

VII Congreso de la redLatinoamericana de Ciencias Ambientales

FAVOR INDICAR: PRESENTACION

EJE TEMÁTICO: CAMBIO CLIMÁTICO

Tendencias hacia condiciones hidrológicas más secas en Centroamérica (1982-2005)

Hugo G. Hidalgo ([hugo.hidalgo@ucr.ac.cr](mailto:hugo.hidalgo@ucr.ac.cr))<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Afiliación (Escuela de Física, Departamento de Física Atmosférica Oceánica y Planetaria; Universidad de Costa Rica, Costa Rica)

<sup>2</sup>Afiliación (Centro de Investigaciones Geofísicas; Universidad de Costa Rica, Costa Rica)

## **Resumen**

Se presenta un resumen de los resultados de proyecciones hidrológicas de 30 modelos de circulación general (MCG) a final de siglo y se analizan si varios parámetros hidrometeorológicos presentan tendencias (1982-2005) consistentes con las proyecciones de los modelos. Hacia final de siglo, la mediana de las 30 simulaciones de los MCG proyecta condiciones más secas en Tegucigalpa y San José, con un aumento de la evapotranspiración en la primera parte de la estación lluviosa y una reducción en la humedad del suelo. Con respecto a las observaciones de 1982-2005: las tendencias significativas en precipitación de diferentes fuentes de datos muestran resultados mixtos, en general las tendencias de datos de satélite y observaciones muestran tendencias negativas en la costa Caribe de Honduras y Nicaragua, mientras que los datos modelados del Reanálisis muestran tendencias en la parte norte de Centroamérica. Curiosamente, los datos de PDSI muestran tendencias hacia condiciones más secas en la parte norte de Centroamérica consistentes con las reducciones de

precipitación sugeridas por el Reanálisis. Sin embargo, al analizar las tendencias de precipitación y temperatura de las bases de datos usadas en el cálculo del PDSI, sólo se encuentran tendencias moderadas y mayoritariamente no significativas en la parte norte de la región, lo cual sugiere que es la combinación de estas influencias moderadas las que resultan en una amplificación en términos del PDSI. Esto sugiere que hay que analizar con más cuidado las tendencias de precipitación mostradas por los modelos y los efectos en la hidrología de la región.

Palabras clave: Cambio climático, hidroclimatología, tendencias, hidrología, NDVI, PDSI, sequía

## **Introducción**

Durante los últimos años ha habido gran interés en determinar las proyecciones climáticas para el siglo XXI usando Modelos (climáticos) de Circulación General (MCGs). Estos modelos han sido la herramienta seleccionada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC en inglés) para estimar los climas futuros. Estas proyecciones se han usado con otros tipos de modelos locales como los de cambio de escala estadístico, los modelos climáticos de área limitada y modelos hidrológicos. De esta manera se busca determinar el potencial impacto en el clima y la hidrología del aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero.

En particular en este estudio, se hará referencia a las proyecciones hidrológicas para Centro América de Hidalgo et al. (2013), el cual provee estimaciones de escorrentía para 30 MCGs para el período 1950-2099. Estas proyecciones indican que, para el escenario de emisiones de gases de efecto invernadero A1B, Centroamérica va a experimentar reducciones en la escorrentía del orden de 10% para la parte sur (Costa Rica y Panamá) y de 30% para el resto de los

países en la parte norte de Centroamérica. Usando datos del NCEP/NCAR Reanálisis (Kalnay et al. 1996), en Hidalgo et al. (2013) se encontró además que durante el período 1980-2012 San José y Tegucigalpa han experimentado tendencias negativas significativas en la escorrentía de 1980-2012. En el presente trabajo se va a hacer un resumen de los resultados obtenidos por Hidalgo et al. (2013) y se va a verificar las tendencias durante 1982-2005 en varias bases de datos. El objetivo es detectar si las tendencias proyectadas para el final de siglo son consistentes con tendencias observadas durante los últimos años, lo cual implicaría que la señal de cambio climático en las observaciones está empezando o no a ser evidente.

### **Fuentes de datos**

El Índice Normalizado Diferencial de Vegetación para el período 1981-2006 fue obtenido del Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS; Pinzon et al., 2005; Tucker et al. 2005) en una resolución de 0.073 x 0.073 grados.

Los datos de precipitación del Reanálisis del NCEP/NCAR (Kalnay et al. 1996) para el período 1948-2012, del Global Precipitation Climatology Project (GPCP; Adler et al. 2003) versión 2.2, de CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP, Xie & Arkin, 1997), y de temperatura a 2 metros de GHCN CAMS de 1948 a 2012 (Fan & van den Dool, 2008) fueron obtenidos de NOAA/OAR/ESRL PDS, Boulder, Colorado, Estados Unidos, de su sitio de internet: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>. Los datos de precipitación del Reanálisis son modelados. Los datos de GPCP son una combinación de información de satélites y estaciones de precipitación, disponibles desde enero de 1979 a mayo 2013. Los de CMAP son datos de satélite disponibles de enero del 1979 a noviembre 2011. La resolución espacial de todas las bases de datos es de 2.5 x 2.5 grados, excepto la precipitación del Reanálisis que es de 1.90 x 1.90 grados y la de CAMS es de 0.5 x 0.5 grados.

Otra base de datos de precipitación en una resolución de 0.5 x 0.5 grados sobre tierra por Chen et al. (2002) fue obtenida de NOAA. Estos datos son construidos por interpolación de estaciones de precipitación para el período 1948-2011. Las observaciones provienen de más de 17 000 estaciones obtenidas de las bases de datos: Global Historical Climatology Network (GHCN), versión 2, y de Climate Anomaly Monitoring System (CAMS).

Otra base de datos de alta resolución (0.05 x 0.05 grados) sobre la tierra en Centroamérica de 1970-2004 fue obtenida de Pedreros et al. (2010). Los datos son el resultado de la combinación de Famine Early Warning System Climatology con existentes estaciones para cada mes.

El Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI en inglés), un índice hidrológico calculado a partir de la precipitación y temperatura fue obtenido de Dai et al. (2004). Aunque los datos están disponibles de 1870-2005, la zona de Centroamérica no tiene datos tan antiguos. Se utilizó el período 1982-2005 para las estimaciones de tendencias. Los datos están en una resolución espacial de 2.5 x 2.5 grados.

Temperatura del CRUTEM2 (Jones and Moberg, 2003) fue obtenida de <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/tem2/> en una resolución de 5 x 5 grados de 1851 a 2005. Esta base de datos, junto con la de precipitación de CHEN fueron usadas para el cálculo del PDSI.

## **Resultados**

En Hidalgo et al. (2012) se encontró que las proyecciones hidroclimáticas a final de siglo sugieren un futuro más seco para Centroamérica, especialmente en la parte norte. En la Figura 1, se muestran las climatologías de temperatura, precipitación y escurrimiento para Tegucigalpa (Honduras) y San José (Costa Rica) para dos períodos determinados: 1950-1999 (escenario base), y 2050-2099

(escenario de cambio climático). Comparado con el escenario base, en el clima futuro son evidentes los aumentos en temperatura en ambas ciudades, las reducciones en precipitación durante la época lluviosa y la amplificación de estas reducciones en precipitación en la escorrentía. Las reducciones en escorrentía son especialmente fuertes durante la primera parte de la época lluviosa (junio-julio-agosto) para ambas ciudades pero más fuertemente en Tegucigalpa. De hecho aunque ambas ciudades tienen una mayoría de corridas (27 de 30) de MCGs con tendencias negativas (1950-2099) en su índice de aridez, en Tegucigalpa las tendencias son lo suficientemente altas que el clima pasa de ser mayoritariamente húmedo en 1950 a seco sub-húmedo al final de siglo (Figura 2).

En Hidalgo et al. (2012) también se mostró que usando el Reanálisis de NCEP/NCAR para el período 1948-2012, en lugar de los MCGs, Tegucigalpa y San José mostraron tendencias significativas en escorrentía hacia condiciones más secas durante el período 1980-2012. El aumento en la señal antropogénica en el clima durante este período se ha mencionado en otras partes del mundo (Barnett et al. 2008, Meehl et al., 2007). Estas tendencias “observadas” son consistentes con las proyecciones de los MCGs, pero en general su intensidad tiende a ser sobre-estimada con respecto a la distribución de tendencias de los MCGs durante el mismo período.

En el presente trabajo se evaluaron diferentes bases de datos de precipitación con relación a sus tendencias durante 1982-2005 con el propósito de determinar si existen o no tendencias en la lluvia consistentes con las tendencias en la escorrentía encontradas en Hidalgo et al. (2013) y consistentes con las proyecciones de los MCGs. Deben anotarse, sin embargo, las siguientes limitaciones en el estudio: 1) debido a falta de datos, el período que se usó en las tendencias de precipitación (1982-2005) no es exactamente el mismo período en las tendencias en escorrentía de Hidalgo et al. (2013) que fue de 1980-2012; 2) Se espera que las tendencias en escorrentía tengan una relación

con las tendencias en precipitación, ya que a nivel anual los dos parámetros están correlacionados; sin embargo, hay que notar que los aumentos en temperatura podrían también causar aumentos en la evapotranspiración y fomentando reducciones en la escorrentía. Por esa razón se analizaron también las tendencias del PDSI, que involucra en su cálculo precipitación y temperatura; y 3) Se eligió este período porque se supuso que es una época en la cual el cambio climático antropogénico tiene gran influencia en el clima, sin embargo por ser un período relativamente corto es posible que sea afectado por forzantes climáticos naturales de orden multidecadal.

Las tendencias de precipitación de diferentes bases de datos, muestran resultados mixtos (Figura 3). Mientras que las bases de satélites (GPCP y CMAP) y la base de datos de CHEN sugieren tendencias negativas de precipitación en la costa Caribe de Nicaragua, el Reanálisis sugiere tendencias negativas en la parte norte de Centroamérica (Guatemala, Belice y el Sur de México). La base de datos de Pedreros sugiere tendencias negativas en la costa Caribe de Honduras, cerca de la frontera con Nicaragua y tendencias positivas en la costa Caribe de Costa Rica. Con la salvedad del Reanálisis, no se podría justificar completamente la reducción de escorrentía en el norte de Centroamérica consistentes con las proyecciones de escorrentía en Hidalgo et al. (2012), únicamente con reducciones en la precipitación. Por otra parte, las tendencias en el PDSI (Figura 4) parecen justificar los cambios hidrológicos hacia condiciones más secas en Centroamérica, especialmente fuertes en la parte norte. Sin embargo, cabe mencionar lo siguiente: el PDSI fue calculado con las bases de datos de CHEN para precipitación y CRUTEM2 para temperatura. Si se ven las tendencias significativas en precipitación (Figura 3) y temperatura (Figura 4) para estas dos bases de datos, se ve que es difícil predecir toda la extensión de la reducción en el PDSI especialmente en el norte de Centroamérica solamente con las reducciones en precipitación y los aumentos en la temperatura *significativos*. En el norte de Centroamérica, CHEN muestra reducciones en la precipitación (no mostradas) y aumentos en la

temperatura que *no* son significativas (no mostradas) pero que están resultando en una combinación de tendencias de PDSI negativas. Estos efectos hidrológicos representados en el PDSI, más que solamente moderadas reducciones en la precipitación, parecen estar amplificados por las tendencias moderadas positivas de temperatura en gran parte de la región norte de Centroamérica y en el Caribe nicaragüense. En cuanto al NDVI (Figura 4), se encontró indicios de afectación en la vegetación en la frontera de Guatemala con México, en la costa Pacífica de México y en la costa Caribe de Honduras (cerca de la frontera con Nicaragua), pero la señal no es todavía muy extendida. Esto puede deberse a que la vegetación tarda un poco en responder, o que los cambios hidrológicos observados todavía no son lo suficientemente fuertes para causar daños severos en la vegetación.

## **Conclusiones**

El índice hidrológico PDSI presenta tendencias hacia condiciones más secas en Centroamérica con patrones consistentes a los esperados en las proyecciones para finales del siglo XXI de Hidalgo et al. (2012). Sin embargo, los datos de tendencias de precipitación de diferentes fuentes son poco consistentes. En particular los datos del Reanálisis, que son modelados, muestran una tendencia hacia condiciones más secas en la parte norte de la región, mientras que el resto de las bases de datos muestran estas tendencias en el Caribe de Nicaragua y Honduras. Cabe mencionar que esta es una observación que se debe tomar en cuenta a la hora de analizar las proyecciones de los modelos climáticos de Hidalgo et al. (2012): si los modelos como el Reanálisis y los MCGs tienden a generar condiciones más secas en el norte Centroamericano de manera poco realista, esto podría estar afectando las proyecciones futuras del clima. Por otra parte, las estimaciones de PDSI son congruentes con las tendencias hacia condiciones hidrológicas en el norte sugeridas por los modelos. Los resultados de las tendencias del PDSI sugieren que los cambios hidrológicos observados no son producidos necesariamente por reducciones moderadas en la

precipitación, sino también que la combinación con los cambios moderados en la temperatura pueden estar causando reducciones en la escorrentía a través de aumentos en la evapotranspiración. Esto es importante porque sugiere que la señal de cambio climático en la región está modulada fuertemente por la superficie terrestre, y que deben considerarse esa contribución, además de los efectos meteorológicos (precipitación y temperatura). Debido a la falta de datos hidrológicos de escorrentía y humedad del suelo, es necesario el uso de modelos hidrológicos para lograr estimar el verdadero efecto del cambio climático en la región. Los resultados del presente estudio y de Hidalgo et al. (2013) deben servir de guía para un manejo adaptativo de planeamiento acerca del cambio climático y sus impactos en diversos sectores.

## Referencias

- Adler, R.F., G.J. Huffman, A. Chang, R. Ferraro, P. Xie, J. Janowiak, B. Rudolf, U. Schneider, S. Curtis, D. Bolvin, A. Gruber, J. Susskind, & P. Arkin, 2003: The Version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979-Present). *J. Hydrometeorol.*, 4, 1147-1167.
- Barnett, T.P., D.W. Pierce, H.G. Hidalgo, C. Bonfils, B. D. Santer, T. Das, G. Bala, A. Wood, T. Nazawa, A. Mirin, D. Cayan y M. Dettinger, 2008. Human-induced changes in the hydrology of the western US. *Science*. 319: 1080-1083.
- Chen, M., P. Xie, J. E. Janowiak, & P. A. Arkin, 2002: Global Land Precipitation: A 50-yr Monthly Analysis Based on Gauge Observations, *J. of Hydrometeorology*, 3, 249-266
- Dai, A., K. E. Trenberth, & T. Qian, 2004: A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *J. Hydrometeorology*, 5, 1117-1130.



- Fan, Y., & H. van den Dool (2008), A global monthly land surface air temperature analysis for 1948-present, *J. Geophys. Res.*, 113, D01103, doi:10.1029/2007JD008470.
- Hidalgo H.G., J.A. Amador, E.J. Alfaro, & B. Quesada. 2013. Hydrological climate change projections for Central America. *Journal of Hydrology*. 495: 94-112.
- Jones, P. D., and A. Moberg, 2003: Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *J. Climate*, 16, 206–223.
- 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.
- Meehl, G.A., J.M. Arblaster & C. Tebaldi. 2007. Contributions of natural and anthropogenic forcing to changes in temperature extremes over the United States. *Geophysical Research Letters*. L19709, doi:10.1029/2007GL030948.
- Pedreras, D., J. Michaelsen, C. Funk, L. Carvalho, E. Alfaro, G. Husak, J. Verdin, T. Magazine, L. Aguilar, M Rodriguez. 2010. *The effects of El Niño on Agricultural Water Balance in Guatemala*. American Geophysical Union, Fall Meeting, December 2010.
- Pinzon, J., Brown, M.E. & Tucker, C.J., 2005. *Satellite time series correction of orbital drift artifacts using empirical mode decomposition*. In: N. Huang (Editor), Hilbert-Huang Transform: Introduction and Applications, pp. 167-186.
- Tucker, C.J., J. E. Pinzon, M. E. Brown, D. Slayback, E. W. Pak, R. Mahoney, E. Vermote & N. El Saleous (2005), An Extended AVHRR 8-km NDVI Data Set Compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI Data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol 26:20, pp 4485-5598.

Xie, P., & P.A. Arkin, 1997: Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2539 - 2558.

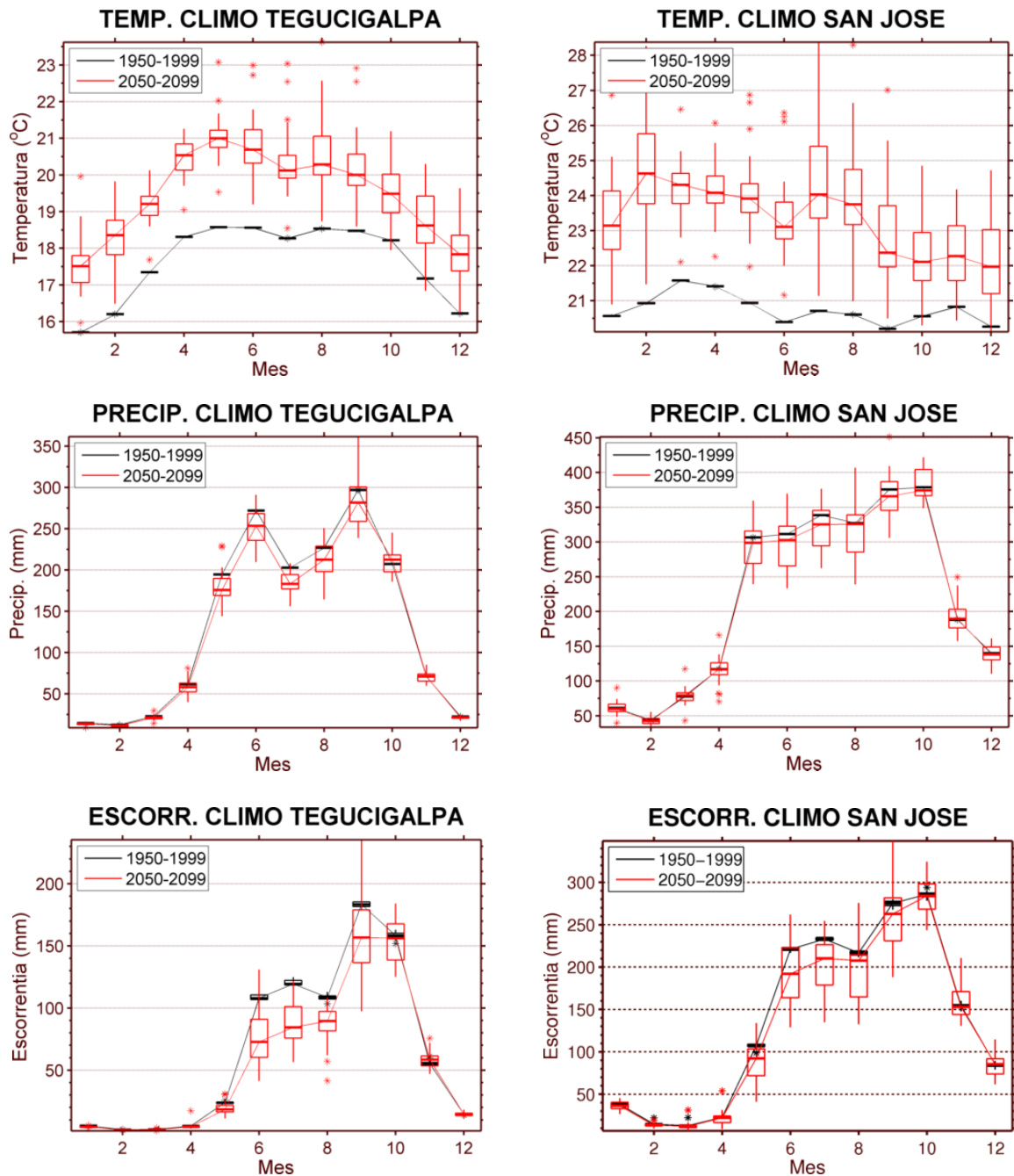


Figura 1. Climatologías de temperatura, precipitación y escorrentía para período base (1950-1999) y para horizonte de cambio climático (2050-2099). Los gráficos de caja muestran la variabilidad de 30 corridas de Modelos (Climáticos) de Circulación General listados en Hidalgo et al. (2013). La columna izquierda muestra los resultados para Tegucigalpa (Honduras) y la derecha para San José (Costa Rica).

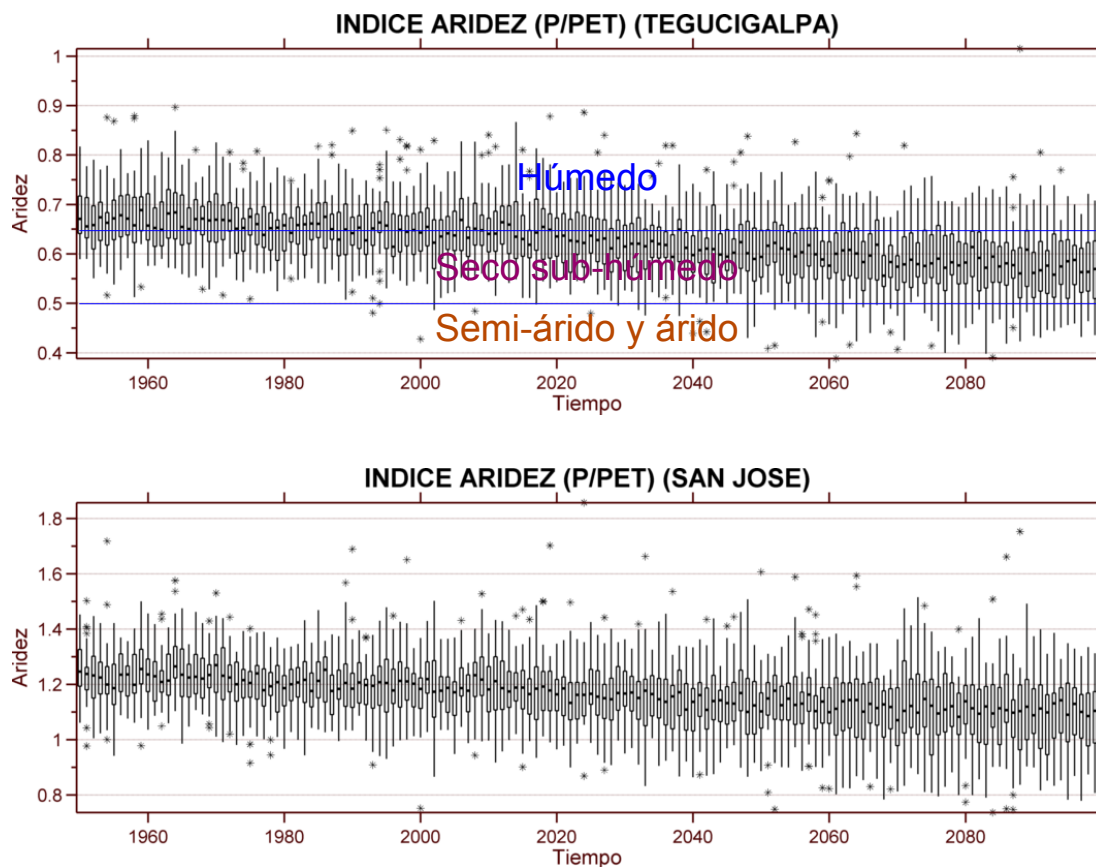


Figura 2. Índice de aridez calculado como la precipitación total anual (P) dividida entre la evapotranspiración potencial total anual (PET), para Tegucigalpa (arriba) y San José (abajo). Ambas ciudades experimentaron tendencias negativas significativas al 95% de confianza en 27 de las 30 corridas analizadas.

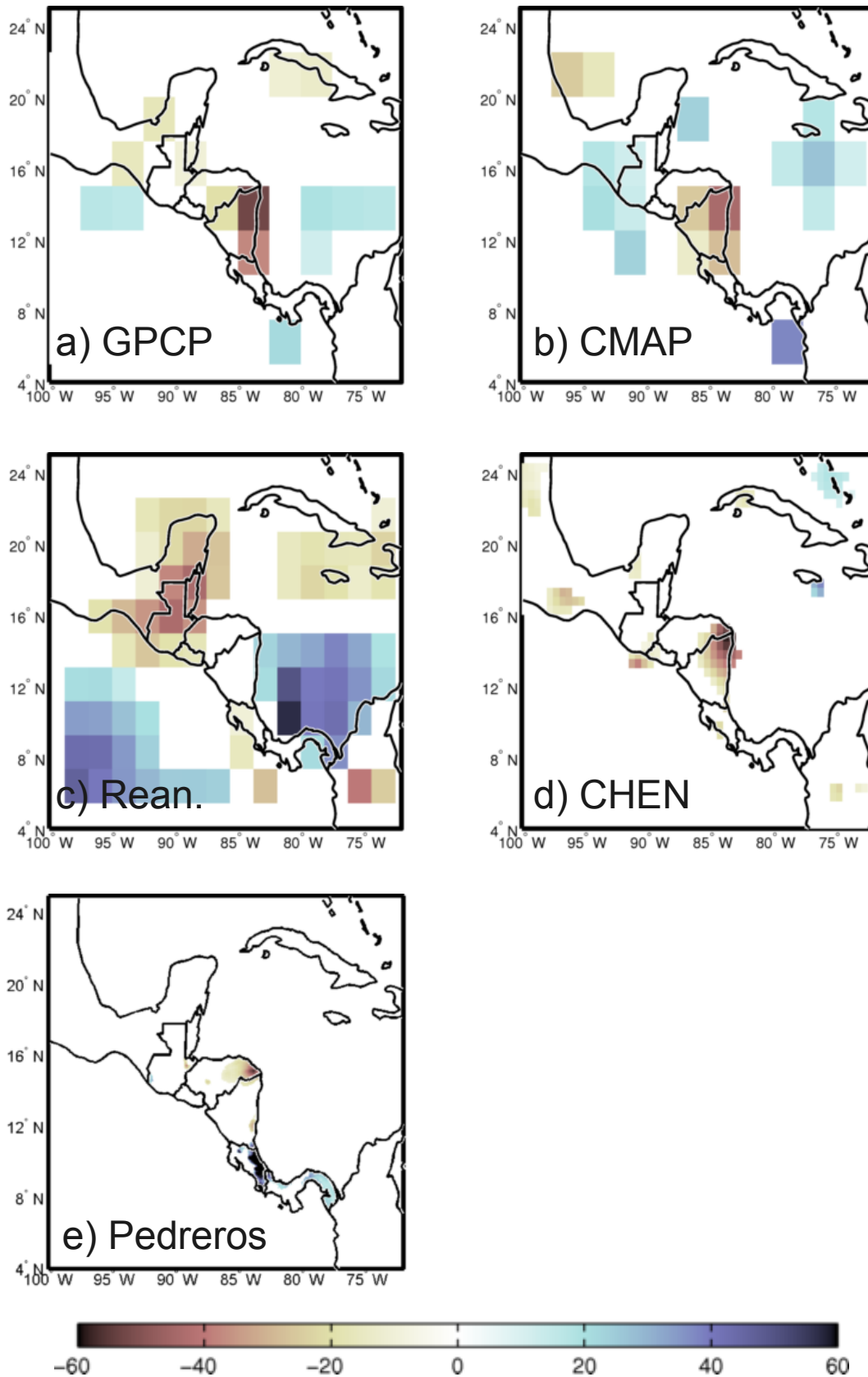


Figura 3. Tendencias (mm/año) en precipitación usando diferentes bases de datos. Sólo se muestran las tendencias significativas. La bases de datos de CHEN y Pedreros no tienen datos sobre el océano. Todas las tendencias son para el período 1982-2005, excepto para Pedreros que es 1982-2004.

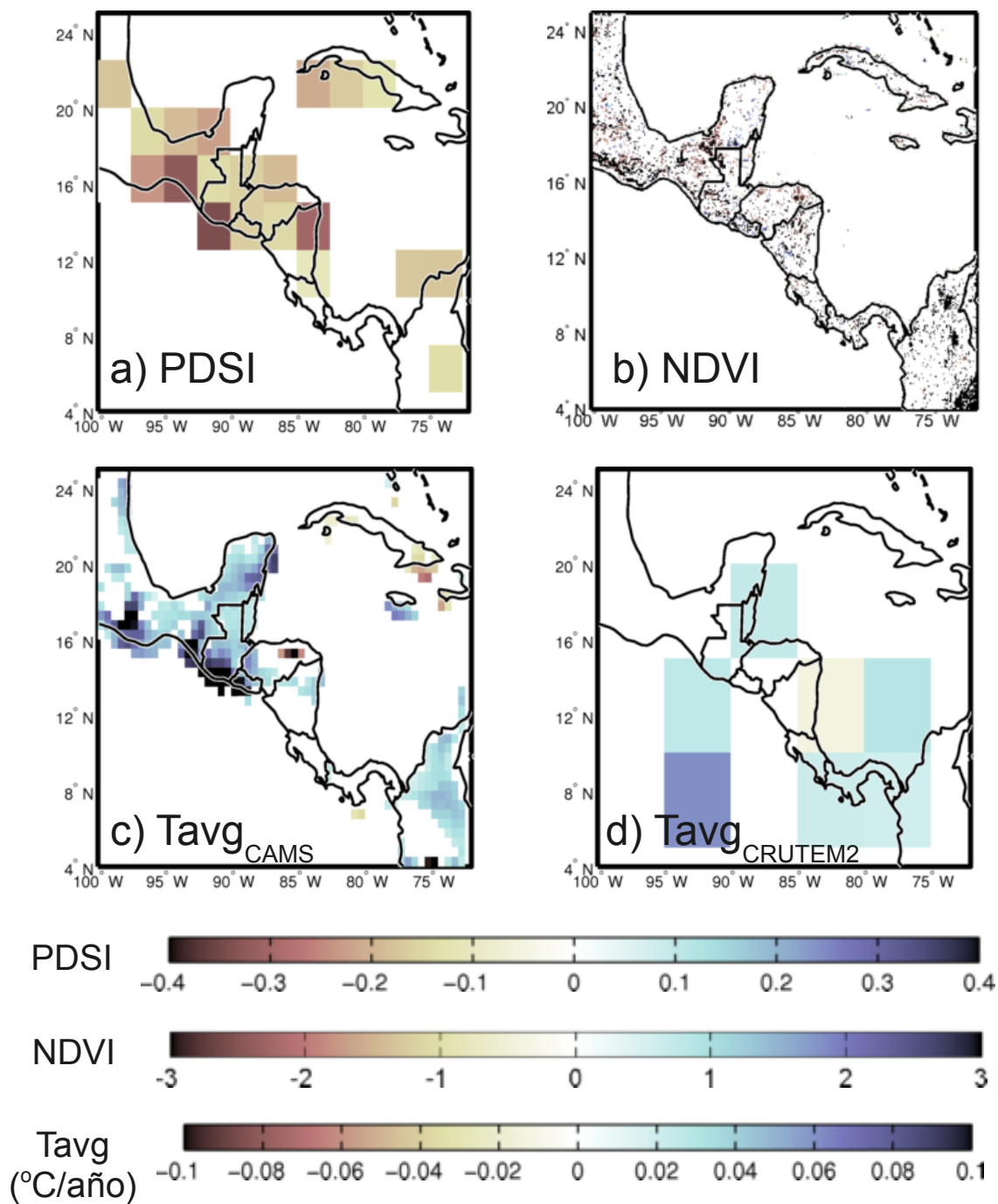


Figura 4. Tendencias en el PDSI anual, el NDVI de época seca (diciembre a abril), y en la temperatura del aire promedio anual de CAMS y de CRUTEM2. Todas las tendencias son para el período 1982-2005. Sólo se muestran las tendencias significativas. NDVI y Tavg solo están definidos sobre tierra.