

Estudios Geográficos  
Vol. LXXII, 270, pp. 147-172  
Enero-junio 2011  
ISSN: 0014-1496  
eISSN: 1988-8546  
doi: 10.3989/estgeogr.201107

**Estudio de tendencias climáticas y generación de  
escenarios regionales de cambio climático en una  
cuenca hidrográfica binacional en América del Sur**  
*Study of climate trends and generating regional climate  
change scenarios in a binational river basin in  
South America*

Fernando Oñate-Valdivieso\* y Joaquín Bosque Sendra\*\*

#### INTRODUCCIÓN

La quema de combustibles fósiles, ha sido considerada como un factor decisivo para la producción del cambio climático. La magnitud de las emisiones de gases de efecto invernadero de origen antropogénico registradas entre 1970 y 2004 se ha incrementado entre 30 y 50 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por año (IPCC, 2007b).

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) considera que los impactos del cambio climático no serán uniformes en todo el planeta, sino que variarán de región a región y prevé un aumento de la temperatura media global de entre 1.4 y 5.8 °C hacia el año 2100, y un incremento del nivel del mar en un rango entre 0.1 a 0.9 m. A nivel latinoamericano se ha detectado entre 1970-2004 un incremento de la temperatura comprendido entre 0.2 y 1.0 °C. Se han observado 53 cambios relevantes en diferentes magnitudes analizadas en el aspecto físico, de las cuales el 98% son congruentes con el

---

\* UCG, Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador ([fronate@utpl.edu.ec](mailto:fronate@utpl.edu.ec)).

\*\* Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá. España ([Joaquin.bosque@uah.es](mailto:Joaquin.bosque@uah.es)).

calentamiento y 5 cambios relevantes en el aspecto biológico de las cuales el 100% han sido considerados congruentes con el calentamiento global (IPCC, 2007a).

Los efectos del calentamiento global comprenden cambios a escala planetaria de la temperatura, la precipitación y otras variables climáticas, produciendo inundaciones, sequías, el incremento del nivel medio del mar y de las temperaturas máximas, y un posible aumento de intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos. El cambio climático tendrá entonces considerables impactos en el ciclo hidrológico (Elsner et al., 2010; Zhang et al., 2010) afectando notablemente entre otras a las actividades agrícolas (Vano et al., 2010), la salud pública (Ebi, 2009) y nuestro actual sistema de vida.

En contraposición al IPCC, Robinson et al. (2007) manifiestan que el incremento de la temperatura de La Tierra obedece a dos factores: a) La recuperación de la Pequeña Edad de Hielo (desde comienzos del siglo XIV hasta mediados del XIX) y b) El incremento de la actividad solar, que presenta una correlación significativa con las tendencias crecientes observadas en los registros de temperatura. Sanz Donaire (2002a, 2002b) reporta que al analizar 136 años de registros en la comunidad de Madrid, no fue posible identificar evidencias de cambio climático ni a nivel anual, mensual o en eventos extremos. A esta corriente se une el manifiesto de cierto sector de la comunidad científica que puede leerse en <http://www.petitionproject.org/index.php>, en el que se manifiesta que: «No hay fundamentos científicos para afirmar que las emisiones de CO<sub>2</sub> o la actividad humana en general estén causando un aumento global de la temperatura de la Tierra», invitando por lo tanto, al gobierno de los Estados Unidos, a desconocer los acuerdos firmados en el protocolo de Kyoto en 1997 y otros acuerdos similares.

Lo expuesto, muestra a las claras que no existe un consenso unánime entre los investigadores del cambio climático, pero a pesar de que existen algunos sectores escépticos, el cambio climático es un concepto apoyado por una parte sustancial de la comunidad científica, por lo que se ha considerado oportuno recurrir al análisis estadístico de tendencias presentadas en registros históricos más o menos extensos de variables climáticas como la precipitación y la temperatura, como un medio para identificar posibles evidencias de cambio climático. Adicionalmente se pueden aplicar modelos climáticos que permitan establecer escenarios que representen posibles condiciones climáticas futuras para de esta manera obtener elementos que permitan el estudio de los posibles efectos del cambio climático.

## Objetivo

El objetivo del presente trabajo es el de identificar posibles evidencias de un cambio climático en una región montañosa andina mediante la aplicación de metodologías estadísticas sencillas, para luego generar escenarios regionales de cambio climático para diferentes años horizonte, cuyo efecto en los recursos hídricos será estudiado en un trabajo posterior. Con este trabajo se pretende motivar a los entes de decisión a tomar medidas que permitan una adaptación al cambio climático y conduzcan a atenuar sus posibles efectos. Al inicio del artículo se describe la zona de estudio, se detallan las metodologías empleadas para identificar evidencias de un posible cambio climático y generar escenarios climáticos futuros. Se analizan las evidencias de cambio climático y las condiciones climáticas futuras según se produzcan dos escenarios de cambio climático distintos. Finalmente, se extrapolan las tendencias climáticas observadas hacia el futuro y se comparan con los escenarios climáticos propuestos a fin de observar su grado de correspondencia.

## METODOLOGÍA

### Zona de estudio

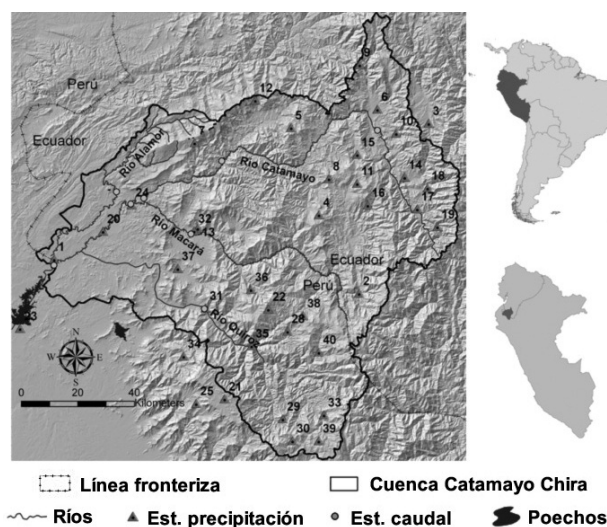
En el presente trabajo se seleccionaron 40 estaciones meteorológicas (tabla 5.1) ubicadas en la zona fronteriza entre Ecuador y Perú (Sudamérica) las que se encuentran ubicadas entre los 3° 30' y 5° 8' de latitud sur y los 79° 10' y los 81° 11' de longitud oeste y se encuentran en el área de influencia de la cuenca binacional Catamayo – Chira.

La cuenca Catamayo-Chira tiene una extensión de 17 199.19 km<sup>2</sup>, en la que habita una población de 817 968 habitantes. La cuenca nace en las cumbres de la divisoria continental de aguas (Ecuador) y desemboca en el Océano Pacífico (Perú), atravesando escenarios montañosos y costaneros, con climas tropicales, ecosistemas, usos y sistemas administrativos; que determinan características territoriales naturales y antrópicas muy diversas. La geografía de la cuenca es abrupta con rangos de altitud que oscilan entre los 3.700 y 0 metros sobre el nivel del mar. En este escenario se presentan once zonas de vida, determinadas por comunidades similares de plantas y animales, las que según la clasificación de Holdridge (1947), van desde el desierto tropical (d-T) hasta el bosque pluvial montano (bp-M). La variación altitudinal de la cuenca permite la ocurrencia de diferentes tipos de climas, los que van desde el frío mo-

derado en las cotas más altas hasta el clima cálido al nivel del mar. La precipitación media anual es del orden de los 800 mm variando entre 10 mm en la zona baja, hasta 1000 mm en su cabecera. La temperatura oscila entre los 24 °C en las partes bajas hasta los 7°C en sus partes más altas. En términos generales la cuenca se encuentra cubierta en un 20% de bosque natural, 21% de bosque seco, un 30% de pastizal, un 10% de cultivos y un 19% de usos varios. La cuenca está formada por la cinco tributarios principales: Los ríos Catamayo, Macará, Quiroz, Chipilico y Amor, de las cuales las mayores productoras de agua son la cuenca del río Catamayo con un caudal medio de 30 m<sup>3</sup>/s y la del río Macará con 40 m<sup>3</sup>/s.

Periódicamente el área de estudio se ve afectada por la ocurrencia del ENSO (El Niño Oscilación Sur), fenómeno que en su fase cálida produce un calentamiento de entre 1 y 4 °C sobre la temperatura normal del océano ocasionando excesos de evaporación y consecuentemente lluvias intensas. La fase fría del fenómeno, conocido como La Niña, produce acumulaciones de agua caliente en el pacifico oeste, por lo que a lo largo de la costa peruana se producen descensos de la temperatura normal del océano ocasionándose notables disminuciones de evaporación y precipitación con consecuentes períodos de sequía. La ubicación de la zona de estudio se presenta en la figura 1.

FIGURA 1  
UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO



## Series climáticas utilizadas

Se recopiló información en 40 estaciones meteorológicas, 15 estaciones climáticas y 6 estaciones hidrológicas, todas ellas pertenecientes a la red del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Ecuador (INAMHI) y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Las principales características de las estaciones consideradas se incluyen en la tabla 1 y su ubicación puede apreciarse en la figura 1.

La consistencia de las series de datos fue verificada mediante curvas de doble masa entre estaciones que presentaban igual régimen y vecindad geográfica, al ser muy variable la extensión de los registros (tabla 1), se procedió a homogeneizarlos al período 1970 – 2000 mediante un análisis de correlación ortogonal entre las estaciones que a más de régimen y vecindad geográfica presentaron la mejor consistencia entre su registros.

## Análisis de tendencia

El clima de una localidad se encuentra determinado por una serie de elementos que interactúan entre sí, que son el resultado de fenómenos físicos que ocurren en las capas inferiores de la atmósfera y que son modificados por una serie de factores de orden geográfico. De los elementos que definen el clima la precipitación y la temperatura son quizá los más representativos y abundantes en términos de registros históricos, por lo que un análisis de su variabilidad podría ser un medio eficiente para identificar evidencias de un posible cambio climático.

Al analizar una serie temporal de datos es posible discriminar en ella componentes tales como la tendencia, la estacionalidad y la aleatoriedad de la serie a fin de caracterizarla y modelarla. Para identificar la existencia o no de un cambio climático en la zona de estudio se procedió a buscar un patrón en las series históricas disponibles de precipitación y temperatura, dicho patrón o tendencia se identificó aplicando un filtro de datos basado en medias móviles de cuarto orden calculadas para cada punto, como un promedio del mismo número de valores ubicados a cada lado de dicho punto, obteniéndose una representación suavizada del registro histórico. La variación de la tendencia fue expresada como la diferencia simple entre el valor inicial y final de la recta de tendencia, calculada mediante mínimos cuadrados aplicados a la nube de puntos generada por las medias móviles.

TABLA 1

ESTACIONES PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO. LAS VARIABLES ANALIZADAS EN CADA ESTACIÓN FUERON: PRECIPITACIÓN (P), TEMPERATURA (T)

ESTACIÓN	CÓD.	PAIS	LAT.	LONG.	ELEV.	VAR.	PERIODO
Alamor en saucillo	1	Ec.	9505457	566997	125	P	1997-2002
Amaluza	2	Ec.	9493392	674770	1690	P,T	1975-2002
Argelia	3	Ec.	9553464	699403	2160	P,T	1963-2002
Cariamanga	4	Ec.	9521176	660606	1955	P,T	1964-2002
Catacocha	5	Ec.	9551949	650752	1763	P,T	1963-2002
Catamayo-Aeropuerto	6	Ec.	9558425	681296	1250	P,T	1963-2002
Celica	7	Ec.	9546579	616616	2017	P,T	1964-2002
Changaimina	8	Ec.	9533920	664116	1970	P	1976-2002
El Cisne	9	Ec.	9574167	675000	2300	P	1971-2002
El Tambo	10	Ec.	9549939	687880	1575	P	1973-2002
Gonzanamá	11	Ec.	9532238	674134	2040	P,T	1965-1999
Lauro Guerrero	12	Ec.	9561629	638095	1923	P	1972-2002
Macará	13	Ec.	9516395	617745	427	P,T	1965-1997
Malacatos	14	Ec.	9534449	690908	1453	P,T	1965-1998
Nambacola	15	Ec.	9542456	674175	1795	P	1971-2002
Quilanga	16	Ec.	9524562	677858	1805	P	1971-2002
Quinara	17	Ec.	9523236	695345	1595	P	1972-2002
Vilcabamba	18	Ec.	9530595	699000	1920	P,T	1978-2002
Yangana	19	Ec.	9516982	702487	1860	P,T	1979-2002
Zapotillo	20	Ec.	9515321	584254	215	P,T	1979-2002
Arenales	21	Pe.	9456070	627254	3010	P	1974-1991
Ayabaca	22	Pe.	9487823	642699	2700	P,T	1971-2002
Chilaco	23	Pe.	9480963	554900	90	P,T	1972-2002
El Ciruelo	24	Pe.	9524654	594327	202	P	1977-2002
Frias	25	Pe.	9454464	617181	1630	P	1972-1992
La Esperanza	26	Pe.	9456418	493286	12	P,T	1972-2002
Mallares	27	Pe.	9463137	529784	45	P,T	1972-2002
Olleros	28	Pe.	9479985	649482	1457	P	1971-1977
Pacaypampa	29	Pe.	9449023	647832	1960	P	1963-2002
Palo Blanco Talaneo	30	Pe.	9441281	651252	2771	P	1972-1992
Paraje Grande	31	Pe.	9488151	620548	555	P	1973-2002
Pte.Internacional	32	Pe.	9515414	616512	408	P	1972-2002
San Juan de los Alisos	33	Pe.	9450472	662361	1301	P	1972-1992
Sapillca	34	Pe.	9471196	612750	1446	P	1972-2002
Sausal Culucan	35	Pe.	9474842	636789	980	P,T	1972-2002
Sicchez	36	Pe.	9494751	636565	1514.2	P	1972-1992
Suyo	37	Pe.	9502161	610687	250	P	1972-1992
Tacalpo	38	Pe.	9485503	655040	1363.5	P	1972-1992
Talaneo	39	Pe.	9441261	660492	2888	P	1972-1992
Tapal	40	Pe.	9472591	660560	1825	P	1972-1992

En el caso de la precipitación se procedió a realizar un doble análisis de la tendencia primeramente considerando el registro histórico en cada estación, para luego replicar el análisis pero filtrando los años en los que se presentó el fenómeno ENSO (1982-1983 y 1997-1998).

## Generación de escenarios regionales de cambio climático

### *Escenarios de emisión de gases de efecto invernadero*

Un escenario climático es una representación del clima futuro que es internamente consistente, que ha sido construida empleando métodos basados en principios científicos y que puede ser utilizada para comprender las respuestas de los sistemas medio ambientales y sociales ante el futuro cambio climático (Vinner y Hulme, 1992)

Los escenarios son representaciones futuras de los potenciales cambios que se pueden dar en el clima a nivel global, fundamentándose en variaciones demográficas, sociales, económicas y desarrollo tecnológico. En el informe especial del IPCC (2000) sobre los escenarios de emisión (SRES) se han considerando cuatro grupos de escenarios principales denominados familias: A1, A2, B1 y B2. Tales escenarios suponen diferentes perspectivas de los cambios a producirse ya que en dos de ellos se recalca la riqueza material y en los otros dos se enfatiza la sostenibilidad y equidad:

## Modelos de circulación general

La herramienta más importante para explorar la posible evolución futura del clima a escala global, conforme escenarios de cambio de las concentraciones de gases de efecto invernadero, son los Modelos de Circulación General del Océano y la Atmósfera (MCG), éstos desarrollan complicados modelos numéricos que simulan matemáticamente el comportamiento de los diferentes elementos del sistema climático: atmósfera, hidrosfera, litosfera y biosfera.

La mayor parte de las ecuaciones en los MCG son ecuaciones diferenciales para la tasa de cambio de una variable, de tal forma que si es conocido su valor en un determinado instante, puede evaluarse el correspondiente en un instante posterior a través de la integración de las ecuaciones apropiadas. Por tanto, los MCG tienen una orientación predictiva y permiten obtener solucio-

nes de las ecuaciones, y simulaciones climáticas, a partir de un estado inicial del sistema (condiciones iniciales).

La principal fuente de incertidumbre de los modelos de circulación general se encuentra en la denominada sensibilidad climática ( $\Delta T_{2X}$ ) la que se entiende como el incremento de la temperatura global que se produce como respuesta a la duplicación del nivel de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Esta definición se basa en que la concentración de CO<sub>2</sub> es el factor principal en el calentamiento del planeta. El IPCC estima que el valor de la sensibilidad climática se encuentra entre 1.5 °C y 4.5 °C con un nivel de confianza del 90%. Este intervalo no ha variado desde el Primer Informe de Evaluación del IPCC publicado en 1990. La mejor estimación de este parámetro parece ser 2.6 °C (IPCC, 2001).

### *Escalado de patrones*

El escalado de patrones (downscaling) es el proceso normalmente empleado para generar escenarios a escala regional.

Los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero no pueden utilizarse directamente para proyectar los patrones de cambio regional, pues ellos solamente proporcionan resultados sobre la temperatura y el incremento del nivel del mar a escala global (Centella, 1998). Por otra parte, aunque los MCG producen sus resultados sobre rejillas uniformes, las cuales sí pueden utilizarse directamente en la proyección de los patrones regionales, sus salidas no están disponibles para una diversidad de supuestos sobre futuras emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Así pues, es necesario combinar los resultados globales de los primeros con las rejillas de los segundos (Centella, 1998). Dicho proceso se denomina escalado de patrones y se basa en el hecho de que los patrones de cambio climático futuro permanecen bastante similares independientemente de la magnitud total (media global) del cambio, al menos por lo que respecta a los GEI (MMAE, 2007). El escalado de patrones permite generar escenarios a escala regional.

Para el escalado de patrones, los valores de cambio de una variable climática en cada punto de rejilla del MCG ( $\Delta Vi$ ) calculados como de la diferencia entre los valores proyectados a un año horizonte por el MCG y los del período de referencia (normalmente 1961-1990), son divididos (estandarizados) por el calentamiento global del MCG en cuestión ( $\Delta T_{MCG}$ ), para producir una magnitud que representa el cambio de cualquier variable por grado de calentamiento global. Finalmente, los valores estandarizados son reescalados nuevamente, al multiplicarlos por el calentamiento global obtenido de la salida de



los escenarios del SRES ( $\Delta T_{\text{año}} \text{MCS}$ ). El proceso puede representarse mediante la ecuación 1 (Centella, 1998).

$$\Delta V_{i,\text{año}} = \Delta T_{\text{año}} \text{MCS} \frac{\Delta V_i}{\Delta T_{\text{MCG}}} \quad \text{Eq. 1}$$

Donde:  $\Delta V_{i,\text{año}}$  es el cambio en la variable  $V$  para un año determinado, en el punto de rejilla  $i$ ;  $\Delta V_i$  es la diferencia entre los valores proyectados a un año horizonte por el MCG y los del período de referencia en el punto de rejilla  $i$ , para la variable  $V$ ;  $\Delta T_{\text{MCG}}$  es el calentamiento global dado por el MCG;  $\Delta T_{\text{año}} \text{MCS}$  es el cambio de temperatura global para un año específico con relación al período 1961-1990 obtenido por los escenarios del SRES.

### *Generación de escenarios*

Un generador de escenarios climáticos (GEC) es una cadena integrada de modelos simples que toman escenarios de emisión como entrada y generan escenarios climáticos distribuidos geográficamente mediante la combinación de los patrones de respuesta de los diferentes GEI con diferentes MCG y utilizando datos climáticos observados. Normalmente los GEC constan de dos módulos: el primero calcula el cambio climático a nivel global mediante un conjunto de modelos climáticos simples que emulan el comportamiento de los MCG; y, el segundo realiza la representación del cambio climático a escala regional mediante una base de datos que contiene resultados de un gran número de experimentos con MCG, así como datos globales de observación.

El GEC más utilizado es el MAGICC/SCENGEN (Wigley, 2003), acrónimo que corresponde a «Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induce Climate Change/SCENario Generator». El modelo incorpora el MAGGICC que es un modelo unidimensional que brinda estimaciones de las concentraciones de los gases de efecto invernadero, temperatura media global y elevación del nivel del mar entre los años 1990 y 2100 y el SCENGEN que ajusta los resultados del MAGGICC conjuntamente con un amplio grupo de MCG tomando como fundamento las sensibilidad climática de cada modelo para originar escenarios de cambio climático regionalizados, aumentando la escala de los resultados de los GCM y así obtener un producto regional de temperatura y precipitación en una cuadrícula de 5°.

Aplicando el módulo MAGGICC se seleccionaron dos escenarios del SRES de características diferentes: B2-MES (extensivo) y A1-FIMI (intensivo), esce-

narios que podrían reflejar cambios coherentes con la realidad de la zona de estudio. Se tomó a 1990 como año de referencia para las simulaciones, año a partir del cual se calcularían los incrementos en la temperatura y la precipitación, y 2100 como año final de las simulaciones según los escenarios SRES seleccionados, de igual manera se seleccionó una sensibilidad climática de 2.6 °C.

Una vez calculado el cambio climático global se procedió a regionalizar los escenarios de cambio climático, para ello se seleccionaron en el módulo SCENGEN ocho modelos de circulación general (MCG): CCC199 (Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis, Canada), CCSR96 (Japanese Centre for Climate Systems Research, Japan), CSM98, ECH498 (German Climate Research Centre, Germany), HAD300 (UK Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Europe), HAD295 (UK Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Europe), MRI\_96 y WM\_95, que presentaron diferentes tendencias de variación climática, pero susceptibles de ser promediadas. Se generaron tasas de variación de la precipitación y temperatura a nivel mensual y anual para períodos de diez años centrados en los años horizonte 2025, 2050 y 2080 calculando el promedio de los ocho MCG mencionados. Detalles de los MCG empleados pueden ser vistos en Hulme et al. (1999), Boer et al. (2000), Johns et al. (1997) y Roeckner et al. (1996).

### **Extrapolación de las tendencias observadas y comparación con los escenarios de cambio climático calculados.**

Una vez determinadas las tendencias climáticas en cada una de las estaciones consideradas en este estudio, se procedió a realizar una extrapolación lineal de la tendencia; empleando para el efecto, la ecuación de la recta de regresión ajustada a la nube de puntos resultante de la aplicación de medias móviles a los registros históricos de precipitación y temperatura.

Se obtuvieron valores de la variación de la precipitación y la temperatura en cada una de las estaciones consideradas y se calculó el promedio simple de dichos valores, obteniéndose un valor correspondiente para cada año horizonte (2025, 2050 y 2080). Los valores de la tendencia se compararon con los calculados para los mismos años horizonte según los dos escenarios climáticos seleccionados (B2-MES y A1-FIMI).

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

**Análisis de tendencia**

En la tabla 2 se resumen las tendencias observadas en términos de variación porcentual de la precipitación total anual y en grados centígrados de variación de la temperatura. En las figuras 2 y 3 se observa la representación gráfica del registro histórico, las medias móviles calculadas y la línea de tendencia de las medias móviles, para la precipitación anual y la temperatura media en su orden, para varias de las estaciones estudiadas.

Al analizar los registros de precipitación se detecta una tendencia creciente en 28 de las 40 estaciones consideradas (tabla 2), pudiendo observarse que la mayor tendencia creciente la presentan estaciones que se encuentran por debajo de los 600 metros sobre el nivel del mar, con valores que fluctúan entre 31% y 187.5% si se consideran los valores observados y entre 5% y 127.4% si se consideran registros filtrando el ENSO. Las estaciones que se encuentran a alturas mayores a los 600 m presentan tendencias crecientes entre 7.7% y 35.5%. En lo que a tendencias decrecientes se refiere, éstas se presentan en 12 estaciones, que se encuentran entre los 980 y los 2160 metros sobre el nivel del mar, con valores que varían entre -2.1% y -34.3%, los que se presentan en estaciones que se encuentran a cotas mayores a los 900 m.

La mayor tendencia creciente de precipitación se observa en la estación Mallares (tabla 2), con una tendencia creciente del 187.5%, con los datos observados la que se ve reducida hasta el 74.1% si se calcula la tendencia filtrando los años ENSO. El notable efecto ENSO se explica por la cercanía de la estación al océano Pacífico, lo que hace que su efecto sea notable. Un hecho similar, aunque de menor magnitud se observa en las estaciones Chilaco y Zapotillo.

El ENSO contribuye a maximizar la tendencia de la precipitación como se puede observar en el caso de la estación El Ciruelo y Paraje Grande (tabla 2), ya que al calcular la tendencia filtrando el año ENSO, ésta se reduce en casi un 50%. En el caso de estaciones como Celica y Frías el ENSO enmascara la tendencia decreciente que dichas estaciones presentan.

En 16 de las 17 estaciones que cuentan con información de temperatura media en la tabla 2, se observa una tendencia creciente de la temperatura con valores que fluctúan entre 0.1 y 2.4 °C. La estación Malacatos presenta una tendencia decreciente de 1°C. La mayor tendencia creciente la presenta la estación de Mallares, en la que se ha registrado un incremento en el orden de 2.4 °C. Las temperatura mínimas presentan una tendencia creciente en todas las estaciones a excepción de Malacatos, Ayabaca y La Esperanza, siendo la es-

tación Malacatos la que presenta una significativa tendencia decreciente en su temperatura mínima que equivale a casi 4 °C. Las temperaturas máximas presentan por su parte, una marcada tendencia creciente con valores que oscilan entre 0.3 y los 2.0 °C.

Los valores de variación de la temperatura que presenta la estación Malacatos evidencian una tendencia contraria a las estaciones restantes, ocasionada en gran medida por la ubicación de la estación, ya que inicialmente se encontraba rodeada por cultivos de caña, que originaban un microclima que era registrado por la estación y que era alterado periódicamente durante los períodos de siembra y cosecha. Este hecho motivó la reubicación de la estación en octubre de 2003 a fin de corregir estas aparentes anomalías. Las restantes estaciones no fueron reubicadas durante el período analizado, ya que en su totalidad, se encuentran rodeadas de pastizales y a una distancia conveniente de objetos cuya altura pudiese alterar el registro de datos.

TABLA 2

RESUMEN DE LAS TENDENCIAS OBSERVADAS, EXPRESADAS EN TÉRMINOS DE VARIACIÓN PORCENTUAL DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL Y EN GRADOS CENTÍGRADOS DE VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA SEGÚN EL CASO. EL SIGNO (+) INDICA SI ES CRECIENTE LA TENDENCIA O (-) SI ES DECRECIENTE. EN EL CASO DE LA PRECIPITACIÓN LA COLUMNA (A.) ESTÁ CALCULADA CON LOS VALORES REALES OBSERVADOS. EN LA COLUMNA (B.) SE HAN FILTRADO LOS AÑOS ENSO

Estación	Cota (m)	Variación de la Precipitación Anual (%)		Variación de la Temperatura (°C)		
		a.	b.	Mínima	Media	Máxima
Alamor en saucillo	125	95.7	95.7	—	—	—
Amaluza	1690	22.1	2.9	—	1.5	0.3
Argelia	2160	-2.1	-2.1	1.4	0.7	1.3
Cariamanga	1955	29	29	0.0	0.5	1.9
Catacocha	1763	18.2	18.2	—	0.1	—
Catamayo-Aereopuerto	1250	-25.3	-25.3	—	1.1	1.7
Celica	2017	-24.5	-30.1	—	0.5	1.3
Changaimina	1970	35.5	35.5	—	—	—
El Cisne	2300	27.4	27.4	—	—	—
El Tambo	1575	-22.6	-22.6	—	—	—
Gonzanamá	2040	-25.9	-25.9	—	0.6	0.5
Lauro Guerrero	1923	22.3	22.3	—	—	—
Macará	427	60.4	87.5	—	1.1	—
Malacatos	1453	-25.3	-25.3	-3.9	-1	0.6

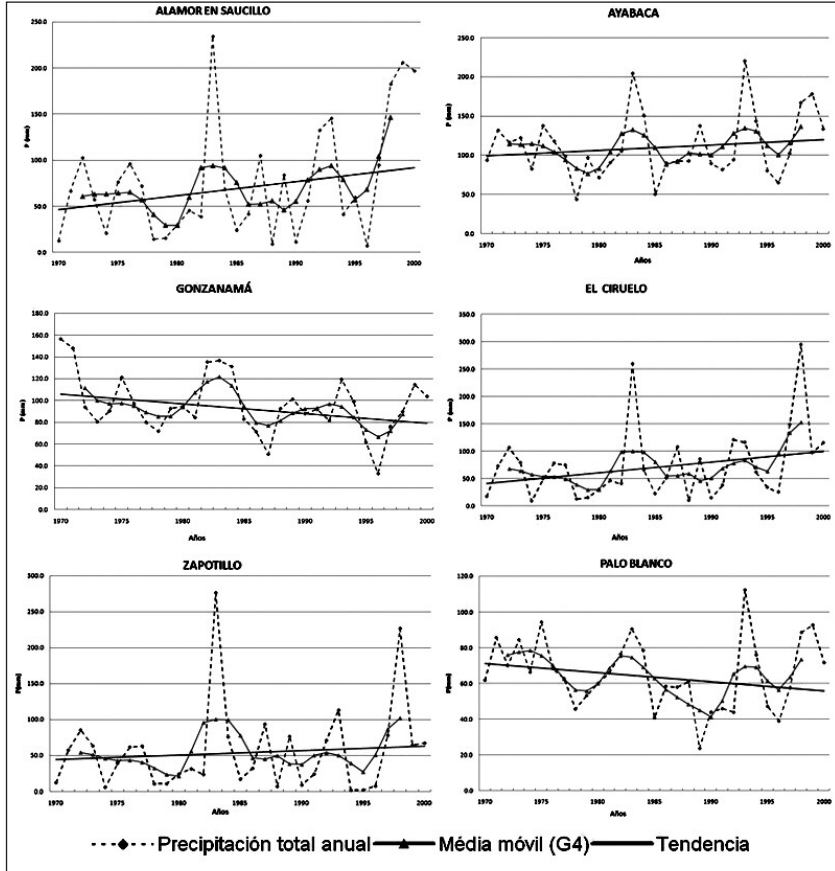
TABLA 2 (continuación)

Estación	Cota (m)	Variación de la Precipitación Anual (%)		Variación de la Temperatura (°C)		
		a.	b.	Mínima	Media	Máxima
Nambacola	1795	20	30.8	—	—	—
Quilanga	1805	-13.9	-13.9	—	—	—
Quinara	1595	25.4	12.4	—	—	—
Vilcabamba	1920	11	11	2.2	1.2	1.1
Yangana	1860	2.2	2.2	—	2.1	—
Zapotillo	215	45	5	—	1	—
Arenales	3010	23.5	23.5	—	—	—
Ayabaca	2700	22.4	22.4	-0.4	1.2	1.9
Chilaco	90	90	35.7	0.4	2.2	0.9
El Ciruelo	202	150	85	—	—	—
Frias	1630	-14.1	-23	—	—	—
La Esperanza	12	37.5	7.1	-1.1	1.7	1.4
Mallares	45	187.5	74.1	3.1	2.4	2.0
Olleros	1457	19.7	19.7	—	—	—
Pacaypampa	1960	7.7	7.7	—	—	—
Palo Blanco Talaneo	2771	-22.5	-22.5	—	—	—
Paraje Grande	555	109.4	58.8	—	—	—
Pte. Internacional	408	132.2	127.4	—	—	—
San Juan de los Alisos	1301	-34.3	-36.2	—	—	—
Sapillica	1446	12	1.4	—	—	—
Sausal Culucan	980	-11.5	-17	1.1	1.0	2.0
Sicchez	1514.2	12.8	-1.5	—	—	—
Suyo	250	31	31	—	—	—
Tacalpo	1363.5	17.2	17.2	—	—	—
Talaneo	2888	13	13	—	—	—
Tapal	1825	-14.5	-14.5	—	—	—

En la tabla 2 se puede observar que las variaciones en la temperatura no son uniformes, es decir que las temperaturas máximas, medias y mínimas presentan tendencias diferentes de variación; así por ejemplo en la estación La Argelia, las temperaturas mínimas presentaron una tendencia creciente equivalente a 1.4 °C, las temperaturas medias se incrementaron en 0.7 °C y las máximas crecieron 1.3 °C. En el caso de Ayabaca, las temperaturas mínimas decrecieron 0.4 °C, las medias incrementaron 1.2 °C y las máximas 1.9 °C. En términos generales, en una misma estación, las temperaturas mínimas presentan una mayor tendencia creciente, seguida de las temperaturas medias y finalmente de las temperaturas máximas. Esto evidencia que las temperaturas mínimas son cada vez más altas, al igual que las medias y las máximas.

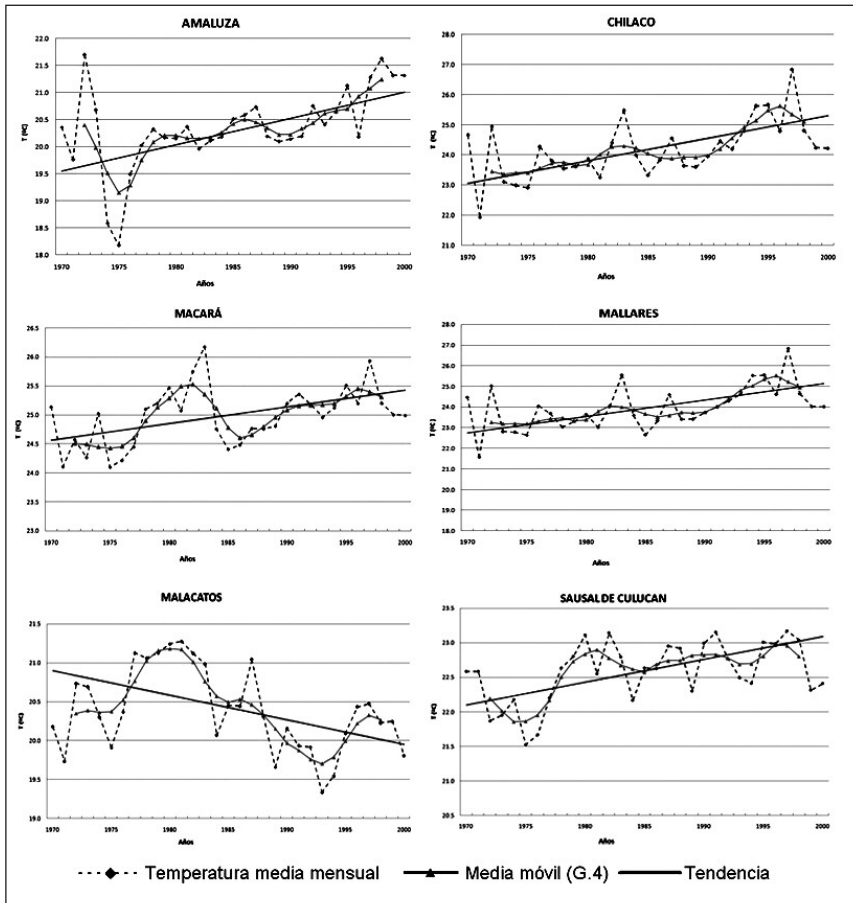
En términos generales en la tabla 2 y las figuras 2 y 3 se observa una tendencia decreciente en los niveles de precipitación en las zonas altas de la

FIGURA 2  
TENDENCIAS DE PRECIPITACIÓN



cuenca y una tendencia creciente en las partes bajas. La temperatura (media, máxima y mínima) presenta una tendencia creciente en toda la zona de estudio. Al comparar la tendencia crecientes observada en los registros de temperatura, con las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero en el período 1970-2004, las que según el IPCC (2007b), se han incrementado entre 30 y 50 Gtn de CO<sub>2</sub> equivalente por año, se podría pensar en la existencia de una posible relación entre ellas, que podría explicar el incremento constante observado en los registros de la temperatura.

FIGURA 3  
TENDENCIAS DE TEMPERATURA MEDIA



### Generación de escenarios de cambio climático

La variación estacional (régimen) de la precipitación y la temperatura, en dos estaciones representativas del comportamiento general de la zona de estudio, se presenta en la figura 4. Los escenarios climáticos generados se resumen en las figuras 5, 6 y 7.

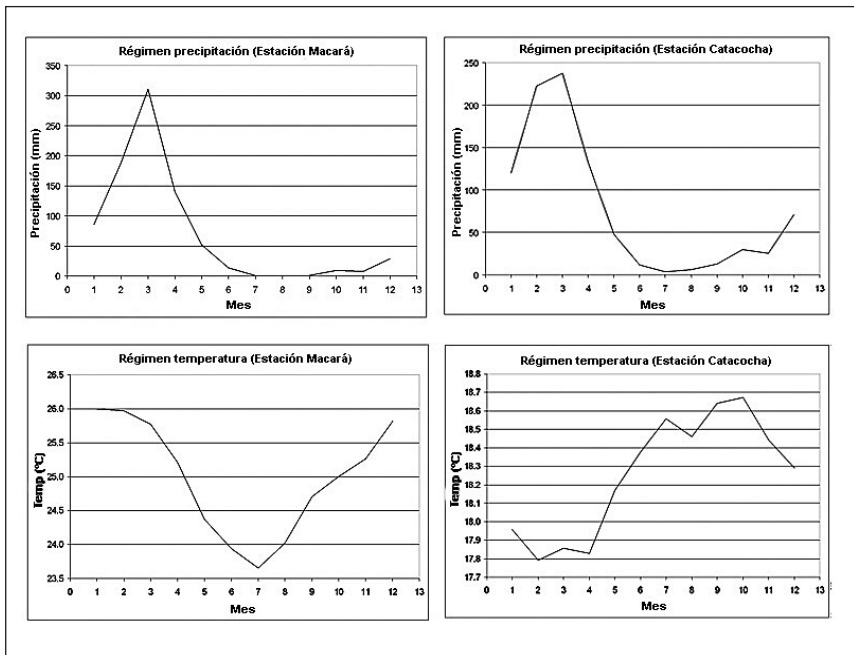
La variación estacional de la precipitación es más o menos uniforme en toda el área de estudio, como puede apreciarse en la figura 4, notándose que tanto

en la parte alta (p. ej. la estación Catacocha) como la parte baja de la cuenca (p. ej. la estación Macará) se presenta una temporada lluviosa que se extiende de noviembre a mayo, notándose que la diferencia entre la temporada lluviosa y la seca es mucho más marcada en la parte baja de la cuenca. La temperatura presenta dos regímenes de variación (figura 4): el primero presente predominantemente en la zona sur este del área de estudio con valores máximos de temperatura entre julio y noviembre; y el segundo, predominante en el resto del área de estudio, con valores mínimos entre mayo y septiembre. En todo caso el rango anual de variación de la temperatura media no sobrepasa los 3 °C.

Al contrastar el régimen histórico de precipitación, incluido en la figura 4, con los resultados mensuales obtenidos para cada año horizonte según los dos escenarios considerados, incluidos en la figura 5, se prevén notables incrementos de la precipitación durante los meses de junio y julio, indicándose un mayor incremento en el mes de junio, esto se contrapone a la ten-

FIGURA 4

#### RÉGIMEN HISTÓRICO DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN LA ZONA DE ESTUDIO



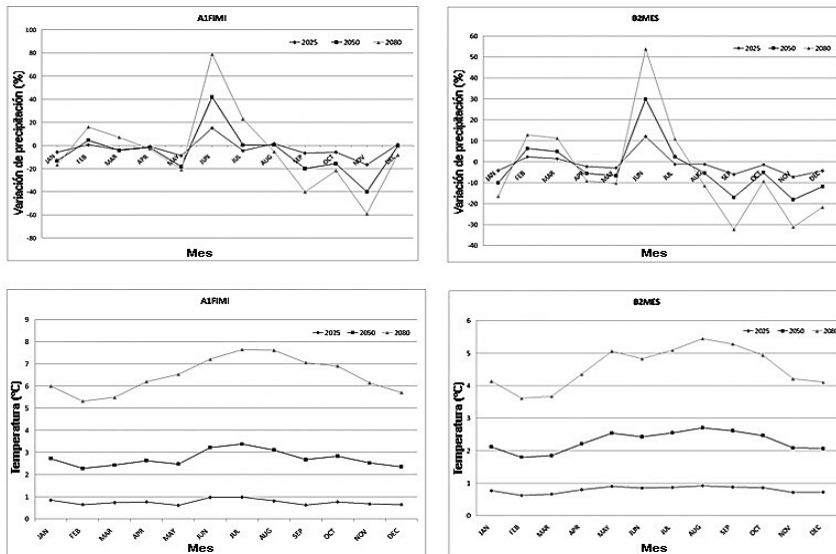


dencia histórica ya que los meses de junio, julio y agosto son los que registran menores valores de precipitación. Según los escenarios generados, los meses de septiembre, octubre y noviembre presentarán notables disminuciones en sus niveles de precipitación, lo que se contrapone con la tendencia histórica que presenta en los meses de noviembre y diciembre como los de inicio del año hidrológico. Los valores de precipitación máximos históricos se presentan en los meses de febrero y marzo, lo que de cierta manera coincide con los valores que se pueden esperar para dichos meses según los escenarios estudiados.

En el caso de las temperaturas, al contrastar la variación estacional observada en la temperatura e incluida en la figura 4 con los escenarios generados a nivel mensual que se indican en la figura 5, se puede comprobar que los mayores incrementos estimados según los escenarios considerados se presentarán en los meses de junio a septiembre, incrementando su valor conforme incrementa el año horizonte. Al observar la tendencia histórica se puede observar que los meses de junio, julio y agosto son los que presentan mayores

FIGURA 5

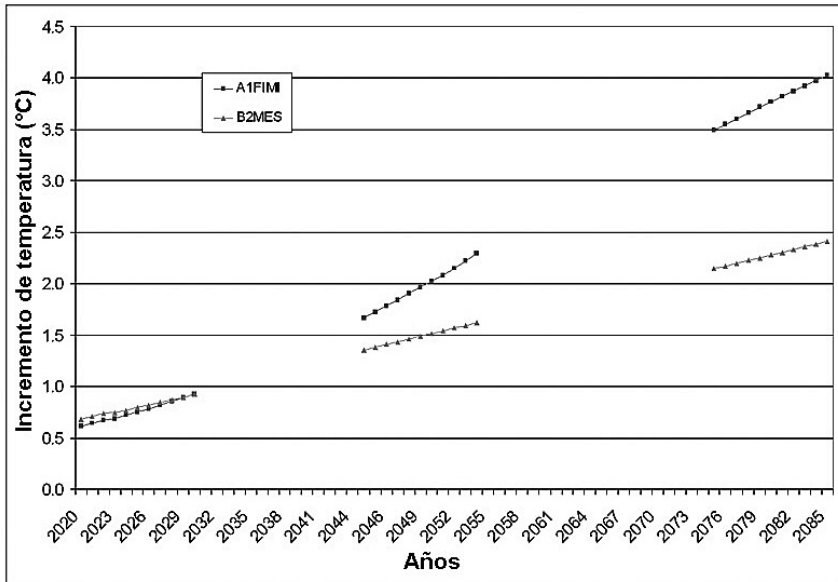
ESCENARIO DE VARIACIÓN MENSUAL DE PRECIPITACIÓN (EN %) Y TEMPERATURA (EN °C) SEGÚN CADA AÑO HORIZONTE



disminuciones de temperatura. Los meses que históricamente se presentan como los más cálidos, es decir abril y octubre, muestran moderados incrementos de temperatura según los escenarios estudiados.

A escala anual (figura 6), se puede observar una tendencia creciente en el caso de la temperatura, la que experimentaría un incremento entre 0.6 °C para el año 2020 y 4 °C para el 2085 según el escenario de referencia A1FIMI. Según el escenario de política B2MES las variaciones estarían entre 0.65°C para el 2020 y 2.4 °C para el 2085.

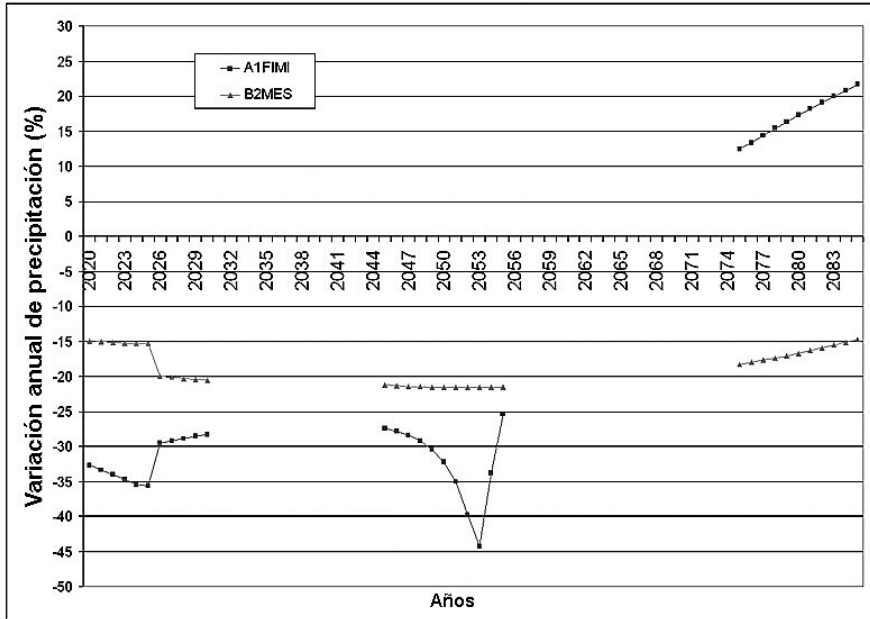
FIGURA 6  
ESCENARIO DE VARIACIÓN ANUAL DE LA TEMPERATURA MEDIA  
CONSIDERANDO UN PERÍODO DE 10 AÑOS CENTRADO  
EN CADA AÑO HORIZONTE



En el caso de la precipitación (figura 7), se puede observar una tendencia muy variable, casi oscilante, según el escenario de referencia A1FIMI, decreciente entre el 2020 y 2025, para presentar un decremento de menor magnitud de los volúmenes de precipitación entre 2025 y el 2045, para nuevamente producirse un descenso paulatino más pronunciado entre el 2045 y el 2053, para finalmente presentar un incremento constante hasta el 2085.

FIGURA 7

ESCENARIO DE VARIACIÓN ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL  
CONSIDERANDO UN PERÍODO DE 10 AÑOS CENTRADO EN  
CADA AÑO HORIZONTE



De acuerdo con el escenario de política B2MES, la situación de la precipitación será en algo similar ya que se observa una tendencia decreciente entre el 2020 y el 2050, para presentar una tendencia relativamente creciente a partir del 2050 hasta el 2085, recuperando prácticamente sus niveles iniciales.

Según el escenario A1FIMI los años más secos serán 2025, 2052 y 2053 y según el escenario B2MES los años más secos serán los comprendidos entre 2050 y 2053.

En términos generales el escenario A1FIMI prevé mayores incrementos de temperatura en la zona de estudio con decrementos significativos de la precipitación, produciéndose aumentos considerables de la misma a partir del año 2074. El escenario B2MES prevé incrementos más moderados de la temperatura que los previstos por el escenario A1FIMI y disminuciones moderadas de precipitación, sin llegarse a producir incrementos significativos de la misma.

### Extrapolación de las tendencias observadas y comparación con los escenarios de cambio climático calculados.

En las tabla 3 y 4, respectivamente, se presenta la variación esperada de la precipitación y la temperatura para cada año horizonte, las mismas que han sido calculadas en base a la extrapolación de las tendencias observadas. En estas tablas se puede comprobar que conforme incrementa el año horizonte, el valor de la variación esperada de la precipitación incrementa siguiendo la tendencia observada, alcanzando valores hacia 2080 que podrían ser excesivos, como es el caso de la estación Mallares que de mantenerse la tendencia observada, presentaría incrementos muy significativos de la precipitación, del orden del 640%, caso similar, aunque en menor escala lo presentan las

TABLA 3

VARIACIÓN ESPERADA DE LA PRECIPITACIÓN PARA CADA AÑO HORIZONTE, SEGÚN EXTRAPOLACIÓN DE LAS TENDENCIAS OBSERVADAS EN CADA ESTACIÓN

Estación	Incremento Porcentual al año horizonte			Estación	Incremento Porcentual al año horizonte		
	2025	2050	2080		2025	2050	2080
Alamor en saucillo	180.9	266.2	368.6	Altamiza	-79.2	-116.6	-161.5
Amaluza	38.3	56.4	78.0	Arenales	-32.2	-47.4	-65.6
Argelia	-3.9	-5.7	-7.9	Ayabaca	37.0	54.4	75.4
Cariamanga	60.2	88.7	122.8	Chilaco	163.8	241.1	333.8
Catacocha	29.7	43.8	60.6	El Ciruelo	0.3	0.4	0.5
Catamayo-Aeropuerto	-47.6	-70.1	-97.1	La Esperanza	83.5	122.9	170.2
Celica	-47.2	-69.5	-96.2	Mallares	314.4	462.7	640.7
Changaimina	54.6	80.4	111.3	Olleros	35.4	52.1	72.2
El Cisne	45.2	66.5	92.0	Pacaypamba	13.6	20.0	27.7
El Tambo	-38.8	-57.1	-79.1	Palo Blanco Talaneo	-37.6	-55.4	-76.7
Gonzanamá	-44.8	-65.9	-91.2	Paraje Grande	195.6	287.9	398.7
Lauro Guerrero	40.7	60.0	83.0	Pasapamba	0.0	0.1	0.1
Macará	113.0	166.3	230.2	Pte Internacional	191.0	284.6	397.0
Malacatos	-46.2	-68.0	-94.2	Sapillica	20.8	30.6	42.3
Nambacola	38.5	56.7	78.4	Sausal de Culucan	-16.2	-23.9	-33.1
Quilanga	-23.5	-34.6	-47.9	Sicchez	25.6	37.7	52.2
Quinara	46.6	67.7	93.1	Suyo	57.2	84.2	116.6
Vilcabamba	17.2	25.3	35.0	Tacalpo	30.7	45.2	62.6
Yangana	6.0	8.9	12.3	Talaneo	15.8	23.2	32.2
Zapotillo	74.0	109.0	150.9	Tapal	-24.6	-36.3	-50.2

estaciones Pte. Internacional (397%), Paraje Grande (398%), Alamor en Saucillo (368.6%) entre otras. La tendencia decreciente es un poco más moderada, alcanzando valores de  $-161\%$  en la estación Altamiza,  $-97\%$  en Catamayo-Aeropuerto,  $-96\%$  en Celica y  $-94\%$  en Malacatos.

En el caso de la temperatura las variaciones esperadas para el 2080 presentan rangos que oscilan entre  $-3.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Estación Malacatos) hasta  $8.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Mallares). La tendencia predominante es creciente con la excepción hecha a la estación Malacatos que presenta una tendencia decreciente, posiblemente debido a las circunstancias ya anotadas.

TABLA 4

VARIACIÓN ESPERADA DE LA TEMPERATURA PARA CADA AÑO HORIZONTE, SEGÚN EXTRAPOLACIÓN DE LAS TENDENCIAS OBSERVADAS EN CADA ESTACIÓN

Estación	Incremento en $^{\circ}\text{C}$ al año horizonte			Estación	Incremento en $^{\circ}\text{C}$ al año horizonte		
	2025	2050	2080		2025	2050	2080
Amaluzá	2.6	3.8	5.2	Vilcabamba	2.1	3.1	4.2
Argelia	1.2	1.8	2.4	Yangana	3.7	5.4	7.5
Cariamanga	0.9	1.3	1.8	Zapotillo	1.8	2.6	3.6
Catacocha	0.1	0.1	0.2	Ayabaca	2.1	3.1	4.4
Catamayo-Aeropuerto	2.5	3.6	5.0	Chilaco	4.0	5.8	8.1
Celica	0.9	1.3	1.7	La Esperanza	2.9	4.3	6.0
Gonzanamá	0.8	1.2	1.6	Mallares	4.2	6.2	8.6
Macará	1.5	2.2	3.1	Sausal	1.7	2.6	3.6
Malacatos	-1.7	-2.5	-3.4				

La comparación entre los valores de variación para la precipitación y la temperatura, obtenidos mediante el promedio simple de los resultados de la extrapolación de tendencias y la aplicación de los dos escenarios climáticos considerados, se presentan para cada año horizonte en la tabla 5.

En el caso de las temperaturas la extrapolación de la tendencia y el escenario A1FIMI presentan una aceptable correspondencia, no así con el escenario B2MES que presenta valores más conservadores que pueden ser hasta un  $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  menores. Al parecer la temperatura ha tenido una evolución similar a la considerada en los informes del IPCC y se puede esperar una variación futura en base a los mismos lineamientos.

TABLA 5

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE VARIACIÓN EN LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA OBTENIDOS MEDIANTE LA EXTRAPOLACIÓN DE LAS TENDENCIAS OBSERVADAS Y LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS CALCULADOS

		2025	2050	2080
Variación temperatura (°C)	Estrapolación de la tendencia	1.8	2.7	3.7
	A1F1MI	0.8	2.0	3.8
	B2MES	0.8	1.5	2.3
Variación Precipitación (%)	Estrapolación de la tendencia	37.2	54.8	75.9
	A1F1MI	-35.6	-32.2	17.3
	B2MES	-15.3	-21.6	-16.7

En el caso de la precipitación se puede observar que los dos escenarios climáticos propuestos prevén disminuciones significativas, frente a que las tendencias observadas permitirían esperar incrementos considerables. Esta discrepancia posiblemente se origina en el hecho de que los efectos del cambio climático se empezarían a sentir con posterioridad al año 2000 y el período del presente estudio es anterior a dicho año (1970-2000), esto hace pensar que los cambios en la temperatura alterarán el ciclo hidrológico local lo que ocasionaría cambios notables en las tendencias históricas observadas.

## CONCLUSIONES

Se observó una tendencia creciente de la temperatura en toda el área de estudio y dos tendencias en la precipitación: una decreciente en las partes altas de la zona de estudio y otra creciente en las partes bajas. En el caso de la precipitación la tendencia fue afectada por la ocurrencia del ENSO, ya que el incremento extraordinario de precipitación propio de dicho evento, contribuye a acentuar la tendencia creciente que presentan algunas estaciones y en los casos en los que la tendencia es decreciente, contribuyó a atenuarla.

La variación creciente de la tendencia de la temperatura evidencia la existencia de un cambio climático en la zona de estudio, el que es correspondiente al volumen de emisiones de gases de efecto invernadero registrados a nivel mundial en un período similar al de estudio.

Los escenarios regionales generados prevén trastornos en el régimen de temperatura en la zona de estudio ya que meses tradicionalmente fríos experi-

mentarían considerables aumentos de temperatura. El régimen de precipitación también se vería seriamente alterado ya que los meses secos presentarían incrementos de precipitación y en meses tradicionalmente húmedos se producirían decrementos significativos.

A pesar de que se prevé un incremento de los niveles de precipitación en ciertos meses, en otros, las disminuciones serían igualmente significativas, por lo que los totales anuales se verían notablemente reducidos, lo que hace suponer una posible escasez de recursos hídricos en la zona de estudio, mayor estrés hídrico en la vegetación e incluso un posible incremento de la intensidad de los eventos extremos de precipitación.

La extrapolación de las tendencias de temperatura media hacia los años horizonte presenta una buena correspondencia con el escenario A1FIMI, en contraposición al escenario B2MES que presenta valores más conservadores. Al extrapolar las tendencias de precipitación se obtienen resultados opuestos a los obtenidos según los escenarios planteados, lo que hace suponer que un posible cambio climático afectaría considerablemente el ciclo hidrológico alterando las tendencias históricas observadas.

Los escenarios climáticos no son pronósticos o predicciones, solo son una representación de posibles condiciones climáticas futuras, por lo que la innegable vulnerabilidad de la zona de estudio a fenómenos extremos como sequías, inundaciones y deslizamientos, debe ser el origen de una cultura institucional orientada a la prevención de desastres, con un coherente ordenamiento territorial, y procurando siempre la conservación y manejo planificado de los recursos naturales.

Recibido: 06/11/2009

Aceptado: 20/09/2010

#### BIBLIOGRAFÍA

- Boer, G. J., Flato, G., Reader, M. C., Ramsden, D. (2000): "A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: experimental design and comparison with the instrumental record for the twentieth century". *Climate Dynamics*. 16, pp. 405-425.
- Centella, A. (1998): *Escenarios de Cambio climático para la evaluación de los impactos en El Salvador*. San Salvador, Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales de El Salvador.
- Ebi, K. L. (2009): "Public Health Responses to the Risks of Climate Variability and Change in the United States". *Journal Of Occupational And Environmental Medicine*, 51, 1, pp. 4-12 .

- Elsner, M. M., Cuo, L., Voisin, N., Deems, J. S., Hamlet, A. F., Vano J. A., Mickelson, K. E. B., Lee, S. Y., Lettenmaier, D. P. (2010): "Implications of 21st century climate change for the hydrology of Washington State". *Climatic Change* 102, pp. 225-260, DOI 10.1007/s10584-010-9855-0.
- Holdridge, L. R. (1947): "Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data". *Science*, 105, 2727, pp. 367-368.
- Hulme, M., Mitchell, J., Ingram W., Lowe J., Johns, T., New, M., Viner, D. (1999): "Climate change scenarios for global impacts studies". *Global Environmental Change*, 9, pp. S3-S19.
- IPCC (2000): *Informe especial sobre escenarios de emisión: Resumen para responsables de políticas*. Cambridge-NuevaYork, Cambridge University Press, 81pp. En línea: <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-sp.pdf> (consultado 25/02/2011).
- IPCC (2001): *Climate Change, 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson (eds.)]. Cambridge-NuevaYork, Cambridge University Press, 881 pp.
- IPCC (2007a): [M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, (eds)], *Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático*. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press, 100 pp.
- IPCC (2007b): [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], *Cambio Climático 2007: Mitigación. Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático*. Cambridge, Cambridge University Press, 96 pp.
- Johns, T. C., Carnell, R. E., Crossley, J. F., Gregory, J. M., Mitchell, J. F. B., Senior, C.A., Tett, S. F. B., Wood, R. A. (1997): "The second Hadley Centre coupled ocean-atmosphere GCM: model description, spinup and validation". *Climate Dynamics*. 13, pp. 103-134.
- MMAE (2007): *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España, primera fase*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente de España. Disponible en <http://www.aemet.es/es/noticias/2007/20070417b> (consultado 25/02/2011).
- Ojeda Martín, M. R., Sanz Donaire, J. J. (2005): "¿Se acentúan ahora las catástrofes climáticas en España?". *Observatorio medioambiental*, 8, pp. 153-172. Disponible en <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1248586> (consultado 25/02/2011).
- Robinson, A. B., Robinson, N. E., Soon, W. (2007): "Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide". *Journal of American Physicians and Surgeons*. 12, pp.79-90.
- Roeckner, E., Oberhuber, J.M., Bacher, A., Christoph, M., Kirchner, I. (1996): "ENSO variability and atmospheric response in a global coupled atmosphere-ocean GCM". *Climatic Dynamics*, 12, pp. 737-754.
- Sanz Donaire, J. J. (2002): "Un cambio climático que no existe: las precipitaciones en Madrid". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, pp. 443-458. Disponi-



- ble en <http://revistas.ucm.es/ghi/02119803/articulos/AGUC0202220443A>. PDF (consultado 25/02/2011).
- Sanz Donaire, J. J. (2001-2002): "Las precipitaciones mensuales en Madrid y el cambio climático". *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, N°. 137-138, 2001-2002, pp. 311-324. Disponible en <http://www.realsociedadgeografica.com/es/pdf/Boletin%20137-138.pdf> (consultado 25/02/2011).
- Smith, S. J., Wigley, T. M. L., Nakicnovic, N. y Raper, S. C. B., "Climate implications of greenhouse gas emissions scenarios". *Technological Forecasting and Social Change*. 65 (2), 2000. pp. 195-204.
- UNFCCC (1992): (Convención sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas). Disponible <http://www.unfccc.int/> (consultado 25/02/2011).
- Vano, J. A., Scott M. J., Voisin, N., Stöckle, C. O., Hamlet, A., Mickelson, K- E. B., McGuire, M., Lettenmaier, D. P. (2010): "Climate change impacts on water management and irrigated agriculture in the Yakima River Basin, Washington, USA". *Climatic Change*, 102, pp. 287-317 DOI 10.1007/s10584-010-9856-z.
- Viner D., Hulme M. (1992): *Climate change scenarios for impact studies in the U. K.* Climatic Research Unit, UEA.
- Wigley, T. M. L. (2003): *MAGICC/SCENGEN 4.1: User Manual*, Unidad de Investigaciones del Clima, Norwich, Reino Unido. 24 p.
- Zhang, Q., Xu, C., Zhang, Z., Chen, Y. D. (2010): "Changes of atmospheric water vapor budget in the Pearl River basin and possible implications for hydrological cycle" *Theor Appl Climatol*, 102, pp. 185-195, DOI 10.1007/s00704-010-0257-z.

## RESUMEN

A pesar de que no hay consenso unánime entre la comunidad científica sobre el calentamiento global, el cambio climático y sus efectos, es innegable que el clima condiciona en gran medida la disponibilidad de los recursos hídricos. Buscando evidencias de un posible cambio climático, en el presente trabajo se estudian las tendencias de las series históricas de precipitación y temperatura registradas en 40 estaciones climáticas ubicadas en la región fronteriza ecuatoriano-peruana aplicando un filtro de medias móviles de cuarto orden. Considerando dos escenarios distintos de evolución climática propuestos por el IPCC y aplicando 8 modelos de circulación general se generaron escenarios regionales futuros de precipitación y temperatura hacia los años horizonte 2025, 2050 y 2080. Se encontraron evidencias de cambio climático, así como tendencias crecientes de la temperatura que son correspondientes al volumen de emisiones de gases de efecto invernadero. Según los escenarios analizados se prevé trastornos considerables del régimen climático actual con un sostenido incremento de temperaturas y una oscilante disminución de las precipitaciones.

**PALABRAS CLAVE:** Cambio climático; tendencia climática; escenario hidrológico; Magicc Scengen; Catamayo Chira.

**ABSTRACT**

Despite the fact that there is no agreement among scientists about global warming, climate change, and their effects, there is no doubt that the availability of water resources depends to a great extent on climate. With the purpose of seeking evidence of climate change, the tendencies of the historical series of rainfall and temperature recorded in 40 climate stations located in the Ecuadorian-Peruvian border were studied by applying a fourth order moving average filter. After considering two different scenarios of climate evolution which were proposed by the IPCC, and applying 8 general circulation models, future regional scenarios of rainfall and temperature towards the year were generated toward the future years of 2025, 2050 and 2080. Evidence of climate change was found, and increasing trend of temperature, which is consistent with the volume of emissions of greenhouse gases. According to the scenarios analyzed, considerable climate disorders are forecasted with a steady increase in temperature and an oscillating decrease in rainfall.

**KEY WORDS:** Climate change; climatic trend; Hydrological scenario; Magicc Scengen; Catamayo Chira.

**RÉSUMÉ**

Bien qu'il y ait un consensus unanime parmi les scientifiques sur le réchauffement planétaire, du changement climatique et son impact est indéniable que le climat détermine largement la disponibilité des ressources en eau. Rechercher les preuves d'un éventuel changement climatique dans le présent document, nous étudions les tendances de la série historique des précipitations et des températures enregistrées à 40 stations météorologiques situées dans l'Equateur-Pérou dans la région frontalière en utilisant un filtre moyenne mobile du quatrième ordre. Considérant que deux scénarios différents de développement climatiques proposées par le GIEC et applicable 8 modèles de circulation générale ont été générés scénarios de précipitations régionale future et la température au cours des années 2025, 2050 et 2080. preuve du changement climatique a été trouvé, et l'augmentation de la tendances des température qui sont pertinents pour le volume des émissions de gaz à effet de serre. Selon les scénarios envisagés prévoit d'importantes perturbations dans le régime climatique actuel, avec une augmentation constante des températures et une diminution des précipitations.

**MOTS CLÉS:** changement climatique; l'évolution du climat; hydrologiques stade; Magicc Scengen; Catamayo Chira.