

VI-194 – VARIACIONES ANUALES DE LA TEMPERATURA Y SUS ESCENARIOS PARA LA CUENCA DEL RIO GRIJALVA - MÉXICO

Nara Luisa Reis de Andrade⁽¹⁾

Ingeniera Sanitarista por la Universidad Federal de Mato Grosso – UFMT, Maestra y doctoranda en Física Ambiental por la UFMT. Maestra de la Universidad Federal de Rondônia – UNIR.

Fernando Jorge González Vilarreal

Maestros de la Universidad Federal Autónoma de México – UNAM, Ciudad de México, México

Guadalupe Esther Fuentes Mariles

Maestros de la Universidad Federal Autónoma de México – UNAM, Ciudad de México, México

Guillermo Enrique Ortega Gil

Maestros de la Universidad Federal Autónoma de México – UNAM, Ciudad de México, México

João Gilberto de Souza Ribeiro

Geógrafo por la Universidad Federal de Minas Gerais – UFMG, Maestro y doctorando en Saneamiento, Medio Ambiente y Recursos Hídricos por la UFMG. Maestro de la Universidad Federal de Rondônia – UNIR.

Dirección de contacto⁽¹⁾: Rua Pedro Teixeira, N 1138, Centro. Ji-Paraná, RO, CEP: 78960-000 - Brasil - Tel.: (69) 34227139- e-mail: naraluisar@gmail.com

ABSTRACT

In front of the uncertainties on global warming and its effects, this study aimed to make an analysis of patterns of annual temperature variation in the Grijalva River Basin, the second largest river of Mexico and make a simulation of changes for future scenarios, according to the scenarios considered in the Special Report on Emissions Scenarios (SRES) - A1, A1B, and B1 committed to the Grijalva River basin and its sub basins - Angostura, Chicoasen, Malpaso and Peñitas. For the analysis of historical data concerning temperature were selected 31 stations of CLICOM database (2008), for the common period 1981-2007. With these data were calculated the average, minimum and maximum temperature of Grijalva Basin. Then, to obtain the temperature at high spatial resolution, were used climate changes projected by the GCM with low spatial resolution, and added to the climate considered as a basis, used the Statistical Downscaling Method (SDSM). The same CLICOM data were used as the basis for the projections. The temperature increases under various scenarios ranged from 0.25 to 3.0 ° C, with lower values of the increase in the period 2010-2039, and higher for the period 2070-2099. Among the scenarios, the lowest increase was obtained in the stage COMMITTED for all periods of analysis. The largest increase in temperature was observed in the A2 and A1B scenarios, until the period 2010-2069, and the A2 scenario for the period 2070-2099. The relatively large uncertainty in these scenarios, however, the signal continues to point to a positive anomaly in the temperature of the Grijalva river.

KEYWORDS : Climate change, scenarios, general circulation models of the atmosphere.

RESUMEN

Delante de las incertidumbres sobre el calentamiento global y sus efectos, el presente trabajo objetivó hacer una análisis de los patrones de variación anual de la temperatura en la cuenca del río Grijalva, el segundo río más caudaloso del México, y hacer una simulación de sus cambios para escenarios futuros, de acuerdo con los escenarios considerados en el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (SRES), siendo estos: A1, A1B, comprometido y B1, para la cuenca del río Grijalva y sus sub cuencas – Angostura, Chicoasen, Malpaso y Peñitas. Para los análisis referentes a datos históricos de temperatura fueron seleccionadas 31 estaciones de la base de datos del CLICOM (2008), para el período común de 1981 a 2007. Con estos datos, fueron calculados los promedios, máximos y mínimos para la cuenca Grijalva. Después, para la obtención de la temperatura en alta resolución espacial, fueron utilizados los cambios en clima proyectados por los GCM de baja resolución espacial, y sumados al clima considerado como base, utilizado el Statistical Downscaling Method (SDSM). Los mismos datos del CLICOM fueron utilizados como base para las proyecciones. Los incrementos de temperatura bajo los diferentes escenarios variaron de 0.25 a 3.0 °C, con valores menores del incremento en el período de 2010-2039, y mayores para el período de 2070-2099. Entre los escenarios, el incremento menor se obtuvo en el escenario COMPROMETIDO para todos los periodos de análisis. El incremento mayor de la temperatura se observó en los escenarios A2 y A1B, hasta el período 2010-2069, y en el escenario A2, para el período 2070 a

2099. La incertidumbre es relativamente grande en estos escenarios; sin embargo, la señal sigue apuntando a una anomalía positiva en la temperatura de la cuenca Grijalva.

PALABRAS CLAVE: Cambios climáticos, escenarios, modelos de circulación general de la atmosfera.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una gran discusión ante la pregunta planteada con respecto a los efectos del cambio climático en clima mundial. Las variaciones de temperatura y precipitación producen cambios en las variables del balance hidrológico que se reflejan en la disponibilidad de agua. Así por ejemplo, en la zona noroeste de México, el balance hídrico sugiere que el aumento en temperatura hará que la evapotranspiración se incremente y que la humedad en el suelo disminuya. En el país, los cambios en humedad del suelo afectarán directamente la disponibilidad de agua, pues de disminuir la primera serán necesarias mayores extracciones para mantener los cultivos bajo riego.

De acuerdo con las conclusiones del Cuarto informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (AR4 del IPCC, 2007), se tiene una alta probabilidad de que haya sequías más prolongadas, tormentas intensas y la intensificación de los ciclones tropicales debido al cambio climático, con lo cual se pueden esperar en México daños económicos aún más elevados en el futuro. Así, es necesario trabajar en materia de adaptación al cambio climático dada la alta vulnerabilidad de diversos sectores socioeconómicos a extremos en el clima. Los bosques, la agricultura, pero principalmente el sector agua, se verán afectados por los aumentos en temperatura que podrán variar entre 2 y 4°C hacia finales de siglo, con mayores aumentos en el norte de México (INE, 2007).

La respuesta de los humanos al cambio climático puede ser reactiva o preventiva. La mejor forma de prevenir los desastres asociados al cambio climático será mediante una estrategia de adaptación preventiva, flexible y participativa.

Considerando que los patrones regionales varían sensiblemente en sus aspectos espaciales (Díaz, 2008), para enfrentar los efectos del cambio climático en la disponibilidad del agua en la cuenca del río Grijalva se debe iniciar una evaluación de estos efectos en sus presas, además se debe evaluar la vulnerabilidad y buscar medidas de adaptación ante la variabilidad y el cambio climático.

En el presente trabajo, se hizo un análisis de los patrones de variación anual de la temperatura en la cuenca del río Grijalva, y una simulación de sus cambios para escenarios futuros, de acuerdo con los escenarios considerados en el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (SRES), siendo estos: A1, A1B, comprometido y B1 (Pachauri, 2008), que exploran los caminos alternativos del desarrollo y cubren una gama amplia de fuerzas impulsoras demográficas, económicas y tecnológicas y las resultantes emisiones de gases de efecto de invernadero (GHG).

METODOLOGIA Y DATOS UTILIZADOS

Área de estudio

La cuenca del río Grijalva tiene una superficie total de 59,861 km², de la cual el 9% se encuentra en Guatemala y el resto en México, y se localiza entre los meridianos 91°30' y 94° 30' de longitud Oeste y los paralelos 14° 30' y 19° de latitud Norte, siendo el río Grijalva es el segundo río más caudaloso del país.

La precipitación de la región es la mayor del país y una de las más altas del mundo. Su media anual es de 2,143 mm, en la Sierra de Chiapas y en la Sierra de la Lacandonia, las lluvias sobrepasan en algunos lugares los 4,000 mm al año y llegan hasta los 5,000 mm. La temperatura media anual es de 24 °C y de 7 °C y 41°C en los extremos, lo que establece un gradiente de climas cálidos y semicálidos húmedos con influencia marina en la zona norte y en la parte central de la región.

La cuenca del río Grijalva es sub dividida en las cuencas: Peñitas, Malpaso, Chicoasen y Angostura.

Base de datos climatológicos

Para los análisis referentes a datos de la cuenca Grijalva y sus sub cuencas – Angostura, Chicoasen, Malpaso y Peñitas - fueron seleccionadas 31 estaciones de la base de datos del CLICOM 2008 que contienen datos de temperatura, para el período común de 1981 a 2007. La descripción de las estaciones utilizadas para los análisis en la cuenca Grijalva está en la Tabla 1.

Tabla 1: Descripción de las estaciones climatológicas utilizadas para predicción de la temperatura en la cuenca Grijalva.

ESTACION	NOMBRE	LATD	LOND	SUB CUENCA
07002	ABELARDO	16.333	-92.200	Angostura
07003	ACALA, ACALA	16.567	-92.817	Chicoasen
07008	ANGEL ALBINO	15.917	-92.717	Angostura
07009	AQUÉSPALA,	15.783	-91.917	Angostura
07015	BOCHIL, BOCHIL	16.983	-92.883	Malpaso
07036	CHILIL, HUIXTAN	16.783	-92.517	Chicoasen
07039	EL BOQUERON,	16.650	-93.150	Chicoasen
07040	EL BÜRRERO,	16.783	-92.850	Chicoasen
07050	EL PROGRESO,	17.083	-93.500	Malpaso
07065	FINCA OCOTLAN,	16.350	-93.467	Chicoasen
07070	GUÁDALUPE	15.700	-92.183	Peñitas
07087	LA CABAÑA,	16.750	-92.633	Angostura
07091	LA	16.533	-92.950	Chicoasen
07093	LA LIBERTAD,	16.467	-93.683	Malpaso
07100	LA UNION,	16.750	-93.883	Malpaso
07102	LAS FLORES,	16.750	-93.550	Malpaso
07123	OCOZOCUAUTLA	16.700	-93.383	Malpaso
07160	SIMOJOVEL DE A.	17.133	-92.717	Peñitas
07180	ANGEL ALBINO	15.917	-92.717	Angostura
07202	TUXTLA	16.750	-93.117	Chicoasen
07205	COMITAN,	16.250	-92.117	Angostura
07207	LARRAINZAR,	16.883	-92.767	Peñitas
07327	URSULO GALVAN,	16.267	-93.400	Chicoasen
07330	SOYATITAN, V.	16.300	-92.367	Angostura
07335	QUERETARO, J. DE	15.900	-92.767	Angostura
07355	UNION ZARAGOZA,	17.050	-92.867	Malpaso
07358	FLORES MAGON	16.367	-92.650	Chicoasen
07360	LUIS ESPINOZA,	17.150	-93.367	Malpaso
07362	ROSENDO	16.483	-94.000	Malpaso
07365	OCOTEPEC,	17.183	-93.117	Peñitas

Los escenarios

Primero fueron obtenidos datos en mesoescala de los experimentos numéricos con Modelos de Circulación General de la Atmósfera, conocidos como GCM. Dichos modelos tienen resoluciones espaciales de cientos de kilómetros que no permiten considerar los forzantes del clima local (topografía y uso de suelo, entre otros).

Después, para la obtención de la temperatura en alta resolución espacial, fueron utilizados los cambios en clima proyectados por los GCM de baja resolución espacial, y sumados al clima considerado como base, utilizado el

Statistical Downscaling Method (SDSM), una de las herramientas de escalamiento espacial más utilizadas en la proyección local, pues su esquema de escalamiento se basa en la regresión lineal múltiple a un punto (Wilby, 2002). Los mismos datos del CLICOM fueron utilizados como base para las proyecciones.

Para la predicción futura, fueron considerados cuatro escenarios representativos del Panel Internacional sobre Cambio Climático (IPCC 2007). Los escenarios utilizados fueron el escenario A1, que supone un desarrollo mundial económico muy rápido, una población global que alcance un máximo a mediados del Siglo XXI y la introducción rápida de tecnologías nuevas y más eficientes, el A1B, que es como el A1 y considera un equilibrio en el uso de todas las fuentes, el B1 describe un mundo convergente, con la misma población global que A1, pero con cambios más rápidos en las estructuras económicas hacia una economía de servicio y de información, y el COMPROMETIDO, que corresponde a simulaciones en las que el calentamiento continuaría aún cuando el forzante de radiación se mantenga constante.

RESULTADOS OBTENIDOS

Promedios anuales de la temperatura y escenarios

Los promedios mensuales de temperaturas promedios, máximas y mínimas obtenidos para la cuenca del río Grijalva están representados en las figuras 2, 3 y 4.

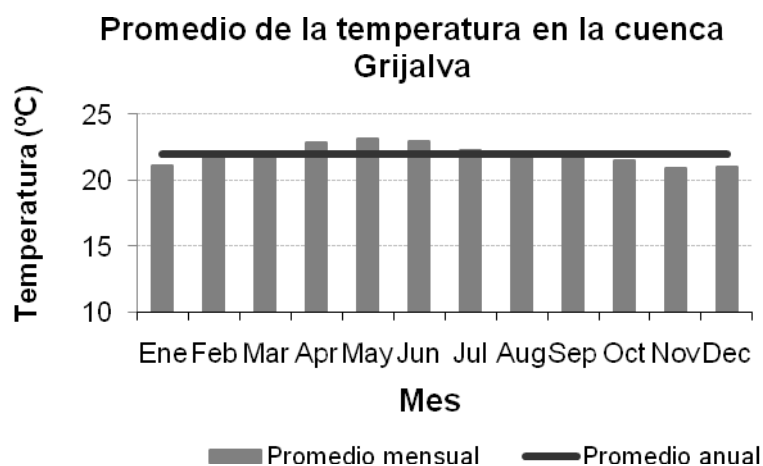


Figura 2: Promedio de temperatura en la cuenca del río Grijalva – base de datos CLICOM.

La variación del promedio de la temperatura anual es del orden de 2.14 °C, con máximo en el mes de mayo y mínimo en el mes de octubre.

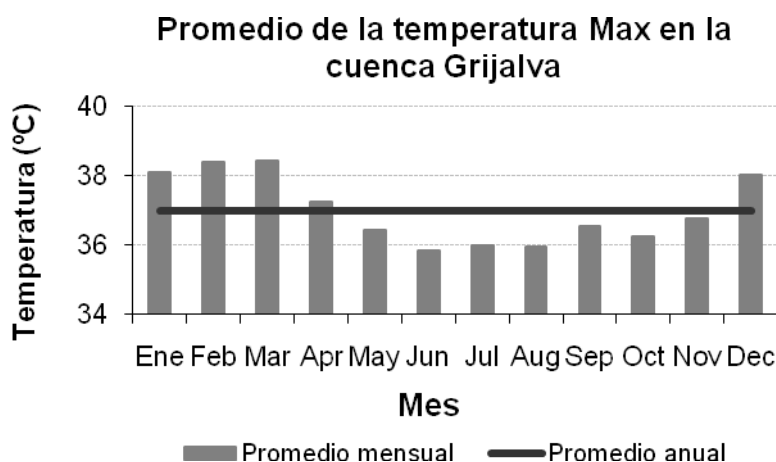


Figura 3: Promedio de temperaturas máximas (T Max) em la cuenca del río Grijalva – base de datos CLICOM.

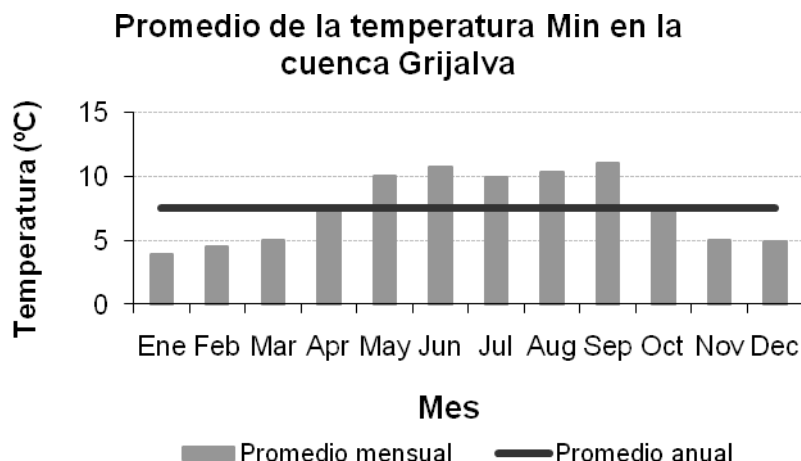


Figura 4: Promedio de temperaturas mínimas (T Min) en la cuenca del río Grijalva – base de datos CLICOM.

La variación del promedio mensual de temperaturas máximas fue de 2.61 °C, con valores máximos en el mes de marzo, y mínimos en el mes de junio. La variación del promedio mensual de temperaturas mínimas fue de 7.14 °C, con máximos valores en el mes de septiembre y mínimos valores en el mes de enero.

En noviembre de 2004, un taller de cambio climático regional se celebró en Guatemala con el objetivo de analizar cómo los extremos del clima ha cambiado en la región. Los científicos de América Central y el norte de Sudamérica trajeron diarios de temperatura a largo plazo y series de precipitación de las estaciones meteorológicas de tiempo en sus países para el taller. Después de someterse a una cuidadosa procedimientos de control de calidad y una evaluación de la homogeneidad, los datos se utilizaron para calcular un conjunto de índices de cambio climático durante el período 1961-2003. El análisis de estos índices pone de manifiesto una tendencia general al calentamiento en la región. La aparición de un máximo de calor y las temperaturas extremas mínimas ha aumentado mientras que los acontecimientos de bajas temperaturas han disminuido (Aguilar et al., 2005)

En el Cuadro 1 se resumen, para la cuenca del río Grijalva, los incrementos de la temperatura en °C, del 2010 al 2099, según los distintos escenarios.

Cuadro 1: Incrementos de temperatura por cambio del clima. Ensamble. Sub cuencas del Grijalva, del 2010 al 2099.

PERIODO	SUB CUENCA	INCREMENTO DE LA TEMPERATURA (°C) POR ESCENARIO			
		A2	A1B	Comprometido	B1
CLIMATOLOGÍA 2010-2039	ANGOSTURA	0.5 A 0.75	0.5 A 0.75	0.25 A 0.5	0.5 A 0.75
	CHICOASÉN	0.75 A 1.0	0.75 A 1.0	0.5 A 0.75	0.5 A 0.75
	OTROS	0.75 A 1.0	0.75 A 1.0	0.5 A 0.75	0.75 A 1.0
CLIMATOLOGÍA 2040-2069	ANGOSTURA	1.25 A 1.5	1.25 A 1.5	0.5 A 0.75	1.0 A 1.25
	CHICOASÉN	1.5 A 1.75	1.5 A 1.75	0.5 A 0.75	1.0 A 1.25
	OTROS	1.5 A 1.75	1.5 A 1.75	0.5 A 0.75	1.25 A 1.5
CLIMATOLOGÍA 2070-2099	ANGOSTURA	2.5 a 2.75	2.0 a 2.25	0.5 A 0.75	1.25 A 1.5
	CHICOASÉN	2.75 a 3.0	2.25 a 2.5	0.5 A 0.75	1.5 A 1.75
	OTROS	2.75 a 3.0	2.25 a 2.5	0.5 A 0.75	1.5 A 1.75

Los incrementos de temperatura bajo los diferentes escenarios varió de 0.25 a 3.0 °C, con valores menores del incremento en el período de 2010-2039, y mayores para el período de 2070-2099. Entre los escenarios, el incremento menor se obtuvo en el escenario COMPROMETIDO para todos los periodos de análisis. El incremento mayor de la temperatura se observó en los escenarios A2 y A1B, hasta el período 2010-2069, y en el escenario A2, para el período 2070 a 2099.

Una análisis estadística complementar, con los valores de las desviaciones intercuartil de la temperatura en °C, del 2010 al 2099, según los distintos escenarios, está representada en el cuadro 2.

Cuadro 2: Desviaciones intercuartil por cambio del clima. Cuenca del Grijalva, del 2010 al 2099.

PERIODO	SUB CUENCA	DESVIACION INTERCUARTIL DE LA TEMPERATURA (°C) POR ESCENARIO			
		A2	A1B	Comprometido	B1
CLIMATOLOGÍA 2039	ANGOSTURA	0.25 A 0.5	0.25 A 0.5	0.0 A 0.25	0.0 A 0.25
	CHICOASÉN	0.25 A 0.5	0.25 A 0.5	0.0 A 0.25	0.25 A 0.5
	OTROS	0.25 A 0.5	0.25 A 0.5	0.25 A 0.5	0.25 A 0.5
CLIMATOLOGÍA 2069	ANGOSTURA	0.25 A 0.5	0.25 A 0.5	0.0 A 0.25	0.25 A 0.5
	CHICOASÉN	0.25 A 0.5	0.25 A 0.5	0.25 A 0.5	0.25 A 0.5
	OTROS	0.25 A 0.5	0.25 A 0.5	0.25 A 0.5	0.25 A 0.5
CLIMATOLOGÍA 2099	ANGOSTURA	0.5 A 0.75	0.5 A 0.75	0.0 A 0.25	0.25 A 0.5
	CHICOASÉN	0.5 A 0.75	0.5 A 0.75	0.25 A 0.5	0.25 A 0.5
	OTROS	0.5 A 0.75	0.5 A 0.75	0.25 A 0.5	0.25 A 0.5

La incertidumbre para los escenarios considerados varió de 0.0 a 0.75. Bajo el escenario COMPROMETIDO, escenario que supone las menores concentraciones de entre A2, A1B y B1, el cambio proyectado por el ensamble es muy próximo a la incertidumbre, o sea, no se puede predecir con seguridad un calentamiento con base en esto escenario. Ya para los demás escenarios, el cambio es considerablemente mayor a la incertidumbre, en especial en los períodos de tiempo más lejanos.

La incertidumbre es relativamente grande en estos escenarios; sin embargo, la señal sigue apuntando a una anomalía positiva, ya que el valor de la dispersión sumada a la anomalía permanece mayormente positiva. Estos datos están de acuerdo con datos calculados para todo México, donde, de acuerdo con Díaz, (2008), el cambio para la proyección de temperatura para finales del siglo XXI no supera 1° C en la región de máximo calentamiento y la dispersión es mayor que $\pm 1^\circ$ C. El mismo autor encuentra que los mayores aumentos de temperatura en el régimen anual se presentan en los meses más calurosos climatológicamente (JJA), esto es los de verano. La diferencia con los aumentos esperados para los meses de invierno es de hasta 1°C, en regiones como el noreste y Golfo de México.

En todo caso, hay gran confianza en que los aumentos de temperatura, principalmente en el norte de México llevarán a sequías de tipo hidrológico y agrícola, imlemente por los aumentos esperados de temperatura.

CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

México presenta una alta vulnerabilidad a la incidencia de Fenómenos Meteorológicos Extremos (FEMEX). Diversas zonas son afectadas por los impactos de ciclones tropicales, tormentas locales severas y frentes fríos (nortes); que originan lluvias extremas, ocasionando inundaciones afectando a diversos sectores socioeconómicos, mientras que en otras zonas se presentan sequías intensas, como es el caso de la cuenca del río Grijalva, y que, de acuerdo con las proyecciones, por el incremento de la temperatura, esperado hasta mismo en condiciones más favorables de emisiones de los GHM (escenarios B1 y COMPROMETIDO).

Si a lo anterior, le agregamos el incremento de FEMEX en las zonas de riesgo del país, se pueden esperar pérdidas económicas sin precedente, ocasionadas por las variaciones extremas en la temperatura y la precipitación. También, para este caso, se requieren implementar medidas de adaptación, que reduzcan la vulnerabilidad en las zonas de riesgo ante estos fenómenos.

El riesgo de que se produzca un desastre está determinado también por factores de exposición y vulnerabilidad de índole social, susceptibles de modificarse mediante políticas públicas, en un sentido de reducción del riesgo y de la vulnerabilidad.

El presente estudio ha regionalizado experimentos de cambio climático utilizados en el AR4 del IPCC por lo que ahora se dispone de escenarios equivalentes pero con resolución espacial uniforme de 50 km X 50 km, para cuatros distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (SRES), hasta el año de 2100, lo que es un soporte científico a las tomadas de decisiones para que sean tomadas las medidas preventivas necesarias en cada caso considerado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilar, E., T. C. Peterson, P. Ramírez Obando, R. Frutos, J. A. Retana, M. Solera, I. González, Santos, R. M. Araujo, A. Rosa Santos, V. E. Valle, M. Brunet India, L. Aguilar, L. Álvarez, M. Bautista, C. Castañón, L. Herrera, E. Ruano, J. J. Siani, F. Obed, G. I. Hernández Oviedo, J. E. Salgado, J. L. Vásquez, M. Baca, M. Gutiérrez, C. Centella, J. Espinosa, D. Martínez, B. Olmedo, C. E. Ojeda, Espinoza, M. Haylock, R. Núñez, H. Benavides, R. Mayorga. 2005: Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and Northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysics and Research in Atmosphere*, 110, doi:10.1029/2005JD006119.
2. CLICOM (2008). Base de datos climatológicos.
3. Díaz, D.M.Z. (2008). Análisis probabilístico de escenarios escalados de precipitación y temperatura bajo cambio climático en México. Tesis de maestría (FÍSICA DE LA ATMÓSFERA), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 83pp.
4. INE (2007). Pronóstico climático estacional regionalizado para la República Mexicana como elemento para la reducción de riesgo, para la identificación de opciones de adaptación al cambio climático y para la alimentación del sistema: cambio climático por estado y por sector. Instituto Nacional de Ecología. Ciudad de México, México. 17pp.
5. IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
6. Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (2008). Eds., *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, Switzerland. 52 pp.
7. Wilby, R.L., Dawson, C.W. and Barrow E.M. (2002). "SDSM -a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts". *Environmental Modelling & Software*, 17, p. 147– 159.