
Influencia del Cambio Climático en la Producción de Agua de la Cuenca Alta del Río Pagüey, Venezuela

Climate Change Impact on water yield of Pagüey watershed, Venezuela

Alex Barrios R.* y Esneira Quiñonez**

Recibido: 15-11-2013

Aceptado: 21-04-2014

Resumen

Se aplicó un modelo hidrológico mensual (SIHIM) a la cuenca alta del río Pagüey (844 km²), localizada en el estado Barinas, Venezuela, el cual fue calibrado usando datos lluvia-escorrentía, período 1970-1993. Se determinaron series de precipitación mensual bajo cambio climático, período 2012-2036, en las mismas estaciones utilizadas durante la calibración del modelo. Para ello se aplicó un método de reducción de escala estadístico, mediante regresiones polinómicas y lineales, establecidas entre las estaciones de precipitación y el modelo de circulación global HADCM3 (IPCC, 2007). Aplicando el modelo SIHIM, con parámetros calibrados y precipitaciones proyectadas 2012-2036, se obtuvo la producción de agua del río Pagüey considerando cambio climático. Comparando con la línea base, se observó 10% de reducción en la producción de agua del río Pagüey (-5,6 m³/s). Para una frecuencia de 95% de excedencia, el caudal medio esperado se redujo 19% (-0,7 m³/s) debido al efecto de cambio climático. Igualmente, se observó una reducción en la producción de agua en 10 meses del año, variando entre -6% (0,3 m³/s) en el mes de febrero, hasta -36% (-16,9 m³/s) en el mes de junio. En julio y agosto la producción de agua aumentó en un valor cercano al 5% (cerca de 2 m³/s).

Palabras Claves: Simulación hidrológica, cuenca hidrográfica, producción de agua, cambio climático.

*Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado (CEFAP). E-Mail: alexb@ula.ve.

**Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). E-Mail: qesneira@ula.ve

Abstract

A monthly hydrological model (SIHIM) was applied to Pagüey river upper basin (844 km²), located in the state of Barinas, Venezuela. The model was calibrated using rainfall-runoff data from 1970 to 1993. Series of monthly precipitation were determined under climate change, period 2012-2036, at the same stations used for model calibration. Statistical downscaling method was applied and polynomial and linear regressions established between rainfall stations and HADCM3 global circulation model (IPCC, 2007). Applying the model with parameters calibrated and projected rainfall 2012-2036, water yield was obtained at Pagüey river considering climate change. Compared to baseline, there was 10% reduction in water yield at Pagüey river (-5.6 m³/s). At 95 % of frequency, the expected average flow was reduced 19 % (-0.7 m³/s) due to the effect of climate change. Similarly, there was a reduction in water yield in 10 months, ranging from 6% (-0.3 m³/s) in February to -36 % (-16.9 m³/s) in June. In July and August water yield increased by nearly 5% (about 2 m³/s).

Keywords: Hydrological simulation, watershed, water yield, climate change.

1. Introducción

El cambio climático constituye uno de los grandes retos del siglo XXI. La evidencia científica disponible permite constatar que las emisiones de gases de efecto invernadero - causadas fundamentalmente por actividades humanas - están originando cambios climáticos en gran escala, donde destacan un ascenso de la temperatura global, modificaciones en los patrones de precipitación, reducciones de las capas de hielo y glaciares, aumento del nivel del mar e incrementos en la intensidad y número de eventos climáticos extremos (IPCC, 2007).

Las consecuencias esperadas de estos cambios climáticos en las actividades humanas y los ecosistemas del planeta son significativas y por lo tanto es un tema de discusión y preocupación de la comunidad científica internacional (MARN-PNUD-GEF, 2005), actualmente incorporado en la mayoría de las investigaciones y estudios referidos a la disponibilidad de recursos hidráulicos en Latinoamérica (Castellanos y Guerra, 2009; IDEAM-PNUD, 2010; SGCA *et al.*, 2011).

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto del cambio climático en la producción de agua de la cuenca del río Pagüey, a través de la aplicación de un modelo hidrológico lluvia-escorrentía, calibrado con observaciones locales, con la finalidad de evaluar la disponibilidad del recurso hídrico en los próximos 25 años.

2. Materiales y métodos

La cuenca alta del río Pagüey hasta la estación El Paso, 844 km² de superficie, está localizada en la cordillera andina del estado Barinas, al occidente de Venezuela (figura 1).

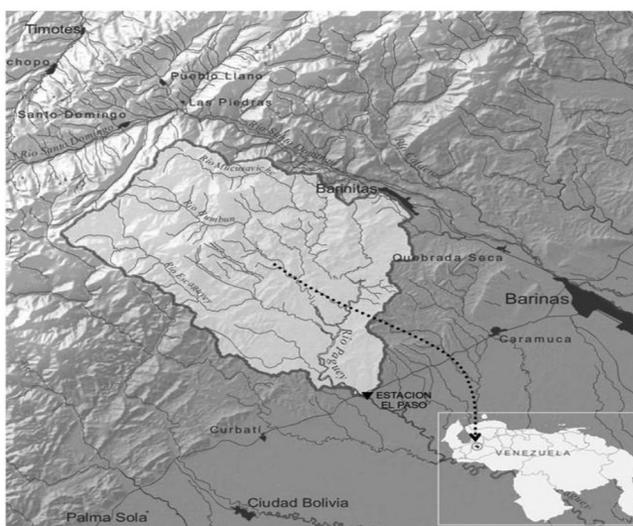


Figura 1. Ubicación cuenca río Pagüey. Hasta estación el Paso.

Fuente: Elaboración Propia.

Representa uno de los reservorios de agua potable más importantes de la región barinesa, abasteciendo actualmente a la ciudad de Barinitas y con el potencial de contribuir a mediano plazo en proyectos de desarrollo en el Eje Pagüey-Santo Domingo, incluyendo un ambicioso complejo petroquímico e industrial. Se trata de una cuenca de piedemonte andino, típica de paisajes húmedos, de relieve abrupto, con una pendiente media de 29%, abundante cobertura vegetal, predominando el bosque y matorral

siempre verde, suelos franco-arcilloso-arenosos a arcillo arenosos y una precipitación anual promedio de 2.150 mm.

El procedimiento metodológico se basó en la simulación hidrológica de cuencas mediante el modelo mensual SIHIM (Duque y Barrios, 1988). Se trata de un modelo matemático a escala de cuencas y con intervalos mensuales de tiempo, basado en los principales procesos físicos del ciclo hidrológico a esa escala de tiempo: evapotranspiración, infiltración, percolación, escurrimiento y flujo base. El Programa aplica algoritmos de optimización para la autocalibración de parámetros y para la resolución matemática de algunas ecuaciones algebraicas, de manera que se minimice el error debido a la naturaleza continua de los procesos físicos y la escala discreta mensual utilizada para la resolución de sus ecuaciones.

Previo a la simulación, se delimitó la cuenca del río Pagüey hasta la estación El Paso, se ubicaron las estaciones de medición de precipitación y se trazaron los polígonos de Thiessen necesarios para estimar la precipitación media (figura 2). El modelo SIHIM fue calibrado usando los únicos datos de esorrentía disponibles, registrados durante el período 1970-1993 (tomados del portal Web del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) en <http://www.inameh.gob.ve>), obteniéndose un coeficiente de correlación de 0,939 y una diferencia de 3,25% entre los caudales observados y simulados (figura 3).

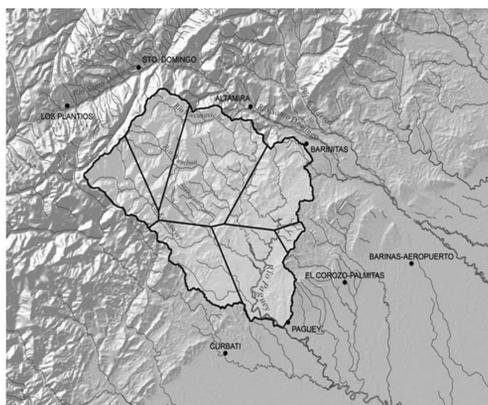


Figura 2. Ubicación de estaciones climatológicas y polígonos de Thiessen.

Fuente: Elaboración Propia.

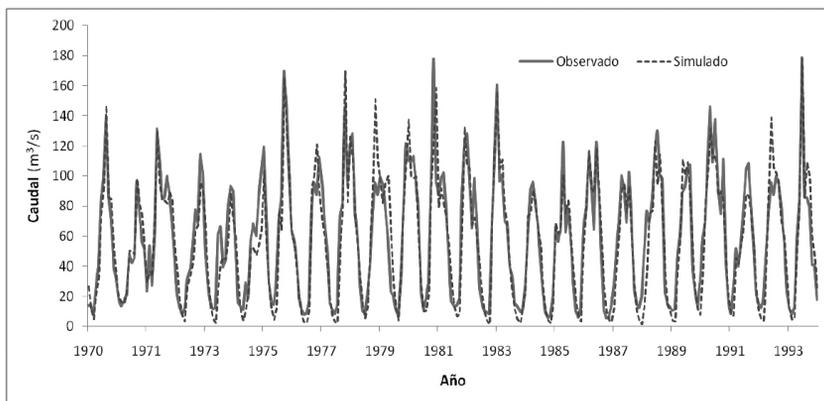


Figura 3. Resultados de la calibración del modelo SIHIM. Río Pagüey. Estación El Paso.

Fuente: Elaboración Propia.

El período 1970-1993 fue considerado como línea base para el estudio del impacto por cambio climático, de manera que el siguiente paso fue determinar la precipitación sobre las estaciones para un período futuro según las predicciones de algún modelo de cambio climático. Se seleccionó con tal fin el período 2012-2036 (25 años). Para predecir los cambios en la producción de agua de la cuenca se aplicó el modelo SIHIM ya calibrado, introduciéndose como dato de entrada nuevas series de tiempo (2012-2036) de precipitación mensual en cada una de las estaciones usadas durante la calibración. El procedimiento para estimar estas nuevas series de tiempo se basó en un método de reducción de escala estadístico, mediante regresiones polinómicas y lineales.

Se realizó una evaluación rápida de los datos de precipitación mensual, período de línea base 1970-1993, según 7 modelos de circulación global (GCM) correspondientes al Cuarto Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), conocido como AR4 (IPCC, 2007). Los datos de precipitación mensual se descargaron directamente desde el sitio Web del CCCSN (Canadian Climate Change Scenarios Network). Se descargaron las precipitaciones medias según cada modelo GCM evaluado para una superficie rectangular que cubriera la cuenca en estudio y las estaciones de medición alrededor de ella. Se compararon los datos GCM correspondientes al escenario climático intermedio SRES-A2

con los datos registrados en 10 estaciones locales (figura 4). Del análisis comparativo se obtuvo que todos los modelos climáticos subestiman la precipitación del área de estudio para el período base 1970-1993. Se seleccionó como modelo representativo para el estudio de impacto de cambio climático el denominado HADCM3 (Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Met Office, UK) por considerarse que es el que tiene una amplitud de datos y patrón de la serie mensual más parecida al promedio de las estaciones locales (patrón irregular con amplia variabilidad de la lluvia mensual).

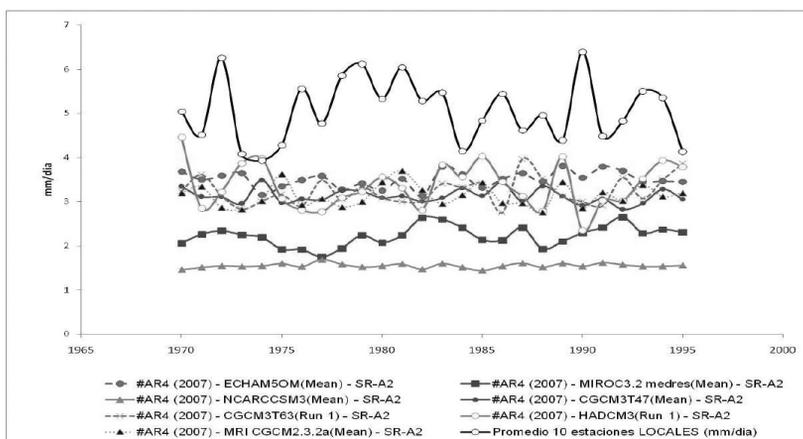


Figura 4. Precipitación línea base (1970-1995): 7 modelos GCM-AR4 y zona de estudio.
Fuente: Elaboración Propia.

Analizando los datos de precipitación mensual proyectados por el modelo HADCM3 para el período 2012-2036, para los tres escenarios de emisión de gases disponibles (A1B, A2 y B1) se seleccionó el escenario intermedio, SRES-A2, el cual proyectaba la mayor reducción de precipitación en comparación a la línea base (7%).

Se descargaron series de tiempo de la precipitación mensual, línea base 1970-1995 y proyectada al período 2012-2025 por el modelo HADCM3 para las dos grillas con influencia en la cuenca del río Pagüey: 10°N;71,25°O y 7,5°N,71,25°O (figura 5).

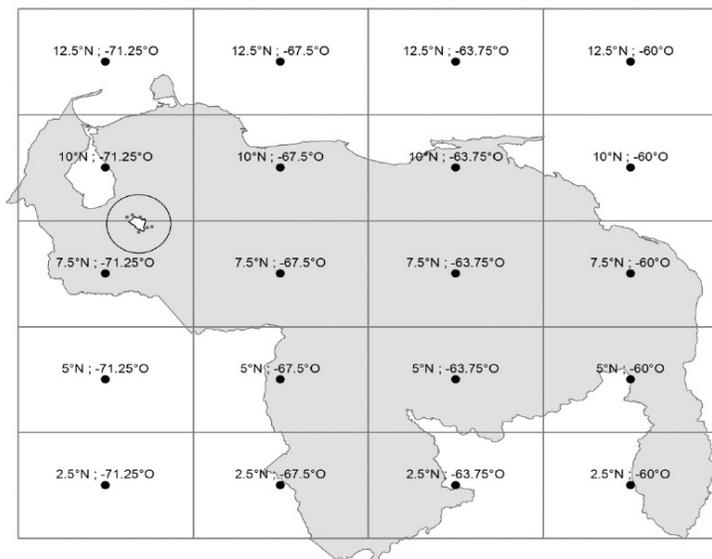


Figura 5. Grilla del modelo HADCM3 vista sobre Venezuela y el área de estudio.

Fuente: Elaboracion Propia.

Con el fin de adecuar las proyecciones a escala de grilla atmosférica a condiciones locales en la cuenca (reducción de escala al área de estudio), se establecieron regresiones lineales y polinómicas entre las curvas másicas de precipitación del modelo HADCM3 y las curvas másicas de cada estación de medición de precipitación, período de línea base 1970-1995 (figura 6). Usando los resultados de las regresiones en cada estación como ecuaciones de transformación, se convirtieron las series proyectadas por HADCM3 para el período 2012-2036, en precipitaciones mensuales sobre cada punto local o estación de medición. Aplicando el modelo SIHIM-calibrado con estos nuevos datos de precipitación, se obtuvieron los resultados sobre la producción de agua del río Pagüey, considerando el efecto de cambio climático.

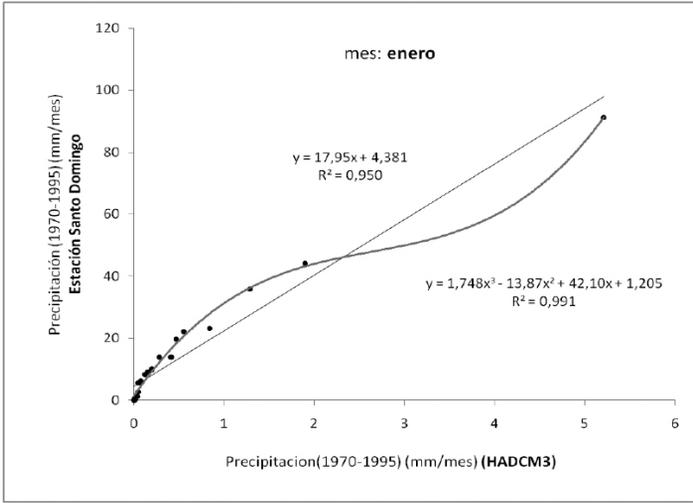


Figura 6. Regresiones para reducción de escala en la estación Santo Domingo, mes de enero
Fuente: Elaboracion Propia.

3. Resultados

Al compararse la escorrentías acumuladas de 25 años según la línea base (1970-1995) y proyectada por efecto de cambio climático (2012-2036), se observa un progresivo descenso en la última señalada (figura 7), llegando a ser igual a 10% al final del período. En términos de caudal, esto significó un cambio de $-5,6 \text{ m}^3/\text{s}$ (-10%) debido al efecto de cambio climático.

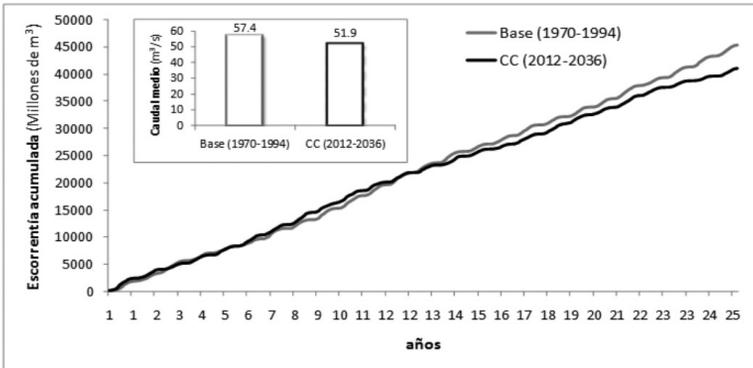


Figura 7. Caudales del río Pagüey: línea base y proyectado por Cambio Climático (HADCM3)
Fuente: Elaboracion Propia.

Considerando el conjunto de 25 años de escorrentía, se elaboraron curvas de duración de caudales (figura 8), de las cuales se obtuvo que para una frecuencia de 95% del tiempo, propia de estudios de abastecimiento, el caudal medio esperado se redujo debido al efecto de cambio climático en un 19% (-0,7 m³/s).

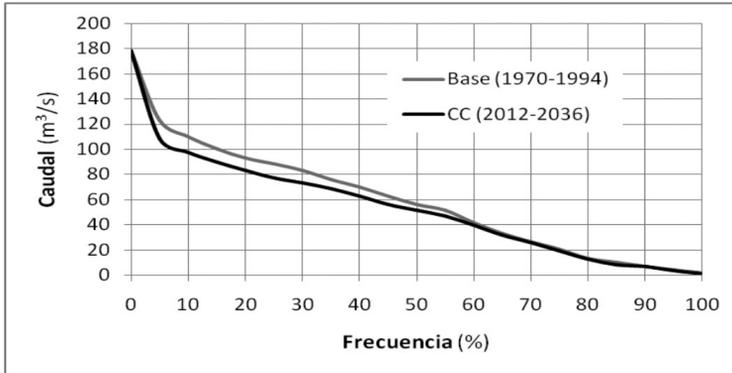
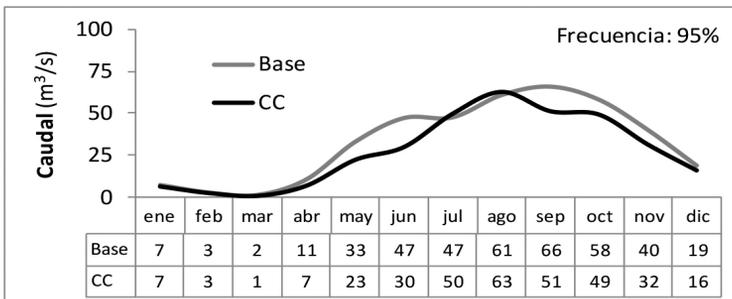


Figura 8. Curva de duración de caudales del río Pagüey, en la estación El Paso: línea base y proyectado por Cambio Climático (HADCM3).

Fuente: Elaboración Propia

Considerando patrones mensuales, las curvas de variación de caudales (figura 9), mostraron que para el caso de 95% de frecuencia, hubo una reducción de la producción de agua de la cuenca del río Pagüey en 10 meses del año, variando entre -6% (-0,3 m³/s) en el mes de febrero, hasta -36% (-16,9 m³/s) en el mes de junio. En los otros 2 meses del año, julio y agosto, la producción de agua aumentó en un valor cercano al 5% (cerca de 2 m³/s).



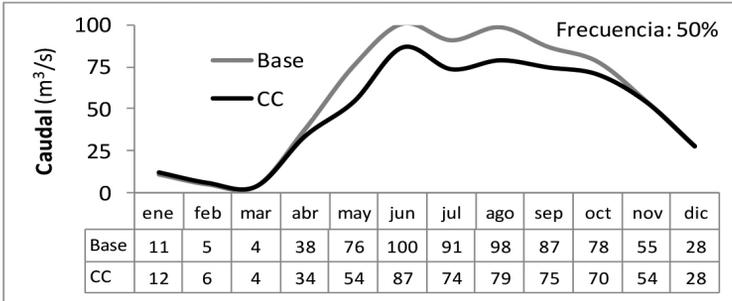


Figura 9. Curva de variación de caudales. Río Pagüey. Estación El Paso.

Fuente: Elaboración Propia

4. Conclusiones

La producción de agua de la cuenca del río Pagüey, calculada mediante simulación hidrológica (modelo SIHIM) y considerando el efecto de cambio climático (modelo HADCM3) indica una reducción del caudal medio del orden del 10% (-5,6 m³/s). Al considerarse una frecuencia de 95% del tiempo, la producción de agua se redujo en un 36% en el mes junio (-16,9 m³/s).

Estos impactos debido al cambio climático, son de importancia y deben ser tomados en cuenta a futuro, ya que la disponibilidad de agua del río Pagüey podría presentar conflictos de uso con diversos usuarios potenciales: el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Barinitas y centros poblados cercanos; el riego (actualmente en desarrollo por SINOHYDRA, convenio China-Venezuela, quienes planifican poner bajo riego unas 2000 ha en el corto plazo) y el Complejo Industrial Santa Inés (COMINSI).

Referencias bibliográficas

- CASTELLANOS, E. & GUERRA, A. 2009. *El cambio climático y sus efectos sobre el desarrollo humano en Guatemala*. – Guatemala. – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Cuaderno de Desarrollo Humano. 2007 / 2008 - 1. Guatemala. 51 p.
- DUQUE, R. & BARRIOS, A. 1988. *Modelo de Simulación a Escala Mensual*. CIDIAT-ULA. Mérida. Venezuela. 86 p.

- IDEM-PNUD, 2010. *Indicadores, tendencias y escenarios hidrológicos para el Cambio Climático*. Programa Conjunto de Integración de Ecosistemas y Adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano. Colombia. 174 p.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. S. Salomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y K.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, U.K. y New York, NY, USA, 996 pp. Recuperado el 19 de septiembre de 2012 de: http://www.ipcc-data.org/sres/hadcm3_info.html.
- MARN-PNUD-GEF. 2005. *Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*. Venezuela. 141p.
- (SGCA, PE) / (BM, US) / (GEF, US) / (MAE/PRAA, EC) / (FONAG, EC). 2011. *Sistema de monitoreo para evaluar la disponibilidad de agua y evolución de los impactos asociados al cambio climático en la parte alta de la cuenca del río Guayllabamba y en las microcuencas Papallacta y Antisana. Estudio de Disponibilidad de Agua*. Quito, EC. 25 p.

