

Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático – América Central

Una revisión de Modelos Climáticos y la Proyección de Escenarios de Cambio Climático en América Central

Informe de Consultoría por *Patricia Ramírez, Septiembre 2007*

Abstract

Since the nineties, climate change signals in Central American region, have been reported by several authors. Reports of these works show trends of change in magnitude and statistical distribution (mean and standard deviation) in variables like temperature and precipitation in different points of the Region. Trends of change in maximum and minimum temperature and in the frequency of events like extreme rains have also been detected. Projecting into the future, a review of works about climate change estimations in Central America is presented here as a baseline for the development of TroFFCA further work. The review presents the tendencies and magnitude of the changes estimated by most recent scenario development with statistical “down-scaling” of HAD2TR model output and PRECIS model. Results with both approaches show general warming tendency for the whole Central America; under a pessimistic emission scenario (A2), for 2100 the change in mean temperature is estimated around 5 °C for HAD2TR and between 4 and 5°C for PRECIS. In the case of annual rainfall, a relevant finding of the work done with HAD2TR is highlighted; the difference in the sign of estimated changes, since in the northern part of the Region (including most of the TroFFCA working area) scenarios show a decrease in rainfall, towards the south, estimations show an increase. The same results show a tendency of the decrease to happen during summer and the increase during the winter season.

Resumen

Desde la década de los noventa, varios autores han informado sobre señales de cambio climático en la región centroamericana. Estos informes muestran tendencias de cambio en la magnitud, y la distribución estadística (promedio y desviación típica) en variables como la temperatura y la precipitación en diferentes puntos de la región. Tendencias de cambio en el rango diario de la temperatura y en la ocurrencia de eventos de lluvia extrema han sido también detectados en algunas investigaciones. Proyectando hacia el futuro, se presenta una revisión de trabajos relacionados con cambio climático elaborados en América Central, que puedan servir de base para el trabajo posterior del proyecto TroFFCA.

La revisión incluye la descripción de las tendencias y magnitud de cambio estimados en los trabajos mas recientes para la elaboración de escenarios de cambio climático, tanto mediante la reducción de escala con métodos estadísticos aplicados a las salidas del modelo muestran, para el 2100 y bajo un escenario de emisiones A2, un calentamiento del orden de 5 °C en el caso del HAD2TR y entre 4 and 5°C en el caso de PRECIS. En lo referente a la precipitación se resalta el resultado del trabajo realizado con HAD2TR referente a la diferencia en el signo de los cambios en la magnitud de la precipitación anual. Este resultado cual indica que mientras en el norte de la región (incluyendo la mayor parte de área de trabajo del proyecto TroFFCA) las estimaciones muestran una disminución en la cantidad, hacia el sur muestran un incremento. Los resultados del mismo trabajo señalan una tendencia a que la disminución sea en los meses de verano (julio-setiembre) y el incremento en durante los meses invernales (diciembre-febrero).

Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático – América Central

Introducción

En su Tercer Informe de Evaluación (TAR) del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) definió adaptación como “El ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a los estímulos climáticos actuales o esperados, los cuales moderan el daño o estimulan las oportunidades”, pero, surge la pregunta: adaptarse, ¿a qué?

El propósito de la adaptación es reducir la vulnerabilidad de un sistema o sistemas a las manifestaciones del cambio climático; así la adaptación debe tener en cuenta las estimaciones de los cambios en las variables climáticas, su variabilidad y los cambios en la ocurrencia de condiciones extremas.

El diseño de estrategias y la selección de opciones de adaptación por tanto, requiere de bases científicas, o modelos, que provean información sobre cómo pueden cambiar las variables climáticas a las que el sistema es sensible, de manera que los interesados en escoger medidas de adaptación no se vean forzados a hacer muchas abstracciones o supuestos, o en concreto no ser capaces de conocer lo que puede pasar y como adaptarse en caso de que el cambio suceda.

Los escenarios de cambio climático deben ser seleccionados para brindar información que sea fácil de obtener o derivar, suficientemente detallada para ser utilizada en los estudios de impacto, representativa del rango de incertidumbres de las proyecciones y físicamente consistente en el sentido espacial (Parry y Carter, 1998). Sin embargo, en la práctica es difícil poder reunir todas esas características en un escenario, pues la representación de ellas depende, en buena medida, del método que se emplee en la creación del escenario.

El clima comprende la variabilidad estacional, interanual, fluctuaciones decadales, y cambios del orden de siglos. Así, los ecosistemas responden o se adaptan a condiciones que son la combinación de estas fluctuaciones y es por esta razón que

los escenarios de cambio climático deben, en la medida de lo posible, complementarse con análisis de las señales de cambio y tendencia en los registros históricos, y la variabilidad climática actual.

Estudios previos de cambio climático en la Región Centroamericana

Los estudios sobre cambio climático en los países de Centroamérica incluyen la detección de señales de cambio observadas en las series de datos de lluvia o temperatura de las últimas décadas. De éstos se pueden señalar los de Gómez y Fernández (1996), sobre los cambios en la temperatura en algunos lugares de Costa Rica. Alfaro (2000), y Amador et al. (2004), sobre los cambios en los promedios y las desviaciones de las temperaturas extremas en algunos lugares de Costa Rica y Honduras, y Centella A. *et al* (1998), quienes reportaron sobre cambios en la temperatura media en El Salvador y Aguilar E. *et al.* (2005) sobre tendencias de cambio en la ocurrencia de eventos extremos en la región Centroamericana y el *Caribe*.

Generación de escenarios climáticos en América Central

Los primeros escenarios de cambio en la precipitación y la temperatura media anual para 2010, 2030, 2070 y 2100 fueron generados en 1994 por el proyecto US Country Studies Program (USA/EPA-CRRH, 1996). Estos escenarios se basaron en estimaciones con el modelo climático del Hadley Center HADCMGHG, cuya resolución 5° x 5° (550 Km x 550 Km.) resulta muy gruesa comparada con el territorio de los países Centroamericanos.

En la figura No 1, tomada de Campos, M (1998) puede verse que todo el territorio centroamericano está representado por sólo 4 puntos, homogenizando así las estimaciones en el mismo número de cuadrantes; por esta razón sus estimaciones no capturan diferencias sub-regionales en el clima.

Las estimaciones que se obtuvieron con esta primera aproximación son anuales y por tanto no orientan en cuanto al posible

Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático – América Central

cambio de las variaciones estacionales del clima en la región.

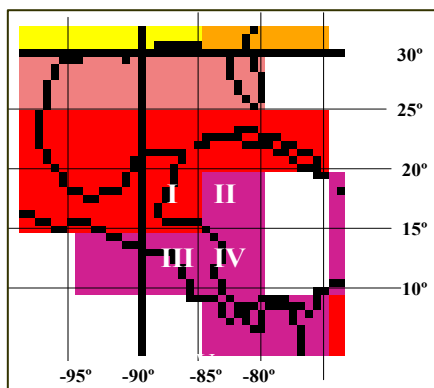


Figura 1. Cuadrantes de información de salida de los primeros escenarios climáticos desarrollados para Costa Rica, Nicaragua y Honduras. (Tomado de Campos, M. 1998)

Por ser esta la mejor estimación posible para el momento, a pesar de las limitaciones mencionadas, los mismos escenarios fueron incluidos en las Primeras Comunicaciones Nacionales de Costa Rica, Honduras y Nicaragua. (MINAE-IMN, 2001; MARENA, 2001; SERNA, 2001)

Tratando de mejorar la resolución de los escenarios, Alvarado L.F. (2005), actualizó los escenarios de precipitación y temperatura para América Central usando versiones más recientes de algunos de los modelos climáticos más usados a nivel global. El trabajo incluyó la comparación de 19 modelos cuyas estimaciones de la precipitación y la temperatura media anual actual se comparó con los valores medios del periodo 1958-1999 que se usó como climatología de referencia. De entre los modelos probados, **CSI2TR**, **ECH3TR**, **ECH4TR**, **HAD2TR**, **HAD3TR** (Alvarado, L.F, 2005) mostraron mejor ajuste, definido éste como aquel que muestra mayor correlación, mejor ajuste a los valores de referencia y menor error cuadrático medio con respecto a los valores de referencia. De los cinco, el **HAD2TR del Centro Hadley**¹, mostró el mejor

ajuste, por ello se le consideró como mas adecuado para la actualización de las simulaciones de clima futuro en la Región

Estas simulaciones se corrieron sobre las estimaciones de escenario global de calentamiento obtenidas con el “modelo para la evaluación del cambio climático inducido por los gases de efecto invernadero”, MAGICC por sus siglas en inglés, para dos escenarios marcadores el **A2-ASF** y el **B2-MESSAGE** (IPCC, 2000), (Para horizontes de tiempo al 2065 o posteriores, A2 - ASF, supone concentraciones más altas de gases de efecto invernadero por tanto es más pesimista que B2-MESSAGE).

Con esta aproximación se estimaron el cambio en temperatura media anual (TMP) y precipitación media anual (PCP) para los años 2010, 2020, 2030, 2040, 2050, 2075 y 2100 sobre el área comprendida entre las latitudes 7° N y 21° N y las longitudes 76° O y 21° O. sobre una cuadrícula con resolución 0.5 ° de latitud por 0.5 ° de longitud (50 Km. x 50 Km.)

Adicionalmente y siguiendo la aproximación sugerida por Hulme *et al.* (2000), se definió un patrón compuesto (o ensamble) de los resultados de los 5 modelos con mejor desempeño y se tomó dicho resultado de una variedad de los MCG.

Un ejemplo de las estimaciones para los años 2050 y 2100 se presentan en la figura No 2 para la temperatura y No 3 para la precipitación. En ambas figuras se incluye como primer mapa la climatología actual, que permite comparar los cambios con el tiempo en los campos de las dos variables

del Reino Unido que provee al gobierno de ese país información detallada y asesoramiento en el tema.

¹ Hadley es el Centro de Investigación para el cambio climático de la Oficina Meteorológica

**Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático –
América Central**

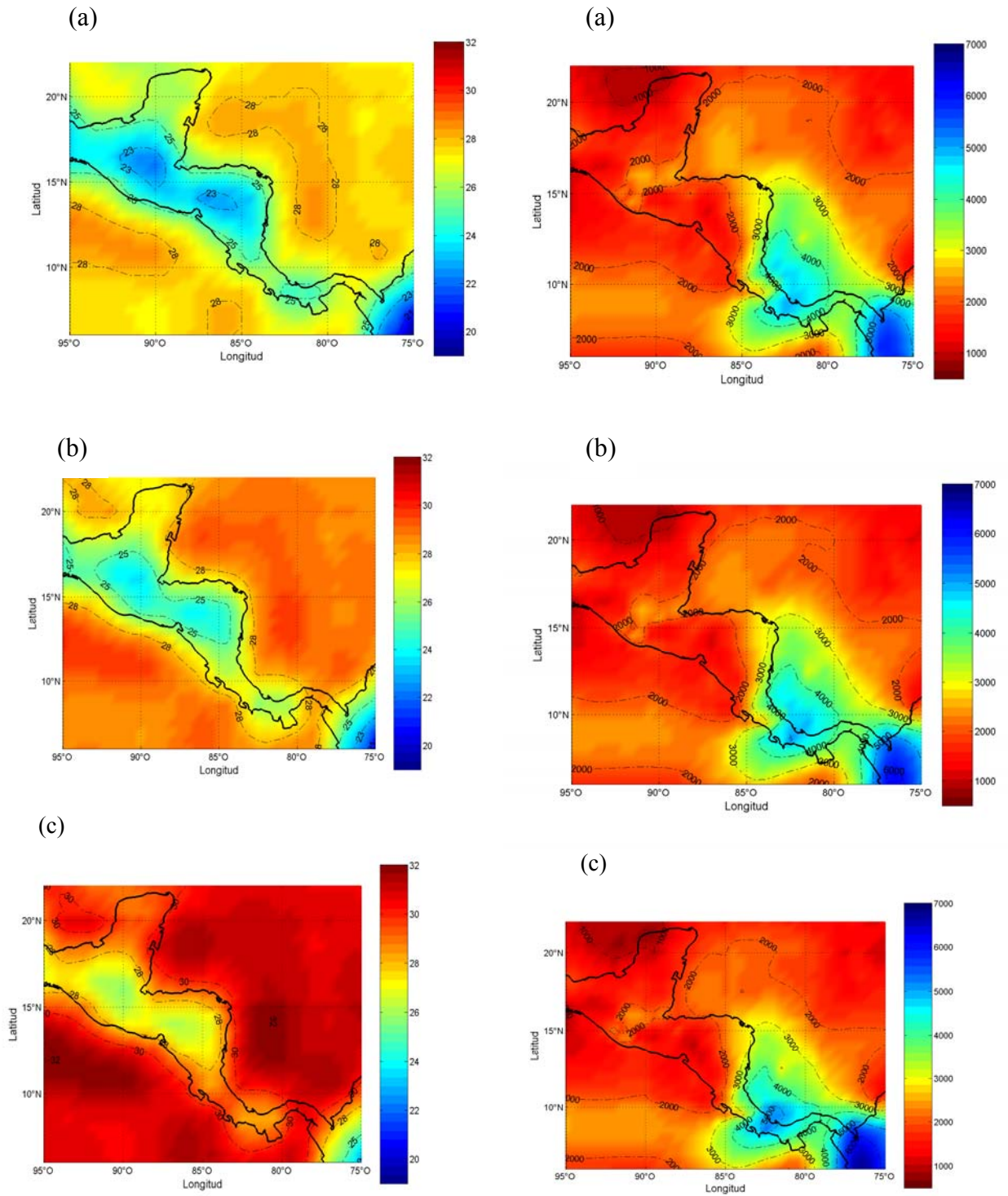


Figura 2. Mapas de temperatura media anual (°C:) clima actual(a), y estimada para el 2050 (b) y 2100(c) con el ensamble de 5 modelos Had2tr95 (Tomado de Alvarado, LF, 2005)

Figura 3. Mapas de precipitación media anual (mm): clima actual (a), y estimada para el 2050 (b) y 2100 (c) con el ensamble de 5 modelos (Tomado de Alvarado, et al, 2005)

Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático – América Central

Como puede verse en la figura No 2, las estimaciones de la temperatura muestran un ascenso generalizado de la misma sobre la Región, el cual sobre Honduras, Nicaragua y Costa Rica (área de interés de Trofcca) se estima en un cambio de 23 °C valor actual, a 25°C en el 2050 y mas de 28° C en 2100.

La precipitación, en cambio, muestra tendencias de signo diferente: mientras que en el norte (en el área de estudio de Trofcca) la tendencia es a disminuir hasta un -12% para el 2100, hacia el sur la tendencia es más bien a aumentar, aunque el incremento estimado es porcentualmente menor. Como se esquematiza en la figura No 4; esta diferencia se define alrededor de la latitud 10° N (Alvarado, L.,2005) .

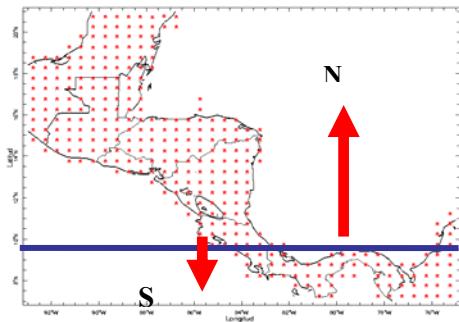


Figura 4. División de América Central en regiones norte y sur que presentan diferencias en las estimaciones de cambio climático bajo el escenario A2-ASF (Tomado de Alvarado *et al.*, 2005)

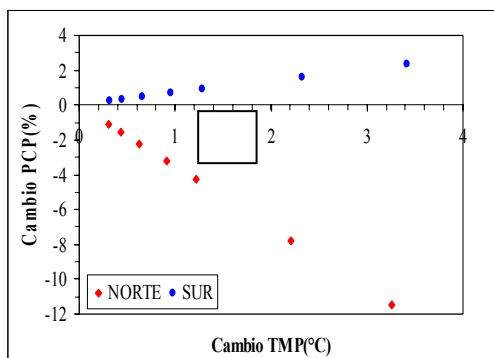


Figura 5. Gráfico que muestra la tendencia del cambio en la precipitación promedio anual (PCP) y la temperatura promedio anual para los años 2010, 2020, 2030, 2040, 2050, 2070 y 2100 (de izquierda a

derecha), considerando el escenario de emisión A2-ASF (tomado de Alvarado *et al.*, 2005).

Otro escenario del clima futuro disponible para la región Centroamericana es la simulación del clima a partir del año 2080 para los escenarios de emisiones A2 y B2, que fue generado conjuntamente por el Instituto del Clima de Cuba (INSMET), la Universidad de las Indias Occidentales (UWI) y el Centro del Caribe para el Cambio Climático (CCCC) como parte de los proyectos “PRECIS Climate Change Program” (Taylor *et al.*, 2007) y GEF-PNUD RLA-/01/G31.

Adicionalmente a la disminución de escala que ofrecen los escenarios desarrollados por este grupo, los resultados con esta metodología tienen la ventaja de que permiten hacer estimaciones mensuales o diarias de las variaciones esperadas en las variables meteorológicas.

Cuadro 1. Resultados generales para Centroamérica

Temperatura media anual (°C)	A2	B2
Norte	4-5	3-4
Sur	3-4	2-3
Precipitación media anual (% respecto a promedio actual)		
Norte	- 25	< -25
Sur	25	0 a 25

Los resultados detallados y los conjuntos de datos de salida pueden obtenerse en: <http://precis.insmet.cu/Precis.Caribe.htm>

Si bien el plazo para la simulación en este caso es diferente al del trabajo anteriormente mencionado, es relevante destacar que ambos coinciden en la tendencia de calentamiento en toda la región, tanto para un escenario de emisiones pesimista como uno moderado. En el caso de la precipitación, el cambio estimado también es de signo opuesto, con reducciones hasta de un 25 % en la parte norte e incremento en la parte sur.

Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático – América Central

Estimación de la variabilidad estacional en los escenarios de cambio climático.

Para estimar la vulnerabilidad de un sistema e identificar las medidas que pueden reducirla, no solo es necesario conocer las tendencias o la magnitud del cambio esperado a final de unas cuantas décadas, sino también la estacionalidad y los posibles cambios en ésta. Una aproximación para proveer información acerca de la variación estacional es la reducción de escala de los resultados de los modelos climáticos globales (MCG) y forzarlos con la climatología. Esta aproximación se hace bajo los supuestos de que la estructura del clima futuro está totalmente influenciada por las condiciones iniciales o sea el clima actual, y que las estimaciones del modelo son homogéneas en cada punto de la cuadrícula del modelo.

Utilizando esta aproximación, Alvarado *et al.* (citado en AIACC-LA06) combinaron los resultados de generadores de escenarios climáticos (SCENGEN, www.cru.uea.ac.uk/~mikeh/software) con las condiciones climáticas medias actuales, usando como referencia los promedios del período 1961-1990 para puntos de una cuadrícula de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$

Con esta aproximación se obtuvieron descripciones de posibles variaciones estacionales de la lluvia y la temperatura para diferentes plazos en puntos representativos de los regímenes climáticos de América Central.

Esta interpretación de los escenarios resulta de mayor utilidad para hacer análisis de sensibilidad en ecosistemas, particularmente en aquellos que responden a las variaciones entre estaciones del año.

Diferencias entre escenarios.

Los métodos que se usan para generar escenarios climáticos presentan diferencias relacionadas con los supuestos que se hacen para generarlos. Alvarado y colaboradores (AIACC, 2005) compararon las salidas de los escenarios desarrollados en los años noventa (EE98), con las estimaciones más recientes con el escenario creado, usando el

ensamble de 5 modelos climáticos globales (EE05) y el generado usando HAD2TR95. La comparación mostró que la tasa de aumento de la temperatura entre 2010 y 2050, calculada por los primeros estudios de cambio climático en América Central (EE98), es mayor que las estimaciones generadas con las versiones más recientes de los modelos (EE05 y HADTR95).

La diferencia entre escenarios es mayor en el caso de la precipitación. Los primeros estudios mostraban disminuciones en la precipitación entre un 7% al 2010 y 30% 2100; las nuevas estimaciones, en cambio, varían entre 1% al 2010 y 12% al 2100 (Alvarado, LF, 2005). Así en el caso de la precipitación el escenario de cambio climático obtenido con las versiones recientes de los modelos es menos pesimista que los obtenidos con los primeros escenarios desarrollados en los años noventa.

Conclusiones

Diversos trabajos desarrollados en América Central han avanzado en la creación de escenarios de cambio climático para la región. Sin embargo, no se dispone aún de trabajos publicados con resultados de modelos a escala regional que den mayor detalle espacial o temporal de las estimaciones. Al momento de redactar este documento, la mejor aproximación para mejorar el detalle de las estimaciones son las aproximaciones estadísticas basadas en la climatología actual o de referencia como los citados antes.

Las estimaciones de cambio climático en América Central, como también se mencionó, están condicionados por la metodología escogida, de manera que, ante la incertidumbre sobre resultados diferentes, para los análisis de sensibilidad es más aconsejable tomar una gama de estimaciones de aquellos que al menos sean capaces de simular adecuadamente la variabilidad actual, e incluyendo como mínimo un escenario pesimista, uno moderado y otro optimista. Esto contribuirá a que las estimaciones sobre vulnerabilidad de los sistemas puedan basarse en una gama

Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático – América Central

de resultados posibles que, analizados en conjunto con las estimaciones de los escenarios económicos y de desarrollo, permitan desarrollar abanicos de opciones de adaptación y mitigación, y decidir sobre aquellas con mejor relación costo/beneficio.

La naturaleza de las interacciones entre los ecosistemas y el clima exige además el conocimiento de las relaciones causa-efecto con respecto a los valores críticos para la salud o supervivencia del sistema; se hace necesario por tanto el establecimiento de valores o rangos de umbrales, a partir de los cuales un sistema puede entrar en condiciones críticas o procesos irreversibles; son estos valores críticos los que conjugados con los resultados de los modelos, permitirán crear escenarios de riesgo para los mismos. Esto puede lograrse con los datos climáticos y el análisis de variabilidad actual y de tendencia en las últimas décadas.

Bibliografía

Alfaro, E. 2000. Response of Air Surface Temperatures over Central America to Oceanic Climate and Variability Indices. *Top. Meteorol. Oceanogr.* 7(1): 63-72

Aguilar E., Peterson T.C, Ramírez, P, et al. 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and Northern South America, 1961-2003. *J. Geophys Res.* Vol. 110, D23107, doi 10:1029/2005JD6119

Alvarado, L.F 2005. Proyección de los patrones de cambio climático en América. Informe preliminar para el proyecto AIACC-LA06)

Alvarado, L.F., Campos, M., Zárata, E., Ramírez, P., Bonilla, A. 2005. Escenarios de Cambio Climático para Centroamérica. . CRRH-UCR-CIGEFI-AIACC-LA06). San José, Costa Rica.

Amador J.A., Mora, I., Rivera, E. 2004. Signals of climate change in Central America. Report presented at the 1st Latin American and the Caribbean Regional Workshop “Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change in Multiple

Regions and Sectors” (AIACC). San José, Costa Rica, May 2003.

USA-EPA/CRRH 1996. Informe del “Country Studies Program for Central America”.

Campos M, 1998. *El Cambio Climático en Centroamérica. Documento Técnico. CRRH/SICA*

Centella, A., L. Castillo y A. Aguilar. 1998. Escenarios climáticos de referencia para la República de El Salvador. Reporte Técnico, Proyecto PNUD/GEF/ELS/97/32. San Salvador, El Salvador. 21 p.

IMN-MINAE. 2001. Escenarios de cambio climático para Costa Rica. Primera Comunicación Nacional para UNFCCC. Instituto Meteorológico Nacional, Ministerio del Ambiente y Energía. San José, Costa Rica.

Intergovernmental Panel on Climate Change –IPCC-. 2001. Third Assessment Report. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Available at: <http://www.ipcc.ch>

CRRH/CIGEFI-UCR. 2006. “Impacts and adaptation to climate change and extreme events in Central America”. Informe del proyecto AIACC-LA06.

Gómez, I.E. y W. Fernández.1996. Variación interanual de la temperatura en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 3(1), 27-44.

Hulme, M., T.M.L. Wigley, E.M. Barro, S.C.B. Raper, A. Centella, S.J. Smith y A.C. Chipanshi. 2000. Using a climate scenario generator for vulnerability and adaptation assessments: MAGICC and SCENGEN version 2.4 Workbook. Climate Research Unit. Norwich, UK. 52 p.

MARENA, Nicaragua. 2001. Escenarios de Cambio Climático de Nicaragua para el siglo XXI. Primera Comunicación de Nicaragua en respuesta a sus obligaciones ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, PNUD-

**Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático –
América Central**

NIC/98/G31-

Parry, M.L., T.R. Carter and M. Hulme.
1996. What is a dangerous climate change?
Global Environmental Change 6(1): 1-6

*Secretaría de Recursos Naturales y
Ambiente (SERNA).* 2001. Primera
Comunicación Nacional de Honduras a la
Convención Marco de las Naciones Unidas
sobre el Cambio Climático. Tegucigalpa,
Honduras.

Taylor M, Centella A et al. 2007. Glimpses
of the future. A briefing from the PRECIS
Caribbean Climate Change Project.
Instituto de Meteorología de Cuba
(INSMET)/University of West Indies
(UWI)/ Caribbean Climate Change Project
(CCCCC). [http://
precis.metoffice.com//docs/CCCCC_PREC
IS_REPORT.pdf](http://precis.metoffice.com/docs/CCCCC_PRECIS_REPORT.pdf)