



**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 GISS AOM 4x3 PARA LA
CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PORTOVIEJO**

AUTOR:

BRAVO BERMEO BERNARDO GREGORIO

TUTORA:

QF. ANA MARÍA AVEIGA ORTÍZ, Mg. C.A

CALCETA, OCTUBRE 2017

DERECHOS DE AUTORÍA

Bernardo Gregorio Bravo Bermeo, declara bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he 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.

.....
BERNARDO G. BRAVO BERMEO

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Ana María Aveiga Ortíz certifica haber tutelado la tesis **PREDICCIONES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DEL MODELO CLIMÁTICO GLOBAL GISS AOM 4x3 PARA LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PORTOVIEJO**, que ha sido desarrollada por Bernardo Gregorio Bravo Bermeo, 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.

.....
QF. ANA M. AVEIGA ORTÍZ, Mg.C.A

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han **APROBADO** la tesis **PREDICCIONES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DEL MODELO CLIMÁTICO GLOBAL GISS AOM 4x3 PARA LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PORTOVIEJO**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Bernardo Gregorio Bravo Bermeo, 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.

.....
BLGA. MARÍA F. PINCAY SALTOS, Mg.

MIEMBRO

.....
ING. HOLANDA T. VIVAS CANTOS, Mg.

MIEMBRO

.....
ING. JOFFRE A. ANDRADE CANDELL, Mg.

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

Para cumplir con esta etapa de mi vida he tenido que pasar por muchas circunstancias y obstáculos y por esto, me permito agradecer a mis padres, que con sus consejos y apoyo principalmente moral me ayudaron a enfocarme en esta meta. A mis hermanas que estuvieron a mi lado reanimándome para no desmayar en mi sueño. A mi compañera sentimental que ha estado presente desde el inicio de esta etapa.

Como no agradecer a mi cotutora Ing. Yeriel Zambrano y a mi tutora Q.F. Ana María Aveiga que con sus conocimientos contribuyeron para que esta investigación llegue a concretarse. A todos los docentes que compartieron sus conocimientos para formarme como profesional.

Y por último agradezco a mis buenos vecinos, amigos; no son nada más y nada menos que un solo conjunto: seres queridos que suponen benefactores de importancia inimaginable en mis circunstancias de humano. No podría sentirme más ameno con la confianza puesta sobre mi persona.

.....
BERNARDO G. BRAVO BERMEO

DEDICATORIA

Esta titulación se la dedico principalmente a mi madre por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y por haber fomentado en mí el deseo de destacar y el anhelo de triunfo en la vida.

A mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, y gracias a esto hoy puedo ver alcanzada mi meta, admiro su fortaleza y todo lo que han hecho de mí.

A mis hermanas que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí es lo que me hizo ir hasta el final.

A mi futura generación para que les sirva de ejemplo que con sacrificio, esfuerzo y esmero se puede lograr lo propuesto.

A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo sincero e incondicional.

.....
BERNARDO G. BRAVO BERMEO

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
CONTENIDO GENERAL.....	vii
CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS.....	viii
RESUMEN	xii
PALABRAS CLAVE.....	xii
ABSTRACT	xiii
KEY WORDS	xiii
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	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Cambio climático global	5
2.1.1. Efectos del cambio climático global	5
2.2. Escenarios de emisiones sres	8
2.3. Modelos de circulación general	10
2.4. Modelo climático global giss aom 4x3.....	12
2.5. Impacto del cambio climático en América Latina	13
2.6. Cambio climático: contexto Ecuador.....	14
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	17
3.1. Ubicación	17
3.2. Duración del trabajo.....	18
3.3. Variables de estudio	18
3.3.1. Variable independiente	18
3.3.2. Variables dependiente	18
3.4. Métodos y técnicas	18
3.4.1. Métodos	18
3.4.2. Técnicas	19
3.5. Procedimientos	19
3.5.1. ETAPA I. Análisis de la información del modelo climático global GISS AOM 4x3 del cuarto informe del IPCC	19
3.5.2. ETAPA II. Simulación de predicciones en las variables climatológicas de la cuenca del río Portoviejo	19

3.5.3. ETAPA III. Identificación de los cambios futuros en la cuenca del río Portoviejo a corto, mediano y largo plazo	20
3.5.4. ETAPA IV. Contraste de los resultados del modelo climático GISS AOM 4X3 con los obtenidos del modelo global HaDCM3	20
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1. ETAPA I. Análisis de la información del modelo climático global GISS AOM 4X3 del cuarto informe del IPCC	21
4.1.1. Anomalías de escenarios.....	21
4.1.1.1. Anomalías de precipitación del GISS AOM 4x3.....	21
4.1.1.2. anomalías de temperatura deL GISS AOM 4x3.....	24
4.2. ETAPA II. Simulación de predicciones en las variables climatológicas de la cuenca del río Portoviejo	26
4.2.1. Simulación de predicciones de precipitación	27
4.2.2. Simulación de predicciones de temperatura	28
4.3. ETAPA III. Identificación de los cambios futuros en la cuenca del río Portoviejo a corto, mediano y largo plazo	29
4.3.1. Cambios futuros en la precipitación	29
4.3.2. Cambios futuros en la temperatura.....	30
4.3.3. Comparación de la precipitación entre el período 2010-2039 y el período real observado (2011-2015)	32
4.3.4. Comparación de la temperatura entre el período 2010-2039 y el período real observado (2011-2015)	33
4.4. ETAPA IV. Contraste de los resultados del modelo climático GISS AOM 4x3 con los obtenidos del modelo global HadCM3.....	34
4.4.1. Contraste de los resultados de la precipitación	35
4.4.2. Contraste de los resultados de la temperatura	39
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1. Conclusiones	43
5.2. Recomendaciones	43
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS.....	49

CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS

CUADROS

Cuadro 4.1. Grado de correlación entre los resultados obtenidos con los modelos climatológicos para la variable de precipitación	388
Cuadro 4.2. Grado de correlación entre los resultados obtenidos con los modelos climatológicos para la variable de temperatura	42

FIGURAS

Figura 2.1. Anomalías de la temperatura global media durante 1850 – 2014.....	6
Figura 2.2. Percentiles de temperatura en la superficie terrestre y oceánica, durante el año 2014.....	6
Figura 2.3. Observaciones del nivel del mar desde 1993 hasta la actualidad.....	8
Figura 2.4. Cambios en los extremos basados en simulaciones múltiples de nueve modelos climáticos globales acoplados.....	8
Figura 2.5. Ilustración esquemática de los escenarios SRES.....	9
Figura 2.6. Proyecciones de temperatura para cada uno de los seis escenarios de emisión SRES.....	9
Figura 2.7. Representación de los modelos climáticos globales a través de cuadrícula tridimensional de celdas.....	10
Figura 2.8. Creciente complejidad y diversidad de elementos incorporados en los modelos comunes utilizados en el proceso del IPCC durante décadas.....	9
Figura 2.9. Impacto del PIB en el escenario de alto precio de CO ₂ en América Latina.....	14
Figura 2.10. Exposición, sensibilidad y capacidad para adaptarse al cambio climático en diferentes cantones en el país más densamente poblado de Sudamérica (Ecuador).....	16
Figura 3.1. Cuenca del río Portoviejo.....	17

GRÁFICOS

Gráfico 4.1. Anomalías de precipitación del modelo GISS AOM 4x3 en período 2010-2039.....	21
Gráfico 4.2. Anomalías de precipitación del modelo GISS AOM 4x3 en el período 2040-2069...	22
Gráfico 4.3. Anomalías de precipitación del modelo GISS AOM 4x3 en el período 2070-2099...	23
Gráfico 4.4. Anomalías de temperatura del modelo GISS AOM4X3 en el período 2010-2039....	24
Gráfico 4.5. Anomalías de temperatura del modelo GISS AOM 4X3 en el período 2040-2069...	25
Gráfico 4.6. Anomalías de temperatura del modelo GISS AOM 4X3 en el período 2070-2099...	26
Gráfico 4.7. Simulación de predicción de precipitación del modelo GISS AOM4X3 (A1B)	27
Gráfico 4.8. Simulación de predicción de precipitación del modelo GISS AOM4X3 (B1).....	27
Gráfico 4.9. Simulación de predicción de temperatura del modelo GISS AOM4X3 (A1B).....	28
Gráfico 4.10. Simulación de predicción de temperatura del modelo GISS AOM4X3 (B1)	28
Gráfico 4.11. Cambios en la precipitación para el escenario A1B a corto (2010-2039), mediano (2040-2069), y largo (2070-2099) plazo.....	29
Gráfico 4.12. Cambios en la precipitación para el escenario B1 a corto (2010-2039), mediano (2040-2069), y largo (2070-2099) plazo.....	30
Gráfico 4.13. Cambios en la temperatura para el escenario A1B a corto (2010-2039), mediano (2040-2069), y largo (2070-2099) plazo.....	31
Gráfico 4.14. Cambios en la temperatura para el escenario B1 a corto (2010-2039), mediano (2040-2069), y largo (2070-2099) plazo.....	31
Gráfico 4.15. Predicción de la precipitación para el período 2010-2039 escenario A1B vs. Período real observado (2011-2015).....	32

Gráfico 4.16. Predicción de la precipitación para el período 2010-2039 escenario B1 vs. Período real observado (2011-2015).....	33
Gráfico 4.17. Predicción de la temperatura para el período 2010-2039 escenario A1B vs. Período real observado (2011-2015).....	33
Gráfico 4.18. Predicción de la temperatura para el período 2010-2039 escenario B1 vs. Período real observado (2011-2015).....	34
Gráfico 4.19. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2010-2039 en el escenario A1B.....	35
Gráfico 4.20. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2010-2039 en el escenario B1	36
Gráfico 4.21. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2040-2069 en el escenario A1B.....	36
Gráfico 4.22. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2040-2069 en el escenario B1	37
Gráfico 4.23. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2070-2099 en el escenario A1B.....	37
Gráfico 4.24. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2070-2099 en el escenario B1	38
Gráfico 4.25. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2010-2039 en el escenario A1B.....	39
Gráfico 4.26. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2010-2039 en el escenario B1	39
Gráfico 4.27. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2040-2069 en el escenario A1B.....	40
Gráfico 4.28. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2040-2069 en el escenario B1	40
Gráfico 4.29. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2070-2099 en el escenario A1B.....	41
Gráfico 4.30. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2070-2099 en el escenario B1	41

ANEXOS

Anexo 1. Anomalías de precipitación mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2010-2039.....	50
Anexo 2. Anomalías de precipitación mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2040-2069.....	50
Anexo 3. Anomalías de precipitación mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2070-2099.....	51
Anexo 4. Anomalías de temperatura mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2010-2039.....	51

Anexo 5. Anomalías de temperatura mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2040-2069.....	52
Anexo 6. Anomalías de temperatura mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2070-2099.....	52
Anexo 7. Simulación de precipitación mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2010-2039.....	54
Anexo 8. Simulación de precipitación mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2040-2069.....	54
Anexo 9. Simulación de precipitación mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2070-2099.....	54
Anexo 10. Simulación de temperatura mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2010-2039.....	54
Anexo 11. Simulación de temperatura mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2040-2069.....	55
Anexo 12. Simulación de temperatura mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2070-2099.....	55
Anexo 13. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HAD CM3 para el periodo 2010-2039.....	56
Anexo 14. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HAD CM3 para el periodo 2040-2069.....	56
Anexo 15. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HAD CM3 para el periodo 2070-2099.....	57
Anexo 16. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HAD CM3 para el periodo 2010-2039.....	57
Anexo 17. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HAD CM3 para el periodo 2040-2069.....	58
Anexo 18. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HAD CM3 para el periodo 2060-2099.....	58
Anexo 19. Datos obtenidos de las precipitaciones y temperaturas registradas en el periodo 2011-2015.....	58

RESUMEN

La investigación consistió en establecer predicciones sobre precipitación y temperatura a través del modelo climático global GISS AOM 4x3 para la cuenca hidrográfica del río Portoviejo. Ésta abordó cuatro etapas: **1)** Análisis de información del modelo GISS AOM 4x3; donde se obtuvieron las anomalías mensuales de las variables climatológicas estudiadas en función a escenarios de emisiones A1B y B1. **2)** Simulación sobre predicciones de las variables climatológicas; éstas fueron establecidas a corto, mediano y largo plazo (2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099 respectivamente) considerando los datos establecidos en el registro del período observado real 1964-2012. **3)** Identificación de los cambios futuros en la cuenca a corto, mediano y largo plazo. **4)** Contraste de los resultados con los modelos climáticos GISS AOM 4x3 y HadCM3; se realizó una comparación de los resultados con ambos modelos para constatar la relación y confiabilidad de los datos. Se obtuvo como resultado seis predicciones de precipitación y seis de temperatura (tres por cada escenario de emisión), lo que permitió identificar cambios futuros para la cuenca a corto, mediano y largo plazo. Se comprobó que durante el período 2010-2039 se registra el nivel más bajo de precipitación (7,185 mm) en los escenarios A1B, mientras que la temperatura en los escenarios A1B y B1 en los tres períodos pronosticados está relacionada por un incremento gradual; obteniendo el mayor incremento para el período 2070-2099 de hasta 2 °C. Se comprobó que no existe variación significativa en los resultados obtenidos con los dos modelos climatológicos, sobre todo en la variable precipitación.

PALABRAS CLAVE

Modelo climático global, GISS AOM 4x3, HadCM3, precipitación, temperatura, IPCC, cuenca.

ABSTRACT

The research consisted in establishing precipitation and temperature predictions through the GISS AOM 4x3 global climate model for the Portoviejo river basin. It addressed four stages: 1) Information analysis of the GISS AOM 4x3 model; where the monthly anomalies of the climatological variables studied were obtained according to the A1B and B1 emission scenarios. 2) Simulation on predictions of climatological variables; these were established in the short, medium and long term (2010-2039, 2040-2069 and 2070-2099 respectively) considering the data established in the register of the actual observed period 1964-2012. 3) Identification of future changes in the basin in the short, medium and long term. 4) Contrast of the results with the weather models GISS AOM 4x3 and HadCM3; a comparison of the results with both models was made to verify the relationship and reliability of the data. Six precipitation predictions and six temperature predictions were obtained (three for each emission scenario), which allowed to identify future changes for the basin in the short, medium and long term. During the period 2010-2039, the lowest level of precipitation (7,185 mm) was recorded in the A1B scenarios, while the temperature in the A1B and B1 scenarios in the three forecast periods is related by a gradual increase; obtaining the greatest increase for the period 2070-2099 up to 2 °C. It was verified that there is no significant variation in the results obtained with the two climatological models, especially in the variable precipitation.

KEY WORDS

Global climate model, GISS AOM 4x3, HadCM3, precipitation, IPCC, temperature, basin.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Desde sus orígenes, el planeta ha permanecido en constante cambio, siendo esto evidenciado por las denominadas eras geológicas, transformando al planeta y dando evolución a las especies desde que apareció vida en la Tierra. Uno de estos cambios han sido las alteraciones climatológicas que según el IPCC (2001) se ha incrementado en los últimos años, principalmente, por la actividad humana. Ésta seguirá siendo la causante en los siglos venideros, por el consumo excesivo de combustibles fósiles, en particular el petróleo y el carbón que son los principales contaminantes (Becerra y Mance, 2009).

El CO₂ es el gas que más afectación tiene sobre el planeta, siendo el que más ha contribuido en el calentamiento global (IPCC, 2007). En su informe del 2007 el IPCC estima un incremento en la temperatura entre 1,1 °C y 6,4 °C para el período 2089-2099, según el informe emitido una persona que naciera en el año 2010, viviría en un mundo con tal aumento de temperatura antes de cumplir los 45 años de edad (Son *et al.*, 2008)

Además el cambio climático es un problema con características exclusivas donde 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.*, 2009).

Se espera que el cambio climático afecte los patrones de precipitación, evapotranspiración y temperatura (Grillakis *et al.*, 2011) y, consecuentemente, la disponibilidad del recurso hídrico para la satisfacción de las demandas (Black *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 principal actividad económica en la cuenca del río Portoviejo es la agrícola, dicha cuenca demanda un mayor consumo de agua en la estación seca y se ve afectada en la estación lluviosa a causa de las inundaciones. Además posee 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 hidrográfica del río Portoviejo?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Se comenzó hablar de cambio climático cuando se observó que la variable temperatura tendía a aumentar tanto en la atmósfera como en el mar; así como cambios en las precipitaciones con una tendencia a reducción. Las temperaturas altas han provocado olas de calor, desplazamiento de la flora y la fauna en las zonas consideradas frías, y efectos sobre los recursos hídricos afectando la cobertura vegetal (IDEAM, 2010).

De acuerdo a Ribalaygua (2009), conocer con certeza en la actualidad cuáles son las emisiones de gases de efecto invernadero, es todo un reto. Es una labor donde los países están abordando con metodologías diseñadas para hacer un estimado de dichas emisiones. El IPCC ha creado algunos escenarios de emisiones globales donde se pretende tener en cuenta la más probable circunstancia de lo que podría ocurrir en el futuro, basándose en la disminución de los combustibles fósiles.

La mitigación del cambio climático puede tener una afectación política y socioeconómica siendo éste de carácter general, algunas acciones de mitigación pueden producir grandes cambios benéficos en esferas ajenas al cambio

climático como son problemas de salud, reducir efectos negativos sobre el medio ambiente como son las contaminaciones atmosféricas (IPCC, 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).

Los recursos hídricos están expuestos a sufrir cambios significativos debido a la inestabilidad en los ciclos de lluvias y a los cambios transitorios (Grillakis *et al.*, 2011). 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).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Establecer predicciones sobre cambios futuros en la precipitación y temperatura según el modelo climático GISS AOM 4x3 en la cuenca hidrográfica del río Portoviejo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la información del modelo climático global GISS AOM 4x3 del cuarto informe del IPCC.
- Simular las predicciones de las variables climatológicas de la cuenca del río Portoviejo.
- Identificar los cambios futuros en la cuenca del río Portoviejo a corto, mediano y largo plazo.
- Contrastar los resultados del modelo climático GISS AOM 4x3 con los obtenidos del modelo global HadCM3.

1.4. HIPÓTESIS

El modelo climático global GISS AOM 4x3 prevé un aumento en los niveles de precipitación y temperatura en la cuenca del río Portoviejo como consecuencia del cambio climático.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

El cambio climático global se refiere a las variaciones que se han presentado en el clima; especialmente el aumento de la temperatura, alteraciones en las precipitaciones, aumento del nivel del mar y los crecientes fenómenos climáticos que producen una mayor variabilidad climática. Esos cambios ocurren por la variabilidad interna del sistema climático y factores antropogénicos (Pachauri, 2007).

El Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007) disipó muchas incertidumbres sobre el cambio climático. Ahora está claro que el calentamiento global se debe principalmente a las emisiones de gases de efecto invernadero causadas por el hombre (principalmente CO₂). Durante el último siglo, las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono aumentaron de un valor preindustrial de 278 partes por millón a 379 partes por millón en 2005, y el promedio mundial de la temperatura subió 0,74 ° C. Según los científicos, esta es la tendencia de calentamiento más grande y más rápido que han podido discernir en la historia de la Tierra.

2.1.1. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

Dada la necesidad de avanzar hacia sociedades más sostenibles, los principales actores políticos, económicos y sociales buscan soluciones innovadoras para afrontar los desafíos asociados al cambio climático global. El calentamiento global es considerado muy crítico, y existe una necesidad emergente de respuestas internacionales (Pinkse y Kolk, 2012). Un número cada vez mayor de países, regiones, industrias, ecosistemas y grupos sociales se enfrentan simultáneamente a los impactos del cambio climático en la economía y en la sociedad en su conjunto (O'Brien y Leichenko, 2000).

En los últimos 25 años se ha producido un aumento del calentamiento global, y 11 de los 12 años más calurosos registrados han ocurrido en los últimos 12 años.

De acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial, los datos que se han obtenido de temperatura de la superficie terrestre y oceánica, combinados y promediados globalmente, siendo calculados a partir de una tendencia lineal, muestran un calentamiento de 0,85 °C 0,65 °C a 1,06 °C, durante el período 1880-2012, donde se produjo de forma independiente varios conjuntos de datos (ver figura 2.1) (OMM, 2015).

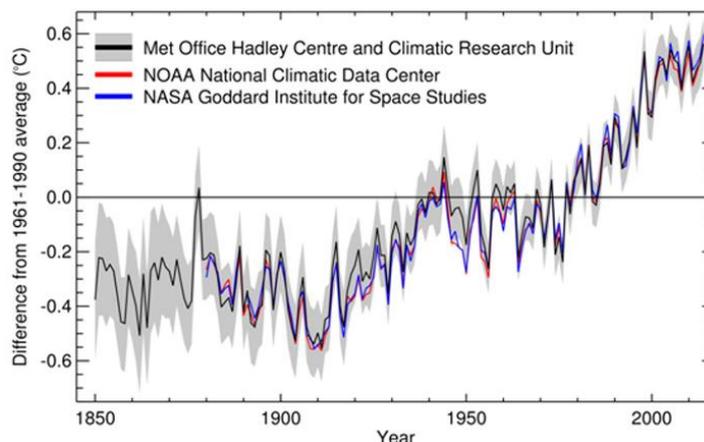


Figura 2.1. Anomalías de la temperatura global media durante 1850 – 2014.
Fuente: Organización Meteorológica Mundial, 2015

De acuerdo al reporte anual de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, 2015) durante el año 2014, la mayoría de las áreas del mundo experimentaron temperaturas anuales por encima de la media, como lo indica el mapa de los percentiles en la figura 2.2. Se observó un calentamiento récord en varias regiones del mundo, incluyendo el Extremo Oriente de Rusia en el oeste de Alaska, el oeste de los Estados Unidos, partes del interior de América del Sur, la mayor parte de Europa, se extiende en el norte de África y partes de Australia oriental y occidental.

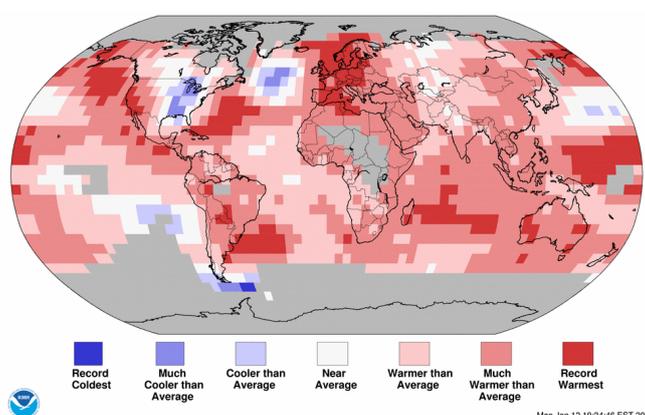
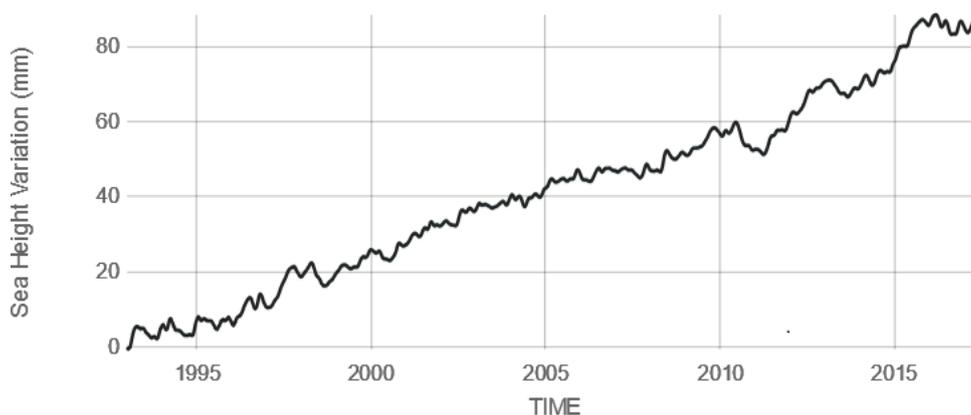


Figura 2.2. Percentiles de temperatura en la superficie terrestre y oceánica, durante el año 2014
Fuente: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, 2015

Los fenómenos meteorológicos extremos se han multiplicado desde 2000, incluidas las sequías en 2000 y 2007; y las inundaciones en 2005 (que causaron 76 muertes) y en 2010. La sequía de 2007 fue la más severa de los últimos 60 años. De acuerdo a Nachmany *et al.* (2015) las áreas afectadas por la sequía extrema se han desarrollado en los últimos decenios y los sectores como la agricultura, la biodiversidad, los bosques, la construcción, la energía y el transporte se verían intensamente afectados. El informe del IPCC ofrece proyecciones detalladas para el siglo XXI, que muestran que el calentamiento global continuará y se acelerará. Las mejores estimaciones indican que la Tierra podría calentarse en 3 ° C para 2100. Para esto, la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA, 2017) ha encontrado a través de observaciones satelitales que el nivel del mar ha incrementado drásticamente en los últimos años producto del calentamiento global (figura 2.3).



Source: climate.nasa.gov

Figura 2.3. Observaciones del nivel del mar desde 1993 hasta la actualidad
Fuente: NASA Goddard Space Flight Center, 2017

En estudios realizados sobre predicciones de precipitación por Tebaldi *et al.* (2006) se encontró que esta variable climática también ha sido afectada por el cambio climático (figura 2.4). Se comprobó el promedio global de los cambios en la intensidad de precipitación para un escenario bajo (SRES B1), medio (SRES A1B) y alto (SRES A2). Las líneas sólidas en (a) y (c) son los medios de conjunto de modelos múltiples suavizados a 10 años; el sobre indica la desviación estándar media del conjunto. El punteo en (b) y (d) denota áreas en las que al menos cinco de los nueve modelos coinciden en determinar que el cambio es estadísticamente significativo.

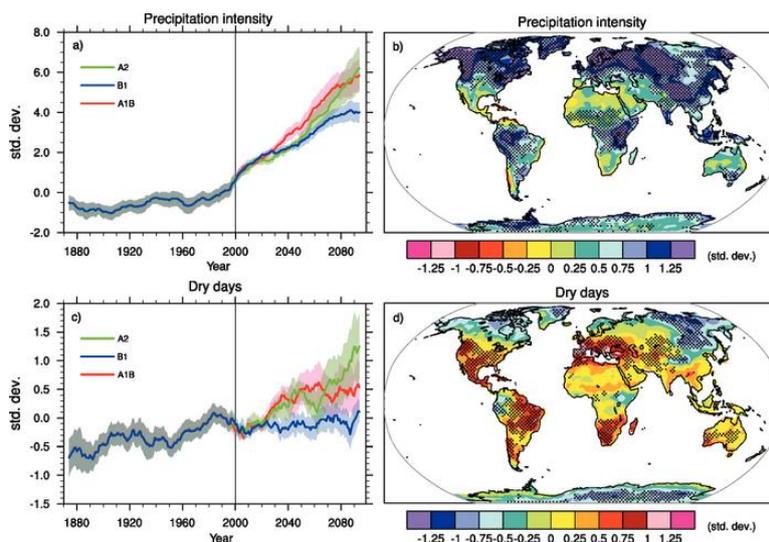


Figura 2.4. Cambios extremos basados en simulaciones múltiples de nueve modelos climáticos globales acoplados.
Fuente: Tebaldi *et al.*, 2006

La serie temporal de cada modelo se centró en su promedio de 1980 a 1999 y se normalizó (reescalado) por su desviación estándar calculada (después de la tendencia) durante el período de 1960 a 2099. Los modelos fueron agregados en un promedio de conjuntos, a escala global.

2.2. ESCENARIOS DE EMISIONES SRES

El IPCC en el año 2000 publicó un conjunto de escenarios para su uso en el Tercer Informe de Evaluación (Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones - SRES). Los escenarios del SRES fueron construidos para explorar desarrollos futuros en el ambiente global con referencia especial a la producción de gases de efecto invernadero y emisiones de precursores de aerosoles.

En términos sencillos, cuatro argumentos combinan dos conjuntos de tendencias divergentes: una que varía entre valores económicos fuertes y valores ambientales fuertes, y la otra entre globalización creciente y regionalización creciente (Nakicenovic *et al.*, 2000) (figura 2.5). A continuación, se detallan cada uno de los grupos de escenarios de emisión SRES del IPCC:

A1: Describe un mundo futuro de crecimiento económico acelerado, la población mundial que alcanza su punto máximo a mediados de siglo y disminuye a partir de entonces, y la rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes.

A2: Describe un mundo muy heterogéneo con una creciente población global y un crecimiento económico orientado regionalmente que es más fragmentado y más lento que en otros argumentos.

B1: Describe un mundo convergente con la misma población mundial que en la historia de A1, pero con rápidos cambios en las estructuras económicas hacia una economía de servicios e información, con reducciones en la intensidad de los materiales y la introducción de tecnologías limpias y eficientes.

B2: Describe una realidad en el que se hace hincapié en las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental, con un crecimiento continuo de la población (inferior a A2) y el desarrollo económico intermedio.

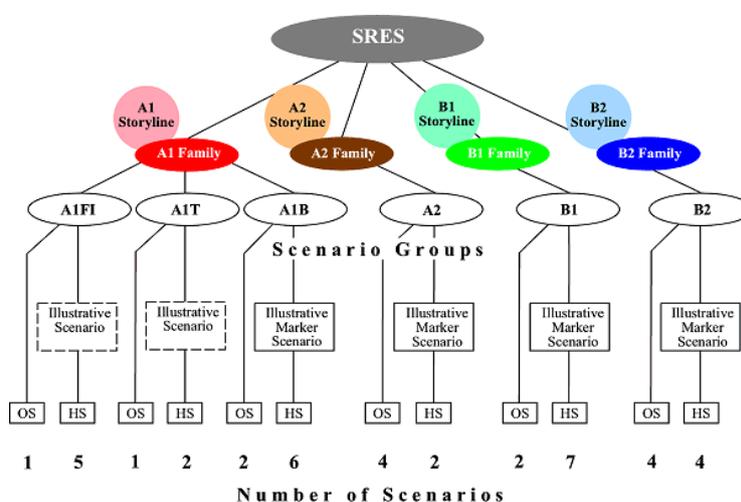


Figura 2.5. Ilustración esquemática de los escenarios SRES

Fuente: IPCC, 2017

En la figura 2.6 se presenta un ejemplo de los escenarios de emisión SRES sobre las Proyecciones Climáticas Globales de la temperatura promediados para los 19 modelos AOGCM y 3 retroalimentaciones del ciclo del carbono y las desviaciones estándar.

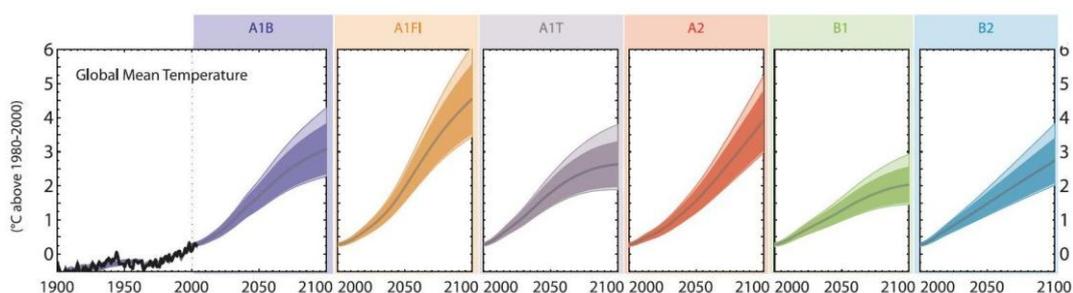


Figura 2.6. Proyecciones de temperatura para cada uno de los seis escenarios de emisión SRES

Fuente: IPCC, 2009

2.3. MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL

Los modelos climáticos utilizan métodos numéricos para simular las interacciones de la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre y el hielo. Se basan en procesos físicos bien documentados para simular la transferencia de energía y materiales a través del sistema climático. La NOAA (2017), considera a los modelos climáticos como la representación de ecuaciones matemáticas para caracterizar cómo interactúan la energía y la materia en diferentes partes del océano, la atmósfera y la Tierra. Estos modelos de Circulación General o Modelos Climáticos Globales (GCMs) en el campo científico son considerados altamente importantes ante la evaluación sobre cambio climático (Fowler *et al.*, 2007).

2.3.1. RESOLUCIÓN DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS

Los modelos climáticos separan la superficie de la Tierra en una cuadrícula tridimensional de celdas (Dibike y Coulibaly, 2005). Los resultados de los procesos modelados en cada célula se pasan a las células vecinas para modelar el intercambio de materia y energía en el tiempo. El tamaño de celda de cuadrícula define la resolución del modelo: cuanto más pequeño es el tamaño de las celdas, mayor es el nivel de detalle en el modelo (figura 2.7).

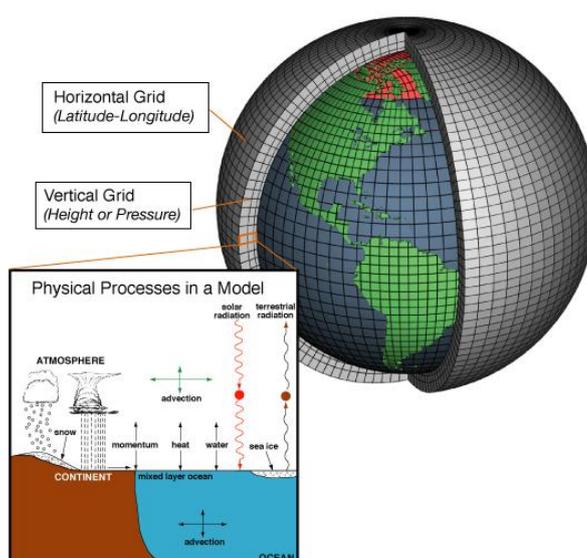


Figura 2.7. Representación de los modelos climáticos globales a través de una cuadrícula tridimensional del planeta
Fuente: NOAA, 2017

En la cuadrícula tridimensional se aplican las ecuaciones básicas y evalúan los resultados. Los modelos atmosféricos calculan los vientos, la transferencia de calor, la radiación, la humedad relativa y la hidrología de superficie dentro de cada cuadrícula y evalúan las interacciones con los puntos vecinos.

La figura 2.7 muestra un concepto de cada una de las miles de celdas tridimensionales de la rejilla que pueden ser representadas por ecuaciones matemáticas que describen los materiales en ella y la forma en que la energía se mueve a través de ella. Las ecuaciones avanzadas se basan en las leyes fundamentales de la física, el movimiento de fluidos y la química (Moradkhani *et al.*, 2010). Para "ejecutar" un modelo, los científicos establecen las condiciones iniciales y recomiendan el uso de computadoras con gran potencia o capacidad para el procesamiento de los datos para resolver las ecuaciones en cada célula. Los resultados de cada celda de la cuadrícula se pasan a celdas vecinas, y las ecuaciones se resuelven de nuevo.

De acuerdo a Matter (2012) en la actualidad, al igual que en el pasado, se están realizando avances importantes en la ciencia del clima con modelos de este tipo, incluidos modelos más completos que son posiblemente más realistas y simples, cuyo comportamiento puede comprenderse más fácilmente. La figura 2.8 destaca aspectos de la evolución de los modelos climáticos en las últimas décadas.

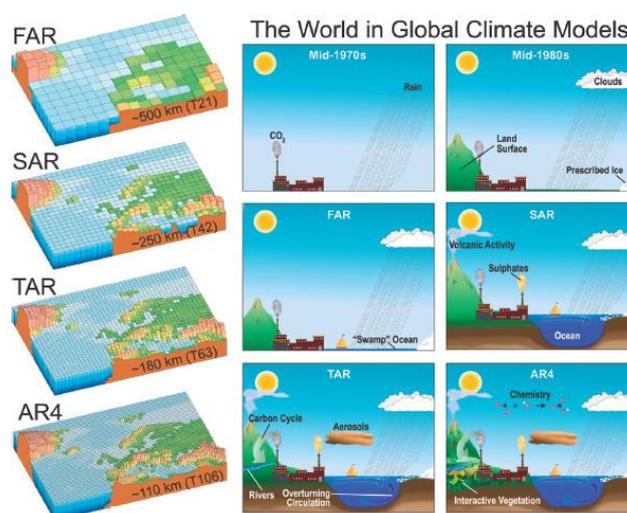


Figura 2.8. Creciente complejidad y diversidad de elementos incorporados en los modelos comunes utilizados en el proceso del IPCC durante décadas

Fuente: Matter, 2012

A partir de las décadas de 1990 y 2000, se incluyeron tratamientos más completos de hielo marino y procesos de superficie terrestre, junto con submodelos de vegetación terrestre, ecosistemas y ciclos biogeoquímicos como el ciclo del carbono. Estos nuevos modelos a menudo se conocen como modelos del sistema terrestre (ESM), porque pueden rastrear la propagación y la retroalimentación de las perturbaciones a través de los diferentes componentes del sistema de la Tierra.

2.4. MODELO CLIMÁTICO GLOBAL GISS AOM 4x3

Los escenarios de emisión imponen condiciones para los modelos de clima a fin de calcular la proyección futura. De acuerdo al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2010) los Modelos Climáticos Globales (GCMs) describen importantes elementos y procesos en la atmósfera, los océanos y la superficie de la tierra. Son algoritmos que simulan los procesos terrestres a escala mundial, basado de una serie de fuerzas motrices (población, economía, tecnología, energía, uso del suelo, agricultura). Cada variable de salida de un Modelo de Circulación Global se ejecuta en un determinado escenario de emisiones, en una resolución espacial de tres a cinco grados.

La mayoría de los GCMs simulan amplias características de clima y pueden mostrar los cambios de gran escala observados en el pasado reciente, de manera que puede ser usado con alguna confianza para dar proyecciones de la respuesta de clima a la actual y futura actividad humana. Los componentes principales de los modelos globales son: atmósfera, océano, suelo e hielo de mar, los cuales han sido gradualmente integrados y acoplados. Escenarios climáticos basados en la salida de los modelos son la mayor fuente de información para las investigaciones climáticas hoy en día. Los GCMs son la mejor herramienta científica disponible actualmente para simular la respuesta del sistema climático global a un cambio en la composición de la atmósfera. No obstante, difieren en cuanto a: Formulación (ecuaciones), resolución, entradas, precisión (validación) y disponibilidad (Tabor y Williams, 2010).

2.5. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA

El cambio climático, en América Latina, es una gran preocupación para muchos gobiernos. El calentamiento global y el aumento de las temperaturas amenazan los cultivos y la biodiversidad en general. Uno de los modelos a seguir para los países latinoamericanos es Costa Rica cuyo objetivo es operar con fuentes de energía 100 % renovables para el año 2021. También pretende convertirse en un país neutral en CO₂ para 2085. Las emisiones de CO₂ en Costa Rica en el año 2012 fueron de 7 millones de toneladas métricas, una pequeña fracción en comparación con los 9,300 millones registrados en el mismo año en China.

Diversas poblaciones de América Latina viven las consecuencias del cambio climático, ya que el incremento del nivel del mar ha afectado los asentamientos humanos que residen en las costas de los océanos Pacífico y Atlántico, siendo los mayores afectados los habitantes de las islas. Asimismo, se evidencia la alteración que sufren a lo largo de su ciclo de vida, la flora y la fauna (Herrán, 2012). El PIB también se ha visto impactado a causa de los costos por CO₂ emitido en América Latina (Kober *et al.*, 2016). La figura 2.9 muestra la descomposición del impacto del PIB para cinco modelos en 2050 en el escenario del precio Alto de CO₂.

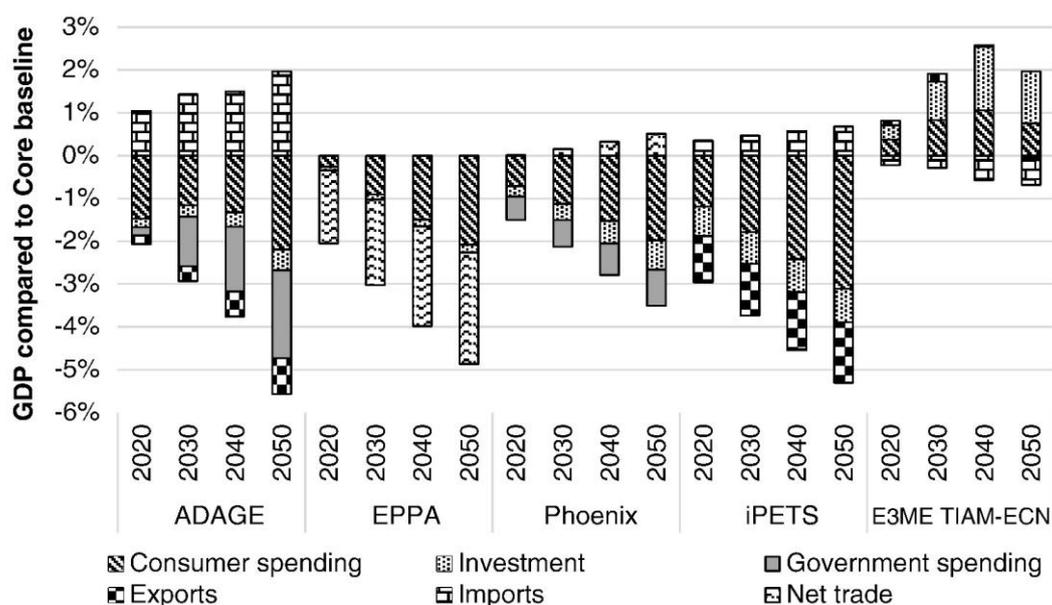


Figura 2.9. Impacto del PIB en el escenario de alto precio de CO₂ en América Latina

Fuente: Kober *et al.*, 2016

En términos netos, el PBI aumenta ligeramente porque el cambio en la estructura de la economía, de las cadenas de suministro de combustibles fósiles a las cadenas de suministro de capital, conduce a efectos multiplicadores dinámicos más fuertes que compensan la reducción en el PIB que proviene de la reducción del ingreso real (y por lo tanto, el gasto real del consumidor) a partir de precios más altos (van Ruijven *et al.*, 2016).

2.6. CAMBIO CLIMÁTICO: CONTEXTO ECUADOR

Los efectos del cambio climático en Ecuador, generalmente están asociados a las precipitaciones, de acuerdo a las respuestas de sus habitantes. Esta variable es una de las que mayor preocupación ocasiona en el país ya que tiene muchos ríos por kilómetro cuadrado en comparación con otros países del mundo y aun así la cantidad de agua no les satisface para el desarrollo de actividades económicas. El modelo de desarrollo agroindustrial ha degradado los ecosistemas en el país, sin embargo la frontera agrícola ha ido forzando el uso del suelo y a la vez degradándolo (MAE, 2001). Gran parte de las familias ecuatorianas dependen económicamente de la producción agrícola. Alrededor del 82 % de los recursos hídricos renovables del país se destinan a la esta actividad.

En las últimas décadas ha aumentado la temperatura (INAMHI, 2016) y el contraste diario entre la lluvia y el sol han aumentado. También se ha visto un aumento dramático de quejas en las cosechas que fallan como resultado de los días inusualmente cálidos del invierno, o los campos dañinos de la helada en épocas inusuales del año.

Las afirmaciones sobre el calentamiento global no carecen de fundamento. En relación a esto, Nye (2016) encontró que la ciudad ecuatoriana de Cuenca, tiene dos factores principales que lo combaten cuando se trata de adaptarse al cambio climático: Si bien la mayor parte del mundo todavía no ha sentido más que un pequeño cambio de temperatura, la física atmosférica indica que la región andina se calienta alrededor de dos veces más rápido que el promedio mundial. Esto

significa que Cuenca ha visto un aumento de 1,74 °C en su temperatura media desde la revolución industrial. Este cambio significativo en la temperatura se agrava por la ubicación de Cuenca en el Ecuador y en los trópicos donde históricamente ha habido poca fluctuación de temperatura.

Uno de los mayores desafíos que afronta el Ecuador sobre los impactos en el cambio climático, radica en la urgente necesidad de generar las capacidades a nivel de identidades públicas nacionales y subnacionales para incorporar esta variable en la planificación del desarrollo vinculado al territorio y en la asignación presupuestaria anual. En esto se han identificado la necesidad de fortalecer metodologías multisectoriales para los cálculos de flujo de inversión que incluyan los costos de adaptación en escenarios proyectados de variabilidad climática (Delgado, 2008).

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; 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).

Usando un modelo climático de alta resolución, Fernandez *et al.* (2015) predijo la exposición al cambio climático en todo el país. Luego, al comparar los factores socioeconómicos y físicos, como la densidad de población, la calidad de la infraestructura y los ingresos comerciales promedio, los autores determinaron qué tan sensibles eran las diferentes regiones al cambio climático y qué tan bien se adaptarían a él. La combinación de estos indicadores dio el nivel de vulnerabilidad para cada cantón. El grupo descubrió que los cantones más

vulnerables al cambio climático eran aquellos que dependían en gran medida de las industrias de la caza, la agricultura y la pesca. La infraestructura desarrollada de los cantones más grandes, incluida la capital Quito, demostró ser altamente adaptable, lo que hace que las ciudades sean menos vulnerables.

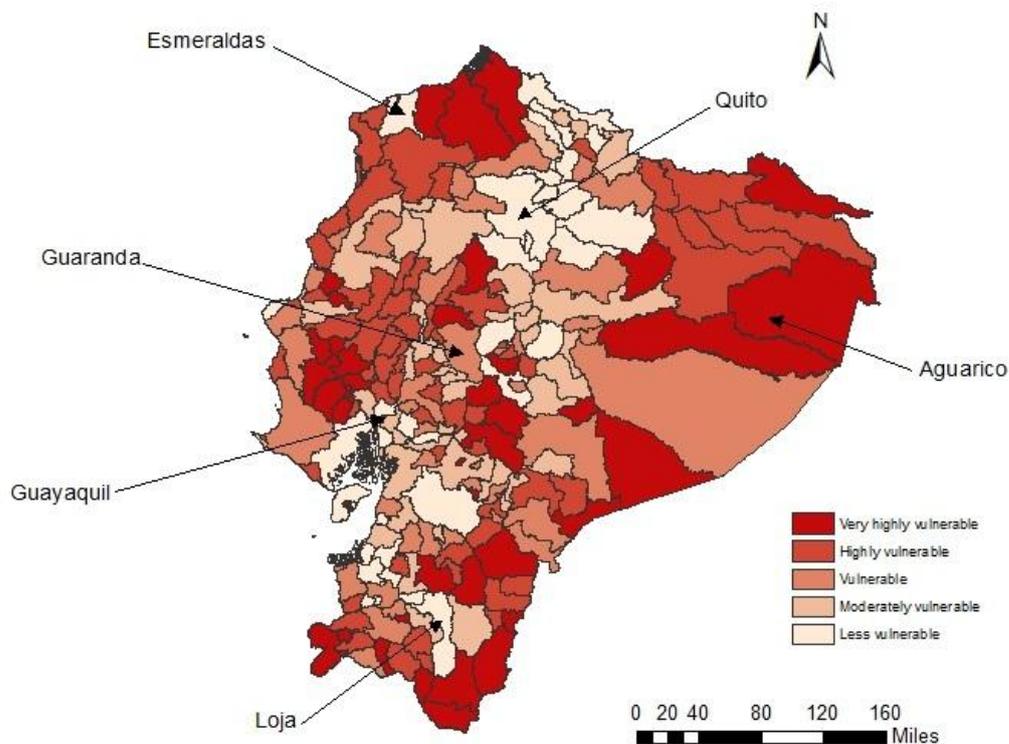


Figura 2.10. Exposición, sensibilidad y capacidad para adaptarse al cambio climático en diferentes cantones en el país más densamente poblado de Sudamérica (Ecuador)

Fuente: Fernández *et al.*, 2015

El cambio climático es uno de los grandes problemas mundiales. Sin embargo, en Ecuador, ese problema puede ser mayor para algunos cantones que para otros; esto se debe a que el país posee diversidad de climas de acuerdo a su ubicación geográfica (los lugares más altos son los que presentan más problemas por el cambio climático en comparación con los lugares más bajos). A esto, también se suma el tipo de actividades que desarrollen las ciudades; en la actualidad existen muchos lugares que guardan conexión con la naturaleza y se han reusado a los avances industriales que son uno de las principales fuentes para la emisión de gases de efecto invernadero (Union of Concerned Scientists, 2015).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La 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.

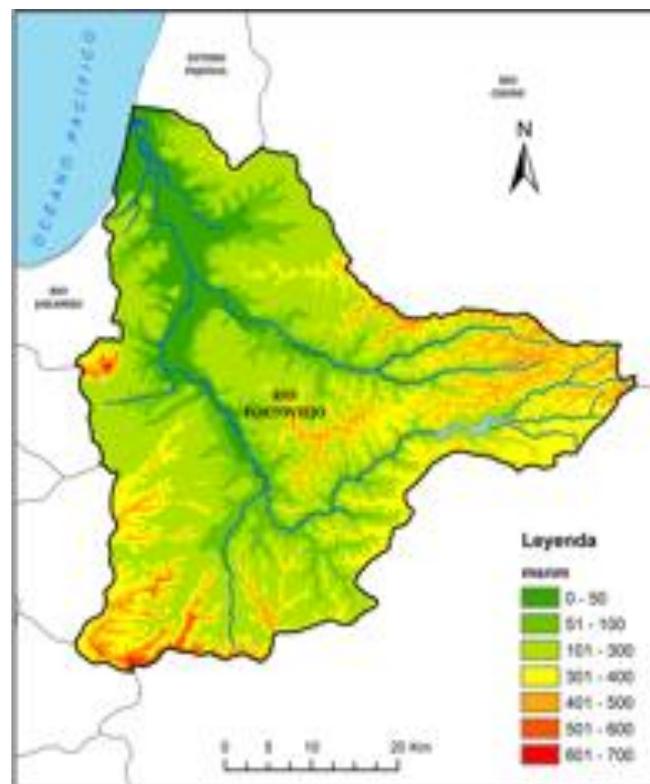


Figura 3.1. Cuenca del río Portoviejo

Fuente: Zambrano, 2014

3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO

La investigación tuvo una duración de un año, a partir de la aprobación del proyecto de tesis.

3.3. VARIABLES DE ESTUDIO

3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Cambio climático

3.3.2. VARIABLES DEPENDIENTE

- Incremento de precipitación
- Incremento de temperatura

3.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.4.1. MÉTODOS

Para el desarrollo de este trabajo se aplicaron métodos de Investigación Cualitativo y Deductivo.

- **Cualitativo:** Consiste 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.
- **Deductivo:** Parte 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).

3.4.2. TÉCNICAS

- **Estadística descriptiva:** Se realizaron histogramas, correlaciones, medidas de tendencia central como suma y media, medidas de variabilidad como máximos y mínimos, y otros gráficos estadísticos; para el procesamiento de datos y obtener los resultados de la investigación (Bernal 2010).
- **Modelo climático global GISS AOM 4x3 del cuarto informe del IPCC:** Este modelo fue descargado en forma de metadato y analizado estadísticamente en ArcGIS (Rivadeneira, 2014).

3.5. PROCEDIMIENTOS

El desarrollo de esta investigación contempló cuatro etapas:

3.5.1. ETAPA I. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DEL MODELO CLIMÁTICO GLOBAL GISS AOM 4X3 DEL CUARTO INFORME DEL IPCC

Para el cumplimiento de este objetivo se obtuvieron las anomalías mensuales de las variables climatológicas de precipitación y temperatura del modelo Americano GISS AOM 4x3, creado por la NASA (2007).

Este modelo fue descargado en forma de metadato y analizado estadísticamente en un Software de Sistema de información geográfica (ArcGIS). Las anomalías obtenidas en esta etapa corresponden a los escenarios de emisiones A1B, B1 (Rivadeneira, 2014).

3.5.2. ETAPA II. SIMULACIÓN DE PREDICCIONES EN LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO PORTOVIEJO

La simulación permitió obtener seis predicciones de precipitación y seis predicciones de temperatura (tres por cada escenario de emisión en ambas variables). Las predicciones fueron realizadas en tres períodos de tiempo: corto,

mediano y largo plazo (2010-2039, 2040-2069, y 2070-2099 respectivamente). Además de esto, se consideraron las anomalías mensuales ya datadas en la actualidad, a través del período de control observado (1964-2012) en la cuenca del río Portoviejo (Rivadeneira, 2014).

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

Se realizaron comparaciones entre los datos de las variables entre los períodos de control con predicciones simuladas a corto, mediano y largo plazo, y el período de control observado. Todo esto permitió identificar el comportamiento tendencial de las simulaciones realizadas (Rivadeneira, 2014).

3.5.4. ETAPA IV. CONTRASTE DE LOS RESULTADOS DEL MODELO CLIMÁTICO GISS AOM 4X3 CON LOS OBTENIDOS DEL MODELO GLOBAL HaDCM3

Con el fin de establecer la relación existente entre los resultados alcanzados en la cuenca de estudio, se planteó contrastar los datos obtenidos del modelo climático GISS AOM 4x3 con los presentados por el modelo global HadCM3 desarrollado por Moreira (2015).

Además, se realizaron correlaciones estadísticas para conocer el grado de relación entre los resultados de las variables obtenidos con ambos modelos climáticos; tanto para los períodos simulados en las predicciones como para el período de control observado. El grado de correlación se estimó a través del procesamiento de datos en Excel 14.7.7.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ETAPA I. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DEL MODELO CLIMÁTICO GLOBAL GISS AOM 4X3 DEL CUARTO INFORME DEL IPCC

Se lograron identificar las anomalías en las variables climatológicas estudiadas. Éstas se obtuvieron para los dos escenarios dentro de los tres períodos establecidos.

4.1.1. ANOMALÍAS DE ESCENARIOS

4.1.1.1. ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN DEL GISS AOM 4x3

Las anomalías obtenidas del modelo Americano GISS AOM 4x3 muestran que en el período 2010-2039 durante enero se pronostica un descenso en la variable de 40,64 mm, para el escenario A1B. El escenario B1 también manifiesta un descenso inferior al escenario A1B (31,64 mm) (gráfico 4.1). Pero es en los meses de mayo para ambos escenarios se presentan los niveles más bajos de precipitaciones registrados para este período, con valores de 7,185 mm en A1B y 4,437 mm en B1 (anexo 1). Estos valores difieren representativamente con los pronosticados para los meses de noviembre que alcanzan hasta 41,64 mm en el escenario A1B y 44,49 mm en el escenario B1.

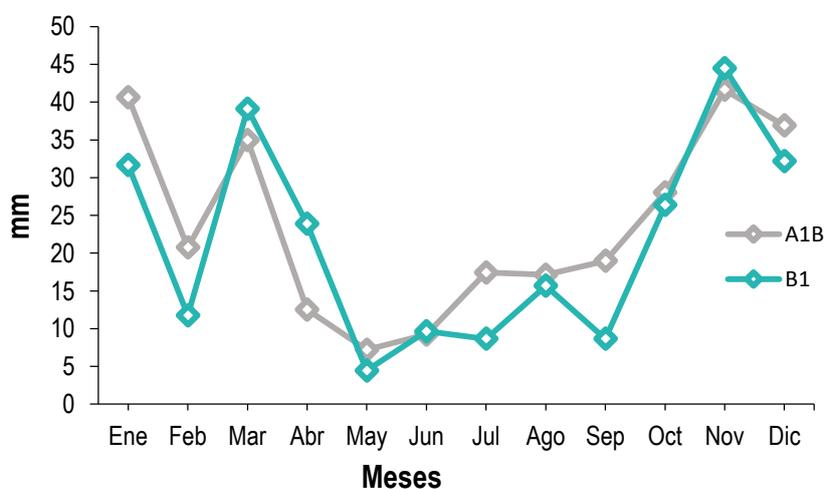


Gráfico 4.1. Anomalías de precipitación del modelo GISS AOM 4x3 en período 2010-2039

Por otra parte, para el mes de febrero se registra un descenso por debajo del mes de enero, en el escenario A1B (20,75 mm) mientras que el escenario B1 muestra una disminución de 11,74 mm. En el mes de marzo se presenta un incremento en el escenario A1B de 34,96 mm, el escenario B1 muestra un incremento superior (39,12 mm) a A1B. Los datos para el mes de abril manifiestan una disminución para ambos; en el escenario A1B (12,51 mm) y para el escenario B1 (23,87 mm). Durante los meses de junio, julio y agosto se presenta un aumento progresivo en los dos escenarios: en A1B (17,11 mm) y en el escenario B1 (15,68 mm). Para el mes de septiembre en el escenario A1B (18,96 mm), mientras que para el escenario B1 tendrá una disminución de 8,64 mm. En el mes de diciembre muestra un descenso en ambos escenarios para el mes de noviembre que fue el más representativo; en el escenario A1B (36,89 mm) y en el escenario B1 (32,15 mm).

Las anomalías encontradas en el modelo GISS AOM 4x3 para período 2040-2069 muestran que en el mes de enero para el escenario A1B se predice una decadencia en la inconstante (72,90 mm), a pesar de ser el mayor nivel registrado para este escenario; mientras que el escenario B1 igualmente revela un descenso mínimo al escenario A1B (55,55 mm) (gráfico 4.2).

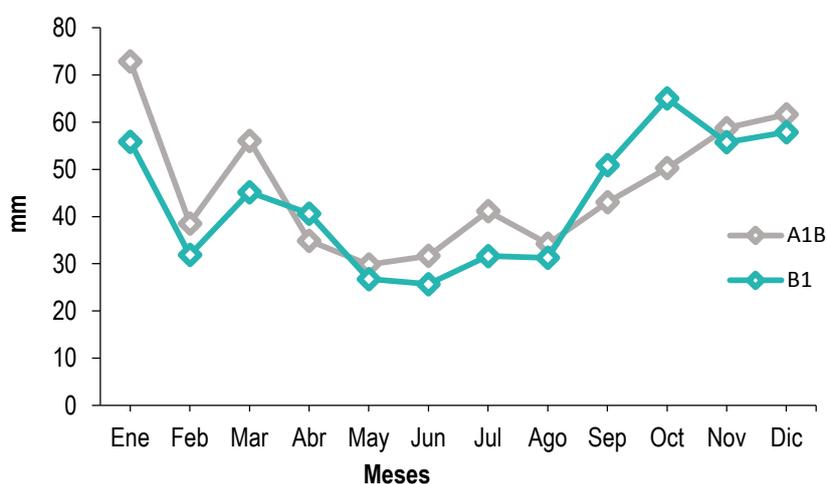


Gráfico 4.2. Anomalías de precipitación del modelo GISS AOM 4x3 en el período 2040-2069

Para el mes de febrero se muestra un descenso por debajo del mes de enero con en el escenario A1B (38,52 mm) mientras que el escenario B1 muestra una baja de (31,88 mm). Para el mes de marzo se presenta un aumento en el escenario A1B de (56,04 mm), mientras que el escenario B1 muestra un

incremento inferior (46,18 mm) a A1B. Los datos para el mes de abril manifiestan una disminución en el escenario A1B (34,89 mm) y para en escenario B1 (40,63 mm), para el mes de mayo la precipitación se muestra la disminución semejante en todo el año en ambos escenarios en el escenario A1B (29,83mm) mientras que en el escenario B1 (26,74 mm). En los meses de junio y julio se presenta un ascenso continuo en los dos escenarios (41,13mm en A1B y 31,63mm en B1). En agosto se muestra un descenso parecido en ambos escenarios en el escenario AB1 (34,23mm) y para el escenario B1 (31,27mm).

Sin embargo, en septiembre se visualiza una ampliación paulatina en ambos escenarios; para el escenario AB1 (43,02mm), mientras que para el escenario A1B el aumento es mayor (50,92mm). Para el mes octubre se exhibe una disminución mínima para el escenario A1B de 50,29mm y para el escenario B1 se muestra un ascenso de 65,03 mm. En noviembre se visualiza una disminución para el escenario AB1 de (58,75 mm) y para el B1 también se muestra una disminución de 55,77 mm. Finalmente, en diciembre se presenta un aumento constante en ambos escenarios; es así que para el escenario A1B es de 61,62 mm y para el escenario B1 es de 57,88 mm.

En el período 2070-2099, durante los meses de mayo, julio y agosto, las precipitaciones previstas para los escenarios A1B y B1 se encuentran muy ajustadas (gráfico 4.3) con diferencias que no superan los 2 mm.

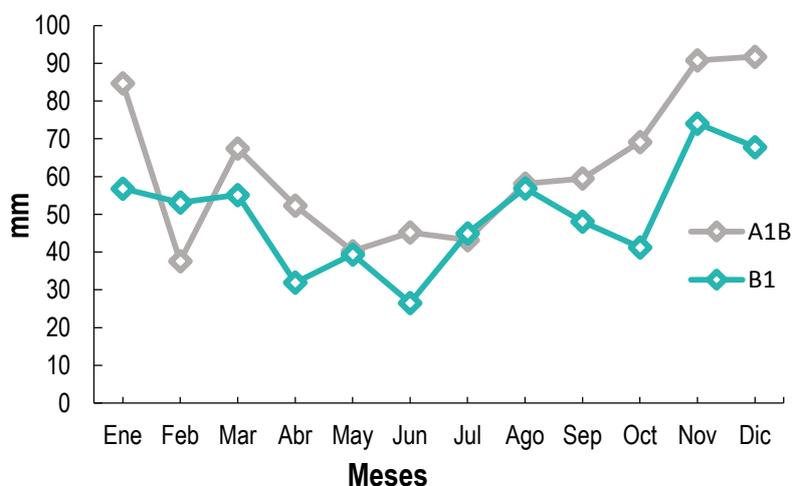


Gráfico 4.3. Anomalías de precipitación del modelo GISS AOM 4x3 en el período 2070-2099

En el período 2070-2099 las anomalías en el escenario A1B muestran un descenso en el mes de enero (84,66 mm) hasta llegar al mes de febrero la más baja con (37,57 mm), aumentando en el mes marzo hasta (67,42 mm), para el escenario B1 en los meses de enero febrero y marzo la precipitaciones se mantienen entre (56,80 mm – 55,14 mm).

Entre los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre en el escenario A1B las precipitaciones se conservan entre (40 mm y 60 mm). Para el escenario B1 abril, mayo y junio estarán en el rango de (31 mm - 27 mm). Para octubre, en el escenario A1B ascienden a 69,15 mm llegando su máximo en el mes de diciembre (91,72 mm); mientras que en el escenario B1 en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre el rango es de (44 mm - 41,5 mm). El mes de noviembre obtiene su mayor precipitación, para B1 con 74,06 mm.

4.1.1.2. ANOMALÍAS DE TEMPERATURA DEL GISS AOM 4x3

Las anomalías de temperatura obtenidas para el período 2010-2039 muestran que durante los meses de enero y febrero estiman descenso para los escenarios planteados; para el mes de enero la temperatura en el escenario A1B es de 0,74 °C y en B1 0,63 °C; el mes de febrero A1B es de 0,62 °C y 0,52 (gráfico 4.4).

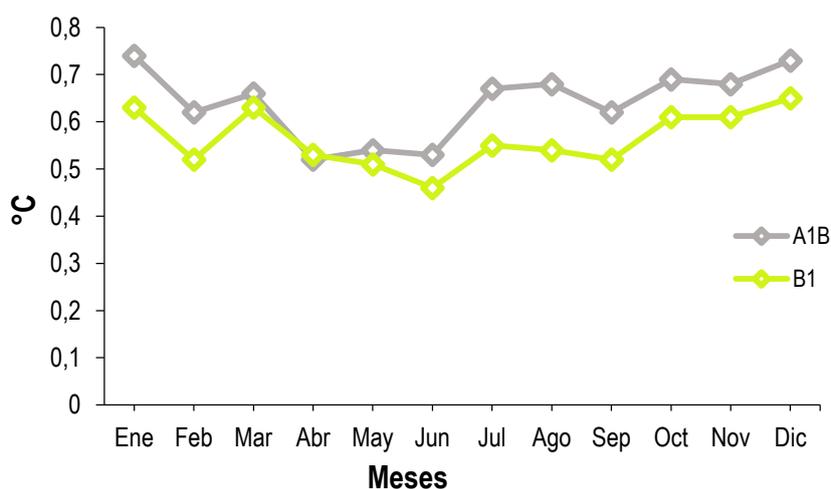


Gráfico 4.4. Anomalías de temperatura del modelo GISS AOM4X3 en el período 2010-2039

El mes de marzo presenta un incremento en ambos escenarios; para el escenario A1B (0,66 °C) y para el escenario B1 será de (0,63 °C). Para el mes de abril se prevé que el escenario A1B y el B1 presentarán anomalías muy

similares (0,52 °C y 0,53 °C, respectivamente) (anexo 4). Para el mes de mayo en el escenario A1B se observa un incremento de 0,2 °C llegando a 0,54 °C. Sin embargo, en el escenario B1 ocurre lo opuesto (la temperatura desciende a 0,51 °C). Por otra parte, el mes de junio para el escenario B1 la temperatura continuará disminuyendo progresivamente hasta 0,46 °C y en el escenario A1B también registrará descenso de 1 °C (0,53 °C).

En los meses de julio y agosto se observa un aumento de la temperatura en el escenario A1B (0,67 °C y 0,68 °C, respectivamente) y para el escenario B1 (0,55 °C y 0,52 °C, respectivamente). Para el mes de septiembre se observa un descenso de la temperatura en ambos escenarios, para el escenario A1B es de (0,62 °C) y en el escenario B1 el descenso es de (0,52 °C), en los meses de octubre, noviembre y diciembre se observa un incremento progresivo en el escenario A1B (0,69 °C), (0,68 °C) y (0,73 °C) y para el escenario B1 los valores correspondientes observados son (0,61 °C), (0,61 °C) y (0,65 °C).

Para el periodo 2040-2069 se presagia un incremento de la temperatura en todos los meses del año para el escenario A1B en comparación con el escenario B1 (gráfico 4.5).

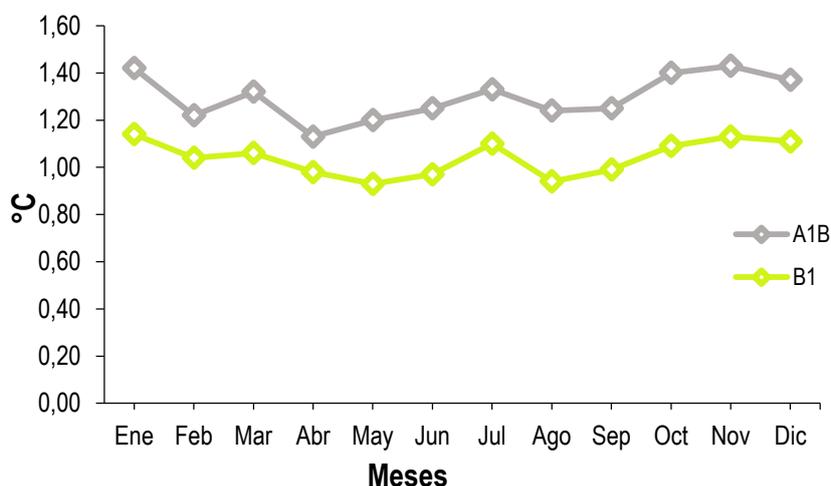


Gráfico 4.5. Anomalías de temperatura del modelo GISS AOM 4X3 en el periodo 2040-2069

Los meses que presentan incrementos máximos son enero (1,42 °C), octubre (1,40 °C) y el mes de noviembre (1,43 °C), mientras que en el mes de abril se registra la temperatura mínima con (1,13 °C). Para el escenario B1 los meses con incremento significativo de la temperatura son enero (1,14 °C), noviembre

(1,13 °C) y diciembre (1,11 °C). Los meses con temperatura mínima para este escenario son mayo y agosto; ambos con 0,94 °C.

Las anomalías de las variable temperatura en el modelo climático global GISS AOM 4x3 presentan el mayor incremento en los escenarios A1B y B1 durante el período 2070-2099 (gráfico 4.6).

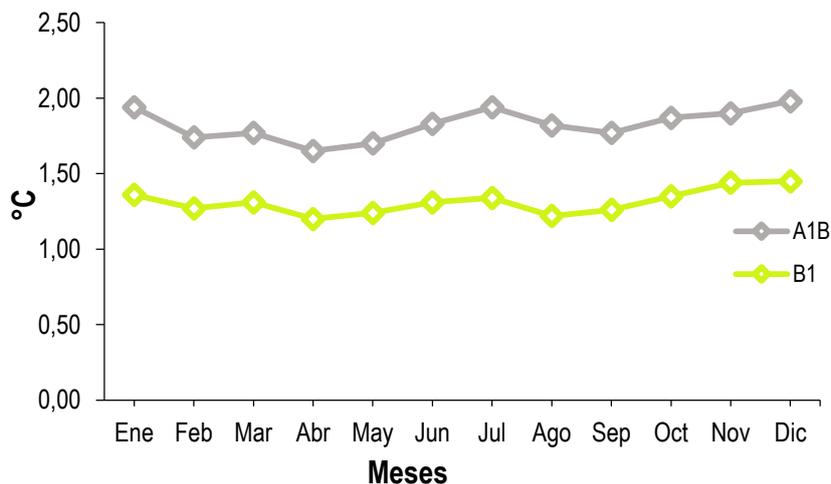


Gráfico 4.6. Anomalías de temperatura del modelo GISS AOM 4X3 en el período 2070-2099

En los meses enero (1,94 °C), julio (1,94 °C) diciembre (1,98 °C) presentando abril una temperatura mínima significativa (1,65 °C). Para el escenario B1 los meses noviembre y diciembre tendrán las temperatura más altas (1,44 °C y 1,45 °C, correspondientemente). Las temperaturas mínimas para este escenario las tienen los meses de abril con 1,20 °C y agosto con 1,20 °C.

4.2. ETAPA II. SIMULACIÓN DE PREDICCIONES EN LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO PORTOVIEJO

Las simulaciones permitieron comprobar que en todos los períodos proyectados, la tendencia es que en los primeros 5 meses del año las variables climatológicas de precipitación y temperatura para los escenarios A1B y B1 registren incrementos significantes en comparación con los otros meses del año, sobre todo con los meses intermedios (Gráfico 4.7, Gráfico 4.8, Gráfico 4.9 y Gráfico 4.10).

4.2.1. SIMULACIÓN DE PREDICIONES DE PRECIPITACIÓN

Las simulaciones de las precipitaciones para el escenario A1B indican que durante los primeros tres meses del año alcanzan los niveles registrados, sobre todo en febrero y marzo (gráfico 4.7). A partir del cuarto mes los niveles de precipitaciones descienden considerablemente, alcanzando los mínimos registrados en agosto y los últimos cuatro meses, las precipitaciones tienden a incrementar paulatinamente.

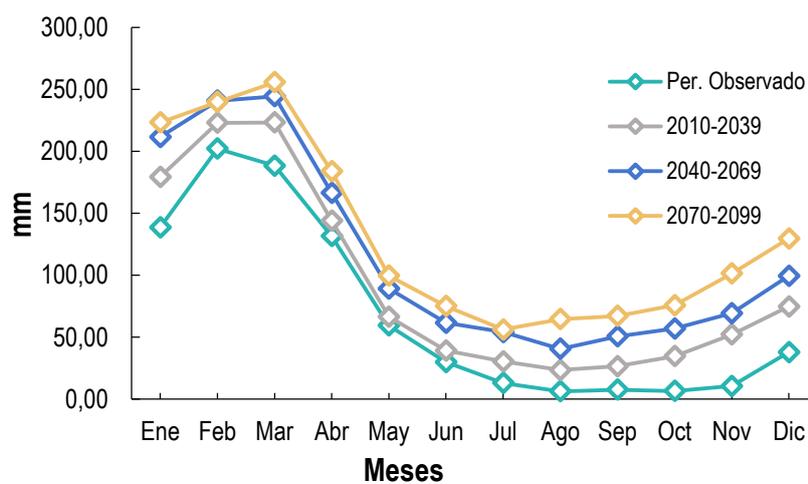


Gráfico 4.7. Simulación de predicción de precipitación del modelo GISS AOM4X3 (A1B)

Las precipitaciones para el escenario B1 en el período de 2070-2099 registran los niveles más elevados; alcanzando un máximo de 255,26 mm en los meses de febrero (gráfico 4.8).

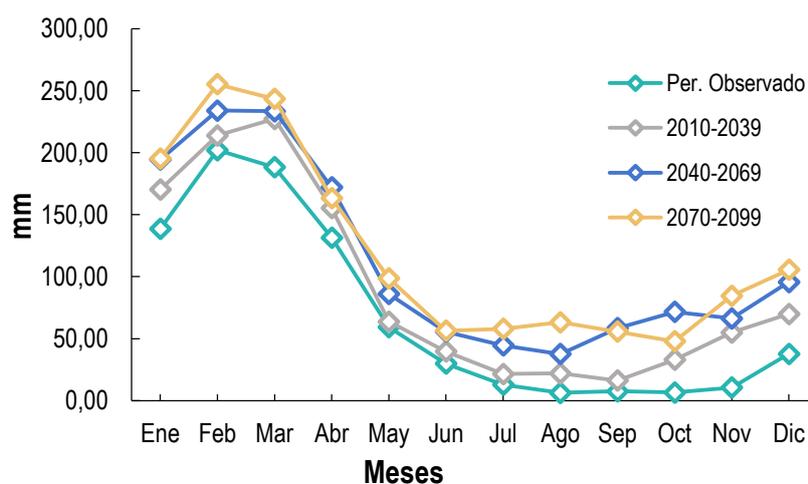


Gráfico 4.8. Simulación de predicción de precipitación del modelo GISS AOM4X3 (B1)

No obstante, los períodos 2010-2039 y 2040-2069 prevén datos mucho más bajos; alcanzando los mínimos en septiembre y agosto, respectivamente

4.2.2. SIMULACIÓN DE PREDICIONES DE TEMPERATURA

En el escenario A1B existe una variación de la temperatura en el período 2010-2039 entre 0,52 °C a 0,74 °C; en el período 2040-2069 de 1,13 °C a 1,43 °C; y el período 2070-2099 de 1,65 °C a 1,98 °C (gráfico 4.9). A pesar de existir variación entre los valores registrados para cada periodo, la tendencia no cambia; es decir que éstos ascienden o descienden en función del mes.

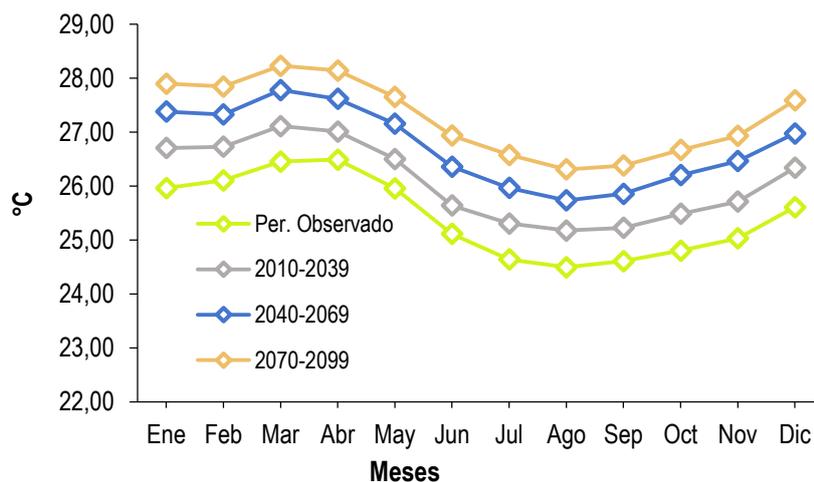


Gráfico 4.9. Simulación de predicción de temperatura del modelo GISS AOM4X3 (A1B)

El escenario B1 al igual que el escenario A1B registra la temperatura más elevada (27,77 °C) para el mes de marzo en el período 2070-2099; a diferencia del mes de agosto que las temperaturas presentan el mayor descenso (gráfico 4.10) en los tres períodos establecidos; descendiendo a 25,03 °C en 2010-2039, 25,44°C en 2040-2069, y 25,72 °C en 2070-2099.

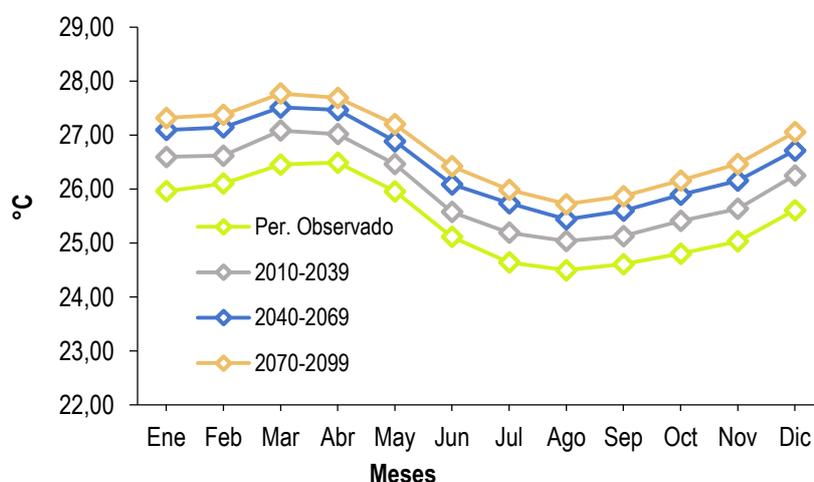


Gráfico 4.10. Simulación de predicción de temperatura del modelo GISS AOM4X3 (B1)

4.3. ETAPA III. 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

Para el escenario A1B el aumento de la precipitación se verá reflejada en cada uno de los períodos (2010-2039) (2040-2069) (2070-2099).

El período 2010-2039 presenta variaciones de hasta 41,64 mm en el mes de noviembre (gráfico 4.11). Los meses de diciembre, enero y marzo también prevén variaciones muy elevadas en comparación con las anomalías que se presentarán en los otros meses de año (36,9 mm; 40,64 mm y 34,97 mm; respectivamente). Pero en los meses de mayo y junio las variaciones son mínimas para este período (7,18 mm y 9,22 mm respectivamente).

Los períodos 2040-2069 y 2070-2099 muestran un patrón de anomalías muy similares en cuanto al incremento y descenso de la precipitación; siendo los meses de diciembre y enero los que registren mayores variaciones, y en los meses de julio, ambos períodos prevén variaciones de precipitación muy ajustadas (41,13 mm para el período 2040-2069 y 43,21 mm para el 2070-2099).

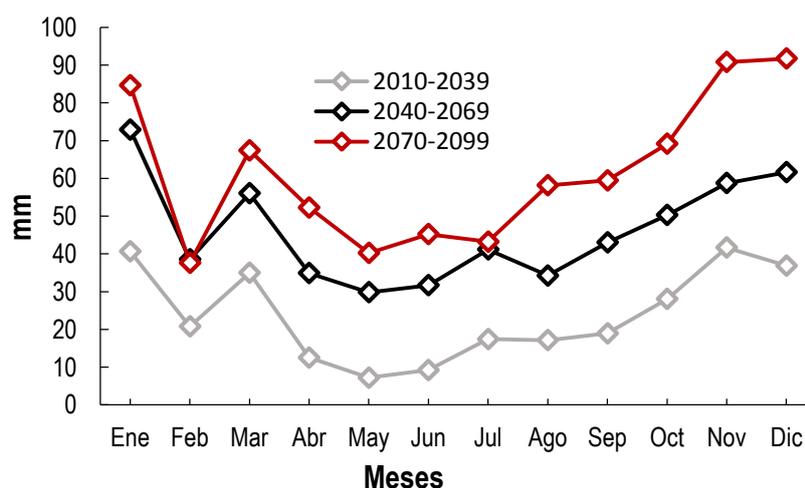


Gráfico 4.11. Cambios en la precipitación para el escenario A1B a corto (2010-2039), mediano (2040-2069), y largo (2070-2099) plazo

En el escenario B1 para el período 2010-2039 la precipitación tendría aumento en el mes de enero con anomalía de 31,64 mm, marzo con 39,64 mm (gráfico

4.12) y en los meses de noviembre y diciembre con (44,49 mm y 32,15 mm respectivamente). Mientras que los meses con menos anomalías de precipitación son mayo, julio y septiembre (4,43 mm, 8,64 mm y 8,65 mm, respectivamente).

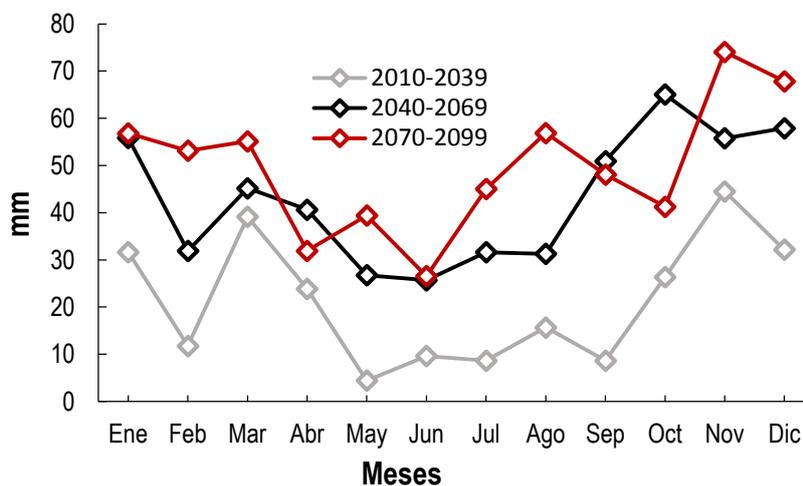


Gráfico 4.12. Cambios en la precipitación para el escenario B1 a corto (2010-2039), mediano (2040-2069), y largo (2070-2099) plazo.

Para el período 2040-2069 las mayores anomalías de la precipitación se registrarán en el último trimestre del año con un promedio de 59,56 mm. Las anomalías mínimas tendrán un promedio de 27,90 mm que corresponden a los meses de mayo, junio y agosto. La simulación presenta que el nivel máximo de precipitación será para los meses de febrero (234,02 mm) y los mínimos se presentarán en agosto (37,55 mm). En el período 2070-2099 los meses con mayores anomalías de precipitación serían noviembre y diciembre con 74,06 mm y 67,83 mm, respectivamente; mientras que los meses con anomalías lluvias mínimas serán abril (31,91 mm) y junio (26,53 mm).

4.3.2. CAMBIOS FUTUROS EN LA TEMPERATURA

Para el escenario A1B en el período 2010-2039 habrá una variación de la temperatura entre 0,53 °C a 0,74 °C. Los siguientes dos períodos proyectan un aumento de la temperatura en todos los meses del año (gráfico 4.13); teniendo a marzo y abril con la temperatura más alta y los meses de agosto y septiembre con la temperatura más baja, según las simulaciones. La anomalía máxima será

en noviembre y la mínima en abril para el período 2040-2069 (1,43 °C y 1,13 °C, respectivamente). Para el período 2070-2099 la anomalía máximas es de 1,98 °C en diciembre y la mínima de 1,65 °C en abril.

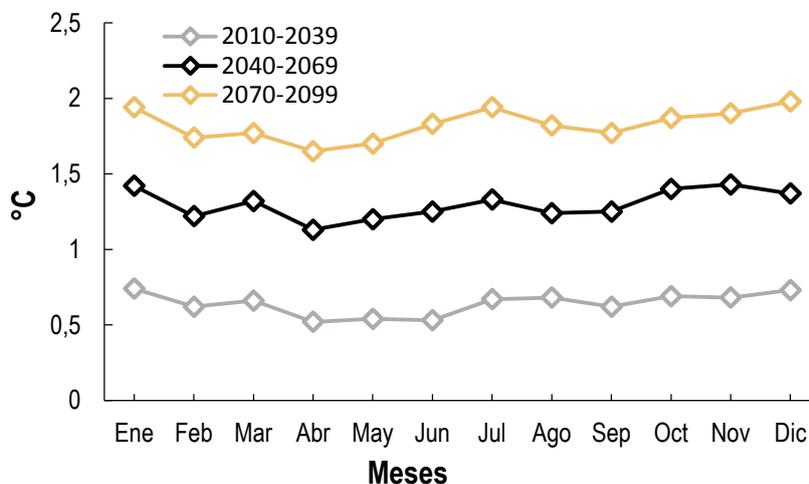


Gráfico 4.13. Cambios en la temperatura para el escenario A1B a corto (2010-2039), mediano (2040-2069), y largo (2070-2099) plazo.

En el escenario B1 en el período 2010-2039 la temperatura varía entre 0,46 °C y 0,65 °C; siendo el mes de marzo (27,08 °C) que obtendrá la mayor temperatura y agosto la mínima (25,03 °C) en las simulaciones previstas. Para el período 2040-2069 los cambios en la variable serán entre 0,93 °C y 1,14 °C (gráfico 4.14); teniendo un registro de 27,51 °C en el mes de marzo y 25,4 °C en el mes de agosto. Mientras que el período 2070-2099 refleja mínimos cambios de la temperatura, la variación máxima es de 1,45 °C para diciembre y la mínima es de 1,20 °C para abril.

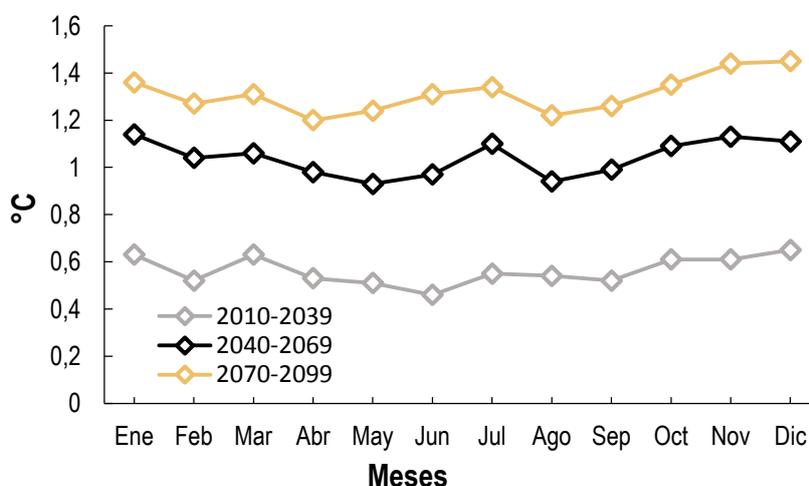


Gráfico 4.14. Cambios en la temperatura para el escenario B1 a corto (2010-2039), mediano (2040-2069), y largo (2070-2099) plazo.

4.3.3. COMPARACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ENTRE EL PERÍODO 2010-2039 Y EL PERÍODO REAL OBSERVADO (2011-2015)

El escenario A1B refleja un aumento de la precipitación en los primeros tres meses del año, a través de la simulación con el modelo GISS AOM4X3. A partir del cuarto mes, los niveles de precipitación inician a descender; alcanzando el nivel mínimo en agosto (23,39 mm). Finalmente a partir de septiembre, otra vez se aprecia un aumento gradual de la precipitación durante el resto del año. Estos valores contrastan significativamente con los registrados durante 2011-2015 (INAMHI, 2017) donde se aprecia lo opuesto casi en todos los meses, a excepción de abril, agosto y septiembre que han sido los meses cuyos datos se encuentran ajustados en ambos períodos (gráfico 4.15). Esto se debe a que el período de comparación actual es corto (5 años), por lo que se asume que a pesar de que existe variación casi absoluta, de acuerdo a la comparación de ambos períodos, todavía prevalece un margen de probabilidad alto para que los datos reales puedan estar ajustados al modelo GISS AOM4X3.

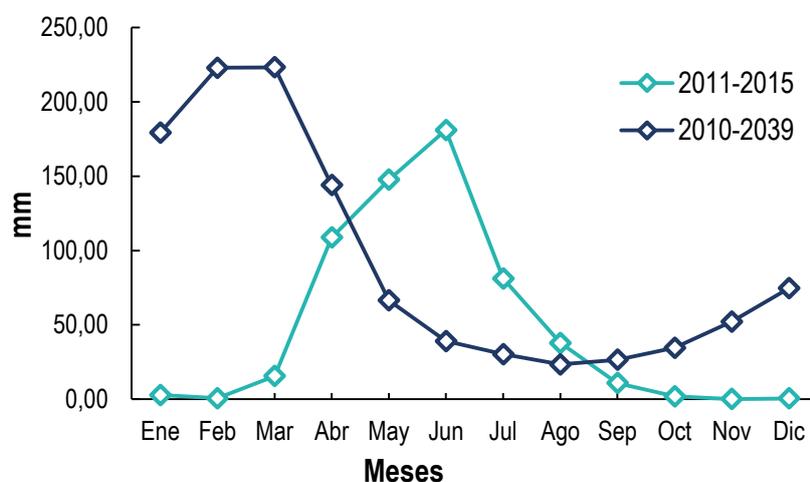


Gráfico 4.15. Predicción de la precipitación para el período 2010-2039 escenario A1B vs. Período real observado (2011-2015)

Por otra parte, la precipitación para el escenario B1 en el período 2010-2039 tendría los máximos en los meses de febrero y marzo con valores de 213,88 mm y 227,41 mm, respectivamente. No obstante, septiembre es el mes donde alcanzarían los mínimos de precipitación (16,21 mm). En los últimos meses, los niveles de precipitación vuelven a incrementar en menor intensidad. Al igual que el escenario A1B los datos que han sido registrados para este escenario durante

2011-2015 contrastan notablemente con la simulación del modelo GISS AOM4X3 (gráfico 4.16). Asimismo se presentan que los datos más ajustados en ambos períodos, a partir de los últimos cuatro meses y el mes cuarto.

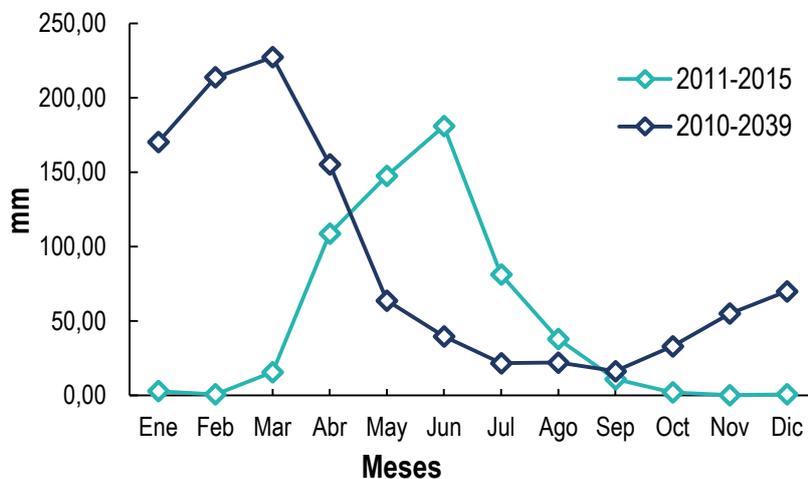


Gráfico 4.16. Predicción de la precipitación para el período 2010-2039 escenario B1 vs. Período real observado (2011-2015)

4.3.4. COMPARACIÓN DE LA TEMPERATURA ENTRE EL PERÍODO 2010-2039 Y EL PERÍODO REAL OBSERVADO (2011-2015)

En el escenario A1B, las temperaturas más elevadas para el período 2010-2039 se prevén en los meses de marzo (27,11 °C) y abril (27,01 °C), mientras que las temperaturas mínimas serán en los meses agosto y septiembre con 25,17 °C y 25,22 °C respectivamente (gráfico 4.17).

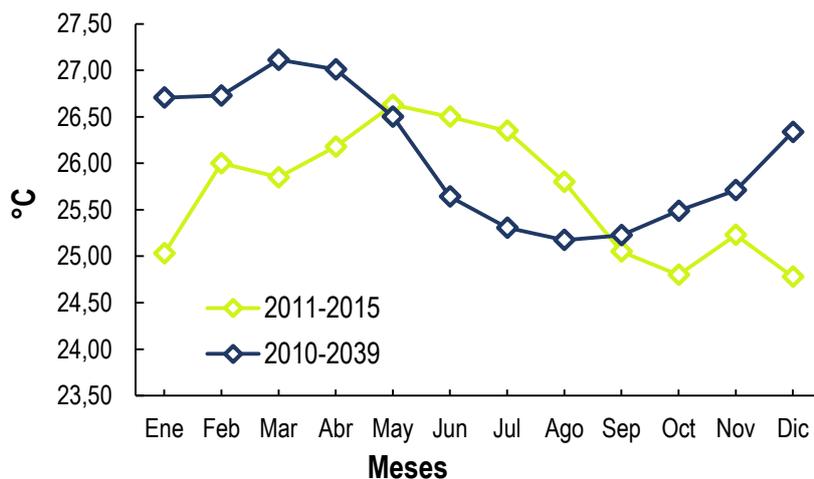


Gráfico 4.17. Predicción de la temperatura para el período 2010-2039 escenario A1B vs. Período real observado (2011-2015)

No obstante, a través de la comparación entre los datos detallados previamente con los datos reales ya registrados en el período 2011-2015 sobre esta variable,

se encontró que existe variación considerable; a pesar que los meses de mayo y septiembre sí presentan valores más ajustados para ambos períodos de comparación (anexo 19).

El escenario B1 durante el período 2010-2039, la simulación de la temperatura por el modelo GISS AOM4X3 oscila entre 25,03 °C y 27,08 °C. Mientras que en los registros del período 2011-2015 esta variable climática oscila desde los 24,78 °C hasta 26,63 °C. Se encontró que en el período real observado, los meses de enero, septiembre, octubre, noviembre y diciembre como los que registran los niveles de temperatura más bajos (25,03 °C; 24,8 °C; 25,23 °C; y 24,78 °C; respectivamente) y a mayo y julio como los meses con mayor incremento de temperatura (26,63 °C y 26,35 °C, respectivamente). Finalmente, se comprobó que en septiembre los datos se encuentran altamente relacionados (gráfico 4.18); con una diferencia mínima de (0,08 °C).

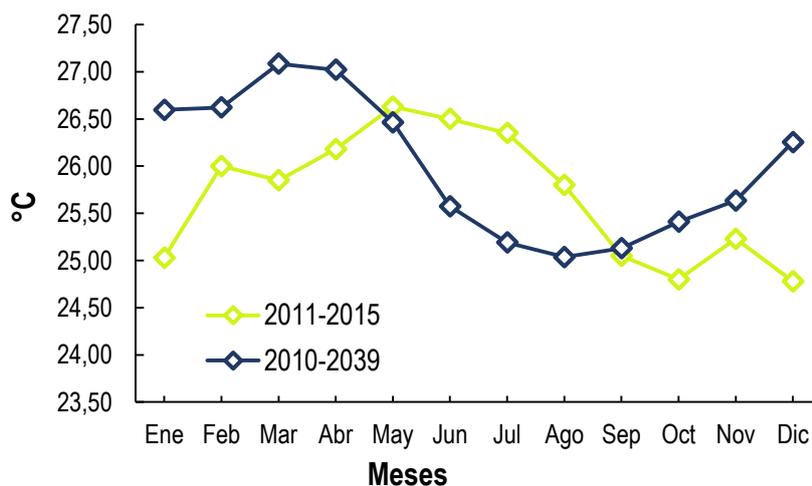


Gráfico 4.18. Predicción de la temperatura para el período 2010-2039 escenario B1 vs. Período real observado (2011-2015)

4.4. ETAPA IV. CONTRASTE DE LOS RESULTADOS DEL MODELO CLIMÁTICO GISS AOM 4X3 CON LOS OBTENIDOS DEL MODELO GLOBAL HadCM3

Se realizó el contraste de los resultados del modelo climático GISS AOM 4X3 con los resultados del modelo HadCM3 de la variable climatológica en los tres períodos (corto, mediano y largo plazo).

4.4.1. CONTRASTE DE LOS RESULTADOS DE LA PRECIPITACIÓN

De acuerdo al contraste de los resultados obtenidos entre los modelos HadCM3 y GISS AOM 4X3, para la variable de precipitación durante el período 2010-2039 en el escenario A1B se obtuvo que en los meses intermedios del año, ambos modelos realizaron predicciones más ajustadas a los valores observados (gráfico 4.19). No obstante, para los meses de enero y febrero el modelo GISS AOM 4X3 estará por debajo del modelo HadCM3; ascendiendo en marzo a 223,25 mm (el mayor dato obtenido para este escenario en GISS AOM 4X3).

En los meses de octubre y noviembre, el modelo HadCM3 estará por debajo con una disminución de las lluvias; siendo las más bajas del período (5,92 mm y -0,09 mm, respectivamente). En comparación con el período real observado tienen una diferencia de 0,63 mm para octubre y 10,59 mm para noviembre.

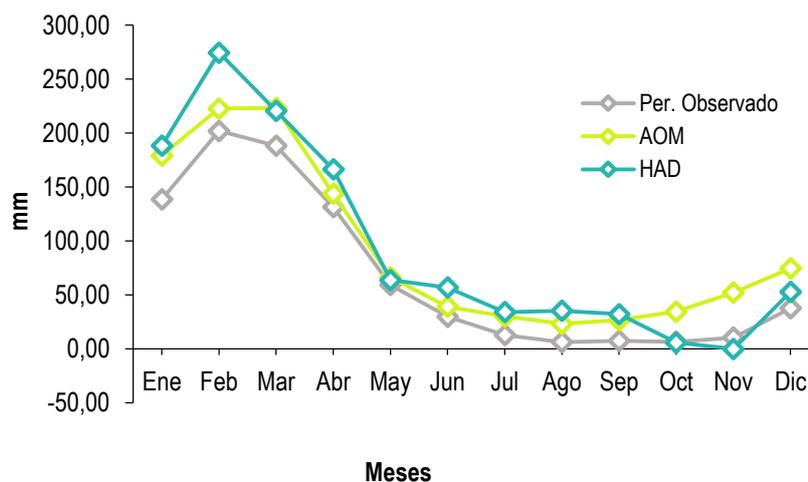


Gráfico 4.19. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2010-2039 en el escenario A1B

En el escenario B1 con el modelo HadCM3 se aprecian precipitaciones menores que las del modelo GISS AOM4X3, en los meses de marzo, abril, mayo, octubre noviembre y diciembre. El mes con mayor y menor precipitación en el modelo GISS AOM4X3 correspondió a marzo y septiembre con 227,41 mm y 16,21 mm, respectivamente (gráfico 4.20). En contraste, para el modelo HadCM3 el mes de febrero presentó la mayor precipitación con 247,58 mm y octubre la menor precipitación con 17,50 mm. En este escenario ambos modelos también presentan predicciones ajustadas a los datos observados en los meses intermedios, sobre todo en mayo.

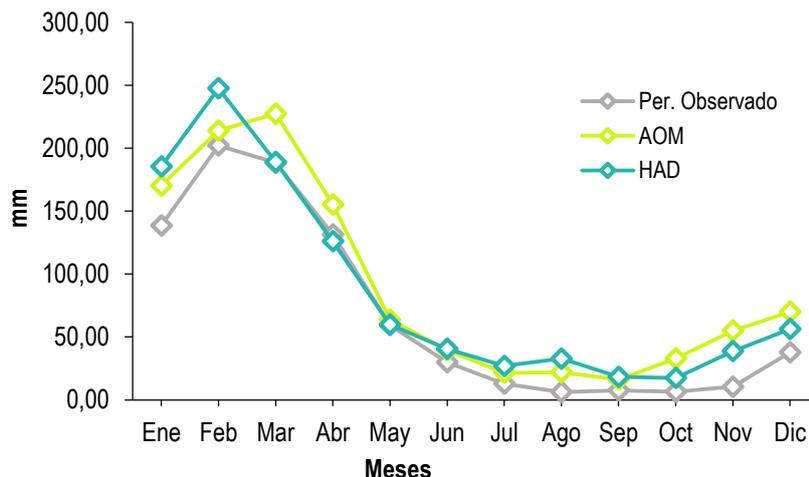


Gráfico 4.20. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2010-2039 en el escenario B1

En el período 2040-2069 en el escenario A1B muestra que el modelo HadCM3 obtendrá un incremento de la precipitación en casi todos los meses del año (febrero, abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre) sobre el modelo GISS AOM 4X3 (gráfico 4.21).

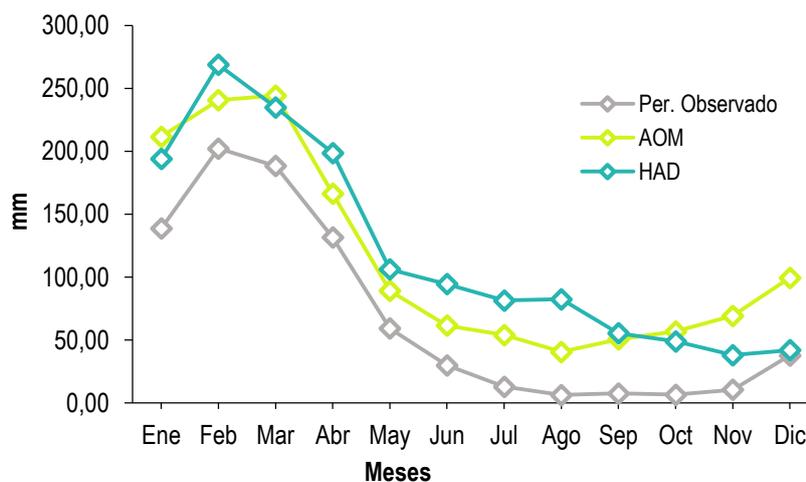


Gráfico 4.21. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2040-2069 en el escenario A1B

En este escenario el mes de febrero presenta la mayor precipitación (268,73 mm) y noviembre la menor precipitación (41,99 mm) en todo el año para este período. Por otra parte, para el escenario B1 el modelo HadCM3 tendrá una superioridad en lluvia en los primeros cuatro meses del año (gráfico 4.22). Pero, en mayo, octubre, noviembre y diciembre estaría por debajo del modelo GISS AOM 4X3. Enero es el mes donde ambos modelos representan datos muy ajustados; con una diferencia solamente de 0,95 mm.

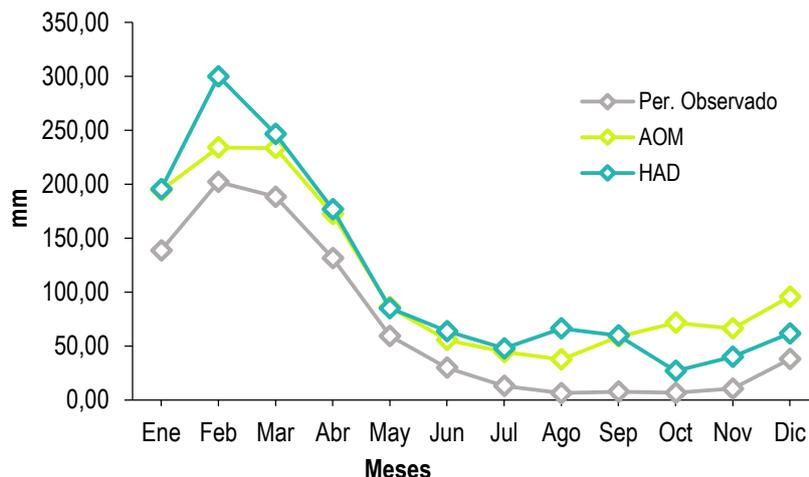


Gráfico 4.22. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2040-2069 en el escenario B1

Finalmente, el período 2070-2099 en el escenario A1B muestra que el modelo HadCM3 es totalmente superior en todos los meses del año (a excepción de octubre); el mes con mayor precipitación es febrero (356,32 mm) y viéndose una variación en los meses de verano, el más significativo es el mes de agosto (143 mm) en contraste con el modelo GISS AOM 4X3 (gráfico 4.23).

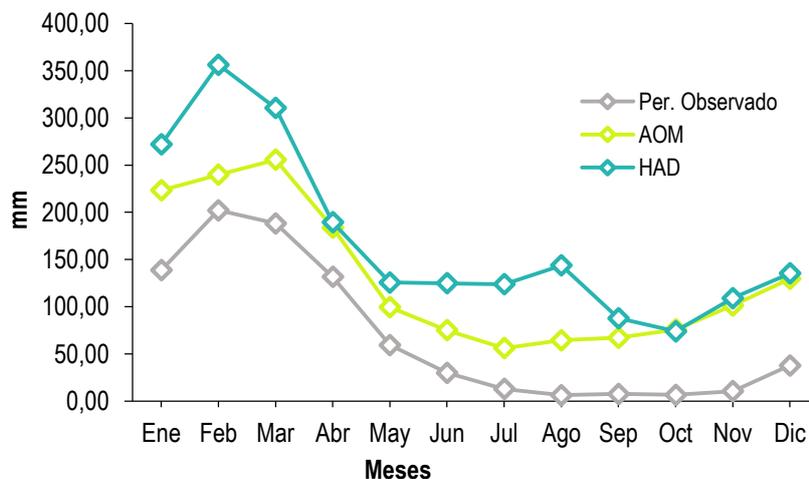


Gráfico 4.23. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2070-2099 en el escenario A1B

En el escenario B1, el modelo HadCM3 en el último trimestre del año las precipitaciones son inferiores al modelo GISS AOM 4X3 (gráfico 4.24). Ambos modelos predicen datos de precipitación y temperatura muy similares durante los meses de mayo (98,66 mm para modelo AOM y 105,34 mm para modelo HAD), septiembre (55,64 mm para modelo AOM y 62,46 mm para modelo HAD), y octubre (47,82 mm para modelo AOM y 44,27 mm para modelo HAD).

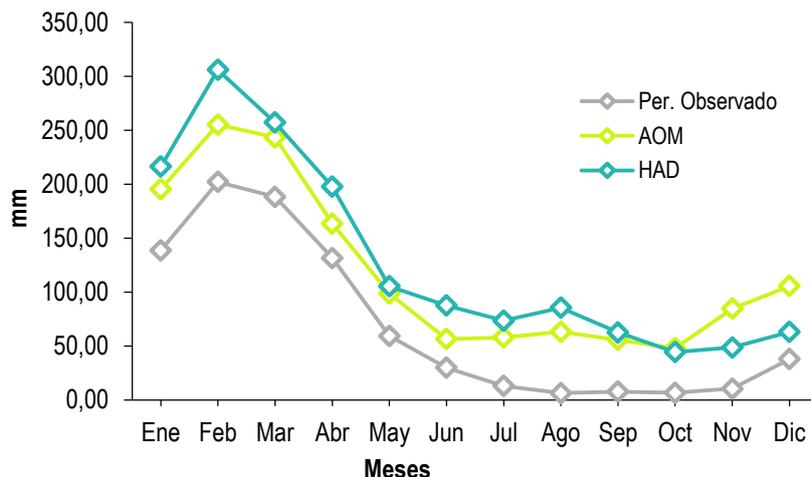


Gráfico 4.24. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2070-2099 en el escenario B1

Las diferencias de precipitaciones, durante estos meses son mínimas en ambos modelos que no superan los 7 mm.

En función de la prueba estadística de correlación se obtuvo como resultado que dentro de las variables de precipitación para los dos escenarios (A1B y B1) en los tres períodos pronosticados existe un grado de relación altamente significativo. En el Cuadro 4.1 se pueden apreciar los valores referentes a los niveles de relación entre los resultados de los dos modelos climáticos para precipitaciones de la cuenca del río Portoviejo.

Se comprueba que en todos los resultados, el grado de relación es superior a 0,5; alcanzando hasta niveles muy próximos a 1. Lo que indica que existe gran dependencia entre dos modelos correlacionados. Es decir, cuando aumenta la variable en un modelo, en el otro modelo también existe alta probabilidad de que se comporte igual.

Cuadro 4.1. Grado de correlación entre los resultados obtenidos con los modelos climatológicos para la variable de precipitación

Modelos climatológicos	Correlación (R ²)	Período	Escenario
AOM 4x3 - HadCM3	0,93395	2010-2039	A1B
AOM 4x3 - HadCM3	0,93753	2010-2039	B1
AOM 4x3 - HadCM3	0,86142	2040-2069	A1B
AOM 4x3 - HadCM3	0,91950	2040-2069	B1
AOM 4x3 - HadCM3	0,86064	2070-2099	A1B
AOM 4x3 - HadCM3	0,92452	2070-2099	B1

4.4.2. CONTRASTE DE LOS RESULTADOS DE LA TEMPERATURA

En el período 2010-2039 en el escenario A1B y en el escenario B1 la temperatura del modelo HadCM3 es superior en todos los meses de año, en comparación al modelo GISS AOM 4X3 (gráfico 4.25 y gráfico 4.26).

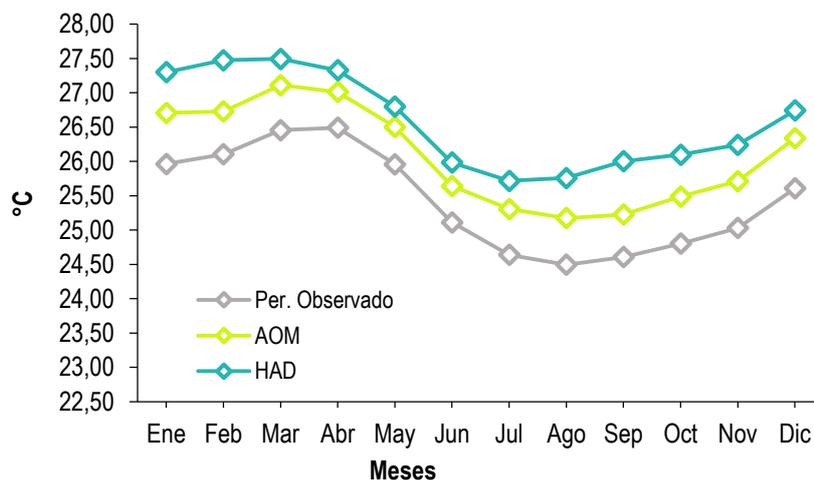


Gráfico 4.25. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2010-2039 en el escenario A1B

En el escenario A1B en los meses de invierno, la mayor temperatura en ambos modelos se presentará en el mes de marzo con una diferencia de 0,38 °C; mientras que la temperatura mínima en los meses de verano en el modelo HadCM3 se registrará en julio (25,71 °C) y en el modelo GISS AOM 4X3 se dará en el mes de agosto (25,17 °C). En el escenario B1 la mayor temperatura se presentará en el mes de marzo y la temperatura mínima en el mes de agosto (en ambos modelos con una diferencia de 0,12 °C y 0,52 °C, respectivamente).

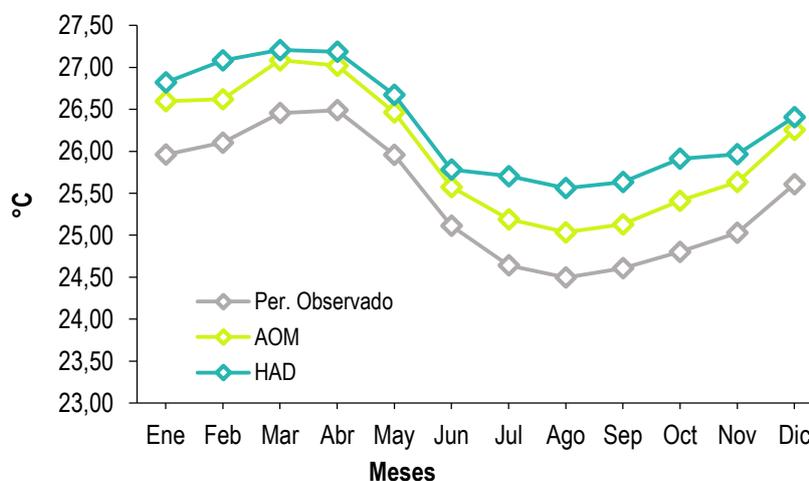


Gráfico 4.26. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2010-2039 en el escenario B1

Para el período a 2040-2069 en el escenario A1B, la temperatura máxima en el modelo GISS AOM 4X3 se presentará durante marzo (27,77 °C). No obstante, en el modelo HadCM3 se presentará en el mes de febrero (28,40 °C) (gráfico 4.27). Ambos modelos estiman temperaturas muy similares en el mes de mayo.

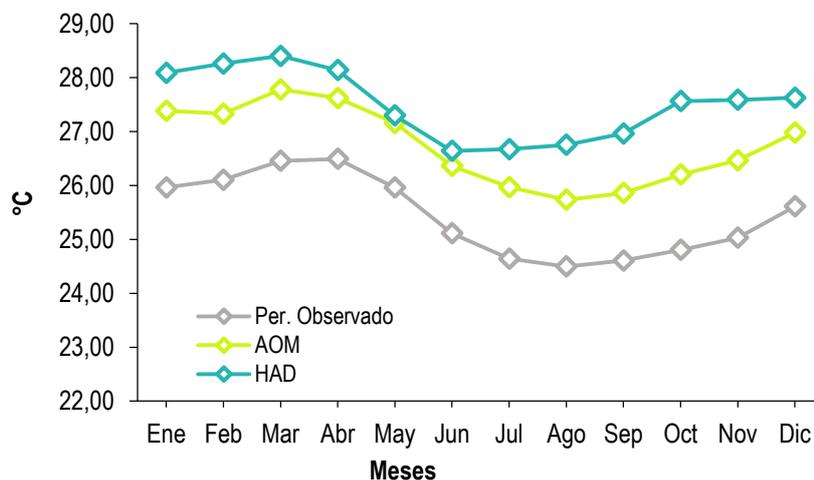


Gráfico 4.27. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2040-2069 en el escenario A1B

La temperatura mínima para el modelo GISS AOM 4X3 será en el mes de agosto (25,73 °C) mientras para el modelo HadCM3 será durante junio (26,63 °C). Para el escenario B1 en el Modelo GISS AOM 4X3 la temperatura máxima se dará en el mes de marzo (27,51 °C), para el modelo HadCM3 en el mes de febrero (28,17 °C). La temperatura mínima se presentará en el mes de agosto (25,44 °C) para el modelo GISS AOM 4X3 y en junio (26,49 °C) para HadCM3; con una diferencia de 0,98 °C entre modelos (gráfico 4.28).

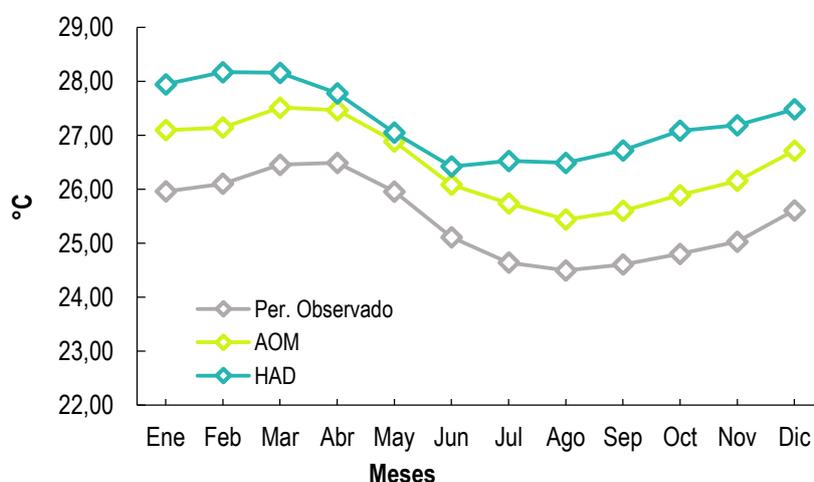


Gráfico 4.28. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2040-2069 en el escenario B1

Para el período 2070-2099 en el escenario A1B en el modelo GISS AOM 4X3 la temperatura máxima se presenta en el mes de marzo (28,22 °C). En el modelo HadCM3 en el mes de febrero (29,72 °C) (gráfico 4.29).

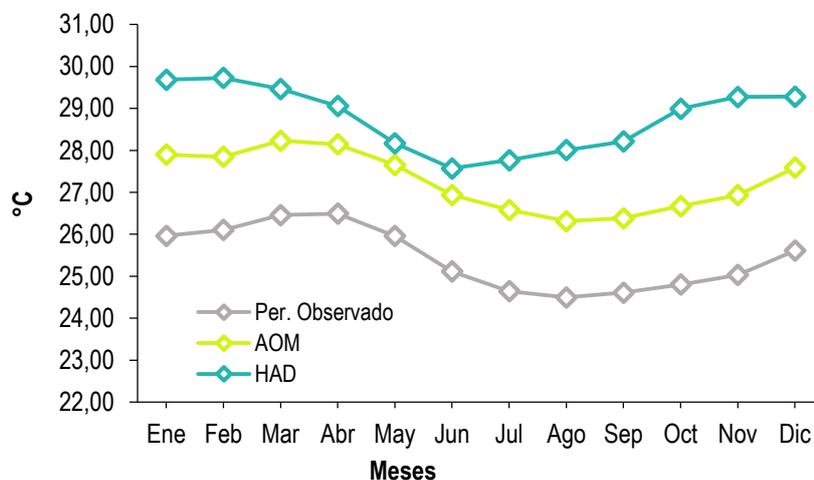


Gráfico 4.29. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2070-2099 en el escenario A1B

La temperatura mínima en este período para el modelo GISS AOM 4X3 se presenta en el mes de agosto (26,31 °C) y en el modelo HadCM3 en el mes de junio (27,56 °C).

En el escenario B1 para el modelo GISS AOM 4X3 la temperatura máxima se da en el mes de marzo (27,77 °C), para el modelo HadCM3 en el mes de febrero (28,60 °C). La temperatura mínima para el modelo GISS AOM 4X3 se dará en el mes agosto (25,72 °C), y para el modelo HadCM3 será en junio (26,97 °C). La diferencia es de 1,25 °C entre ambos modelos (gráfico 4.30).

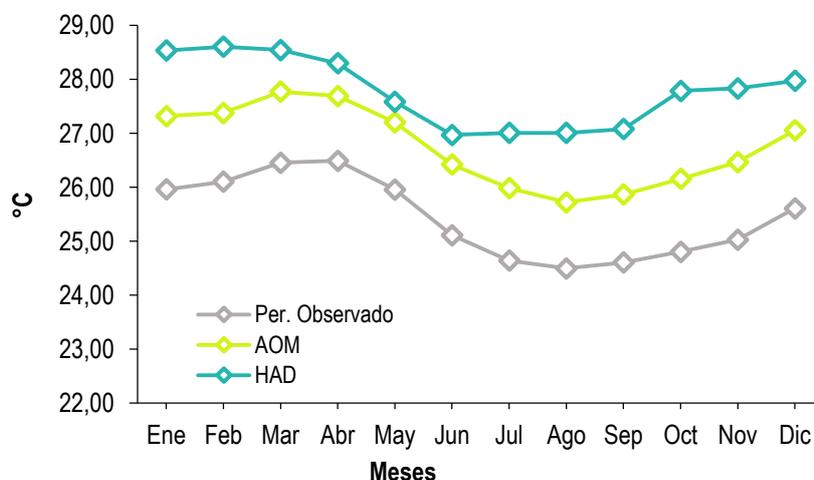


Gráfico 4.30. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HadCM3 para el período 2070-2099 en el escenario B1

Para esta variable se comprobó que el nivel de correlación entre los resultados obtenidos por los dos modelos climáticos es inferior a los niveles de correlación de la precipitación (cuadro 4.2). Existe relación que va en niveles de 0,737 hasta 0,971. Solamente en las predicciones del período 2070-2099 en el escenario A1B el nivel de relación entre ambos modelos se encuentra por debajo de 0,5 (0,445) lo que indica que la diferencia de los resultados contrastan levemente.

Cuadro 4.2. Grado de correlación entre los resultados obtenidos con los modelos climatológicos para la variable de temperatura

Modelos climatológicos	Correlación (R ²)	Período	Escenario
AOM 4x3 - HadCM3	0,94978	2010-2039	A1B
AOM 4x3 - HadCM3	0,97181	2010-2039	B1
AOM 4x3 - HadCM3	0,75350	2040-2069	A1B
AOM 4x3 - HadCM3	0,78674	2040-2069	B1
AOM 4x3 - HadCM3	0,44507	2070-2099	A1B
AOM 4x3 - HadCM3	0,73714	2070-2099	B1

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las anomalías de las variables climatológicas, precipitación y temperatura en el modelo climático global GISS AOM 4x3 presentan el mayor incremento en los escenarios A1B y B1 durante el período 2070-2099; alcanzando valores de 61,655 mm en A1B y 49,67 mm en B1; y valores de 1,82 °C en A1B y 1,31 °C en B1.
- Las simulaciones permitieron comprobar que en todos los períodos proyectados, la tendencia es que en los primeros 5 meses del año las variables climatológicas de precipitación y temperatura para los escenarios A1B y B1 registren incrementos significantes en comparación con los otros meses del año, sobre todo con los meses intermedios.
- El escenario A1B existe una variación de la temperatura en el período 2010-2039 entre 0,52 °C a 0,74 °C, en el período 2040-2069 de 1,13 °C a 1,43 °C y el período 2070-2099 de 1,65 °C a 1,98 °C; siendo este último el más representativo con un aumento de 0,33 °C y registrando la temperatura más elevada para el mes marzo en este mismo período (28,22 °C).
- En el escenario B1 al igual que el escenario A1B registra la temperatura más elevada (27,77 °C) para el mes de marzo y la variación de temperatura es de 0,25 °C (desde 1,20 °C a 1,45 °C) en el período 2070-2099. Mientras que la variable de precipitación para este escenario en este mismo período registra el nivel más elevado (255,26 mm) y el valor más bajo se registra en el período de 2040-2069 en los meses de agosto (37,55 mm).
- Finalmente, se comprobó que existe correlación positiva entre el modelo climatológico global GISS AOM 4x3 y HadCM3 en todas las simulaciones de predicciones de precipitaciones; lo que indica que los resultados son compatibles casi perfectamente. Asimismo en la variable de temperatura también existe una correlación casi absoluta en las predicciones pero con niveles un poco más inferiores a los de las precipitaciones.

5.2. RECOMENDACIONES

- Identificar los efectos del cambio climático en la cuenca del río Portoviejo analizando variables climáticas (p eje. evaporación e infiltración).
- Proyectar cambios en las variables precipitación y temperatura actualizando el período de control observado.
- Establecer cambios en las variables climatológicas mediante la simulación de otros modelos climáticos.
- Emplear otros métodos estadísticos (p eje. downscaling estadístico) para identificar la relación existente entre los resultados de los modelos globales GISS AOM 4x3 y HadCM3.

BIBLIOGRAFÍA

- Becerra, M; Mance, H. 2009. Cambio climático: lo que está en juego. 1 ed. Bogotá. COL. Dupligráficas. p 60.
- Bernal, C. 2010. Metodología de la investigación, administración, economía, humanidades y ciencias sociales. 3. ed. Bogotá, COL. Pearson. p 305.
- Black, R; Adger, W; Arnell, N; Dercon, S; Geddes, A; Thomas, D. 2011. The effect of environmental change on human migration. *Global Environmental Change*. Vol 21. p 1-11.
- Cudennec, C; Leduc, C; Koutsoyiannis, D. 2007. Dryland hydrology in Mediterranean regions—a review. *Hydrological Sciences Journal*. Vol 52(6). p 1077-1087.
- Delgado, T. 2008. Evolución de la diversidad vegetal en Ecuador ante un escenario de cambio global. Memoria de Tesis Doctoral. Madrid: Departamento de Publicaciones. Universidad Complutense de Madrid. <http://www.kraken.unex.es>.
- Dibike, Y; Coulibaly, P. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of Hydrology*. Vol 307. p 145-163.
- Fernandez, M; Bucaram, S; y Renteria, W. 2015. Assessing local vulnerability to climate change in Ecuador. EC. SpringerPlus.
- Fowler, Blenkinsop S, Tebaldi C. 2007. Linking climate change modeling to impacts. (En línea). Consultado el 29 de Junio 2017. Formato en PDF. Disponible en www.condesan.org.
- García, J; López, I; Serrano, S; Lasanta, T; Beguería, S. Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth-Science Reviews*. Vol 105. p 121-139.
- Grillakis, M; Koutroulis, A; Tsanis, I. 2011. Climate change impact on the hydrology of Spencer Creek watershed in Southern Ontario, Canada. *Journal of Hydrology*. 409(1–2) 1-19.
- Herrán, C. 2012. El cambio climático y sus consecuencias para América Latina. (En línea). ARG. Consultado el 14 marzo 2017. Formato en PDF. Disponible en <http://www.bcr.com.ar>.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2010. Guía de procedimiento para la generación de escenarios de cambio climático regional y local a partir de los modelos globales. Bogotá.
- INAMHI. 2017. Series mensuales de precipitación y temperatura de la cuenca del río Portoviejo, período 2011 -2015. Quito - Ecuador.

- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2000. Informe especial del IPCC. Escenarios de Emisiones. Resumen para responsables de políticas. Grupo de Trabajo III. Consultado el 21 de Junio 2017. Formato en PDF. Disponible en www.redalyc.org.
- _____. 2001. Cambio Climático (2001): la base científica. Contribución del grupo de trabajo I al tercer informe de evaluación del IPCC, J. Houghton, Y. Ding, D. Griggs, M. Noguer, J. van del Linden y D. Xiaosu (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, New York. 93 p. Revista Mexicana de Biodiversidad 85: 179-188, 2014. Consultado el 17 de Junio 2017. Formato en PDF. Disponible en www.scielo.org.
- _____. 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris, FR. (En línea). Consultado el 21 de Junio 2017. Formato en PDF. Disponible en <http://www.slwvd.com>.
- _____. 2016. Emissions Scenarios. (En línea). Consultado el 26 de agosto 2017. Formato en PDF. Disponible en <http://www.ipcc.ch>.
- Kober, T. Summerton, P; Pollitt, H; Octaviano, C; McFarland, F; Beach, R; Calderon, S; Fisher-Vanden, K; y Loboguerrero, A. 2016. Macroeconomic impacts of climate change mitigation in Latin America: A cross-model comparison. Energy Economics. Vol 56. p 625-636.
- MAE y PNUD. 2009. Proyecto Adaptación al Cambio Climático a través de una Efectiva Gobernabilidad del Agua en el Ecuador (PACC).
- Manabe, S; Milly, P; Wetherald, R. 2009. Simulated long-term changes in river discharge and soil moisture due to global warming. Hydrological Sciences Journal. Vol 49(4). p 642.
- Matter. 2012. A National Strategy for Advancing Climate Modeling. Strategies for Developing Climate Models: Model Hierarchy, Resolution, and Complexity. Washington, EEUU. <https://www.nap.edu>.
- Moradkhani, H; Baird, R; y Wherry, S. 2010. "Assessment of climate change impact on floodplain and hydrologic ecotones." Journal of hydrology Vol 395(3). p 264-278.
- Moreira, G. 2015. Predicciones de precipitación y temperatura del modelo climático global HadCM3 para la cuenca hidrográfica del río Portoviejo. EC (En línea). Consultado el 26 de diciembre 2016. Disponible en: <http://repositorio.espam.edu.ec>.
- Mosquera, S; y Ahmad, S. 2007. Flood hazard assessment of Atrato River in Colombia. Water Resources Management. 21(3): 591–609,
- Nachmany, M; Fankhauser, S; Davidová, J; Kingsmill, N; Landesman, T; Roppongi, H; Schleifer, P; Setzer, J; Sharman, A; Singleton, S;

- Sundaresan, J; Townshend, T. 2015. The 2015 Global Climate Legislation Study. London, UK. School of Economics. (En línea). Consultado el 26 de Noviembre 2016. Formato en PDF. Disponible en <http://www.lse.ac.uk>.
- Nakicenovic, N. *et al.*, 2000. Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U.K. p 599.
- NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio). 2017. Global climate change: Sea Level. (En línea). USA. Formato HTML. Consultado el 08 de Enero 2017. Disponible en <https://climate.nasa.gov>.
- _____. 2007. GISS Atmosphere-Ocean Model. (En línea). Formato HTML. Consultado el 09 de Diciembre 2016. Disponible en <https://aom.giss.nasa.gov>.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2017. Climate models. (En línea). Formato HTML. Consultado el 17 de Junio 2017. Disponible en <https://www.climate.gov>.
- Nye, M. 2016. Climate change in Ecuador: Global Citizen Year Program. (En línea). Consultado el 21 de Junio 2017. Formato en HTML. Disponible en <https://www.globalcitizenyear.org>.
- O'Brien, K; Leichenko, R. 2000. Double exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization. *Glob. Environ. Change*. Vol 10 (3). p 221-232.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial) 2015. La Organización Meteorológica Mundial confirma que 2015 es el año más caluroso jamás registrado. (En línea). Consultado el 17 de Julio 2017. Formato HTML. Disponible en <https://www.wmo.int>.
- Pachauri, R; Jallow, B. 2007. Climate Change (2007): The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC Fourth Assessment Report. Presentation. Nairobi, 6 February 2007.
- Pinkse, J; Kolk, A. 2012. Multinational enterprises and climate change: Exploring institutional failures and embeddedness. *Journal of International Business Studies* 43(3):332-341,
- Puri, S; Stephen, H; Ahmad, S. 2011. Relating TRMM precipitation radar backscatter to water stage in wetlands. *Journal of Hydrology*. Vol 401. p 240-249.
- Ribalaygua, J. 2009. Escenarios de Clima Futuro. (En línea). Ávila, ESP. Consultado el 13 de may 2017. Formato PDF. Disponible en <http://www.adaptecca.es>.

- Rivadeneira, J. 2014. Evaluación del efecto del cambio climático bajo escenarios de emisiones SRES y RCP en la Demarcación Hidrográfica de Manabí – Ecuador. (En línea). Consultado 08 enero 2017. Formato PDF. Disponible en <https://riunet.upv.es>.
- Son, S; Polvani, L; Waugh, D; Akiyoshi, D; Garcia, R; Kinnison, D; Pawson⁶, S. Rozanov, E; Shepherd⁹, T; Shibata, K. 2008. The Impact of Stratospheric Ozone Recovery on the Southern Hemisphere Westerly Jet. *Revista científica Science*. Vol 320. p 1486-1489.
- Tabor, K; y Williams, J. 2010. Globally downscaled Climate projections for assessing the conservation impacts of climate change, *Ecological Applications*, 20(2): 554-565.
- Tebaldi, C; Hayhoe, K Arblaster, J; Meehl, G. 2006. Going to the Extremes: An Intercomparison of Model-Simulated Historical and Future Changes in Extreme Events. *Revista científica Climatic Change*. Vol 79. p 185–211.
- Union of Concerned Scientists. 2015. Dear Humans: Industry is Causing Global Warming, Not Your Activities. (En línea). Consultado el 18 de may 2017. Formato HTML. Disponible en <http://blog.ucsusa.org>.
- UNDP. 2007. Human development report 2007/2008: Fighting climate change: human solidarity in a divided world, Oxford University Press for UNDPUNDP (2007). Human development report 2007/2008: Fighting climate change: human solidarity in a divided world, Oxford University Press for UNDP.
- van Ruijven, B; Daenzer, K; Fisher-Vanden, T; Kober, S; Paltsev, R; Beach, S; Calderon, K; Calvin, S; Martinez, A; Kitous, A. The starting points: base-year assumptions and baseline projections for Latin America. *Revista científica Energy Economic*. Vol 56. p. 499-512.

ANEXOS

Anexo 1. Anomalías de precipitación mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2010-2039

MESES	GISS AOM 4x3	
	A1B (mm/mes)	B1 (mm/mes)
Enero	40,64489	31,64858
Febrero	20,75160	11,74744
Marzo	34,96945	39,12494
Abril	12,51990	23,87113
Mayo	7,18534	4,43660
Junio	9,21692	9,64468
Julio	17,41676	8,64111
Agosto	17,11710	15,68352
Septiembre	18,96655	8,64821
Octubre	28,02574	26,37204
Noviembre	41,63970	44,48961
Diciembre	36,89738	32,15972

Anexo 2. Anomalías de precipitación mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2040-2069

MESES	GISS AOM 4x3	
	A1B (mm/mes)	B1 (mm/mes)
Enero	72,90363	55,85008
Febrero	38,52801	31,88808
Marzo	56,04759	45,18323
Abril	34,89428	40,63764
Mayo	29,83781	26,74633
Junio	31,67217	25,68869
Julio	41,13141	31,63225
Agosto	34,23773	31,27170
Septiembre	43,02176	50,92321
Octubre	50,29180	65,03017
Noviembre	58,75364	55,77466
Diciembre	61,62791	57,88973

Anexo 3. Anomalías de precipitación mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2070-2099

MESES	GISS AOM 4x3	
	A1B (mm/mes)	B1 (mm/mes)
Enero	84,66690	56,80757
Febrero	37,57571	53,12771
Marzo	67,42233	55,14376
Abril	52,27520	31,91892
Mayo	40,22836	39,39607
Junio	45,19048	26,52912
Julio	43,20501	44,99893
Agosto	58,15178	56,89129
Septiembre	59,47266	48,07693
Octubre	69,15300	41,25764
Noviembre	90,77754	74,06640
Diciembre	91,72699	67,83057

Anexo 4. Anomalías de temperatura mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2010-2039

MESES	GISS AOM 4x3	
	A1B (°C/mes)	B1 (°C/mes)
Enero	0,744	0,634
Febrero	0,625	0,516
Marzo	0,656	0,629
Abril	0,521	0,530
Mayo	0,544	0,505
Junio	0,528	0,462
Julio	0,666	0,550
Agosto	0,680	0,540
Septiembre	0,620	0,523
Octubre	0,685	0,608
Noviembre	0,681	0,605
Diciembre	0,731	0,647

Anexo 5. Anomalías de temperatura mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2040-2069

MESES	GISS AOM 4x3	
	A1B (°C/mes)	B1 (°C/mes)
Enero	1,420	1,136
Febrero	1,223	1,040
Marzo	1,324	1,057
Abril	1,127	0,975
Mayo	1,197	0,929
Junio	1,249	0,974
Julio	1,325	1,097
Agosto	1,239	0,944
Septiembre	1,250	0,992
Octubre	1,399	1,091
Noviembre	1,434	1,126
Diciembre	1,369	1,108

Anexo 6. Anomalías de temperatura mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2070-2099

MESES	GISS AOM 4x3	
	A1B (°C/mes)	B1 (°C/mes)
Enero	1,937	1,357
Febrero	1,742	1,274
Marzo	1,773	1,315
Abril	1,652	1,201
Mayo	1,695	1,245
Junio	1,825	1,309
Julio	1,937	1,345
Agosto	1,815	1,224
Septiembre	1,773	1,261
Octubre	1,868	1,355
Noviembre	1,902	1,436
Diciembre	1,980	1,449

Anexo 7. Simulación de precipitación mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2010-2039

MESES	GISS AOM 4x3	
	A1B (mm/mes)	A1B (mm/mes)
Enero	179,24114	170,24483
Febrero	222,88783	213,88367
Marzo	223,25437	227,40986
Abril	144,01026	155,36148
Mayo	66,45017	63,70143
Junio	39,10359	39,53134
Julio	30,30141	21,52575
Agosto	23,39850	21,96491
Septiembre	26,53275	16,21442
Octubre	34,59097	32,93727
Noviembre	52,13724	54,98715
Diciembre	74,64838	69,91072

Anexo 8. Simulación de precipitación mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2040-2069

MESES	GISS AOM 4x3	
	A1B (mm/mes)	A1B (mm/mes)
Enero	211,49988	194,44633
Febrero	240,66424	234,02431
Marzo	244,33251	233,46814
Abril	166,38464	172,12799
Mayo	89,10264	86,01116
Junio	61,55883	55,57536
Julio	54,01606	44,51690
Agosto	40,51912	37,55310
Septiembre	50,58797	58,48942
Octubre	56,85703	71,59540
Noviembre	69,25118	66,27220
Diciembre	99,37891	95,64073

Anexo 9. Simulación de precipitación mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2070-2099

MESES	GISS AOM 4x3	
	A1B (mm/mes)	A1B (mm/mes)
Enero	223,26315	195,40382
Febrero	239,71193	255,26393
Marzo	255,70724	243,42868
Abril	183,76555	163,40928
Mayo	99,49319	98,66090
Junio	75,07715	56,41579
Julio	56,08966	57,88358
Agosto	64,43318	63,17269
Septiembre	67,03887	55,64314
Octubre	75,71823	47,82287
Noviembre	101,27508	84,56394
Diciembre	129,47799	105,58157

Anexo 10. Simulación de temperatura mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2010-2039

MESES	GISS AOM 4x3	
	A1B (°C/mes)	B1 (°C/mes)
Enero	26,706	26,596
Febrero	26,729	26,621
Marzo	27,113	27,085
Abril	27,011	27,020
Mayo	26,502	26,464
Junio	25,641	25,575
Julio	25,306	25,191
Agosto	25,175	25,036
Septiembre	25,226	25,130
Octubre	25,488	25,411
Noviembre	25,711	25,635
Diciembre	26,338	26,254

Anexo 11. Simulación de temperatura mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2040-2069

MESES	GISS AOM 4x3	
	A1B (°C/mes)	B1 (°C/mes)
Enero	27,382	27,098
Febrero	27,328	27,145
Marzo	27,780	27,514
Abril	27,618	27,466
Mayo	27,156	26,887
Junio	26,361	26,087
Julio	25,966	25,738
Agosto	25,734	25,440
Septiembre	25,856	25,599
Octubre	26,202	25,894
Noviembre	26,464	26,156
Diciembre	26,976	26,716

Anexo 12. Simulación de temperatura mensual del modelo GISS AOM 4x3 para el periodo 2070-2099

MESES	GISS AOM 4x3	
	A1B (°C/mes)	B1 (°C/mes)
Enero	27,898	27,319
Febrero	27,846	27,378
Marzo	28,229	27,771
Abril	28,143	27,692
Mayo	27,654	27,203
Junio	26,938	26,422
Julio	26,578	25,986
Agosto	26,311	25,720
Septiembre	26,380	25,868
Octubre	26,671	26,158
Noviembre	26,932	26,466
Diciembre	27,588	27,056

Anexo 13. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HAD CM3 para el periodo 2010-2039

Meses	Período observado real	2010-2039 A1B		2010-2039 B1	
		GISS AOM 4x3 (mm/mes)	HAD CM3 (mm/mes)	GISS AOM 4x3 (mm/mes)	HAD CM3 (mm/mes)
Enero	138,596	179,241	188,321	170,245	185,515
Febrero	202,136	222,888	274,683	213,884	247,585
Marzo	188,285	223,254	220,739	227,410	188,888
Abril	131,490	144,010	166,414	155,361	126,022
Mayo	59,265	66,450	63,833	63,701	59,869
Junio	29,887	39,104	56,910	39,531	40,477
Julio	12,885	30,301	34,204	21,526	27,017
Agosto	6,281	23,398	35,395	21,965	32,826
Septiembre	7,566	26,533	32,215	16,214	18,371
Octubre	6,565	34,591	5,928	32,937	17,500
Noviembre	10,498	52,137	-0,093	54,987	38,735
Diciembre	37,751	74,648	52,812	69,911	56,202

Anexo 14. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HAD CM3 para el periodo 2040-2069

Meses	Período observado real	2040-2069 A1B		2040-2069 B1	
		GISS AOM 4x3 (mm/mes)	HAD CM3 (mm/mes)	GISS AOM 4x3 (mm/mes)	HAD CM3 (mm/mes)
Enero	138,596	211,500	193,907	194,446	195,398
Febrero	202,136	240,664	268,736	234,024	299,896
Marzo	188,285	244,333	234,932	233,468	246,529
Abril	131,490	166,385	198,621	172,128	176,786
Mayo	59,265	89,103	106,213	86,011	85,036
Junio	29,887	61,559	94,520	55,575	63,706
Julio	12,885	54,016	81,475	44,517	47,707
Agosto	6,281	40,519	82,373	37,553	66,177
Septiembre	7,566	50,588	55,452	58,489	59,695
Octubre	6,565	56,857	48,983	71,595	26,840
Noviembre	10,498	69,251	37,984	66,272	39,975
Diciembre	37,751	99,379	41,991	95,641	61,689

Anexo 15. Contraste de los resultados de precipitación obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HAD CM3 para el periodo 2070-2099

Meses	Período observado real	2070-2099 A1B		2070-2099 B1	
		GISS AOM 4x3 (mm/mes)	HAD CM3 (mm/mes)	GISS AOM 4x3 (mm/mes)	HAD CM3 (mm/mes)
Enero	138,596	223,263	271,990	195,404	216,315
Febrero	202,136	239,712	356,321	255,264	306,009
Marzo	188,285	255,707	310,420	243,429	257,176
Abril	131,490	183,766	189,349	163,409	197,651
Mayo	59,265	99,493	125,716	98,661	105,348
Junio	29,887	75,077	124,765	56,416	87,477
Julio	12,885	56,090	123,749	57,884	73,529
Agosto	6,281	64,433	143,668	63,173	85,404
Septiembre	7,566	67,039	87,705	55,643	62,460
Octubre	6,565	75,718	73,952	47,823	44,274
Noviembre	10,498	101,275	109,004	84,564	48,632
Diciembre	37,751	129,478	135,312	105,582	63,032

Anexo 16. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HAD CM3 para el periodo 2010-2039

Meses	Período observado real	2010-2039 A1B		2010-2039 B1	
		GISS AOM 4x3 (°C/mes)	HAD CM3 (°C/mes)	GISS AOM 4x3 (°C/mes)	HAD CM3 (°C/mes)
Enero	25,962	26,706	27,300	26,596	26,821
Febrero	26,104	26,729	27,475	26,621	27,084
Marzo	26,456	27,113	27,494	27,085	27,207
Abril	26,491	27,011	27,328	27,020	27,187
Mayo	25,958	26,502	26,799	26,464	26,672
Junio	25,113	25,641	25,985	25,575	25,782
Julio	24,641	25,306	25,716	25,191	25,704
Agosto	24,496	25,175	25,757	25,036	25,561
Septiembre	24,607	25,226	26,002	25,130	25,634
Octubre	24,803	25,488	26,098	25,411	25,913
Noviembre	25,030	25,711	26,243	25,635	25,966
Diciembre	25,608	26,338	26,742	26,254	26,409

Anexo 17. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HAD CM3 para el periodo 2040-2069

Meses	Período observado real	2040-2069 A1B		2040-2069 B1	
		GISS AOM 4x3 (°C/mes)	HAD CM3 (°C/mes)	GISS AOM 4x3 (°C/mes)	HAD CM3 (°C/mes)
Enero	25,962	27,382	28,087	27,098	27,947
Febrero	26,104	27,328	28,259	27,145	28,173
Marzo	26,456	27,780	28,401	27,514	28,160
Abril	26,491	27,618	28,136	27,466	27,780
Mayo	25,958	27,156	27,296	26,887	27,051
Junio	25,113	26,361	26,638	26,087	26,423
Julio	24,641	25,966	26,671	25,738	26,527
Agosto	24,496	25,734	26,750	25,440	26,490
Septiembre	24,607	25,856	26,961	25,599	26,722
Octubre	24,803	26,202	27,561	25,894	27,086
Noviembre	25,030	26,464	27,585	26,156	27,188
Diciembre	25,608	26,976	27,626	26,716	27,481

Anexo 18. Contraste de los resultados de temperatura obtenidos en los modelos climatológicos GISS AOM 4x3 y HAD CM3 para el periodo 2070-2099

Meses	Período observado real	2070-2099 A1B		2070-2099 B1	
		GISS AOM 4x3 (°C/mes)	HAD CM3 (°C/mes)	GISS AOM 4x3 (°C/mes)	HAD CM3 (°C/mes)
Enero	25,962	27,898	29,686	27,319	28,537
Febrero	26,104	27,846	29,727	27,378	28,608
Marzo	26,456	28,229	29,464	27,771	28,545
Abril	26,491	28,143	29,058	27,692	28,298
Mayo	25,958	27,654	28,169	27,203	27,585
Junio	25,113	26,938	27,567	26,422	26,970
Julio	24,641	26,578	27,766	25,986	27,010
Agosto	24,496	26,311	28,008	25,720	27,008
Septiembre	24,607	26,380	28,214	25,868	27,079
Octubre	24,803	26,671	28,994	26,158	27,787
Noviembre	25,030	26,932	29,274	26,466	27,834
Diciembre	25,608	27,588	29,282	27,056	27,975

Anexo 19. Datos obtenidos de las precipitaciones y temperaturas registradas en el periodo 2011-2015

Meses	2011-2015	
	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
Enero	2,83	25,03
Febrero	0,60	26,00
Marzo	15,60	25,85
Abril	108,75	26,18
Mayo	147,58	26,63
Junio	180,98	26,5
Julio	81,15	26,35
Agosto	37,78	25,80
Septiembre	10,88	25,05
Octubre	1,90	24,8
Noviembre	0,13	25,23
Diciembre	0,58	24,78