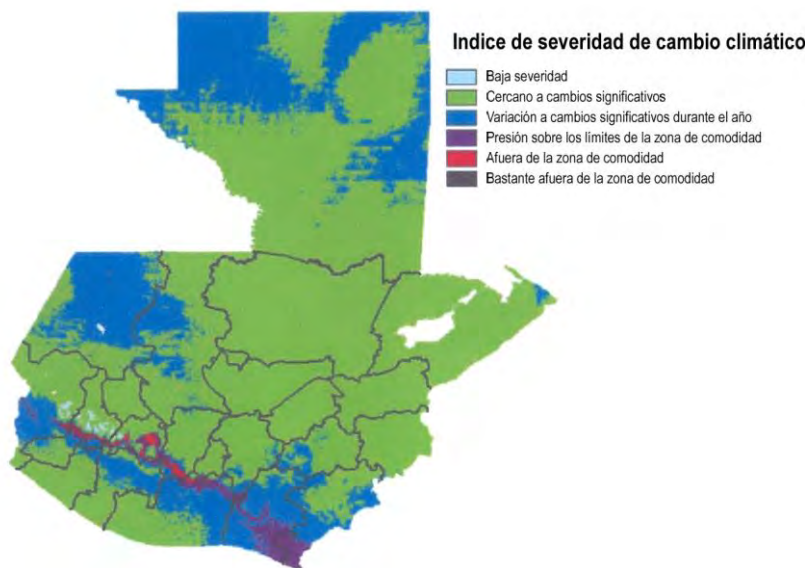
**Figura 3. Cambios porcentuales de precipitación en el trimestre marzo-mayo**

(Fuente: McSweeney, 2010 en Guerra-Noriega, 2010).



**Figura 4. Aumento en la precipitación máxima anual en 24 horas**

(Fuente: McSweeney, 2010 en Guerra-Noriega, 2010).



**Figura 5. Índices de severidad del cambio climático hasta la década del 2020**

(Fuente: Anderson *et al.*, 2008 citado en Ligorria, 2009).

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) condujo una serie de estudios relacionados con la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en Guatemala. En éstos se investigaron los comportamientos de la temperatura y precipitación centradas al año 2050 considerando los escenarios A2 (emisiones

media alta) y B2 (emisiones medias bajas) (MARN, 2007). Los estudios se enfocaron en las cuencas del río Naranjo en San Marcos y la subcuenca del río San José en Chiquimula y Jutiapa. Entre los hallazgos más relevantes están: 1) En la parte alta y media de la cuenca del río Naranjo, bajo ambos escenarios, la precipitación tiende a disminuir en los primeros meses de la época lluviosa y el mes de octubre se torna más lluvioso; 2) No hay tendencia definida en la parte baja de la cuenca del río Naranjo, pues sube en algunos meses y disminuye en otros; 3) La temperatura aumenta, en general, pero entre 0.3 y 0.8 grados tanto para la temperatura máxima como para la mínima. En el caso de la subcuenca del río San José, los hallazgos principales son: 1) Bajo ambos escenarios, la precipitación tiende a aumentar de mayo a julio y a disminuir en julio y septiembre en la parte media de la subcuenca; 2) En la parte alta de la subcuenca aumenta la precipitación en todos los meses en una localidad (La Ceibita), mientras en otra parte (Asunción Mita) se espera que suba de mayo a octubre bajo el escenario B2 (MARN, 2007a). Estos estudios de caso podrían indicar que es posible que el cambio en temperatura sea un poco mayor en áreas secas del país.

En la información presentada se evidencia la necesidad de realizar estudios a nivel regional y local sobre los cambios que se esperan en cuanto a temperatura y precipitación. Otra necesidad es mejorar los modelos existentes para tener una idea más clara de los cambios que se puedan presentar. Los estudios sugieren que la temperatura aumentará a lo largo del siglo, sin embargo, no se conoce la magnitud de dicho aumento. La precipitación podría aumentar o disminuir dependiendo de las condiciones locales, lo más importante será conocer los cambios a lo largo del año ya que de eso podrían depender los posibles impactos.

### **Implicaciones de los cambios de las variables climáticas para el cultivo de la caña de azúcar**

Aunque normalmente los estudios sobre el cambio climático toman en cuenta la temperatura y precipitación como variables principales, son numerosas las variables relacionadas con éstas. El cambio climático podría representarse en todas las variables, aunque probablemente sólo algunas constituyan amenazas para los ecosistemas, las poblaciones humanas y los bienes. El Cuadro 5 muestra la lista de variables climáticas y el Cuadro 6, las amenazas que podrían resultar de los cambios en las mismas, aunque hay que notar que algunas amenazas pueden resultar de un cambio o la combinación de cambios de dos o más variables. Lamentablemente no se tiene conocimiento sobre la trayectoria de la mayoría de variables puesto que no han sido medidas, por lo que predecir las condiciones futuras se hace extremadamente difícil.

### **Cuadro 5. Cambios potenciales en variables climáticas**

Aumento o disminución en la cantidad anual de lluvia
Inicio temprano o tardío de la época lluviosa
Canícula más intensa o más larga
Lluvia extrema (más intensidad o mayor frecuencia)
Lluvias intensas en la época seca
Aumento en el promedio de temperatura anual
Aumento en la temperatura máxima diaria
Aumento en la temperatura mínima diaria
Aumento en los eventos de temperaturas extremas: mayor número de días con temperaturas máximas muy elevadas o temperaturas mínimas muy bajas
Aumento en la variación diaria o semanal de la temperatura
Descargas eléctricas (rayos) más intensas o frecuentes
Aumento en eventos de vientos fuertes o vientos con velocidades muy altas
Tormentas ciclónicas y huracanes más fuertes o más frecuentes
Cambio en el inicio y/o fin de la temporada de vientos fuertes
Granizo más grande o en lugares donde no es usual
Aumento en la evaporación y evapotranspiración
Aumento en el nivel del mar
Aumento en la intensidad del oleaje en las playas

### **Cuadro 6. Amenazas climáticas potenciales**

Inundaciones
Desborde de ríos
Sequías
Escasez de agua para distintos usos
Deslizamientos y derrumbes
Proliferación de plagas y enfermedades que afectan cultivos
Proliferación de vectores que transmiten enfermedades a los humanos
Cambio en la distribución de vectores y de propagación de enfermedades
Heladas
Incendios forestales
Mareas de tempestades

La primera implicación de los cambios en el clima sobre la caña de azúcar es la distribución de áreas aptas para su cultivo. Las condiciones requeridas de temperatura y humedad antes mencionadas pueden encontrarse en distintos lugares del país, incluso en muchos más que las aproximadamente 230,000 hectáreas que entre 2010-2011 se emplearon para cultivar caña de azúcar (CENGICANA, 2011). Como se ha visto en otros capítulos de este libro, históricamente el cultivo se ha concentrado en la parte sur-central del país, por debajo de los 700 metros sobre el nivel del mar (msnm). Una temperatura más alta (en temperatura diaria mínima y máxima) haría posible que el cultivo se dé favorablemente en lugares de mayor altitud, incluso hasta los 800 msnm. Que

esto se haga realidad, por supuesto, depende de otras condiciones. Si los cambios en temperatura máxima fueran muy intensos (sobrepasando los 36°C), empezaría a limitar el desarrollo adecuado del cultivo en el estrato bajo y litoral, que es donde la temperatura es mayor.

El aumento en la temperatura hará que los requerimientos de riego sean mayores debido al aumento en la evapotranspiración. Si éstos se combinan con temporadas muy secas, la demanda de agua para riego crecería aún más. En el caso de Suazilandia, en África, se estimó que el requerimiento de agua del cultivo de caña de azúcar aumentará entre 11 por ciento y 14 por ciento y que combinado a la reducción en precipitación en el verano, el aumento promedio en necesidad de riego estará en el rango 20 por ciento a 22 por ciento (Knox *et al.*, 2010).

Los cambios en precipitación son mucho más inciertos. Tomando en cuenta que la precipitación actual es mucho mayor a la necesaria para el cultivo de la caña de azúcar, una disminución del 20 por ciento (que por ahora es el dato estimado de cambio para finales de siglo) no tendría un efecto significativo en la mayoría de zonas donde se ubican las plantaciones actuales. Debido al gradiente de precipitación que existe (de alrededor de 1000 mm en el litoral a más de 4000 mm en el estrato alto del cultivo- CENGICANA, 2007), las zonas que podrían carecer de agua para su desarrollo son los estratos bajo y litoral. Longitudinalmente, existe también un gradiente en el que la precipitación aumenta de suroriente a suroccidente, con lo cual el suroriente podría ser potencialmente afectado por la disminución general en la lluvia anual. Más relevante aún será cómo se presenten los cambios mes a mes. Aunque el panorama hasta ahora es todavía incierto, en algunos lugares estudiados, como se vio en los estudios del MARN (2007), la disminución en la precipitación pluvial podría ser más fuerte en el trimestre marzo-mayo, mientras en el trimestre septiembre-noviembre podría incluso haber un aumento.

Para el cultivo de la caña de azúcar en Belice, se hicieron algunas estimaciones del impacto en producción según posibles cambios en la precipitación. El cultivo de la caña de azúcar en Belice se realiza en el norte del país (Santos y García, 2008), donde el régimen de lluvias es parecido al régimen de los estratos bajo y litoral de la caña de azúcar en Guatemala. Se estimó que una reducción del 12 por ciento de la precipitación no incidiría en el rendimiento durante las tres primeras etapas de crecimiento. Sin embargo, para la cuarta etapa se estimó una reducción del 55 por ciento, lo cual causaría una disminución en la cosecha total del 11.9 por ciento (*ibid.*). Por otra parte, un aumento del 12 por ciento de la lluvia anual implicaría una baja del 4.5 por ciento en la cosecha. Con el 20 por ciento de disminución en la precipitación que se proyecta para el año 2050, la producción de caña de azúcar se reduciría en 17.4 por ciento (*ibid.*).

De la precipitación, un tema de preocupación lo constituyen los eventos extremos de lluvia. Estos pueden ocasionar daños graves a los cultivos, el transporte, el proceso y la comercialización del azúcar. Por ejemplo, la República de las Islas Fiji, un país que depende en gran medida del azúcar, ha sido afectada considerablemente por eventos climáticos. Las sequías y ciclones tropicales han ocasionado pérdidas de más del 50 por ciento de la producción en años como 1997, 1998 y 2003 (Gawander, 2007). Aunque hay incertidumbre en los escenarios, se ha mencionado que los eventos extremos de lluvia aumentarán (IPCC, 2000); (Jiménez y Girot, 2002) y para Centroamérica y el norte de Sudamérica ya se han registrado aumentos en los mismos (Aguilar *et al.*, 2005). Las proyecciones existentes, como ya se mostró, dicen muy poco sobre los eventos extremos y por ahora apuntan a incrementos mínimos.

Hay efectos combinados de las condiciones climáticas y atmosféricas futuras para la caña de azúcar. Los rendimientos pueden aumentar por las temperaturas más altas, por mayor radiación solar y también por una mayor concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. En el caso de Suazilandia las dos primeras son mínimas (menos del 5%) mientras el aumento, debido a la mayor concentración de CO<sub>2</sub> (en el escenario A2) se estimó en 15 por ciento de producción de sucrosa (Knox *et al.*, 2010). Según Downing *et al.* (1997) al duplicar la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera puede darse un aumento en la eficiencia en el uso de agua de hasta 50 por ciento, con mayores efectos en las plantas con vía metabólica C3. Para el caso de la caña se espera que dicho efecto sea menor por tratarse de una planta con vía metabólica C4, que son menos eficientes en el uso del agua (Knox *et al.*, 2010). El viento es otra variable que puede tener efectos adversos en el cultivo de la caña de azúcar, como se explicó con anterioridad.

## EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO

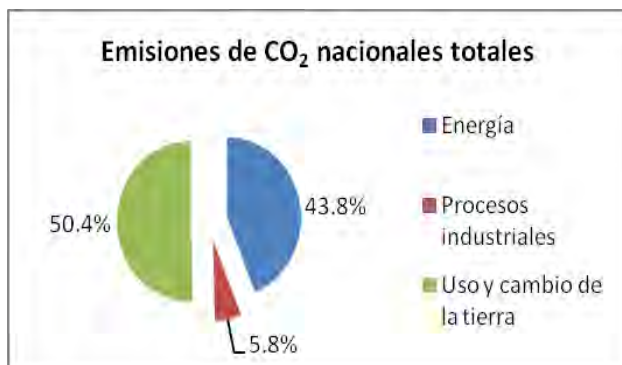
Los gases de efecto invernadero (GEI) son gases atmosféricos que atrapan calor en la atmósfera baja y contribuyen al calentamiento global (IPCC, 2007). Algunos de ellos existen de forma natural, otros se producen únicamente por actividad humana y otros se producen por ambas vías: natural y antropogénica. El Protocolo de Kioto tiene como fin regular las emisiones de seis GEI: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) (Bayon *et al.*, 2009).

El efecto invernadero resulta del hecho que algunos gases de la atmósfera terrestre absorben una buena parte de la radiación solar reflejada por la superficie del planeta. El efecto invernadero es algo natural que ha hecho posible que la Tierra sea habitable y tenga lo que se conoce. Sin embargo, por medio de



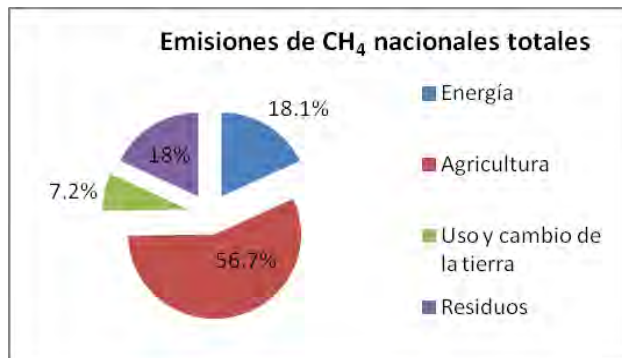
acciones humanas, éste se incrementa con la acumulación adicional de gases en la atmósfera y posteriormente se traduce en calentamiento global (MARN *et al.*, 2009). La mitigación del cambio climático consiste en la reducción de las emisiones de GEI o su extracción de la atmósfera para evitar el calentamiento global y el cambio climático (IPCC, 2007).

El estudio *Inventario de gases de efecto invernadero Año 2000* reporta que las emisiones totales de GEI para Guatemala fueron de 21,320.82 Gg de CO<sub>2</sub>, de los cuales 50.4 por ciento correspondió al cambio de uso de la tierra y silvicultura (ver Figura 6).



**Figura 6. Emisiones de CO<sub>2</sub> nacionales totales**  
(Fuente propia con datos MARN, 2007)

Las emisiones totales de CH<sub>4</sub> fueron de 230.29 Gg, de las cuales el 56.7 por ciento corresponde al sector agrícola y particularmente a la fermentación entérica por ganado (98.72, o sea 42.9% del total a nivel nacional) (Figura 7).



**Figura 7. Emisiones de CH<sub>4</sub> nacionales totales**  
(Fuente propia con datos MARN, 2007)

Las emisiones de óxido nitroso ascendieron a 55.33 Gg, y el 97.5 por ciento es atribuido a la agricultura (emisiones por los suelos agrícolas y manejo de estiércol). Aquellas correspondientes al óxido de nitrógeno ascendieron a 89.72 Gg, y el sector agrícola, principalmente las rozas y las quemas de residuos agrícolas en el campo, contribuye en un 17.5 por ciento. En cuanto a las emisiones de monóxido de carbono, éstas se encuentran en los 1651.45 Gg y un 29.7 por ciento corresponde al sector agricultura (rozas y quemas de residuos agrícolas en el campo).

Las absorciones también fueron contabilizadas: 37,460.17 Gg. Los datos presentados en este documento mostraron varios aumentos en comparación con datos de la primera comunicación nacional ante la CMNUCC (1990). Por el contrario, el dato de absorciones registró una disminución de 5,443.56 Gg con respecto a 1990.

De acuerdo con el estudio de Boshell (2011), las emisiones de óxido nitroso del subsector azucarero representan aproximadamente el 2.6 por ciento del total de emisiones del sector agropecuario nacional, mientras que las de metano equivalen tan sólo al 1 por ciento de las emisiones de todo el sector agropecuario del país. La emisión del suelo (incluye la emisión directa, la emisión indirecta por lixiviación/escurrimiento y la emisión indirecta por deposición atmosférica de N volatilizado) supera a la emisión por quemas para todos los ingenios. Los valores entre los que se encuentran las emisiones totales de cada uno de ellos varían en proporción con el área cultivada y cosechada, así como a la forma de cosecha (mecanizada) y al programa de fertilización: aproximadamente 400 t CO<sub>2</sub>eq/año a casi 50,000 t CO<sub>2</sub>eq/año. Las emisiones totales del subsector azucarero guatemalteco son menores a 1 Gg para el dióxido de nitrógeno y alrededor de 4 Gg para el metano, equivalentes a menos de 300,000 t CO<sub>2</sub>eq/año.

La Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia, ASOCAÑA, utiliza el dato siguiente: cada hectárea de tierra sembrada con caña de azúcar produce y libera a la atmósfera 40 toneladas de oxígeno y remueve 60 de dióxido de carbono. Tomando un área de 230,000 ha cultivadas con caña de azúcar en Guatemala, el subsector azucarero estaría liberando casi 9.2 millones de toneladas de oxígeno, removiendo a la vez 13.8 millones de toneladas de dióxido de carbono para una captura neta de 4.6 millones de toneladas. Este dato requiere de mayor investigación a través de mediciones específicas de emisiones de CO<sub>2</sub> tanto en el área de campo como en el proceso en fábrica, sin embargo, proporciona una base para afinar las cantidades exactas.

## Oportunidades de mitigación del cambio climático

Entre las medidas propuestas para llevar a cabo acciones de mitigación de gases de efecto invernadero se encuentran las descritas en el Cuadro 7. Estas medidas podrían ser consideradas para acceder a diferentes mecanismos de financiamiento existentes en el mercado internacional de carbono, principalmente el voluntario, que se caracteriza por ser una alternativa a compradores voluntarios distintos de los compradores del mercado regulado (bajo las normas de la CMNUCC).

Entre las acciones para la Industria Azucarera están la sustitución de los combustibles fósiles por biocombustibles (biodiésel y bioetanol) contemplando tanto su uso como su producción; la reducción del uso de fertilizantes minerales por un uso más eficiente y/o su sustitución por biofertilizantes (producidos internamente también); la gasificación de residuos de bagazo y caña de azúcar y una mayor generación de bioelectricidad (cogeneración) (Olivério *et al.*, 2010; Thomas y Davies, 2010). La captura de carbono también se puede realizar a través de la lignina y su mineral correspondiente lignita (Thomas y Davies, 2010). Cabe notar que muchas de las medidas ya han sido adoptadas dentro de la Agroindustria Azucarera a nivel mundial y en Guatemala.

**Cuadro 7. Medidas de mitigación de GEI y sus efectos**

Medida	Ejemplo	Efectos de mitigación		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
<b>Manejo de tierras de cultivo</b>	Agronomía	Reducción de emisiones		Inciertos
	Manejo de nutrientes	Reducción de emisiones		Reducción de emisiones
	Gestión de residuos	Reducción de emisiones		Inciertos
	Gestión de recursos hídricos (riego y drenaje)	Inciertos		Reducción de emisiones
	Agrosilvicultura	Reducción de emisiones		Reducción de emisiones
<b>Gestión de tierras (pastoreo, pastizales, otras)</b>	Manejo de nutrientes	Reducción de emisiones		Reducción de emisiones
	Manejo de incendios forestales	Reducción de emisiones	Reducción de emisiones	Reducción de emisiones
<b>Restauración de suelos degradados</b>	Control de la erosión, enmiendas orgánicas y de nutrientes	Reducción de emisiones		Inciertos

Continuación Cuadro 7.

Medida	Ejemplo	Efectos de mitigación		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
<b>Manejo de biosólidos</b>	Uso más eficiente de nutrientes	Reducción de emisiones		Reducción de emisiones
	Mejora del manejo y almacenamiento		Reducción de emisiones	Inciertos
	Digestión anaeróbica		Reducción de emisiones	Inciertos
<b>Bioenergía</b>	Cultivos energéticos, sólidos, líquidos, biogás y residuos	Reducción de emisiones	Inciertos	Inciertos

(Modificado de CEPAL, 2009)

Entre las acciones que ya está efectuando la Agroindustria nacional se encuentra la utilización de la vinaza (residuo resultante de la fermentación y destilación de melazas con origen en la caña de azúcar, con concentraciones del 13 por ciento aproximadamente de sólidos totales) como fertilizante por algunos de los ingenios. A finales de los años 1990, el ingenio Santa Ana inició su uso. Posteriormente, en 2005, el ingenio Pantaleón comenzó a establecer áreas para la fertilización con dicho producto. Para el año 2011 contaba con un programa de 5,000 ha aproximadamente. El ingenio Tuluá experimenta con dicha técnica desde el 2008, mientras que el ingenio Magdalena empezó en 2010 (com. pers. O. Pérez, 2011). El empleo de la vinaza no sólo responde a una medida de mitigación, sino que también es un importante factor económico debido a los resultados positivos en el aumento de la producción de caña (Korndörfer *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2009). Su aplicación suple en buena medida los requerimientos nutricionales del cultivo. Además, desde 1994, se han llevado a cabo estudios para determinar las recomendaciones de la fertilización con diferentes nutrientes entre ellos el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Los resultados y análisis de estas investigaciones han permitido recomendar las dosis necesarias de nutrientes y, por ende, de fertilizantes para el las diferentes fases del cultivo de la caña de azúcar, lo cual ha influido en que disminuyan las cantidades de fertilizantes utilizadas (Pérez, 2002).

Varias pruebas realizadas en el campo han facilitado, entre otros aspectos, la validación de programas de riego bajo ciertas condiciones de suelo en la zona cañera de la costa sur (Castro *et al.*, 2009). También se han evaluado metodologías para medir la eficiencia energética bajo diferentes métodos de riego, situación que ha concluido en la determinación de una serie de

recomendaciones para la implementación en el campo (Castro y Sandoval, 2009). Así mismo resultados de otros estudios han revelado que los programas de riego son una herramienta para la planificación de esta actividad, puesto que estos varían dependiendo de la clase textural, la etapa fenológica y el tipo de sistema de riego utilizado (Castro *et al.*, 2010).

Resultados de investigaciones en Cuba han informado que la quema de 1 ha de caña de azúcar libera a la atmósfera 24.3 Mg de CO<sub>2</sub> al año y, si esto se compara con la capacidad de fijación del cultivo (definida en 60 Mg o t de CO<sub>2</sub> por ASOCAÑA) resulta ser no significativa (Cabrera y Zuaznábar, 2010). Se demostró, entonces, que la emisión de carbono a la atmósfera por efecto de la quema de una parte de la biomasa aérea es menor a la captura de carbono, por lo que se observa que el balance favorece la captura (*ibid.*). A pesar de lo anterior, se considera la cosecha mecanizada (en verde) como otra de las opciones para poder reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Esta técnica se adapta principalmente en pendientes menores a 12 por ciento. También se ha comprobado que el retorno de los residuos del cultivo en la superficie del suelo ha favorecido indirectamente la acumulación de materia orgánica y la reducción de emisión de gases cuando ésta se compara con las quemas (Cerri *et al.*, 2007). Hoy en día, la mayoría de los ingenios ha experimentado con esta técnica en un rango del 5 por ciento al 17 por ciento de la superficie del área cultivada. Durante la zafra 2006-2007, el ingenio Palo Gordo utilizó cosechadoras para trabajar en 16 por ciento del área mientras que el ingenio Tululá cosechó 17 por ciento. Los ingenios Santa Ana, La Unión-Los Tarros y Magdalena cosecharon 2099, 4000 y 8932 ha respectivamente (CENGICAÑA, 2008). Los datos más recientes indican que la cosecha mecanizada se encuentra entre el 10 por ciento y el 15 por ciento del área cultivada.

Desde 1994, se inició el proyecto de cogeneración empleando el bagazo de caña, mediante la suscripción de un contrato de suministro de energía y potencia que incluía a seis ingenios. Para satisfacer en forma permanente la demanda del sistema nacional interconectado, el bagazo se combina con el uso de combustibles fósiles (búnker) para producir energía en forma permanente (Vila, 2003). Con ello se ha evitado el vertido del bagazo de caña de azúcar en los cauces de ríos o su disposición a cielo abierto, a la vez que ha representado la disminución en el uso de combustibles fósiles. Durante las zafras 2007/2008 y 2008/2009, 97 por ciento de la energía fue producida a través de bagazo. El consumo de búnker pasó de casi 18900 galones en la zafra 1997/1998 a cerca de 3,700 galones en la zafra 2008/2009. La cogeneración de los ingenios ha aumentado en casi 6 por ciento la producción de energía en el Sistema Eléctrico Nacional, pasando de 14.54 por ciento en el período 2003/2004 a 20.59 por ciento en 2008/2009 (CENGICAÑA, 2009). Ahora surge el interés en investigar

sobre variedades de caña energética que conserven las propiedades de azúcar necesarias así como de fibra, para mantener e incluso incrementar áreas cultivadas con dicha variedad al igual que en otros países como Australia, Barbados y Estados Unidos (Falla y Melgar, 2010).

A la fecha, la agroindustria ha contribuido con más de 9,800 ha reforestadas con diferentes especies forestales (pinos, teca, eucaliptos, hule, caoba, cedro, árboles frutales y especies nativas entre otros) con diversos fines: energético, maderable, de producción de látex, como reserva natural, de protección de cuencas así como en ensayos para investigación (Com. pers. Manejo Ambiental ASAZGUA, 2011). Estas plantaciones forestales también han contribuido con el secuestro de carbono.

Una de las oportunidades puede surgir con el cambio del manejo de los suelos agrícolas, ya que se puede reducir y/o eliminar la liberación de carbono por pérdida de fertilidad, así como secuestrar carbono por el aumento de los niveles de materia orgánica y estimular un uso racional de fertilizantes. El cambio a sistemas de agricultura de conservación así como el manejo adecuado de fertilización traerán oportunidades de mitigación y adaptación ya que, en ambos casos, se optimiza el uso de insumos, se genera un ingreso adicional y se obtienen beneficios a mediano y largo plazo. Por ejemplo, en lo relacionado con la degradación de tierras y a la adaptabilidad de cultivos de cara a los cambios actuales (PNUD, 2009). En cuanto al uso de fertilizantes con menor potencial de emisión de gases de efecto invernadero, se debe investigar más. Hasta el momento se sabe que los inhibidores de la ureasa y de la nitrificación han demostrado potencial para incrementar la retención en el suelo y mejorar la recuperación por las plantas del N aplicado, pero se conoce poco sobre el impacto en la reducción de las emisiones totales de  $N_2O$ . Se ha demostrado que los fertilizantes de liberación lenta, controlada y estabilizada reducen las pérdidas por drenaje y por emisiones atmosféricas, por lo que se podría sugerir que podrían ser efectivos para reducir emisiones de corto plazo. Sin embargo, es un reto crítico la falta de mediciones simultáneas de los tres gases de efecto invernadero durante períodos extensos de tiempo en los estudios agrícolas y ambientales. Una adecuada fertilización puede contribuir al incremento de la materia orgánica del suelo (MOS) o a reducir la tasa de pérdida de MOS. Factores como la implementación de estrategias de manejo de los residuos del cultivo minimizan el potencial de calentamiento global neto (Snyder *et al.*, 2008).

Otra oportunidad se presenta con los fitolitos, que son estructuras celulares epidérmicas silicificadas de la hoja y del tallo que ocluyen el carbono (Parr *et al.*, 2009). El contenido de carbono orgánico puede llegar a ser considerable: se ha podido extraer de 5 por ciento a 5.8 por ciento de contenido de carbono en hojuelas de avena (Parr y Sullivan, 2005). Medir la fracción del carbono ocluido

en estas estructuras permitiría cuantificar este elemento antes de que sea incorporado al suelo. Los fitolitos de las gramíneas son particularmente eficientes para ocluir el carbono y algunos estudios han demostrado que la caña de azúcar es particularmente eficiente para ello (Parr *et al.*, 2009). Otra de las ventajas que se ha comprobado es que el carbono ocluido en los fitolitos es muy resistente a la oxidación (Parr y Sullivan, 2005). En la caña de azúcar se ha observado un rango de carbono ocluido por fitolitos de entre 0.12 y 0.36 t e-CO<sub>2</sub> (ha-año)<sup>-1</sup> para determinadas condiciones ambientales (Parr *et al.*, 2009). Este carbono puede ser un componente clave del carbono orgánico del suelo y su acumulación constituiría entonces un proceso importante en la fijación terrestre del carbono del suelo (Parr y Sullivan, 2005). Con base en los hallazgos anteriores, se debería considerar la posibilidad de incluir en las combinaciones de las variedades de caña de azúcar el contenido de carbono ocluido en fitolitos como una característica deseable también (Parr *et al.*, 2009).

## ADAPTACIÓN DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR AL CAMBIO CLIMÁTICO

### **La adaptación al cambio climático**

El término *adaptación* puede entenderse como los arreglos que se dan en el comportamiento y características de un sistema que aumentan su habilidad para soportar presiones externas (Brooks, 2003). En el ámbito del cambio climático, la adaptación se ha definido como “un ajuste en los sistemas ecológicos, sociales o económicos en respuesta a cambios esperados u observados en el clima y sus efectos para aliviar el impacto adverso de dicho cambio o bien para aprovechar nuevas oportunidades” (Adger *et al.*, 2005); (IPCC, 2001b). Hacia finales del siglo XX, el tema de la adaptación no se tomó con mucha relevancia porque se pensaba que al enfocar atención y recursos en ella se estaba relegando la reducción de emisiones de los gases que causan el cambio climático (Pielke *et al.*, 2007). Sin embargo, la adaptación ha recobrado importancia y se ha puesto como alternativa o estrategia complementaria para mitigar ese cambio (Pielke *et al.*, 2007; Smit *et al.*, 2000).

Las distintas definiciones de adaptación tienen en común que mencionan los cambios en un sistema en respuesta a estímulos climáticos, sin embargo, también presentan variaciones. Éstas están relacionadas a la aplicación y contexto. Algunos, en cuanto a su aplicación, se refieren al cambio climático mientras otros a la variabilidad climática; la adaptación podría ser en respuesta a efectos adversos, a vulnerabilidades o a oportunidades. Hay variaciones también en cuanto a quién o qué se adapta, pues podrían ser sectores sociales y económicos, sistemas ecológicos sin o bajo manejo, o bien prácticas, procesos o

estructuras de sistemas. La adaptación también puede ser pasiva, reactiva o preventiva (Smit *et al.*, 2000).

Muchas sociedades, instituciones e individuos han modificado su comportamiento en respuesta a cambios en el clima que se han dado en el pasado y otras están contemplando adaptarse a las alteraciones climáticas futuras. Parte de esta adaptación es reactiva, puesto que responde a eventos pasados o actuales, pero también es preventiva porque se basa en las evaluaciones de las condiciones futuras. La adaptación se compone de acciones tomadas por individuos, grupos y gobiernos. Entre los factores que pueden motivar la adaptación están la protección del bienestar económico y el mejoramiento de la seguridad tanto de individuos como de comunidades (Adger *et al.*, 2005).

Se piensa a menudo que la población de países en vías de desarrollo no son víctimas pasivas, sino que en el pasado han demostrado la *resiliencia*<sup>3</sup> más fuerte a sequías, inundaciones y otras catástrofes (Adger *et al.*, 2003). Una forma de buscar opciones de adaptación es tomar el enfoque análogo, que consiste en considerar estudios de caso de respuestas pasadas a la variabilidad y extremos climáticos (analogías temporales), o el comportamiento presente en regiones con condiciones climáticas similares a las que se puedan desarrollar en la región de interés (analogías espaciales) (Adger *et al.*, 2003). Mucha de la adaptación en países en vías de desarrollo va a depender de experiencias pasadas de cómo afrontar los riesgos relacionados al clima. Así, gran parte de la adaptación de los agricultores, pescadores, habitantes de las costas y residentes de grandes metrópolis será autónoma y facilitada por su propios recursos y capital social (Adger *et al.*, 2003).

### **Adaptación del cultivo de la caña de azúcar al cambio climático**

Para la Industria Azucarera hay varias opciones de adaptación que se pueden considerar tanto en el campo como la fábrica. Sin embargo, la mayoría de impactos del clima podrían darse en el campo y éstos incidirían en una menor productividad, por lo que el mayor potencial de adaptación se encuentra ahí (SRDC, 2007). El Cuadro 8 muestra distintas medidas recomendadas de adaptación al cambio climático. Gran parte de ellas han sido realizadas o están en curso dentro de la Agroindustria Azucarera de Guatemala, aunque no necesariamente con el objetivo de afrontar el cambio climático, pero que indudablemente aumentan su *resiliencia*.

---

<sup>3</sup> Resiliencia: Capacidad de los ecosistemas de absorber perturbaciones sin que se alteren significativamente las características de estructura y funcionalidad. Se define también como la aptitud que tienen los ecosistemas para poder retornar a su estado original después de que concluya la perturbación.



**Cuadro 8. Opciones de adaptación para el cultivo de la caña de azúcar**

Área de producción	Opciones de adaptación
<b>Campo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adelantar la estación de siembra para acoplarse a los cambios en temperaturas mínimas</li> <li>• Implementar una zafra más larga para capitalizar los incrementos en temperaturas mínimas</li> <li>• Considerar la siembra de caña en otras épocas del año</li> <li>• Aumentar la existencia de agua para riego a través de:             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión en infraestructura de riego</li> <li>• Incremento en el uso de agua suplementaria por medio del riego</li> <li>• Instalación de obras de almacenamiento de agua dentro de las fincas</li> <li>• Uso y desarrollo de variedades de caña de azúcar que sean más eficientes en el uso del agua y que resistan mejor las sequías</li> <li>• Mayor eficiencia en las tecnologías de riego</li> </ul> </li> <li>• Mayor utilización de otras tecnologías de riego (Ej. Pivotes centrales)</li> <li>• Variedades de caña de azúcar adaptadas a las condiciones locales</li> <li>• Considerar las estrategias de manejo de plagas en zonas con condiciones climáticas parecidas a las que probablemente se tengan en el futuro</li> <li>• Búsqueda de mayor eficiencia en las operaciones de corte</li> <li>• Aumentar la eficiencia en las operaciones de transporte</li> <li>• Mejora en el drenaje de los suelos en temporadas con lluvia intensa</li> <li>• Capacitación continua del personal para implementar los cambios en el manejo de los cultivos según los nuevos requerimientos</li> <li>• Conservación del suelo</li> <li>• Diversificación de cultivos</li> <li>• Seguros agrícolas</li> <li>• <u>Mejoramiento de información y pronósticos del clima</u></li> </ul>
<b>Fábrica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Continuar la mejora en eficiencia de la molienda</li> <li>• Eficiencia energética</li> <li>• Fuentes diversas o alternas de energía</li> <li>• Disminución en uso del agua</li> <li>• Reutilización del agua</li> <li>• Evaluación de riesgo de desastres en la fábrica y medidas para reducirlo</li> <li>• Planes de contingencia para el transporte de la caña hacia la <u>fábrica y luego del azúcar producido (incluyendo vías alternas)</u></li> </ul>

Fuente: Elaboración propia que incluye insumos de SRDC (2007), Santos y García (2008), CATHALAC/PNUD/GEF (2008) y Gbetibouo y Hassan (2005).

## EL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO (ICC): ciencia en acción para enfrentar el cambio climático

Es la institución fundada por el sector azucarero guatemalteco para afrontar los retos que representa el clima, tanto en el presente como en el futuro. Su finalidad es el desarrollo de programas de investigación y promoción de proyectos que contribuyan con la **reducción de la vulnerabilidad**, la **mitigación** y la **adaptación** al cambio climático en las comunidades, los sistemas productivos, la infraestructura y los servicios. Su fundación responde también a la necesidad identificada de que el país cuente con una institución que colabore en la generación de información esencial para las actividades de mitigación y adaptación al cambio climático. El área geográfica de acción del Instituto la constituye inicialmente la costa sur de Guatemala y las cuencas hidrográficas relacionadas, aunque luego podrá trabajar en otras áreas de Guatemala y Centroamérica según las necesidades y oportunidades que surjan.

El ICC busca trabajar en alianza a otras instituciones del sector público y privado para sumar esfuerzos que ayuden al país. Esto se visualiza tanto para la realización de investigaciones como para implementar acciones que contribuyan a mitigar y adaptarse al cambio climático. Un elemento esencial con el que el Instituto también quiere contribuir es el desarrollo de capacidades desde profesionales hasta el nivel comunitario. Gran parte del impacto que se logre dependerá del grado de internalización del conocimiento y destrezas de las personas ya sea dentro de empresas, instituciones o comunidades.

A pesar de ocupar solamente el 2.1 por ciento del territorio del país, las acciones del sector azucarero de Guatemala en materia de cambio climático pueden generar un impacto importante a nivel nacional. El Instituto persigue identificar acciones que ya se han realizado y que contribuyen directamente a la mitigación y adaptación al cambio climático para promoverlas dentro de la Agroindustria Azucarera y fuera de la misma. Aparte de eso, tiene la misión de crear e impulsar nuevas acciones que también se basen en lineamientos técnicos y científicos. Un ejemplo de acciones que han incidido en la mitigación del cambio climático es la reducción en la utilización de combustibles fósiles para producir electricidad, que ahora se produce ampliamente a partir del bagazo de la caña el que cubre no sólo las necesidades energéticas de los ingenios, sino aportando el excedente a la red nacional. Gran parte del trabajo de CENGICANA ha contribuido a que indirectamente se trabaje en mitigación y adaptación al cambio climático, y éste constituye un ejemplo de inversión que aporta a la sostenibilidad de la Agroindustria a largo plazo.

## **Líneas de investigación y de acción: oportunidades valiosas**

Luego de revisar las condiciones existentes sobre el cambio climático en Guatemala y su relación con el cultivo de la caña de azúcar, se hace evidente la necesidad de realizar investigación según las condiciones nacionales y locales. Se requiere información y conocimiento básico sobre los sistemas climáticos del país, para comprender mejor su funcionamiento en el presente y como punto de partida para saber los posibles efectos del cambio climático futuro. Es por eso que se ha creado el Programa de Investigación en Clima e Hidrología, que está a cargo de generar más información, sobre todo, llevar a cabo análisis que proporcionen insumos para la planificación y puesta en marcha de acciones, especialmente de adaptación al cambio climático.

Uno de los retos de investigación es el desarrollo de modelos que simulen la influencia de las condiciones climáticas en el crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo de la caña de azúcar. Ya se han llevado a cabo estudios con el modelo de zonas agroecológicas, el cual ha mostrado tener buena precisión para estimar la productividad potencial.

El Programa de Investigación sobre Ecosistemas aborda tanto la mitigación como la adaptación al cambio climático en los bosques y cultivos agrícolas. En el tema de mitigación, el Programa tiene la finalidad de estudiar acciones y tecnología para la reducción de emisiones de GEI, así como evaluar y crear estrategias para conservar la cobertura vegetal existente y recuperarla en lugares estratégicos. En este contexto, se abordará la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de las tierras agrícolas, por lo que se deberá investigar inicialmente sobre las reservas del carbono orgánico del suelo utilizando las siguientes variables: concentración de carbono, densidad aparente, vegetación autóctona y tipo de suelo. Estos estudios ayudarán a mejorar los inventarios de GEI del cultivo de la caña de azúcar. En el mediano plazo se tendrá un inventario de emisiones de toda la industria relacionada con la caña de azúcar, incluido su cultivo y también la producción de energía eléctrica (cogeneración con biomasa), producción de etanol, transporte de azúcar y otras actividades que no sólo están reduciendo la contaminación local, sino están haciendo aportes importantes en la mitigación del cambio climático.

Algunas de las investigaciones antes mencionadas se efectuarán de forma conjunta con el personal de los diferentes programas de CENGICAÑA. Uno de los proyectos potenciales es observar el comportamiento de las diferentes plagas y enfermedades que atacan el cultivo de la caña ante los efectos del cambio climático. También se podría iniciar un programa piloto de salud del suelo, con el fin de determinar la humedad y disponibilidad de agua y continuar así con la

agricultura de precisión, así como con otras mejoras para la eficiencia del uso del recurso hídrico y la tecnología de irrigación.

El ICC cuenta con dos programas destinados a la promoción e implementación de acciones que coadyuven a la mitigación y adaptación al cambio climático. Uno de ellos es el Programa de Manejo Integrado de Cuencas y el otro es el Programa de Gestión de Riesgo de Desastres. Ambos buscan incidir tanto dentro del sector azucarero como con otros actores prioritarios en el área de trabajo, tales como municipalidades y comunidades. El quinto programa del Instituto es más bien de carácter transversal a los otros cuatro puesto que se enfoca en el desarrollo de capacidades y divulgación. Estas actividades son esenciales para que se pongan en práctica las acciones impulsadas por el Instituto y que así su impacto sea significativo.

Específicamente para el caso del cultivo del azúcar y el cambio climático, los temas siguientes serán esenciales para trabajar en investigación y desarrollo (basado en SRDC, 2007), ya sea por el Instituto, CENGICAÑA o por los mismos ingenios, aunque idealmente por trabajo en conjunto entre todos:

- Salud del suelo (retención de humedad del suelo, erosividad reducida, retención de nutrientes)
- Agricultura de precisión
- Disponibilidad del agua (superficial y subterránea)
- Mejoramiento de la tecnología de riego y eficiencia en el uso del agua
- Oportunidades para mayor disponibilidad de agua (captación, almacenamiento, provisión y re-utilización)
- Implicaciones del aumento en el nivel del mar (para la zona litoral)
- Pronósticos estacionales y riesgo
- Oportunidades de biocombustibles a lo largo de la cadena de valor
- Huella de la industria (contabilizar las contribuciones de la Agroindustria Azucarera en emisiones de GEI)

Parte del trabajo del ICC será optimizar las acciones relacionadas con el cambio climático que ya se realizan y promoverlas en todos los ingenios. Estas acciones podrán convertirse en referente nacional, al propiciar que otras industrias y sectores sigan los mismos pasos. Hay un potencial muy grande de mejoras que beneficiarán al sector azucarero, las comunidades cercanas y las autoridades, como suma de los esfuerzos globales para lograr que los cambios en el clima no alcancen niveles peligrosos y perjudiquen en la menor medida posible a la población. Hay una oportunidad valiosa en poner manos a la obra y que la Agroindustria Azucarera Guatemalteca sea un ejemplo a nivel regional y mundial.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Adger, N.; Arnell, N. and Tompkins, E. 2005. Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change* 15 (2005) 77–86.
2. Adger, N.; Huq, S.; Brown, K.; Conway, D. and Hulme M. 2003. Adaptation to climate change in the developing world. *Progress in Development Studies* (3) pp.179–195.
3. Aguilar, E. *et al.* 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research* 110: 1-15.
4. Aguilar, J. *et al.* 2009. Boletín Estadístico. Recopilación de la información de los simposios de análisis de la zafra 1997/98-2008/09. Área de cogeneración. Año 10, No.2. Guatemala, CENGICAÑA.
5. Banco Mundial/ Unidad de País de Papuasias Nueva Guinea y las Islas del Pacífico. 2000. Impact of Climate Change on a High Island Viti Levu, Fiji (Chapter 3) *In Cities, Seas and Storms: Managing Change in Pacific Island economies*, Vol IV: Adapting to Climate Change. Washington, D.C., USA.  
<http://siteresources.worldbank.org/INTPACIFICISLANDS/Resources/4-Chapter+3.pdf>
6. Bayon, R.; Hawn, A. and Hamilton, K. 2009. Voluntary Carbon Markets: An International Business Guide to What They Are and How They Work. 2a ed. Earthscan. Londres. 160p.
7. Boshell, J. F. 2011. Informe final del Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Subsector de la Caña de Azúcar de Guatemala. (Versión preliminar). Guatemala.
8. Brooks, N. 2003. Vulnerability, Risk and Adaptation: A conceptual framework. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research. Working Paper 38.
9. Cabrera, J. A.; Zuaznábar R. 2010. Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. *Cultivos tropicales* 31(1); 5-13. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), La Habana, Cuba.

10. Castellanos, E.; Guerra, A. 2009. El cambio climático y sus efectos sobre el desarrollo humano en Guatemala. Cuadernos de desarrollo humano 2007/2008. Elaborado para el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Guatemala. 51 p.
11. Castro Loarca, O. R.; Ramírez, C.; Martínez, A.; Sánchez, M.; Celada, C. 2009. Validación de Programas de Riego pre-corte en diferentes condiciones de suelo en la zona cañera de Guatemala. En: Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2008-2009. Guatemala, CENGICAÑA. pp. 188-197.
12. Castro Loarca, O. R.; Sandoval, J. 2009. La medición de la eficiencia energética en el riego presurizado: una descripción de metodologías y recomendaciones para su implementación en el campo. En: Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2008-2009. Guatemala, CENGICAÑA. pp. 198-206.
13. Castro Loarca, O. R.; Veliz, E.; Esquit V. 2010. Programación del riego según la relación: agua-suelo-caña de azúcar-clima. Una herramienta técnica para planificar el riego y responder a las interrogantes: ¿Cuánto y cuándo regar? En: Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2009-2010. Guatemala, CENGICAÑA. pp. 249-255.
14. CATHALAC/PNUD/GEF. 2008. Fomento de las capacidades para la etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba. Síntesis regional. Ciudad de Panamá. 36 p.
15. CENGICAÑA. 2010. Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2009-2010. Guatemala, CENGICAÑA. 442 p.
16. Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL. 2009. Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña. Naciones Unidas, Santiago de Chile. 148 p.
17. Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL. 2010. La economía del cambio climático. Síntesis 2010. Naciones Unidas, Santiago de Chile. 113 p.
18. Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL/Secretaría de Planificación y Programación –SEGEPLAN. 2005. Efectos en Guatemala de las lluvias torrenciales y la tormenta tropical Stan, Octubre de 2005. 212 p.

19. Downing, T. E.; Ringius, L.; Hulme, M. and Waughray, D. 1997. Adapting to climate change in Africa: prospects and guidelines. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 2: 19–44.
20. Falla, C.; Melgar M. 2010. Situación actual de las investigaciones en caña energética a nivel mundial. En Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2009-2010. Guatemala, CENGICAÑA. pp. 133-142.
21. Gawander, J. 2007. Las consecuencias del cambio climático sobre los cultivos de caña de azúcar en Fiji. *Boletín de la OMM* 65 (1): 34-39.
22. Gbetibouo, G. A.; Hassan R. M. 2005. Measuring the economic impact of climate change on major South African field crops: a Ricardian approach. *Global and Planetary Change* 47: 143–152.
23. Gilbert, R. A.; Rainbolt, C. R.; Morris, D. R.; Bennett A.C. 2007. Morphological responses of sugarcane to long-term flooding. *Agronomy Journal* 99: 1622-1628.
24. Gouvêa, J. R. F.; Sentelhas, P. C.; Gazzola, S. T.; Cabral Santos M. 2009. Climate changes and technological advances: impacts on sugarcane productivity in tropical Southern Brazil. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, 66 (5): 593-605.
25. Guerra-Noriega, A. 2010. Climate-related Disaster Risk in Mountain Areas: the Guatemalan highlands at the start of the 21<sup>st</sup> Century. Tesis doctoral, Universidad de Oxford, Inglaterra. 287 p.
26. Ingenio Madre Tierra. Comunicación personal y Presentaciones realizadas para reunión de Análisis de Merma de Producción 2010-2011. 29 de abril de 2011. Auditorio CENGICAÑA. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala.
27. IPCC. 2007. “Summary for Policymakers”. En “Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”. (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller, eds.). Cambridge University Press, Cambridge y Nueva York.
28. IPCC. 2001a. Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I,II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Watson, R.T. Watson and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

29. IPCC. 2001b. Overview of Impacts, Adaptation and Vulnerability to Climate Change. En *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, editado por S. Schneider and J. Sarukhan: Intergovernmental Panel on Climate Change.
30. IPCC. 2000. América Latina. En *Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad*, editado por O. Canziani y S. Díaz: Inter Governmental Panel on Climate Change.
31. Jiménez, A.; Girot, P. 2002. Marco de adaptación al cambio climático para los recursos hídricos en Centro América. San José: Sistema de Integración Centro Americana, Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza y Global Water Partnership.
32. Knox, J. W.; Rodríguez, Díaz, J. A.; Nixon, D. J.; Mkhwanazi, M. 2010. A preliminary assessment of climate change impacts on sugarcane in Swaziland. *Agricultural Systems* 103: 63–72.
33. Korndörfer, G. H.; Nolla, A.; Gama, A. J. M. 2010. Manejo, aplicación y valor fertilizante de la vinaza para caña de azúcar y otros cultivos. 23-28 p. En [www.tecnicana.org](http://www.tecnicana.org)
34. Kuhnel, I. 1993. Impacts of extreme climatic conditions on sugar cane production in Northeastern Australia. *En Extreme Hydrological Events: Precipitation, Floods and Droughts (Proceedings of the Yokohama Symposium, July 1993)* 213: 157-163.
35. Ligorria, J. P. 2009. Evaluación sobre el cambio climático y vulnerabilidad socioambiental de Guatemala. Insumo para el Informe del Estado Ambiental de Guatemala. 60 p.
36. Manejo Ambiental de ASAZGUA. 2011. Comunicación personal. Guatemala, C.A.
37. Marengo, J. A.; Menéndez, A.; Guetter, A.; Hogue, T.; Mechoso, C.R. 2004. Caracterización y evaluación de métodos de predicción de eventos extremos de clima y de la hidrología en la Cuenca del Plata. En: *Predicción Hidroclimática, Componente 2a: Definición del Sistema de Predicción Hidroclimática Subcomponente 2a4 Tema 3 Eventos Hidrometeorológicos Extremos*. FMAM/PNUMA/OEA/FONPLATA/OMM.
38. Meneses, A.; Melgar, M.; Posadas, W. 2008. Boletín Estadístico. Recopilación de la información de los simposios de análisis de la zafra 1990/91-2006/2007. Área de Campo. Año 9, No.2. Guatemala, CENGICANA.



39. Meneses, B. 2011. Comunicación personal. Guatemala, C.A.
40. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales-MARN/ Universidad Rafael Landívar –URL/ Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente –IARNA/ Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA. 2009. Informe Ambiental del Estado de Guatemala GEO Guatemala 2009. Guatemala. 277 p.
41. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales-MARN/Fondo para el Medio Ambiente Mundial -GEF/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD. 2001. Inventario de Gases de Efecto Invernadero Año Base 1990. Guatemala. 10 p.
42. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales-MARN/Programa Nacional de Cambio Climático. 2007. Resumen Inventario de Gases de Efecto Invernadero año 2000 Versión Preliminar. Guatemala. 17 p.
43. Olivério, J. L.; Carmo, V. B.; Gurgel, M. A. 2010. The DSM –Dedini Sustainable Mill: A new concept in designing complete sugarcane mills. *In Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists – ISSCT*. Vol 27: 1-34.
44. Parr, J.; Sullivan, L.; Quirk, R. 2009. Sugarcane phytoliths: Encapsulation and sequestration of a long-lived carbon fraction. *Sugar Tech* 11(1); 17-21.
45. Parr, J. F.; Sullivan, L. A. 2005. Soil carbon sequestration in phytoliths. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 117-124.
46. Pérez, O. 2002. Nutrición y fertilización de caña de azúcar en Guatemala. *Boletín Técnico Informativo*, año 10, No.1: 3-8. Guatemala.
47. Pérez, O. 2011. Comunicación personal. CENGICAÑA, Guatemala.
48. Pérez, O.; López, A.; Hernández, F.; Ralda, G. 2009. Evaluación de las aplicaciones continuadas de vinaza en el cultivo de caña de azúcar y su efecto en un suelo Andisol de Guatemala. En: Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2008-2009. Guatemala, CENGICAÑA. pp. 173-181.
49. Pielke, R. Jr.; Prins, G.; Rayner, S. and Sarewitz, D. 2007. Lifting the taboo on adaptation. *Nature* 445 (2007) 597-598.

50. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2009. Documento de Discusión Nacional acerca de los Asuntos Claves en el Análisis del Sector Agricultura (Mitigación). Bogotá, Colombia. [http://www.pnud.org.co/img\\_upload/61626461626434343535373737353535/CAMBIOCLIMATICO/3.%20Memorias%20Di%C3%A1logo%20Nacional%20Interministerial%20sobre%20cambio%20clim%C3%A1tico%20en%20el%20sector%20agropecuario/2DocdiscusionAgriculturayMitigacionColombia.pdf](http://www.pnud.org.co/img_upload/61626461626434343535373737353535/CAMBIOCLIMATICO/3.%20Memorias%20Di%C3%A1logo%20Nacional%20Interministerial%20sobre%20cambio%20clim%C3%A1tico%20en%20el%20sector%20agropecuario/2DocdiscusionAgriculturayMitigacionColombia.pdf)
51. Sáenz-Romero, C.; Rehfeldt, G. E.; Crookston, N. L.; Duval, P.; St-Amant R.; Beaulieu, J.; Richardson, B.A. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climatic Change* 102: 595–623.
52. Santos, C.; García, S. 2008. Climate Change Vulnerability and Adaptation Assessment for Sugarcane and Citrus. Belize Second National Communication Project, Final Report. City of Belmopan. 54 p.
53. Smit, B.; Burton, I.; Klein, R. J. T.; Wandel, J. 2000. An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Climatic Change* 45: 223–251.
54. Snyder, C.; Bruulsema, T.; Jensen, T. 2008. Mejores prácticas de manejo para minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el uso de los fertilizantes. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 40: 7-10. Argentina.
55. SRDC. 2007. Climate Change and the Australian Sugarcane Industry: Impacts, adaptation and R&D opportunities. Sugar Research and Development Corporation, Australian Government. Brisbane. 45p.
56. Suárez, A.; Meneses, A.; Melgar, M. 2007. Evolución de la producción y productividad de la Agroindustria Azucarera y mapas generales de la zona cañera de la Costa Sur de la República de Guatemala. Guatemala. 20 p.
57. Subirós, F. 2000. El cultivo de la caña de azúcar. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.
58. Thomas, G.; Davies, W.A. 2010. Carbon captura with sugarcane technology. *In Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists – ASSCT*. Vol. 32: 588-599.
59. Vila, A. 2003. El impacto social de la Agroindustria Azucarera en Guatemala. Tesis Lic. Administración de Empresas. Universidad Francisco Marroquín, Guatemala. 46 p.