



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA MEDIO AMBIENTE

**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN MEDIO AMBIENTE**

TEMA:

**PREDICCIONES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DEL
MODELO CLIMÁTICO GLOBAL HadCM3 PARA LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DEL RÍO PORTOVIEJO**

AUTOR:

GUALBERTO ABAD MOREIRA SANTANA

TUTORA

ING. YERIEL ELIZABETH ZAMBRANO MERA, Mg.

CALCETA, JULIO 2015

DERECHOS DE AUTORÍA

Gualberto Abad Moreira Santana, declara bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de su autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

.....
GUALBERTO ABAD MOREIRA SANTANA

CERTIFICACIÓN DE TUTORA

Yeriel Elizabeth Zambrano Mera certifica haber tutelado la tesis **PREDICCIONES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DEL MODELO CLIMÁTICO GLOBAL HadCM3 PARA LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PORTOVIEJO**, que ha sido desarrollada por **Gualberto Abad Moreira Santana**, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....
ING. YERIEL E. ZAMBRANO MERA, Mg

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han **APROBADO** la tesis **PREDICCIÓNES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DEL MODELO CLIMÁTICO GLOBAL HadCM3 PARA LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PORTOVIEJO**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada **Gualberto Abad Moreira Santana**, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....
ARQ. FRANCISCO SOLÓRZANO
MIEMBRO

.....
ING. VERÓNICA ESPINEL
MIEMBRO

.....
ING. JOFFRE ANDRADE
PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios todo poderoso creador del cielo y de la tierra, el ser supremo que me ha dado la oportunidad de seguir con vida hasta hoy en día para poder llegar a cumplir un sueño alcanzado, agradezco a mi madre por sobre todas las cosas, por darme la vida, por ser padre y madre, amiga, compañera, quien supo confiar en mí y darme la fuerza y la confianza para seguir siempre adelante.

Agradezco a mi tutora de tesis que hizo de mi trabajo un éxito total, sin ella no podía haberlo hecho mejor, quien dedicó su valioso tiempo para poder ayudarme, quien tuvo el carácter, el deseo, la paciencia y sobre todo el cariño que todo ser humano se merece cuando es necesario. A la Ing. Flor María Cárdenas, por ser la abuela que todos desean tener, quien tiene dotes de persona humilde y trabajadora, ser humano de gran corazón, quien nos enseñó que cuando queremos alcanzar algo solo tenemos que tener fe de que si se puede, agradezco a cada uno de los docentes que fueron la guía para poder llegar a obtener el título de Ingeniero en Medio Ambiente, que hicieron de mi un hombre responsable, hábil y capaz para solucionar los problemas que se presenten en nuestro medio; agradezco a mis amigos, compañeros y a todos aquellos que creyeron en mí, que con sus buenos deseos y consejos me dieron un incentivo para mi formación profesional.

.....
Gualberto A. Moreira Santana

DEDICATORIA

Este triunfo va dedicado a toda mi familia, quienes están muy orgullosos de todo lo que hago, porque confiaron y desean que todos mis sueños sean alcanzados, se la dedico a la carrera y toda la familia de Ingenieros en Medio Ambiente, porque somos nosotros hoy, mañana y siempre, quienes haremos de este planeta un mundo mejor. También va dedicado a mi pueblo y a toda la gente que lo rodea, tierra que me vio nacer, gente que me vio crecer, pedazo de cielo donde han salido y seguirán saliendo seres humanos aptos y competentes para el desarrollo del planeta tierra. Se la dedico a todos mis amigos y a todas esas personas que me desean el bien; y por supuesto esto se lo dedico a mí amigo en el espejo, que cada mañana me dice que se puede obtener todo lo que te propones, cuando confías en ti mismo.

.....
Gualberto A. Moreira Santana

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	I
CERTIFICACIÓN DE TUTORA.....	II
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO GENERAL.....	VI
CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS.....	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4. HIPÓTESIS	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. CAMBIO CLIMÁTICO.....	4
2.2. ESCENARIOS DE EMISIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO	6
2.3. MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES	8
2.3.1. MODELO CLIMÁTICO GLOBAL HadCM3	9
2.3.1.1. CARACTERÍSTICAS MÁS RELEVANTES	9
2.4. CAMBIO CLIMÁTICO EN ECUADOR.....	12

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	15
3.1. UBICACIÓN	15
3.2. DURACIÓN	16
3.3. VARIABLES DE ESTUDIO	16
3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	16
3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE	16
3.4. PROCEDIMIENTO	16
3.5. MÉTODOS	17
3.6. TÉCNICAS	18
3.6.1. TÉCNICAS ESTADÍSTICAS	18
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
4.1. ETAPA 1: ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DEL MODELO CLIMÁTICO GLOBAL HADCM3 DEL CUARTO INFORME DEL IPCC	19
4.1.1. ANOMALÍAS DE ESCENARIOS SRES (AR4)	19
4.1.1.1. ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN DEL HadCM3	19
4.1.1.2. ANOMALÍAS DE TEMPERATURA DEL HadCM3	22
4.2. ETAPA 2: SIMULACIÓN DE LAS PREDICCIONES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DE LA CUENCA DEL RÍO PORTOVIEJO	24
4.2.1. SIMULACIÓN DE PREDICCIONES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA	25
4.2.1.1. SIMULACIÓN DE PREDICCIONES DE PRECIPITACIÓN	25
4.2.1.2. SIMULACIÓN DE PREDICCIONES DE TEMPERATURA	26
4.3. ETAPA 3: IDENTIFICACIÓN DE LOS CAMBIOS FUTUROS EN LA CUENCA DEL RÍO PORTOVIEJO A CORTO (2010-2039), MEDIANO (2040- 2069) Y LARGO PLAZO (2070-2099)	28
4.3.1. CAMBIOS FUTUROS EN LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA	28

4.3.1.1. CAMBIOS FUTUROS EN LA PRECIPITACIÓN	28
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
5.1. CONCLUSIONES.....	30
5.2. RECOMENDACIONES	31
BIBLIOGRAFÍA	32
ANEXOS	1

CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS

Gráfico 2.1. Cambio observado en la temperatura en superficie global.	5
Gráfico 2.2. Cambio observado en la precipitación anual sobre tierra.	6
Gráfico 2.3. Emisiones mundiales de CO2 para escenarios SRES.....	7
Gráfico 2.4. Evolución de los modelos climáticos globales.	9
Gráfico 4.1. Anomalías de precipitación del modelo HadCM3	19
Gráfico 4.2. Anomalías de precipitación del modelo HadCM3	20
Gráfico 4.3. Anomalías de precipitación del modelo HadCM3	21
Gráfico 4.4. Anomalías de temperatura del modelo HadCM3	22
Gráfico 4.5. Anomalías de temperatura del modelo HadCM3	23
Gráfico 4.6. Anomalías de temperatura del modelo HadCM3	24
Gráfico 4.7. Simulación de predicción de precipitación del modelo HadCM3	25
Gráfico 4.8. Simulación de predicción de precipitación del modelo HadCM3	25
Gráfico 4.9. Simulación de predicción de precipitación del modelo HadCM3	26
Gráfico 4.10. Simulación de predicción de temperatura del modelo HadCM3	26
Gráfico 4.11. Simulación de predicción de temperatura del modelo HadCM3	27
Gráfico 4.12. Simulación de predicción de temperatura del modelo HadCM3	27
Figura 3.1. Cuenca del río Portoviejo	15

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue establecer la predicción de la temperatura y precipitación según el modelo climático global HadCM3 del cuarto informe del Panel Intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC) para la cuenca hidrográfica del río Portoviejo. Para ello se obtuvo las anomalías mensuales de las variables climatológicas del modelo inglés HadCM3, en los escenarios de emisiones A1B, B1 y B2. Posterior a ello se efectuó la simulación de las predicciones futuras de precipitación y temperatura a corto (2010-2039), mediano (2040-2069) y largo plazo (2070-2099) utilizando el registro histórico observado en el período 1964-2012. Los resultados obtenidos fueron 9 predicciones de precipitación y 9 predicciones de temperatura, mismas que permitieron identificar los cambios previstos en la cuenca del río Portoviejo bajo el contexto del cambio climático. Determinándose un descenso de la variable precipitación en el período 2010-2039 para los escenarios A1B (de hasta -10,59 mm) y A2 (de hasta -33,89 mm) y un incremento paulatino de la temperatura en los escenarios A1B, B1 y A2 en los tres períodos analizados; teniendo un incremento a corto plazo de hasta 1,41°C, a medio plazo de 1°C a 3°C y a largo plazo hasta aproximadamente 5°C.

PALABRAS CLAVE

Modelo climático global, precipitación, temperatura, IPCC, HadCM3.

ABSTRACT

The aim of this study was to establish the rainfall and temperature of global climate model HadCM3 from the fourth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) for the Portoviejo River watershed. For this monthly anomalies of weather variables were used the HadCM3 British model, in emissions scenarios A1B, B1 and B2 were obtained. Following this simulation of future precipitation and temperature predictions for short (2010-2039), medium (2040-2069) and long term (2070-2099) using the historical record observed during the period 1964-2012. The results were 9 predictions of precipitation and 9 temperature forecasts, which enabled them to identify anticipated changes in the Portoviejo River basin in the context of climate change. Determining a decrease in precipitation variable in the period 2010-2039 for A1B (up -10,59 mm) and A2 (up -33,89 mm) scenarios, and a gradual increase in temperature in the A1B, A2 and B1 scenarios in the three periods analyzed. Having a short-term increase of up 1,41 °C medium term of 1 °C to 3 °C and long-term to about 5 °C.

KEY WORDS

Global climate model, precipitation, temperature, IPCC, HadCM3.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Muchos estudios sugieren que los primeros meses de cada año se desplazarán los deshielos como consecuencia de un clima más cálido, lo cual conllevaría a la escasez de agua en épocas de verano (IPCC, 2007). Además se incrementaría la frecuencia y gravedad de los fenómenos hidrológicos extremos, como las inundaciones (Mosquera y Ahmad, 2007) y las sequías (Puri, *et al.*, 2011). Ambos fenómenos afectan directa e indirectamente el bienestar humano sobre todo en países en vías de desarrollo donde se cuentan con menos recursos para la mitigación y la adaptación (Manabe, *et al.*, 2004).

Se espera que el cambio climático afecte los patrones de precipitación, evapotranspiración y temperatura (Tsanis, *et al.*, 2011) y, consecuentemente, la disponibilidad del recurso hídrico para la satisfacción de las demandas (Arnell, *et al.*, 2011).

Las modificaciones que supone el cambio climático en el ciclo hidrológico plantea un desafío para los gestores del agua, debido a la incertidumbre que éste genera en la gestión de la misma (García, *et al.*, 2011).

La cuenca del río Portoviejo es altamente productiva en el sector agrícola, ésta demanda un mayor consumo de agua en la estación seca (verano) y se ve afectada en la estación lluviosa (invierno) a causa de las inundaciones. Además tiene la característica de poseer parte de las infraestructuras destinadas a la gestión del agua en la Demarcación Hidrográfica de Manabí. Razón por la cual las alteraciones en el patrón de precipitación y temperatura como consecuencia del cambio climático dan lugar a un creciente interés. Por lo expuesto, se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo el cambio climático afectará las variables climatológicas de precipitación y temperatura en la cuenca del río Portoviejo?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Durante el siglo XX, tanto la temperatura como la precipitación sobre la tierra han aumentado (Folland, *et al.*, 2001). El efecto del cambio de las condiciones climáticas sobre el régimen hidrológico, se evidencia en los resultados de diferentes salidas de modelos climáticos globales, sin embargo; el efecto varía de región a región (IPCC, 2007). Las tendencias mundiales y regionales en las variables del ciclo hidrológico afirman su intensificación constante, resultando en un incremento de las variables. Sin embargo debido a la alta variabilidad espacial y temporal las tendencias globales en la precipitación, esorrentía y humedad del suelo son más inciertas (Huntington, 2010).

Los recursos hídricos están sujetos a sufrir cambios significativos debido a la variabilidad en los períodos de lluvias y a los cambios estacionales (Tsanis, *et al.*, 2011). Las decisiones de planificación de los recursos hídricos futuros deben basarse no sólo en la demanda de agua, sino también en los escenarios futuros del clima y el caudal (García, *et al.*, 2011). Conocer los posibles cambios en los patrones de precipitación y temperatura de la cuenca del río Portoviejo supone un aporte para la toma de decisiones en la gestión del agua de la cuenca; sobre todo al ser la disponibilidad de agua un factor limitante para el desarrollo económico (Cudennec, *et al.*, 2007).

A partir del conocimiento de los riesgos climáticos, del análisis de las condiciones de vulnerabilidad nacional y de diferentes experiencias vinculadas con la adaptación y el manejo de recursos hídricos; se plantean líneas de acción orientadas hacia la construcción de capacidades de adaptación (Landa, *et al.*, 2008). La relación agua - clima conlleva a pensar de una manera distinta los temas de vulnerabilidad hídrica, los riesgos frente a la variabilidad climática y en particular frente a los eventos hidrometeorológicos extremos, para proponer estrategias de acción que sumen las capacidades del gobierno a la acción de la sociedad (Landa, *et al.*, 2008).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer la predicción de las variables climatológicas según el modelo climático global HadCM3 para la cuenca hidrográfica del río Portoviejo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la información del modelo climático global HadCM3 del cuarto informe del IPCC.
- Simular las predicciones de precipitación y temperatura de la cuenca del río Portoviejo.
- Identificar los cambios futuros en la cuenca del río Portoviejo a corto (2010-2039), mediano (2040-2069) y largo plazo (2070-2099).

1.4. HIPÓTESIS

El modelo climático global HadCM3 prevé un incremento en las variables climatológicas de precipitación y temperatura en la cuenca del río Portoviejo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. CAMBIO CLIMÁTICO

Para el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) el término “cambio climático” expresa todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana. Este significado difiere del utilizado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que describe el “cambio climático” como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables. El calentamiento en el sistema climático es inequívoco y, desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. El nivel del mar se ha elevado, los volúmenes de hielo y nieve han disminuido, la atmósfera y el océano se han calentado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado (IPCC, 2013).

Los datos de temperatura de la superficie terrestre y oceánica, combinados y promediados globalmente, calculados a partir de una tendencia lineal, muestran un calentamiento de 0,85 0,65 a 1,06 °C, durante el período 1880-2012, para el que se ha producido de forma independiente varios conjuntos de datos. El incremento total entre el promedio del período 1850-1900 y el período 2003-2012 es de 0,78 0,72 a 0,85 °C y está basado en el conjunto de datos disponible más extenso (Ver Gráfico 2.1. Cambio observado en la temperatura en superficie global. A) Anomalías observadas en la temperatura mundial, desde 1850 hasta 2012. Imagen superior: valores medios anuales. Imagen inferior: valores medios decenales. Las anomalías son relativas a la media del período 1961-1990. B) Mapa de los cambios observados en la temperatura en superficie entre 1901 y 2012. (Tomado del IPCC, 2013).) (IPCC, 2013).

Por lo que respecta al período de tiempo más largo, para el cual el cálculo de las tendencias regionales es suficientemente completo (de 1901 a 2012), casi la totalidad del planeta ha experimentado un aumento de la temperatura de superficie (Ver Gráfico 2.1) (IPCC, 2013). Además de registrar un calentamiento multidecenal notable, la temperatura media global en superficie muestra una variabilidad decenal e interanual considerable debido a la variabilidad natural, las tendencias basadas en períodos de registros cortos son muy sensibles a las fechas de inicio y final, y no reflejan en general las tendencias climáticas a largo plazo (IPCC, 2013).

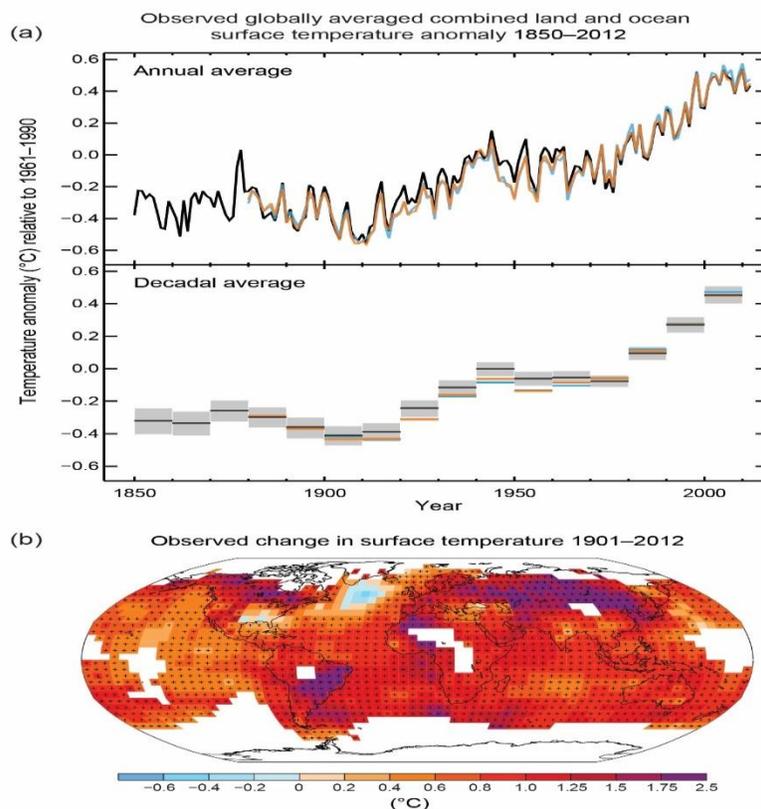


Gráfico 2.1. Cambio observado en la temperatura en superficie global. A) Anomalías observadas en la temperatura mundial, desde 1850 hasta 2012. Imagen superior: valores medios anuales. Imagen inferior: valores medios decenales. Las anomalías son relativas a la media del período 1961-1990. B) Mapa de los cambios observados en la temperatura en superficie entre 1901 y 2012. (Tomado del IPCC, 2013).

El nivel de confianza en los cambios de las precipitaciones promediadas sobre las zonas terrestres a escala mundial desde 1901 es bajo, antes de 1951, y medio, a partir de ese año. En promedio, sobre las zonas continentales de latitudes medias

del hemisferio norte, las precipitaciones han aumentado desde 1901 (nivel de confianza medio antes de 1951, y alto después). En otras latitudes, existe un nivel de confianza bajo en las tendencias positivas o negativas a largo plazo promediadas por zonas (Ver Gráfico 2.1) (IPCC, 2013).

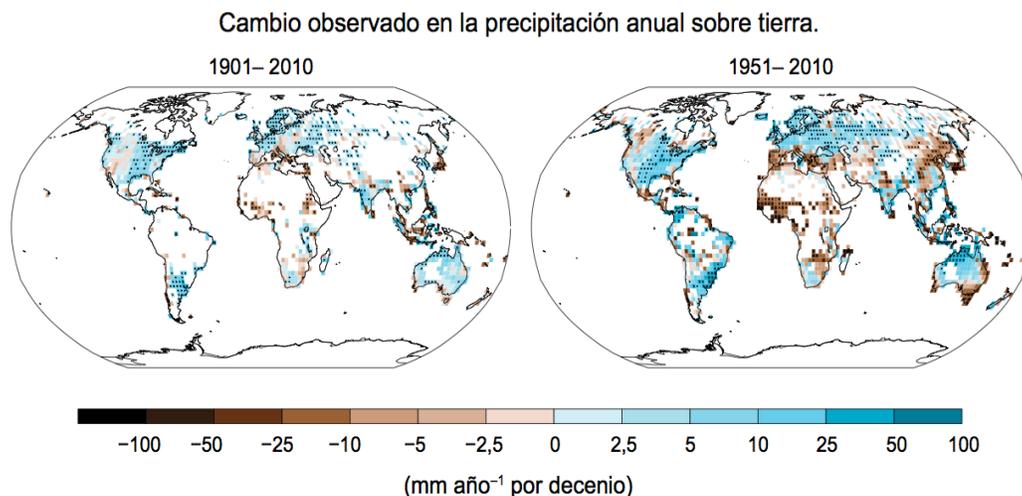


Gráfico 2.2. Cambio observado en la precipitación anual sobre tierra. Mapas de los cambios observados en la precipitación, entre 1901 y 2010, y entre 1951 y 2010. (Tomado del IPCC, 2013).

2.2. ESCENARIOS DE EMISIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO

Los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría suceder en el futuro, y constituyen una herramienta apropiada para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras, y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis (IPCC, 2000). Los escenarios son útiles para el estudio del cambio climático, y en particular para la creación de modelos del clima, para la evaluación de los impactos y para las iniciativas de adaptación y de mitigación (IPCC, 2000).

En el año 1996 en reunión plenaria del IPCC se decidió desarrollar escenarios que representaran las fuerzas determinantes de las emisiones y su evolución, por ello se solicitó un Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (Especial Reporte on Emissions Scenarios, SRES). Dichos escenarios fueron publicados por el IPCC en el año 2001, siendo desde entonces ampliamente utilizados para modelar las emisiones futuras (IPCC, 2000). Los escenarios SRES están agrupados en cuatro

familias denominadas A1, A2, B1 y B2, que exploran vías de desarrollo alternativas incorporando toda una serie de fuerzas originantes demográficas, económicas y tecnológicas, junto con las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) resultantes. No contemplan otras políticas climáticas además de las existentes (IPCC, 2000). La línea evolutiva y familia de escenarios A1, presupone un crecimiento económico mundial muy rápido, un máximo de la población mundial hacia mediados del siglo, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Se divide en tres grupos, que reflejan tres direcciones alternativas de cambio tecnológico: intensiva en combustibles fósiles (A1FI), energías de origen no fósil (A1T), y equilibrio entre las distintas fuentes (A1B). (IPCC, 2000).

La familia de líneas evolutivas y escenarios A2, describe un mundo muy heterogéneo con crecimiento de población fuerte, desarrollo económico y cambio tecnológico lento. La familia de líneas evolutivas y escenarios B1, describe un mundo convergente, con la misma población mundial que A1, pero con una evolución más rápida de las estructuras económicas hacia una economía de servicios y de información. La familia de líneas evolutivas y escenarios B2, describe un planeta con una población intermedia y un crecimiento económico intermedio, más orientada a las soluciones locales para alcanzar la sostenibilidad económica, social y medioambiental (IPCC, 2000).

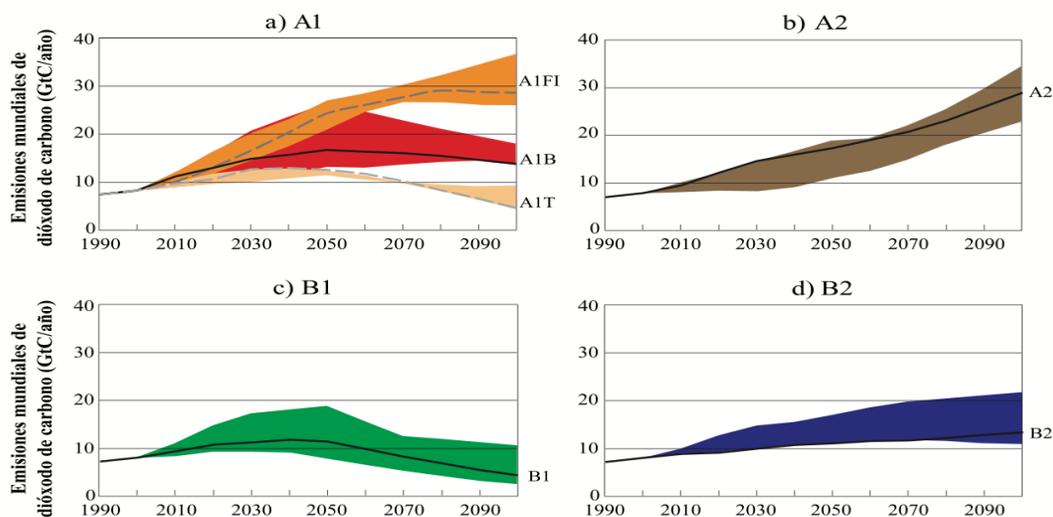


Gráfico 2.3. Emisiones mundiales de CO₂ para escenarios SRES. Emisiones anuales totales de CO₂ provenientes de todas las fuentes (energía, industria y cambio de uso de las tierras) entre 1990 y 2100 (en gigatoneladas de carbono (GtC/año) para las familias y los seis grupos de escenarios. (Tomado del IPCC, 2000).

2.3. MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES

Los Modelos de Circulación General o Modelos Climáticos Globales (GCMs) son herramientas importantes en la evaluación del cambio climático (Fowler, *et al.*, 2007). Los GCMs son modelos numéricamente acoplados que representan diversos sistemas de la Tierra, incluyendo la atmósfera y la superficie terrestre y se basan en los principios generales de la dinámica y la termodinámica de fluidos (Moradkhani, *et al.*, 2010).

Los GCMs se utilizan generalmente para simular el clima actual y proyectar el clima futuro con forzamiento de gases de efecto invernadero y aerosoles, suelen dividir la atmósfera y el océano en una rejilla horizontal, con una resolución horizontal de 2 a 4° de latitud y longitud, con 10 a 20 capas en la vertical (Dibike, *et al.*, 2005).

Los modelos climáticos globales o numéricos son simuladores del sistema climático que tratan de representar al sistema climático de la manera más completa posible, mediante la resolución de las ecuaciones de las leyes y principios de la física que gobiernan los procesos en cada componente del sistema

y los intercambios de energía y masa entre sí (Peixoto, *et al.*, 2002). En general, la mayoría de los Modelos de Circulación General simulan los procesos a escala global y continental en detalle y proporcionan una representación bastante exacta del clima planetario promedio (Dibike *et al.*, 2005).

Dada la complejidad del sistema climático como los relacionados con las nubes, por ejemplo, los modelos numéricos todavía no pueden representar ciertos procesos de forma adecuada. Por ello se utilizan técnicas estadísticas que incorporen estos procesos a través de la “parametrización” (Peixoto, *et al.*, 2002). La parametrización reemplaza procesos físicos por representaciones sencillas y, muchas veces empíricas, de los mismos, razón por la cual las parametrizaciones son típicamente las fuentes más importantes de error en los modelos (Palmer, *et al.*, 2008).

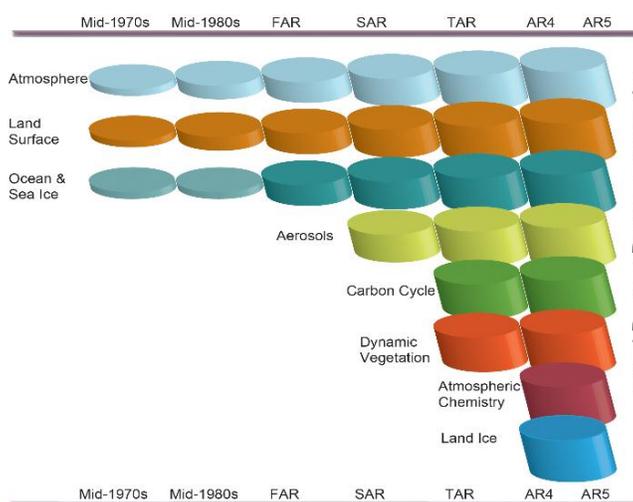


Gráfico 2.4. Evolución de los modelos climáticos globales. En los últimos 35 años la complejidad y variedad de los procesos ha aumentado con el tiempo (ilustrado por cilindros de crecimiento). (Tomado de IPCC, 2013).

2.3.1. MODELO CLIMÁTICO GLOBAL HadCM3

Este es un modelo atmósfera-océano creado en el Hadley Center de Inglaterra en el año 2000 por Gordon y Pope. Para la resolución atmosférica dispone 19 niveles (una malla de 96 x 73 celdas) y para el océano 20 niveles, también cuenta con un

total de 14 bandas espectrales y dispone de un nuevo esquema para el tratamiento del agua sobre la superficie terrestre (nieve e hielo). Podríamos decir que se trata de un modelo muy reciente y con unas características muy aceptables.

Este modelo puede utilizarse para los escenarios A2, B2, A2b y A2c. No necesita ningún tipo de ajuste de flujo para realizar una buena simulación, aunque ha sido utilizado en períodos de tiempo de unos mil años y se han observado pequeñas desviaciones en el clima en la superficie terrestre.

2.3.1.1. CARACTERÍSTICAS MÁS RELEVANTES

La resolución atmosférica del modelo dispone de 19 niveles con una resolución de $2,5 \times 3,5^\circ$ que corresponden a un total de 96×73 celdas de la malla, que equivalen a unos 417×278 km en el ecuador y unos 295×278 km a 45° de latitud aproximadamente.

Dispone de 6 bandas espectrales para longitudes de onda cortas y 8 para longitudes de onda larga. Los efectos de los gases como el CO₂, el vapor de agua y el ozono están representados explícitamente y también incluye una simple parametrización para los aerosoles.

Se ha renovado el esquema para la superficie terrestre, donde se incluye la representación de las aguas que se congelan y se funden. En cuanto a la evaporación, se incluye una dependencia de la resistencia estomatal sobre la temperatura, la presión y la concentración de CO₂. El albedo en la superficie es función del espesor de la nieve, del tipo de vegetación y de la temperatura alrededor de la nieve y el hielo.

El modelo también incluye explícitamente las corrientes bajas y el impacto de la convección sobre el momento. También se han revisado algunas parametrizaciones del modelo para modelar algunos efectos como la anisotropía orográfica, las corrientes estáticas, los flujos obstruidos y el estancamiento de las

ondas de Lee. El esquema de larga escala para la precipitación y las nubes está formulado en términos explícitos de algunas variables del agua de la nube. El radio efectivo de las gotas de agua es función de la cantidad de agua que contiene la nube y de la concentración del número de gotas.

La componente atmosférica permite la emisión, el transporte, la oxidación y el vertido de las componentes sulfúricas de manera opcional, lo que permite simular escenarios con aerosoles sulfúricos.

La componente oceánica del HadCM3 dispone de 20 niveles con una resolución de $1,25 \times 1,25^\circ$, lo que hace posible la representación de importantes detalles de corrientes oceánicas y sus estructuras. También muestra un esquema de difusión adiabática y no aparecen direcciones de difusión explícitas. La viscosidad del momento varía entre unos 3000 y 6000 m^2/s entre polos y Ecuador.

Cerca de la superficie la mezcla vertical está parametrizada a partir de los esquemas de Kraus-Turner y de la K-theory, que son esquemas para las direcciones de la capa de mezcla y el momento respectivamente. Bajo las capas altas la difusividad es función de la profundidad. Se han modificado algunos ajustes convectivos con el fin de obtener una mejor representación del vertimiento de aguas en las islas heladas escocesas y en la costa de Dinamarca, esto permite acercarse a los niveles de masa de agua ascendentes y que se mezclan verticalmente, el esquema se basa en Roether (1994).

El agua del Mar Mediterráneo está parcialmente mezclada con la del océano Atlántico a través del estrecho de Gibraltar como una simple representación de los intercambios de masa, ya que en el modelo el canal no se resuelve (está obstruida).

El modelo usa un simple modelo termodinámico para el mar congelado donde se incluye la cobertura de nieve. El hielo se desplaza con las corrientes y lo hace de diferente forma si la profundidad supera los cuatro metros.

No dispone de representación explícita para los icebergs, pero sí que una determinada cantidad de agua es devuelta al océano mediante un flujo dependiente de la acumulación de nieve sobre las capas de hielo, distribuidas entre las regiones de icebergs. Las corrientes superficiales son flujos para equilibrar la salinidad, los valores de referencia son de 35 PSU.

El modelo se inicia a partir del estado del océano observado desde Levitus (1994-1995) junto con un estado de la atmósfera y de las masas de agua congelada adecuada. El intercambio de información entre los océanos y la atmósfera tiene lugar una vez al día, y los flujos de calor y agua transferidos a través de la malla se conservan.

2.4. CAMBIO CLIMÁTICO EN ECUADOR

El país, luego de la adopción en 1992 de la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático, a través del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), inició todo un proceso, para el conocimiento del cambio climático, sustentado en la realidad nacional, la comprensión científica de la problemática, permitiendo definirla como áreas estratégicas en el contexto del cambio climático a la agricultura, los recursos hídricos, los bosques tropicales, las zonas marino-costeras, las zonas bajas propensas a inundaciones y las zonas con procesos de erosión.

De acuerdo a Cáceres, 2001; Ecuador inició el denominado Proceso del Cambio Climático (PCCE) en el año 1993, con cuatro objetivos a largo plazo:

- Implementar una capacidad institucional básica para enfrentar la problemática del cambio climático.
- Analizar el cambio climático y sus posibles impactos en áreas estratégicas del país.

- Definir alternativas de respuestas ante el cambio climático para la toma de decisiones.
- Cumplir con los compromisos internacionales.

Ecuador representa el 0,2% de la población mundial, siendo responsable de un 0,1% de las emisiones de GEI a nivel mundial, con un promedio de emisión de 2,2 toneladas de CO₂ persona/año. Estos niveles están bastante por debajo de los de América Latina y el Caribe (MAE y PNUD, 2009).

Ecuador es un país que no tiene que cumplir con metas específicas de reducción de emisiones (UNDP, 2007). Sin embargo, ha implementado medidas que apoyan a la reducción, entre ellas se encuentra el Programa Socio Bosque/Socio Páramo impulsado por el Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE); el cual consiste en proveer incentivos económicos para la conservación de bosques y la disminución de la deforestación. También existen políticas que promueven el uso de energías renovables para disminuir el consumo de combustibles fósiles en la generación eléctrica (MAE y PNUD, 2009).

En el país se han identificado cinco sectores especialmente vulnerables al cambio climático, estos son los sectores agropecuario, energético, forestal, de recursos hídricos y recursos marino costero. Considerando particularmente sensible el sector de recursos hídricos (MAE y PNUD, 2009).

Con el fin de evaluar el impacto del cambio climático en los recursos hídricos del país, en el año 2000 el MAE y el Programas de las Naciones Unidas para el Desarrollo, efectuaron un estudio denominado “Análisis del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos en el Ecuador”. El estudio abarcó una extensión de 82.236 Km² e incluyó las cuencas hidrográficas de los ríos Esmeraldas, Mira, Carchi, Jama, Chone, Portoviejo, Pastaza, Paute y Napo en las subcuencas del río Quijos y en la subcuenca del río Jatunyacu.

En el estudio se aplicaron cuatro escenarios de precipitación (P) y temperatura (T) definidos en la publicación “Escenarios de Cambio Climático (ECC):

- Escenario ECC1: (incremento T 1°C, disminución P 15%)
- Escenario ECC2: (incremento T 1°C, incremento P 20%)
- Escenario ECC3: (incremento T 2°C, disminución P 15%)
- Escenario ECC4: (incremento T 2°C, incremento P 20%)

De los resultados obtenidos se concluye que las cuencas de los ríos Esmeraldas, Portoviejo, Chone, Jama, Briceño, Pastaza, Paute, Mira, Carchi y Napo ya mostraban en el año 2000 un déficit para cubrir la demanda de agua en las épocas secas. Intensificándose éste en los escenarios ECC1 y ECC3.

El escenario ECC2 es menos preocupante que el escenario ECC1, sin embargo, se mantendrían valores altos en déficit, coincidiendo los mayores problemas en las cuencas mencionadas. Evidentemente el escenario ECC4 es el menos desfavorable, ya que al nivel global de cuencas se tendría mayores precipitaciones, lo que generaría un incremento de oferta disminuyendo en tiempo y cantidad los déficit frente a la demanda.

En el año 2009 el estudio del Proyecto GEF/MAE/PNUD “Adaptación al Cambio Climático a través de una Efectiva Gobernabilidad del Agua en Ecuador – PACC”, presentó un retrato de la vulnerabilidad al clima y la variabilidad climática actual de las cuencas de los ríos Paute, Jubones, Catamayo-Chira, Chone, Portoviejo y Babahoyo. Para cada cuenca se determinó la variación de temperatura y precipitación durante los últimos años. Los resultados muestran que todas las cuencas presentan un ascenso de la temperatura en los últimos 64 años, existiendo menos intensidad en la cuenca Catamayo Chira.

La falta de datos impidió establecer los cambios en la precipitación y estimar la frecuencia de eventos extremos.

Este estudio se enfocó en el riesgo originado por la interacción de amenazas climatológicas, de vulnerabilidad y de exposición de las poblaciones humanas, especialmente en lo relativo a los recursos hídricos. (MAE y PNUD 2009).

Por su parte el Comité Nacional sobre el Clima y el Ministerio del Ambiente, 2001; menciona que la tendencia de la precipitación en Ecuador con el tiempo será bastante irregular, con una mayor inclinación hacia la disminución, en especial en la región Litoral. Según indagaciones la cobertura sobre los glaciares ha disminuido del 70% al 54% durante el período comprendido entre los años 1956 y 1998.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La presente investigación se realizó en la cuenca del río Portoviejo, cuenca que pertenece a la Demarcación Hidrográfica de Manabí, ubicada en la zona centro de dicha provincia. Hidrográficamente esta cuenca limita al norte con la cuenca del río Chone, al sur con las cuencas del río Jipijapa, río Bravo y río Manta; al este con la Demarcación Hidrográfica del Guayas y al oeste con el Océano Pacífico y las cuencas del río Jaramijó y Pajonal.

La cuenca del río Portoviejo tiene un área de 2150 Km² aproximadamente, está formada por 2 subcuencas (río Chico y río Portoviejo), contiene a 7 cantones de la provincia de Manabí entre ellos los cantones Portoviejo, Rocafuerte y Santa Ana con los de mayor territorio dentro de la cuenca.

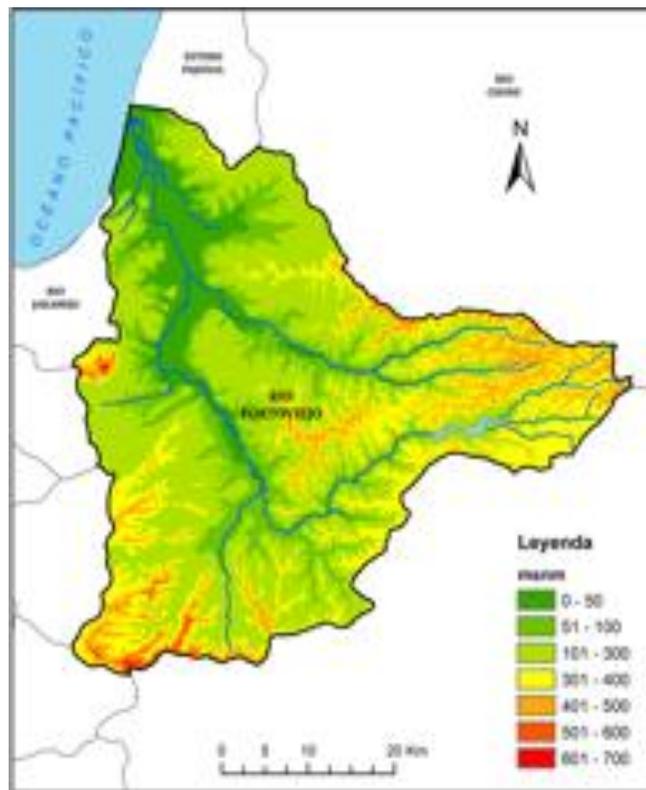


Figura 3.1. Cuenca del río Portoviejo
Fuente: Zambrano, 2014

3.2. DURACIÓN

La investigación tuvo una duración de 9 meses.

3.3. VARIABLES DE ESTUDIO

3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Modelo climático global HadCM3

3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Incremento de precipitación
- Incremento de temperatura

3.4. PROCEDIMIENTO

Esta investigación para su desarrollo estuvo dividida en tres etapas:

Etapa 1: Análisis de la información del modelo climático global HadCM3 del cuarto informe del IPCC.

Etapa 2: Simulación de las predicciones futuras de precipitación y temperatura de la cuenca del río Portoviejo.

Etapa 3: Identificación de los cambios observados en la cuenca del río Portoviejo a corto (2010-2039), mediano (2040-2069) y largo plazo (2070-2099).

Etapa 1: Análisis de la información del modelo climático global HadCM3 del cuarto informe del IPCC

En esta etapa se obtuvo las anomalías de precipitación y temperatura para la cuenca hidrográfica del río Portoviejo del modelo climático global del cuarto informe (AR4) del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (Intergubernamental Panel on Climate Change, IPCC).

El modelo estudiado fue el HadCM3 creado por el Hadley Centre for Climate Prediction and Research/Met office. Este modelo fue descargado en forma de metadato y analizado estadísticamente en un software de sistema de información

geográfica (ArcGIS). El análisis se efectuó en los escenarios SRES A1B, B1 y A2 a corto (2010-2039) mediano (2040-2069) y largo plazo (2070-2099). (Rivadeneira, 2014).

Etapas 2: Simulación de las predicciones de precipitación y temperatura de la cuenca del río Portoviejo

Se realizó la simulación a corto (2010-2039), mediano (2040-2069) y largo plazo (2070-2099) adicionando las anomalías mensuales a la serie histórica mensual de las variables climatológicas del período de control observado (1964-2012) en la cuenca del río Portoviejo (Rivadeneira, 2014). La simulación permitió obtener 9 predicciones de precipitación y 9 predicciones de temperatura.

Etapas 3: Identificación de los cambios futuros en la cuenca del río Portoviejo a corto (2010-2039), mediano (2040-2069) y largo plazo (2070-2099)

Se contrastó el período de control observado vs período de control con el efecto de cambio climático para identificar los cambios esperados a corto (2010-2039), mediano (2040-2069) y largo plazo (2070-2099).

3.5. MÉTODOS

Para la ejecución de este trabajo se aplicaron métodos de Investigación que permitieron lograr los objetivos planteados, es así que se emplearon los Métodos Cualitativo y Deductivo.

Se aplicó el Método Cualitativo por consistir éste en descripciones detalladas de situaciones, eventos, personas, interpretaciones, interacciones y comportamientos que son observables; es de tipo interpretativo y tiene como meta la transformación de la realidad (Bernal, 2010).

Y se empleó el Método Deductivo por partir de un principio general ya conocido para inferir en él consecuencias particulares, expresado de una forma más sencilla, la deducción consiste en partir de una teoría general para explicar hechos

o fenómenos particulares; incluye pasos tales como la aplicación, comprensión y demostración (Bernal, 2010).

3.6. TÉCNICAS

3.6.1. TÉCNICAS ESTADÍSTICAS

El modelo estudiado fue el HadCM3 del cuarto informe del IPCC. Este modelo fue descargado en forma de metadato y analizado estadísticamente en ArcGIS (Rivadeneira, 2014).

Además para el procesamiento de datos y visibilizar los resultados se utilizó la estadística descriptiva, como histogramas o gráficos, medidas de tendencia central como suma y media (Bernal, 2010).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ETAPA 1: ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DEL MODELO CLIMÁTICO GLOBAL HadCM3 DEL CUARTO INFORME DEL IPCC

Se obtuvo las anomalías de precipitación y temperatura del modelo inglés HadCM3 para el ámbito de estudio en los escenarios A1B, B1 y A2 en los periodos 2010-2039 (corto plazo), 2040-2069 (mediano plazo) y 2070-2099 (largo plazo).

4.1.1. ANOMALÍAS DE ESCENARIOS SRES (AR4)

4.1.1.1. ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN DEL HadCM3

A continuación, se describen las anomalías de precipitación obtenidas a partir del modelo HadCM3 del cuarto informe del IPCC en sus respectivos escenarios (A1B, B1 y A2) y periodos (2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099) (Ver Anexo 1).

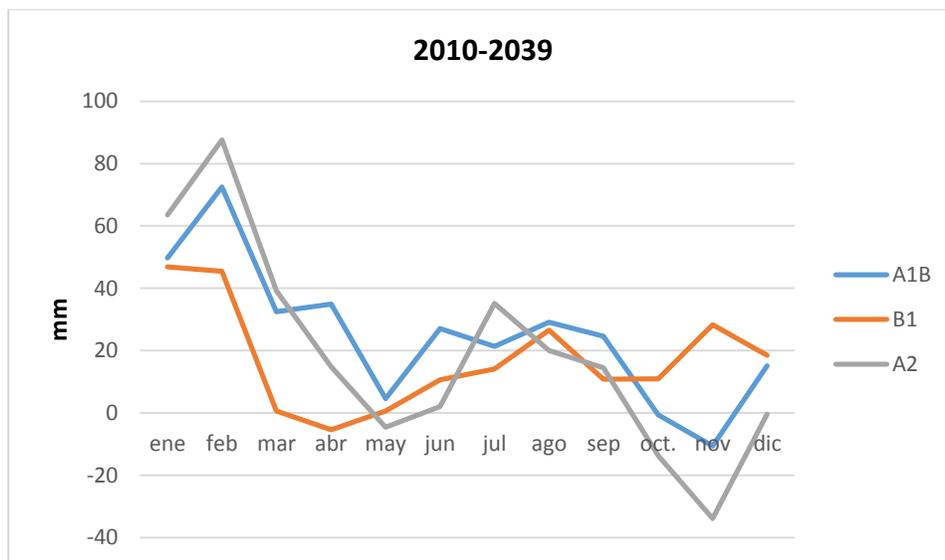


Gráfico 4.1. Anomalías de precipitación del modelo HadCM3

Las anomalías de precipitación obtenidas del modelo climático HadCM3 indican que en el período 2010-2039 en el mes de enero para el escenario A1B se prevé un incremento en la variable de 49,72 mm, el escenario B1 también refleja un incremento pero inferior al escenario A1B (46,91 mm), mientras que el escenario A2 presenta un incremento superior (63,48 mm) a A1B y B1.

En el mes de febrero se registra un incremento superior al mes de enero en los escenarios A1B y A2, sin embargo la precipitación se mantendría constante bajo el escenario B1. Los datos del mes de marzo muestran una disminución de la variable siendo ésta más significativa en el escenario B1 (0,60 mm). En abril las lluvias se mantendrían en el escenario A1B, disminuyen en A2 y presentan valores inferiores a 0 (-5,46 mm) bajo el contexto de B1. El mes de mayo refleja disminución de precipitación alcanzando valores de cero (0,60 mm) en el escenario B1 y negativos en A2 (-4,5 mm). En junio ya se puede apreciar un incremento en la variable en todos los escenarios, siendo éste progresivo hasta agosto en el escenario B1. El mes de septiembre muestra una disminución de lluvias en A1B, B1 y A2, llegando a valores negativos en octubre en los escenarios A1B y A2 condición que se mantiene hasta noviembre y se prolonga hasta diciembre en A2 (-33,89 mm).

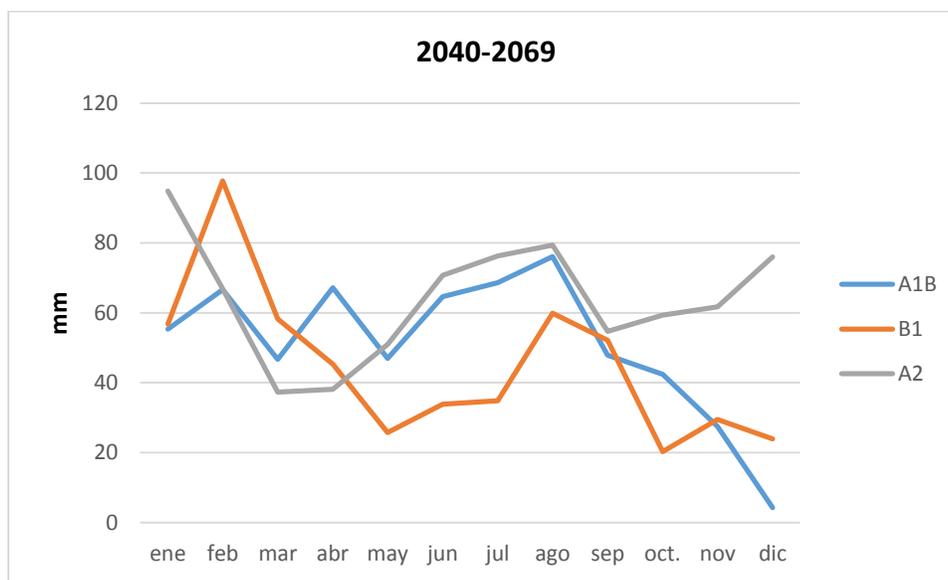


Gráfico 4.2. Anomalías de precipitación del modelo HadCM3

Las anomalías de precipitación del HadCM3 obtenidas para el período 2040-2069, indican que en el mes de enero se prevé un incremento de la variable en los tres escenarios planteados. Registrándose los mismos milímetros en los escenarios A1B y B1, y valores superiores en A2. Sin embargo, en febrero A2 registra un descenso. En el mes de marzo la disminución de la precipitación se refleja en todos los escenarios, manteniéndose ésta en el escenario B1 en el mes de abril y recuperándose en mayo. En junio se aprecia un incremento en la variable en A1B, B1 y A2; siendo éste progresivo hasta agosto. Mientras que en septiembre las lluvias disminuyen, manteniéndose esta condición hasta diciembre en el escenario A1B. Los demás escenarios presentan variación en los meses de octubre, noviembre y diciembre.

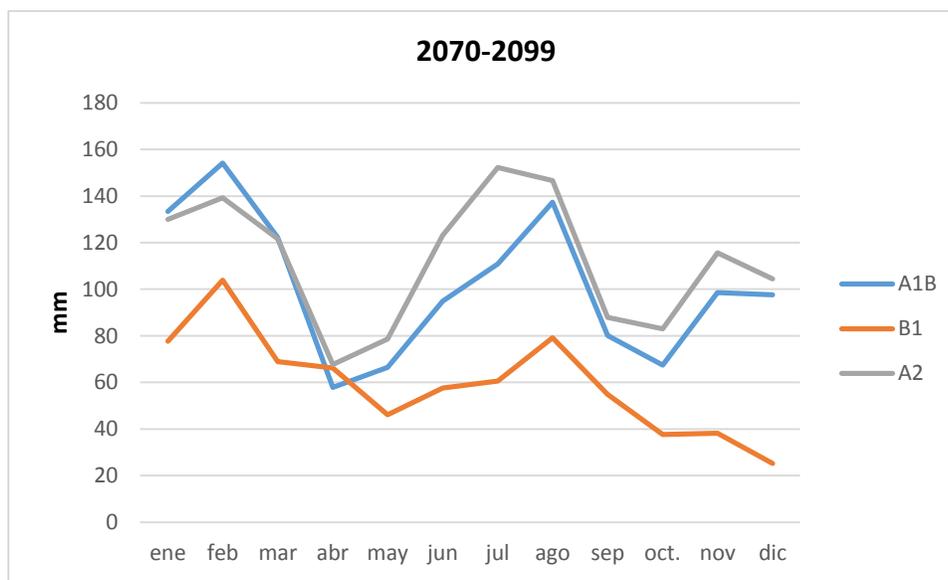


Gráfico 4.3. Anomalías de precipitación del modelo HadCM3

En el período 2070-2099, las anomalías indican incremento de la precipitación en los escenarios A1B, B1 y A2; siendo ésta más significativa en A1B y A2. Iguales condiciones se presentan en el mes de febrero. Sin embargo, en marzo y abril se aprecia una disminución de la variable, recuperándose en mayo en los escenarios A1B y A2. En junio se aprecia un incremento en A1B, B1 y A2; siendo éste progresivo hasta agosto. La precipitación registra una disminución en septiembre y octubre, y un incremento en el mes de noviembre; siendo más representativa en el

escenario A2 (115,52 mm) volviendo ésta a descender sin llegar a valores negativos en diciembre.

4.1.1.2. ANOMALÍAS DE TEMPERATURA DEL HadCM3

En los gráficos 4.4 – 4.6, se presentan las anomalías de temperatura obtenidas del modelo inglés, en los escenarios y períodos planteados (Ver Anexo 2).

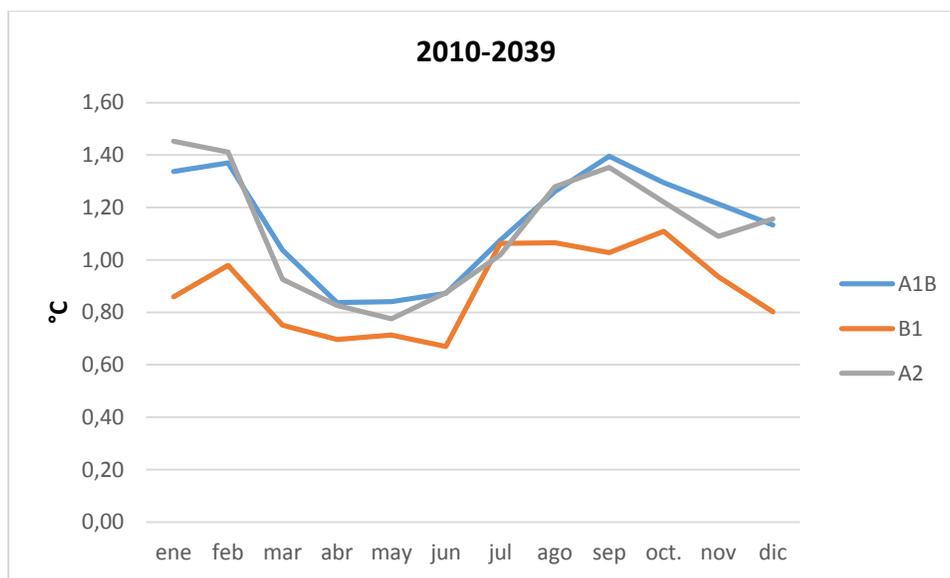


Gráfico 4.4. Anomalías de temperatura del modelo HadCM3

Las anomalías de temperatura obtenidas del modelo inglés HadCM3 indican que en el período 2010-2039 en el mes de enero para los escenarios planteados, se prevé un incremento de la variable, presentando los escenarios A1B y A2 valores más significativos 1,34 °C y 1,45 °C respectivamente. En el mes de febrero en el escenario B1 se aprecia un incremento de temperatura respecto al mes de enero. En el escenario A1B las condiciones de incremento se mantienen, mientras que en A2 la temperatura disminuye en relación al mes anterior. El mes de marzo muestra comportamientos similares a los del mes de enero sin embargo los valores son más significativos. Por su parte los meses abril y mayo presentan iguales conductas en los escenarios A1B y B1, mientras que A2 registra lluvias diferentes. En el mes de junio los escenarios A1B y A2 reflejan un mínimo incremento de la

variable respecto a los meses abril y mayo mientras que en B1 se observa un descenso. En julio la temperatura sigue aumentando en todos los escenarios de estudio manteniéndose ésta condición hasta septiembre a excepción de B1 que presenta una disminución despreciable en septiembre. En los meses de octubre, noviembre y diciembre.

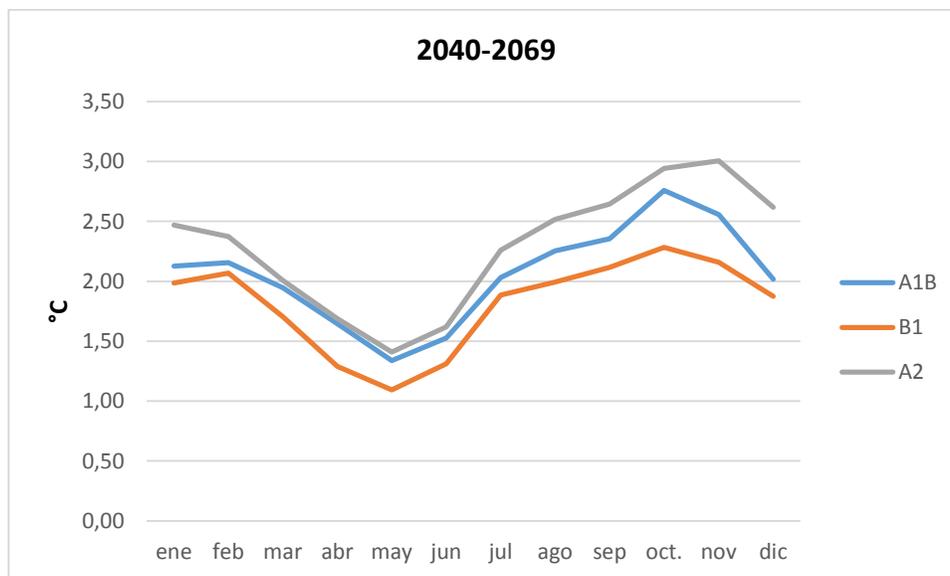


Gráfico 4.5. Anomalías de temperatura del modelo HadCM3

En el período 2040-2069 se prevé un incremento de la temperatura en los doce meses del año. El escenario A2 refleja mayor incremento de la variable respecto a los escenarios A1B y B1. Los meses que presentan incrementos mínimos son abril, mayo y junio. Mientras que los meses julio a noviembre registran los incrementos más significativos. El escenario más favorable es el B1 seguido del A1B y finalmente el A2; teniendo como anomalía máxima 2,28°C; 2,76°C y 3,01°C respectivamente.

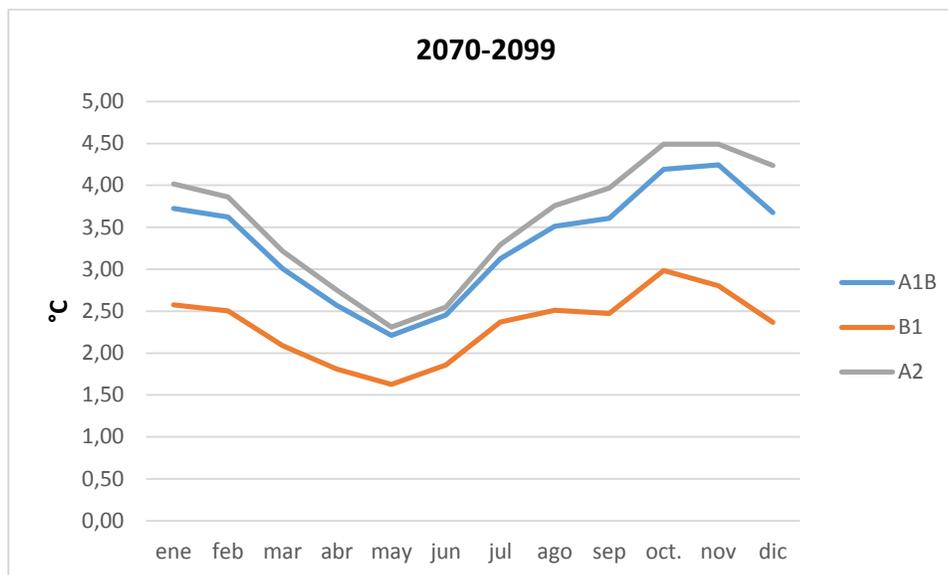


Gráfico 4.6. Anomalías de temperatura del modelo HadCM3

Las anomalías de temperatura obtenidas del modelo inglés indican que en el período 2070-2099 se prevé un incremento de la variable, presentando en los escenarios A1B y A2 valores más significativos 4,19 °C y 4,49 °C respectivamente. En el escenario A1B los meses que presentan anomalías mínimas son abril (2,57°C) mayo (2,21°C) y junio (2,45°C). Mientras que octubre (4,19°C) y noviembre (4,24°C) reflejan anomalías máximas. El escenario B1 muestra las anomalías mínimas y máximas los mismos meses que el escenario A1B. Este mismo contexto presenta el escenario A2, sin embargo, las anomalías son más desfavorables.

4.2. ETAPA 2: SIMULACIÓN DE LAS PREDICCIONES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DE LA CUENCA DEL RÍO PORTOVIEJO

Se realizó la simulación a corto (2010-2039), mediano (2040-2069) y largo plazo (2070-2099) adicionando las anomalías mensuales a la serie histórica mensual de las variables climatológicas (precipitación y temperatura) del período de control observado (1964-2012).

4.2.1. SIMULACIÓN DE PREDICCIONES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA

4.2.1.1. SIMULACIÓN DE PREDICCIONES DE PRECIPITACIÓN

En los gráficos 4.7 – 4.9, se presentan las simulaciones de predicción de precipitación del modelo inglés, en los escenarios A1B, B1 y A2 y períodos planteados (2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099) (Ver Anexo 3).

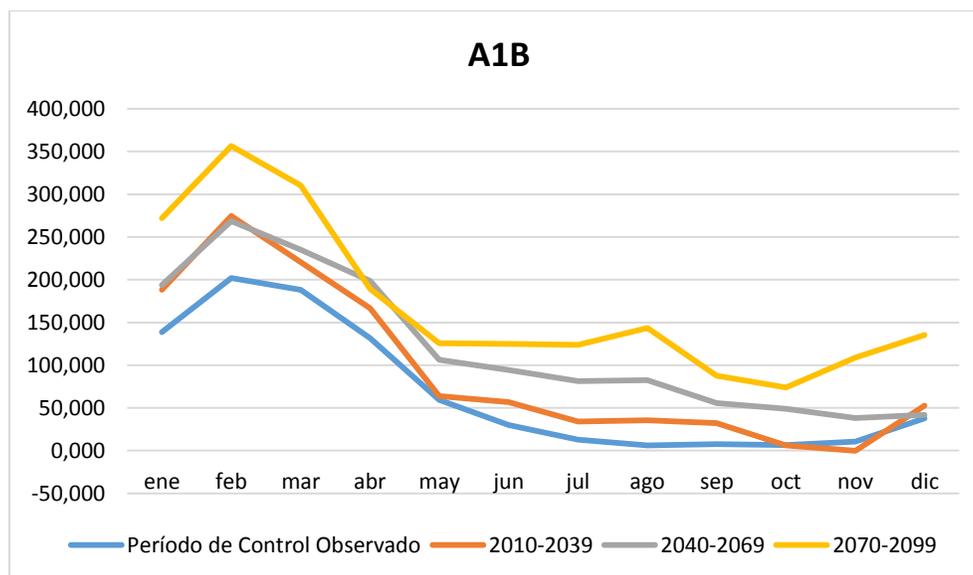


Gráfico 4.7. Simulación de predicción de precipitación del modelo HadCM3

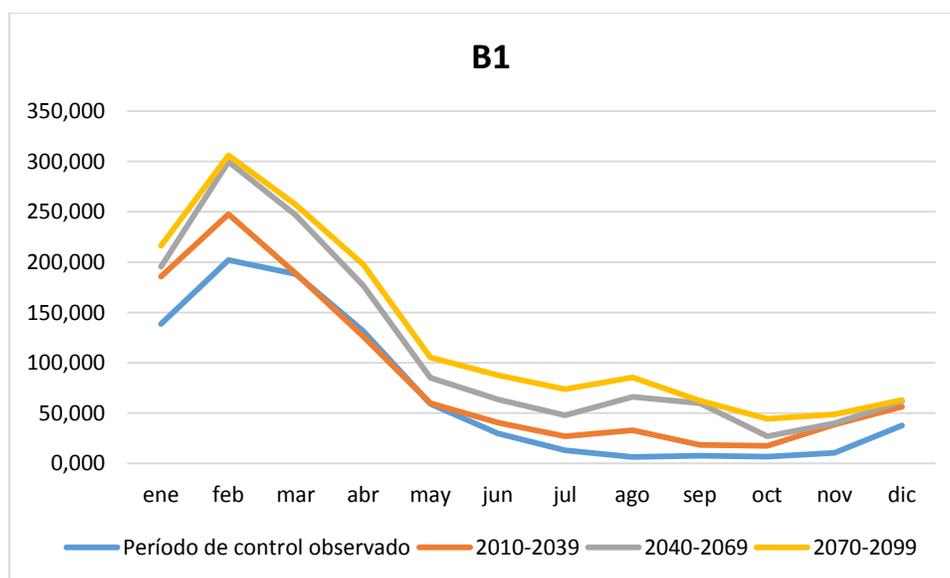


Gráfico 4.8. Simulación de predicción de precipitación del modelo HadCM3

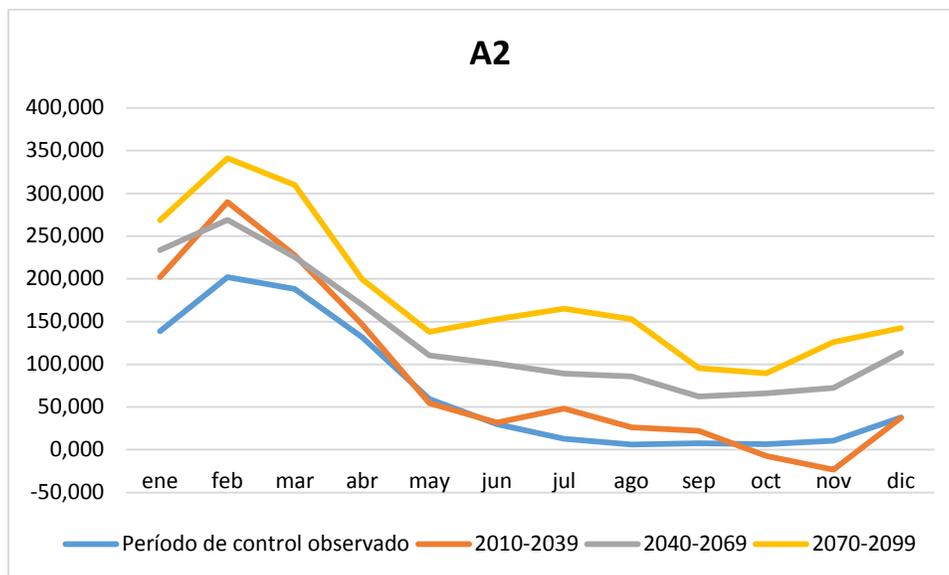


Gráfico 4.9. Simulación de predicción de precipitación del modelo HadCM3

4.2.1.2. SIMULACIÓN DE PREDICCIONES DE TEMPERATURA

A continuación, se describen las simulaciones de de predicción de temperatura obtenidas a partir del modelo HadCM3 del cuarto informe del IPCC en sus respectivos escenarios y períodos (Ver Anexo 4).

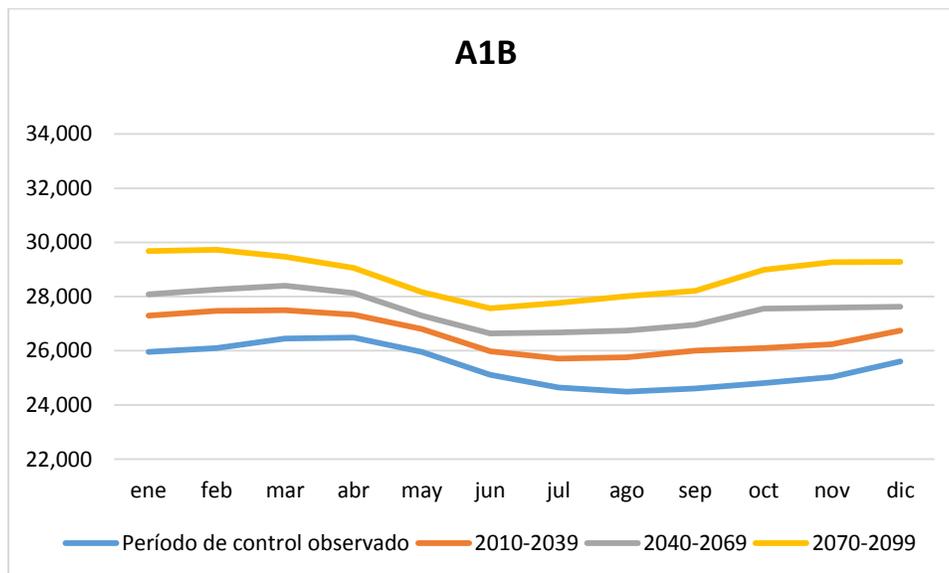


Gráfico 4.10. Simulación de predicción de temperatura del modelo HadCM3

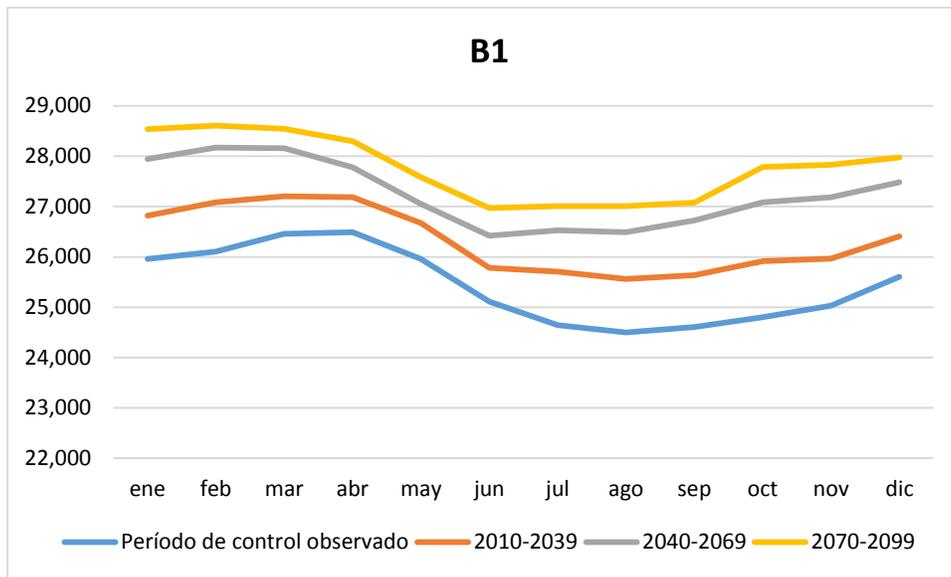


Gráfico 4.11. Simulación de predicción de temperatura del modelo HadCM3

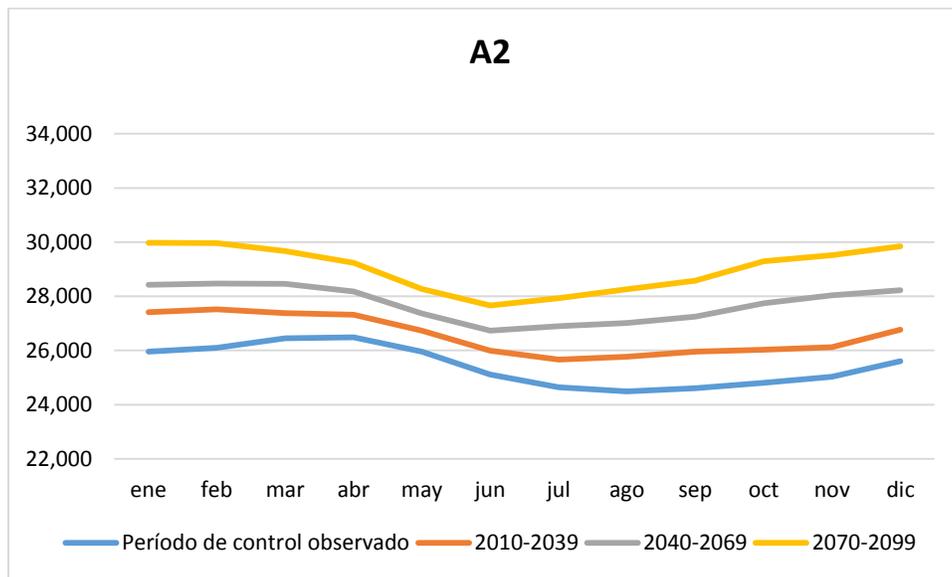


Gráfico 4.12. Simulación de predicción de temperatura del modelo HadCM3

4.3. ETAPA 3: IDENTIFICACIÓN DE LOS CAMBIOS FUTUROS EN LA CUENCA DEL RÍO PORTOVIEJO A CORTO (2010-2039), MEDIANO (2040-2069) Y LARGO PLAZO (2070-2099)

4.3.1. CAMBIOS FUTUROS EN LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA

4.3.1.1. CAMBIOS FUTUROS EN LA PRECIPITACIÓN

Las anomalías de precipitación en el escenario A1B, en el período 2010-2039 reflejan una disminución en los meses de octubre (-0,64 mm) y noviembre (-10,59 mm). Los cambios futuros de la variable indican un decremento en noviembre de -0,093 mm. Mientras que el período 2040-2069 y el período 2070-2099 registran un incremento de las lluvias durante los doce meses del año; reflejándose una variación significativa los meses de verano.

El escenario B1 en el período 2010-2039, en el mes de abril presenta una anomalía de -5,46 mm, reflejándose por tanto una disminución futura de la variable en dicho mes (de 131,49 mm a 126,02 mm). Los cambios de la precipitación bajo el contexto del cambio climático en los períodos 2040-2069 y 2070-2099 indican un incremento de enero a diciembre; siendo éste altamente significativo de enero a octubre.

En el período 2010-2039 las anomalías del escenario A2, obtenidas del modelo inglés, en los meses de mayo, octubre y noviembre son -4,57 mm, -13,69 mm y -33,89 mm respectivamente. Estos valores se ven reflejados en los cambios futuros de la variable; teniendo por tanto una disminución de la misma en dichos meses. Es así que en el mes de mayo existirá una disminución de lluvias de 59,26 mm a 54,69 mm; en octubre se tendrán valores de -7,12 mm y en noviembre de -23,39 mm.

El escenario A2 en los períodos 2040-2069 y 2070-2099 proyectan un incremento de la precipitación de enero a diciembre, siendo éste muy significativo los doce meses del año.

4.3.1.2. CAMBIOS FUTUROS EN LA TEMPERATURA

Las anomalías de temperatura tienden a incrementar gradualmente en el modelo inglés en los escenarios A1B, B1 y A2 en los tres períodos analizados (2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099).

En el escenario A1B (2010-2039) los cambios de temperatura oscilan entre 0,84 °C y 1,37 °C; teniendo en el mes de julio 25,71 °C y el mes de marzo 27,49 °C. En el período 2040-2069 los cambios en A1B son de 1,34 °C hasta 2,76 °C siendo marzo y junio los meses donde se producen las menores y mayores variaciones. El período 2070-2099 se plantea como menos favorable respecto a los demás períodos. Los cambios ascienden a 4,24 °C siendo el mínimo 2,21 °C.

El escenario de emisión B1 es el más favorable, éste refleja cambios mínimos durante los doce meses del año. La variación máxima respecto al observado es 1,11 °C en el período 2010-2039; 2,28 °C en el período 2040-2069 y 2,98 °C en el período 2070-2099.

Los cambios en el escenario A2 son más representativos respecto a los escenarios A1B y B1. En el período 2010-2039 los cambios en la variable ascienden a 1,45 °C. Ésta variación se presenta en el mes de enero, teniendo un registro de 27, 41 °C. En el período 2040-2069 los cambios son de 1,41 °C a 3,01 °C, siendo el mes de noviembre quien registra la máxima variación. El escenario A2 en el período 2070-2099, refleja los mayores cambios en los meses octubre y noviembre con 4,49 °C y los menores en el mes de mayo con 2,31 °C.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las anomalías de precipitación en el modelo inglés HadCM3 muestran un descenso en el período 2010-2039 para los escenarios A1B y A2.
- La simulación realizada indica que para el período 2010-2039 bajo un escenario A1B; el mes de noviembre registrará un descenso en la precipitación de -0,093 mm; mientras que los meses anteriores se prevé un incremento.
- El escenario A1B para el período 2040-2069 pronostica un aumento de la variable precipitación los doce meses del año; siendo más significativa de enero a mayo.
- En el período 2070-2099 para el escenario A1B, predice al igual que el período 2040-2069, un incremento de la precipitación; sin embargo ésta presenta valores más significativos de enero a agosto.
- El escenario B1 para los períodos planteados (2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099); prevé un incremento de las lluvias de enero a diciembre, registrando valores altos de enero a abril.
- La simulación bajo el escenario A2, pronostica para el período 2010-2039 un aumento de la precipitación de enero a septiembre y una disminución en octubre (-7,12 mm) y noviembre (-23,39 mm).
- El escenario A2 para el período 2040-2069 al igual que el escenario A1B pronostica un aumento de la variable precipitación durante todo el año; siendo más significativa de enero a junio.
- En el período 2070-2099 el escenario A2, prevé las mismas condiciones que el escenario A1B.
- Por lo antes expuesto se concluye que los cambios futuros en la precipitación bajo el contexto del cambio climático serán un descenso de la variable en el período 2010-2039 para los escenarios A1B (de hasta -10,59 mm) y A2 (de hasta -33,89 mm).

- Las anomalías de temperatura tienden a incrementar gradualmente en el modelo inglés en los escenarios A1B, B1 y A2 en los tres períodos analizados.
- En el escenario A1B para los tres períodos estudiados, se prevé un incremento de la temperatura de enero a diciembre; siendo éste más significativo de enero a abril. El mes que mayor cambio presenta es febrero con 1,04 °C; 1,95 °C y 3,62 °C respectivamente.
- El escenario B1 presenta el mismo contexto que el escenario A1B a excepción que en el período 2010-2039 el mes que mayor cambio presenta es marzo.
- La temperatura en el escenario A2 al igual que los escenarios A1B y B1, y en los períodos 2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099; tiende a incrementar durante los doce meses del año, registrándose en el mes de febrero los mayores cambios.
- Finalmente se concluye que los cambios futuros prevén un incremento a corto plazo de hasta 1,41°C, a medio plazo de 1°C a 3°C y a largo plazo hasta aproximadamente 5°C.

5.2. RECOMENDACIONES

- Identificar los cambios en las variables climatológicas de precipitación y temperatura en la cuenca hidrográfica del río Portoviejo mediante la utilización de otros modelos climáticos.
- Establecer la adaptabilidad de dichos modelos a los patrones reales de precipitación y temperatura de la cuenca.
- Mejorar la precisión de las predicciones de las variables empleando modelos climáticos regionales a nivel de cuencas hidrográficas.
- Identificar los cambios futuros en la cuenca del río Portoviejo bajo escenarios de emisiones del quinto informe del IPCC.

BIBLIOGRAFÍA

- Arnell, N.; Vuuren, V.; Isaac, M. 2011. "The implications of climate policy for the impacts of climate change on global water resources." *Global Environmental Change*. 21:592-603.
- Aveiga, V. 2012. *¿Cómo hacer investigación científica?* ISBN: 978-9942-11-273-6. Jefatura Académica y de Postgrado, ESPAM- MFL. Calceta, Ecuador. 248 p
- Bernal, C. 2010. *Metodología de la Investigación*. Tercera edición. Colombia. 320p.
- Cáceres, S. 2001. Comité Nacional sobre el Clima y el Ministerio del Ambiente. *Cambio Climático*. Ecuador.
- Comité Nacional sobre el Clima y el Ministerio del Ambiente. 2001. *Cambio Climático*. Comunicación Nacional República del Ecuador.
- Cudenec, C.; Leduc C.; Koutsoyiannis, D. 2007. "Dryland hydrology in Mediterranean regions—a review." *Hydrological Sciences Journal/Journal des Sciences Hydrologiques*. 52:1077-1087.
- Dibike, Y. y Coulibaly, P. 2005. "Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models." *Journal of hydrology* **307**(1): 145-163.
- ESPAM MFL (Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López). 2012. *Manual del sistema de investigación institucional*. 2a ed. Ecuador. 84p.
- Folland, C.; Karl, Nicholls, T.; Nyenzi, B.; Parker, D.; Vinnikov K. 2001. "Observed climate variability and change." Cambridge Univ. Press. p. 99 – 181.
- Fowler, Blenkinsop, S.; Tebaldi, C. 2007. *Linking climate change modeling to impacts*. Consultado el 29 de Junio 2015. Formato en PDF. Disponible en www.condesan.org

- García, J.; López, J.; Vicente, S.; Lasanta, T.; y Beguería, S. 2011. "Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth-Science Reviews*. 105:121-139.
- Huntington, T. 2010. "1 Climate Warming-Induced Intensification of the Hydrologic Cycle: An Assessment of the Published Record and Potential Impacts on Agriculture." *Advances in agronomy*. Vol.109. p. 1.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático). 2000. Informe especial del IPCC. Escenarios de Emisiones. Resumen para responsables de políticas. Grupo de Trabajo III. Consultado el 21 de Junio 2015. Formato en PDF. Disponible en www.redalyc.org
- _____. 2007. "Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climates " Cambridge Univ. Press, New York: 966.
- _____. 2013. "Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático".
- Landa, R., Magaña, V., y Neri, C. 2008. Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático. Semarnat.
- MAE y PNUD. 2009. "Proyecto Adaptación al Cambio Climático a través de una Efectiva Gobernabilidad del Agua en el Ecuador (PACC)."
- Manabe, S.; Wetherald, R.; Milly, P.; Delworth, T.; Stouffer, R. 2004. "Century-scale change in water availability: CO₂-quadrupling experiment." *Climatic Change* 64:59-76.
- Moradkhani, H.; Baird, R y Wherry, S. 2010. "Assessment of climate change impact on floodplain and hydrologic ecotones." *Journal of hydrology* **395**(3): 264-278.
- Mosquera, S. y Ahmad, S. 2007. "Flood hazard assessment of Atrato River in Colombia." *Water resources management* 21:591-609.

Palmer, T.; Phil, Trans. 2005. R. Soc. A, 366, 2421. Formato en PDF. Consultado el 17 de Junio 2015. Disponible en www.scielo.org.

Peixoto, J. y Oort, A. 2002. Physics of Climate. American Institute of Physics. New York.

Puri, S.; Stephen, H.; Ahmad, S. 2011. "Relating TRMM precipitation radar land surface backscatter response to soil moisture in the Southern United States." Journal of Hydrology. 402:115-125.

Rivadeneira, J. 2014. Evaluación del efecto del cambio climático bajo escenarios de emisiones SRES y RCP en la Demarcación Hidrográfica de Manabí – Ecuador.

Tsanis, I.; Koutroulis, A.; Daliakopoulos, I.; Jacob, D. 2011. "Severe climate-induced water shortage and extremes in Crete." Climatic Change.106:667-677.

UNDP. 2007. Human development report 2007/2008: Fighting climate change: human solidarity in a divided world, Oxford University Press for UNDP

Zambrano, Y. 2014. Posibilidades de implementación de un sistema de indicadores para la gestión de la sequía en la Demarcación Hidrográfica de Manabí – Ecuador.

ANEXOS

ANEXO 1 ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN

MESES	HadCM3		
	SRES A1B (mm/mes)	SRES B1 (mm/mes)	SRES A2 (mm/mes)
Enero	49,724928	46,9183104	63,4814496
Febrero	72,5464512	45,4491648	87,6033792
Marzo	32,4539136	0,60285514	39,185856
Abril	34,9238304	-5,46816096	14,8164163
Mayo	4,56790752	0,60445958	-4,5711216
Junio	27,0231552	10,5900048	2,0798856
Julio	21,3190704	14,1324653	35,1309312
Agosto	29,113344	26,5449312	20,0303021
Septiembre	24,6490646	10,8043632	14,5244794
Octubre	-0,63729245	10,9350518	-13,6947024
Noviembre	-10,5906528	28,2377664	-33,8950656
Diciembre	15,0613603	18,4512298	-0,46284566

Anomalías de precipitación mensual del modelo HadCM3 del AR4 para el periodo 2010-2039

MESES	HadCM3		
	SRES A1B (mm/mes)	SRES B1 (mm/mes)	SRES A2 (mm/mes)
Enero	55,3112064	56,8013472	94,8402432
Febrero	66,5996256	97,7593536	66,8821536
Marzo	46,6471872	58,2440544	37,2623328
Abril	67,130208	45,2954592	38,1210624
Mayo	46,9486368	25,7710896	50,9828256
Junio	64,6335936	33,81912	70,744752
Julio	68,5908	34,8224832	76,2633792
Agosto	76,092048	59,895936	79,3615968
Septiembre	47,885904	52,1287488	54,722304
Octubre	42,41808	20,274935	59,3352864
Noviembre	27,4860864	29,4777792	61,7131872
Diciembre	4,2396048	23,9377421	75,9821472

Anomalías de precipitación mensual del modelo HadCM3 del AR4 para el periodo 2040-2069

MESES	HadCM3		
	SRES A1B (mm/mes)	SRES B1 (mm/mes)	SRES A2 (mm/mes)
Enero	133,393651	77,7182688	130,016016
Febrero	154,184342	103,872326	139,208544
Marzo	122,135558	68,891472	121,634006
Abril	57,8591424	66,1605408	67,6947456
Mayo	66,451104	46,0834272	78,5795904
Junio	94,8780864	57,5906112	123,090192
Julio	110,864506	60,6445056	152,190576
Agosto	137,386886	79,1228736	146,69761
Septiembre	80,1391968	54,8941536	87,8581728
Octubre	67,3862976	37,7091936	82,9981728
Noviembre	98,5068864	38,1345408	115,624195
Diciembre	97,5610656	25,2805795	104,480669

Anomalías de precipitación mensual del modelo HadCM3 del AR4 para el periodo 2070-2099

ANEXO 2 ANOMALÍAS DE TEMPERATURA

MESES	HadCM3		
	SRES A1B (°C/mes)	SRES B1 (°C/mes)	SRES A2 (°C/mes)
Enero	1,34	0,86	1,45
Febrero	1,37	0,98	1,41
Marzo	1,04	0,75	0,93
Abril	0,84	0,70	0,83
Mayo	0,84	0,71	0,78
Junio	0,87	0,67	0,88
Julio	1,08	1,06	1,02
Agosto	1,26	1,07	1,28
Septiembre	1,40	1,03	1,35
Octubre	1,29	1,11	1,22
Noviembre	1,21	0,94	1,09
Diciembre	1,13	0,80	1,16

Anomalías de temperatura mensual del modelo HadCM3 del AR4 para el período 2010-2039

MESES	HadCM3		
	SRES A1B (°C/mes)	SRES B1 (°C/mes)	SRES A2 (°C/mes)
Enero	2,13	1,98	2,47
Febrero	2,15	2,07	2,37
Marzo	1,95	1,70	2,01
Abril	1,65	1,29	1,69
Mayo	1,34	1,09	1,41
Junio	1,53	1,31	1,62
Julio	2,03	1,89	2,26
Agosto	2,25	1,99	2,52
Septiembre	2,35	2,11	2,64
Octubre	2,76	2,28	2,94
Noviembre	2,56	2,16	3,01
Diciembre	2,02	1,87	2,62

Anomalías de temperatura mensual del modelo HadCM3 del AR4 para el período 2040-2069

MESES	HadCM3		
	SRES A1B (°C/mes)	SRES B1 (°C/mes)	SRES A2 (°C/mes)
Enero	3,72	2,57	4,02
Febrero	3,62	2,50	3,86
Marzo	3,01	2,09	3,21
Abril	2,57	1,81	2,75
Mayo	2,21	1,63	2,31
Junio	2,45	1,86	2,55
Julio	3,13	2,37	3,29
Agosto	3,51	2,51	3,76
Septiembre	3,61	2,47	3,97
Octubre	4,19	2,98	4,49
Noviembre	4,24	2,80	4,49
Diciembre	3,67	2,37	4,24

Anomalías de temperatura mensual del modelo HadCM3 del AR4 para el período 2070-2099

ANEXO 3 SIMULACIÓN DE PREDICIONES DE PRECIPITACIÓN

MESES	HadCM3 - A1B		
	2010-2039 (mm/mes)	2040-2069 (mm/mes)	2070-2099 (mm/mes)
Enero	188,321	193,907	271,990
Febrero	274,683	268,736	356,321
Marzo	220,739	234,932	310,420
Abril	166,414	198,621	189,349
Mayo	63,833	106,213	125,716
Junio	56,910	94,520	124,765
Julio	34,204	81,475	123,749
Agosto	35,395	82,373	143,668
Septiembre	32,215	55,452	87,705
Octubre	5,928	48,983	73,952
Noviembre	-0,093	37,984	109,004
Diciembre	52,812	41,991	135,312

Simulación de precipitación mensual del modelo HadCM3 del AR4 para el escenario A1B

MESES	HadCM3 - B1		
	2010-2039 (mm/mes)	2040-2069 (mm/mes)	2070-2099 (mm/mes)
Enero	185,515	195,398	216,315
Febrero	247,585	299,896	306,009
Marzo	188,888	246,529	257,176
Abril	126,022	176,786	197,651
Mayo	59,869	85,036	105,348
Junio	40,477	63,706	87,477
Julio	27,017	47,707	73,529
Agosto	32,826	66,177	85,404
Septiembre	18,371	59,695	62,460
Octubre	17,500	26,840	44,274
Noviembre	38,735	39,975	48,632
Diciembre	56,202	61,689	63,032

Simulación de precipitación mensual del modelo HadCM3 del AR4 para el escenario B1

MESES	HadCM3 - A2		
	2010-2039 (mm/mes)	2040-2069 (mm/mes)	2070-2099 (mm/mes)
Enero	202,078	233,436	268,612
Febrero	289,740	269,018	341,345
Marzo	227,471	225,547	309,919
Abril	146,307	169,611	199,185
Mayo	54,694	110,248	137,844
Junio	31,967	100,631	152,977
Julio	48,016	89,148	165,075
Agosto	26,312	85,643	152,979
Septiembre	22,091	62,289	95,424
Octubre	-7,129	65,901	89,563
Noviembre	-23,398	72,211	126,122
Diciembre	37,288	113,733	142,232

Simulación de precipitación mensual del modelo HadCM3 del AR4 para el escenario A2

ANEXO 4 SIMULACIÓN DE PREDICCIONES DE TEMPERATURA

MESES	HadCM3 - A1B		
	2010-2039 (°C/mes)	2040-2069 (°C/mes)	2070-2099 (°C/mes)
Enero	27,300	28,087	29,686
Febrero	27,475	28,259	29,727
Marzo	27,494	28,401	29,464
Abril	27,328	28,136	29,058
Mayo	26,799	27,296	28,169
Junio	25,985	26,638	27,567
Julio	25,716	26,671	27,766
Agosto	25,757	26,750	28,008
Septiembre	26,002	26,961	28,214
Octubre	26,098	27,561	28,994
Noviembre	26,243	27,585	29,274
Diciembre	26,742	27,626	29,282

Simulación de temperatura mensual del modelo HadCM3 del AR4 para el escenario A1B

MESES	HadCM3 - B1		
	2010-2039 (°C/mes)	2040-2069 (°C/mes)	2070-2099 (°C/mes)
Enero	26,821	27,947	28,537
Febrero	27,084	28,173	28,608
Marzo	27,207	28,160	28,545
Abril	27,187	27,780	28,298
Mayo	26,672	27,051	27,585
Junio	25,782	26,423	26,970
Julio	25,704	26,527	27,010
Agosto	25,561	26,490	27,008
Septiembre	25,634	26,722	27,079
Octubre	25,913	27,086	27,787
Noviembre	25,966	27,188	27,834
Diciembre	26,409	27,481	27,975

Simulación de temperatura mensual del modelo HadCM3 del AR4 para el escenario B1

MESES	HadCM3 - A2		
	2010-2039 (°C/mes)	2040-2069 (°C/mes)	2070-2099 (°C/mes)
Enero	27,414	28,430	29,977
Febrero	27,516	28,476	29,965
Marzo	27,382	28,462	29,671
Abril	27,317	28,178	29,238
Mayo	26,734	27,368	28,267
Junio	25,988	26,733	27,660
Julio	25,660	26,899	27,934
Agosto	25,776	27,012	28,256
Septiembre	25,960	27,250	28,572
Octubre	26,024	27,744	29,295
Noviembre	26,120	28,035	29,522
Diciembre	26,765	28,225	29,845

Simulación de temperatura mensual del modelo HadCM3 del AR4 para el escenario A2