

Revisión y comparación de escenarios de cambio climático para el Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica

Tito Maldonado^{1, 2} & Eric Alfaro^{1, 2, 3}

1. Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Universidad de Costa Rica, San José, 11501-2060, Costa Rica; tito.maldonado@ucr.ac.cr, erick.alfaro@ucr.ac.cr
2. Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica, San José, 11501-2060, Costa Rica.
3. Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, San José, 11501-2060, Costa Rica.

Recibido 08-VI-2010. Corregido 10-IX-2010. Aceptado 17-IX-2012.

Abstract: Review and comparison of climate change scenarios for the Cocos Island National Park, Costa Rica. Different climate change scenarios were revised and compared for Cocos Island National Park, Costa Rica. They were generated using different tools (MAGICC/SCENGEN, PRECIS and SDSM) and for the 2080 (2070-2099) time slice. Results shown in general a high dependence with the General Circulation Model, the downscaling technique and the socioeconomic scenario used. All scenarios presented an increase in mean and variance of the air surface temperature annual cycle. That result is also consistent with a future global warming scenario. Results for rainfall are different among each other. Most of the scenarios show an increase in the mean annual rainfall accumulation. However, it is not possible to establish a clear trend when annual variability is considered, mainly because almost all of the scenarios studied projected an increase in the annual rainfall accumulates.
Citation: Maldonado, T.J. & E.J. Alfaro. 2012. Revisión y comparación de escenarios de Cambio Climático para el Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 60 (Suppl. 3): 83-112. Epub 2012 Dec 01.

Key Words: Climate Change, Isla del Coco, Cocos Island, General Circulation Models, Downscaling, Climate Change Scenarios, Central America.

Actualmente el Cambio Climático (CC) es un fenómeno natural-antropogénico que es debatido no sólo en paneles de discusión científico (Schiermeier 2010) sino también, por parte de entidades gubernamentales como no-gubernamentales (Polo-Cheva *et al.* 2008) debido al impacto regional que implica tanto en el ambiente (MCCIP 2008, Loarie *et al.* 2009), la sociedad (Moss *et al.* 2010) y la salud humana (Patz *et al.* 2005), entre otros. Sin embargo, según Gleick *et al.* (2010) el mayor consenso entre la comunidad científica señala que (i) el planeta se está calentando debido al incremento en la concentración de los gases que atrapan el calor en nuestra atmósfera, (ii) mucho del incremento en la concentración de

estos gases durante el último siglo se debe a las actividades humanas, especialmente a la quema de combustibles fósiles y a la deforestación, (iii) los cambios inducidos por la humanidad están ahora opacando las causas naturales que siempre han jugado un papel importante en los cambios climáticos terrestres, (iv) el calentamiento del planeta causará que otros patrones climáticos cambien a tasas sin precedentes en los tiempos modernos, incluyendo el incremento en el nivel del mar, las alteraciones en el ciclo hidrológico y el incremento en la acidez del océano debido al aumento en las concentraciones de dióxido de carbono y (v) la combinación de estos cambios climáticos complejos amenaza las comunidades costeras,

el suministro de agua potable y comida, los ecosistemas marinos y limnológicos, los bosques y los ambientes de montaña, entre otros.

Algunos estudios previos de generación de escenarios de CC en la zona continental América Central incluyen los de Campos (1998), Lu (2002) y Alvarado *et al.* (2005). En estos trabajos, se estimó un aumento en la temperatura cercano a los 2°C y 3°C según sea el escenario optimista o pesimista respectivamente. En la precipitación los cambios se manifiestan de forma irregular, en general se observa que al norte del istmo se produciría una tendencia hacia la disminución, mientras que al sur hacia el aumento. Ruosteenoja *et al.* (2003) elaboraron escenarios de CC para diferentes regiones del planeta, utilizando la técnica del escalamiento de patrones (Santer *et al.* 1990, Lu & Hulm 2002), sin embargo la región de América Central quedó truncada en los 10°N. El resto del istmo quedó embebido por lo que ellos llamaron regiones Caribe y Amazonia. De sus resultados se observa un patrón consistente hacia un aumento en la temperatura superficial del aire, pero patrones mixtos de aumentos y disminuciones en la variable precipitación, dependiendo del modelo, la región y del escenario socio-económico empleado.

Otros trabajos como el de Ramírez (2005) y Aguilar *et al.* (2005) han analizado algunas de las tendencias presentes en distintas series de tiempo de diferentes variables climáticas. El primer trabajo hace una evaluación y detección de CC enfocado en vulnerabilidad y adaptación, basado en el estudio preparado por Alvarado *et al.* (2005), ya que según Ramírez (2005), los otros estudios que se citaron en el párrafo anterior, generaron escenarios que se fundamentaron en estimaciones de Modelos de Circulación General (MCG, ver Amador & Alfaro (2009) para más detalles), cuya resolución de 5° x 5° (550 km x 550 km, aproximadamente), resulta muy gruesa comparada con el territorio de los países de América Central (e.g. Campos 1998). El segundo estudio se enfoca en cambios en extremos de precipitación y temperatura. Encuentra que la región centroamericana se está calentando indicando

también que los eventos fuertes de precipitación están aumentando.

En “La Segunda Comunicación Nacional sobre Clima, Variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica” (IMN 2008), se hace una evaluación de eventos extremos y cambios detectados sobre Costa Rica. Se encuentra que la temperatura ha aumentado, resultado consistente con el de Aguilar *et al.* (2005) y con los estudios preliminares de tendencias realizados por Alfaro & Amador (1996, 1997) y Gómez & Fernández (1996). En ese documento se generan escenarios de CC para cada una de las regiones climáticas de Costa Rica, con un horizonte temporal que abarca desde 2011 hasta el 2099 y encuentran tendencias de temperatura similares en todas las zonas analizadas, con incrementos de aproximadamente 4°C al finalizar la centuria e igualmente patrones irregulares de cambios en la precipitación, con aumento y disminución dependiendo la región climática considerada.

Por otra parte, el Parque Nacional Isla del Coco (PNIC), ubicada en el Pacífico Tropical Oriental (Fiedler & Lavín 2006), localizada aproximadamente en 5.5°N y 87°W (ver Fig. 1 y 2; y Lizano 2001), es actualmente una de las áreas de conservación de mayor importancia para Costa Rica. Además, de ser declarada Parque Nacional en 1978, fue designada por la UNESCO como Patrimonio Natural de la Humanidad en 1997, proclamada un humedal de importancia internacional dentro de la Convención RAMSAR en 1998 y declarada por el Ministerio de Cultura, Juventud y Deportes de Costa Rica como Patrimonio Histórico Arquitectónico Nacional en 2002 (Cortés 2008). Además, el PNIC permite que el territorio total de Costa Rica en sus partes marina y terrestre sea de 598,700 km² aproximadamente, el cual sería mucho menor si Costa Rica no hubiera tomado posesión de dicho territorio terrestre desde 1869, porque el PNIC agrega al país una porción de soberanía más de diez veces mayor que el territorio continental (Cortés 2008). Además, el PNIC es parte del proyecto del Corredor de Conservación Marina del Pacífico Tropical del Este, junto con los parques

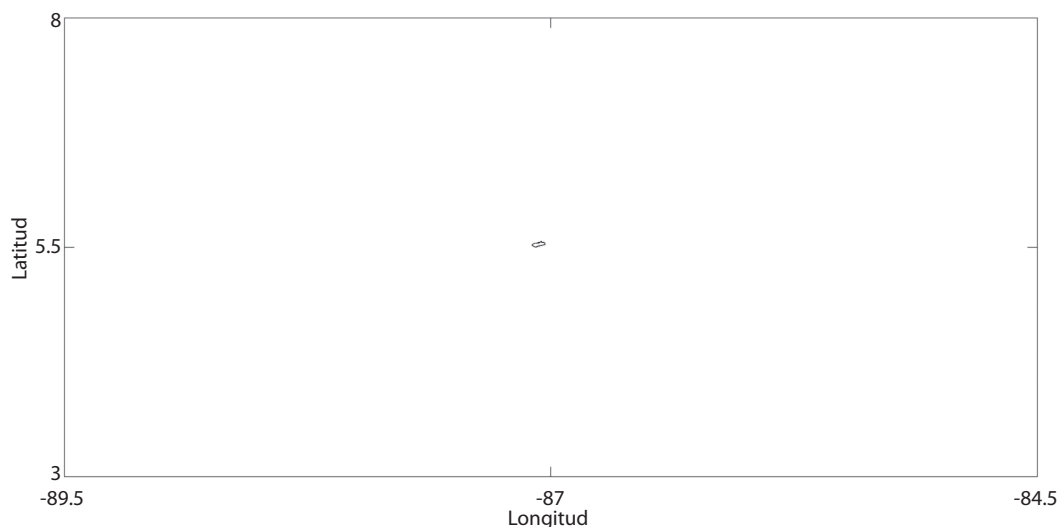


Fig. 1. Área del elemento de la rejilla utilizado con la herramienta MAGICC/SCENGEN. La resolución utilizada es 5° de latitud x 5° de longitud. El elemento utilizado para el análisis fue el centrado en 7.5°N y 87.5°W que abarca el área 5°-10°N y 85°-90°W. Nótese que el PNIC, 5.5°N y 87°W, es apenas visible dentro de esta área tan extensa. En esta representación, sin embargo, se centró la gráfica en 5.5°N y 87°W para una mejor observación del PNIC, respetando la resolución del modelo.

Fig. 1. Grid point area used with the MAGICC/SCENGEN tool. Resolution is 5° latitude x 5° longitude. The element used for analysis was centered in 7.5°N, and 87.5°W, covering the area 5°-10°N and 85°-90°W. Note that PNIC, 5.5°N and 87°W, is barely visible in this vast area. However, in this representation, the element was centered in 5.5°N and 87°W for better observation of PNIC, keeping model resolution.

nacionales de Galápagos (Ecuador), Malpelo y Gorgona (Colombia) y Coiba (Panamá); entre otros (Henderson *et al.* 2008).

Según Magrin *et al.* (2007) se tiene una alta confianza de que en Latinoamérica los planes de desarrollo futuros incluirán estrategias de adaptación para fortalecer la integración del CC en las políticas de desarrollo. Debido a esto se deben hacer sugerencias para el manejo y la conservación futura del PNIC, en donde la generación de escenarios de CC, debe ser un pilar importante para realizar dicho planeamiento, ya que de acuerdo a lo expuesto por Magrin *et al.* (2007) y Mimura *et al.* (2007), el PNIC se vería afectada por el CC debido a que:

- El ámbito del calentamiento proyectado para Latinoamérica al final del siglo 21, de acuerdo a diferentes modelos climáticos, será de 1-4°C para un escenario optimista de emisiones (SRES B2) y de 2-6°C para un escenario pesimista (SRES A2)

(mediana confianza). (Ver IPCC (2000) y el Anexo A para las definiciones de los escenarios de emisiones denominados SRES).

- Bajo un escenario de CC futuro, hay un riesgo importante de extinción de especies en muchas áreas tropicales de Latinoamérica (alta confianza).
- Es muy posible que los cambios esperados en el nivel del mar, tiempo meteorológico, variabilidad climática y eventos extremos afecten las áreas costeras (alta confianza).
- Las pequeñas islas, ya sea tropicales o de latitudes altas, tienen características que las hacen especialmente vulnerables a los efectos del CC, aumento del nivel del mar y eventos extremos (muy alta confianza).
- Es muy probable que el CC afecte fuertemente los arrecifes de coral, las pesquerías y otros recursos marinos (alta confianza).
- Los estudios nuevos confirman los hallazgos previos de que es probable que hayan

efectos, mayormente negativos, directos e indirectos sobre el turismo (alta confianza).

Es por ello que se plantea como objetivo de este trabajo la comparación y revisión de diferentes escenarios de CC para las variables de precipitación y temperatura superficial del aire en el PNIC, obtenidos a partir de diferentes técnicas de reducción de escala (downscaling, en inglés) de MCG, tanto dinámicas como estadísticas (Amador & Alfaro 2009). El estudio pretende explorar y mostrar algunas de las técnicas y herramientas existentes para este tipo de análisis, ya que, aunado a lo anterior, estos resultados podrían ayudar al desarrollo de futuros planes estratégicos para el PNIC como el ya preparado por MINAE (2005), en donde se señala que a la par de la investigación biológica se debe profundizar en la investigación climática, principalmente orientada a aumentar el conocimiento del CC global, lo cual es útil en la generación de políticas de manejo y conservación para actividades futuras. Según señalan McClanahan *et al.* (2008) es muy importante que las acciones de conservación ante el CC incluyan entre otras cosas una protección a gran escala de los ecosistemas basada en el conocimiento científico de los mismos y así ayudar a (i) que se dé una transformación y adaptación activa de los sistemas sociales y ecológicos; (ii) crear la capacidad de las sociedades para lidiar con el cambio; y (iii) propiciar una asistencia gubernamental que ayude a las sociedades a separarse de su dependencia de ciertos recursos naturales.

DATOS Y METODOLOGÍA

Como una primera aproximación en la creación de los escenarios mensuales de CC se utilizó la herramienta MAGICC/SCENGEN-4.1 (Wigley 2004a, b). Las salidas de los modelos utilizados fueron las sugeridas por Alvarado *et al.* (2005). Estos autores analizaron la correlación, el error cuadrático medio y la desviación media absoluta entre la climatología de los modelos utilizados en el MAGICC/SCENGEN-4.1 y la generada por Magaña *et*

al. (1999) en América Central como criterio de selección, utilizando los campos de precipitación y temperatura. Los MCG seleccionados fueron CCC1TR, CSI2TR, ECH3TR, ECH4TR, GISSTR, HAD2TR y HAD3TR (mayores detalles sobre estos modelos pueden consultarse en IPCC, <http://www.ipcc-data.org> y en <http://www.ipcc.ch>). La resolución de estos modelos fue de 5° de latitud por 5° de longitud. Como horizonte de tiempo se estableció 2070-2099 (de aquí en adelante se llamará 2080, debido a la nomenclatura utilizada en la literatura de CC para los horizontes temporales) y los escenarios de emisiones fueron A2-ASF y B2-MESSAGE, los cuales fueron sugeridos por Echeverría (2004) como los escenarios marcadores pesimista y optimista, respectivamente en América Central (el Anexo A presenta una descripción de los escenarios de emisiones utilizados en el presente trabajo). Además, este autor sugirió que estos escenarios son los que mejor reflejan las circunstancias y perspectivas regionales supuestas de las principales fuerzas que impulsan las emisiones de gases de efecto invernadero en la región. La Fig. 1 muestra el área que cubre el punto de la rejilla, para este análisis. El elemento utilizado para el análisis fue el centrado en 7.5° N y 87.5° W con el fin de localizar al PNIC lo más cercana al centro de dicha sección. Esta abarca el área 5°-10° N y 85°-90° W. Nótese de esa figura, que el PNIC es apenas visible debido a la gran extensión que cubre cada uno de los puntos de las salidas de los MCG, lo que justifica, al igual que en Ramírez (2005) y Alvarado *et al.* (2005), el uso de técnicas de reducción de escala (Amador & Alfaro 2009).

Como segundo paso, se obtuvieron y analizaron las salidas mensuales de un modelo numérico, el PRECIS (Taylor *et al.* 2007). Este modelo hace un ajuste de escala dinámico de las salidas del MCG HadAM3H (mayores detalles pueden ser consultados en <http://precis.insmet.cu/Precis-Caribe.htm>, última visita 17.02.2010), y reduce la escala a una resolución de 0.5° de latitud x 0.5° de longitud. El elemento utilizado para este análisis fue el

centrado en 5.5°N y 87°W que cubre el área 5.25°-5.75°N y 86.75°-87.25°W (Fig. 2).

Por tercer paso, se realizó un ajuste de escala estadístico para la precipitación diaria por medio de la herramienta Statistical Downscaling Model o SDSM (Wilby & Dawson 2007). Debido a que en el PNIC no existen series de tiempo climáticas, con un registro de al menos 30 años y requerido por el SDSM, la serie de tiempo diaria utilizada fue la del punto localizado en 5.5°N y 87°W, que cubre el área 5.25°-5.75°N y 86.75°-87.25°W, de la base de datos generada por Magaña *et al.* (1999) y utilizando como periodo de calibración 1961-2000. Los MCG utilizados fueron el HadCM3 forzado con los SRES A2 y B2 y el CGCM1 forzado con el SRES A1. Las salidas de ambos modelos fueron generadas por la Universidad de Victoria, Canadá y están disponibles en <http://www.cics.uvic.ca/scenarios/sdsm/select.cgi> (última visita 13.05.2010). Los predictores se escogieron utilizando los datos del reanálisis del NCEP/NCAR (Kalnay *et al.* 1996). La elección estas variables de escala regional, se realizó analizando la correlación entre la

primeras y el predictante. En la calibración de los modelos se consideraron los modos incondicional, que asumen una relación lineal directa entre las variables de escala regional (predictores) y la variables locales (predictantes), dada por un modelo de regresión lineal múltiple; y el modo condicional, que utiliza además una cadena de Markov de rezago 1 para la precipitación (Wilks 2006), es decir, toma en cuenta procesos intermedios entre los forzamientos regionales sobre el tiempo local (Wilby & Dawson 2007). Para la generación del escenario climático, se escogió una resolución temporal mensual para observar el cambio en el ciclo anual de la precipitación.

En cada una de las técnicas con que se generaron los escenarios de CC, se utilizó como línea base los datos mensuales de precipitación y temperatura provenientes de una estación automática del Instituto Meteorológico Nacional, utilizados también en Alfaro (2008). Estos datos abarcan del 30.08.1998 al 01.11.2002 y con resolución temporal horaria. Debido a lo anterior, la línea base se centró en el año 2000. Dicha información fue tomada en

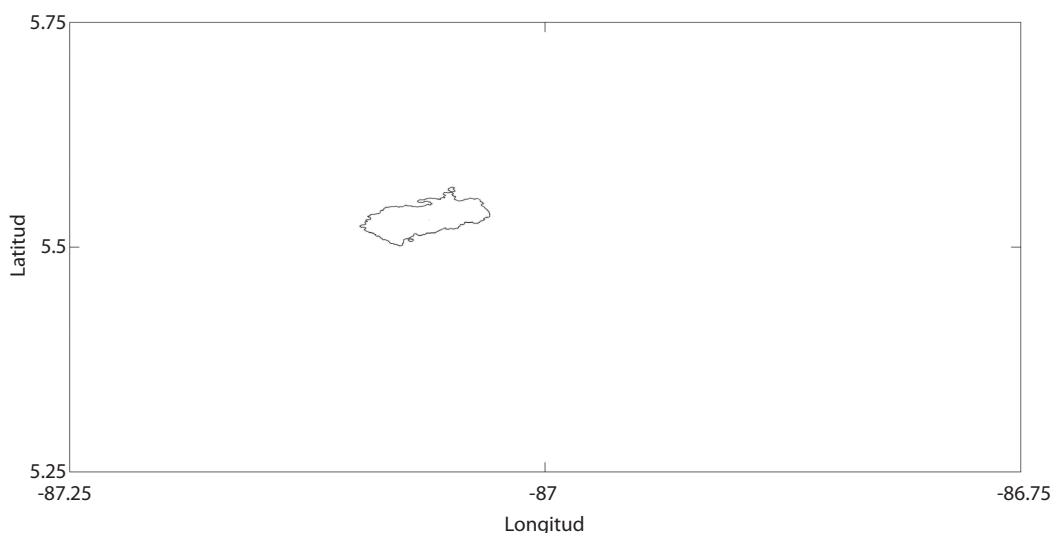


Fig. 2. Área del elemento de la rejilla utilizado del modelo PRECIS. La resolución utilizada es de 0.5° de latitud x 0.5° de longitud. El elemento utilizado para el análisis fue el centrado en 5.5°N y 87°W que abarca el área 5.25°-5.75°N y 86.75°-87.25°W.

Fig. 2. Grid point area used with the PRECIS model results. The resolution is 0.5° latitude x 0.5° longitude. The element used for the analysis was centered at 5.5°N and 87°W covering the area 5.25°-5.75°N and 86.75°-87.25°W.

cuenta para generar los cambios al 2080 a partir de la línea base, ya que generalmente, estos son reportados a partir de 1990 de acuerdo a lo sugerido por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC 2007), por lo que se consideró en general solamente el 90% del cambio generado por el escenario.

RESULTADOS

MAGICC/SCENGEN-4.1-Precipitación: La Fig. 3 muestra los resultados de los experimentos utilizando los escenarios A2 y B2. El acumulado del ciclo anual es calculado como el promedio del acumulado obtenido de

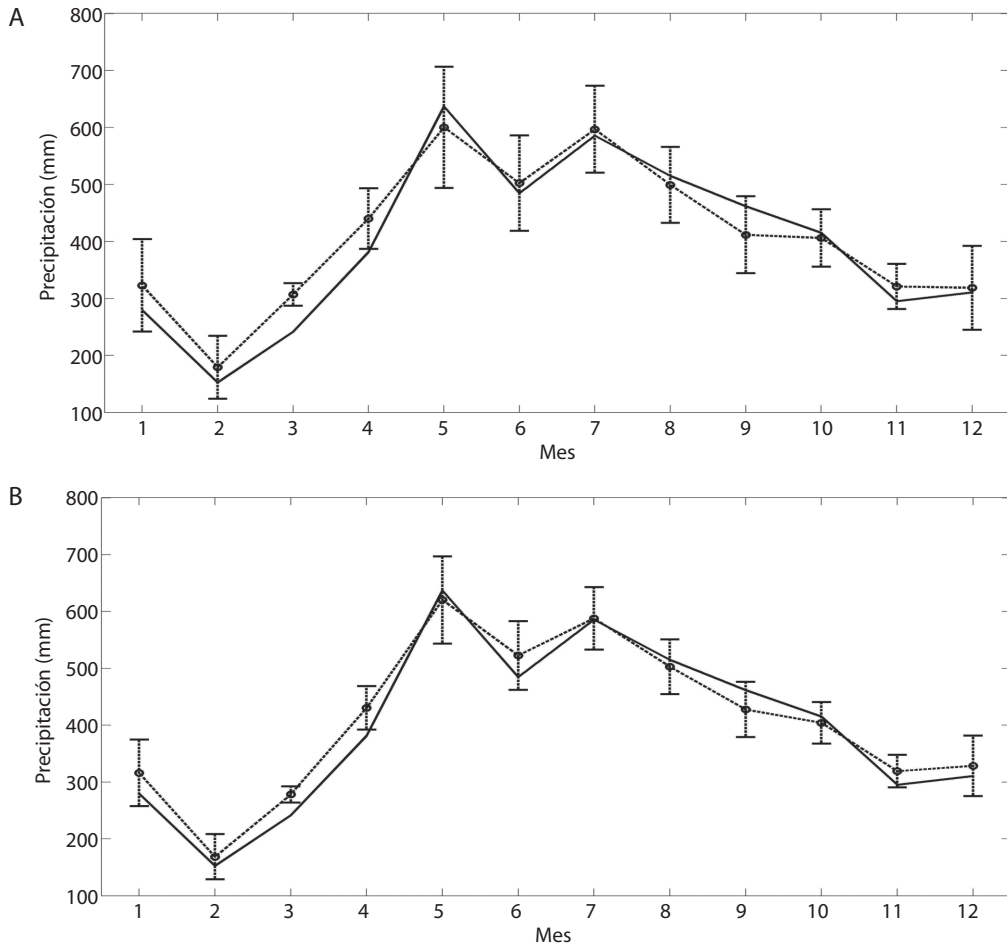


Fig. 3. Escenarios de cambio climático para la precipitación obtenidos con la herramienta MAGICC/SCENGEN-4.1 para el horizonte de tiempo 2080 (2070-2099). Los escenarios socio-económicos son: (A) A2-ASF y (B) B2-MESSAGE. La línea continua es la línea base, a partir de Alfaro (2008), y la línea a trazos con círculos es el promedio mensual del acumulado de precipitación de los modelos para dicho escenario. La desviación estándar del acumulado de precipitación de los modelos es representada por las líneas verticales. Los cambios anuales mostrados en el acumulado son 146.1 (-627.5, 919.6) mm y 147.6 (-409.8, 704.9) mm, respectivamente.

Fig. 3. Rainfall climate change scenarios obtained with the MAGICC/SCENGEN-4.1 for the 2080 (2070-2099) time horizon. The socio-economic scenarios are: (A) A2-ASF and (B) B2-MESSAGE. The solid line is the baseline from Alfaro (2008), and the dashed line with circles is the average of the monthly rainfall accumulated for all the models. The standard deviation of accumulated precipitation is represented by the vertical lines. The annual changes showed in the accumulated rainfall are 146.1 (-627.5, 919.6) mm and 147.6 (-409.8, 704.9) mm, respectively.

todos los MCG utilizados. En el primer caso la precipitación tuvo un cambio promedio de 146.1 (-627.8, 704.9) mm, ámbito dado por una desviación estándar. En el segundo escenario socio-económico se registró un cambio promedio similar al anterior con un valor de 147.6 (-409.8, 704.9) mm. Estos resultados no muestran una diferencia clara en la tendencia que podría presentar el cambio promedio del acumulado anual de precipitación entre ambos

escenarios de cambio climático. En la Figura 4 se compara la cantidad de modelos que indican un aumento (barras negras) y los que indican una disminución (barras blancas) del acumulado mensual de precipitación. Esta figura muestra que no hay una tendencia clara por parte de los modelos de proyectar un aumento o una disminución de la precipitación. Sin embargo, en la Figura 3 se encontró que ambos escenarios proyectaron de enero a abril, en

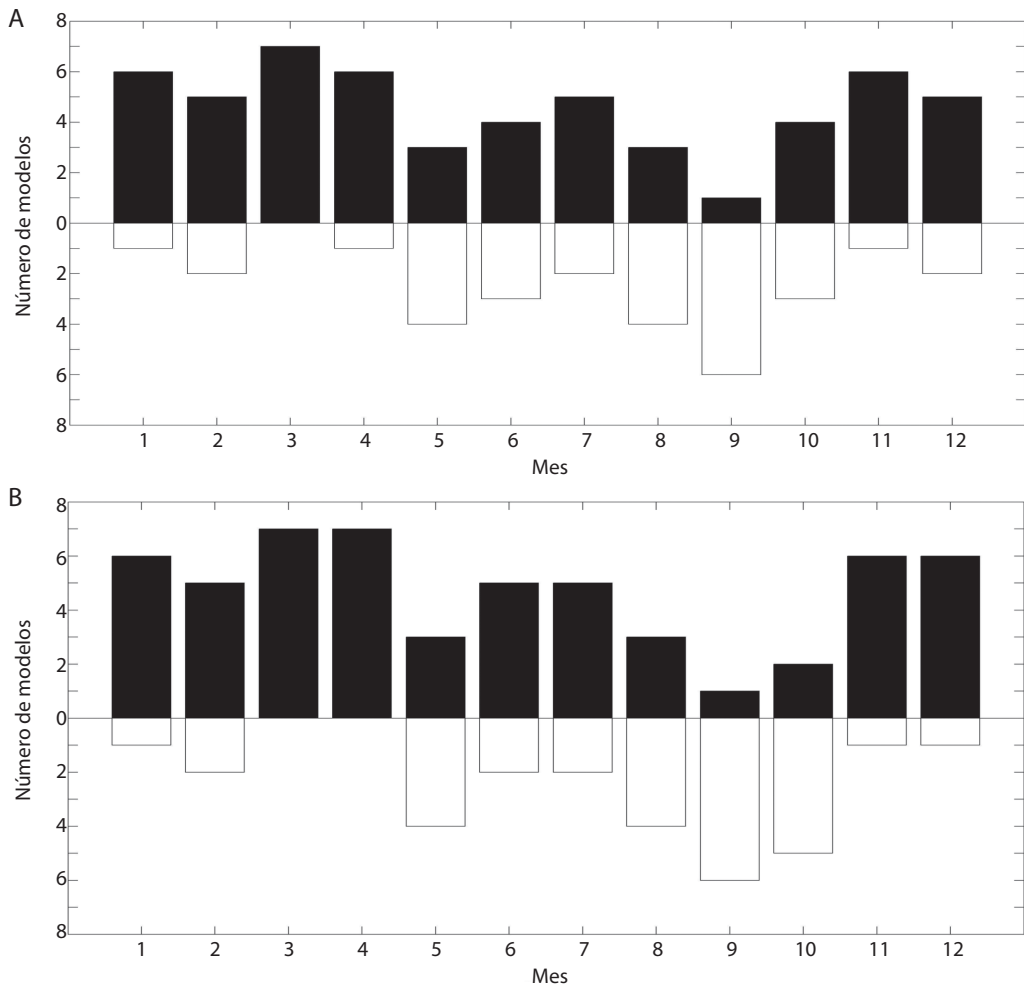


Fig. 4. Comparación entre la cantidad de modelos utilizados con la herramienta MAGICC-SCENGEN-4.1. El número de modelos que predicen un incremento (disminución) de la precipitación son representados con barras negras (blancas), según el escenario socio-económico (A) A2-ASF y (B) B2-MESSAGE.

Fig. 4. Comparison among the results of the models used with MAGICC-SCEGEN-4.1. The number of models that predicted an increase (decrease) in precipitation are represented with black (white) bars, according to the socio-economic scenario: (A) A2-ASF and (B) B2-MESSAGE.

junio, noviembre y diciembre, un crecimiento en el acumulado mensual, mientras que en mayo y de agosto a octubre, se presentó una disminución de este valor. En marzo y abril, el incremento fue mayor, mientras que septiembre exhibió la mayor disminución. En el Anexo B, los Cuadros 1 y 2 presentan los porcentajes de cambio y de error calculados para precipitación con los escenarios A2 y B2 respectivamente, y para cada modelo en particular.

MAGICC/SCENGEN-4.1-Temperatura: Ambos escenarios presentaron aumento de la media del ciclo anual de aproximadamente unos 2°C. En el escenario A2 el promedio anual cambió en 2.0 (1.8, 2.3)°C, mientras que en el experimento con el escenario B2, los modelos marcaron un cambio promedio de 1.6 (1.4, 1.9)°C (Fig. 5). De estos resultados se observó que los mayores incrementos de temperatura se presentaron a partir de junio a octubre. En

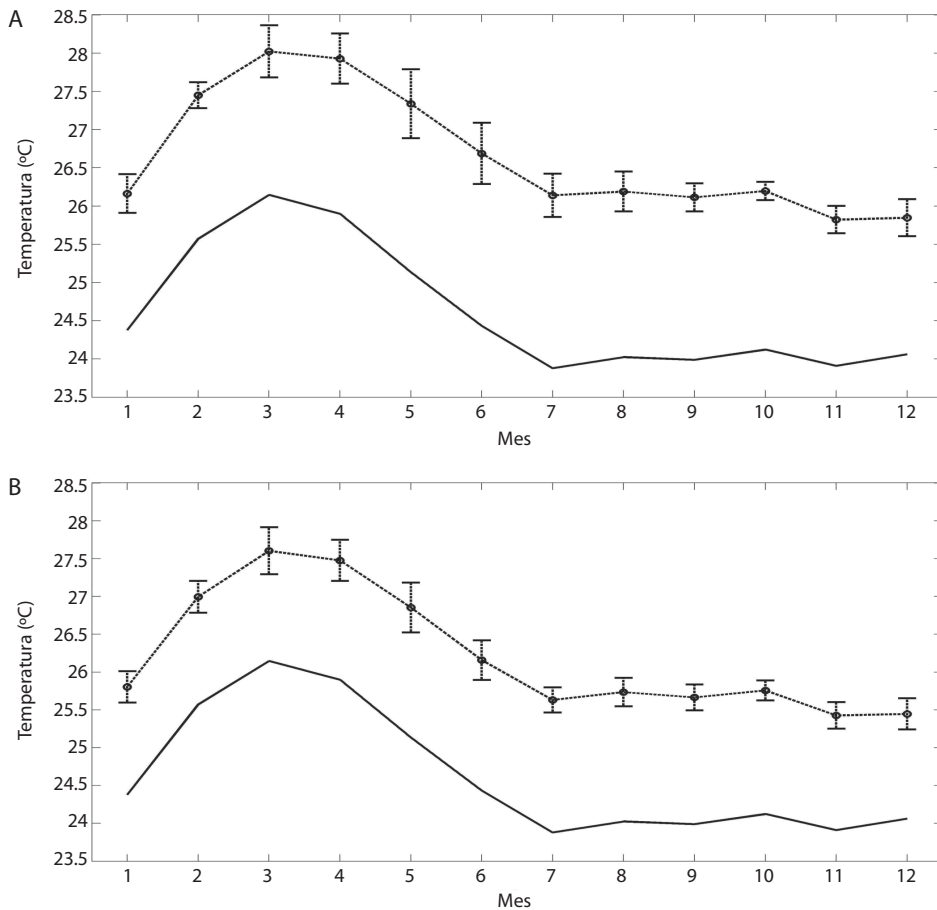


Fig. 5. Escenarios de cambio climático para la temperatura obtenidos con la herramienta MAGICC/SCENGEN-4.1 para el horizonte de tiempo 2080 (2070-2099). Los escenarios socio-económicos son: (A) A2-ASF y (B) B2-MESSAGE. La línea continua es la línea base, a partir de Alfaro (2008) y la línea a trazos con círculos es el promedio mensual de la temperatura de los modelos para dicho escenario. Las líneas verticales son la desviación estándar del promedio de temperatura de los escenarios. Los cambios anuales detectados son en promedio de: 2.0 (1.8, 2.3)°C y 1.6 (1.4, 1.8)°C, para cada escenario.

Fig. 5. Temperature climate change scenarios obtained with MAGICC/SCENGEN-4.1 for the 2080 (2070-2099) time horizon. The socio-economic scenarios are: (A) A2-ASF and (B) B2-MESSAGE. The solid line is the baseline from Alfaro (2008) and the dashed line with circles is the monthly average temperature for all the models. The vertical lines are the standard deviation of the average temperature. Annual changes are on average: 2.0 (1.8, 2.3)°C and 1.6 (1.4, 1.8)°C, for each scenario.

los Cuadros 3 y 4 del Anexo B se encuentra la información de los porcentajes de cambio y error de temperatura calculados mensualmente para estos experimentos al igual que se hizo para la precipitación. Los resultados anteriores coinciden con lo expuesto por Alvarado *et al.* (2005) y los del IPCC expuestos por Meehl *et al.* (2007).

PRECIS-Precipitación: Este modelo regional realiza la reducción de escala dinámica a partir del MCG HadAM3H como se mencionó anteriormente (Taylor *et al.* 2007). Utiliza como escenarios socio-económicos el A2 y B1. En el primer caso, que se denominó PRECIS-A2 (Fig. 6a), el cambio en el acumulado del ciclo anual de precipitación presentó

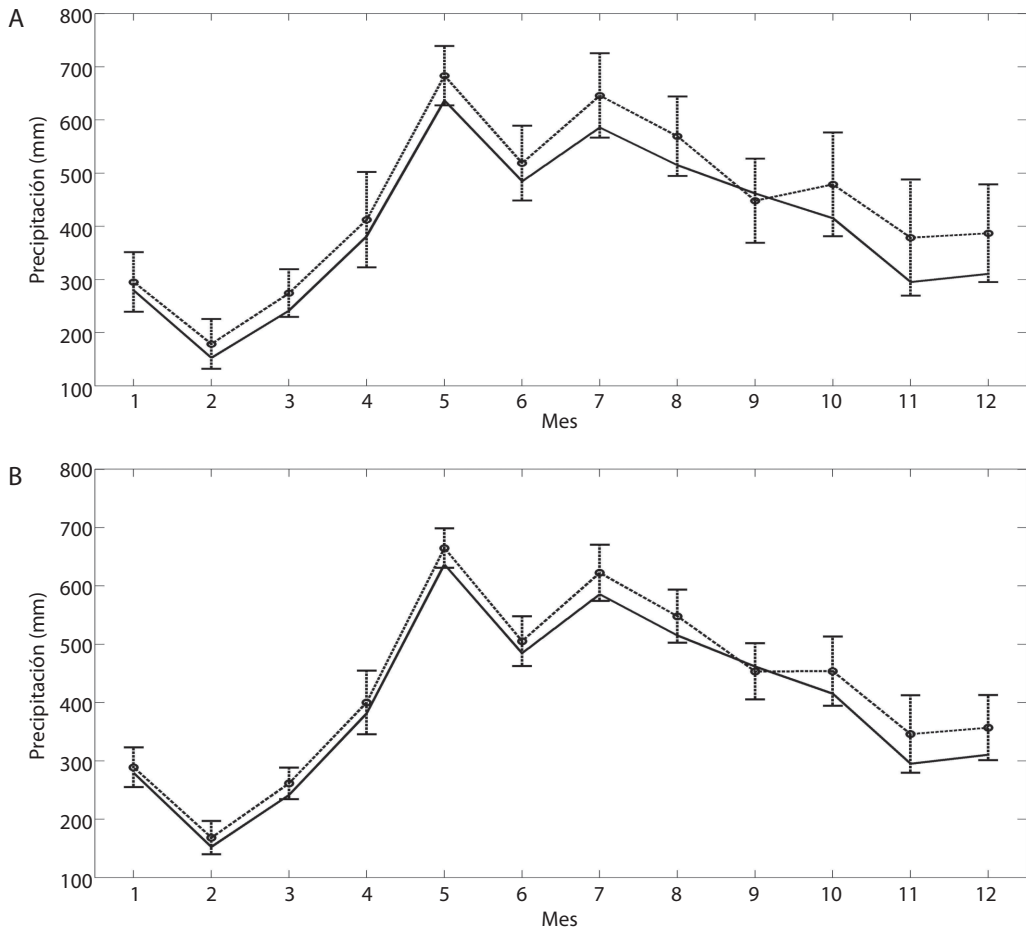


Fig. 6. Escenarios de cambio climático para la precipitación obtenidos del modelo regional PRECIS para el horizonte de tiempo 2080 (2070-2099) y los escenarios socio-económicos (A) A2 y (B) B1. La línea continua es la línea base, a partir de Alfaro (2008) y la línea a trazos con círculos es el promedio del acumulado de precipitación para dicho escenario. La desviación estándar del acumulado mensual de precipitación de los escenarios es representada por las líneas verticales. El cambio anual mostrado en el acumulado es en promedio de 511.3 (-484.0, 1506.7) mm y 310.9 (-294.2, 916.0) mm, respectivamente.

Fig. 6. Rainfall climate change scenarios obtained from PRECIS regional model for the time horizon 2080 (2070-2099) and socio-economic scenarios (A) A2 and (B) B1. The solid line is the baseline from Alfaro (2008) and the dashed line with circles is the monthly average rainfall accumulated for that scenario. The standard deviation of monthly accumulated precipitation is represented by the vertical lines. The annual change in the accumulated rainfall is in average 511.3 (-484.0, 1506.7) mm and 310.9 (-294.2, 916.0) mm, respectively.

en promedio un valor de 511.3 (-484.0, 1506.7) mm. Por otra parte el escenario llamado PRECIS-B1 (Fig. 6b), presentó un cambio de aproximadamente los 311.0 (-294.2, 916.0) mm. Estos dos escenarios mostraron que el acumulado mensual se incrementó en prácticamente todos los meses del año a excepción de septiembre, donde se encontró disminución de esta magnitud. Los principales aumentos se

presentaron en dos trimestres del año, el primero y menos marcado, fue entre junio, julio y agosto, mientras que el segundo y de mayor dimensión fue entre octubre, noviembre y diciembre.

Al examinar la distribución de frecuencias de las anomalías de precipitación de ambos escenarios (Fig. 7), utilizando para comparar los resultados de otros horizontes temporales

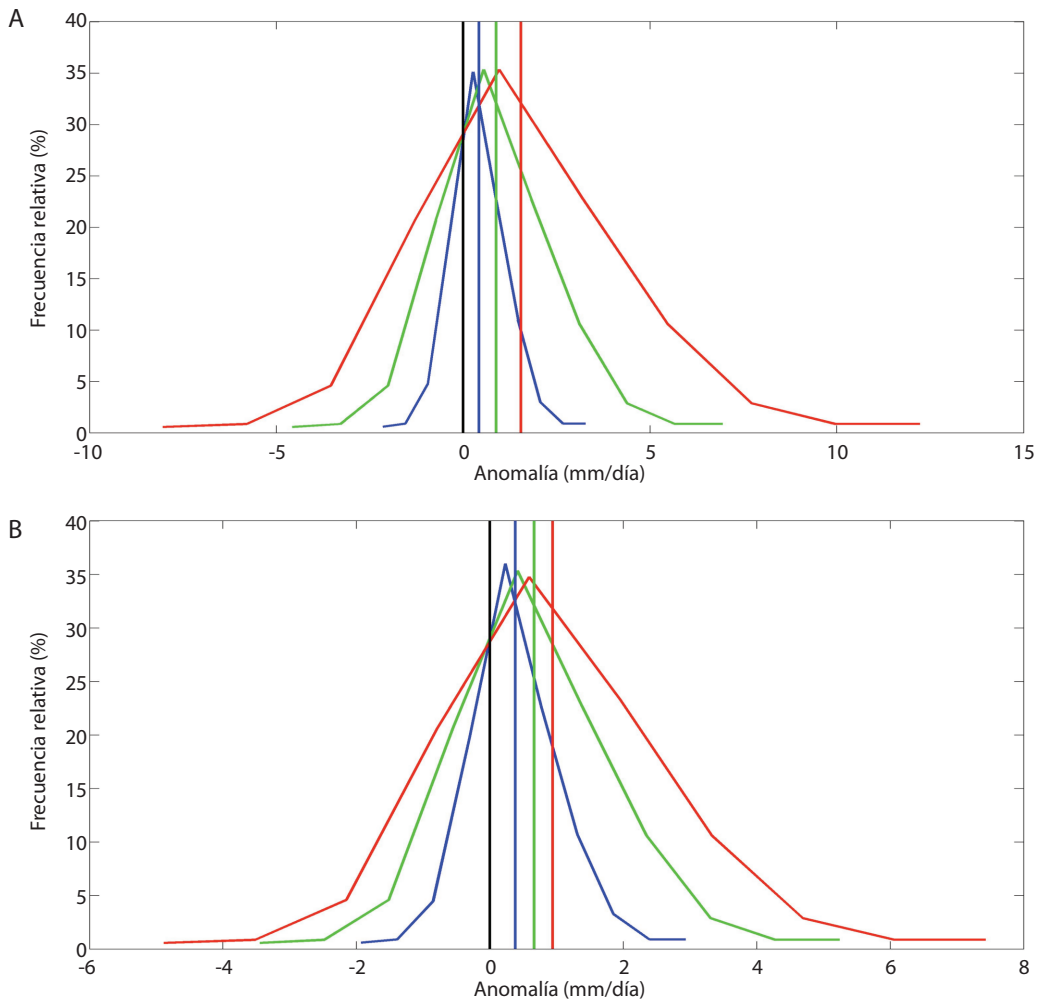


Fig. 7. Distribución de frecuencias relativas de la anomalía de la precipitación mensual obtenidas de los experimentos del modelo PRECIS, con los escenarios (A) A2 y (B) B1, para el horizonte temporal del 2020 (2011-2039, azul), 2050 (2040-2069, verde) y 2080 (2070-2099, rojo). Las líneas verticales representan la media de cada distribución de frecuencias relativas.

Fig. 7. Relative frequency distribution of monthly precipitation anomalies obtained from the PRECIS model experiments, for scenarios (A) A2 and (B) B1, and for the time horizon 2020 (2011-2039, blue), 2050 (2040 to 2069, green) and 2080 (2070-2099, red). The vertical lines represent the average of each relative frequency distribution.

(2020, que abarca el periodo del 2011 al 2039 y 2050 que abarca el periodo del 2040 al 2069), se encontró que ambos escenarios muestran incrementos principalmente en la variabilidad, pero no tan marcados en la media del acumulado del ciclo anual, a pesar de que prácticamente todos los resultados presentan incrementos de la precipitación (Fig. 6).

PRECIS-Temperatura: Los resultados obtenidos en temperatura muestran que están dentro del ámbito sugerido por Alvarado *et al.* (2005), Magrin *et al.* (2007), Meehl *et al.* (2007) y Mimura *et al.* (2007), donde en promedio el cambio en el ciclo anual se vería afectado por un incremento de unos 2.8 (2.4, 3.2)°C en el caso del escenario PRECIS-A2 (Fig. 8a).

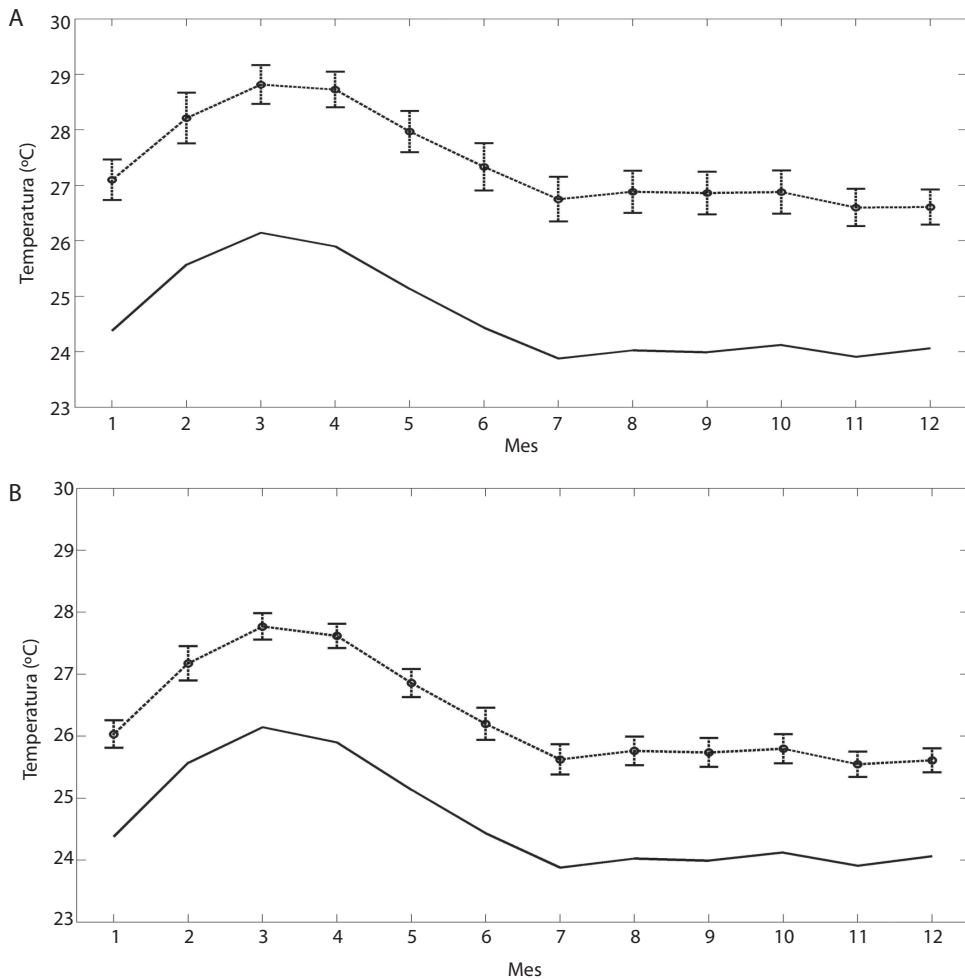


Fig. 8. Escenarios de cambio climático para la temperatura obtenidos del modelo regional PRECIS para el horizonte de tiempo 2080 (2070-2099). Los escenarios socio-económicos son (A) A2 y (B) B1. La línea continua es la línea base, a partir de Alfaro (2008) y la línea a trazos con círculos es el promedio mensual de la temperatura para dicho escenario. La desviación estándar mensual de la temperatura para los escenarios es representada por las líneas verticales. El cambio anual mostrado es en promedio de 2.8 (2.4, 3.2)°C y 1.7 (1.4, 1.9)°C, en cada caso.

Fig. 8. Temperature climate change scenarios obtained from the PRECIS regional model for the 2080 time horizon (2070-2099). The socio-economic scenarios are (A) A2 and (B) B1. The solid line is the baseline from Alfaro (2008) and the dashed line with circles is the average monthly temperature for that scenario. The monthly standard deviation of temperature for the scenarios is represented by the dashed vertical lines. The annual change shown is on average 2.8 (2.4, 3.2)°C and 1.7 (1.4, 1.9)°C, in each case.

Por otra parte, el experimento PRECIS-B1 (Fig. 8b) muestra un aumento en el ciclo anual de aproximadamente 1.7 (1.4, 2.0)°C. Ambos escenarios presentaron mayor aumento en el promedio de temperatura mensual de junio a octubre, consistente con los experimentos realizados con el MAGICC-SCENGEN-4.1.

Las distribuciones de frecuencias de estos dos escenarios (Fig. 9) muestran que los cambios serían incrementos tanto en la parte media

como en la variabilidad. En los Cuadros 5 y 6 del Anexo B se encuentran los valores del cambio mensual tabulados para cada uno de los experimentos. En la primera están los de la precipitación y en la última los de la temperatura. Los cambios mensuales en la variabilidad se incluyen también en estos cuadros.

Tales resultados muestran coincidencia con los obtenidos con el MAGICC-SCENGEN-4.1 para el cambio de temperatura, en los cuales

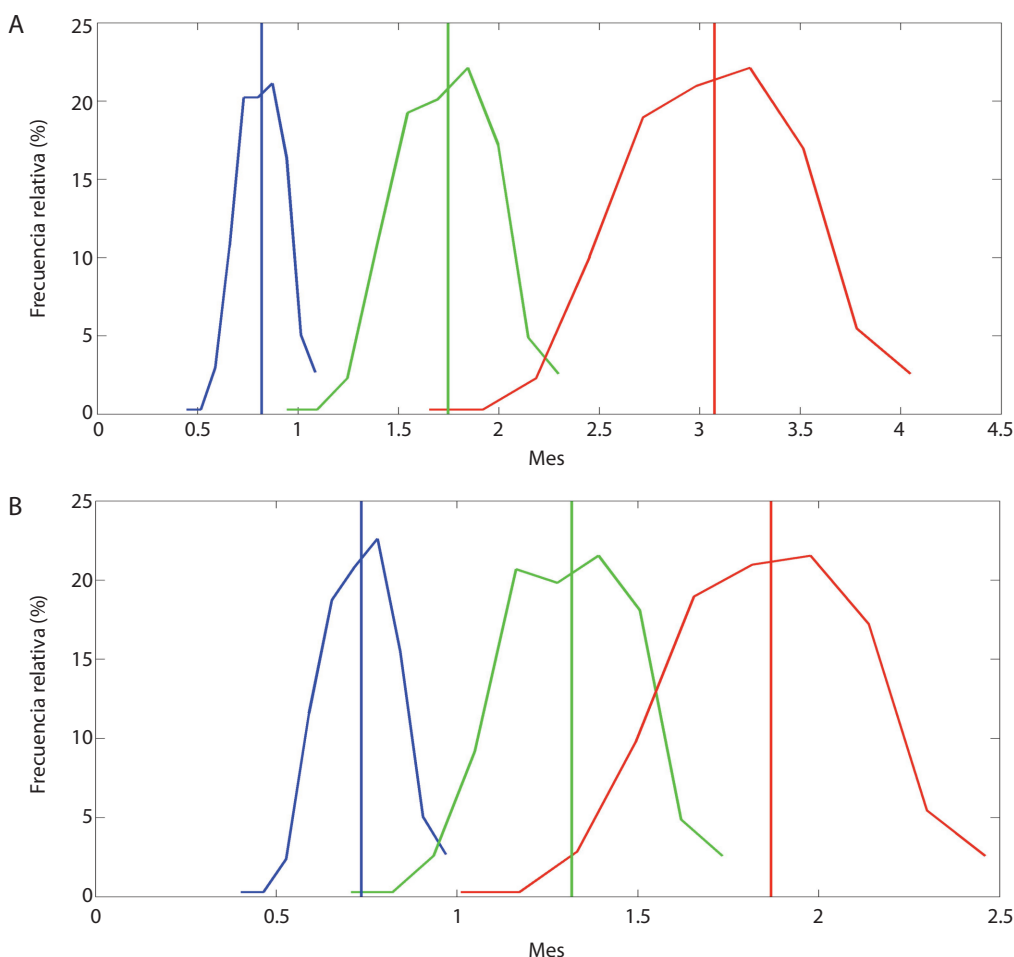


Fig. 9. Distribución de frecuencias relativas de la anomalía de la temperatura mensual obtenidas de los experimentos del modelo PRECIS, con los escenarios (A) A2 y (B) B1, para el horizonte temporal del 2020 (2011-2039, azul), 2050 (2040-2069, verde) y 2080 (2070-2099, rojo). Las líneas verticales representan el promedio de cada una de las distribuciones de frecuencias relativas.

Fig. 9. Relative frequency distribution of monthly temperature anomalies obtained from the model PRECIS experiments, for scenarios (A) A2 and (B) B1, for the time horizon 2020 (2011-2039, blue), 2050 (2040-2069, green) and 2080 (2070-2099, red). The vertical lines represent the average of each relative frequency distribution.

ante un escenario pesimista de emisiones, se presentaría un calentamiento mayor o igual a los 2°C, mientras que los escenarios de emisiones B1 y B2 coinciden con que el calentamiento producido sería cercano a 1.5°C al finalizar la centuria. Mientras que en precipitación, los resultados del MAGICC-SCEGEN-4.1, no se encuentra una diferencia marcada entre los escenarios, en el PRECIS se encontró que el SRES A2 es un escenario más húmedo que el SRES B1, siendo consistente con el incremento en la temperatura, ya que este podría estar

relacionado con una mayor evaporación y por consiguiente, con un mayor aporte de humedad a la atmósfera suprayacente.

SDSM-CGCM1-A1: en todos los procesos de calibración realizados con esta herramienta, se encontró que la mejor variable predictora fue la humedad específica consistentemente con ambos MCG. Este experimento evidenció un fuerte aumento en el acumulado del ciclo anual de precipitación, tanto de manera condicional (Fig. 10a) como de forma

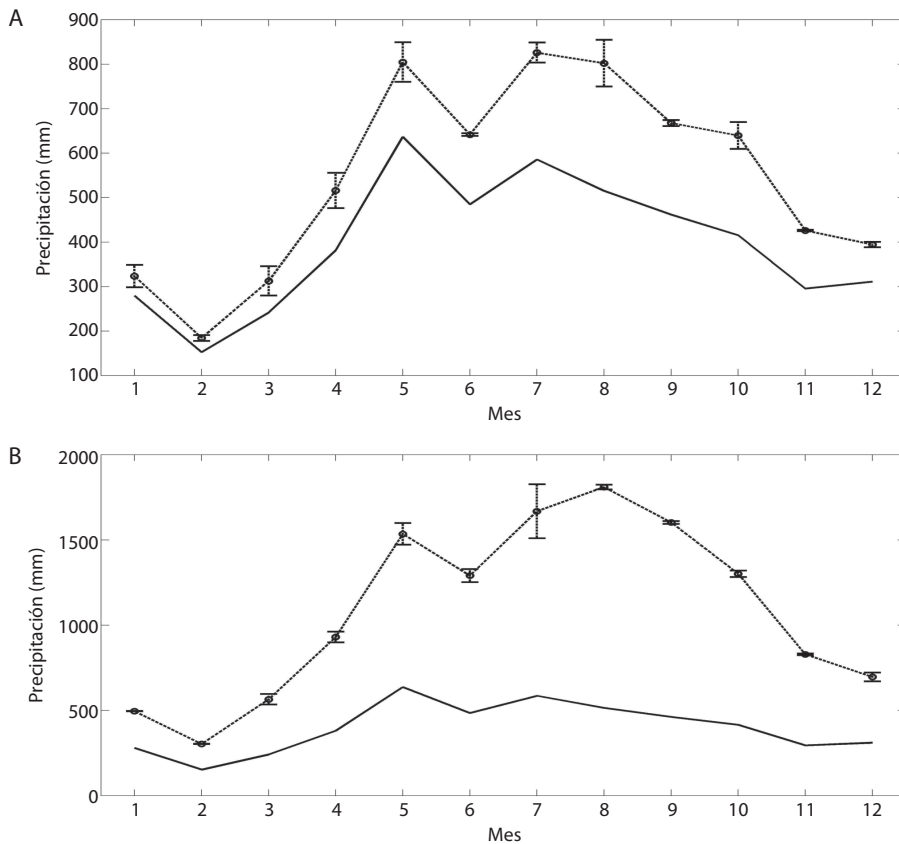


Fig. 10. Escenarios de cambio climático para la precipitación generados con la herramienta SDSM. El MCG es el CGCM1 forzado con el escenario socio-económico A1. La línea continua es la línea base, a partir de Alfaro (2008), la línea a trazos con círculos es el cambio mensual en el acumulado para el horizonte temporal 2080 (2070-2099) y las verticales son su desviación estándar. Las configuraciones utilizadas son del tipo (A) Condicional, con un cambio anual en el acumulado de 1777.1 (1769.2, 1785.1) mm y (B) Incondicional, con un cambio anual en el acumulado de 8288.6 (7871.3, 8661.8) mm.

Fig. 10. Rainfall climate change scenarios generated with the SDSM tool. The General Circulation Model (GCM) is the CGCM1 forced with socio-economic scenario A1. The solid line is the baseline from Alfaro (2008), the dashed line with circles is the monthly cumulative change in the 2080 time horizon (2070-2099) and the vertical lines are their standard deviation. The settings used are (A) Conditional, with an average annual change of 1777.1 (1769.2, 1785.1) mm and (B) Unconditional, with an average annual change of 8288.6 (7871.3, 8661.8) mm.

incondicional (Fig. 10b), con valores de 1777.1 (1769.2, 1785.1) mm y 8266.6 (7871.3, 8661.8) mm respectivamente. Estos productos son atípicos al compararlo con los otros presentados en este trabajo y debe ser sujeto de un estudio posterior, ya que el MCG podría no estar capturando las principales características del clima en la región, el cual es un factor clave para la consideración de un escenario futuro (Amador & Alfaro 2009). De forma condicional, la

distribución de frecuencias de este modelo no presenta cambios marcados ni en la media ni en la variabilidad (Fig. 11a), sin embargo, incondicionalmente, se presentaría cambios tanto en el promedio como en la variabilidad (Fig. 11b).

SDSM-HadCM3-A2: los resultados en principio fueron opuestos. De forma condicional (Fig. 12a), se observó una disminución en la media del acumulado del ciclo anual -173.4

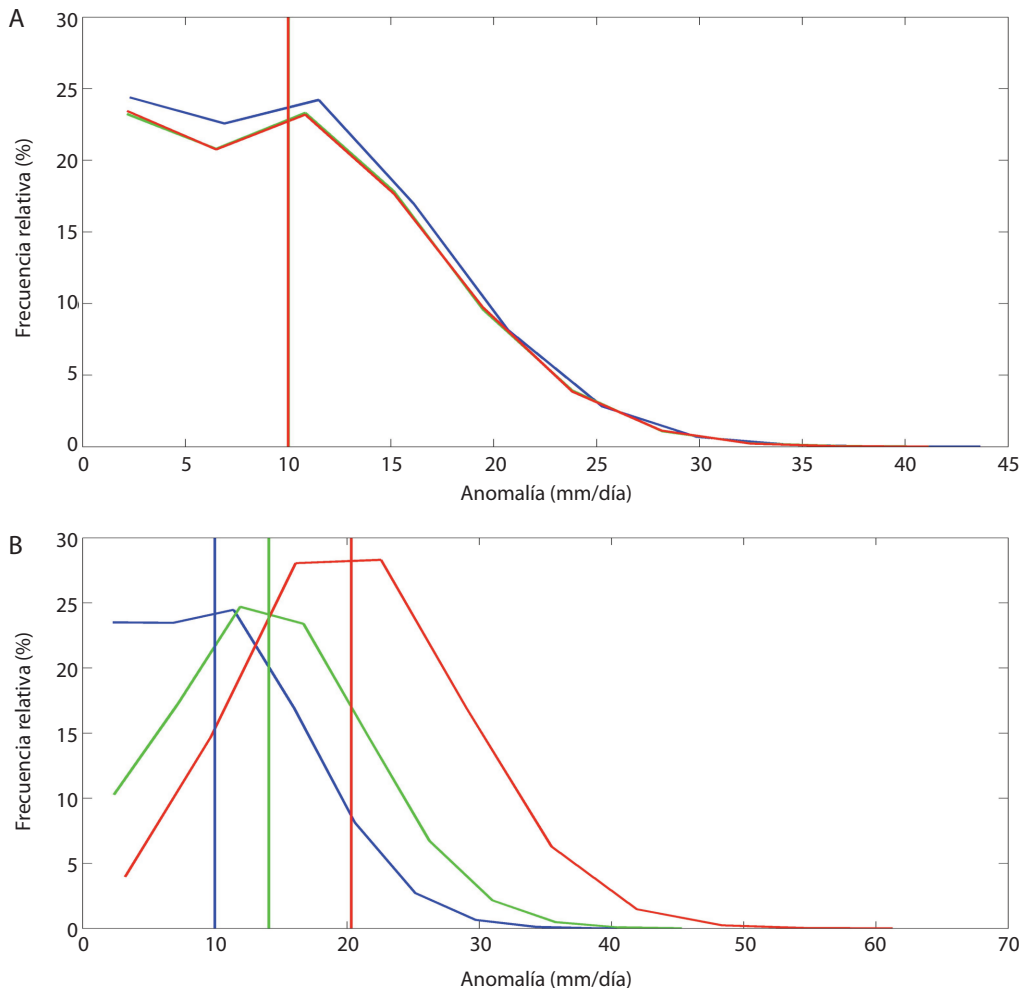


Fig. 11. Distribuciones de frecuencias relativas obtenidas de la anomalía de la precipitación mensual de los experimentos del SDSM-CGCM1, con ambas configuraciones: (A) Condicional y (B) Incondicional para los distintos horizontes temporales 2020 (2010-2039, azul), 2050 (2040-2069, verde) y 2080 (2070-2099, rojo). Las líneas verticales representan el promedio de cada distribución de frecuencia relativa.

Fig. 11. Relative frequency distributions of the monthly rainfall anomalies obtained from the SDSM-CGCM1 experiments with the two configurations are: (A) Conditional and (B) Unconditional for the time horizon 2020 (2010-2039, blue), 2050 (2040-2069, green) and 2080 (2070-2099, red). The vertical line represents the average of each relative frequency distribution.

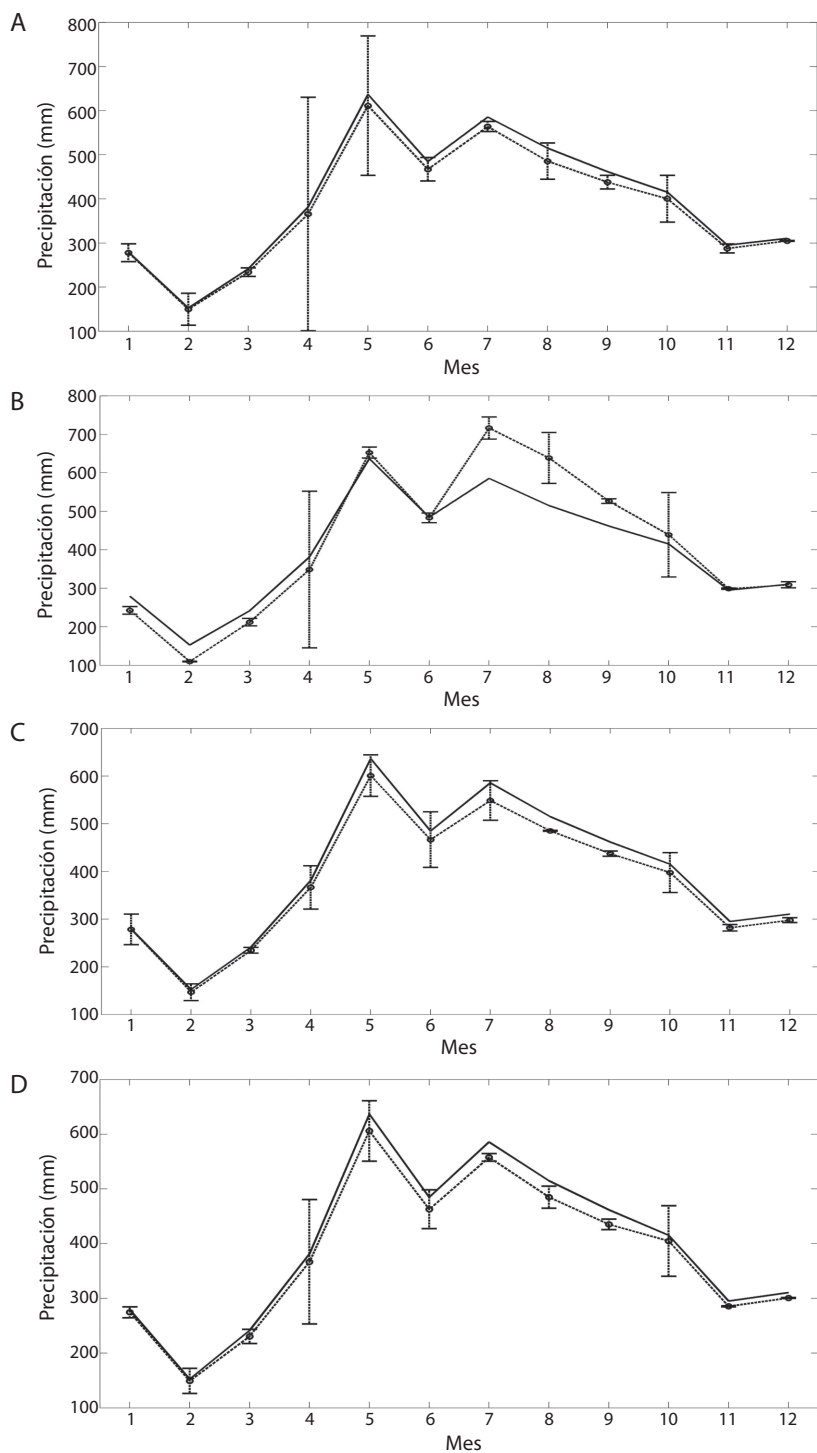


Fig. 12. Escenarios de cambio climático para la precipitación generados con la herramienta SDSM . El MCG es el HadCM3 forzado los escenarios socio-económicos A2 (A, B) y B2 (C, D). Las configuraciones utilizadas para el A2 son: (A) Condicional, con un cambio anual en el acumulado de -173.4 (-642.2, 295.3) mm y la (B) Incondicional, con un cambio

anual en el acumulado de 218.31 (-171.0, 607.6) mm. Con el escenario B2 y las configuraciones (C) Condicional, que presentó un cambio en el acumulado anual de -216,6 (-339.0, -94.2) mm y la (D) Incondicional, con un cambio anual del acumulado de -200.7 (-449.1, 47.7) mm. En cada figura, la línea continua es la línea base a partir de Alfaro (2008), la línea a trazos con círculos es el cambio en el acumulado para el horizonte temporal 2080 (2070-2099) y las líneas verticales es la desviación estándar.

Fig. 12. Rainfall climate change scenarios generated with the SDSM tool. The GCM is the HadCM3 forced with the socio-economic scenarios A2 (A, B) and B2 (C, D). The settings used are (A) Conditional, with an annual change in the accumulated rainfall of -173.4 (-642.2, 295.3) mm and (B) Unconditional, with an annual change of 218.31 (-171.0, 607.6) mm. With the same GCM forced with the B2 scenario and the settings (C) Conditional, showed a change in the annual accumulated rainfall of -216.6 (-339.0, -94.2) mm and (D) Unconditional showed an annual change of -200.7 (-449.1, 47.7) mm. In each figure, the solid line is the baseline from Alfaro (2008), the dashed line with circles is the cumulative change in the 2080 time horizon (2070-2099) and the vertical lines are their standard deviations.

(-642.2, 295.3) mm y de manera incondicional (Fig. 12b), se observó un posible aumento de este 218.31 (-171.0, 607.6) mm.

SDSM-HadCM3-B2: Los resultados de este experimento presentaron una tendencia hacia una disminución en el acumulado del ciclo anual de precipitación tanto de manera condicional (Fig. 12c) como incondicional (Fig. 12d), con valores de -216,6 (-339.0, -94.2) mm y -200.7 (-449.1, 47.7) mm respectivamente. Los valores del cambio mensual de cada uno de estos experimentos pueden ser consultados en el Cuadro 7 del Anexo B, tanto en su media como en su desviación estándar.

En general se encontró que en los meses donde se presentó mayor cambio del acumulado mensual de precipitación fueron de junio a octubre (Fig. 10a, b, 12b), mientras que una disminución de noviembre a mayo (Fig. 12a, c, d). Por último, las distribuciones de frecuencias de ambos experimentos con el MCG HadCM3 (no se muestran) no presentaron un cambio evidente tanto en la media como en la variabilidad. Los resultados del experimento SDSM-CGCM1-A1, tanto de forma condicional como incondicional, presentaron valores mucho mayores a los obtenidos anteriormente con las otras técnicas. En el segundo experimento SDSM-HadCM3, se encontró concordancia con los otros experimentos sólo en el caso del escenario SRES A2 configurado incondicionalmente, mientras que las otras configuraciones de este escenario condicionalmente y ambos casos del B2, mostraron discrepancias con los resultados de los experimentos anteriores,

evidenciando todos una tendencia a disminuir la precipitación anual.

DISCUSIÓN

Se compararon y revisaron escenarios de cambio climáticos utilizando distintas técnicas con el objetivo de evaluar posibles cambios de temperatura y precipitación en el PNIC. La estimación de los cambios en temperatura para el horizonte temporal de 2080, fueron consistentes con la idea del calentamiento global. En este sentido, el cambio en el promedio del ciclo anual refleja la tendencia positiva hallada en otros estudios como los elaborados por Lu (2002), Alvarado *et al.* (2005) y Meehl *et al.* (2007), en los cuales se ha calculado que el cambio sería de 1-3°C según el escenario socio-económico que se utilice. Tanto los experimentos forzados con SRES A2 (pesimista) y SRES B2 (optimista) presentaron un moderado calentamiento e incremento en la variabilidad, siendo el primero el que mostró mayor aumento, coherente con lo hallado también por Ruosteenoja *et al.* (2003). En el Anexo C se presentan los resultados obtenidos por Lu (2002) para la región que cubre la Isla del Coco con los escenarios SRES A2 y B2. Estos se calcularon para el invierno (DEF) y el verano (JJA) boreal.

La tendencia hacia posibles aumentos en el acumulado del ciclo anual de precipitación obtenida utilizando las herramientas MAGICC/SCENGEN-4.1 y PRECIS, es congruente con el posible aumento de temperatura. Temperaturas más altas sugieren más evaporación, aportando

más humedad a la atmósfera suprayacente, principalmente con su transporte, variable que fue identificada como mejor predictor por el SDSM. Sin embargo, esta tendencia no se replica firmemente en todos los MCG, sobre todo en el acumulado mensual de precipitación, lo que refleja la dependencia existente de los resultados con los MCG. En cuanto a la variabilidad, los resultados obtenidos con el PRECIS, indican posibles aumentos de ésta, tanto en precipitación como en temperatura, estos resultados combinados podrían afectar la biodiversidad del PNIC (MCCIP 2008, Loarie *et al.* 2009) y requieren un estudio posterior más detallado.

Por otra parte, utilizando el SDSM y el modelo CGCM1-A1, tanto de forma condicional como incondicional, los resultados muestran una similitud con lo descrito anteriormente, sin embargo estos exceden considerablemente los valores obtenidos en los demás escenarios. Estos productos son atípicos al compararlos con los otros presentados en este trabajo, ya que el MCG podría no estar capturando las principales características del clima en la región, el cual es un factor clave para la consideración de un escenario de cambio climático futuro (Amador & Alfaro 2009).

El experimento SDSM-HadCM3-A2, configurado condicionalmente mostró tendencia a disminuir el acumulado del ciclo anual, mientras que si la configuración es incondicional, el resultado es opuesto. Comparando esto con los productos derivados de los experimentos PRECIS-A2 y MAGICC/SCEGEN-4.1-A2, se encontró que estos estarían exhibiendo una relación lineal (incondicional) entre los predictores y los predictantes para la precipitación, como lo sugiere este tipo de configuración.

En los escenarios SDSM-HadCM3-B2, no se encontró una diferencia entre estas dos configuraciones, dado que se notó que el cambio en el acumulado del ciclo anual exhibe una disminución en ambas situaciones, contrario a lo obtenido en el ensayo MAGICC/SCENGEN-4.1-B2. Tal resultado no presentaría la relación lineal descrita anteriormente. Además, con este escenario no se encontró cambio ni en el promedio ni en la variabilidad

según las distribuciones de frecuencias obtenidas para los diferentes horizontes de tiempo descritos anteriormente.

Resumiendo los resultados para la variable precipitación, se encontró que para el horizonte temporal de 2080, sólo tres de los 10 experimentos mostraron una disminución del acumulado promedio anual (Fig. 12a, c, d), los siete restantes, mostraron un incremento (Fig. 3a, b, 6a, b, 10a, b, 12b). Sin embargo, de los primeros dos de ellos mostraron la posibilidad de un aumento (Fig. 12a, d) y de los segundos, cinco de ellos mostraron la posibilidad de una disminución (Fig. 3a, b, 6a, b, 12b), esto al considerar una desviación estándar alrededor del acumulado promedio anual. Lu (2002) encontró que casi todos los modelos durante JJA y DEF mostraban un aumento de la precipitación para el 2080. Cabe destacar aquí que Alfaro (2008) encontró que en promedio, más del 71% de la precipitación acumulada se da entre abril y octubre. Analizando los resultados presentados en el Anexo B, se observó que para finales del siglo XXI, 205 (59) de 264 de los resultados mensuales mostraron un aumento (una disminución) en el acumulado de la precipitación. Sin embargo, los diferentes valores mensuales en los experimentos, hacen que en algunos de ellos el acumulado anual refleje un aumento y en otros una disminución. Alvarado *et al.* (2005) reportó un incremento pequeño en el promedio del acumulado anual de precipitación alrededor del PNIC, para finales del siglo XXI. Este leve incremento en la precipitación anual también lo muestra Meehl *et al.* (2007) usando el escenario socio-económico A1B, en donde se observa que la región alrededor del Parque Nacional Isla del Coco se encuentra entre una zona de clara disminución de precipitación al norte y de claro aumento al sur, similar a lo reportado por Alvarado *et al.* (2005) para América Central, hecho que contribuye a dificultar el establecer un escenario de cambio con una tendencia clara alrededor de esa región. Meehl *et al.* (2007) también muestra una región de disminución de la nubosidad, un aumento en el ámbito diurno de la temperatura, un aumento en la evaporación y un aumento

del nivel del mar menor a la media global. Atención especial en este estudio reciben los resultados asociados al cambio en la variación mensual de la precipitación, ya que al analizar los resultados de los Cuadros 5 y 7 del Anexo B 74 (22) de 96 de los resultados mostraron un aumento (disminución).

Los resultados anteriores, reflejan una dependencia importante con el MCG y con el escenario socio-económico que se utilice. Según Schiermeier (2010), esto podría reflejar además la incertidumbre asociada a los MCG, a la técnica de reducción de escala y aquellas asociadas en las estimaciones de los gases de efecto invernadero, ya que no se puede determinar con certeza como van a cambiar las emisiones antropogénicas de estos gases. Además, el cambio climático no es sólo una cuestión provocada por la influencia del hombre sobre la naturaleza sino que también incluye variaciones naturales del sistema climático (Ruosteenoja *et al.* 2003).

Debe tomarse en cuenta que el PNIC se encuentra en una zona del Pacífico Tropical Este (Fiedler & Lavín 2006), donde la variabilidad del clima es dependiente del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) (e.g. Quirós-Badilla & Alfaro 2009). Tomando en cuenta la evidencia de cambios pasados, tanto en la ocurrencia, como en la magnitud del ENOS documentados por Trenberth *et al.* (2007), se observa que cambios en la evolución de El Niño perturban generalmente las Temperaturas Superficiales del Mar (TSM) hacia valores por arriba de lo normal en el Pacífico Oriental y Central ecuatorial y estos, tienen una tendencia a ser más prolongados y fuertes. Además, el ENOS involucra grandes intercambios de calor entre el océano y la atmósfera afectando la temperatura global (Wang & Fiedler 2006). Algunos de los extremos del ciclo hidrológico como inundaciones y sequías están asociados con el ENOS y podrían ser aptos para ser magnificados con el calentamiento global. Por ello, este factor es de considerable importancia ante los eventuales escenarios de cambio climático ya que este fenómeno podría inducir cambios

en los extremos de temperatura y precipitación en esta área protegida.

La necesidad de estudios de cambio climático y variabilidad climática en el PNIC es necesaria por la importancia que tiene ésta para el país y la región (e.g. Cortés 2008, Henderson *et al.* 2008). Es relevante llegar a entender en qué forma se está desarrollando este fenómeno, por ejemplo estudiar los cambios de extremos de precipitación y temperatura en el PNIC, si estos son semejantes a los que se han estado manifestando en las zonas continentales de América Central, como aquellos reportados por Aguilar *et al.* (2005), si se podrían intensificar como lo proponen Rauscher *et al.* (2008) en sus experimentos en los cuales utilizan un modelo acoplado océano-atmósfera forzado ante un escenario A1B, o si presentarían otro tipo de comportamiento, dado que estas manifestaciones del fenómeno del cambio climático, podrían presentar una expresión bastante local debido a la ubicación geográfica y a la morfología del PNIC.

Es de resaltar que el objetivo de este trabajo no era encontrar cual técnica es la mejor para generar escenarios de cambio climático, sino más bien, explorar y mostrar algunas de las técnicas y herramientas existentes para este tipo de análisis, ya que la no existencia de una estación meteorológica en el PNIC, con un registro de tiempo adecuado, dificulta la calibración y la interpretación de los escenarios generados. Por ello, contar con una base de datos océano-atmosféricos robusta en la zona del Pacífico Tropical Oriental, es importante para realizar este tipo de investigación en la región. Lo que ayudaría además y entre otras cosas, a proporcionar información para estudios futuros de validación de modelos numéricos como los MCG y realizar sugerencias sobre políticas de manejo y conservación (McClanahan *et al.* 2008). Adicionalmente, como lo han mostrado Alfaro (2008) y Maldonado & Alfaro (2010), la alta variabilidad climática en el PNIC, debido a su orografía, presenta distribuciones espaciales en precipitación y temperatura (además de las temporales), causando que las conclusiones

obtenidas con los escenarios analizados tengan serias limitaciones en este sentido.

AGRADECIMIENTOS

A los proyectos: Interacciones Océano-Atmósfera y la Biodiversidad Marina de la Isla del Coco, Costa Rica” (808-B0-654-UCR) financiado por CONARE y “Conocimiento y gestión de los ambientes marinos y coralinos del Área de Conservación Marina Isla del Coco” (808-A7-520, actual, 808-A7-401, anterior-UCR), financiado por el Fondo Francés para el Medio Ambiente Mundial y la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica. A esta última se le agradece también su apoyo a través de las proyectos 808-A9-180, 808-A9-070, 805-A9-742, 805-A8-606, 805-A9-532 y 808-B0-092, desarrolladas en el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología y en el Centro de Investigaciones Geofísicas, UCR. Al Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, por facilitar los datos de la estación meteorológica automática que funcionó en el Parque Nacional Isla del Coco. A Arnoldo Bezanilla del Centro de Física Atmosférica del Instituto de Meteorología de La Habana, Cuba, por su ayuda con la información del modelo PRECIS.

RESUMEN

Se revisaron y compararon escenarios de cambio climáticos utilizando distintas técnicas (MAGICC/SCENGEN, PRECIS and SDSM) con el objetivo de evaluar posibles cambios de temperatura y precipitación en el Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica, para el horizonte temporal del 2080 (2070-2099). Los resultados reflejan una dependencia importante con el Modelo de Circulación General, el método de ajuste de escala y con el escenario socio-económico usado. Los escenarios obtenidos reflejan un aumento en la media y la varianza del ciclo anual de la temperatura superficial del aire, siendo consistentes con un calentamiento global futuro. Los resultados para la precipitación difieren entre sí. Se observó que la mayoría de los escenarios analizados proyectan aumentos en el acumulado medio del ciclo anual, sin embargo, al considerar su variabilidad, no fue posible establecer una tendencia clara hacia un aumento o una disminución, debido principalmente a que casi todos los escenarios estudiados proyectan un incremento en la variabilidad del acumulado anual de la precipitación.

Palabras Clave: Cambio Climático, Isla del Coco, Modelos de Circulación General, Reducción de Escala, Escenarios Cambio Climático, América Central.

REFERENCIAS

- Aguilar, E. y 34 autores más. 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *J. Geophys. Res.* 110, D23107, doi:10.1029/2005JD006119.
- Alfaro, E. 2008. Ciclo diario y anual de variables troposféricas y oceánicas en la Isla del Coco, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 56 (Supl. 2): 19-29.
- Alfaro, E. & J. Amador. 1996. El Niño-Oscilación del Sur y algunas series de temperatura máxima y brillo solar en Costa Rica. *Tóp. Meteor. Oceanogr.* 3: 19-26.
- Alfaro, E. & J. Amador. 1997. Variabilidad y cambio climático en algunos parámetros sobre Costa Rica y su relación con fenómenos de escala sinóptica y planetaria. *Tóp. Meteor. Oceanogr.* 4: 51-62.
- Alvarado, L.F., M. Campos, E. Zárate, P. Ramírez & A. Bonilla. 2005. Escenarios de Cambio Climático para Centroamérica. Documento Técnico, CRRH-UCR-CIGEFI-AIACC-LA06. San José, Costa Rica. 57 p. (Consultado: 17 de mayo 2010, <http://www.aguayclima.com/biblioteca.htm>).
- Amador, J.A. & E.J. Alfaro. 2009. Métodos de reducción de escala: Aplicaciones al tiempo, clima, variabilidad climática y cambio climático. *Rev. Iberoamer. Econ. Ecol.* 11: 39-52.
- Campos, M. 1998. El Cambio Climático en Centroamérica. Documento Técnico. CRRH-SICA. 16 p. (Consultado: 06 de mayo de 2010, <http://www.aguayclima.com/clima/cambioclimatico.htm>).
- Cortés, J. 2008. Historia de la investigación marina de la Isla del Coco, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 56 (Supl. 2): 1-18.
- Echeverría, B.J. 2004. Selección de escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero para desarrollar escenarios de cambio climático en Centroamérica. Documento Técnico, CRRH-UCR-CIGEFI-AIACC-LA06. San José, Costa Rica. 12 p. (Consultado: 17 de mayo de 2010, <http://www.aguayclima.com/biblioteca.htm>).
- Fiedler, P.C. & M.F. Lavín. 2006. Introduction: A review of eastern tropical Pacific oceanography. *Progr. Oceanogr.* 69: 94-100.
- Gleick, P.H. y 254 autores más. 2010. Climate change and the integrity of science. *Science* 238: 689-690.
- Gómez, I. & W. Fernández. 1996. Variación interanual de la temperatura en Costa Rica. *Tóp. Meteor. Oceanogr.* 3: 27-44.

- Henderson, S., A.M. Rodríguez & R. McManus. 2008. A new future for marine conservation. Eastern Tropical Pacific Seascape. Documento Técnico. 4 p. (Consultado: 6 de mayo de 2010, <http://www.conservation.org/>).
- IMN. 2008. Segunda Comunicación sobre Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica. Documento Técnico. MINAET, IMN, PNUD, CRRH. San José, Costa Rica. 75 p. (Consultado: 17 de mayo de 2010, <http://www.imn.ac.cr>).
- IPCC. 2000. Special Report on Emission Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change, La Haya, Holanda. (Consultado: 8 de julio de 2010, http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/).
- IPCC. 2007. Fourth Assessment Report, Intergovernmental Panel on Climate Change (Consultado: 20 de mayo de 2010, <http://www.ipcc.ch/>).
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa & R. Reynolds. 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 77: 437-471.
- Lizano, O.G. 2001. Batimetría de la plataforma insular alrededor de la Isla del Coco, Costa Rica, Centro América. *Rev. Biol. Trop.* 49:163-170.
- Loarie, S.R., P.B. Duffy, H. Hamilton, G.P. Asner, C.B. Field & D. Ackerly. 2009. The velocity of climate change. *Nature* 462: 1052-1055.
- Lu, X. 2002. Diagnostic analysis of GCM simulations driven by SRES A2 and B2 emissions scenarios. Technical Document prepared for the AIACC regional study teams. 14 p. (Consultado: 20 de mayo de 2010, <http://www.aiaccproject.org/resources/resources.html>).
- Lu, X. & M. Hulme. 2002. A Short Note on Scaling GCM Climate Response Patterns. Technical Document prepared for the AIACC regional study teams. 7 p. (Consultado: 20 de mayo de 2010, <http://www.aiaccproject.org/resources/resources.html>).
- Magaña, V.O., J.A. Amador & S. Medina. 1999. The midsummer drought over Mexico and Central America. *J. Clim.* 12: 1577-1588.
- Magrin, G., C. Gay García, D. Cruz Choque, J.C. Giménez, A.R. Moreno, G.J. Nagy, C. Nobre & A. Villamizar. 2007. Latin America. p. 581-615. *In* M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson (Eds.). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*, Cambridge University, Cambridge, Reino Unido.
- Maldonado, T. & E. Alfaro. 2010. Comparación de las salidas del Modelo MM5v3 con datos observados en la Isla del Coco. *Tecnología en Marcha* 23: 3-28.
- McClanahan, T.R., J.E. Cinner, J. Maina, N.A.J. Graham, T.M. Daw, S.M. Stead, A. Wamukota, K. Brown, M. Ateweberhan, V. Venus & N.V.C. Polunin. 2008. Conservation action in a changing climate. *Conserv. Lett.* 1: 53-59.
- Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver & Z.-C. Zhao. 2007. Global Climate Projections. p. 748-845. *In* S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (Eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University, Cambridge, Reino Unido.
- MCCIP 2008. Marine Climate Change Impacts Annual Report Card 2007-2008. *In*: J.M. Baxter, P.J. Buckley & C.J. Wallace (Eds.), Summary Report, MCCIP, Lowestoft, 8 p. (Consultado: 14 de mayo de 2010, <http://www.mccip.org.uk/arc>).
- Mimura, N., L. Nurse, R.F. McLean, J. Agard, L. Briguglio, P. Lefale, R. Payet & G. Sem. 2007. Small islands. p. 687-716. *In*: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson (Eds.). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University, Cambridge, Reino Unido.
- MINAE. 2005. Plan estratégico Isla del Coco 2005-2010. Documento Técnico. Área de Conservación Marina Isla del Coco (ACMIC), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), San José, Costa Rica. 17 p.
- Moss, R.H., J.A. Edmonds, K.A. Hibbard, M.R. Manning, S.K. Rose, D.P. van Vuuren, T.M. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G.A. Meehl, J.F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S.J. Smith, R.J. Stouffer, A.M. Thomson, J.P. Weyant & T.J. Wilbanks. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assesment. *Nature* 463: 747-756.
- Patz, J., D. Campbell-Lendrum, T. Holloway & J.A. Foley. 2005. Impact of regional climate change on human health. *Nature* 438: 310-317.
- Polo-Cheva, D., W. Alfaro & V. Umaña. 2008. Cambio Climático en Mesoamérica: Temas para la creación de Capacidades y la Reducción de Vulnerabilidad. Informe de Mesoamérica. Documento Técnico. IDRC, DFID-UK, CLACDS, INCAE. 36 p. (Consultado: 26 de mayo de 2010, <http://conocimiento.incae.edu/ES/clacds/nuestras-investigaciones/>).
- Quirós-Badilla, E. & E. Alfaro. 2009. Algunos aspectos relacionados con la variabilidad climática en la Isla del Coco, Costa Rica. *Rev. Climat.* 9: 33-34.

- Ramírez, P. 2005. Climate, Climate Variability and Climate Change in Central America. Tropical Forest and Climate Change Adaptation Project. Consultancy Report. Documento Técnico. 48 p. (Consultado 26 de mayo de 2010, http://www.cifor.cgiar.org/trofica/_ref/home/index.htm).
- Rauscher, S.A., F. Giorgi, N.S. Diffenbaugh & A. Seth. 2008. Extensions and intensification of the Meso-American mid-summer drought in the twenty-first century. *Clim. Dyn.* 31: 551-571.
- Ruosteenoja, K., T.R. Carter, K. Jylhä & H. Tuomenvirta. 2003. Future climate in world regions: an intercomparison of model based projections for the new IPCC emissions scenarios. The Finnish Environment 644, Finnish Environment Institute, Helsinki, Finlandia. 83 p.
- Santer, B.D., T.M.L. Wigley, M.E. Schlesinger & J.F.B. Mitchell. 1990. Developing climate scenarios from equilibrium GCM results. Rep. No. 47, Max-Planck-Institut-für-Meteorologie, Hamburg. 29 p.
- Schiermeier, Q. 2010. The real holes in climate science. *Nature* 463: 284-287.
- Taylor, M.A., A. Centella, J. Charley, I. Borrajeró, A. Bezanilla, J. Campbell, R. Rivero, T.S. Stephenson, F. Whyte & R. Watson. 2007. Glimpses of the Future: A Briefing from the PRECIS Caribbean Climate Change Project. Documento Técnico. Caribbean Community Climate Change Centre, Belmopan, Belize. 24 p.
- Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden & P. Zhai. 2007. Observations: surface and atmospheric climate change. p. 237-336. *In*: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (Eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University, Cambridge, Reino Unido.
- Wang, C. & P. Fiedler. 2006. ENSO variability and the eastern tropical Pacific: A review. *Progr. Oceanogr.* 69: 239-266.
- Wigley, T. 2004a. The MAGICC/SCENGEN 4.1: Technical Manual. 12 p. (Consultado: 20 de mayo de 2010, <http://www.cgd.ucar.edu/cas/wigley/magicc/>).
- Wigley, T. 2004b. The MAGICC/SCENGEN 4.1: User Manual. 24 p. (Consultado: 20 de mayo de 2010, <http://www.cgd.ucar.edu/cas/wigley/magicc/>).
- Wilby, R.L. & C.W. Dawson. 2007. SDSM 4.2 - A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. Tech. Note, UK. 94 p. (Consultado: 6 de mayo de 2010, <https://co-public.lboro.ac.uk/cocwd/SDSM/>).
- Wilks, D.S. 2006. Times Series. p. 337-400. *In*: R. Dmowska, D. Hartmann & H.T. Rossby (Eds). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic, San Diego, California.

ANEXO A

En este anexo se presenta la descripción de los escenarios de emisiones hechas en los documentos elaborados por Echeverría (2004) y Alvarado *et al.* (2005), mencionadas en el presente trabajo. Lo anterior con el objetivo de facilitarle al lector la comprensión de cuáles fueron las suposiciones socioeconómicas futuras que gobiernan dichas emisiones, para diversos agentes contaminantes importantes en el clima.

A1: Echeverría (2004) plantea que este escenario describe a futuro un rápido crecimiento económico, baja tasa de crecimiento de la población y rápido cambio hacia tecnologías más eficientes. Se da una convergencia entre regiones y se reducen sustancialmente las diferencias en ingreso personal. La familia A1 es utilizada para explorar distintos cambios tecnológicos en cuanto a la provisión de energía: A1F (uso futuro intensivo de combustibles fósiles), A1B (uso balanceado de combustibles fósiles) y A1T (predominantemente no fósil, debido al uso de otras tecnologías). En resumen, estos escenarios describen un rápido crecimiento económico y una generalización del estado de bienestar.

A2: según describen Alvarado *et al.* (2005), el escenario A2 fue desarrollado usando el modelo ASF (Atmospheric Stabilization Framework Model) y para abreviar se le denomina algunas veces como el escenario A2-ASF. La cuantificación total del escenario A2-ASF está basada en las siguientes suposiciones: a) Crecimiento demográfico relativamente lento, al igual que la convergencia en los patrones de fertilidad regional, b) convergencia relativamente lenta de las diferencias del crecimiento económico inter-regional per cápita, c) mejoramiento relativamente lento de la eficiencia en el suministro y uso final de la energía (comparado con otras familias), d) atraso en la adopción y desarrollo de energías renovables y e) no hay imposición de barreras al uso de la energía nuclear.

La familia y escenarios A2 describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones y el crecimiento económico por habitante, así como el cambio tecnológico, están más fragmentados y son más lentos que en otras familias.

B1: según Echeverría (2004) la descripción hecha por el escenario B1, es la de un mundo convergente, con bajo crecimiento de la población y con rápidos cambios en las estructuras económicas. Ocurre un movimiento hacia una economía basada en los servicios y en la tecnología de la información y se reduce la intensidad en el uso de materiales, y se introducen tecnologías limpias y eficientes. El énfasis es en soluciones globales para la sostenibilidad ambiental, económica y social, incluyendo aumentos en la equidad. En resumen presenta una convergencia con énfasis en lo ambiental a escala global.

B2: según la descripción hecha por Alvarado *et al.* (2005), el B2 es otro escenario marcador que fue desarrollado usando el modelo MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact), denominado como B2-MESSAGE, el cual es un conjunto integrado de modelos de optimización y simulación del sector energía. Comparado con otras familias (e.g. A1 y B1), el B2 se caracteriza por cambios más graduales y desarrollos menos extremos en todos los aspectos, incluyendo geopolíticos, demográficos, crecimiento de la productividad, dinámica tecnológica, etc. La familia y escenarios B2 describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un escenario cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las familias B1 y A1. Orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional.

ANEXO B

CUADRO 1

Resultados de los experimentos realizados con la herramienta MAGICC-SCENGEN-4.1 para el horizonte de tiempo 2080 (2070-2099). Para todos los modelos se muestran los porcentajes de cambio y el porcentaje de error mensuales de precipitación calculados mensualmente para el escenario A2

TABLE 1

Results of experiments using the MAGICC-SCENGEN-4.1 tool for the 2080 (2070-2099) time horizon. The monthly rainfall percentages of change and error rates are calculated for the A2 scenario and for all models

Modelo	Enero		Febrero		Marzo		Abril	
	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error
CSI296	0.2665	-15.72	0.3624	-13.46	0.2602	-28.99	0.062	-59.06
CCC199	0.1821	23.58	-0.12678	66.83	0.4389	18.48	0.2638	-18.73
HAD3	-0.4156	-78.6	-0.4435	-74.52	0.3651	-63.77	0.2586	-47.89
HAD295	0.2399	8.73	0.4588	-34.13	0.2527	-56.52	0.4365	-58.76
ECH3	0.0923	131.44	0.1539	170.19	0.1535	147.1	0.1133	16.47
ECH4	0.1676	-60.7	0.1687	-18.75	0.3195	10.51	0.0693	6.95
GISS95	0.6793	-44.98	0.7941	-30.77	0.3802	-8.7	-0.0071	-42.45

	Mayo		Junio		Julio		Agosto	
	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error
CSI296	-0.0278	-70.06	0.1795	-73.84	0.0983	-70.53	-0.0113	-59.64
CCC199	-0.1376	-37.35	-0.2421	-53.59	-0.2363	-55.71	0.0943	-54.72
HAD3	0.1061	-25.55	-0.08	4.57	-0.1182	-6.32	-0.2377	-9.33
HAD295	0.053	-26.77	0.0972	-8.9	0.0274	-12.55	0.0174	-1.97
ECH3	-0.1938	-2.85	-0.1335	8.98	0.1022	-25.43	-0.2115	-20.45
ECH4	-0.3813	-31.73	0.2676	-46.26	0.1302	-35.47	0.1441	-28.88
GISS95	0.1372	-63.06	0.1946	-60.28	0.1449	-59.92	-0.0336	-52.83

	Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error
CSI296	-0.0754	-53.12	0.0756	-33.08	0.1062	-36.07	0.0963	-24.14
CCC199	0.1468	-60.96	-0.1347	-0.1173	-0.1173	-48.95	-0.112	-8.46
HAD3	-0.2096	-19.28	-0.2323	25.51	0.1267	-18.52	-0.5094	-54.86
HAD295	-0.1381	-12.8	0.0002	-6.94	0.1191	-34.62	0.0867	-4.39
ECH3	-0.3862	-48.4	0.0111	21.1	0.0099	21.1	0.0124	106.9
ECH4	-0.0477	-33.2	0.1771	-48.45	0.374	-65.38	0.2012	-67.08
GISS95	-0.1332	-58.8	-0.0681	-48.35	0.0632	-49.11	0.3255	-46.39

CUADRO 2

Resultados de los experimentos realizados con la herramienta MAGICC-SCENGEN-4.1 para el horizonte de tiempo 2080 (2070-2099). Para todos los modelos se muestran los porcentajes de cambio y el porcentaje de error mensuales de precipitación calculados mensualmente para el escenario B2

TABLE 2

Results of experiments using the MAGICC-SCENGEN-4.1 tool for the 2080 (2070-2099) time horizon. The monthly rainfall percentages of change and error rates are calculated for the B2 scenario and for all models

Modelo	Enero		Febrero		Marzo		Abril	
	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error
CSI296	0.2139	-15.72	0.2369	-13.46	0.1392	-28.99	0.0649	-59.06
CCC199	0.153	23.58	-0.1156	66.83	0.268	18.48	0.2103	-18.73
HAD3	-0.2776	-78.6	-0.3438	-74.52	0.2148	-63.77	0.2066	-47.89
HAD295	0.1946	8.73	0.3063	-34.13	0.1338	-56.52	0.3347	-58.76
ECH3	0.0883	131.44	0.0867	170.19	0.0624	147.1	0.1019	16.47
ECH4	0.1426	-60.7	0.0973	-18.75	0.182	10.51	0.0702	6.95
GISS95	0.5113	-44.98	0.5479	-30.77	0.1829	-8.7	0.0151	-42.45

	Mayo		Junio		Julio		Agosto	
	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error
CSI296	-0.0028	-70.06	0.1871	-73.84	0.06	-70.53	-0.0096	-59.64
CCC199	-0.0819	-37.35	-0.1166	-53.59	-0.1811	-55.71	0.0665	-54.72
HAD3	0.0937	-25.55	0.0002	4.57	-0.096	-6.32	-0.1727	-9.33
HAD295	0.0554	-26.77	0.1278	-8.9	0.0089	-12.55	0.0111	-1.97
ECH3	-0.1224	-2.85	-0.0369	8.98	0.0628	-25.43	-0.1539	-20.45
ECH4	-0.2575	-31.73	0.2506	-46.26	0.083	-35.47	0.1023	-28.88
GISS95	0.1161	-63.06	0.198	-60.28	0.0936	-59.92	-0.257	-52.83

	Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error	% Cambio	% Error
CSI296	-0.0494	-53.12	0.0424	-33.08	0.0966	-36.07	0.1126	-24.14
CCC199	0.1107	-60.96	-0.1091	-0.1173	-0.0644	-48.95	0.0352	-8.46
HAD3	-0.146	-19.28	-0.1794	25.51	0.1114	-18.52	-0.3238	-54.86
HAD295	-0.0945	-12.8	-0.0119	-6.94	0.106	-34.62	0.1057	-4.39
ECH3	-0.2733	-48.4	-0.004	21.1	0.0272	21.1	0.0521	106.9
ECH4	-0.0294	-33.2	0.1156	-48.45	0.2896	-65.38	0.1882	-67.08
GISS95	-0.091	-58.8	-0.0611	-48.35	0.0657	-49.11	0.2777	-46.39

CUADRO 3

Resultados de los experimentos realizados con la herramienta MAGICC-SCENGEN-4.1 para el horizonte de tiempo 2080 (2070-2099). Para todos los modelos se muestran los porcentajes de cambio y el porcentaje de error mensuales de temperatura calculados mensualmente para el escenario A2

TABLE 3

Results of experiments using the MAGICC-SCENGEN-4.1 tool for the 2080 (2070-2099) time horizon. The monthly temperature percentages of change and error rates are calculated for the A2 scenario and for all models

Modelo	Enero		Febrero		Marzo		Abril	
	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error
CSI296	1.95	-0.27	1.86	0.36	1.84	0.2	1.92	-0.34
CCC199	1.85	0.45	2.02	0.91	2.1	0.81	2.1	0.71
HAD3	1.95	0.86	2.05	1.06	2.28	0.96	2.31	1.05
HAD295	2.39	0.29	2.23	0.89	2.51	0.8	2.69	0.43
ECH3	1.7	0.83	1.92	0.94	1.74	0.61	1.81	0.2
ECH4	1.7	1.83	2.12	2.09	1.58	1.62	2.18	0.57
GISS95	2.34	0.65	2.41	1.14	2.54	1.1	2.77	0.79

	Mayo		Junio		Julio		Agosto	
	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error
CSI296	0.196	-0.68	2.03	-0.09	2.32	-0.1	2.21	0.05
CCC199	2.16	0.77	2.06	1.24	2.06	0.97	2.11	0.81
HAD3	2.34	1.31	2.45	1.86	2.5	1.84	2.4	2.18
HAD295	2.99	-0.61	2.81	-0.59	2.68	-0.49	2.58	-0.27
ECH3	1.85	0.19	2.16	0.64	2.29	0.43	2.08	0.48
ECH4	2.71	-0.38	2.91	0.19	2.96	0.35	2.86	0.62
GISS95	3.12	0.69	3.12	1.23	2.78	1.14	2.6	1.07

	Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error
CSI296	2.22	0.01	2.24	-0.37	2.24	-0.47	2.17	-0.17
CCC199	2.17	0.75	2.11	0.68	2	0.44	1.83	0.51
HAD3	2.3	2.48	2.32	2.39	2.13	2.24	2.09	1.73
HAD295	2.6	-0.12	2.53	-0.11	2.34	0.06	2.22	0.15
ECH3	2.14	0.76	2.24	0.92	1.77	0.81	1.65	1.01
ECH4	2.55	0.87	2.4	1	2.08	1.21	1.65	1.71
GISS95	2.48	1.23	2.29	1.23	2.31	1.22	2.27	0.95

CUADRO 4

Resultados de los experimentos realizados con la herramienta MAGICC-SCENGEN-4.1 para el horizonte de tiempo 2080 (2070-2099). Para todos los modelos se muestran los porcentajes de cambio y el porcentaje de error mensuales de temperatura calculados mensualmente para el escenario B2

TABLE 4

Results of experiments using the MAGICC-SCENGEN-4.1 tool for the 2080 (2070-2099) time horizon. The monthly temperature percentages of change and error rates are calculated for the B2 scenario and for all models

Modelo	Enero		Febrero		Marzo		Abril	
	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error
CSI296	1.5	-0.27	1.34	0.36	1.36	0.2	1.43	-0.34
CCC199	1.43	0.45	1.45	0.91	1.55	0.81	1.56	0.71
HAD3	1.5	0.86	1.47	1.06	1.68	0.96	1.71	1.05
HAD295	1.82	0.29	1.6	0.91	1.85	0.81	1.99	0.71
ECH3	1.32	0.83	1.38	0.94	1.29	0.61	1.36	0.2
ECH4	1.32	1.83	1.53	2.09	1.18	1.62	1.62	0.57
GISS95	1.78	0.65	1.73	1.14	1.87	1.1	2.05	0.79

	Mayo		Junio		Julio		Agosto	
	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error
CSI296	1.438	-0.68	1.5	-0.09	1.73	-0.1	1.96	0.05
CCC199	1.63	0.77	1.52	1.24	1.54	0.97	1.62	0.81
HAD3	1.76	1.31	1.8	1.86	1.86	1.84	1.82	2.18
HAD295	2.22	0.77	2.06	1.24	2.06	-0.49	2.11	2.18
ECH3	1.4	0.19	1.59	0.64	1.71	0.43	1.6	0.48
ECH4	2.02	-0.38	2.13	0.19	2.2	0.35	2.16	0.62
GISS95	2.32	0.69	2.28	1.23	2.07	1.14	1.97	1.07

	Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error	Cambio Temp	% Error
CSI296	1.69	0.01	1.7	-0.37	1.7	-0.47	1.61	-0.17
CCC199	1.65	0.75	1.61	0.68	1.53	0.44	1.36	0.51
HAD3	1.74	2.48	1.75	2.39	1.62	2.24	1.55	1.73
HAD295	2.17	-0.12	2.11	-0.11	2	0.44	1.64	0.51
ECH3	1.63	0.76	1.7	0.92	1.36	0.81	1.23	1.01
ECH4	1.93	0.87	1.81	1	1.59	1.21	1.23	1.71
GISS95	1.87	1.23	1.74	1.23	1.75	1.22	1.68	0.95

CUADRO 5

Cambios en la anomalía de precipitación para el horizonte de tiempo 2080 (2070-2099) obtenidos del modelo regional PRECIS. usando los escenarios socioeconómicos A2 y B1 y el MCG HadAm3H. En paréntesis la desviación estándar del horizonte temporal 2020 (2011-2039)

TABLE 5

Changes in precipitation anomalies for the 2080 (2070-2099) time horizon. from PRECIS regional model using A2 and B1 socio-economic scenarios and the HadAM3H GCM. In parentheses are the standard deviations for 2020 (2011-2039) time horizon

Modelo	Enero		Febrero		Marzo		Abril	
	mm/día	Des Est	mm/día	Des Est	mm/día	Des Est	mm/día	Des Est
	0.5655	2.0086 (0.5458)	10,403	1.8637 (0.4980)	11,738	1.6049 (0.4376)	11,514	3.323 (0.9033)
	0.3438	1.2208 (0.4921)	0.6321	1.1337 (0.4477)	0.7141	0.976 (0.3931)	0.7	2.0211 (0.8103)
	Mayo		Junio		Julio		Agosto	
	mm/día	Des Est	mm/día	Des Est	mm/día	Des Est	mm/día	Des Est
HadAm3H-A2	16,652	2.002 (0.5310)	12,641	2.6029 (0.6930)	21,645	2.8464 (0.7440)	1,907	2.6757 (0.7285)
HadAm3H-B1	10,131	1.2172 (0.4776)	0.7672	1.582 (0.6228)	13,162	1.7293 (0.6687)	11,862	1.6257 (0.6349)
	Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	mm/día	Des Est	mm/día	Des Est	mm/día	Des Est	mm/día	Des Est
HadAm3H-A2	-0.5028	2.9344 (0.7971)	22,855	3.4989 (0.9403)	30,966	4.0522 (1.0884)	27,352	3.2952 (0.8969)
HadAm3H-B1	-0.3048	1.7833 (0.7142)	13,893	2.1272 (0.8473)	18,821	2.4638 (0.9770)	16,631	2.0017 (0.8070)

CUADRO 6

Cambios en la anomalía de temperatura para el horizonte de tiempo 2080 (2070-2099) obtenidos del modelo regional PRECIS. usando los escenarios socioeconómicos A2 y B1 y el MCG HadAm3H. En paréntesis la desviación estándar del horizonte temporal 2020 (2011-2039)

TABLE 6

Changes in temperature anomalies for the 2080 (2070-2099) time horizon. from PRECIS regional model using A2 and B1 socio-economic scenarios and the HadAM3H GCM. In parentheses are the standard deviations for 2020 (2011-2039) time horizon

Modelo	Enero		Febrero		Marzo		Abril	
	Cambio Temp.	Des. Est.	Cambio Temp.	Des. Est.	Cambio Temp.	Des. Est.	Cambio Temp.	Des. Est.
HadAm3H-A2	30,228	0.4046 (0.0978)	29,345	0.5066 (0.1215)	29,666	0.3877 (0.0949)	31,407	0.3571 (0.0866)
HadAm3H-B1	18,379	0.2467 (0.0978)	17,834	0.3078 (0.1215)	18,045	0.2354 (0.0949)	19,093	0.2179 (0.0866)
	Mayo		Junio		Julio		Agosto	
	Cambio Temp.	Des. Est.	Cambio Temp.	Des. Est.	Cambio Temp.	Des. Est.	Cambio Temp.	Des. Est.
HadAm3H-A2	31,493	0.4124 (0.0994)	32,248	0.4746 (0.1142)	31,897	0.4476 (0.1054)	31,762	0.4212 (0.1011)
HadAm3H-B1	19,134	0.2510 (0.0994)	1,961	0.2877 (0.1142)	19,397	0.2710 (0.1054)	1.93	0.2557 (0.1011)
	Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	Cambio Temp.	Des. Est.	Cambio Temp.	Des. Est.	Cambio Temp.	Des. Est.	Cambio Temp.	Des. Est.
HadAm3H-A2	31,914	0.427 (0.1044)	30,624	0.4325 (0.1016)	29,897	0.3733 (0.0916)	2,829	0.3528 (0.0834)
HadAm3H-B1	19,397	0.2586 (0.1044)	18,603	0.2624 (0.1016)	18,179	0.2272 (0.0916)	17,203	0.2145 (0.0834)

CUADRO 7

Cambios en la anomalía de precipitación para el horizonte de tiempo 2080 (2070-2099) calculadas utilizando la herramienta SDSM. los escenarios socioeconómicos A2 y B2 con el MCG HadCM3 y el A1 con el CGCM. En paréntesis la desviación estándar

TABLE 7

Changes in precipitation anomalies for the 2080 (2070-2099) time horizon. using the SDSM tool for A2 and B2 socio-economic scenarios for the HadCM3 MCG and A1 for CGCM. In parentheses the standard deviation of model climatology (1961-1990)

Experimento	Configuración	Enero		Febrero		Marzo		Abril	
		mm/día	Des Est	mm/día	Des Est	mm/día	Des Est	mm/día	Des Est
HadCM3-A2	Condicional	63,956	0.1274 (0.1563)	53,236	0.1422 (0.1017)	59,094	0.158 (0.1469)	75,414	0.2463 (0.1287)
HadCM3-B2	Condicional	64,902	0.1222 (0.1731)	53,364	0.1245 (0.1539)	59,488	0.1782 (0.1703)	74,838	0.1685 (0.1457)
CGCM-A1	Condicional	83,137	0.1432 (0.1864)	81,823	0.1652 (0.1774)	101,799	0.1347 (0.1808)	126,744	0.213 (0.1874)
HadCM3-A2	Incondicional	64,841	0.1706 (0.1874)	53,486	0.1842 (0.1862)	60,485	0.1287 (0.1393)	75,408	0.2273 (0.1336)
HadCM3-B2	Incondicional	64,239	0.141 (0.1553)	54,864	0.1566 (0.1251)	5,966	0.118 (0.1072)	7,559	0.1827 (0.1312)
CGCM-A1	Incondicional	130,939	0.1816 (0.1796)	140,244	0.1596 (0.1625)	191,901	0.1819 (0.1465)	239,485	0.1914 (0.1726)
		Mayo		Junio		Julio		Agosto	
		mm/día	Des Est	mm/día	Des Est	mm/día	Des Est	mm/día	Des Est
HadCM3-A2	Condicional	69,925	0.2092 (0.1276)	68,297	0.181 (0.1498)	72,117	0.1997 (0.1866)	71,352	0.2011 (0.1538)
HadCM3-B2	Condicional	69,008	0.1923 (0.1634)	67,876	0.2044 (0.1402)	71,993	0.1691 (0.2269)	72,788	0.1507 (0.1495)
CGCM-A1	Condicional	105,815	0.1694 (0.2066)	94,079	0.1767 (0.1725)	130,939	0.1767 (0.2054)	113,835	0.2238 (0.1608)
HadCM3-A2	Incondicional	71,655	0.1315 (0.1243)	68,313	0.1533 (0.1701)	7,264	0.1959 (0.1665)	73,296	0.2214 (0.1483)
HadCM3-B2	Incondicional	70,396	0.2737 (0.2236)	69,036	0.1366 (0.1895)	73,545	0.1523 (0.1592)	73,353	0.2553 (0.2219)
CGCM-A1	Incondicional	211,304	0.1732 (0.1378)	200,509	0.1687 (0.1297)	229,827	0.3141 (0.1590)	271,827	0.2424 (0.2195)
		Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
		mm/día	Des Est	mm/día	Des Est	mm/día	Des Est	mm/día	Des Est
HadCM3-A2	Condicional	76,196	0.1364 (0.1678)	82,391	0.1633 (0.2306)	87,776	0.1698 (0.1087)	83,569	0.1856 (0.1919)
HadCM3-B2	Condicional	76,388	0.2078 (0.1948)	82,518	0.2532 (0.2057)	87,621	0.2086 (0.1511)	84,371	0.1965 (0.1643)
CGCM-A1	Condicional	99,477	0.1989 (0.1841)	90,107	0.2187 (0.1875)	94,008	0.209 (0.1921)	99,102	0.221 (0.1791)
HadCM3-A2	Incondicional	7,825	0.1714 (0.1848)	83,142	0.2188 (0.1364)	87,722	0.1939 (0.2151)	83,272	0.2612 (0.1993)
HadCM3-B2	Incondicional	7,722	0.2393 (0.2144)	84,152	0.1916 (0.1414)	8,859	0.15 (0.1418)	85,466	0.1801 (0.1758)
CGCM-A1	Incondicional	247,798	0.1564 (0.1417)	198,884	0.2204 (0.1994)	189,548	0.1817 (0.1398)	184,378	0.2519 (0.1257)

ANEXO C

Los resultados de Lu (2002), para la creación de los escenarios de cambio climático, son parte de los resultados del proyecto “Evaluación de los impactos y medidas de adaptación para el sector de recursos hídricos debido a eventos extremos bajo condiciones de cambio climático en América Central” (805-A2-156-UCR) financiado por la agencia AIACC (LA06, <http://www.aiaccproject.org/>, última visita el 20.05.2010). En este proyecto se analizaron las salidas de diversos modelos numéricos en Mesoamérica, con resolución de 2.5° de latitud por 2.5° de longitud, para las variables de precipitación y temperatura superficial del aire durante junio-julio-agosto (JJA) y diciembre-enero-febrero (DEF). Como horizonte de tiempo se estableció el año 2080 (que abarca del año 2070 al 2099), y los escenarios socioeconómicos utilizados fueron A2 y B2. Para el PNIC el punto utilizado para el análisis fue el de 5° N y 87.5° W que cubre el área 3.75°-6.25° N y 86.25°-88.75° W. Respecto a lo observado en el 2000, utilizando como línea base la climatología de la estación meteorológica automática del IMN descrita en Alfaro (2008), estos resultados mostraron en general un aumento de la precipitación y temperatura en el PNIC para el horizonte temporal 2080 en ambas estaciones climáticas del año.

Fig. C.1. Escenarios de cambio climático para el Parque Nacional Isla del Coco durante la estación climática de JJA, (A) y (B), y DEF, (C) y (D). El horizonte de tiempo corresponde al 2080 (2070-2099) con el escenario socioeconómico A2, (A) y (C), y con el B2, (B) y (D). El cuadrado corresponde a los valores observados en el PNIC, utilizando el año 2000 como línea base de la climatología en la estación meteorológica automática del IMN descrita en Alfaro (2008). Para el PNIC el elemento utilizado para el análisis fue el de 5° N y 87.5° W que cubre el área 3.75°-6.25° N, 86.25°-88.75° W. Las líneas horizontal y vertical corresponden a la mediana $\pm$ 1.5 IQR de las salidas de los modelos para la temperatura y la precipitación, respectivamente. Los números corresponden a la salida de los modelos CGCM2: 1, CSIRO mk2: 2, CSM 1.3: 3, ECHam4: 4, GFDL R15b: 5, MRI2: 6, CCSR/NIES 2: 7, DOE PCM: 8 y HadCM3: 9. Ver detalles en Lu (2002).

Fig. C.1. Climate change scenarios for the Cocos Island National Park during the season of JJA, (A) and (B), and DEF, (C) and (D). The time horizon is 2080 (2070-2099) with the socioeconomic scenario A2, (A) and (C), and B2, (B) and (D). The square corresponds to the observed values for PNIC, using 2000 as a baseline climatology from IMN automatic weather station described in Alfaro (2008). The grid point used for the analysis was the one centered at 5° N and 87.5° W, which covers the area 3.75°-6.25° N and 86.25°-88.75° W. The horizontal and vertical lines correspond to the median $\pm$ 1.5 IQR of model outputs for precipitation and temperature, respectively. The numbers correspond with the model output CGCM2: 1, CSIRO mk2: 2, CSM 1.3: 3, ECHAM4: 4, GFDL R15b: 5, MRI2: 6, CCSR / NIES 2: 7, DOE PCM: 8 and HadCM3: 9. See details in Lu (2002).

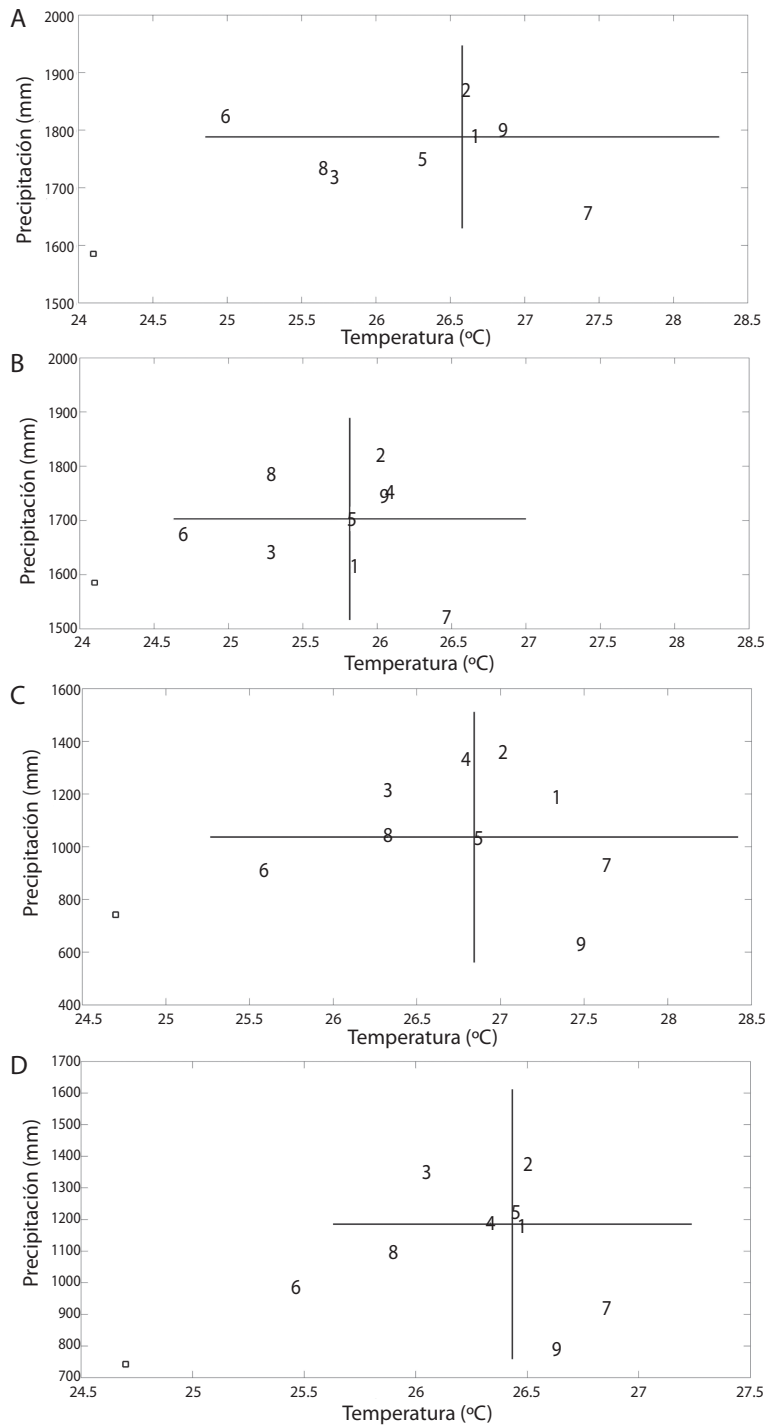


Fig. C.1. Ver pie de figura en página anterior. See figure caption in previous page.