

ANÁLISIS DE LAS AMENAZAS CLIMÁTICAS FUTURAS EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS: SANTIAGO, MAYO, PUYANGO Y CATAMAYO

Guillermo Eduardo Armenta^{1*}, Camelia Sofiea¹, Francisco Gordillo², Andrés Guerrero¹, Jorge Luis Villa¹

¹Consultor. Fondo Regional del Agua (FORAGUA)

²Director del Fondo Regional del Agua (FORAGUA)

*Autor para correspondencia: motsvanska@gmail.com

Recibido: 2019/05/30

Aprobado: 2019/11/30

DOI: <https://doi.org/10.26621/XV21.2019.12.A01.PUCESI.2550.6684>

RESUMEN

Se presenta el análisis de las tendencias climáticas y eventos climáticos extremos, actuales y futuros, para las cuencas hidrográficas: Santiago, Mayo, Puyango y Catamayo. Este análisis se realizó con base en la información histórica observada de estaciones hidrometeorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) y la generada en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Para el análisis histórico, el periodo de referencia fue 1981-2015, y para el análisis futuro, se trabajó con las proyecciones de los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 para el periodo 2011-2040. Entre los resultados del análisis se destaca el aumento de la precipitación y de los eventos extremos (una mayor cantidad de días con lluvias extremas y aumento de la duración de las sequías), así como un evidente incremento de la temperatura, tanto en los valores medios como en la cantidad de días con temperaturas muy altas.

Palabras clave: tendencias climáticas, escenarios de cambio climático, ventos extremos, índices climáticos

ABSTRACT

An analysis of, current and future, climatic trends and extreme climate events, for Santiago, Mayo, Puyango and Catamayo Hydrographic Basins is presented. This analysis was made using historical information from weather stations of the National Institute of Meteorology and Hydrology of Ecuador (INAMHI) and information generated in the Third National Communication of Climate Change. For historical analysis, the base period was 1981-2015, and for future analysis, RCP 4.5 and RCP 8.5 climate change scenarios projections for the 2011-2040 period were used. Results show an increase in the precipitation and in extreme events (more days with extreme rains and longer droughts). Also, the results show an evident temperature increase in the average values, as well as, in the amount of days with extreme temperatures

Keywords: climatic trends, climate change scenarios, extreme climate events, climatic indexes

INTRODUCCIÓN

El concepto de “cambio climático” se refiere a una variación gradual y permanente del clima y a la variabilidad del sistema climático, el cual se mantiene de manera casi constante durante varias décadas. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) solamente tiene en cuenta aquel que es causado por actividades humanas y llevan a un incremento en la concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera. Entre estas actividades se encuentran los cambios en el uso de la tierra, los procesos industriales y el uso de combustibles fósiles (IPCC, 2014).

Por otra parte, un “escenario” se define como una descripción coherente, internamente consistente y convincente de un posible estado futuro del mundo, y en este caso, del clima (IPCC-DDC, 2013). Como tal, los escenarios no deben asumirse como pronósticos o predicciones, sino como una imagen alternativa de cómo el futuro puede mostrarse bajo determinadas condiciones en un tiempo dado (Armenta, et al; 2015). Actualmente, el Quinto Reporte de Evaluación (AR5) del IPCC utiliza los escenarios definidos como “Vías Representativas de Concentraciones” o RCP (Representative Concentration Pathways, por sus siglas en inglés) (Figura 1). Estos escenarios, en términos generales, definen los niveles de concentraciones de CO₂ equivalentes que se tendrían hacia el año 2100. Basado en estos niveles y a partir de este año de referencia se mira hacia atrás a diferentes supuestos (desarrollos tecnológicos, uso de combustibles fósiles, energías renovables, políticas ambientales, medidas de adaptación y mitigación, control del crecimiento de la población, modelos económicos globales o regionales, entre otros) que podrían llevar a esos niveles de concentración.

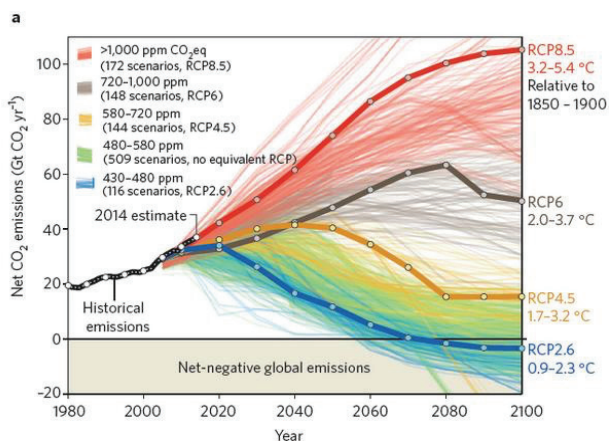


Figura 1. Escenarios de Cambio Climático del Quinto Reporte de Evaluación (AR5) del IPCC: Vías Representativas de Concentraciones (RCP). Fuente, IPCC (2012)

Así, las “amenazas climáticas” (o peligros) son los sucesos o tendencias físicas relacionados con el clima o sus impactos relacionados, susceptibles de ocasionar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos a la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (IPCC, 2014). Las principales amenazas climáticas están asociadas al comportamiento de la precipitación y la temperatura, y por lo general están asociadas a los valores atípicos de estas variables (muy por encima o muy por debajo del rango esperado para ellas). Cuando se hace referencia a estas amenazas debe tenerse la claridad de que se consideran únicamente aquellas en las que el comportamiento meteorológico o climático es el principal factor directo de impacto, y no aquellas que surgen como consecuencia del mismo y que están asociadas a otros factores -como por ejemplo, las inundaciones o los deslaves-. Entre las amenazas que mayor impacto presentan en los diferentes sectores (económicos, sociales, etc.) están las siguientes (PNUD, 2010):

Sequías: Se definen como la ausencia de lluvias durante un periodo prolongado de tiempo que puede ocasionar desequilibrios hidrológicos significativos. Las sequías tienen efectos más intensos si además hay presencia de altas temperaturas durante su ocurrencia (olas de calor).

Lluvias intensas: Son altas cantidades de lluvias (superiores al valor promedio) que se dan en periodos cortos de tiempo. Estas lluvias ocasionan impactos en la agricultura (pérdida de cultivos), la infraestructura (corrimientos de tierra e inundaciones), entre otros.

Olas de calor: Se define como varios días consecutivos (más de cuatro días) con temperaturas máximas muy altas, lo que ocasiona impactos en la agricultura, la salud y en los ecosistemas.

El cambio climático ha sido reconocido como un desafío para el desarrollo de los países y el bienestar de ecosistemas y sociedades. Según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) producen el aumento de la temperatura media a nivel global, lo cual altera el sistema climático y ocasiona impactos como aumento del nivel del mar, cambios en los patrones de la precipitación y mayor intensidad y frecuencia e intensidad de los eventos extremos de origen climático (IPCC, 2014).

Por otro lado, la variabilidad climática es una medida del rango en que los parámetros climáticos, como temperatura

o precipitación, cambian de un año a otro (PACC, 2009). Analizando sucesos del pasado, es evidente que los mayores impactos sufridos por la sociedad se deben a la presencia de eventos extremos, originados en los valores medios de los parámetros climáticos. Sin embargo, también los cambios graduales en dichos patrones tienen un alto potencial de impacto sobre sistemas humanos y naturales, en especial sobre aquellos más sensibles y/o expuestos, por lo que dicho potencial de impacto no debe ser minimizado; por el contrario, debe ser abordado de manera oportuna. De igual manera, se ha evidenciado que la sensibilidad de los sistemas naturales y humanos es más alta ante los eventos extremos.

A continuación, se presenta el análisis climático futuro elaborado para las cuencas hidrográficas de Santiago, Mayo, Puyango y Catamayo. Este análisis se realizó tomando como periodo histórico de referencia el comprendido entre los años 1981 y 2015, y para los escenarios futuros RCP 4.5 y 8.5 el periodo 2011-2040. Estos resultados forman parte del análisis de riesgo climático para las cuencas hidrográficas mencionadas anteriormente, el cual se viene realizando por parte de los autores para el Fondo Regional del Agua – FORAGUA.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el año 2017, Ecuador se sumó a la lista de países que ratificaron el Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Si bien el país es solo un contribuyente menor de los gases de efecto invernadero a nivel mundial, Ecuador es altamente vulnerable a los impactos del cambio climático debido a su geografía, diversidad de microclimas, dependencia de los glaciares para el suministro de agua y energía hidroeléctrica, así como a causa de su vulnerabilidad frente a los fenómenos periódicos de “El Niño” y “La Niña” (relacionados con el calentamiento o enfriamiento del Pacífico oriental ecuatorial en función del régimen de vientos alisios). Para entender y enfrentar mencionados cambios, se han realizado diversos estudios e investigaciones, a nivel nacional, en los que se ha analizado la tendencia de las principales variables climatológicas (precipitación y temperatura) a partir de datos observados, con el fin de conocer como han venido cambiando tanto el comportamiento de estas variables como los eventos extremos relacionados a las mismas (Armenta, et al., 2016).

Analizando los impactos del clima sobre los diferentes recursos, sectores y poblaciones a nivel nacional, el país ha identificado como una necesidad la de incluir acciones y actividades de adaptación al cambio climático en la planificación sectorial, territorial y local, para permitir el

cumplimiento de los objetivos y actividades de desarrollo planteados en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) por el Gobierno nacional. Con la finalidad de cumplir con este mandato, el Ministerio de Ambiente, mediante su Subsecretaría de Cambio Climático, está impulsando la realización de estudios de vulnerabilidad y riesgo climático, con la finalidad de entender los impactos del clima a nivel local y diseñar acciones que den respuestas a la problemática local.

En este contexto, la zona de estudio de la presente investigación abarca partes del territorio de cuatro cuencas hidrográficas: las de Santiago y Mayo, que forman parte de la demarcación hidrográfica de Santiago; y las cuencas hidrográficas Puyango y Catamayo, que forman parte de la demarcación hidrográfica Puyango-Catamayo (SENAGUA, 2018). El área de estudio se ubica en la zona meridional de Ecuador (véase Figura 2), considerando por un lado el territorio de la cuenca del Santiago que pertenece a la provincia de Zamora-Chinchipe; por otro lado, se analiza la cuenca de río Puyango, área que se ubica dentro de la provincia de Loja.

Acorde con los registros hidrológicos del país, el área de estudio presenta problemas en la dotación y abastecimiento de agua; en este contexto, cabe mencionar que el volumen de los recursos hídricos superficiales y subterráneos alcanza apenas un 1%-3% en la demarcación hidrográfica de Puyango-Catamayo, presentando altos niveles de déficit en el balance hídrico anual (SENAGUA, 2017).

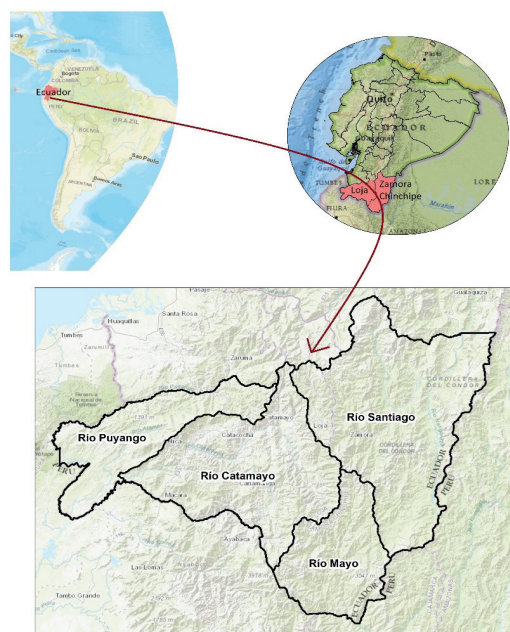


Figura 2. Área de estudio en las cuencas hidrográficas de Puyango, Catamayo, Santiago y Mayo, ubicadas en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

Para el análisis climático se definieron tres fases de trabajo: La primera de ellas consistió en la recopilación, análisis y depuración de toda la información climática observada oficial y disponible tanto para clima histórico como para los escenarios de cambio climático. En la segunda fase, se realizó la revisión y selección de los principales índices climáticos que están asociados a las principales amenazas climáticas que mayor impacto han tenido en Ecuador. Finalmente, en la última fase se realizó el cálculo de estos índices y el análisis de las tendencias a fin de establecer y determinar los niveles de amenaza actual y futura.

En la primera fase, con el fin de poder determinar las principales amenazas climáticas que afectan (o pueden afectar) a los sistemas productivos, sociales, ambientales y económicos de las provincias del Ecuador, es necesario conocer cómo es el clima en cada una de las provincias y cuáles han sido las tendencias climáticas y los cambios en la duración, frecuencia e intensidad de los eventos extremos. Para ello, se deben revisar los valores diarios y mensuales de las principales variables climatológicas (precipitación y temperatura), tanto a nivel histórico como bajo distintos escenarios de cambio climático.

Para el análisis del clima actual e histórico, se realizó la revisión de las fuentes de datos que contaran con información disponible para el periodo de referencia 1981-2015. Estas fuentes son: los datos diarios observados de precipitación y temperaturas media, máxima y mínima de estaciones hidrometeorológicas del Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología del Ecuador (INAMHI) ubicadas en la zona de estudio, que contengan información suficiente y confiable para el periodo 1981-2015, y los datos diarios de precipitación y temperaturas media, máxima y mínima generadas con reducción de escala dinámica con el modelo WRF (Weather Research and Forecasting) para la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador (TCN) (Armenta, Villa y Jácome, 2016). En la Figura 3, se muestra la distribución espacial de los pixeles de 10x10 kilómetros de estos datos en la zona de estudio.

En relación al clima futuro, los datos utilizados también corresponden a los generados en la Tercera Comunicación Nacional para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 para el periodo futuro 2011-2040. La selección de estos escenarios y este periodo de tiempo obedece principalmente a dos razones: En el caso de los escenarios, se tomaron en cuenta estos dos debido a que el RCP 4.5 es el escenario al que apuntaría el país si la tendencia de la temperatura media se mantuviera hasta finales de siglo (Armenta, Villa y Jácome, 2016) (Figura 4).

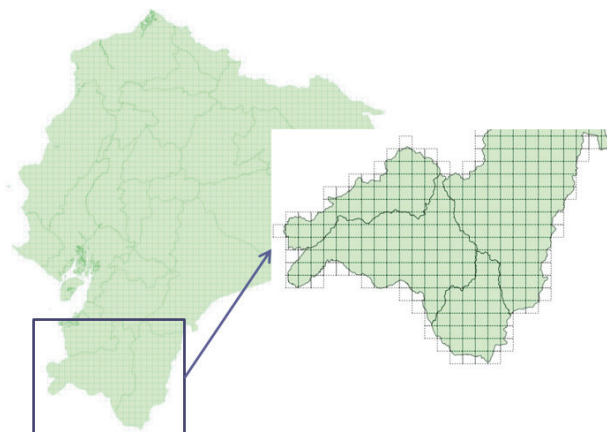


Figura 3. Pixeles seleccionados para la extracción de los datos climáticos generados en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador.

Por otra parte, el escenario RCP 8.5, al ser el escenario “pesimista”, se coloca como referente de un posible futuro en el que se dejan de tomar medidas y acciones frente al cambio climático. En cuanto al periodo de tiempo (2011-2040), al tratarse de un trabajo para vulnerabilidad se recomienda trabajar con series para un horizonte de máximo 30 años. Además, el periodo propuesto es utilizado comúnmente para comparaciones internacionales (IDEAM et. al., 2017) y con diferentes estudios de este tipo que se vienen realizando en el país.

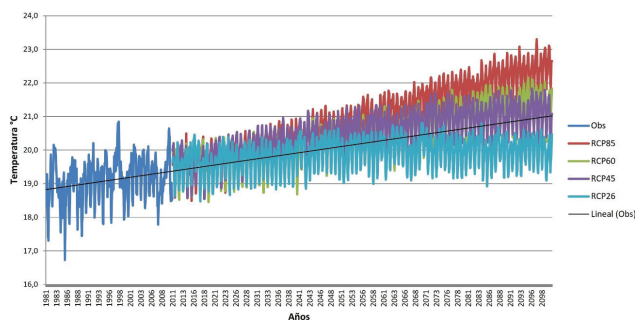


Figura 4. Temperatura media del Ecuador, con base en la información observada de 32 estaciones para el periodo 1981-2010, y proyectada para el periodo 2011-2100 para los 4 escenarios RCP. La línea negra muestra la tendencia de los datos observados. Fuente: (Armenta, Villa y Jácome, 2016).

Una vez definida y revisada la información climática a utilizar, se procedió a la segunda fase, a través de la revisión de las amenazas climáticas que mayor impacto han tenido en el Ecuador. Para ello, se tomó como base la información disponible de los registros de desastres ocurridos en el país, teniendo en cuenta datos de la herramienta DESINVENTAR (disponible en <https://www.desinventar.org/es/>), la cual es un recurso de apoyo basado en

registros de eventos levantados a partir de publicaciones y notas de medios de comunicación y de reportes de diferentes ministerios y entidades (DESINVENTAR, 2017). Los registros disponibles son desde el año 1978 hasta la actualidad; de esta recopilación de información se hizo el filtrado de los eventos, seleccionando únicamente aquellos desastres relacionados con la ocurrencia de eventos climáticos y en la que éstos fueran la causa principal de los mismos.

Con base en los resultados del proceso de revisión de los desastres de DESINVENTAR, en una primera aproximación se encontró que las principales amenazas climáticas en el país corresponden a las asociadas a eventos de “lluvias intensas” y “sequías”. Para las “olas de calor”, pese a que no se encontraron registros significativos de desastres asociados a este tipo de amenazas, y teniendo en cuenta que una de las principales y más notorias variaciones que está ocasionando el cambio climático es la relacionada con el aumento de la temperatura, los índices asociados a ellas (que se describen en la siguiente sección) reflejan que en el futuro bajo los escenarios de cambio climático es muy probable que la afectación por esta amenaza sea importante y genere impactos significativos.

Con las principales amenazas climáticas seleccionadas, el siguiente paso fue la revisión del comportamiento que deben presentar las variables climáticas asociadas a ellas.

En este sentido, desde hace varios años, en el Ecuador se vienen realizando diversos estudios e investigaciones en los que se analiza la tendencia de las principales variables climatológicas -fundamentalmente precipitación y temperatura- a partir de datos observados (Muñoz et. al., 2010; Serrano et. al., 2012; Muñoz, 2013; CIIFEN, 2014), con el fin de conocer cómo han venido cambiando tanto el comportamiento de estas variables como la duración, intensidad y frecuencia de los eventos extremos relacionados a las mismas. Para este tipo de análisis, se utilizan índices climáticos diseñados y propuestos por el ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) para la detección de tendencias climáticas y cambios en los eventos extremos (Armenta, 2016), y cuyo cálculo se realiza principalmente mediante la herramienta Climdex (disponible en <https://www.climdex.org/>), diseñada para tal fin (Karl, Nicholls y Ghazi, 1999).

De estos índices, se seleccionaron los más relevantes que estuvieran asociados a cada una de las principales amenazas climáticas (Tabla 1). Asimismo, para complementar el análisis, se adicionó el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), el cual no es parte de los índices elaborados por el ETCCDI, pero se utiliza ampliamente para el análisis de sequías. El SPI se basa en la probabilidad de precipitación para cualquier escala temporal. Teniendo en cuenta la precipitación observada,

la probabilidad de precipitación se transforma en un índice cuyo cálculo se basa en el registro de precipitaciones a largo plazo para un período deseado. Dicho registro a largo plazo se ajusta a una distribución de probabilidades, y a continuación se transforma en una distribución normal de modo que el SPI medio para la localidad y el período deseado sea cero. Los valores positivos de SPI indican que la precipitación es mayor que la mediana, y los valores negativos, que es menor. Dado que el SPI está normalizado, los climas húmedos y secos se pueden representar del mismo modo, por lo que también se puede hacer un seguimiento de los períodos húmedos utilizando el SPI (OMM, 2012).

Tabla 1. Índices seleccionados para la determinación de las amenazas climáticas.

ÍNDICE	DESCRIPCIÓN
CDD (# días/año)	Mayor número de días secos consecutivos en un año.
SPI	Índice de Precipitación Estandarizado.
R95P (# días)	Número de días en un año con lluvia mayor al percentil 95 ¹ para los días húmedos (Prec. > 1,0mm).
TX90p (# días/año)	Mayor número de días consecutivos al año con temperatura máxima mayor al percentil 90 ¹ .
TMED-mean (°C)	Valor promedio de la temperatura media.

Finalmente, el nivel de amenaza de cada índice se determina a través de un proceso denominado Normalización. Este proceso básicamente consiste en otorgar un número a cada nivel de amenaza según el comportamiento que presenten las tendencias de cada uno de los índices asociados a las mismas. Aquí, la categorización toma seis valores del 1 a 6, donde “1” indica que la amenaza o el índice climático tiene una probabilidad de ocurrencia prácticamente nula (es decir, se presenta una condición contraria al comportamiento que es considerado como amenaza, o como tal la amenaza no ocurre); “2” significa que los valores de los índices son muy bajos y “6” que estos valores son muy altos, y por lo tanto la amenaza climática es muy alta según esta escala.

Como cada índice posee un comportamiento y unidades diferentes, estos deben categorizarse según su tendencia individual o su aspecto, para determinar el nivel de amenaza. En el caso de los índices asociados a la tendencia de aumento del número de días, por ejemplo, se determina el nivel de amenaza cuando se incrementa en un día la cantidad total de días que se presenta el evento asociado a cada índice en un determinado tiempo, en comparación con la tendencia histórica y teniendo en cuenta la cantidad de años del periodo futuro (30 años en este caso). Con base en estos criterios (y los respectivos para los demás índices), se establecen los rangos para los cuales cada índice tiene un nivel de amenaza (Tabla 2) y se hace la normalización de ellos.

¹ Cuando se hace referencia a un percentil, lo que se indica es el porcentaje de casos en los cuales se encuentran los datos que se están analizando. Al hablar del percentil 95 para precipitación, por ejemplo, se está indicando que los registros diarios se encuentran entre el valor diario bajo el cual están el 95% de los registros y el valor máximo de todos ellos. Por lo tanto, cuando se muestra que un índice está asociado a superar determinado percentil, éste se refiere a los casos extremos.

Tabla 2. Categorías de normalización de los índices asociados a las amenazas climáticas.

Índices	Rangos	Interpretación Rangos (Tendencia)	Categoría Normalización
Relacionados con el cambio en el número de días de ocurrencia de eventos climáticos (CDD, R95p, Tx90p)	$x = 0$	Reducción del número de días o no hay cambios de esta cantidad	1 (NULA)
	$0 < x \leq 0,1$	Aumento de 1 día entre 10 y más años (Máximo 3 días más en 30 años)	2 (MUY BAJA)
	$0,1 < x \leq 0,2$	Aumento de 1 día entre 5 y 10 años (Entre 3 y 6 días más en 30 años)	3 (BAJA)
	$0,2 < x \leq 0,5$	Aumento de 1 día entre 2 y 5 años (Entre 6 y 15 días más en 30 años)	4 (MODERADA)
	$0,5 < x \leq 1$	Aumento de 1 día entre 1 y 2 años (Entre 15 y 30 días más en 30 años)	5 (ALTA)
	$x > 1$	Aumento de 1 o más días en 1 año (Más de 30 días en 30 años)	6 (MUY ALTA)
Relacionado con el cambio de la temperatura media (TMEDmean)	$x \leq 0$	Reducción o ausencia de cambio en la temperatura media	1 (NULA)
	$0 < x \leq 0,1$	Aumento de 1°C en 100 o más años (La temperatura media será 0,1°C más alta dentro de 30 años)	2 (MUY BAJA)
	$0,1 < x \leq 0,2$	Aumento de 1°C entre 50 y 100 años (La temperatura media será 0,3°C más alta dentro de 30 años)	3 (BAJA)
	$0,2 < x \leq 0,5$	Aumento de 1°C entre 30 y 50 años (La temperatura media será 0,6°C más alta dentro de 30 años)	4 (MODERADA)
	$0,5 < x \leq 1$	Aumento de 1°C entre 20 y 30 años (La temperatura media será 1°C más alta dentro de 30 años)	5 (ALTA)
	$x > 1$	Aumento de 1°C cada 20 o menos años (La temperatura media será mínimo 1,5°C más alta dentro de 30 años)	6 (MUY ALTA)
Relacionado al comportamiento particular del índice (SPI)	$x > 0,2$	Húmedo	1 (NULA)
	$-0,2 < x \leq 0,2$	Normal	2 (MUY BAJA)
	$-0,5 < x \leq -0,2$	Levemente Seco	3 (BAJA)
	$-0,8 < x \leq -0,5$	Moderadamente Seco	4 (MODERADA)
	$-1,2 < x \leq -0,8$	Severamente Seco	5 (ALTA)
	$x < -1,2$	Extremadamente Seco	6 (MUY ALTA)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los promedios mensuales de la precipitación y la temperatura media en las cuencas hidrográficas: Santiago, Mayo, Puyango y Catamayo, con base en los datos de los pixeles con datos generados en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador que la contienen (Figura 3).

Precipitación

En la cuenca de los ríos Santiago, Mayo, Puyango y Catamayo, la temporada de mayores precipitaciones se presenta entre enero y abril, mientras que durante el resto del año se presentan las menores precipitaciones, siendo la temporada más seca entre junio y agosto (Figura 5). El rango de variabilidad de la precipitación ha sido alto,

especialmente en los meses de la temporada lluviosa. Esto se debe principalmente a la influencia de los fenómenos de El Niño – La Niña, los cuales ocasionan años con mayores o menores cantidades mensuales de precipitación con relación al promedio del periodo 1981-2015.

Los escenarios de cambio climático (Figura 6) muestran en general incrementos de la precipitación, siendo más significativos en el primer cuatrimestre del año y en noviembre y diciembre. También se aprecia que habría una mayor frecuencia e intensidad de los fenómenos de variabilidad climática, que ocasionarían años con meses de lluvias muy intensas (superiores en más del 100% a la climatología actual y futura), siendo los más fuertes bajo el RCP 8.5.

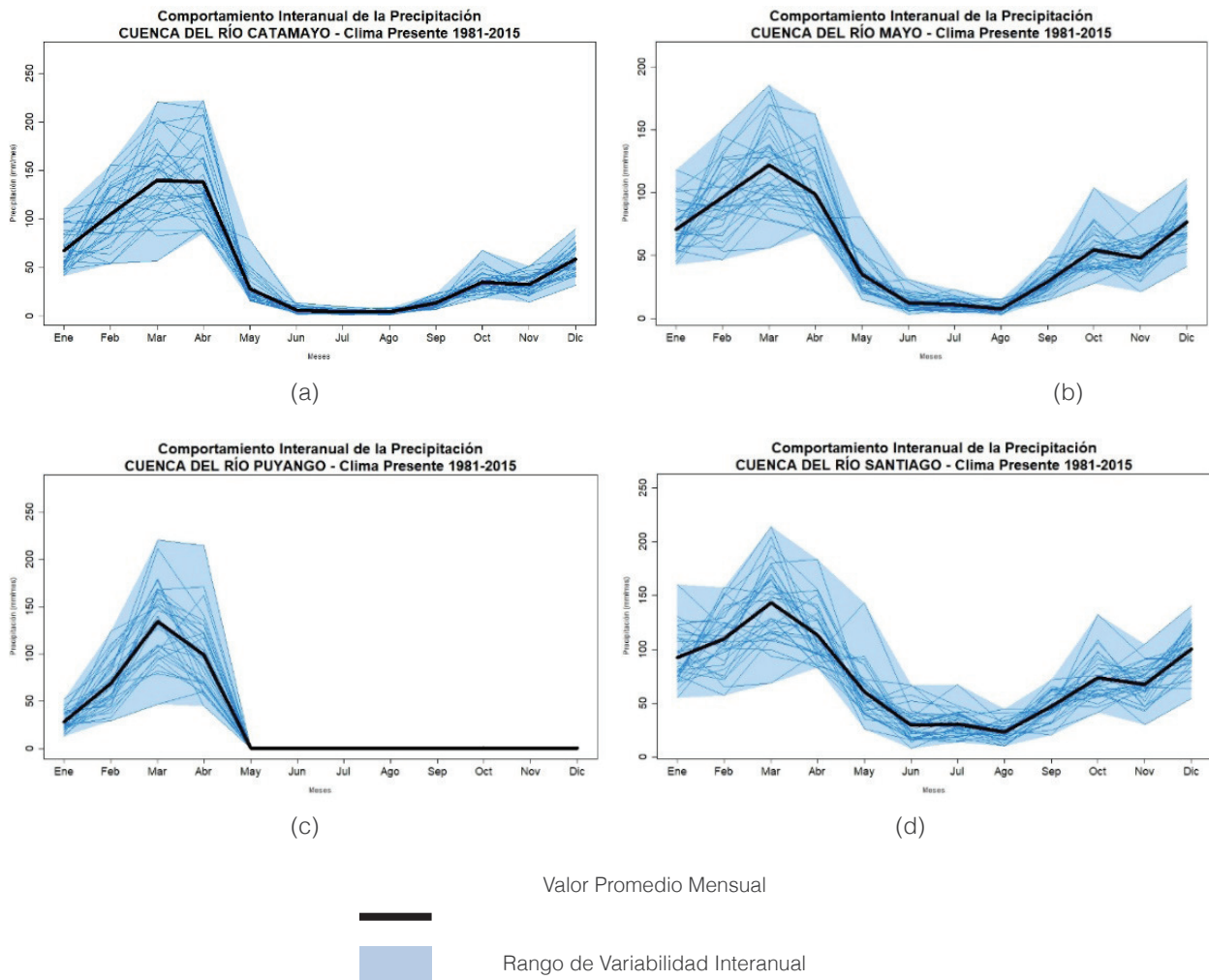


Figura 5. Comportamiento interanual histórico de la precipitación en el periodo 1981-2015, para los ríos Catamayo (a), Mayo (b), Puyango (c) y Santiago (d).

Temperatura Media

En el clima histórico, la temperatura media presenta diversas variables: para el río Catamayo, valores entre 13 y 17°C, con los mayores valores en el periodo abril-mayo y noviembre-diciembre, y los menores en julio y agosto; para el río Mayo, valores entre 19 y 23°C, con los mayores valores en noviembre y diciembre, y los menores en julio y agosto; para el río Puyango, valores entre 21 y 26°C, con los mayores valores entre enero y abril y los menores en julio y agosto; y para el río Santiago, valores entre 18 y 22°C, con los mayores valores entre octubre y noviembre y los menores en julio y agosto (Figura 7).

Al igual que con la precipitación, se observan años donde han ocurrido temperaturas más altas o más bajas en comparación con el periodo de referencia, debido principalmente a la influencia de los fenómenos El Niño y La Niña. Sin embargo, cada vez son más los años con temperaturas superiores al promedio, lo cual es una clara señal del calentamiento local/global que se ha venido observando.

En cuanto a los escenarios (Figura 8), se mantiene el comportamiento a lo largo del año, los valores de la temperatura serán mayores, entre 0,8 y 1,1°C bajo el RCP 4.5 y entre 0,9 y 1,3°C bajo el RCP 8.5. Se aprecia además que el rango de variabilidad que tendría la temperatura media en el periodo futuro 2011-2040 presentaría casi todos los valores por encima del promedio actual, lo que nos indica que posiblemente en el futuro, cuando haya influencia de fenómenos de variabilidad climática que ocasionen descensos en la temperatura, los valores de ella serían casi iguales a los valores medios que se tienen en la actualidad.

Tendencias de los índices climáticos

Mayor número de días secos consecutivos al año (Índice CDD): En el clima presente sólo una parte de las cuencas hidrográficas Catamayo y Puyango presentan una tendencia al aumento de la cantidad de días secos consecutivos, siendo la más alta en la zona occidental de la cuenca del río Puyango.

Bajo los escenarios de cambio climático, esta tendencia se incrementaría en gran parte de las 4 cuencas hidrográficas, presentándose los valores más altos en las cuencas de los ríos Catamayo y Mayo, con incrementos de entre 15 y 30 días secos consecutivos más hacia el año 2040 (Figura 9).

Índice de Precipitación Estandarizado (SPI): Este índice muestra, en el clima presente, que la tendencia a la

extensión de las sequías es muy baja (es decir que la transición de la temporada de lluvias a la temporada seca se ha presentado en forma normal). En los dos escenarios de cambio climático, bajo el RCP 4.5 se mantendría este comportamiento, mientras que en el RCP 8.5 habría más precipitaciones, y por lo tanto una menor extensión de las temporadas secas a nivel anual (Figura 10).

Número de días con precipitación superior al percentil 95 (Índice R95p): En el clima presente, la mayor parte de las cuencas hidrográficas presentan una tendencia baja o muy baja al aumento de los días con eventos extremos (de un día cada 5 o más años). Bajo los escenarios de cambio climático aumentaría la cantidad de días con lluvias extremas. En el escenario RCP 4.5 aumentarían en un día cada 5 y 10 años en casi toda la cuenca, y solamente en la cuenca del río Santiago habría incrementos mayores (de 1 día entre 2 y 5 años). Bajo el escenario RCP 8.5, la tendencia sería de aumento de 1 día cada 2 a 5 años en la mayor parte de las cuencas hidrográficas. Este comportamiento se debería a que los escenarios indican un aumento de la precipitación en la zona, y este incremento se ve reflejado por ende en el aumento de los eventos extremos (Figura 11).

Mayor número de días consecutivos al año con temperaturas máximas superiores al percentil 90 (Índice TX90p): La mayor parte de la zona presenta, en el clima actual, una tendencia baja o muy baja al aumento de la cantidad de días consecutivos con temperaturas máximas altas (superiores al percentil 90), con valores de aumento de 1 día cada 5 o más años. Únicamente en el sur de la cuenca del río Mayo y en el centro de la del río Puyango se presentan tendencias moderadas (con aumentos de 1 día cada 2 a 5 años). Bajo los escenarios de cambio climático se incrementaría significativamente la cantidad de días con temperaturas altas. Bajo el RCP 4.5 el incremento sería de un día cada 2 a 5 años en todas las cuencas hidrográficas, y más alto (aumento de 1 día entre 1 y 2 años) en el occidente de las cuencas de los ríos Catamayo y Puyango y en algunas zonas pequeñas de las cuencas del Mayo y del Santiago.

Por otra parte, el RCP 8.5 ya presenta un área mayor con el aumento más alto (de un día entre 1 y 5 años), siendo las cuencas de los ríos Santiago y Mayo las que mayores incrementos presentarían. Este comportamiento se debe principalmente al aumento que muestra la temperatura tanto en el clima actual como bajo los escenarios de cambio climático (Figura 12).

Valor promedio de la Temperatura Media (Índice TMEDmean): El aumento de la temperatura media al año presenta, en el clima actual, una tendencia significativa al aumento en todas las cuencas, con una temperatura de 0,3 a 0,6°C más alta en 2015 en comparación con el año 1981. En los escenarios de cambio climático, bajo el RCP 4.5 esta tendencia se mantendría similar a la de clima presente, cambiando únicamente en la cuenca del río Santiago, donde se daría una leve disminución de la

tasa de incremento de la temperatura. Bajo el RCP 8.5, la tendencia de aumento de la temperatura media sería moderada, es decir, la temperatura sería aproximadamente 0,6°C más alta en el año 2040 en comparación con el clima actual (Figura 13).

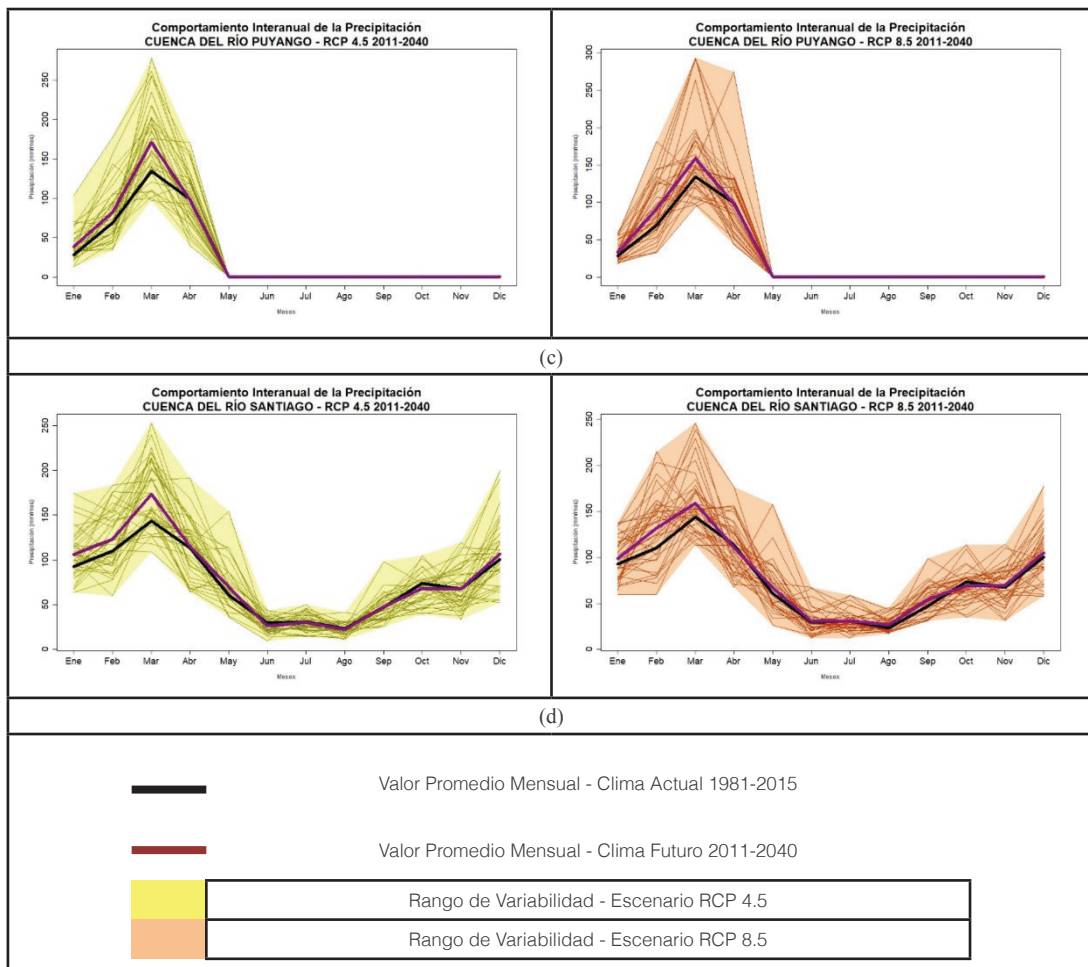


Figura 6. Comportamiento interanual futuro de la precipitación en el periodo 2011-2040, bajo los escenarios RCP 4.5 (izquierda) y RCP 8.5 (derecha), para los ríos Catamayo (a), Mayo (b), Puyango (c) y Santiago (d).

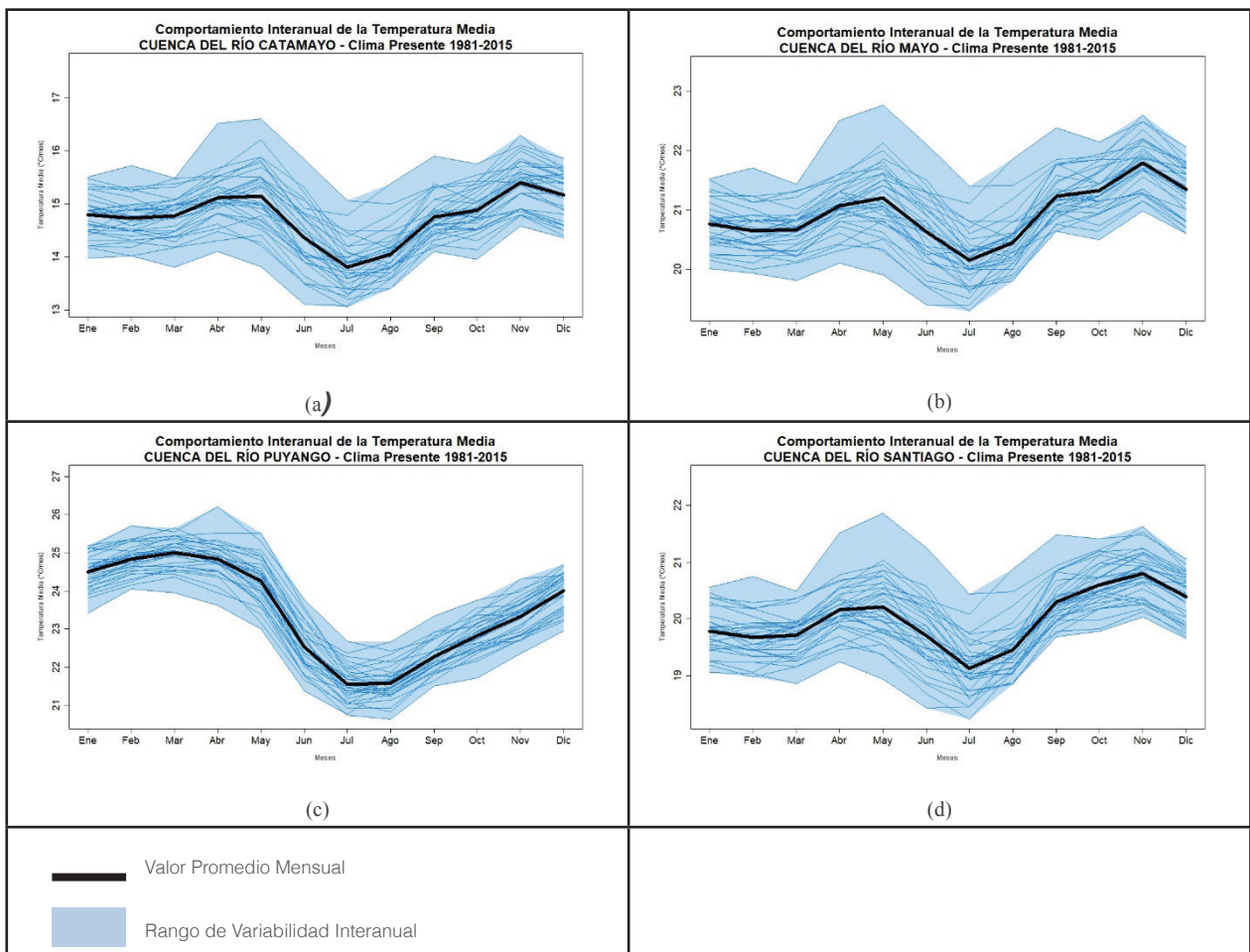


Figura 7. Comportamiento interanual histórico de la temperatura media en el periodo 1981-2015, para los ríos Catamayo (a), Mayo (b), Puyango (c) y Santiago (d).

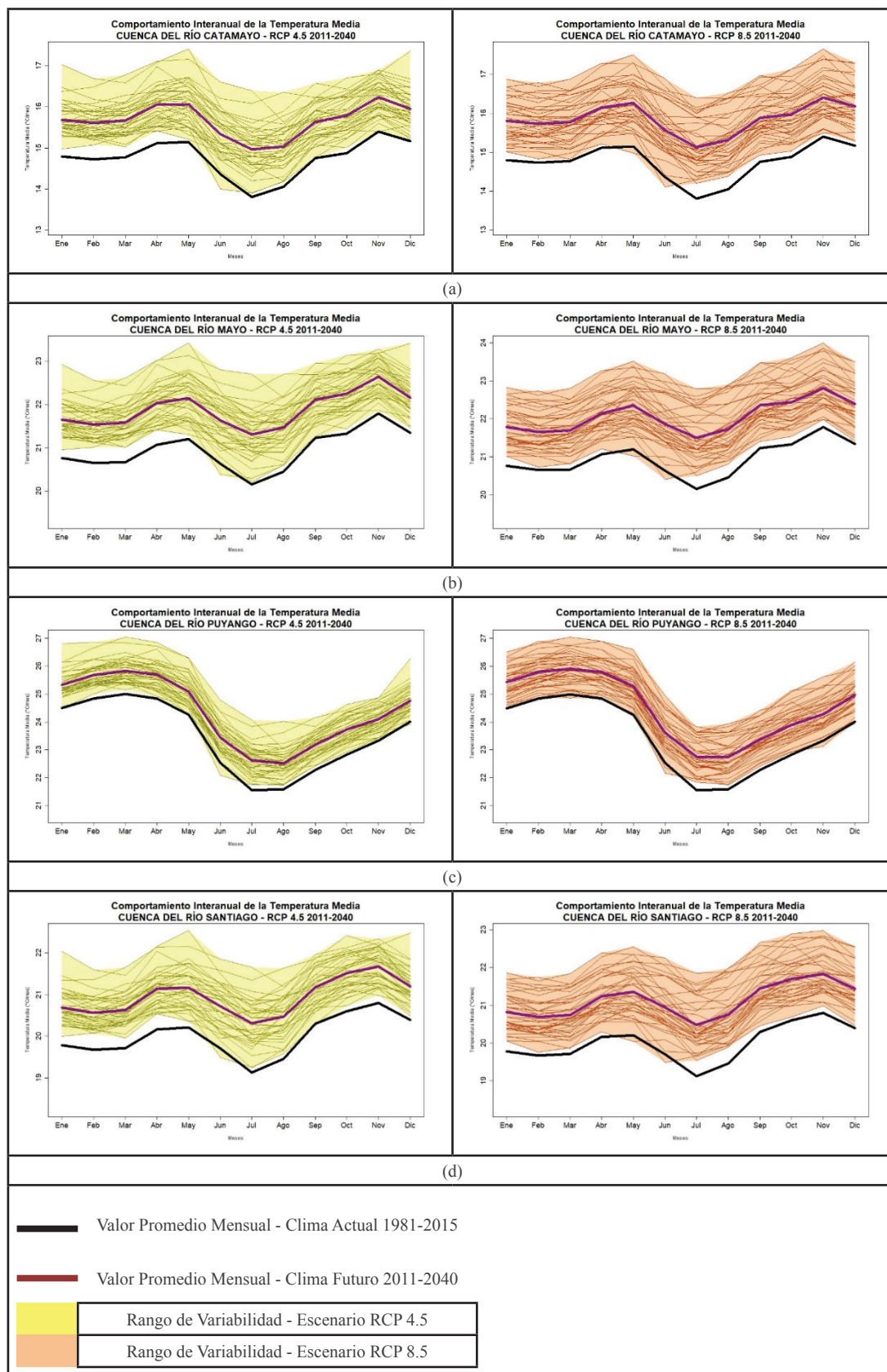


Figura 8. Comportamiento interanual futuro de la temperatura media en el periodo 2011-2040, bajo los escenarios RCP 4.5 (izquierda) y RCP 8.5 (derecha), para los ríos Catamayo (a), Mayo (b), Puyango (c) y Santiago (d).

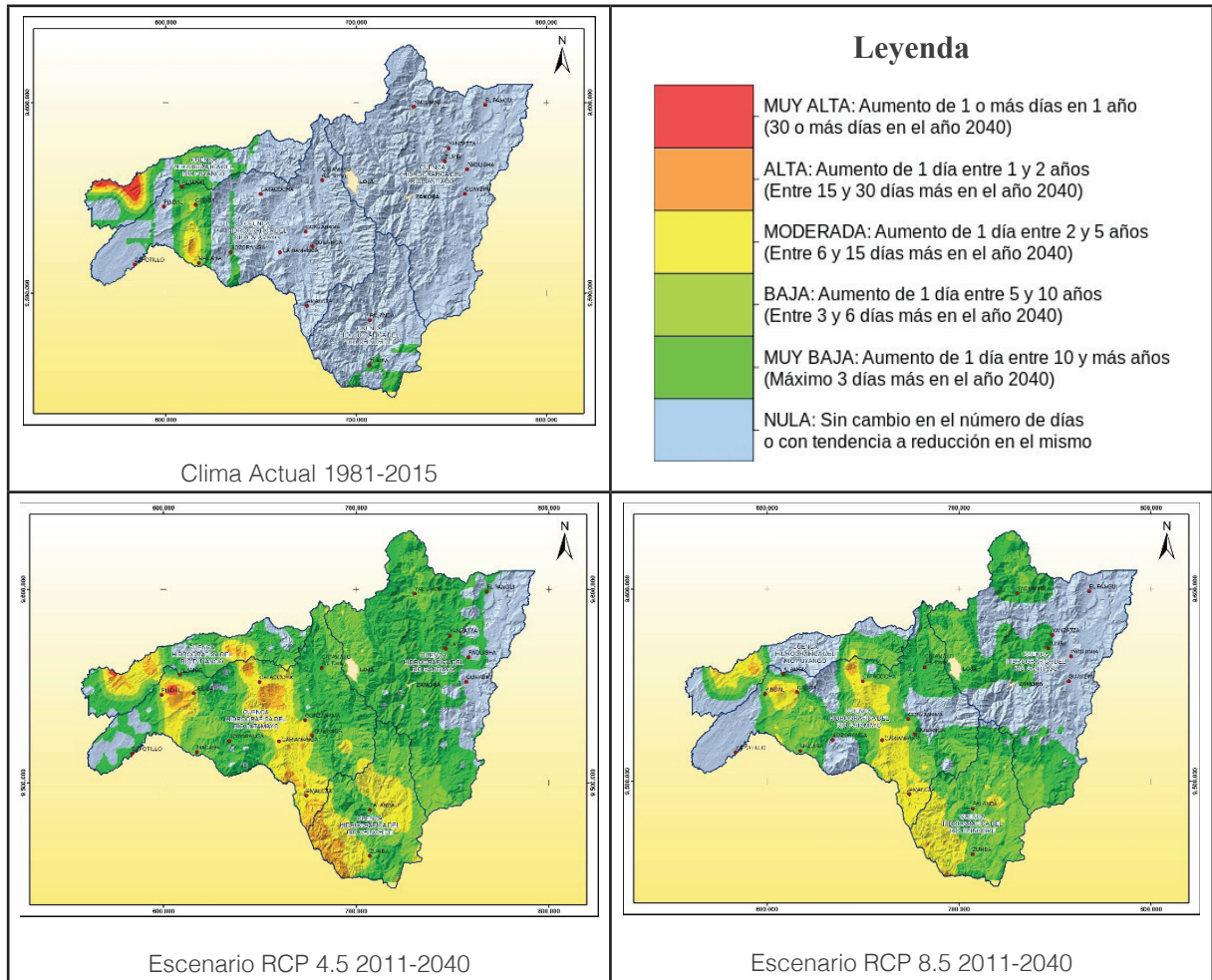


Figura 9. Tendencias anuales (actual y futura bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5) del índice CDD en las cuencas hidrográficas: Catamayo, Mayo, Puyango y Santiago.

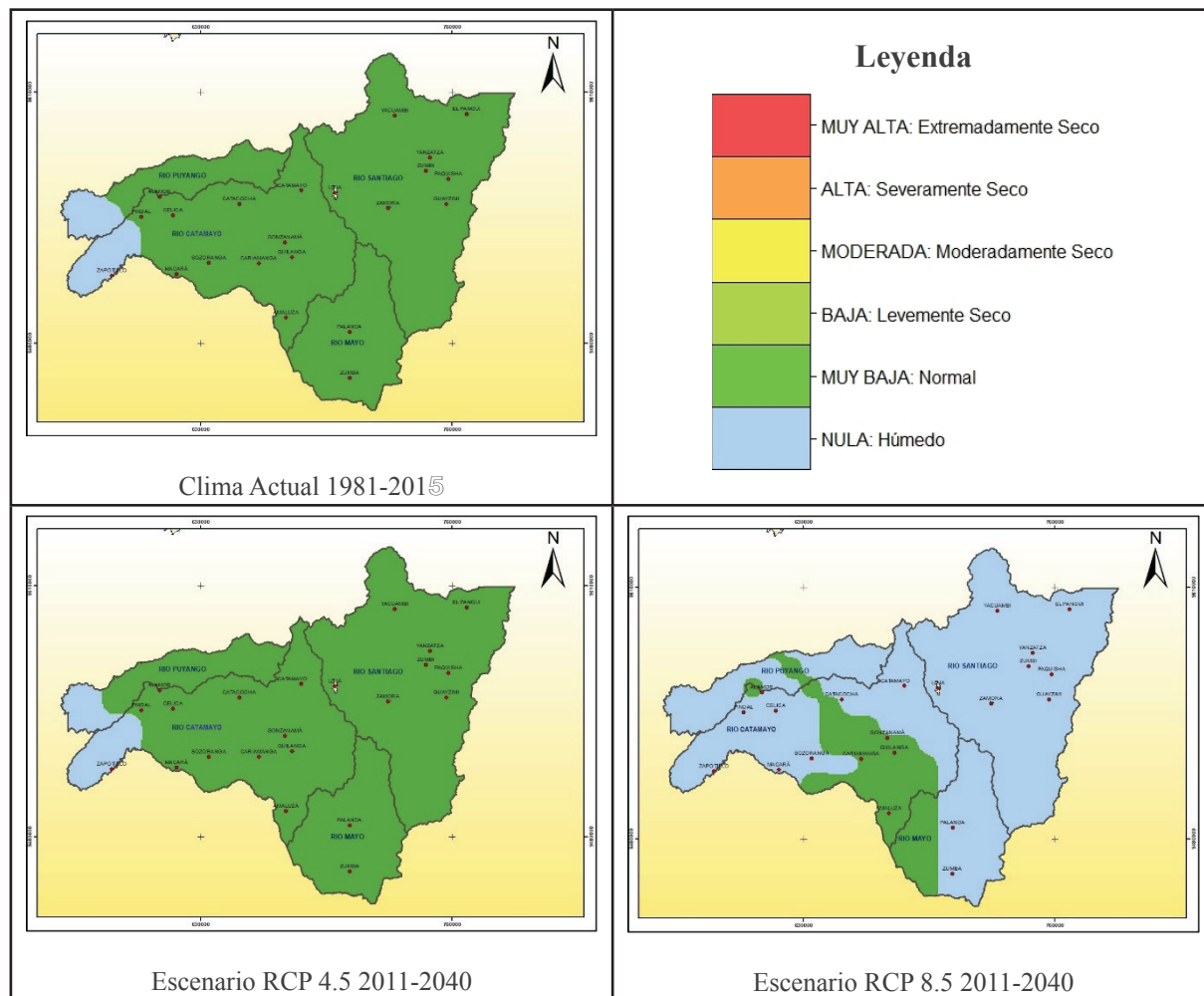


Figura 10. Tendencias anuales (actual y futura bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5) del índice SPI en las cuencas hidrográficas: Catamayo, Mayo, Puyango y Santiago.

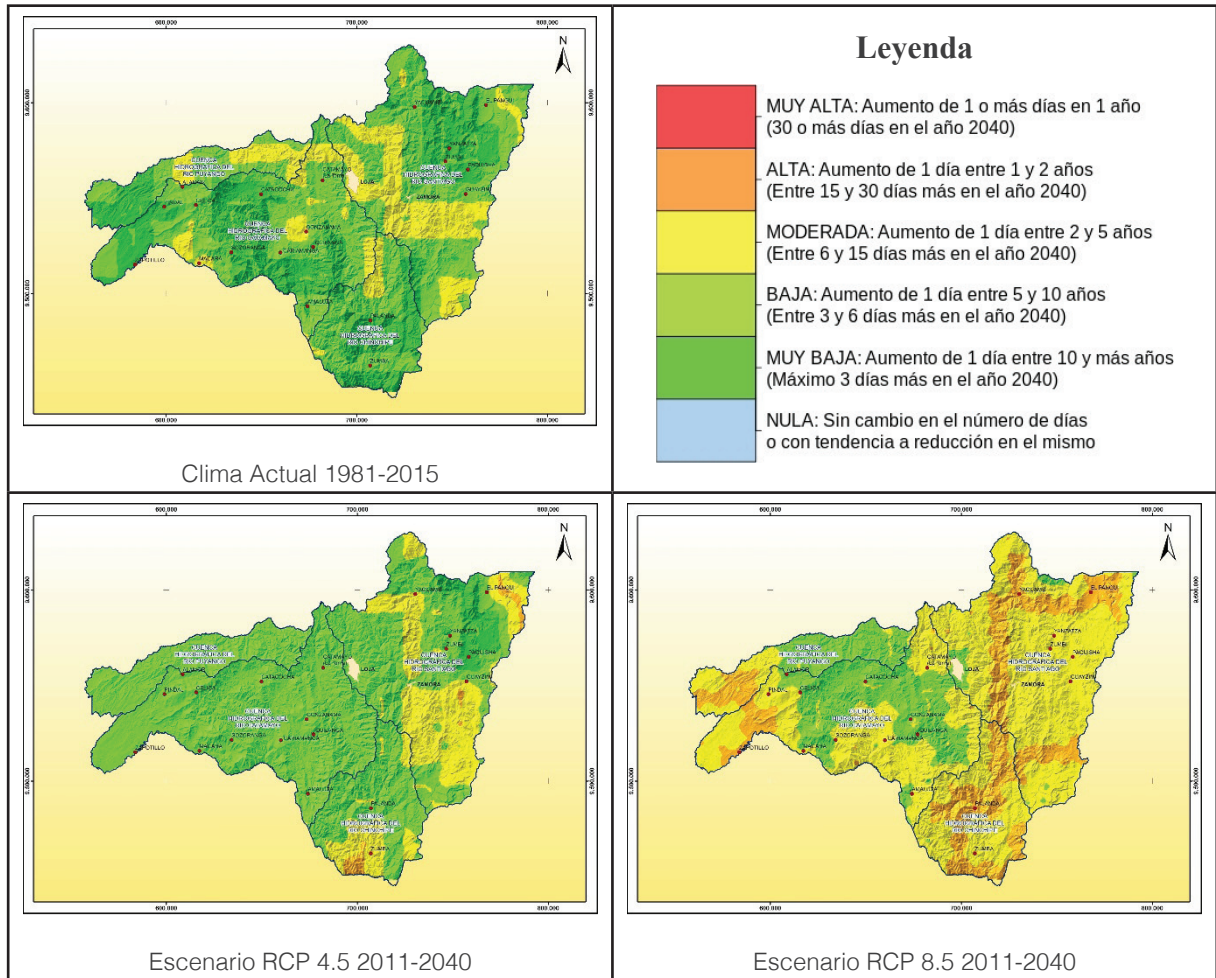


Figura 11. Tendencias anuales (actual y futura bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5) del índice R95p en las cuencas hidrográficas: Catamayo, Mayo, Puyango y Santiago.

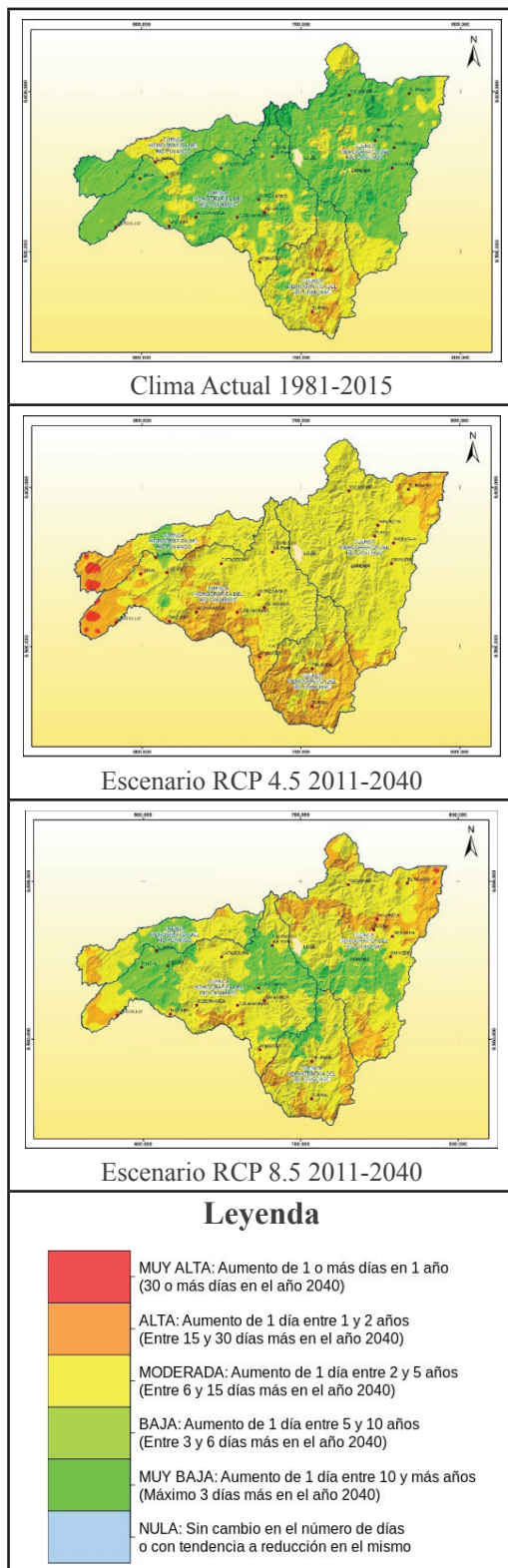


Figura 12. Tendencias anuales (actual y futura bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5) del índice TX95p en las cuencas hidrográficas: Catamayo, Mayo, Puyango y Santiago.

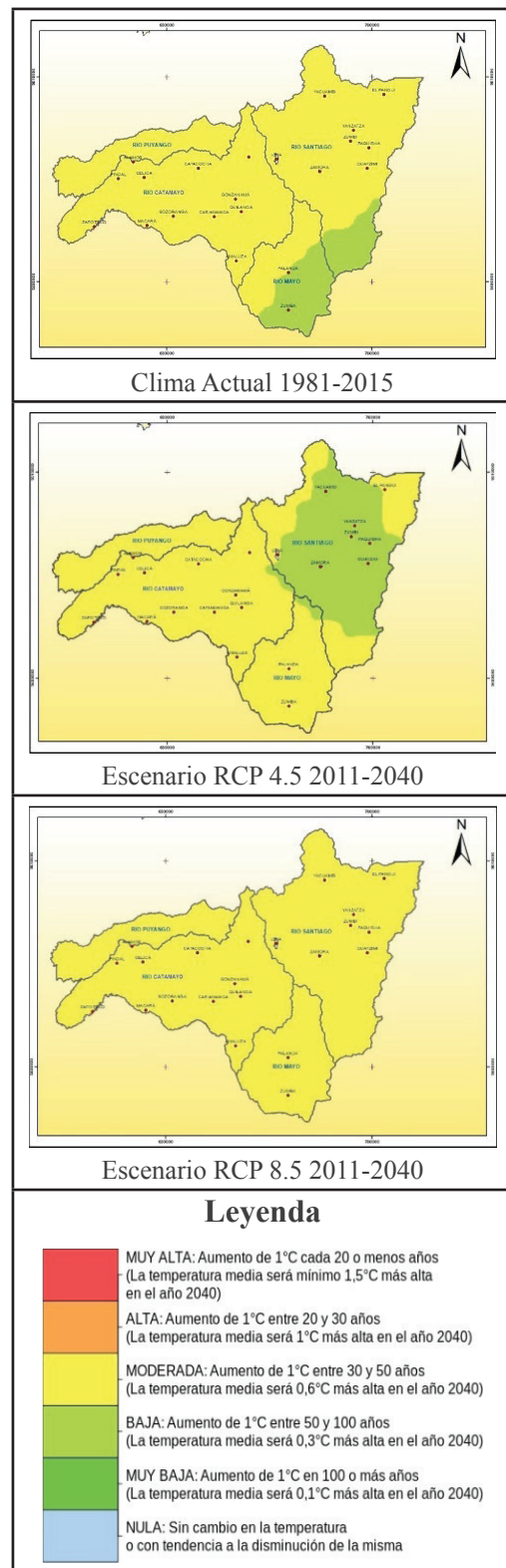


Figura 13. Tendencias anuales (actual y futura bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5) del índice TMEDmean en las cuencas hidrográficas: Catamayo, Mayo, Puyango y Santiago.

CONCLUSIONES

Los escenarios de cambio climático para el 2040 muestran que la precipitación se incrementaría de forma significativa en la temporada de lluvias, con aumentos de más del 10% en comparación con el comportamiento actual. Asimismo, los escenarios muestran una “ampliación” de la temporada de lluvias, la cual iniciaría antes (en diciembre) y tendría sus máximos valores en marzo.

En cuanto a los índices asociados a la precipitación, los días con lluvias extremas se incrementarían en todo el año, siendo de enero a mayo los meses que presentarían un mayor aumento del número de días con estos eventos en la mayor parte de la zona de estudio, mientras que la mayor cantidad de días secos consecutivos presentaría incrementos leves, presentándose los más altos en los meses de la temporada seca (de agosto a octubre). Finalmente, el índice SPI muestra que las sequías serían más fuertes en los meses de la temporada seca (de junio a septiembre).

Para los índices asociados a la temperatura, a nivel mensual la temperatura media se incrementaría en toda la zona, siendo de mayo a agosto los meses donde mayores aumentos se presentarían (en más de 1°C). Por otra parte, la cantidad de días con temperaturas máximas muy altas

se incrementarían en todo el año, siendo de marzo a mayo y julio los meses con mayor aumento de esta cantidad de estos días.

Las tendencias de los índices climáticos en la zona de estudio muestran la importancia de tomar acciones concretas y en el menor tiempo posible para reducir el impacto del cambio climático en las cuencas hidrográficas, y sobre todo en las comunidades que viven en ella.

Al ver que se incrementarían los eventos extremos de lluvia, y que la temperatura cada vez será mayor, es necesario tomar acciones que permitan la preparación adecuada de las comunidades ante el “nuevo clima” que se está presentado actualmente así como el que en el futuro cercano se podría presentar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Armenta, G. (2016). Análisis de Tendencias Climáticas y Eventos Climáticos Extremos para Ecuador. En Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador. Quito, Ecuador.

Armenta, G., Dorado, J., Rodríguez, A., Ruiz, J. F. (2015).

Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura en Colombia - Estudio Técnico Completo. En Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Colombia (PNUD), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Cancillería de Colombia, Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático para Colombia. Bogotá, Colombia. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022963/escenarios_cambioclimaticodepartamental/Estudio_tecnico_completo.pdf CIIFEN. (2014). Metodología para la Estimación de Vulnerabilidad en Ecuador, Perú y Bolivia. Información de cambio climático y biodiversidad para el fomento de políticas públicas de conservación y adaptación en la región de los Andes Tropicales. Guayaquil, Ecuador.

DESINVENTAR. (2017). Guía metodológica del Sistema de Inventario de Desastres recurso en línea. Obtenido de <http://www.desinventar.org/es/metodologia>

Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Colombia (PNUD), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Cancillería de Colombia. (2017). Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo por Cambio Climático en Colombia. En Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Colombia (PNUD), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Cancillería de Colombia, Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático para Colombia. Bogotá.

International Panel on Climate Change (IPCC). (2012). Resumen para responsables de políticas en el Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. En International Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge, United Kingdom and New York, USA.: Cambridge University Press. Obtenido de https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/IPCC_SREX_ES_web.pdf

International Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Anexo II: Glosario. En I. P. IPCC, Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (págs. 127-141). Ginebra, Suiza.

- Obtenido de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf
- International Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Technical Summary. En International Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge, United Kingdom and New York, USA.: Cambridge University Press.
- International Panel on Climate Change (IPCC) – Data Distribution Centre (DDC). (2013). Definition of Terms Used Within the Pages DDC. Obtenido de <http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/definitions.html>
- Karl, T., Nicholls, N., Ghazi, A. (1999). CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes. Workshop summary. Climatic Change, 42.
- Armenta, G., Villa, J., Jácome, P. (2016). Proyecciones Climáticas de Precipitación y Temperatura para Ecuador, Bajo Distintos Escenarios de Cambio Climático. En Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador. Quito.
- Muñoz, Á. (2013). Análisis estadístico con Climdex de índices climáticos para las provincias de Pichincha y Napo. Asistencia Técnica para la Generación de Escenarios de Cambio Climático para la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador.
- Muñoz, Á., Recalde, C., Cadena, J., Núñez, A., Díaz, J. (2010). Resultados del análisis estadístico con FCLIMDEX para Ecuador. Informe dentro del Proyecto PRAA.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2012). Índice normalizado de precipitación: Guía del usuario (Vols. OMM-No. 1090). En O. M. Mundial, OMM-No. 1090.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2009). Estudio de vulnerabilidad actual a los riesgos climáticos en el sector de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Paute, Jubones, Catamayo, Chone, Portoviejo y Babahoyo. ISBN: 978-9978-92-805-9. Quito.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2010). Gestión del Riesgo Climático. New York. Obtenido de <https://www.undp.org/content/dam/undp/library/crisis%20prevention/disaster/Reduccion-Gestion%20del%20Riesgo%20Climatico.pdf>
- Podestá, G., Skansi, M. d., Herrera, N., Veiga, H. (2016). Descripción de índices para el monitoreo de sequía meteorológica implementados por el Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur. Reporte Técnico CRC-SAS-2015-001.
- Secretaría Nacional del Agua del Ecuador (SENAGUA). (2017). Boletín de la Estadística Sectorial del Agua 2017. Secretaria del Agua. Obtenido de Secretaria del Agua: https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2018/02/Boletin-Estadistico-ARCA-SENAGUA_08feb.compressed-2.pdf
- Secretaría Nacional del Agua del Ecuador (SENAGUA). (2018). Informe de Cuencas Hidrográficas Santiago, Catamayo, Puyango y Chinchipe. Secretaria del Agua, Quito.
- Serrano, S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., Villacís, M. (2012). Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito. La Granja, 16, 23-47.