



**ANALISIS DE VULNERABILIDAD Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMATICO EN LAS
REGIONES SEMIARIDAS DE COLOMBIA**

LICETTE TATIANA KOOP SANTA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

BUCARAMANGA,

2011



**ANALISIS DE VULNERABILIDAD Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMATICO EN LAS
REGIONES SEMIARIDAS DE COLOMBIA**

LICETTE TATIANA KOOP SANTA

Director

LUIS FERNANDO SALAZAR

Ingeniero civil, M.Sc. PhD

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA,**

2011

Gracias papito Dios por permitirme realizarme como profesional y acompañarme durante todo el camino, todo te lo debo a ti.

Estoy realmente agradecida con mi familia quienes me han brindado su apoyo incondicional en todas las circunstancias de mi vida y acompañado siempre; especialmente a mi querida madre Zorayda Santa que con su amor, paciencia y dedicación me ha brindado todo su apoyo; mi padre Juan Carlos Koop; desde la distancia me ha brindado alientos para seguir adelante y mis queridos hermano Carlos, Alex, Nathaly y Constanza que nunca han dejado de apoyarme. Especialmente agradecida con mi querida tía Rosa Santa, por su ayuda y apoyo siempre desde principio a fin en esta etapa de mi vida.

A mis queridos compañeros y amigos que me acompañaron durante este largo proceso y a mis profesores gracias por su entrega a esta gran labor de enseñar.

Contenido

INTRODUCCION	12
OBJETIVOS	15
Objetivo general	15
Objetivos específicos.....	15
1. GENERALIDADES.....	16
1.1. CAMBIO CLIMATICO	16
1.2. SISTEMA CLIMÁTICO	16
1.3. FENOMENOS QUE AFECTAN EL CLIMA EN EL MUNDO	17
1.3.1. EFECTO INVERNADERO	17
1.3.1.1. FORZAMIENTO DEL EFECTO INVERNADERO	19
1.3.2. FENOMENO DEL NIÑO – NIÑA (ENOS).....	19
1.4. CAMBIO CLIMATICO EN EL MUNDO	21
1.5. CAMBIO CLIMATICO EN COLOMBIA	23
1.6. LOCALIZACION DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA	29
1.6.1. INDICES CLIMATICOS.....	30
1.6.2. Índice de aridez	30
1.7 ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS DE COLOMBIA.....	31
1.7.1 LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS DECOLOMBIA..	34
2. DATOS Y METODOLOGIA.....	45
2.1. MODELOS CLIMATICOS REGIONALES	45
2.2. MODELOS REGIONALES Y CLIMATOLOGIA UTILIZADA	46
2.2.1. Modelo ETA	46
2.2.2. Modelo PRECIS	47
2.2.3. Modelo RegCM3	50
3. ANALISIS Y RESULTADOS	52
CONCLUSIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Componentes del sistema climático (OMM)	17
Figura 2: Representación gráfica del Efecto invernadero natural.	18
Figura 3: Evolución del área glaciar de los seis nevados existentes en Colombia.	28
Figura 4: Cañón del chicamocha-AUTOR: Claudia Londoño	35
Figura 5: Zonas aridas y semiaridas de colombia	37
Figura 6: Zonas aridas y semiaridas de la región del caribe	38
Figura 7: Zonas aridas y semiaridas de la región del caribe	39
Figura 8: Zonas aridas y semiaridas de la región andina.....	40
Figura 9: Zonas aridas y semiaridas de la región andina.....	41
Figura 10: proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.	52
Figura 11: Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.	53
Figura 12: Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.	54
Figura 13: Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.	55
Figura 14:Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.	56
Figura 15: proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.	58
Figura 16: proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.	59
Figura 17: proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.	61
Figura 18 : proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.	62
Figura 19: proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.	64



Figura 20: proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2. 66

Figura 21: proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2. 67

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: INDICES DE DESERTIFICACIÓN.....	13
Tabla 2: Tendencias dela precipitación en los páramos.....	24
Tabla 3: Tendencias de la temperatura en diferentes pisos térmicos	25
Tabla 4: EVOLUCIÓN DEL ÁREA GLACIAR DE LOS NEVADOS EXISTENTES DE COLOMBIA 2010	28
Tabla 5: INDICE DE ARIDEZ.....	31
Tabla 6: ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS DE COLOMBIA.....	36
Tabla 7: ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS EN COLOMBIA.....	42
Tabla 8: REPRESENTATIVIDAD DE LECOSISTEMA DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE COLOMBIA	44

RESUMEN

TITULO: ANALISIS DE VULNERABILIDAD Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMATICO EN LAS REGIONES SEMIARIDAS DE COLOMBIA.*

AUTOR: KOOP SANTA, Licette Tatiana.**

PALABRAS CLAVES: Precipitación, temperatura, cambio climático, zonas semiáridas de Colombia.

DESCRIPCION

Debido a que el clima se relaciona generalmente con las condiciones predominantes en la atmósfera, éste se describe a partir de variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación, denominados elementos climáticos; que se ven afectados por los cambios en el clima y afectan gran parte las regiones del país.

El presente trabajo muestra un estudio sobre la ubicación de las zonas áridas y semiáridas de Colombia y su vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático. Acorde a esto, este trabajo tiene como objetivo analizar los modelos regionales y tener una aproximación de las proyecciones futuras en la precipitación y temperatura. Para esta evaluación del cambio climático futuro (2071 – 2100) se utilizaron tres modelos climáticos regionales (ETA, Precis y RegCM3) y se analizaron las variables de precipitación y temperatura. Inicialmente, se validó el clima presente (1961-1990) de estos tres modelos, en relación a la climatología observada y posteriormente se analizaron sus proyecciones futuras (2071-2100). De acuerdo a las proyecciones realizadas se observa disminución en las precipitaciones lo que generaría un incremento en el índice de aridez en las zonas de estudio y un incremento en la temperatura.

Analizando las proyecciones regionales de cambio climático para las regiones áridas y semiáridas de Colombia se observa disminución en las precipitaciones lo que generaría un incremento en el índice de aridez en estas zonas y se verían dispuestas a empeorar su situación.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Físico- mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Ing. Luis Fernando Salazar.



ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF VULNERABILITY AND IMPACT OF CLIMATE CHANGE IN THE SEMIARID REGIONS OF COLOMBIA.*

AUTHOR: KOOP SANTA, Licette Tatiana.**

KEY WORDS: Precipitation, temperature, climate change, semiarid regions of Colombia.

DESCRIPTION

Because the climate is generally related to the prevailing conditions in the atmosphere, it is described from atmospheric variables like temperature and precipitation, know climatic elements, which are affected by changes in climate and affect much of the country.

This paper presents a study about the location of arid and semi-arid zones of Colombia and their vulnerability to climate change effects. Based on this, the main objective of this work is performing regional models analysis to obtain an approximation of future projections of raining and temperature regimes. For a proper evaluation of the future climate change it has been used three regional climate models (ETA, Precis and RegCM3) and it has been analyzed rain and temperature as parameters. In first place, it has been validated the present climate (1961-1990) by these three models, upon relation to observed climate and future projections (2071-2100) have been analyzed.

According to performed projections it detects a diminishing of rains which would generate a raising of dryness index in zones under study and temperature increment.

Regional projections of climate change to semi-arid regions were analyzed in which a decrease in rainfall which would generate an increase in the index of aridity in these areas and would be willing to worsen their situation.

* Degree work to opt the Civil Engineer's degree.

** Physical- Mechanical Sciences Faculty. Civil Engineering School. Director: Eng. Luis Fernando Salazar.

INTRODUCCION

El clima actual se puede caracterizar a través de términos estadísticos tales con la media, la frecuencia relativa, la probabilidad de valores extremos del estado de la atmosfera o de los elementos climáticos en una determinada área.

Debido a que el clima se relaciona generalmente con las condiciones predominantes en la atmósfera, éste se describe a partir de variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación, denominados elementos climáticos; que se ven afectados por los cambios en el clima y afectan gran parte las regiones del país.

Existen zonas áridas y semiáridas que tiene mayor predisposición a los efectos del cambio climático y las consecuencias a estos efectos podrían afectar a la población.

La convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (1994), define el proceso como: la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores como las variaciones climáticas y las actividades humanas. Las causas de la desertificación están asociadas con el clima, la pobreza, el uso de tecnologías no adecuadas y la escasez de alimentos entre otras.

Para la determinación de las zonas secas del país se consideraron indicadores climáticos como el índice de aridez de la Unesco(1997), donde la proporción entre la precipitación anual y la evapotranspiración potencial está comprendida entre 0,02 y 0,75; indicadores bióticos como las coberturas vegetales xerofíticas e indicadores edáficos como los suelos con deficiencia de humedad(ústicos y arídicos).

Algunos trabajos realizados anteriormente hicieron el cálculo de la relación: $P/EVTP$ (precipitación / Evapotranspiración potencial), y se adelantaron en la

Representación cartográfica para cada mes. Adicionalmente, realizaron un conteo por estación de los meses que presentan un índice de aridez menor de 0,75; con lo cual se generó un mapa de la temporalidad de las zonas con escasez. En este orden de ideas, fueron identificadas las zonas que por clima, suelos, cobertura de la tierra y ecosistemas, presentan características de ambientes secos y que, además, tienen evidencias de degradación por erosión y salinización. Según tales áreas al ser evaluadas y calificadas en función de la vulnerabilidad al cambio climático y su estado de degradación, se tiene que aproximadamente 24% del territorio nacional es vulnerable a desertificarse y 14% está degradado en diferente intensidad.

Considerando el Índice de la Convención de la Naciones Unidas de lucha contra la desertificación y la sequía, como la relación entre la precipitación total y la evapotranspiración potencial entre 0.05 y 0.65.

Un estudio realizado por el Ministerio del Medio Ambiente el cual tomó un muestreo de 1409 estaciones climáticas a las cuales se les determinó el Índice de desertificación.

Los departamentos que presentan más marcado el índice de desertificación son en su orden:

Tabla 1: INDICES DE DESERTIFICACIÓN		
DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	P/ETP
La Guajira	Uribía	0.17
Magdalena	Santa Marta	0.29
Atlántico	Barranquilla	0.38
Bolívar	Cartagena	0.48
Norte de Santander	Cúcuta	0.51
Santander	Cepitá	0.53
Cundinamarca		0.54
Huila	Baraya	0.60
Sucre	San Pedro	0.61
Cesar	Valledupar	0.61

Valle	Cali	0.65
Boyacá	Villa de Leiva	0.65

En el Segundo Informe de Implementación se entregó un diagnóstico preliminar del estado de la degradación de tierras y desertificación en Colombia. La información con la que se cuenta actualmente deriva de los estudios realizados por el IDEAM en el 2003, en los cuales se identificó la extensión de las zonas secas (áridas, semiáridas y subhúmedas secas) y de las zonas con procesos de desertificación a nivel nacional.

En este proyecto se desea realizar un análisis de vulnerabilidad utilizando modelos climáticos regionales sobre el impacto del cambio climático en las zonas áridas y semiáridas del país en los próximos años para que estas regiones puedan adaptarse a estos cambios.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar proyecciones de cambio climático y vulnerabilidad de las diferentes regiones semiáridas de Colombia.

Objetivos específicos

- Identificar las regiones semiáridas de Colombia.
- Analizar las proyecciones regionales de cambio climático para estas regiones semiáridas de Colombia.
- Analizar la vulnerabilidad climática o tendencia a la aridez de las regiones semiáridas de Colombia, a partir de la información de modelos climáticos.
- Discutir acerca de los posibles efectos de la aridización de estas zonas en términos sociales y económicos.

1. GENERALIDADES

1.1. CAMBIO CLIMATICO

Los registros históricos y geológicos muestran claramente las variaciones del clima en una amplia gama en la escala temporal. En la escala pequeña, de unos cuantos meses, las variaciones están representadas por sucesiones de periodos secos y lluviosos a lo largo del año. En cuanto a las escalas largas, como de varios siglos, están determinadas por eras glaciares e interglaciares (por ejemplo, La Pequeña Edad de Hielo, correspondiente a un período frío desde comienzos del siglo XIV hasta mediados del XIX, fue seguida por un período más cálido y es el que rige en nuestro días).

Aunque básicamente las variables climáticas se relacionan con la atmósfera, los procesos atmosféricos predominantes en un lugar o región están relacionados con la superficie terrestre, incluidas las cortezas continental y oceánica y parte del manto superior (litosfera), los océanos, mares interiores, ríos y aguas subterráneas (hidrosfera) y la zona terrestre cubierta por hielo (criósfera). Así mismo existe una estrecha relación de dichos procesos con la vegetación y otros sistemas vivos tanto del continente como del océano (biosfera y antropósfera).

1.2. SISTEMA CLIMÁTICO

El sistema climático es un sistema integrado por cinco grandes componentes: atmósfera, hidrosfera (océanos y mares), litosfera (superficie terrestre continental e insular), criósfera (hielo marino, cubierta de nieve estacional, glaciares de montaña y capas de hielo a escala continental) y la biosfera (vida vegetal y animal, incluida la humana), y las interacciones entre ellos. El sistema climático evoluciona con el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna y debido a forzamientos externos como las erupciones volcánicas, las

variaciones solares y los forzamientos inducidos por el ser humano, como los cambios en la composición de la atmósfera y los cambios en el uso de la tierra.

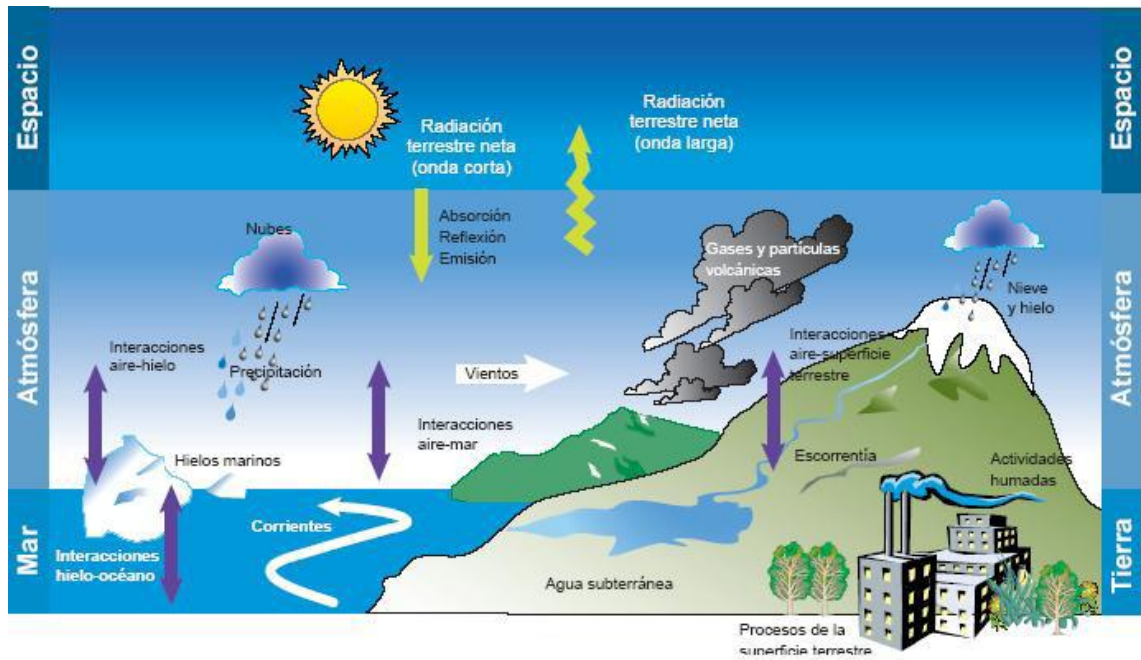


Figura 1: Componentes del sistema climático (OMM)

1.3. FENOMENOS QUE AFECTAN EL CLIMA EN EL MUNDO

1.3.1. EFECTO INVERNADERO

La absorción de energía por un determinado gas tiene lugar cuando la frecuencia de la radiación electromagnética es similar a la frecuencia vibracional molecular del gas. Cuando un gas absorbe energía, esta se transforma en movimiento molecular interno que produce un aumento de temperatura.

La absorción de radiación infrarroja procedente de la Tierra es importante en el balance energético de la atmósfera. Esta absorción por los gases traza, calienta la atmósfera, estimulándolos a emitir radiación de onda más larga.

Parte de esta radiación es liberada al espacio y otra parte es irradiada nuevamente a la superficie de la Tierra (ver Figura 2). Las dos terceras partes de la energía radiante atmosférica son directamente devueltas a la superficie, suministrando una fuente de energía adicional a la radiación solar directa. El efecto neto de este fenómeno permite que la Tierra almacene más energía cerca de su superficie que la cantidad que podría almacenar si la Tierra no tuviera atmósfera, consecuentemente, la temperatura media es más alta, del orden de 15°C. Este proceso es conocido como el **efecto de invernadero natural**. Sin el efecto invernadero la temperatura promedio en la superficie sería aproximadamente de 18°C bajo cero y la vida en el planeta no sería posible.



Fuente: UNEP –GRID-Arendal.

Figura 2: Representación gráfica del Efecto invernadero natural.

1.3.1.1. FORZAMIENTO DEL EFECTO INVERNADERO

Algunos gases emitidos por actividades humanas (denominados Gases de Efecto Invernadero - GEI) como el dióxido de carbono, el óxido nitroso, el metano, algunos halocarbonos (como los CFCs, HCFCs, HFCs y los PFCs), así como el ozono troposférico (el cual se forma a partir del monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y otros compuestos orgánicos volátiles), son buenos absorbentes de la radiación infrarroja y específicamente los halocarbonos porque muchos de ellos absorben energía en la región de longitudes de onda donde la energía no es absorbida por el dióxido de carbono ni el vapor de agua (región denominada como ventana atmosférica).

Cambios en la concentración atmosférica de los GEI y aerosoles, en la radiación solar y en las propiedades superficiales del suelo afectan la absorción, dispersión y emisión de la radiación dentro de la atmósfera y en la superficie de la tierra. Los resultados positivos o negativos en el balance energético debido a estos factores son expresados como forzamiento radiactivo, el cual es usado para comparar la influencia del calentamiento o el enfriamiento sobre el sistema climático.

1.3.2. FENOMENO DEL NIÑO – NIÑA (ENOS)

En Colombia las emergencias y desastres hidrometeorológicos guardan relación con la distribución de los periodos de lluvia, es decir, siguen el patrón de precipitaciones en cada región. También se ha identificado que se presentan variaciones en la distribución espacio temporal de las lluvias, las cuales están relacionadas con el ciclo climático conocido como ENOS (El Niño-Oscilación del Sur).

Los periodos El Niño corresponden a fases cuando la temperatura del océano Pacífico Oriental se incrementa respecto al promedio. Esto afecta la

distribución de la precipitación con mayores lluvias en la parte sur del Pacífico colombiano y el piedemonte oriental de la cordillera Oriental y menores en la región Andina y el Caribe, mientras La Niña corresponde a un enfriamiento severo teniendo en cuenta la misma media, que se refleja en condiciones contrarias a las de El Niño.

Con base en los reportes de desastres del OSSO, y de la Dirección General para la Prevención y Atención de Desastres (DGPAD), entre los años 1950 y 2007 se estableció que los desastres asociados con las lluvias tienen un incremento del 16,1% en relación con las condiciones normales durante los meses en los cuales se presenta el fenómeno de la Niña, mientras que durante el fenómeno El Niño presentan en promedio una disminución de 33,5%.

De igual forma, los reportes de desastres asociados con la sequía presentan un incremento del 216% durante los periodos El Niño y una reducción de 99,6% durante los periodos La Niña. En general, se puede concluir que históricamente un alto porcentaje de episodios relacionados con bajas precipitaciones, en especial en las regiones Andina, Caribe y Orinoquia, están asociadas con el fenómeno cálido del Pacífico (El Niño), y han impactado de diversas formas la producción agrícola, ganadera, la generación de energía eléctrica, la salud y el abasto de agua a ciudades y comunidades rurales.

Obviamente, cada evento tiene sus particularidades, efectos e impactos, y un evento específico presenta características específicas y diferentes con respecto a otros. También se ha identificado que durante años La Niña se incrementa las precipitaciones en estas mismas regiones, trayendo como consecuencia un aumento en los reportes de procesos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones.

1.4. CAMBIO CLIMATICO EN EL MUNDO

El calentamiento del sistema climático es evidenciado principalmente en los incrementos en la temperatura promedio global del aire y el océano, el derretimiento de la nieve glacial y el hielo en los polos y el aumento en el nivel del mar.

Según el cuarto informe del IPCC (2007) se tienen las siguientes evidencias al respecto:

- Once de los últimos doce años (1995 a 2006) se encuentran entre los doce años más calurosos en los registros instrumentales de la temperatura superficial mundial (desde 1850). La tendencia lineal de 100 años actualizada (1906 a 2005) de $0,74^{\circ}\text{C}$ [$0,56^{\circ}\text{C}$ a $0,92^{\circ}\text{C}$] es, por lo tanto, mayor que la tendencia correspondiente de 1901 a 2000 de $0,6^{\circ}\text{C}$ [$0,4^{\circ}\text{C}$ a $0,8^{\circ}\text{C}$] presentada en el Tercer Informe de Evaluación (TIE). La tendencia lineal del calentamiento de los últimos 50 años ($0,13^{\circ}\text{C}$ [$0,10^{\circ}\text{C}$ a $0,16^{\circ}\text{C}$] por decenio) casi duplica la de los últimos 100 años. Además, los efectos de islas de calor urbanas son reales pero locales, y ejercen una influencia no significativa (menos de $0,006^{\circ}\text{C}$ por decenio en la tierra y cero en los océanos) en estos valores. Otra señal importante de cambio en el clima global es que el decenio de 1990 ha sido considerado como el periodo más cálido y 1998 el año más caluroso, de acuerdo con los registros instrumentales (1850 a 2005).
- Varios de los incrementos observados en la temperatura promedio global desde la mitad del siglo XX, son debidos muy probablemente, al incremento observado en las concentraciones de los gases de efecto invernadero. La influencia humana ahora se extiende a otros aspectos del clima, como en las temperaturas extremas (máxima y mínima), regímenes de vientos y en el calentamiento mayor en los continentes que sobre el océano.

- Se estima que se podrían presentar aumentos entre 89 y 879 mm, con un valor central de 480 mm, para el periodo 1990 a 2100 (IPCC, 2001). Dentro del documento resumen para responsables de políticas (IPCC, 2007), se enuncia que el nivel medio del mar en el mundo se elevó a un ritmo medio de 1,8 (1,3 a 2,3) mm anual es desde 1961 a 2003. El ritmo fue más acelerado entre 1993-2003, aproximadamente 3.1 mm (2,4 a 3,8) por año.
- Tales aumentos se asocian principalmente en la expansión térmica del océano (con un aporte de 1,6 mm por año) y, en segunda medida, con el derretimiento de capas de hielo y glaciares (con el 0,77 mm por año). El aumento total en el nivel del mar observado en el siglo XX fue de 17 cm.
- La disminución observada de las extensiones de nieve y de hielo concuerda también con el calentamiento. Datos satelitales obtenidos desde 1978, indican que el promedio anual de la extensión de los hielos marinos árticos ha disminuido en un 2,7% (entre 2,1 y 3,3%) por decenio, con disminuciones estivales aún más acentuadas, de 7,4% (entre 5,0 y 9,8) por decenio. En promedio, los glaciares de montaña y la cubierta de nieve han disminuido en ambos hemisferios.
- Las observaciones evidencian un aumento de la actividad ciclónica tropical intensa en el Atlántico Norte aproximadamente desde 1970, con escasa evidencia de aumentos en otras regiones. No se aprecia una tendencia clara del número anual de ciclones tropicales. Es difícil identificar tendencias a más largo plazo de la actividad ciclónica, particularmente antes de 1970.

Otras fuentes internacionales (Center for Climate System Research at the University of Tokyo, 2005), estiman ascensos del nivel del mar para el 2100 del orden de 305 mm para escenarios de emisión de 550 ppm y de 381 mm para escenarios de 720 ppm, con incrementos de temperatura de 4,0°C.

1.5. CAMBIO CLIMATICO EN COLOMBIA

Estudios realizados en el territorio nacional por el Ideam, basados en el análisis de las series históricas de la precipitación acumulada diaria y de los extremos diarios de temperatura (mínimas y máximas), utilizando el Rclimde (programa estadístico desarrollado por la el Centro Nacional de Datos Climáticos de la NOAA de los Estados Unidos), calcula índices de extremos climáticos para monitorear y detectar cambios climáticos. También se analizaron las series de la temperatura media a través del cálculo de las tendencias. Con estos estudios se ha identificado un comportamiento uniforme del incremento de la temperatura, mientras que las lluvias muestran disminuciones en unos sitios y aumentos en otros, lo cual está ligado en gran parte a la variabilidad topográfica del país y a la exposición que tienen las diferentes regiones a las corrientes de aire cargadas de humedad.

Según un análisis realizado por el Ideam con alrededor de 600 estaciones para el país, usando la serie comprendida entre 1971 a 2000, se encontró para la lluvia una tendencia lineal negativa, la cual se traduce en una reducción de las precipitaciones en amplios sectores de la zona Andina, sur de la región Pacífica y Piedemonte Llanero de la Orinoquia. Asimismo, se obtuvo una tendencia lineal positiva que se refleja en el incremento de las precipitaciones de la Zona Caribe, resto de la zona Pacífica y la Amazonia Colombiana (Ruiz, 2009).

Al examinar la información del indicador Prctot (precipitación total anual), generado por dicho programa, se encontró que en las estaciones de páramo (entre los 3000 y 4200 m) y cercanas a este piso térmico, hay una tendencia

hacia la disminución de las precipitaciones anuales (Benavides, 2009), véase la Tabla 2.

Tabla 2: Tendencias de la precipitación en los páramos

PISO TÉRMICO PÁRAMO		
Nombre Estación	Elevación	Tendencia (mm/año)
Las Brisas (Villa María, Caldas)	4.141	-2,8
Sierra Nevada (Guicán, Boyacá)	3.716	-13,6
El Cardón (Socotá, Boyacá)	3.590	-10,6
El Paraíso (Tuquerres, Nariño)	3.120	-0,6
Cusagui (La Uvita, Boyacá)	2.950	-3,9
Granja San Jorge (Soacha, Cundinamarca)	2.900	-1,5

Fuente: Benavides 2009

En los páramos también se encontró una tendencia a la disminución de eventos extremos de lluvia (asociados con aguaceros), contrario con lo evidenciado en los otros pisos térmicos, en donde, sin importar si la precipitación total anual disminuye o aumenta, en la mayoría de las estaciones de los pisos térmicos cálido (0 a 1.000 msnm), templado (1.001 a 2.000 m) y frío (2.001 a 3.000 m), se encontró una tendencia al aumento de las precipitaciones con alta intensidad (Benavides et al., 2007). Esto se encuentra acorde con lo publicado en el Cuarto Informe de IPCC (2007), que concluye que los eventos extremos de lluvias están aumentando.

Al analizar las tendencias de las series históricas de la temperatura máxima, media y mínima del día, registradas desde mediados de la década de los setenta en algunas estaciones de diferentes pisos térmicos, no se observa una clara relación entre la altura y el aumento de las temperaturas (tendencia positiva), a pesar de que se presentan incrementos considerables en las estaciones de piso térmico frío y páramo.

En las estaciones de páramo alto, se presentan fuertes incrementos en la temperatura máxima (asociada con el día), cercanos a un grado Celsius por década, mientras que, en las zonas de subpáramo y bosque Alto Andino, los incrementos están entre 0,3°C y 0,6 °C por década. Estos incrementos tan altos

en estas zonas, pueden estar asociados con el aire más limpio y con la delgada la capa atmosférica que deben recorrer los rayos solares (especialmente la radiación UV que tiene un alto contenido energético). En la temperatura mínima (asociada con las horas de la noche y la madrugada), los incrementos en las estaciones de páramo son muy bajos. Incluso, cabe resaltar el hecho de que en las estaciones El Cocuy, El Cardón, El Paraíso y El Túnel se presentan leves tendencias negativas (disminuciones), tal como se muestra en la Tabla 2.

Adicionalmente, se logró establecer que en las estaciones de clima frío, templado y cálido, se presenta un mayor incremento en la temperatura mínima (noche) que en la temperatura máxima (día), excepto en las estaciones de clima cálido cercanas al mar, en donde, gracias a que el océano actúa como un agente amortiguador de la temperatura en la noche, los mayores incrementos se dan en la temperatura máxima.

Tabla 3: Tendencias de la temperatura en diferentes pisos térmicos

Nombre Estación	Elevación	Tendencia en °C/10 años		
		Tº Máxima	Tº Media	TºMínima
PISO TERMICO PARAMO ALTO (entre 3701 y 4200 metros)				
Las Brisas (Villa María, Caldas)	4141	+ 1,17	+ 0,29	+ 0,24
Sierra Nevada (Guicán, Boyacá)	3716	+ 0,97	+ 0,52	-0,36
PISO TERMICO PÁRAMO BAJO (ENTRE 3001 Y 3700 METROS)				
El Cardón (Socotá, Boyacá)	3590	+ 0,40	+ 0,20	-0,023
Berlín (Tona, Santander)	3214	+ 0,37	+ 0,07	+ 0,04
El Paraíso (Tuquerres, Nariño)	3120	+ 0,54	+ 0,05	- 0,04
El Túnel (Cuitiva, Boyacá)	3002	+ 0,46	+ 0,28	-0,06
Cusagui (La Uvita, Boyacá)	2950	+ 0,36	+ 0,12	+ 0,06
PISO TÉRMICO FRÍO (entre 2001 y 3000 metros)				

Aeropuerto el Dorado, Bogotá	2547	+ 0,12	+ 0,12	+ 0,42
Tibaitatá, Cundinamarca	2543	+ 0,35	+ 0,35	+ 0,34
PISO TÉRMICO TEMPLADO (entre 1001 y 2000 metros)				
Aeropuerto Antonio Nariño, Pasto	1796	-0,04	-0,07	-0,01
Aeropuerto Olaya Herrera, Medellín	1490	+0,04	+0,33	+0,38
Aeropuerto el Edén, Armenia	1204	-0,06	-0,11	+0,07
PISO TÉRMICO CÁLIDO (entre 0 y 1000)				
Aeropuerto sesquicentena, San Andres	1	+0,38	+0,095	-0,07
Aeropuerto Simón Bolívar, Santa Marta	4	+0,41	+0,14	+0,23
Aeropuerto el Caraño, Quibdo	53	+0,099	+0,12	+0,16
Aeropuerto Vásquez Cobo, Leticia	84	+0,16	+0,22	+0,26

Fuente: Ideam- Benavides 2009

Respecto al análisis de la temperatura media, se observa que los incrementos más altos se presentan en el páramo alto (franja del Orobioma Alto Andino). Finalmente, al promediar las tendencias de la temperatura media para todas las estaciones analizadas, en los diferentes pisos térmicos, se obtiene una tasa lineal de calentamiento promedio que se han venido presentando es de 0,17 °C por década. De acuerdo con el Cuarto Informe del IPCC, la tasa lineal de calentamiento promedio de los últimos 50 años, a nivel global, es de 0,13°C por década (Ideam-Benavides, 2009).

Es de resaltar que los ecosistemas de bosque del Orobioma Alto Andino, valorados por su importancia en la regulación del recurso hídrico, sean altamente vulnerables y afronten serias repercusiones de continuar con las tendencias halladas. También es de esperarse cambios en los regímenes del ciclo hidrológico, como aumentos en el número de tormentas más intensas y periodos de sequía más extremos y prolongados. Esta situación repercutirá en el comportamiento hidrológico de las cuencas, lo cual podría condicionar los

usos y actividades desarrolladas por los sistemas productivos que reciben los diferentes bienes y servicios ambientales.

Los glaciares colombianos son sensibles y vulnerables a pequeñas variaciones en el clima y un reflejo de ello se ha observado durante los periodos de El Niño y La Niña. Durante El Niño, donde las temperaturas son mayores y la precipitación disminuye notoriamente en la región Andina colombiana, se han encontrado pérdidas casi del doble de lo normal, mientras que en periodos La Niña, con condiciones contrarias, se ha observado una disminución en la tasa de pérdida y, en algunos casos, pequeñas ganancias.

Sin embargo, debido al bajo cubrimiento existente de los glaciares en Colombia, actualmente 47,1 km²aproximadamente, y tomando como referencia el proceso de retroceso acelerado que vienen presentando, se puede inferir que los aportes de caudal a las cuencas no es alto y que cada vez aportan menos caudal a las corrientes de agua que alimentan. En la Tabla 3 se resumen las principales cifras relacionadas con la extensión de los glaciares tropicales.

En términos generales, todas las superficies de glaciares se encuentran expuestas a diferentes escenarios de aumento de temperatura, en el cual se esperan condiciones de 2°C a 4°C, más cálido de lo actual.

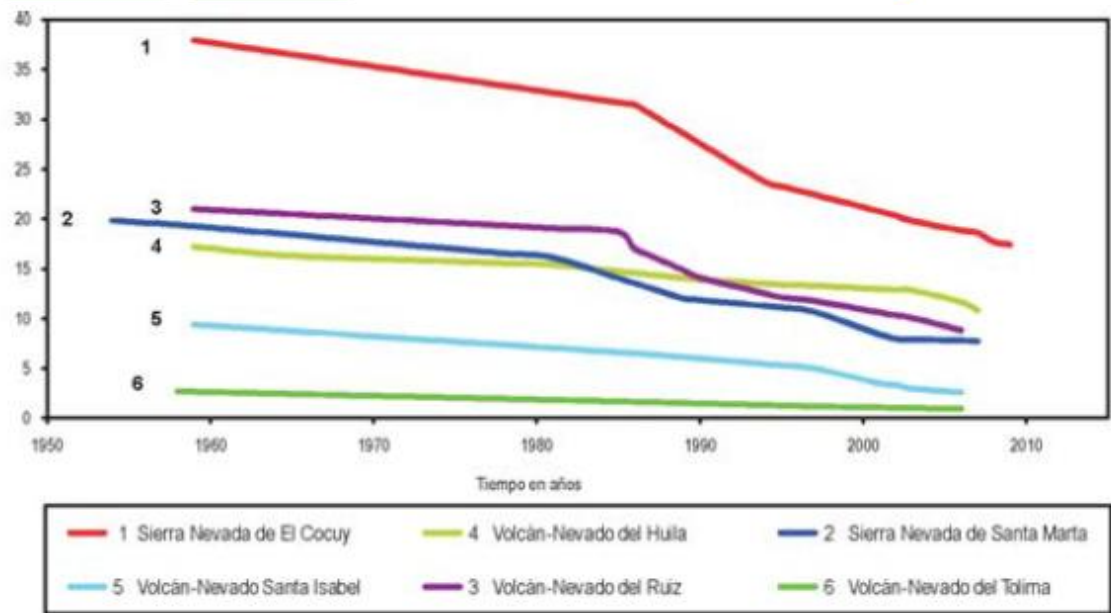


Figura 3: Evolución del área glaciar de los seis nevados existentes en Colombia.

Fuente: IGAC (1992), Ideam (1996, 2007), Ideam – UNAL (1997), Ingeominas (1996), imágenes Landsat TM 2001, 2002, 2003, Landsat ETM 2007, Spot 2006 y Quick BIRD 2007.

Glaciar	Perdida de área entre periodos	
	1850 – 1954/59 (106 años aprox.)	1954 /59 – 2001/03 (45 años aprox.)
Sierra Nevada De Santa Marta	76%	60%
Sierra Nevada del Cocuy	76%	49%
Volcán Nevado del Ruiz	55%	51%
Volcán Nevado de Santa Isabel	66%	65%
Volcán Nevado del Tolima	71%	62%
Volcán Nevado de Huila	53%	25%

Fuente: ideam - Ceballos 2005

Colombia posee una variada y dinámica zona costera sobre 3.340 km de longitud en dos litorales, el Caribe con 1.818 km de línea de costa y el Pacífico con 1.522 km.

Se estima que en Colombia existen 2.500 especies de moluscos, 2.000 de peces (176 de elasmobranchios), 35 de mamíferos que habitan aguas marinas o estuarinas y 82 de aves marinas (Díaz y Acero, 2003; Flórez et al, 2006) lo

que hace que Colombia sea probablemente el país más rico en biodiversidad marina en Suramérica y uno de los mayores en el mundo. Por otro lado, en términos de ecosistemas, Colombia es también un país privilegiado ya que por las condiciones climáticas, oceanográficas, geológicas, ecológicas y biológicas y por el hecho de tener dos océanos, se hallan bien representados la mayoría de los hábitats marinos tropicales.

El efecto de los cambios en el régimen climático sobre la diversidad marina es principalmente el estrés fisiológico, el cual actúa con más fuerza sobre las especies que ya están cerca de su límite de tolerancia ante cambios en el régimen climático (Laubier, 2001, citado por Occhipinti, 2007). Dicho estrés causado por anomalías en la temperatura puede causar muertes masivas en varios organismos, lo cual se traduce en una reducción del patrimonio biológico del país (Occhipinti, 2007). Tales condiciones afectan la distribución, la composición de las especies, estacionalidad, producción en los sistemas marinos y de agua dulce, además de la fenología y producción primaria (Brander, 2009).

1.6. LOCALIZACION DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA

La República de Colombia se encuentra ubicada en el noroccidente de Suramérica. Está rodeada al norte por el Océano Atlántico y hacia el occidente por el Océano Pacífico, limita con los países de Panamá, Venezuela, Brasil, Perú y Ecuador. Políticamente, Colombia se divide en 32 Departamentos conformados por 1098 municipios y 20 corregimientos departamentales. La extensión de territorio se calcula de 1.139.824,98 Km². La capital de la Republica de Colombia es Bogotá Distrito Capital con una extensión de 1.634,71 Km².

Colombia cuenta con extensas áreas marinas; en el Caribe con 590.000 Km² y en el Pacífico con 340.000 Km² aproximadamente. El territorio colombiano

también incluye territorios insulares en el Mar Caribe: El archipiélago de San Andrés y Providencia y numerosos bancos como el Roncador, Quitasueño, Nuevo, Serrana y Alicia. En el Océano Pacífico se encuentra la Isla de Malpelo y cerca de la costa del departamento del Cauca la Isla de Gorgona.

El país cuenta con la cadena montañosa de los Andes y se divide en el sur en tres cadenas montañosas: Occidental, Central y Oriental, producto de tres orogénias diferentes y separadas una de otras por los valles interandinos de los ríos Magdalena y Cauca. Esto permite la división del país en cinco grandes regiones naturales: Andina, Caribe, Pacífico, Orinoquia y Amazonía.

El clima es muy variado debido a la ubicación geográfica y por las características fisiográficas, convirtiéndola en un recurso importante para diferentes actividades humanas en el ámbito nacional.

La precipitación está determinada por la situación geográfica y por la influencia de algunos factores importantes como la circulación atmosférica, el relieve, la influencia de áreas selváticas o boscosas. En la península de la Guajira caen 150 y 200 mm anuales, mientras que en algunos lugares de la Región Pacífica la precipitación supera los 10000 mm anuales.

Colombia actualmente cuenta con 42.888.592 habitantes aproximadamente, de estos 31.890.892 se encuentran ubicados en la cabecera del país y 10.997.700 en el resto.

1.6.1. INDICES CLIMATICOS

1.6.2. Índice de aridez

Es necesario tener presente la diferencia entre la aridez y la sequía. En ambos casos el problema fundamental es la carencia de agua, pero mientras que la aridez es un fenómeno climatológico ligado a la circulación de las masas de

aire alrededor de la Tierra y, por lo tanto, permanente y continuo, la sequía es un hecho ligado a la distribución estacional de la precipitación anual, que pasa por una serie de valles y picos con un periodo de repetición semialeatorio.

La Unep (United National Environment Programm) define la clasificación de índices hasta el rango de 0,65; la cual, al compararla con la clasificación de la Unesco, fue necesario ampliar el rango a) hasta 0,75 (seco subhúmedo), con base en la Tabla.

Tabla 5: INDICE DE ARIDEZ

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	RANGO
A	Seco subhúmedo	0,50 a < 0,65
B	Semiárido	0,20 a <0,50
C	Árido	0,02 a <0,20
D	Hiperárido	<0,02

Fuente: Thomas, 1997 adaptada con UNEP, 1992

Con la disponibilidad de los datos de todo el país, se realizó el cálculo: P/ETP , y se adelantó la representación cartográfica para cada mes. Adicionalmente, se realizó un conteo por estación de los meses que presentan un índice de aridez menor de 0,75; con lo cual se generó un mapa de la temporalidad de las zonas con escasez.

1.7 ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS DE COLOMBIA

Las zonas áridas y semiáridas son unidades geográficas y ecológicas donde predominan condiciones de sequedad extrema y cobertura vegetal reducida o casi ausente. Dichos factores repercuten en todos los procesos y en el comportamiento de las diferentes especies, adaptadas a vivir en tales condiciones. Estas regiones presentan periodos secos muy prolongados, lluvias irregulares con promedios bastante bajos, temperaturas anuales de 11 a 12°C, y muy fluctuantes entre el día y la noche.

Las zonas áridas y semiáridas del país son de gran importancia para la conservación de la diversidad biológica y el mantenimiento de los procesos ecológicos que allí se presentan.

Además del potencial biótico, las zonas áridas y semiáridas del Caribe colombiano, especialmente la Guajira y parte del Cesar, presentan una gran oferta de recursos mineros como carbón, petróleo y sal. En la cordillera Oriental, específicamente en el cañón del Chicamocha, la ganadería intensiva de cabras es la principal fuente de proteína animal.

En los enclaves semiáridos de los altiplanos de Cundinamarca y Boyacá, en las regiones de Villa de Leyva, Sutamarchán, Sáchica, Ráquira y Cucaita se mantienen cultivos de maíz, cebolla, repollo, tomate, árboles de dividivi y olivo o aceituno.

Estas áreas tienen un gran valor desde el punto de vista arqueológico y cultural, ya que algunas regiones de la Guajira (bahías Honda y Hondita) presentan depósitos del cuaternario con sectores cubiertos de conchas. Allí habitan los indios Wayuu, quienes representan 60 por ciento de la población del departamento de la Guajira, y mantienen actividades tradicionales como la pesca, la caza, la recolección, las artesanías de barro y de tejidos, junto con el pastoreo y el comercio.

La región del cañón del Chicamocha, estuvo ocupada por los indígenas Guanes y otros grupos de la familia lingüística Chibcha como los Soates y grupos Laches, emparentados con los Tunebos. En Villa de Leyva y sus alrededores, los Muiscas realizaban actividades de alfarería la cual se mantiene en los municipios Sutamarchán, Sáchica, Ráquira y Tinjacá.

FLORA Y FAUNA EN LAS ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS DE COLOMBIA

Las plantas de las zonas áridas y semiáridas tienen adaptaciones especiales relacionadas con el acceso al agua del suelo, que se realiza mediante el desarrollo de raíces horizontales hasta de 30 metros y raíces verticales de 15

metros de profundidad facilitando el acceso de agua. Una de estas plantas es el trupillo (*Prosopisjuliflora*). Otras plantas poseen raíces tuberosas como el cardón de perro (*Acanthocereussicariguensis*), con capacidad de almacenar agua y nutrientes, y en algunos géneros de la cactáceas las espinas funcionan como órganos para la observación del agua contenida en la atmósfera.

Los animales que habitan estas zonas han desarrollado diversos mecanismos para maximizar el uso del agua y el alimento. Por ejemplo, reptiles como los lagartos (de la familia Iguanidae) almacenan agua bajo la piel, a lo largo del cuerpo. Las tortugas de la familia Testudinidea, género *Gopherus*, almacenan agua en la vejiga urinaria para usarla en la época de sequía.

Los insectos y las aves conservan el agua al modificar los productos de excreción en ácido úrico, que es una sustancia insoluble en agua, por lo que los residuos resultantes son evacuados sin pérdida de agua.

La vegetación predominante en estas zonas está constituida por árboles pequeños, arbusto achaparrados de hojas permanentes o persistentes, rígidas y espinosas; y plantas crasas o suculentas (es decir, presentan tejidos que actúan como reserva hídrica, como los cardones o cactus columnares). También se presentan gramíneas que se secan en verano. Entre los árboles resinosos representativos están el almácigo, la biga y la caraña de la familia Burseraceae.

En estas zonas también predominan plantas con hojas carnosas y arbustos muy ramificados como el yabo (*Cercidiumpraecox*) y el cují (*Neltumajuliflora*), que junto con los bejucos entrelazados, forman matorrales más o menos densos, en los que crecen gramíneas y frútices.

Estas zonas presentan una gran riqueza en especies únicas (endémicas) de fauna y flora que tienen singulares adaptaciones a este medio, entre las que se destacan siete subespecies de aves como el cardenal guajiro (*Cardinalisphoeniceus*) y el cucarachero (*Thryothonusneceforoi*). Entre los

reptiles se encuentran serpientes de coral (*Micrurussangilensis*) y salamandras (*Bolitoglossasp.*).

1.7.1 LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS DE COLOMBIA

En Colombia, las zonas áridas y semiáridas comprenden: en el litoral Caribe, gran parte de la Guajira (figura 6), el enclave de los venados en el Cesar (figura 7), sectores pequeños en los departamentos de Bolívar y Atlántico y la región de Santa Marta, incluyendo el sector oriental del Parque Nacional Natural de la Isla de Salamanca.

En la cordillera Oriental se encuentran sectores áridos en cercanías de Ocaña, Abrego, Cúcuta y Sarare - Chitagá, el cañón del Chicamocha (figura 8), Villa de Leyva y los enclaves de la Sabana de Bogotá, Valle de Ubaté y Cáqueza. En el alto Magdalena cobija el desierto de la Tatacoa.

En la región Occidental del país, el cañón del río Cauca (Santafé de Antioquia), enclaves secos en cercanías de Yumbo y Dabeiba, el cañón del río Dagua, el cañón del río Patía, y en el sur un sector de Ipiales (figura 9).

CANÓN DEL CHICAMOCHA

El cañón del Chicamocha es un accidente geográfico en Colombia ubicado en las riberas del río Chicamocha, durante su recorrido por los departamentos de Boyacá y principalmente de Santander, donde alcanza su máxima profundidad en inmediaciones de la ciudad de Bucaramanga, entre los municipios de Aratoca, Cepitá y Los Santos.

El cañón del río Chicamocha, es el resultado de la erosión sobre el lecho fluvial, con la formación de grandes desfiladeros en ambas orillas. El cañón inicia en inmediaciones del municipio de Soatá en el departamento de Boyacá y cumple la mayor parte de su recorrido en el departamento de Santander

terminando cerca al municipio de Lebrija. Estas placas montañosas son resultado de los movimientos tectónicos de la tierra, en donde pasan y se desprenden fallas geológicas que comprenden el territorio del Chicamocha, hasta regiones como la Mesa de los Santos y la misma ciudad de Bucaramanga pero en su gran mayoría se extiende sobre el municipio de Aratoca, convirtiéndolo en el segundo cañón más grande del mundo. Con más de 108.000 hectáreas y 2.000 metros de profundidad el cañón se formó hace 46 millones de años en un lugar que antes era un inmenso lago que permitió la formación de cavernas y albergó animales marinos de los que aún se hallan restos.



Figura 4: Cañón del chicamocha-AUTOR: Claudia Londoño



Tabla 6: ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS DE COLOMBIA

MUNICIPIO	UBICACIÓN	EXTENSIÓN (Km ²)	HABITANTES	TEMP. MEDIA °C	ALTITUD (msnm)	ECONOMIA
Uribí	Guajira	8200	70.850	34	10	Ganadería caprina, turismo, comercio, explotación de carbón y gas natural.
Santa Marta	Magdalena	2393.65	414.387	36	2 - 5775	Turismo, comercio, pesca y actividad portuaria.
Abrego	Norte de Santander	920	37.796	20	1380 - 3800	Agricultura (cebolla cabezona roja, frijol. Maíz, tomate, tabaco, café); ganadería (carnes y lácteos)
Cúcuta	Norte de Santander	1176	948.942	28	320	Comercial, Industrias (cemento, ladrillo, arcilla y cerámica); minería (carbón)
Sachicá	Boyacá	62,4	3.868	16,2	2150	Agricultura (cebolla cabezona y tomate, olivo); ganadería (ovina y caprina)
Sutamarchan	Boyacá	102	5.624	18	1800	Cultivos (papa, cebolla, curuba, cebada, tomate, maíz, uva y frutales). Bovinos, aves y porcinos.
Raquira	Boyacá	233	12.299	17	2150	Artesanías y turismo (desierto, laguna Fuquene y confites, paramo El Rabanal)
Villa de Leiva	Boyacá	128	9.645	18	2143	Turismo, agricultura y la explotación de piedra, arcilla y mármol)
Ubaté	Cundinamarca	102	41.278	13	2556	Ganadería vacuna; cultivo de papa y maíz.

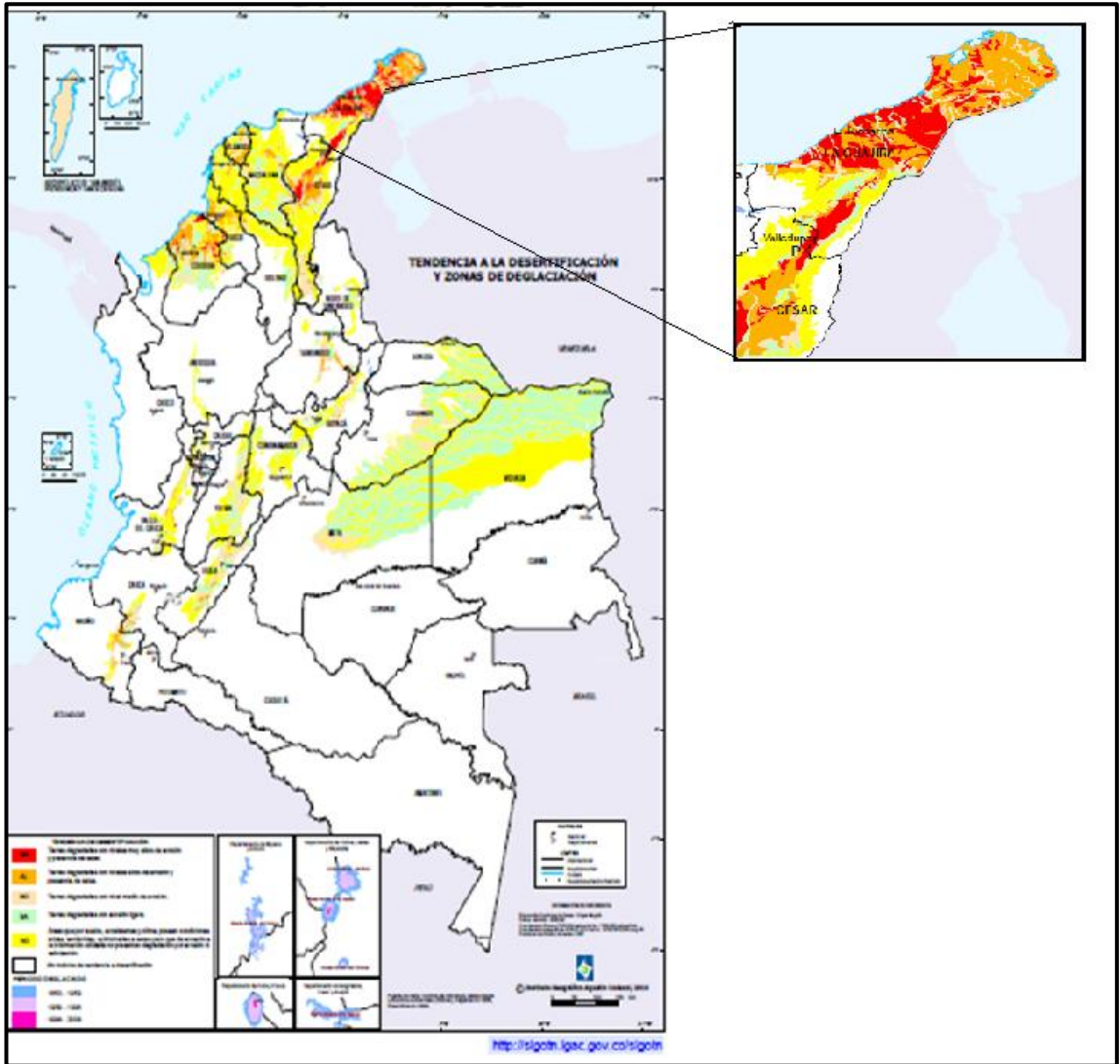


Figura 6: Zonas áridas y semiáridas de la región del Caribe

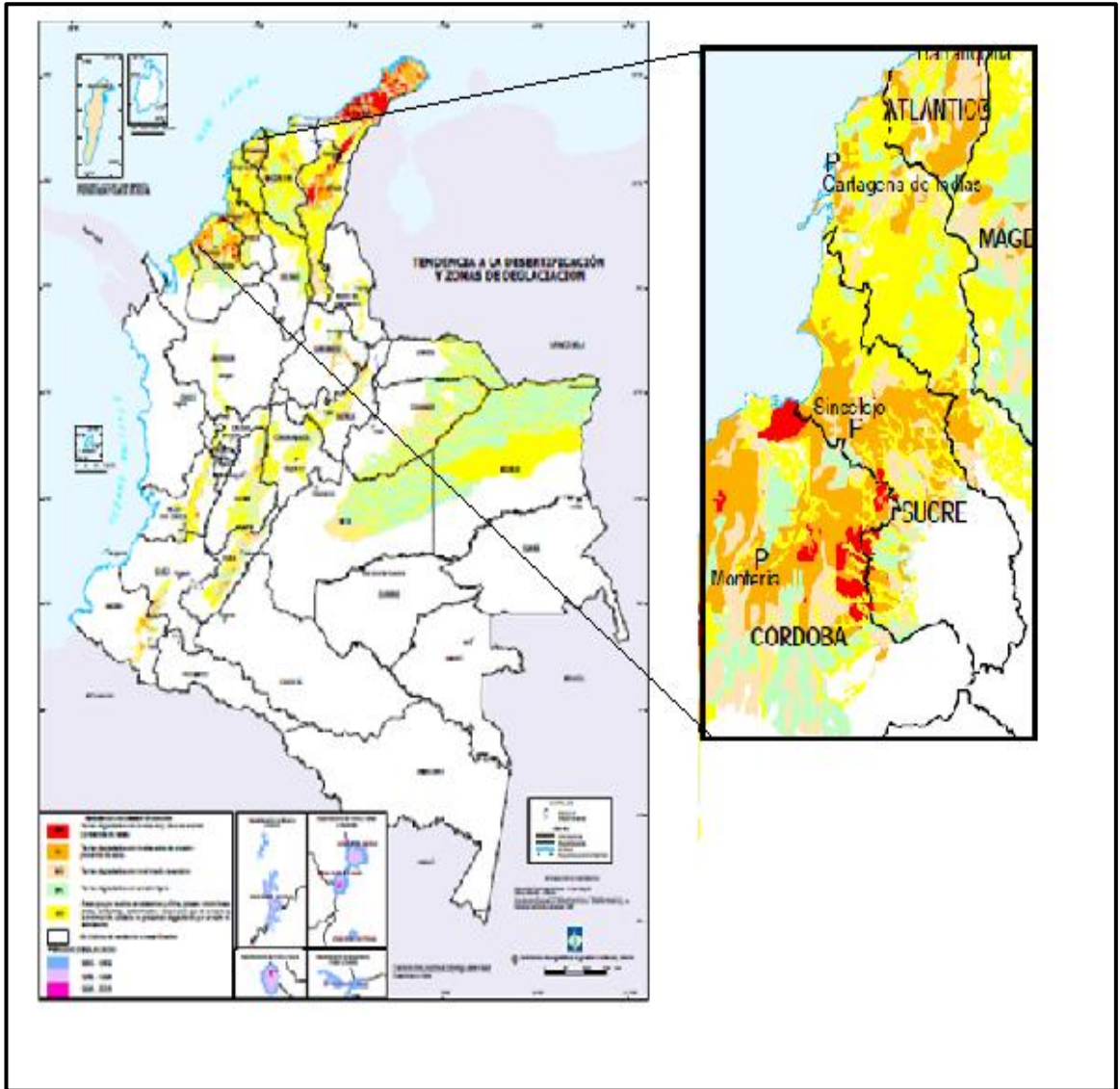


Figura 7: Zonas áridas y semiáridas de la región del Caribe

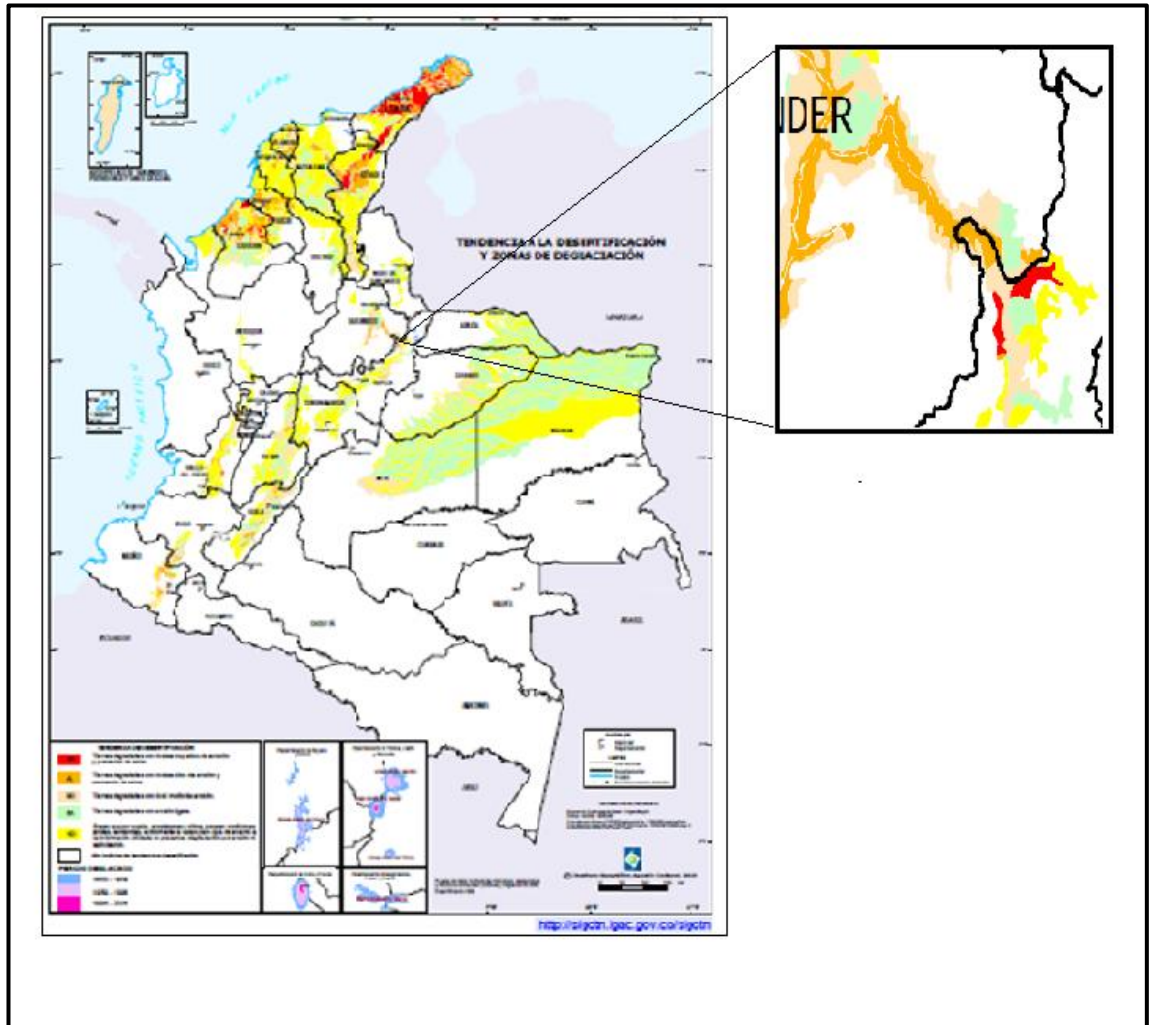


Figura 8: Zonas áridas y semiáridas de la región Andina

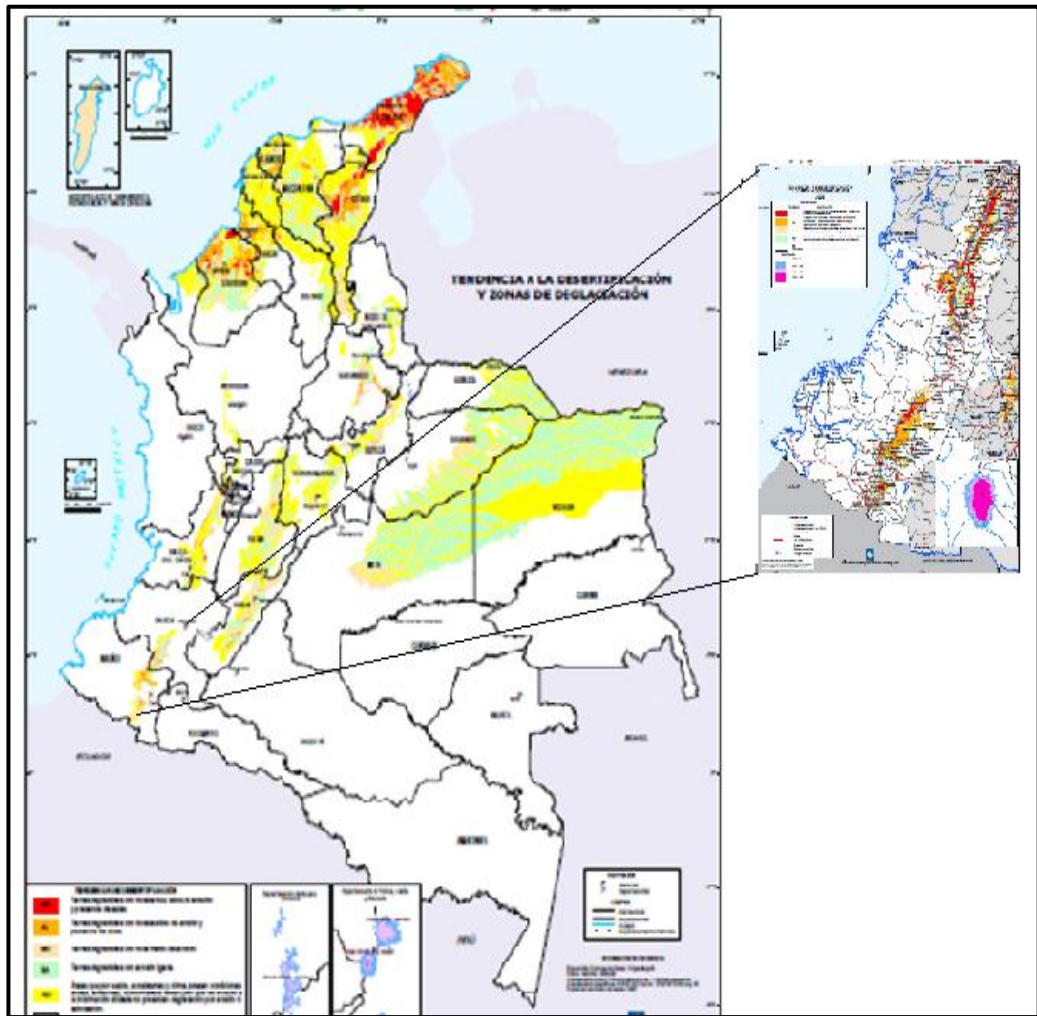


Figura 9: Zonas áridas y semiáridas de la región Andina

Tabla 7: ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS EN COLOMBIA

REGIÓN	SUBREGIÓN	CRITERIOS CLIMATICOS Y TIPO DE OCBETURA VEGETAL	NOMBRE	AREA TOTAL Ha	%	UBICACIÓN	
PLANICIE CARIBE	CINTURON ARIDO PRECARIBEÑO	ARIDAS vegetación xerofítica (matorrales xerofítico de piso térmico cálido)	Desierto Guajiro (incluye área de dunas).	516,325	8,3	11°42'39,71"N 11°55'29,39"N	72°39'21,56"W 71°59'42,48"W
			Sector de Santa Marta	32,700	0,5	11°10'38,14"N 11°15'20,54"N	74°14'24,24"W 74°07'30,33"W
			Porción nororiental de la isla de salamanca.	18,800	0,3	10°58'09,80"N 10°57'29,51"N	74°30'10,12"W 74°30'06,76"W
		SEMIARIDAS Vegetación sub xerofítica (bosques y matorrales subxerofíticos)	Litoral del atlántico, Bolívar, Córdoba y Sucre.	552,100	8,9	11°01'57,04"N 10°23'31,38"N	74°48'50,63"W 75°31'29,07"W
	ENCLAVES DE PLANICIES SIN INFLUENCIA MARINA	SEMIARIDAS SUBXEROFÍTICA (bosques y matorrales subxerofíticos). COMPLEJO CARIBE (Mosaico de bosques y matorrales subxerofíticos, sabanas, bosques higrofiticos y bosques freatofíticos).	Media y baja Guajira	496,35	8,0		
			Enclave de los venados en Cesar	64,725	1,0	10°28'10,13N 9°26'12,29N	73°14'50,28W 73°49'18,73W
			Desde sabana inmediatas de Chiguana-Cesar y sur de la guajira, Enclave Ariguani-cesar hasta el valle del Río Sinú, y las comunidades de la periferia llamadas sabana de Bolívar	3.028,600	48,6	10°35'55,59"N 9°19'07,63"N	72°52'16,67"W 73°33'22,71"W
						9°26'36,16"N 9°19'57,31"N	74°57'39,88"W 74°59'17,00"W
ANDINA	CORDILLERA	SEMIARIDAS XEROFÍTICAS	Enclave Ocaña	17,225	0,3	8°18'43,07"N	73°25'40,05"W



	ORIENTAL	(Bosques y matorrales xerofíticos)				7°51'33,82°N	72°28'45,36°W
			Enclave Abrego	10,675	0,2	7°59'50,08°N	73°12'03,75°W
			Enclave del Valle de Táchira	135,025	2,2	7°54'24,06°N	72°28'28,22°W
		ARIDAS XEROTIFÍCAS (bosques y matorrales xerofíticos de piso térmicos fríos y templados)	Cañón del Chicamocha	141,450	2,3	6°48'13,30°N	73°01'32,40°W
			Enclave de Villa de Leiva (Sutamarchán, Sachicá y Raquira)	27,624	0,4	5°39'03,41°N	73°37'04,51°W
						5°38'07,69°N	73°31'47,61°W
			Enclave del Valle de Ubaté	8,750	0,1	4°38'04,67°N	74°18'28,61°W
			Enclave de Fute y Soacha.	12,600	0,2		
			Enclave de Caquezá.	18,075	0,3		
	CORDILLERA CENTRAL	SEMIARIDAS SUBXEROFÍTICAS (Bosques y matorrales subxerofíticos)	Enclave Tatacoa-Río Cabrera	161,625	2,6	4°34'57,69°N	74°13'00,90°W
		COMPLEJO (Macizo de bosques y matorrales subxerofíticos, sabanas, bosques higrofiticos y bosques freatofíticos)	Alto Magdalena	422.600	6,8		
	CORDILLERA OCCIDENTAL	ARIDAS XEROTIFÍCAS (bosques y matorrales xerofíticos de piso térmico frío y templado)	Enclave próximo a Ipiales	25,850	0,4	3°26'43,08°N	76°31'08,41°W
						2°51'53,00°N	76°18'58,99°W
SEMIARIDAS SUBXEROFÍTICAS (bosques y matorrales subxerofíticos)		Cañón del río Cauca	181,425	2,9	2°07'42,56°N	77°51'11,30°W	
		Enclave de Dadeiba	29,325	0,5			
		Cañón del Río Dagua	43,550	0,7			
		Cañón del Río Anaimé	2.00	0,03			
		Cañón del río Patía	279,450	4,5			
Enclave de Yumbo	7,700	0,1	1°33'0,87°N	77°03'53,55°W			
EXTENSION TOTAL DE ZONAS ÁRIDAS			6324550	5,5			

Tabla 8: REPRESENTATIVIDAD DE LECOSISTEMA DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE COLOMBIA

DEPARTAMENTO	AREA (Ha)	%
Caldas	7.525	0,1
Boyacá	38.800	0,6
Valle	53.250	0,9
Córdoba	56.950	0,9
Huila	103.400	1,7
Cundinamarca	112.125	1,8
Santander	130.275	2,1
Nariño	139.025	2,2
Norte de Santander	162.875	2,6
cauca	166.275	2,7
Antioquia	203.225	3,3
Atlántico	294.950	4,7
Sucre	355.775	5,7
Tolima	408.125	6,5
Bolívar	450.600	7,2
Cesar	1.001.400	16,1
magdalena	1.107.900	17,8
Guajira	1.442.450	23,1
TOTAL	6.234.925	100

FUENTE: MMA-Geo ingeniería Ltda., 1999

2. DATOS Y METODOLOGIA

2.1. MODELOS CLIMATICOS REGIONALES

Los modelos globales y regionales de clima son representaciones matemáticas de la naturaleza, su función es simular el comportamiento del clima para un determinado lugar. Sus componentes e interacciones, con un grado de complejidad tal que solo con computadoras pueden ser usados.

Los modelos climáticos regionales (MCR) por lo general son modelos físicos de atmósfera y superficie terrestre, que contiene procesos importantes en el sistema climático como por ejemplo nubes, radiación, precipitación, humedad en suelo, entre otros. Los MCR no tienen en cuenta el componente oceánico, con el fin de reducir su complejidad y la utilización de recursos informáticos. De cualquier forma, las evaluaciones de impacto, solo requieren de datos de superficie terrestre o de la atmósfera. Es recomendable que las salidas de un MCR sean de por lo menos 30 años, para así obtener una gran estadística climática, como puede ser la distribución de la precipitación diaria o la variabilidad inter-estacional.

Los MCR son la mejor herramienta para reducir de la escala global a regional las características del clima, ya que se obtiene información más detallada de una región en particular; aunque hay otras técnicas de regionalización disponibles, destinadas a refinar la escala (“downscaling”) de la información climática generada por los MCGs. Estas herramientas se conocen tradicionalmente como:

- Modelos de circulación general atmosférica a “intervalos de tiempo” de alta resolución (MCGA).
- MCGAO de resolución variable (VarMCG).

- Modelos climáticos regionales (MCR).
- Métodos de regionalización estadística (SD).

Entre las principales ventajas de usar los MCR, se puede encontrar:

1. Una simulación más realista del clima actual, debido a su alta resolución que permite interactuar con el terreno.
2. predicciones a más detalle del cambio de clima a futuro.
3. representación de pequeñas áreas.
4. mejor simulación y predicción en eventos extremos climáticos.
5. generación de datos a detalle para el análisis y estudios de impactos a nivel local.

2.2. MODELOS REGIONALES Y CLIMATOLOGIA UTILIZADA

2.2.1. Modelo ETA

El concepto del modelo regional ETA se deriva de la Universidad de Belgrado, por Fedor Mesinger y Zavis Janjic, en colaboración con el Instituto de Hidrometeorología de Yugoslavia, y entró en funcionamiento en los Centros Nacionales de Predicción Ambiental (NCEP) (Mesinger et al 1988;. Black, 1994). Este modelo se implantó en el CPTEC (En el Centro de Pronóstico del Tiempo y Estudios Climáticos) de Brasil en 1996, para complementar la predicción numérica del tiempo que ha llevado a cabo desde principios de 1995 con el modelo de circulación general atmosférica. En Sudamérica principalmente desarrollado por Brasil pero con la capacidad de adaptarse más allá de sus fronteras. El modelo ETA tiene en cuenta seis parámetros; temperatura, presión, humedad relativa del aire y viento- con tres componentes, uno para cada eje cartesiano del espacio. Con el modelo regional ETA, es posible obtener, para toda América del Sur y océanos adyacentes, resoluciones de 40 km x 40 km.

Los profesionales brasileños involucrados en el proyecto ETA fueron capacitados en Estados Unidos, en donde se produjo la primera versión oficial del Eta, que entró en funcionamiento en 1997, pero precariamente. Desde entonces, el equipo se ha empeñado en mejorar el modelo regional, adaptando cada vez más sus parámetros a la realidad brasileña. Así llegaron a la versión actual, cuya principal novedad consiste en la incorporación de los efectos meteorológicos producidos por la vegetación, que no formaban parte del modelo original. ETA tiene también una descripción más detallada de la topografía y una evaluación más sofisticada del mecanismo de formación de las lluvias.

El modelo cubre un área que va desde los 55 grados de latitud sur (en el extremo sur del continente) hasta los 15 grados de latitud norte (en el Mar de las Antillas) y 30 desde los 30 grados de longitud oeste (en el Océano Atlántico) hasta los 90 grados de longitud oeste (en el Océano Pacífico, a la altura de las Islas Galápagos). Se extiende, por lo tanto, mucho más allá de las fronteras de Brasil, y esto ayuda a detectar e incorporar las interferencias de factores externos, tales como la temperatura de los océanos. En esta escala continental, el modelo ETA permite efectuar pronósticos a cada hora para plazos de 12, 24, 36, 48, 60 y 72 horas.

Este último intervalo de tiempo es el límite máximo, porque, en meteorología, el precio que se paga por un mayor detalle es la disminución del plazo del pronóstico. Las previsiones de largo plazo son necesariamente genéricas pues apenas se puede cualificar con palabras como 'poco', 'mucho' o 'más o menos'. Cuando se pretende algo más que eso, se debe sacrificar el plazo.

2.2.2. Modelo PRECIS

El modelo regional PRECIS es un sistema de modelado regional derivado del GCM de tercera generación del Hadley Centre en el Reino Unido, el cual puede ser configurado para correr sobre cualquier área del globo, en ordenadores personales relativamente potentes. El modelo PRECIS está disponible gratis

para ser usado por científicos en países en desarrollo involucrados en estudios de vulnerabilidad y adaptación llevados a cabo por sus gobiernos. La idea de construir un modelo regional flexible tiene origen en la creciente demanda de muchos países para las proyecciones del clima a escala regional. Sólo unos pocos centros de pronóstico del clima en el mundo han desarrollado modelos climáticos regionales para generar proyecciones sobre las áreas específicas, ya que esta tarea requiere una gran demanda de personal calificado y experimentado en el análisis de modelos climáticos, además de potentes ordenadores para la realización de los cálculos. Sus creadores han hecho que el RCM de tercera generación del Centro Hadley sea fácil de configurar. Esto, junto con el software 31 para permitir la visualización y el tratamiento de los datos producidos por el RCM, forma PRECIS.

El modelo climático regional PRECIS usa como condiciones de fronteras los datos suministrados por el GCM del Hadley Centre correspondiente a un rango de escenarios de emisión. El modelo PRECIS produce enormes cantidades de datos climáticos incluidos variables estándares como la temperatura y la precipitación para períodos futuros (2070-2100). Debido a su alta resolución, se pueden recrear escenarios de cambio climático nacionales para países pequeños como los que componen el área del Caribe. Además con el modelo PRECIS se proveen software para el post-procesamiento, análisis y graficación de los datos generados por el modelo. Además es un modelo atmosférico y de suelo, de área limitada y alta resolución el cual requiere la descripción de la superficie y condiciones laterales de frontera. Las condiciones de superficie son solo requeridas en el agua, donde los modelos necesitan series de tiempo de temperatura superficial del mar y extensiones de hielo. Las condiciones laterales de frontera suministran información de la dinámica atmosférica en los bordes latitudinales y longitudinales del dominio. No hay restricción prescrita en las condiciones de altura del modelo.

Las condiciones laterales de frontera comprenden variables atmosféricas estándar como la presión en superficie, las componentes horizontales del

viento y medidas de temperatura y humedad. También ciertas configuraciones de PRECIS contienen la representación total del ciclo de azufre y un conjunto de condiciones de frontera (incluyendo SO₂, aerosoles sulfatados y especies químicas asociadas) que también son requeridas.

El modelo PRECIS (ProvidingRegionalClimatesforIm-pactsStudies) forma parte de la versión del modelo de circulación regional británico HadRM3P, el cual tiene 19 niveles verticales y dos posibles resoluciones horizontales, 25 y 50km. Las condiciones de borde pueden ser elegidas de varias posibles opciones dependiendo el periodo en el cual se necesitan las simulaciones. Para el caso del 32 periodo 1961-1990 existen resultados no solamente obtenidos de GCMs sino también de fuentes observacionales como los re-análisis europeos y estadounidenses. Como todo modelo climático las características de la resolución de las ecuaciones de desenvolvimiento atmosférico suelen dividirse en dos partes, una denominada "dinámica" y otra denominada "física".

En cuanto a la dinámica del modelo, éste es hidrostático, es decir no considera de manera explícita los procesos convectivos que generan nubes y por lo tanto no determina de manera directa la precipitación.

En cuanto a la física del modelo, se recurren a parametrizaciones, que son representaciones de fenómenos que ocurren en una escala menor que la resolución del modelo. Este proceso se logra utilizando funciones determinísticas simples. Para los procesos como la formación de nubes y precipitación se utilizan parametrizaciones. La radiación sigue el esquema desarrollado por Edwards y Slingo (1996). Estos esquemas son fijos independientemente de las características geográficas sobre las que se corre el modelo. Para fines de la solución de las ecuaciones, los años son de 360 días y cada mes consta de 30 días.

2.2.3. Modelo RegCM3

El modelo de RegCM (Giorgi et al., 1993), que se originó en el NCAR (National Center for Atmospheric Research) surge de una versión de meso-escala. El modelo RegCM describe los procesos de interacción suelo-planta-atmósfera utilizando el BATS (Biosfera-Atmósfera del Esquema de Transferencias; Dickinson et al. 1993). Este modelo considera la presencia de la vegetación y la interacción del suelo con los cambios de tiempo, energía y vapor de agua entre la atmósfera y la superficie. Este modelo regional posee una capa de vegetación, una de nieve y tres capas de suelo a diferentes profundidades.

El ciclo hidrológico se obtiene por medio de ecuaciones para predecir el contenido de agua en tres capas. Por último, el flujo de calor, vapor de agua y de movimiento en la superficie se calcula en términos de coeficientes de resistencia obtenidos a partir de la teoría de similitud aplicada a la superficie. El transporte de calor, el impulso y la humedad en la capa límite planetaria (CLP) se deriva del producto entre el gradiente vertical de estas variables y el coeficiente de difusión vertical con las correcciones propuestas por Holtslag et al. (1990).

La versión RegCM3 conserva la misma estructura de las versiones anteriores, pero incluye nuevas características tales como los gases de efecto invernadero (NO_2 , CH_4 , CFC), los aerosoles atmosféricos, y hielo en las nubes.

Los principales cambios se dan en el análisis de las nubes y precipitación. La humedad explícita original del esquema ha sido sustituida por una versión simplificada, debido a que los costos computacionales eran demasiado elevados para ser ejecutados en modo climático. En el régimen simplificado hay una única ecuación para predecir el agua en la nube.

La principal novedad de este régimen, radica en la microfísica simplista, pero el hecho de que la nube de pronóstico de variable del agua se utiliza directamente en los cálculos nube de radiación.

Esta nueva función añade un elemento muy importante y de gran alcance de la interacción entre el ciclo hidrológico simulado y la energía cálculos de presupuesto.

Los cambios en la física del modelo incluyen la nube de gran escala y el esquema de la precipitación que representa la variabilidad de la sub-cuadrícula escala de las nubes (Pal et al., 2000), nuevas parametrizaciones para los flujos de la superficie del océano (Zeng et al. 1998), y el esquema de convección de cúmulos (Emanuel, 1991, Emanuel y ZivkovicRothman, 1999).

Otra de las novedades en el modelo es la parametrización de tipo mosaico de heterogeneidad sub-cuadrícula escala en el uso y la topografía de la tierra (Giorgiet al. 2003b).

3. ANALISIS Y RESULTADOS

Para el análisis de resultados se utilizaron los tres modelos climáticos regionales ETA, REG CM3 y PRECIS en dos diferentes escenarios; el escenario B2 más favorable y el escenario A2 menos favorable.

A continuación se presentaran el análisis de la graficas con las proyecciones de las precipitaciones y temperaturas para el 2070- 2100 en cada una de las zonas de estudio.

REGION CARIBE

DESIERTO DE LA GUAJIRA

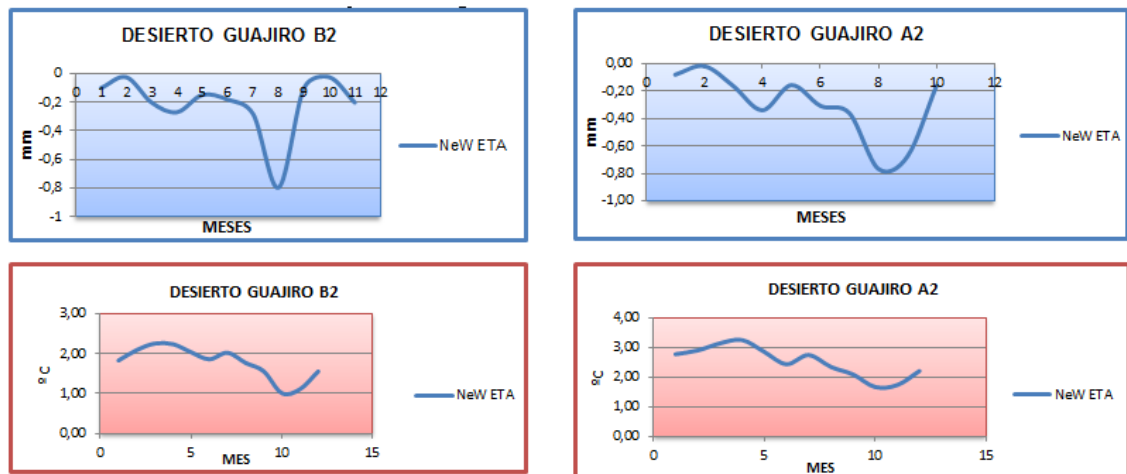


Figura 10: Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.

Se observa por el modelo regional climático ETA la tendencia para los próximos años una disminución en la precipitación hasta de 0,8mm/día en el

escenario más favorable B2 y en el escenario más desfavorable A2. El mes más seco del año es Agosto.

La temperatura aumentara en promedio $1,5^{\circ}\text{C}$ siendo el mes más caluroso Marzo hasta $2,25^{\circ}\text{C}$ en el escenario más favorable y en el escenario menos favorable se observa un aumento de temperatura promedio de $2,5^{\circ}\text{C}$ teniendo como el mes más caluroso Abril con una temperatura $3,4^{\circ}\text{C}$.

SANTA MARTA E ISLA DE SALAMANCA

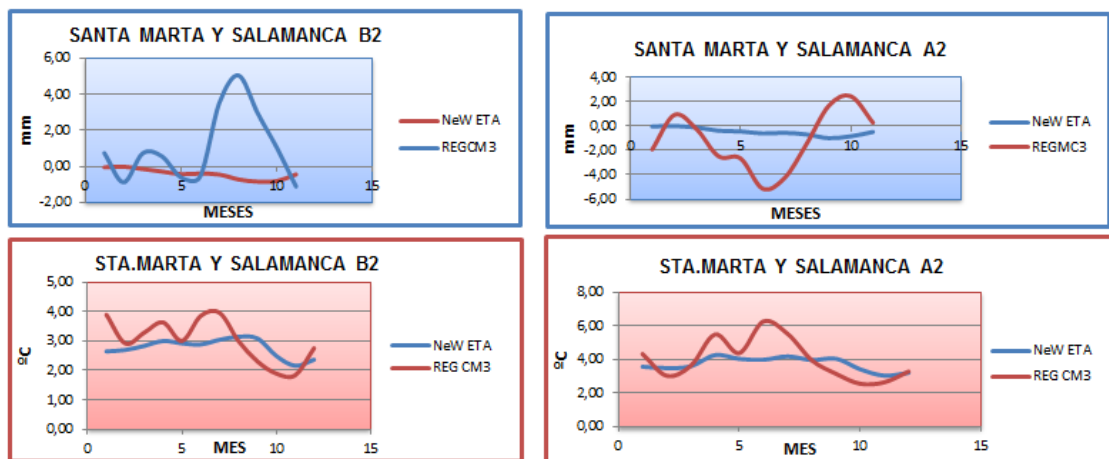


Figura 11: Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.

En la zona de Santa Marta e Isla de Salamanca se proyectaron precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 por medio de los modelos climáticos regionales ETA y Reg CM3, los cuales mostraron resultados diferentes entre ellos.

Para el modelo ETA las precipitaciones disminuirán en promedio $0,11\text{ mm/día}$, en los meses de Julio, Agosto y Septiembre se presenta la mayor disminución de $0,8\text{mm/día}$ para el escenario B2; para el escenario A2 se presentara disminuciones en las precipitaciones en promedio de $0,11\text{mm/día}$, en Septiembre se presenta una disminución en la precipitación de $0,8\text{ mm/día}$.

El modelo Reg CM3 presenta en el escenario B2 para los meses de Enero, Marzo, Junio, Julio y Diciembre disminuciones en las precipitaciones hasta 1,9mm/día y en los meses Febrero, Abril, Mayo, Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre precipitaciones hasta 5mm/día. En el escenario A2 presenta disminuciones en las precipitaciones en promedio de 1,14 mm/día la mayoría de meses excepto Febrero, Septiembre, Octubre y Noviembre que presenta un aumento en la precipitación de 1,5 mm/día en promedio.

La temperatura en el escenario B2 presenta un aumento en promedio de 2.36°C para el modelo ETA y 2,75°C para el modelo Reg CM3, con un aumento máximo de temperatura de 3°C y 4°C respectivamente.

La temperatura en el Escenario A2 presenta un aumento en promedio de 3,22°C para el modelo ETA y 3,30°C para el modelo Reg CM3, con un aumento máximo de temperatura de 4°C y 6°C respectivamente.

LITORAL ATLANTICO

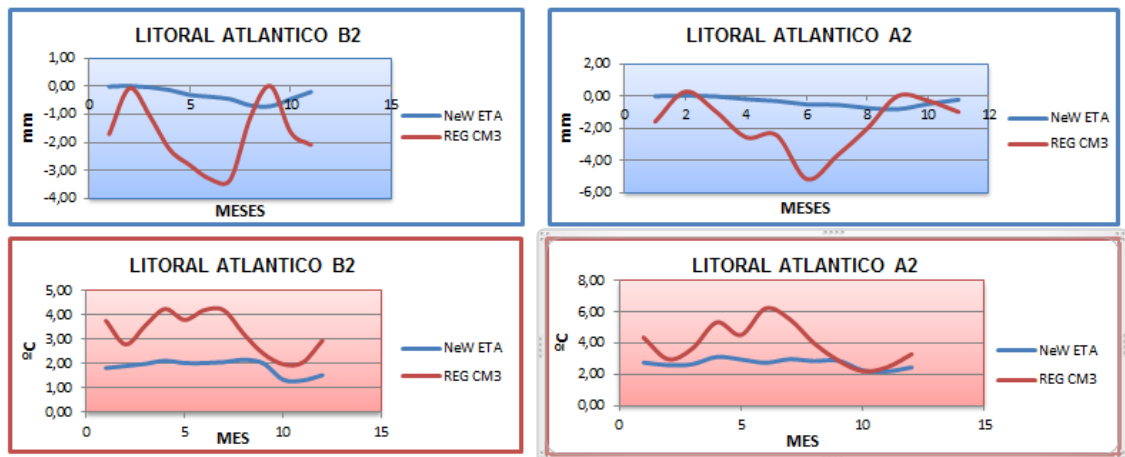


Figura 12: Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.

En la zona del Litoral Atlántico se proyectaron precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 por medio de los modelos climáticos regionales ETA y Reg CM3, los cuales mostraron resultados diferentes entre ellos.

Según el modelo ETA tanto en el escenario B2 como en el escenario A2 presenta una disminución en las precipitaciones de 0,29 mm/día y 0,33 mm/día respectivamente., presentándose la mayor disminución en Septiembre 0,7 y 0,8 mm/día.

Según el modelo Reg CM3 tanto en el escenario B2 como en el Escenario A2 presenta una disminución en las precipitaciones de 1,86mm/día y 1,76mm/día en promedio respectivamente, aunque en el mes de Mayo se presenta una disminución máxima de 3,30 y 5,15mm/día respectivamente.

La temperatura en el escenario B2 presenta un aumento en promedio de 1,85°C para el modelo ETA y 3,20°C para el modelo Reg CM3, con un aumento máximo de temperatura de 2°C y 4°C en el mes de Mayo respectivamente.

La temperatura en el Escenario A2 presenta un aumento en promedio de 2,70°C para el modelo ETA y 3,95°C para el modelo Reg CM3, con un aumento máximo de temperatura de 3°C y 5°C respectivamente.

CESAR

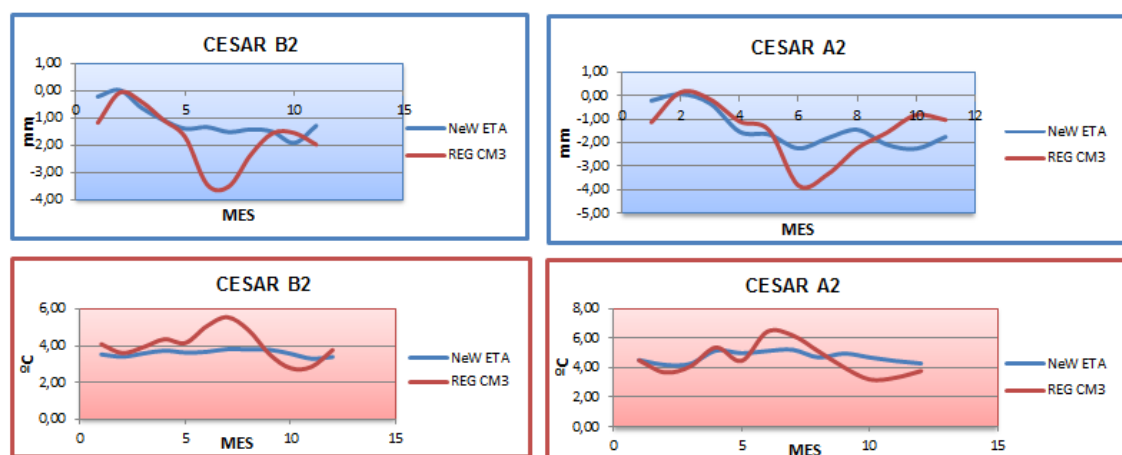


Figura 13: Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.

En la zona del Departamento del Cesar se proyectaron precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 por medio de los modelos climáticos regionales ETA y Reg CM3, los cuales mostraron resultados diferentes entre ellos.

Según el modelo ETA tanto en el escenario B2 como en el escenario A2 presenta una disminución en las precipitaciones de 1,07 mm/día y 1,30 mm/día respectivamente, presentándose la mayor disminución en Octubre 2,00 y 2,25 mm/día.

Según el modelo Reg CM3 tanto en el escenario B2 como en el Escenario A2 presenta una disminución en las precipitaciones de 1,74 mm/día y 1,46 mm/día en promedio respectivamente, aunque en el mes de Junio se presenta una disminución máxima de 3,50 y 3,8 mm/día respectivamente.

La temperatura en el escenario B2 presenta un aumento en promedio de 3,59°C para el modelo ETA y 4,04°C para el modelo Reg CM3, con un aumento máximo de temperatura de 4°C y 6°C en el mes de Julio respectivamente.

La temperatura en el Escenario A2 presenta un aumento en promedio de 4,7°C para el modelo ETA y 4,5°C para el modelo Reg CM3, con un aumento máximo de temperatura de 5°C y 6°C respectivamente.

SABANA DE BOLIVAR

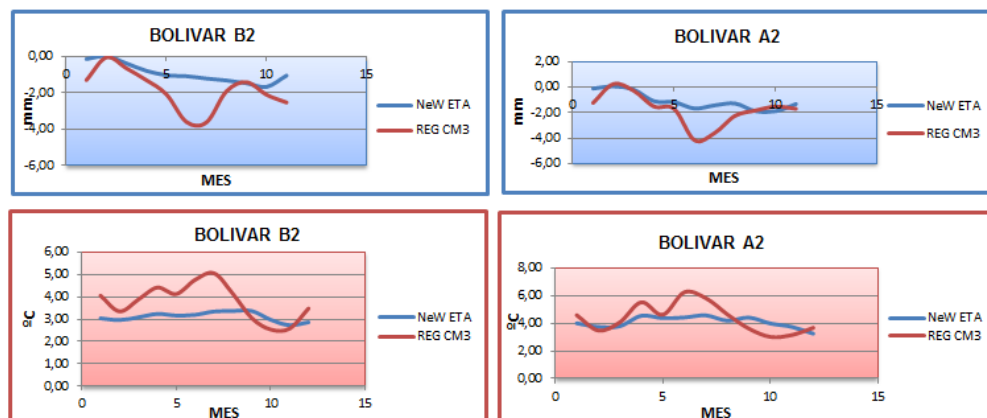


Figura 14: Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.

En la zona de la sabana de Bolívar se proyectaron precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 por medio de los modelos climáticos regionales ETA y Reg CM3, los cuales mostraron resultados diferentes entre ellos.

Según el modelo ETA tanto en el escenario B2 como en el escenario A2 presenta una disminución en las precipitaciones de 0,89 mm/día y 1,04 mm/día respectivamente, presentándose la mayor disminución en Octubre 1,6 y 1,8 mm/día.

Según el modelo Reg CM3 tanto en el escenario B2 como en el Escenario A2 presenta una disminución en las precipitaciones de 1,71 mm/día y 1,74 mm/día en promedio respectivamente, aunque en el mes de Junio se presenta una disminución máxima 3,6 y 4,6 mm/día respectivamente.

La temperatura en el escenario B2 presenta un aumento en promedio de 3,11°C para el modelo ETA y 3,78°C para el modelo Reg CM3, con un aumento máximo de temperatura de 3,35°C y 5,06°C en el mes de Julio respectivamente.

La temperatura en el Escenario A2 presenta un aumento en promedio de 4,07°C para el modelo ETA y 4,36°C para el modelo Reg CM3, con un aumento máximo de temperatura de 5°C y 6°C respectivamente.

REGIÓN ANDINA

ENCLAVE OCAÑA

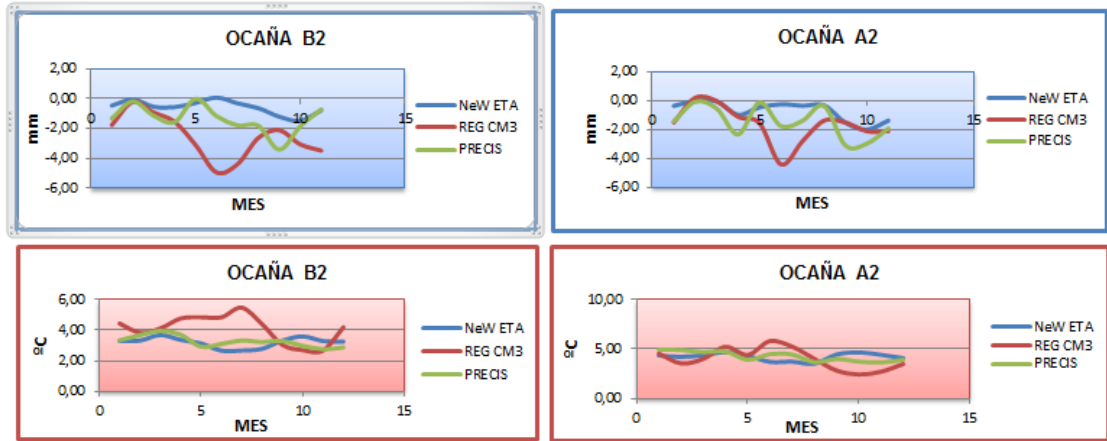


Figura 15: Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.

En el Enclave de Ocaña se proyectaron precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 por medio de los modelos climáticos regionales ETA, Reg CM3 y PRECIS los cuales mostraron resultados diferentes entre ellos.

Según el modelo ETA tanto en el escenario B2 como en el escenario A2 presenta una disminución en las precipitaciones de 0,55 mm/día y 0,69 mm/día respectivamente, presentándose la mayor disminución en Octubre 1,4 y 2,0 mm/día.

Según el modelo Reg CM3 tanto en el escenario B2 como en el Escenario A2 presenta una disminución en las precipitaciones de 2,62 mm/día y 1,64 mm/día en promedio respectivamente, aunque en el mes de Junio se presenta una disminución máxima 4,16 y 4,94 mm/día respectivamente.

Según el modelo PRECIS tanto en el escenario B2 como en el escenario A2 presenta una disminución en las precipitaciones promedio 1,27 mm/día y 1,42

mm/día respectivamente, presentándose la mayor disminución en el mes de Septiembre de 3,4 y 3,01 mm/día respectivamente.

La temperatura en el escenario B2 presenta un aumento en promedio de 3,2°C para el modelo ETA, 4,0°C para el modelo Reg CM3 y 3,2°C para el modelo PRECIS, con un aumento máximo de temperatura de 3,6°C para el modelo ETA, 3,9°C para el modelo PRECIS en el mes de Marzo y 5,46°C en el mes de Julio para el modelo Reg CM3.

La temperatura en el Escenario A2 presenta un aumento en promedio de 4,2°C para los modelo ETA y PRECIS; y 4,0°C para el modelo Reg CM3, con un aumento máximo de temperatura de 4,7°C en el mes de Abril para el modelo ETA, 5,8°C en el mes de Junio y 4,95°C en el mes de Enero para el modelo PRECIS.

ENCLAVE DE ABREGO Y EL VALLE DEL TACHIRA

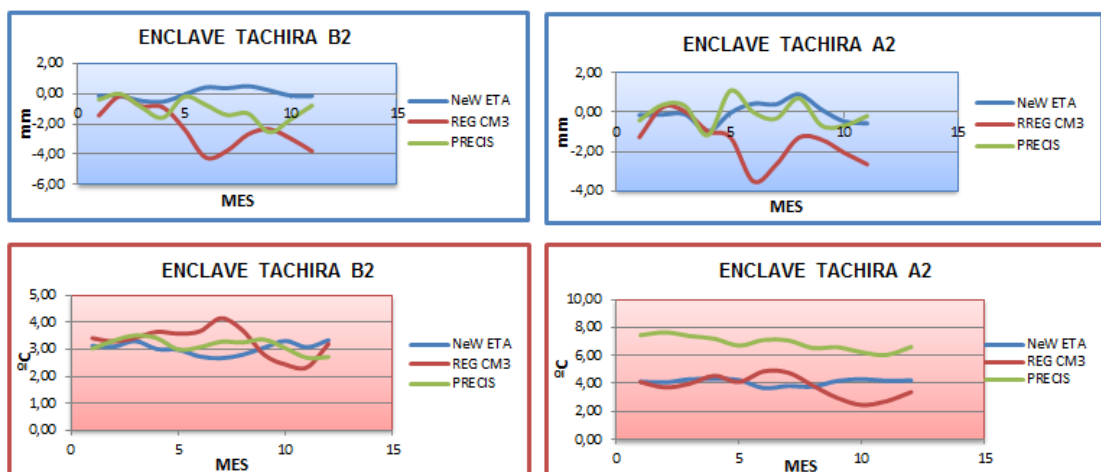


Figura 16: Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.

En el Enclave del Valle de Táchira se proyectaron precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 por medio de los modelos climáticos regionales ETA, Reg CM3 y PRECIS los cuales mostraron resultados diferentes entre ellos.

Según el modelo ETA tanto en el escenario B2 como en el escenario A2 presenta una disminución en las precipitaciones de 0,02 mm/día y 0,06 mm/día respectivamente, presentándose la mayor disminución en Abril 0,5 y 0,9 mm/día.

Según el modelo Reg CM3 tanto en el escenario B2 como en el Escenario A2 presenta una disminución en las precipitaciones de 2,36 mm/día y 1,52 mm/día en promedio respectivamente, aunque en el mes de Abril se presenta una disminución máxima 4,2 y 3,5 mm/día respectivamente.

Según el modelo PRECIS tanto en el escenario B2 como en el escenario A2 presenta una disminución en las precipitaciones promedio 0,97 mm/día y 0,05 mm/día respectivamente, presentándose la mayor disminución en el mes de Septiembre de 2,54 y 0,70 mm/día respectivamente.

La temperatura en el escenario B2 presenta un aumento en promedio de 3,1°C para el modelo ETA y PRECIS; 3,3°C para el modelo Reg CM3, con un aumento máximo de temperatura de 3,34°C para el modelo ETA en el mes de Diciembre, 4,15°C para el modelo Reg CM3 en el mes de Julio y 3,51°C en el mes de Marzo para el modelo PRECIS.

La temperatura en el Escenario A2 presenta un aumento en promedio de 4,0°C para los modelo ETA y Reg CM3; y 6,0°C para el modelo PRECIS, con un aumento máximo de temperatura de 4,3°C en el mes de Abril para el modelo ETA, 4,8°C en el mes de Julio y 7,65°C en el mes de Febrero para el modelo PRECIS.

CAÑÓN DEL CHICAMOCHA

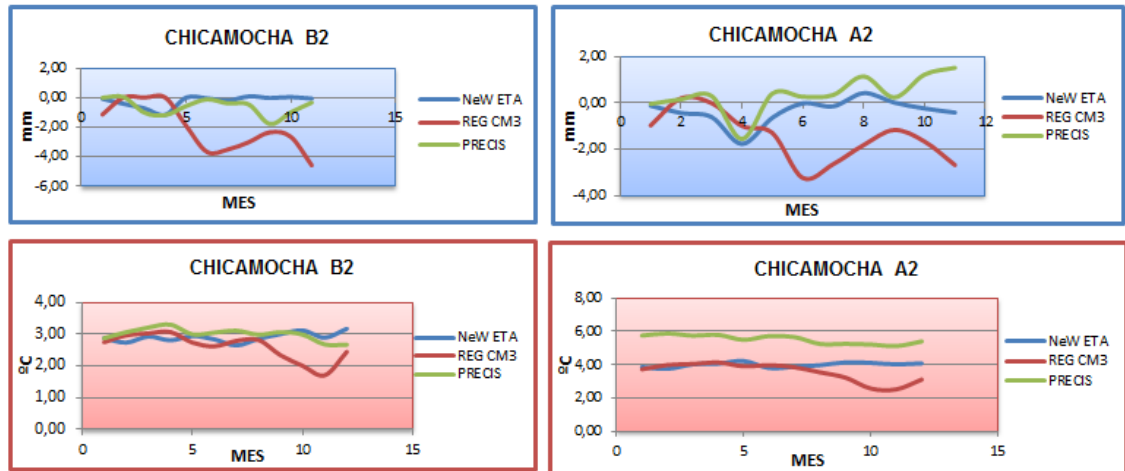


Figura 17: Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.

En el Cañón del Chicamocha se proyectaron precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 por medio de los modelos climáticos regionales ETA, Reg CM3 y PRECIS los cuales mostraron resultados diferentes entre ellos.

Según el modelo ETA tanto en el escenario B2 como en el escenario A2 presenta una disminución promedio en las precipitaciones de 0,27 mm/día y 0,36 mm/día respectivamente, presentándose la mayor disminución en Abril 1,15 y 1,77 mm/día.

Según el modelo Reg CM3 tanto en el escenario B2 como en el Escenario A2 presenta una disminución en las precipitaciones de 2,33 mm/día y 1,48 mm/día en promedio respectivamente, aunque en el mes de Noviembre se presenta una disminución máxima 4,58 en el escenario B2 y 3,25mm/día en el mes de Junio en el escenario A2.

Según el modelo PRECIS en el escenario B2 presenta una disminución en las precipitaciones promedio 0,56 mm/día mientras en el escenario A2 presenta un aumento de precipitación de 0,39 mm/día; presentándose la mayor

disminución en el mes de Septiembre de 1,7 mm/día en el escenario B2 y un aumento en el mes de Noviembre de 1,50 mm/día en el escenario A2.

La temperatura en el escenario B2 presenta un aumento en promedio de 3,0°C para el modelo ETA y PRECIS; 2,6°C para el modelo Reg CM3, con un aumento máximo de temperatura de 3,16°C para el modelo ETA en el mes de Diciembre, 3,1°C para el modelo Reg CM3 en el mes de Abril y 3,3°C en el mes de Abril para el modelo PRECIS.

La temperatura en el Escenario A2 presenta un aumento en promedio de 4,0°C para el modelo ETA, 3,5°C para el modelo Reg CM3; y 5,5°C para el modelo PRECIS, con un aumento máximo de temperatura de 4,2°C en el mes de Abril para el modelo ETA, 3,9°C en el mes de Febrero para el modelo Reg CM3 y 5,8°C en el mes de Febrero para el modelo PRECIS.

ENCLAVE DE VILLA DE LEIVA

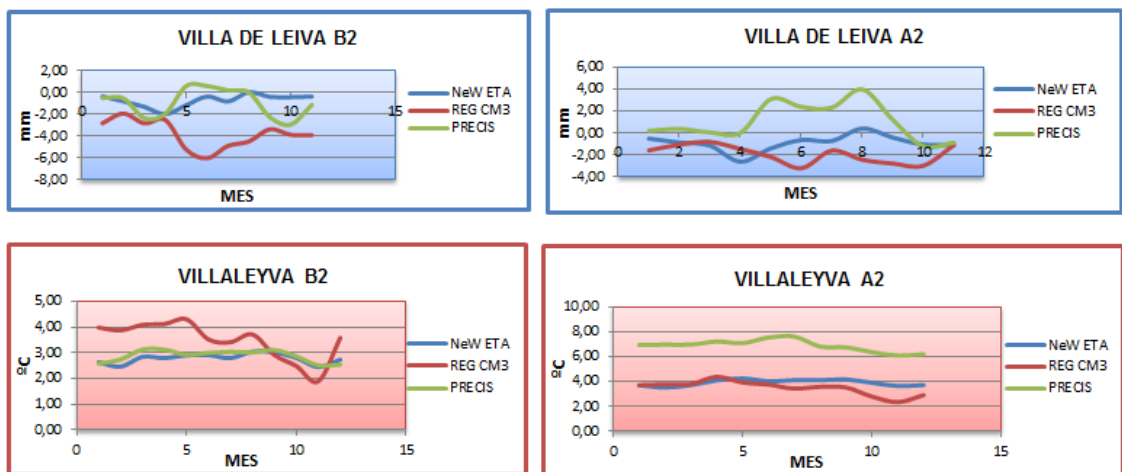


Figura 18 : Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.

En el Enclave de Villa de Leiva se proyectaron precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 por medio de los modelos climáticos regionales ETA, Reg CM3 y PRECIS los cuales mostraron resultados diferentes entre ellos.

Según el modelo ETA tanto en el escenario B2 como en el escenario A2 presenta una disminución promedio en las precipitaciones de 0,69 mm/día y 0,85 mm/día respectivamente, presentándose la mayor disminución en Abril 1,98 y 2,62 mm/día.

Según el modelo Reg CM3 tanto en el escenario B2 como en el Escenario A2 presenta una disminución en las precipitaciones de 3,93 mm/día y 1,90 mm/día en promedio respectivamente, aunque en el mes de Noviembre se presenta una disminución máxima 6,03 en el escenario B2 y 3,21 mm/día en el mes de Junio en el escenario A2.

Según el modelo PRECIS en el escenario B2 presenta una disminución en las precipitaciones promedio 0,87 mm/día mientras en el escenario A2 presenta un aumento de precipitación de 1,05 mm/día; presentándose la mayor disminución en el mes de Septiembre de 2,94 mm/día en el escenario B2 y un aumento en el mes de Noviembre de 3,08 mm/día en el escenario A2.

La temperatura en el escenario B2 presenta un aumento en promedio de 2,8°C para el modelo ETA y PRECIS; 3,4°C para el modelo Reg CM3, con un aumento máximo de temperatura de 3,04°C para el modelo ETA en el mes de Agosto, 4,3°C para el modelo Reg CM3 en el mes de Mayo y 3,12°C en el mes de Abril para el modelo PRECIS.

La temperatura en el Escenario A2 presenta un aumento en promedio de 4,0°C para el modelo ETA, 3,4°C para el modelo Reg CM3; y 6,86°C para el modelo PRECIS, con un aumento máximo de temperatura de 4,2°C en el mes

de Mayo para el modelo ETA, 4,38°C en el mes de Abril para el modelo Reg CM3 y 7,6°C en el mes de Julio para el modelo PRECIS.

CORDILLERA CENTRAL

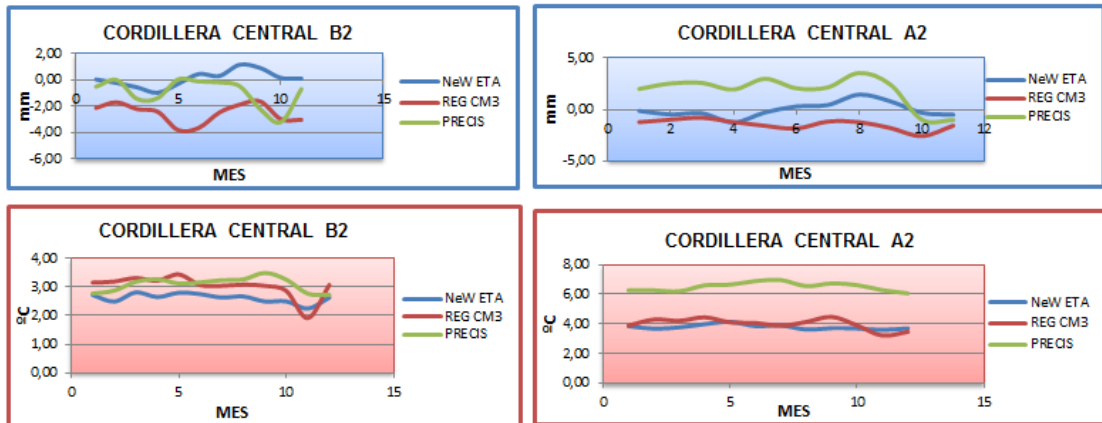


Figura 19: Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.

En la zona de la cordillera central se proyectaron precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 por medio de los modelos climáticos regionales ETA, Reg CM3 y PRECIS los cuales mostraron resultados diferentes entre ellos.

ETA la precipitación proyectada tanto en el escenario B2 como en el escenario A2 presenta aumento en la precipitación en los meses de Enero, Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre presentándose la mayor disminución en las precipitaciones de 1,14 mm/día y 1,4 mm/día respectivamente; y disminución en la precipitación los meses de Febrero, Marzo, Abril y Mayo con un máximo 0,98 y 1,25 mm/día.

Según el modelo Reg CM3 tanto en el escenario B2 como en el Escenario A2 presenta una disminución en las precipitaciones de 2,64 mm/día y 1,42 mm/día en promedio respectivamente, aunque en el mes de Mayo se presenta una disminución máxima 3,08mm/día en el escenario B2 y 2,5 mm/día en el mes de Octubre en el escenario A2.

Según el modelo PRECIS en el escenario B2 presenta una disminución en las precipitaciones promedio 0,86 mm/día mientras en el escenario A2 presenta un aumento de precipitación de 1,90 mm/día; presentándose la mayor disminución en el mes de Octubre de 3,2 mm/día en el escenario B2 y un aumento en el mes de Septiembre de 3,5 mm/día en el escenario A2.

La temperatura en el escenario B2 presenta un aumento en promedio de 2,6°C para el modelo ETA; 3,0°C para el modelo Reg CM3 y PRECIS, con un aumento máximo de temperatura de 2,81°C para el modelo ETA en el mes de Marzo, 3,43°C para el modelo Reg CM3 en el mes de Mayo y 3,49°C en el mes de Septiembre para el modelo PRECIS.

La temperatura en el Escenario A2 presenta un aumento en promedio de 4,0°C para el modelo ETA y para el modelo Reg CM3; y 6,50°C para el modelo PRECIS, con un aumento máximo de temperatura de 4,14°C en el mes de Mayo para el modelo ETA, 4,47°C en el mes de Septiembre para el modelo Reg CM3 y 6,95°C en el mes de Julio para el modelo PRECIS.

CORDILLERA OCCIDENTAL

En la zona de la cordillera occidental se proyectaron precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 por medio de los modelos climáticos regionales ETA, Reg CM3 y PRECIS los cuales mostraron resultados diferentes entre ellos.

IPIALES

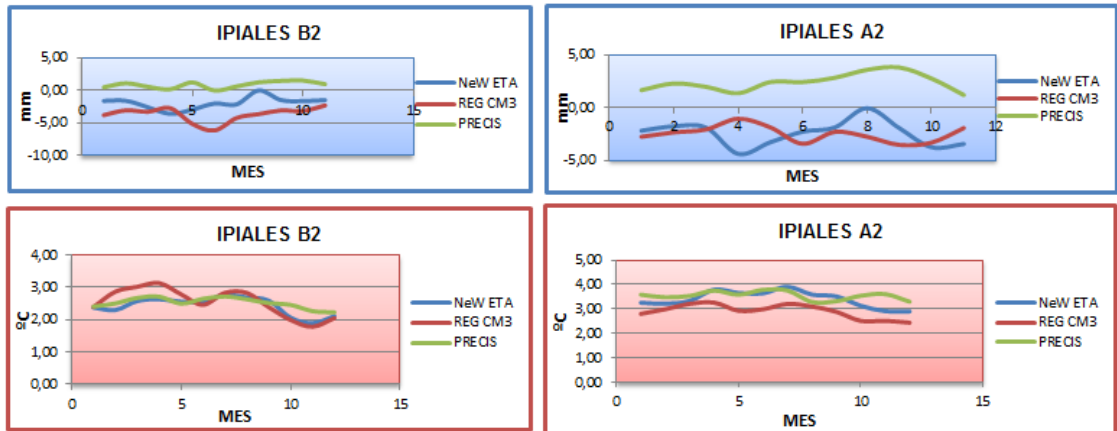


Figura 20: Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.

Según los modelos climáticos utilizados para las proyecciones presenta el modelo ETA y Reg CM3 disminución en las precipitaciones, el modelo PRECIS presenta un aumento de las mismas; mientras en las temperaturas se mantiene un promedio estándar.

El modelo ETA presenta una disminución promedio en las precipitaciones de 2,04mm/día en el escenario B2 y 2,42mm/día en el escenario A2; presenta una disminución máxima de 3,6mm/día y 4,35 mm/día en el mes de Abril respectivamente.

El modelo Reg CM3 presenta una disminución promedio en las precipitaciones de 3,68 mm/día en el escenario B2 y 2,45 mm/día en el escenario A2; presenta una disminución máxima de 6,16mm/día y 3,40 mm/día en el mes de Junio respectivamente.

El modelo PRECIS presenta una aumento promedio en las precipitaciones de 0,91 mm/día en el escenario B2 y 2,28 mm/día en el escenario A2; presenta

una precipitación máxima de 1,51 mm/día en el mes de Octubre y 3,8 mm/día en el mes de Septiembre respectivamente.

La temperatura en el escenario B2 presenta un aumento en promedio de 2,5°C para los tres modelos, con un aumento máximo de temperatura de 2,8°C para el modelo ETA y Reg CM3 en el mes de Julio en el mes de Mayo y 2,72°C en el mes de Julio para el modelo PRECIS.

La temperatura en el Escenario A2 presenta un aumento en promedio de 3,4°C para el modelo ETA, 2,9°C para el modelo Reg CM3; y 3,5°C para el modelo PRECIS, con un aumento máximo de temperatura de 4°C en el mes de Julio para el modelo ETA y PRECIS y 3,21°C en el mes de Julio para el modelo Reg CM3.

CAÑÓN DEL RÍO PATIA

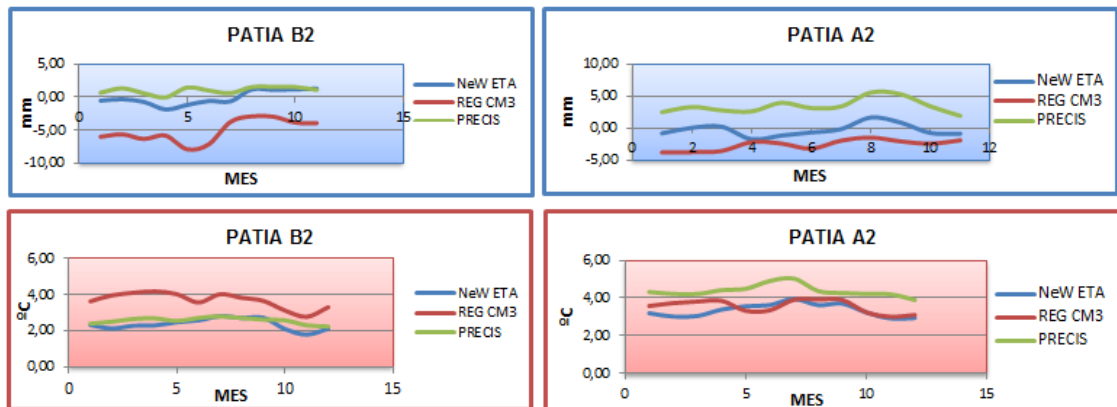


Figura 21: Proyecciones de precipitaciones y temperatura para el 2070 – 2100 en el escenario A2 y B2.

Según los modelos climáticos utilizados para las proyecciones presenta el modelo ETA y Reg CM3 disminución en las precipitaciones, el modelo PRECIS

presenta un aumento de las mismas; mientras en las temperaturas se mantiene un promedio estándar.

El modelo ETA presenta una disminución promedio en las precipitaciones de 0,12 mm/día en el escenario B2 y 0,24 mm/día en el escenario A2; presenta una disminución máxima de 1,8 mm/día y 1,77 mm/día en el mes de Abril respectivamente.

El modelo Reg CM3 presenta una disminución promedio en las precipitaciones de 5,20 mm/día en el escenario B2 y 2,65 mm/día en el escenario A2; presenta una disminución máxima de 7,8 mm/día en el mes de Mayo y 3,80 mm/día en el mes de Enero respectivamente.

El modelo PRECIS presenta un aumento promedio en las precipitaciones de 1,0 mm/día en el escenario B2 y 3,29 mm/día en el escenario A2; presenta una precipitación máxima 1,58 mm/día en el mes de Septiembre y 5,24 mm/día en el mes de Septiembre respectivamente.

La temperatura en el escenario B2 presenta un aumento en promedio de 2,36°C para el modelo ETA, 3,68°C para el modelo Reg CM3 y 2,57°C para el modelo PRECIS; con un aumento máximo de temperatura de 2,8°C para el modelo ETA y PRECIS en el mes de Julio y 4,0°C para el modelo Reg CM3 en el mes de Julio.

La temperatura en el Escenario A2 presenta un aumento en promedio de 3,4°C para el modelo ETA, 3,6°C para el modelo Reg CM3; y 4,4°C para el modelo PRECIS, con un aumento máximo de temperatura de 3,9°C en el mes de Julio para el modelo ETA y Reg CM3 y 5,0°C en el mes de Julio para el modelo PRECIS.

CONCLUSIONES

- Analizando las proyecciones regionales de cambio climático para las regiones áridas y semiáridas de Colombia se observa disminución en las precipitaciones lo que generaría un incremento en el índice de aridez en estas zonas y se verían dispuestas a empeorar su situación.
- Las proyecciones realizadas mostraron en la mayoría de las zonas de estudio disminuciones en las precipitaciones y aumento en la temperatura de las zonas excepto en la zona de la cordillera oriental donde se presentó aumento en las precipitaciones por el método regional PRECIS aun cuando las temperaturas aumentaron.
- Las proyecciones realizadas por medio de los tres modelos climáticos presenta la mayor disminución de precipitaciones en las zonas de la cordillera occidental y el enclave de Villa de Leiva mientras las zonas que representa menor disminución en las precipitaciones en las zonas del Cañón del Chicamocha, Enclave del valle de Táchira y Enclave de Ocaña.
- El modelo de regional climático PRECIS fue el único que presento un aumento en las precipitaciones en las zonas del Cañón del Chicamocha y cordillera occidental.
- En las proyecciones realizadas presentan altas temperaturas en las zonas del Enclave de Táchira, Cañón del Chicamocha, Soacha y Villa de Leiva; mientras las menores temperaturas se presentan en el desierto de la Guajira, Santa Marta e Ipiales.
- En este proyecto se dan a conocer proyecciones del cambio climático que sufrirán las zonas áridas y semiáridas de Colombia teniendo en

cuenta el cambio climático por efecto natural de nuestro planeta el cual muestra una disminución en las precipitaciones y un aumento en las temperaturas de la mayoría de las zonas de estudio lo que indica que el índice de aridez será mayor en estas zonas. Debemos ser conscientes del cuidado de nuestro ecosistema y en la utilidad que le damos a los suelos para que estos resultados no afecten a las comunidades, ni a la economía del país.

- Este análisis de proyecciones regionales de cambio climático para regiones áridas y semiáridas de Colombia deberían ser consideradas para tomar medidas de mitigación y adaptación al cambio.

OBSERVACIONES

- Se debe tener en cuenta que este estudio tiene como base el cambio climático natural, es decir, solo teniendo como base los procesos naturales en el ambiente sin intervención antropógena.

BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial. DESERTIFICACIÓN Y SEQUÍA. Primera Jornada Nacional de Sensibilización. Memorias. Primera Edición, Bogotá, D.C, Febrero 2003.
- Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial. PLAN DE ACCION NACIONAL (PAN). Lucha contra la Desertificación y Sequía en Colombia. Primera Edición, Bogotá, D.C, Septiembre 2005.
- Hernández, Camacho J. zonas áridas y semiáridas de Colombia, 1995.
- GEOINGENIERIA. Identificación de prioridades para la Gestión Ambiental en Ecosistemas de Páramos, Sabanas, Zonas Áridas y Semiáridas y Humedales de Agua Dulce. Santafé de Bogotá, 1999.
- Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial. Primer informe nacional su implementación de la convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación y la sequía – UNCCD-2000. Primera edición, Bogotá D.C, Mayo de 2000.
- Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial. Segundo informe nacional su implementación de la convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación y la sequía – UNCCD-2002. Bogotá D.C, Abril de 2002.

- Segunda comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático 2010. Capitulo uno, circunstancias nacionales.
- Segunda comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático 2010. Capitulo cuarto, Vulnerabilidad.
- http://precis.metoffice.com/docs/PRECIS_Handbook.pdf páginas 6, 35.
- http://precis.metoffice.com/docs/PRECIS_Introduction.pdf página 9.
- <http://ideam.gov.co>
- http://www.cenicafe.org/modules.php?name=Estado_del_tiempo_en_la_Zona_Cafetera&file
- Lincoln M. Alves, Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. Theor Appl Climatol. DOI 10.1007/s00704-009-0165-2.
- Lincoln M. Alves, Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. Theor Appl Climatol. DOI 10.1007/s00704-009-0165-2.