

ALTERACIONES DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA ANTE VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ

José Franklyn Ruiz Murcia & Omar Felipe De Jesús Escobar García
Subdirección de Meteorología – IDEAM (2012)

RESUMEN

Se encontraron los cambios de precipitación y temperatura ante variabilidad climática y cambio climático para Bogotá bajo escenarios IPCC. Para llevar a cabo esto, se elaboraron las bases de datos de dichas variables meteorológicas, se complementaron los datos faltantes mensuales con técnicas geo-estadísticas, se elaboró la climatología 1971-2000 como período de referencia, se calculó la probabilidad de alteración en los regímenes normales de precipitación y temperatura bajo escenarios El Niño/La Niña, tomando como indicador de variabilidad climática las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en la región Niño 3.4 y, finalmente, con modelos híbridos (dinámico-estadísticas) se elaboraron las proyecciones de cambio climático bajo tres escenarios propuestos por IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). En particular, se evidenció que bajo eventos El Niño, la probabilidad de reducción en el volumen de las precipitaciones y el aumento en la temperatura, es significativo; mientras que bajo eventos La Niña ocurre lo contrario. Para el caso de las proyecciones climáticas, estas indican que la temperatura seguiría aumentando y la precipitación, a nivel de décadas anuales se reduciría lo largo del siglo XXI. No obstante, vale la pena destacar que los análisis de clima presente demostraron que la década 2001-2010 fue la más lluviosa de los últimos 40 años de la serie 1971-2010 ya que la precipitación aumentó en un 40% respecto a los valores históricos.

Palabras claves: escenarios IPCC, cambio climático regional

ABSTRACT

It was found changes in precipitation and temperature for variability and climate change under IPCC scenarios for Bogotá. To accomplish this, it was developed databases for those meteorological variables; missing data were supplemented with geo-statistical techniques to create 1971-2000 climate reference. Also was calculated the probability of change in regimes of precipitation and temperature under El Niño/La Niña scenarios taking as climate variability index the Sea Surface Temperature (SST) anomalies in the Niño 3.4 region. Finally, with hybrid models (dynamic-statistics) were prepared climate change projections under three scenarios proposed by IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). In particular, it was shown that under El Niño, the amount of precipitation decrease and the temperature increase, whereas under La Niña event all change. In the case of climate projections, these indicate that the temperature would continue to rise and precipitation would start to decrease. However, it is worth noting that the present climate analysis showed that the decade 2001-2010 was the wettest of the past 40 years due to that the precipitation increased 40% over compared to historical values.

Key words: IPCC scenarios, local climate change

1. INTRODUCCIÓN

Durante la década 2001-2010 se pudieron observar los valores más altos de precipitación. Evidencia directa de esta situación se puede constatar por las emergencias vividas en la ciudad durante los últimos años. En el año 2010, el nivel del río Bogotá aumentó de forma significativa y se desbordó generando daños en buena parte del occidente de la ciudad. Anteriormente hacia el año 2002, el río Tunjuelito se desbordó generando inundaciones de incluso un 1.50m de altura en algunos barrios de la ciudad, dejando miles de damnificados. Las zonas con mayor afectación, correspondieron a la parte norte, oeste y centro de la ciudad influenciando localidades como Suba, Engativá, Fontibón, Barrios Unidos y Teusaquillo, pero en menor porcentaje la localidad de Sumapaz ubicada al sur de Bogotá (*Escobar, O. F., 2012*); generalmente bajo la presencia del evento de variabilidad climática asociado a La Niña favoreciendo la hipótesis de que bajo la influencia de dicho fenómeno de variabilidad climática en la escala intranual, se desencadena un aumento en la precipitación. Sin embargo, la investigación muestra que trimestres mensuales localizados a mitad de año, las lluvias tienen comportamientos dentro de lo normal bajo mencionada situación. Para el caso de eventos tipo El Niño, la precipitación se reduce, lo cual en algunas temporadas de lluvias ha obligado a la administración Distrital a construir pozos para asegurar el abastecimiento de agua en la ciudad (*Escobar, O. F., 2012*).

Como mecanismo de comprensión de la dinámica de estos eventos meteorológicos mensuales y anuales, surge la necesidad de comprender los cambios de sus comportamientos normales desde el punto de vista de la variabilidad climática; lo cual permitiría en principio identificar vulnerabilidades tanto ambientales como socio-económicas. Entre tanto, para apoyar políticas de adaptación en los sectores, se calcularon las posibles alteraciones del clima hacia el futuro bajo una atmósfera influenciada por emisiones de gases de efecto invernadero, con técnicas que permiten utilizar los datos locales de las estaciones como puntos de referencia.

En cuanto a las alteraciones de la precipitación a lo largo del siglo XXI visto con datos iniciales de algunos modelos de IPCC, regionalizados con downsaciling dinámico, utilizando el modelo PRECIS (*Jones et al., 2004*) y, re-escalado a nivel local con el método del factor de cambio; el efecto general sobre todo el territorio bogotano es hacia una reducción de la precipitación especialmente al norte de la ciudad, sobre localidades como Suba, Usaquén, Engativá y Fontibón; mientras que para el caso de la temperatura media, esta seguiría aumentando a lo largo del siglo XXI, alcanzando un aumento de alrededor 3.6°C para la década 2091-2100.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El área de estudio es la ciudad de Bogotá, que de longitud sur a norte tiene 33 km y de Oriente a Occidente 16 km, posee 19 localidades urbanas y 1 rural, se hace referencia a ella como la Sabana de Bogotá por hacer parte del Altiplano Cundiboyacense con una formación montañosa ubicada en la Cordillera Oriental de los Andes. Bogotá tiene un área total de 1776 Km² entre su parte urbana, rural y

suburbana; sus principales formaciones montañosas son el Cerro de Monserrate y el Cerro de Guadalupe; su elevación oscila entre 2500 y 3250msnm y los principales cuerpos Hídricos son el Río Bogotá, Río Fucha, Río Tunjuelito y el Río Salitre (Escobar, O. F., 2012).

Datos utilizados

Se utilizaron datos de precipitación y temperatura del aire a nivel mensual de distintas entidades entre ellas IDEAM, SDA y Acueducto para un total de 105 estaciones de precipitación y 37 de temperatura media (Fig. 1) que cubrieron no solo sectores del sector de Bogotá sino de la periferia situación que facilitó la reconstrucción del clima presente dentro de la ciudad, las interpolaciones y el análisis de los resultados finales.

Para el caso de IDEAM, el conjunto de datos mensuales correspondió al consultado desde el año 1971 hasta el año 2010. En el caso de SDA, obedece al conjunto de datos horarios desde el día 1 de agosto del año 1997 al 30 de mayo del 2011; mientras que para el Acueducto, los datos corresponden a los datos anuales desde el año 1925 hasta el año 2010 (mes a mes). Sin embargo, en algunas estaciones se evidenció la falta de datos en algunos años.

Para los análisis de variabilidad climática se utilizó la serie de anomalía de Temperatura Superficial del Mar de la NOAA (Nacional Oceanic and Atmospheric Administration) de los Estados Unidos ubicada en <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>; mientras que las condiciones iniciales y de frontera de los modelos de IPCC fueron suministrados por el Centro Hadley de Reino Unido. El clima presente fue simulado con el reanálisis ERA40 y los escenarios futuros con HadCM3 para los escenarios A2 y B2 y ECHAM5 para el escenario A1B.

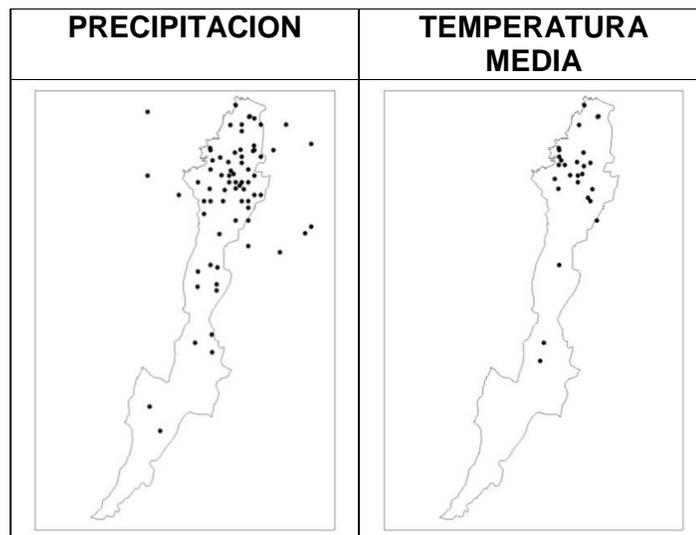


Figura 1. Distribución espacial de estaciones meteorológicas

Metodología

Para la obtención de los resultados finales se realizaron los siguientes pasos:

- Se construyó una base de datos de precipitación y temperatura media con base en los registros de IDEAM y otras instituciones que realizan mediciones meteorológicas como Secretaria Distrital de Ambiente y el Acueducto, para la serie 1971-2010.
- Se realizó un análisis de la estacionalidad y para estaciones con el mismo tipo de ciclo anual se les realizó un Análisis de Componentes Principales bajo la variante Varimax (*Richman, M. & Lamb, P., 1985*) con el fin de regionalizar homogéneamente cada una de las variables meteorológicas sobre Bogotá.
- Con base en la regionalización; se complementaron y se reconstruyeron series de datos faltante a nivel mensual y anual utilizando modelos ARIMA (*Gómez & Maravall, 1996*) y métodos de relleno de datos que utilizan información de estaciones cercanas conocido como Razón de Valores Normales (*Monsalve, G., 1995*) y de esta forma se obtuvo la climatología 1971-2010 con datos completos.
- Se generó las probabilidades de que la precipitación y la temperatura se alteren ante eventos de variabilidad climática. Para este caso la variable explicativa fue la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en la Región Niño 3.4 y la ayuda del Software Jaziku (*León, et al., 2012*).
- Se construyó una base de datos de precipitación y temperatura media de clima presente simulado por PRECIS utilizando datos de baja resolución del reanálisis ERA40 con la metodología explicada por *Jones et al. (2004)*.
- Se aplicó el método del Factor de Cambio (*Anandhi, et al. 2011*) entre lo simulado y lo observado a nivel de estación para ajustar los resultados de los escenarios de cambio climático A2, B2 y A1B, generados en alta resolución con PRECIS; este modelo regional utilizó datos de baja resolución de modelos globales ECHAM5 y HadCM3 y del reanálisis ERA40 suministrados por el Centro Hadley
- Se comparó el clima futuro 2011-2100 respecto a la normal climatológica 1971-2000, reescalado a nivel de estación meteorológica y se construyó la clasificación climática de Lang de forma similar a como lo aplico *Ruiz, F. (2010)*.
- Finalmente se discuten los resultados de los escenarios.

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1. ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

Distribución espacial de la precipitación: Según el total multianual, los valores más altos de precipitación (mm) están presentes hacia la parte noreste de la ciudad afectando localidades como Santa Fé, San Cristóbal, Chapinero, Usaquén, sectores de Usme y la parte sur sobre Sumapaz con valores que oscilan entre los 1000 y 2000 mm. En cuanto a los valores mínimos de precipitación, éstos se presentan principalmente en Suba, Engativá y Fontibón con valores que oscilan entre 500 y 1000 mm tal como se aprecia en la Fig. 2.

En general, el 80% de las estaciones analizadas presentan una distribución estacional de la precipitación tipo bimodal, es decir, hay dos valores pico de precipitación durante el año (alrededor de abril-mayo y octubre-noviembre); mientras que el restante 20% presenta un ciclo mononodal especialmente en su parte oriental con su máximo de precipitación mensual alrededor de mitad de año.

Distribución espacial de la Temperatura: Los valores del promedio multianual de temperatura media se encuentran entre los 9°C en las zonas mas altas y 14°C para la parte mas baja de la ciudad de Bogotá, este último valor tiende a ubicarse hacia la parte norte y oeste de la ciudad, en donde se encuentran las localidades de Suba, Engativá, entre otras. Por otro lado los valores más bajos se presentan hacia la parte central y sur tal como Sumapaz (la Fig. 3).

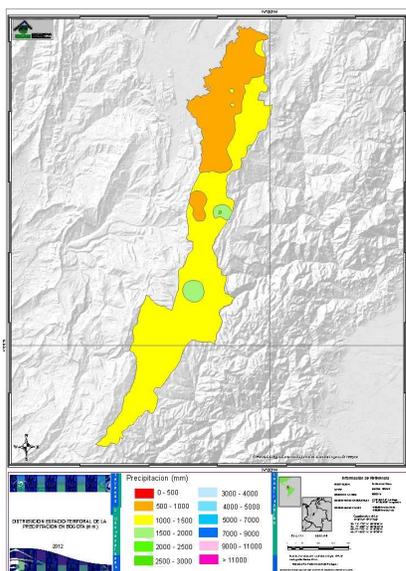


Figura 2. Distribución espacial de la precipitación en Bogotá

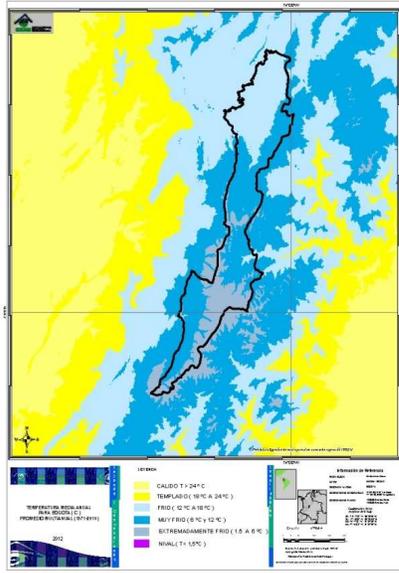


Figura 3. Distribución espacial de la temperatura media en Bogotá

3.2. ALTERACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN POR EVENTOS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Evento la Niña (Anomalía de la TSM < -0.5°C): El principal efecto es el aumento notorio en los niveles de precipitación. Cuando se presenta un comportamiento por debajo de lo normal en las anomalías de la TSM, la lluvia en Bogotá se caracteriza porque en el lapso del primer trimestre (Enero-Febrero-Marzo) al tercer trimestre (Marzo-Abril-Mayo) hay una probabilidad del 80% del aumento del volumen de la precipitación. Situación similar se presenta entre el trimestre 7 (Julio-Agosto-Septiembre) al 12 (Diciembre-Enero-Febrero). De igual manera, los trimestres 10, 11 y 12, tienen un comportamiento bastante influenciado por una anomalía negativa en la TSM, pues la probabilidad de que los niveles de precipitación aumentan es considerablemente alta (Ver Fig. 4).

Fase Normal (Anomalías de la TSM entre -0.5 y +0.5°C): Cuando no existe alteraciones del comportamiento de la Temperatura Superficial del Mar, en general predomina un comportamiento de lluvias acorde a los valores típicos. Las alteraciones presentadas en la Fig. 4, por lo tanto, corresponden a otros tipos de variabilidad climática que no fueron consideradas en este trabajo. La localidad de Sumapaz obedece un caso especial de análisis, ya que el comportamiento observado radica en el hecho de que al tener características de páramo contiene una gran cantidad de recursos hídricos, esto en sumatoria a la cantidad de formaciones montañosas de la zona, permiten generar una constante precipitación (Escobar, O. F., 2012).

Evento la Niño (Anomalía de la TSM > +0.5°C): Cuando se presenta un comportamiento por encima de lo normal en la TSM, el efecto observado para Bogotá es la reducción en los niveles de precipitación especialmente en los trimestres 11, 12 y 1 con una probabilidad del 80%. El trimestre con mayor afectación es el trimestre 12 seguido del trimestre 1, lo cual nos permite concluir que los meses

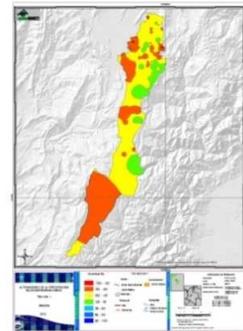
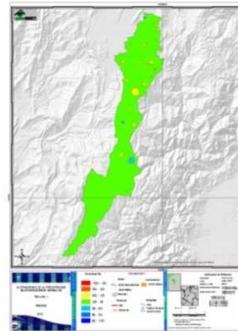
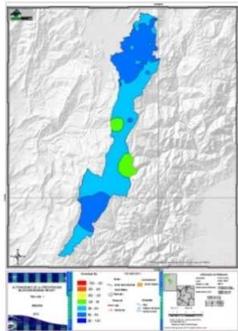
de Enero y Febrero son los que se verían mas afectados con una mayor reducción de precipitaciones ya que son los meses comunes a ambos trimestres. Las zonas de mayor afectación durante eventos el Niño varían según el trimestre que se tiene en cuenta, durante el trimestre 11, localidades como Ciudad Bolívar y Usme padecen disminución de la precipitación. Durante el trimestre 12 toda la ciudad se vea afectada por el fenómeno y durante el trimestre 1 principalmente Ciudad Bolívar y Fontibón.

EVENTO LA NIÑA

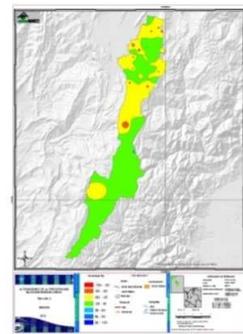
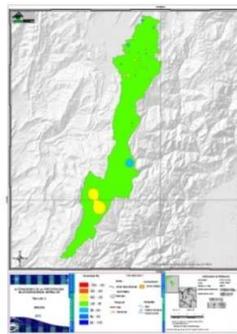
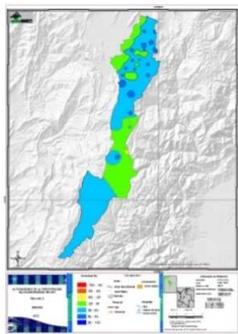
NORMAL

EVENTO EL NIÑO

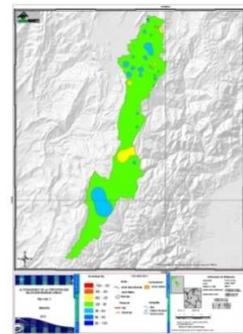
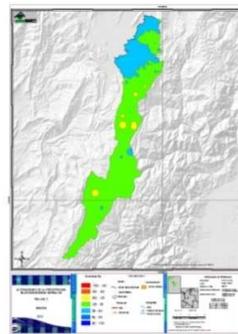
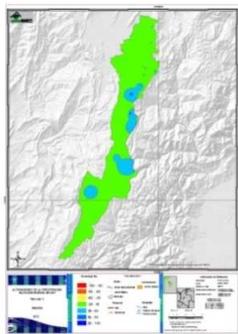
Trimestre 1 (Enero-Febrero-Marzo)



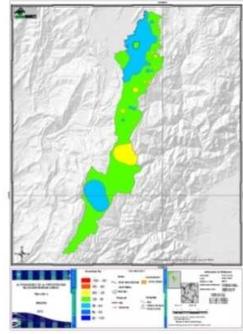
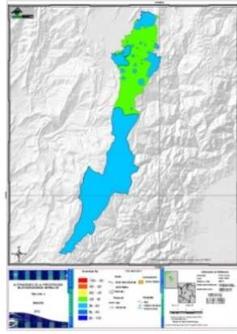
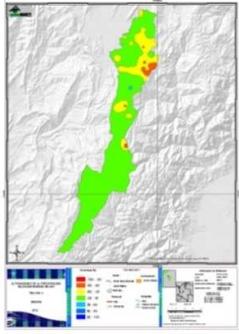
Trimestre 2 (Febrero-Marzo-Abril)



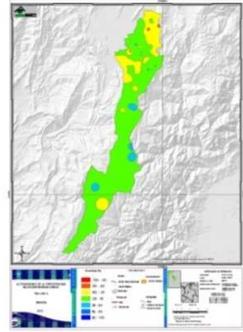
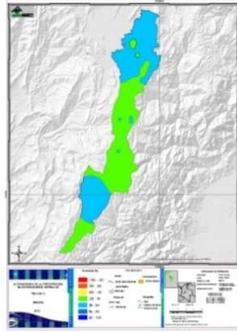
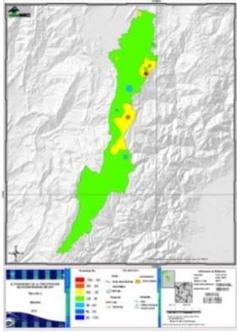
Trimestre 3 (Marzo-Abril-Mayo)



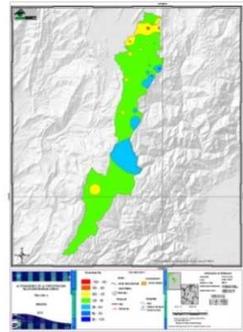
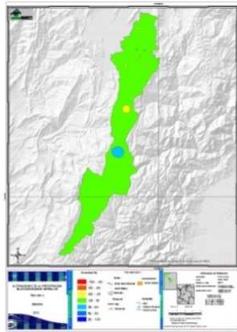
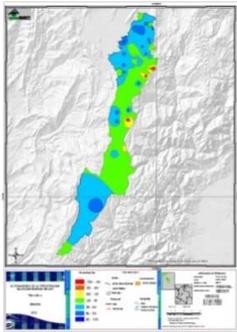
Trimestre 4 (Abril-Mayo-Junio)



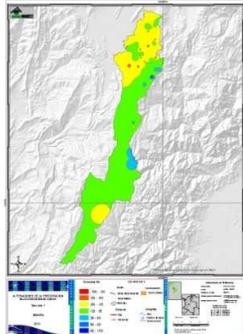
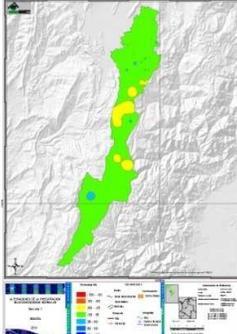
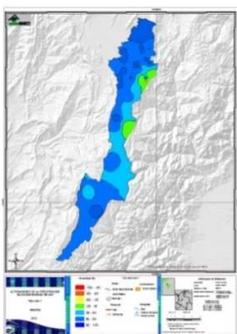
Trimestre 5 (Mayo-Junio-Julio)



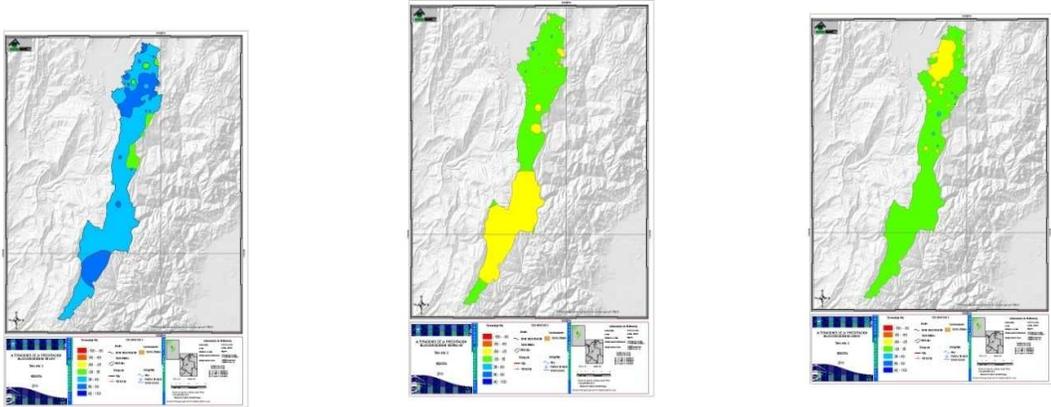
Trimestre 6 (Junio-Julio-Agosto)



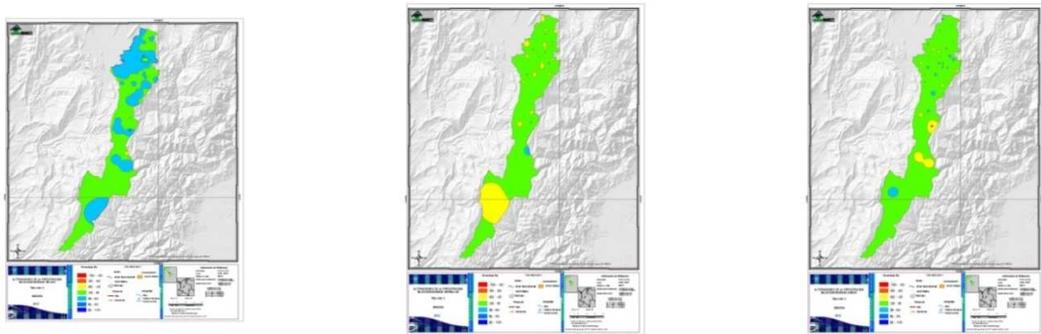
Trimestre 7 (Julio-Agosto-Septiembre)



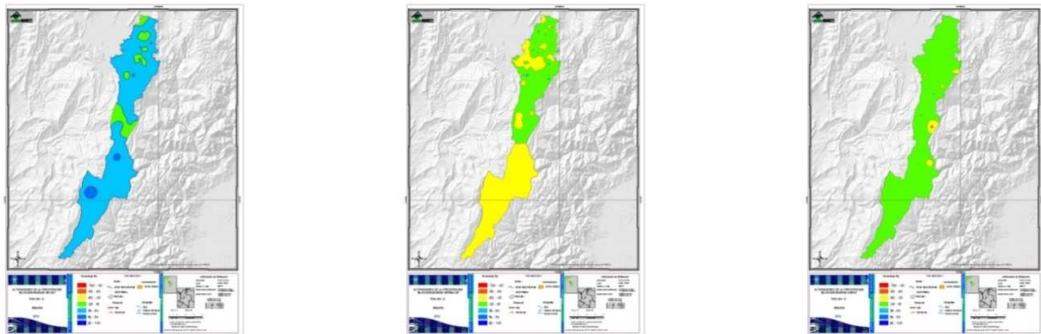
Trimestre 8 (Agosto-Septiembre-Octubre)



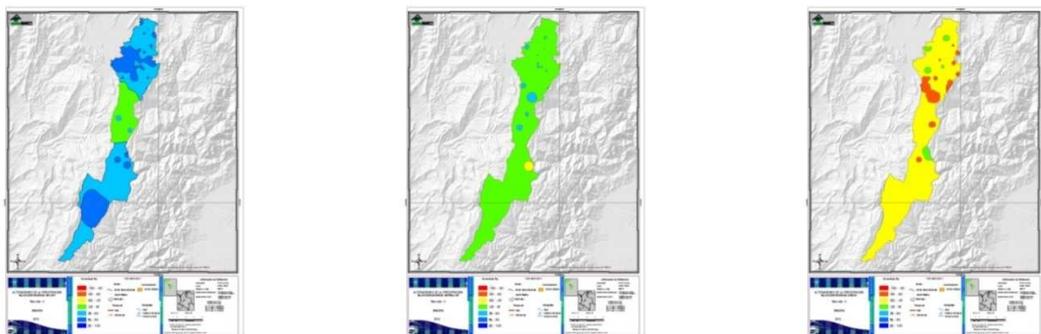
Trimestre 9 (Septiembre-October-Noviembre)



Trimestre 10 (October-Noviembre-Diciembre)



Trimestre 11 (November-Diciembre-Enero)



Trimestre 12 (Diciembre-Enero-Febrero)

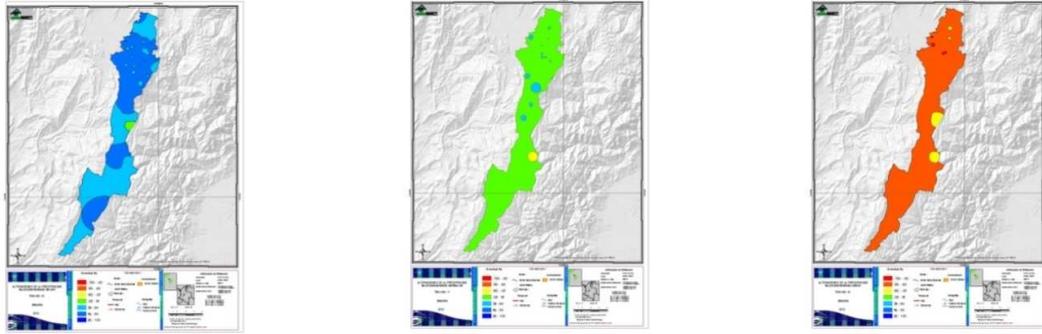


Figura 4. Alteraciones de la precipitación ante variabilidad climática en probabilidad.

3.3. ALTERACIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA POR EVENTOS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Evento la Niña (Anomalía de la TSM < -0.5°C): Cuando se presenta un comportamiento por debajo de lo normal en la TSM, el efecto observado para Bogotá es una disminución en la temperatura con probabilidades entre el 60 y 100% en todos los trimestres. Sin embargo, el segundo trimestre es aquel que presenta mayor disminución, seguido del trimestre 3, lo que nos permite concluir que marzo y abril son los meses de mayor afectación ya que son comunes a ambos trimestres. De igual manera, otro de los trimestres más afectados es el número 10.

Fase Normal (Anomalías de la TSM entre -0.5 y +0.5°C): Cuando la TSM está bajo condiciones normales, Bogotá se caracteriza por presentar un comportamiento dentro de valores típicos para todos los trimestres.

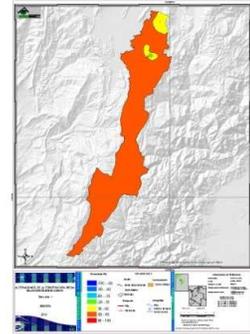
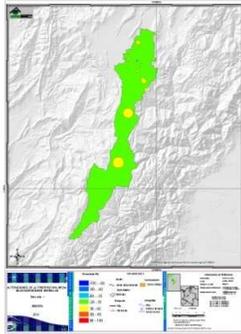
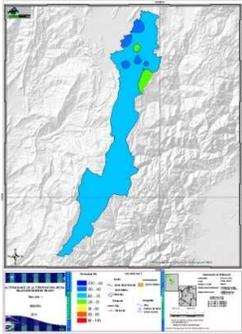
Evento la Niña (Anomalía de la TSM > +0.5°C): En esta situación de la TSM, el efecto observado para Bogotá es un aumento en la temperatura con probabilidades hasta del 80% especialmente para los primeros 4 trimestres. Sin embargo, luego de esto hay una disminución que repercute en valores cercanos incluso a las condiciones normales. El trimestre de mayor afectación es el primero, seguido respectivamente del segundo y tercer trimestre, lo que nos permite concluir que el mes de marzo es el más afectado, ya que es el mes común a los trimestres mencionados tal como se presenta en la Fig. 5.

LA NIÑA

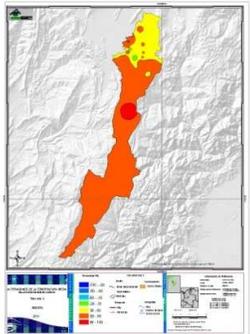
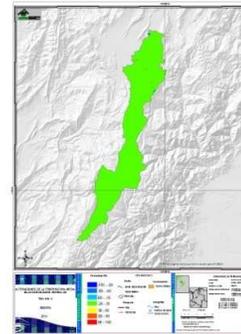
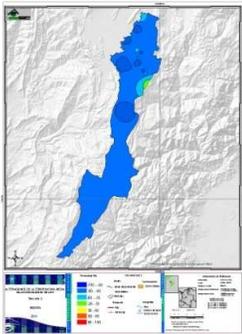
NORMAL

EL NIÑO

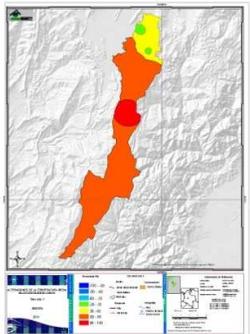
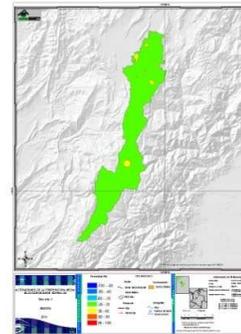
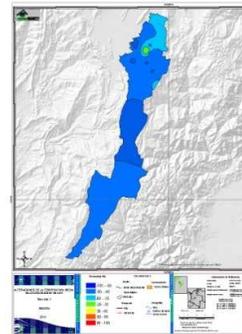
Trimestre 1 (Enero-Febrero-Marzo)



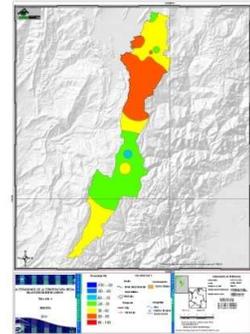
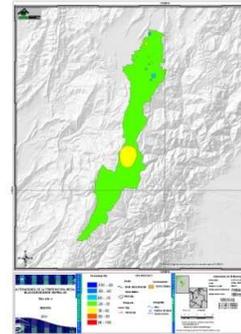
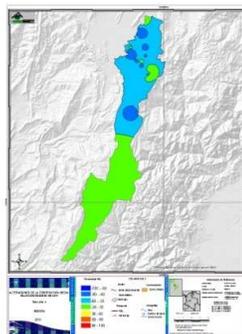
Trimestre 2 (Febrero-Marzo-Abril)



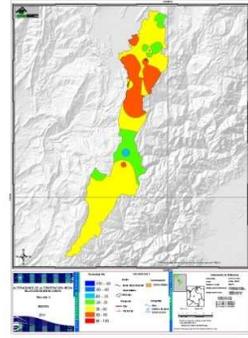
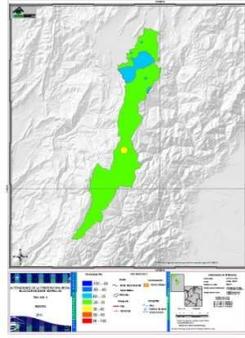
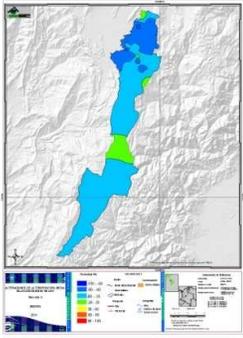
Trimestre 3 (Marzo-Abril-Mayo)



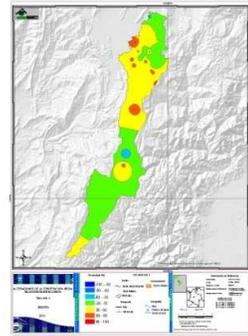
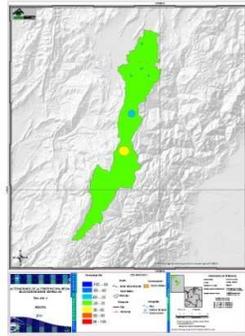
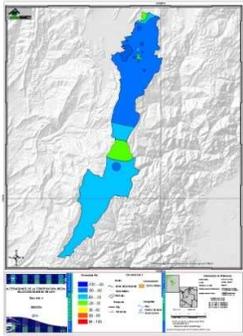
Trimestre 4 (Abril-Mayo-Junio)



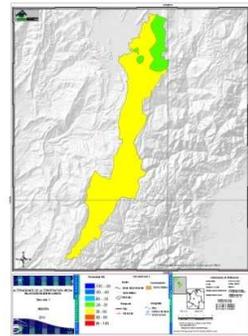
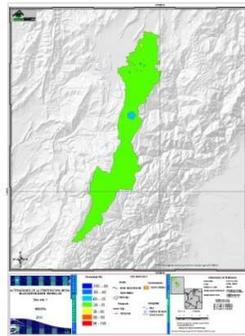
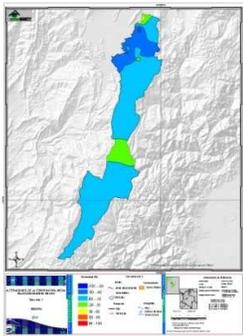
Trimestre 5 (Mayo-Junio-Julio)



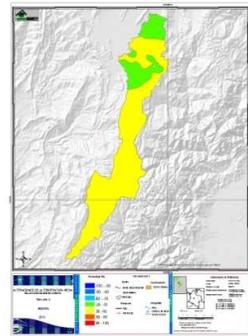
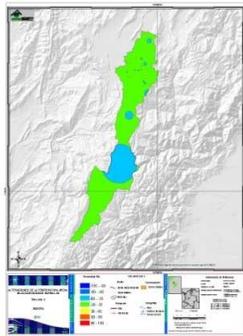
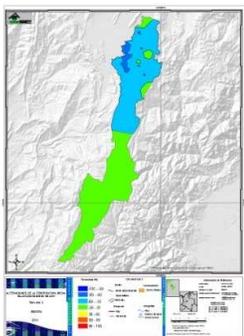
Trimestre 6 (Junio-Julio-Agosto)



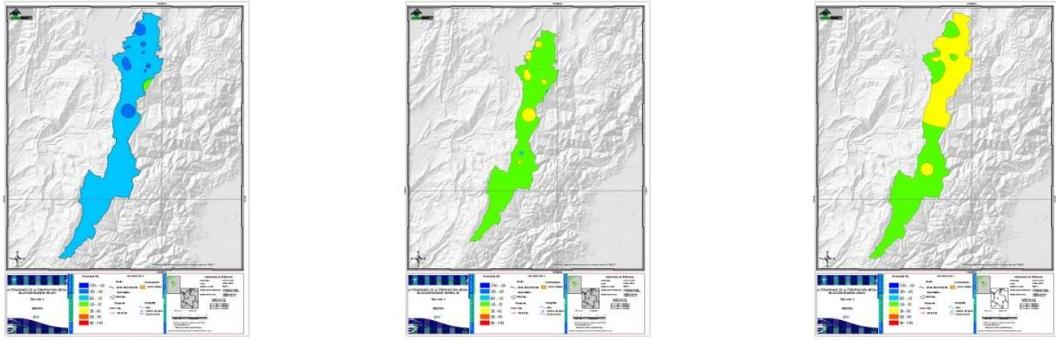
Trimestre 7 (Julio-Agosto-Septiembre)



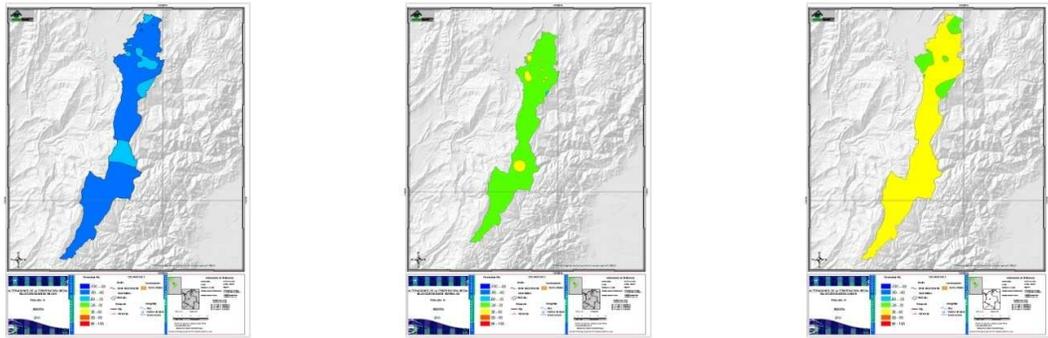
Trimestre 8 (Agosto-Septiembre-October)



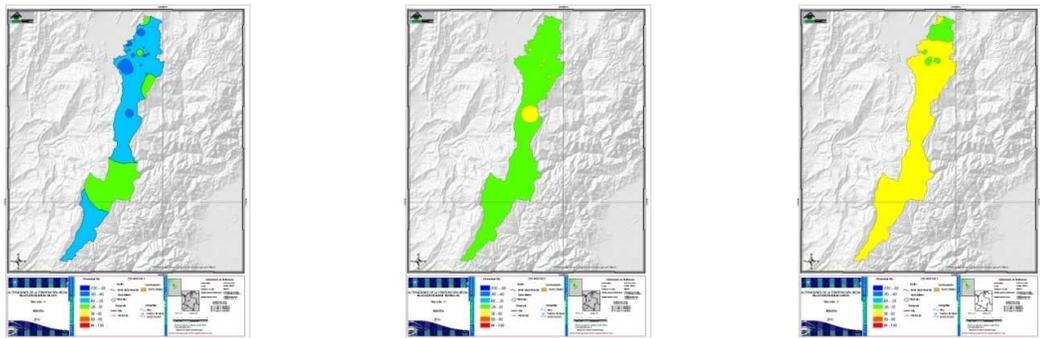
Trimestre 9 (Septiembre-October-Noviembre)



Trimestre 10 (Octubre-Noviembre-Diciembre)



Trimestre 11 (Noviembre-Diciembre-Enero)



Trimestre 12 (Diciembre-Enero-Febrero)

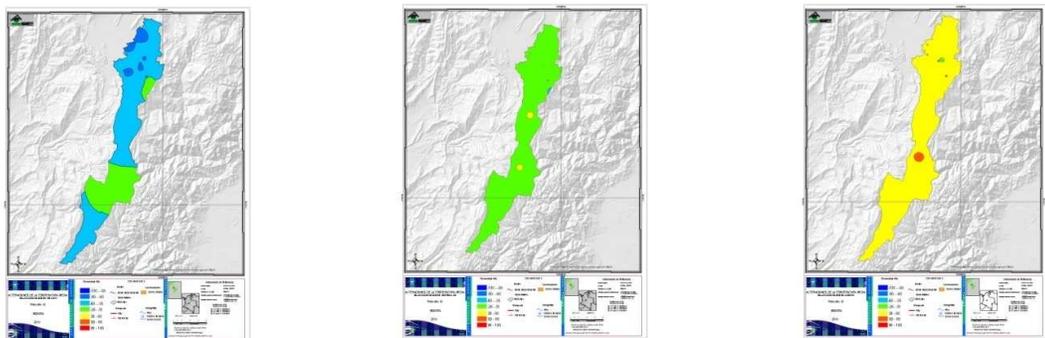
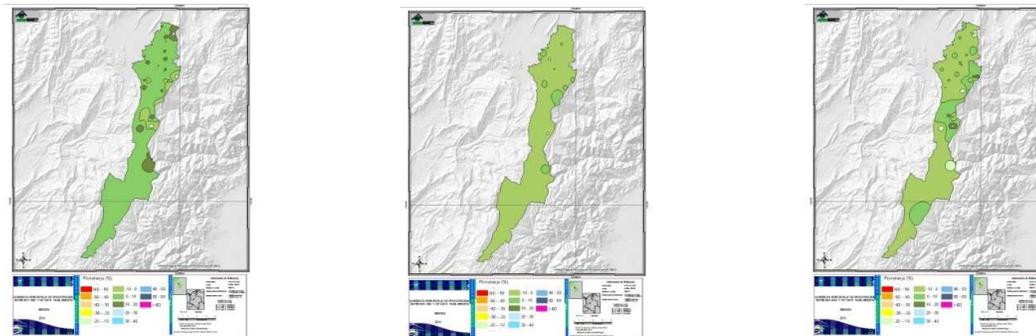


Figura 5. Alteraciones de la temperatura media ante variabilidad climática en probabilidad.

3.4. CAMBIO CLIMÁTICO DE CLIMA PRESENTE

Precipitación: La última década se caracterizó por ser la más lluviosa de los últimos 40 años; 2001-2010 presentó alteraciones de la precipitación decadal respecto a la normal climatológica 1971-2000 reflejado en aumento de las lluvias por encima del 40% respecto al período de referencia tal como se muestra en la Fig. 6.

1971-1980 respecto 1971-2000 1981-1990 respecto 1971-2000 1991-2000 respecto 1971-2000



2001-2010 respecto 1971-2000

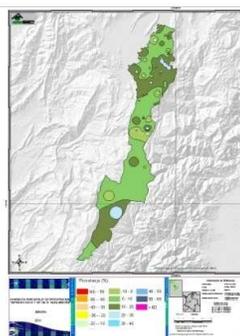


Figura 6. Cambios de la precipitación en % para los últimos 40 años

Temperatura media: En los últimos 40 años, la temperatura media para Bogotá ha aumentado en promedio entre 1 y 2°C tal como se muestra en la Fig. 7.

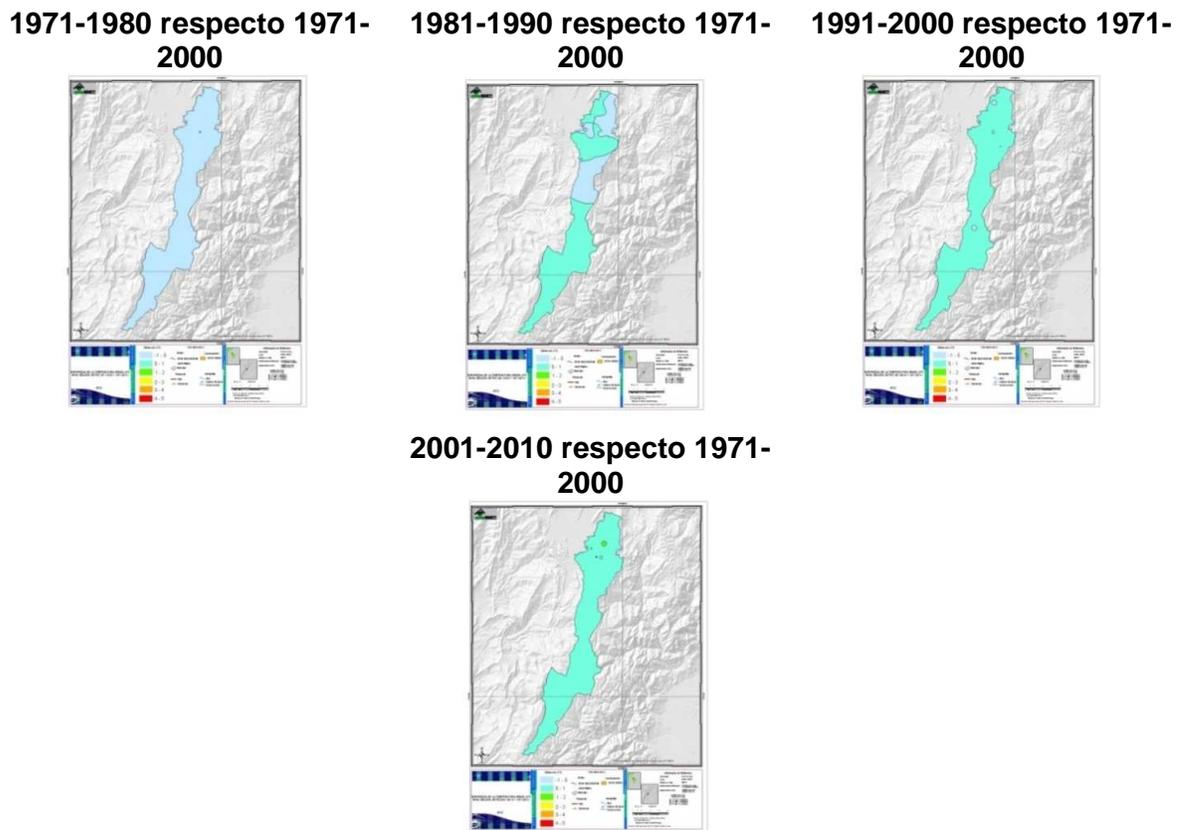


Figura 7. Aumento de la temperatura media en °C par a los últimos 40 años

3.5. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Los resultados presentados aquí, son un resultado del forzamiento del clima por gases de efecto invernadero y propuesto bajo escenarios del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, por lo tanto, representan una proyección del clima bajo supuestos de emisión sin considerar otros efectos internos o externos que pudiesen afectar el clima (Actividad Solar, erupciones volcánicas, etc.). El resultado final corresponde al promedio del clima simulado por 3 escenarios de emisión A2, B2 y A1B.

Cambio Porcentaje de Precipitación: Bogotá podría presentar una reducción de las precipitaciones durante el siglo XXI evaluado en un 18,4 % en comparación a los valores históricos 1971-2000 como se muestra en la Tabla 1.

Dicha tabla pone de manifiesto que a partir del año 2011 habría una posible disminución hasta llegar a la década 2091-2100, en la cual la reducción de precipitación es bastante significativa lloviendo solo 50% respecto a la normal climatológica actual tal como se muestra en la Fig. 8. También ésta figura muestra la posible tendencia de la reducción de la precipitación con el paso de los años para

Bogotá, lo cual afectaría en general a la ciudad especialmente hacia la parte norte y occidental sobre localidades como Suba, Kennedy y Engativá. Esta reducción podría ser preocupante puesto que las últimas décadas del siglo, especialmente la correspondiente a 2091-2100, la precipitación presentaría valores alrededor de 500 mm en comparación con la situación actual donde normalmente se presentan valores de precipitación entre 1000 y 2500 mm.

Tabla 1: Cambio de porcentaje para precipitación decadal respecto a 1971-2000

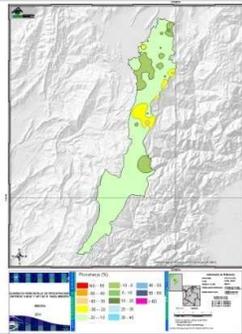
Década	Valor (%)
2011-2020	-15,3
2021-2030	-20,3
2031-2040	-18,1
2041-2050	-14,4
2051-2060	-19,3
2061-2070	-16,7
2071-2080	-46,9
2081-2090	-50,2
2091-2100	-48,8
Promedio para el resto del Siglo XXI	-18,4

Temperatura Media: Bajo escenarios de cambio climático de IPCC, esta variable meteorológica continuaría presentando un incremento en su temperatura media con efecto casi igual para todo Bogotá (Ver Tabla 2). Tal incremento alcanzaría valores por encima entre 3°C y 4°C en algunas localidades como Suba, Engativá, Kennedy y Bosa para finales del siglo XXI tal como se muestra en la Fig. 9.

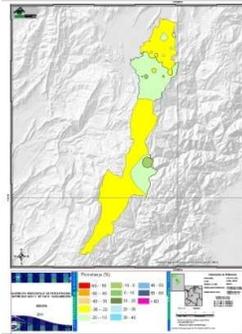
Tabla 2: Aumento de la temperatura media respecto a 1971-2000 en °C bajo el promedio de los escenarios analizados

DECADA	VALOR(°C)
2011-2020	1,0
2021-2030	1,3
2031-2040	1,6
2041-2050	2,1
2051-2060	2,4
2061-2070	2,7
2071-2080	3,0
2081-2090	3,3
2091-2100	3,6

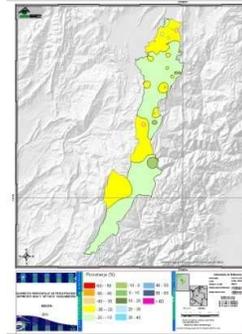
2011-2020 respecto 1971-2010



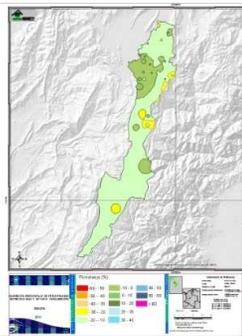
2021-2030 respecto 1971-2010



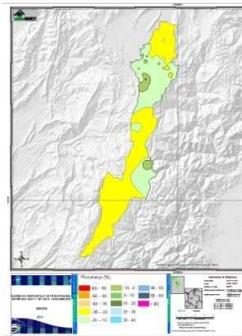
2031-2040 respecto 1971-2010



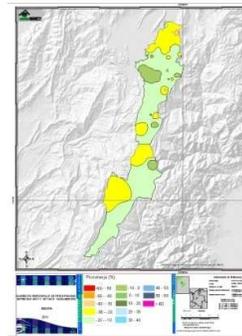
2041-2050 respecto 1971-2010



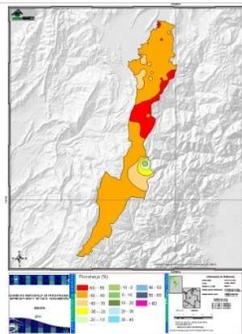
2051-2060 respecto 1971-2010



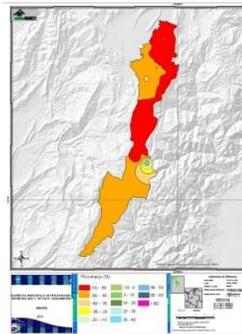
2061-2070 respecto 1971-2010



2071-2080 respecto 1971-2010



2081-2090 respecto 1971-2010



2091-2100 respecto 1971-2010

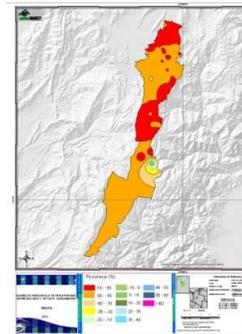


Figura 8. Cambios en % de la precipitación decadal respecto a la normal climatológica 1971-2000

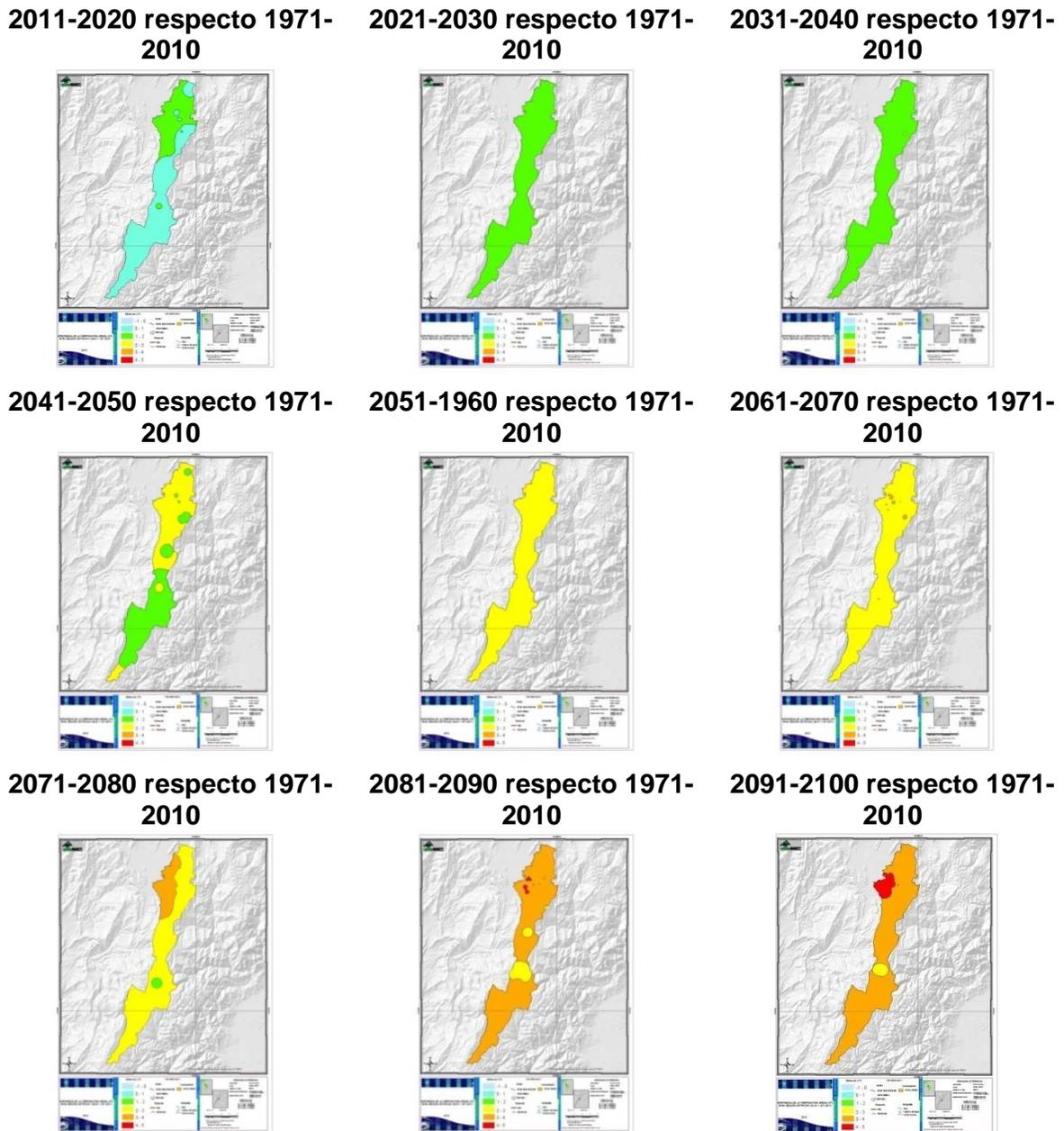


Figura 9. Aumento de la temperatura decadal en $^{\circ}\text{C}$ r respecto a los valores históricos

Clasificación climática de Lang: Como se puede analizar en los mapas, durante el período 1971-2010 el clima dominante de Bogotá fue semi-húmedo (Ver Fig. 10). A partir de la década 2011-2020 probablemente se inicie una tendencia de características de clima semiárido; pero hacia finales del siglo XXI posiblemente se presenten características de clima árido. Visto así, puede que toda Bogotá presente afectaciones en su tipo de clima; los resultados finales indican que la zona centro-sur sería la mayormente influenciada ya que tendría amplias zonas de tipo árido, especialmente en las localidades de Usme, Ciudad Bolívar y Sumapaz. Este cambio en el tipo de clima se produciría como consecuencia del aumento de la temperatura

y la disminución en las precipitaciones simulado por el escenario promedio de emisión de gases de efecto invernadero (Ver Fig. 11).

1971-2000

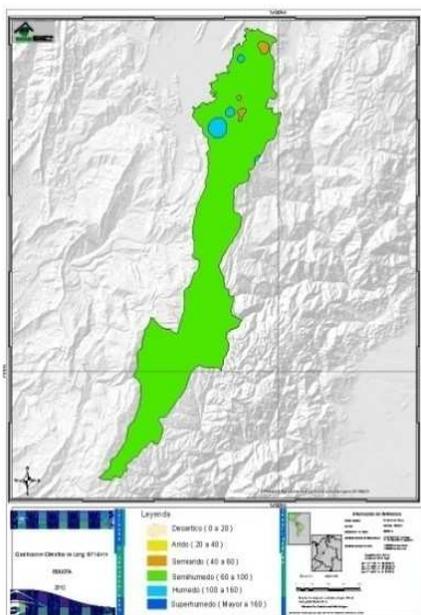


Figura 10. Clasificación climática de Lang para 1971-2000

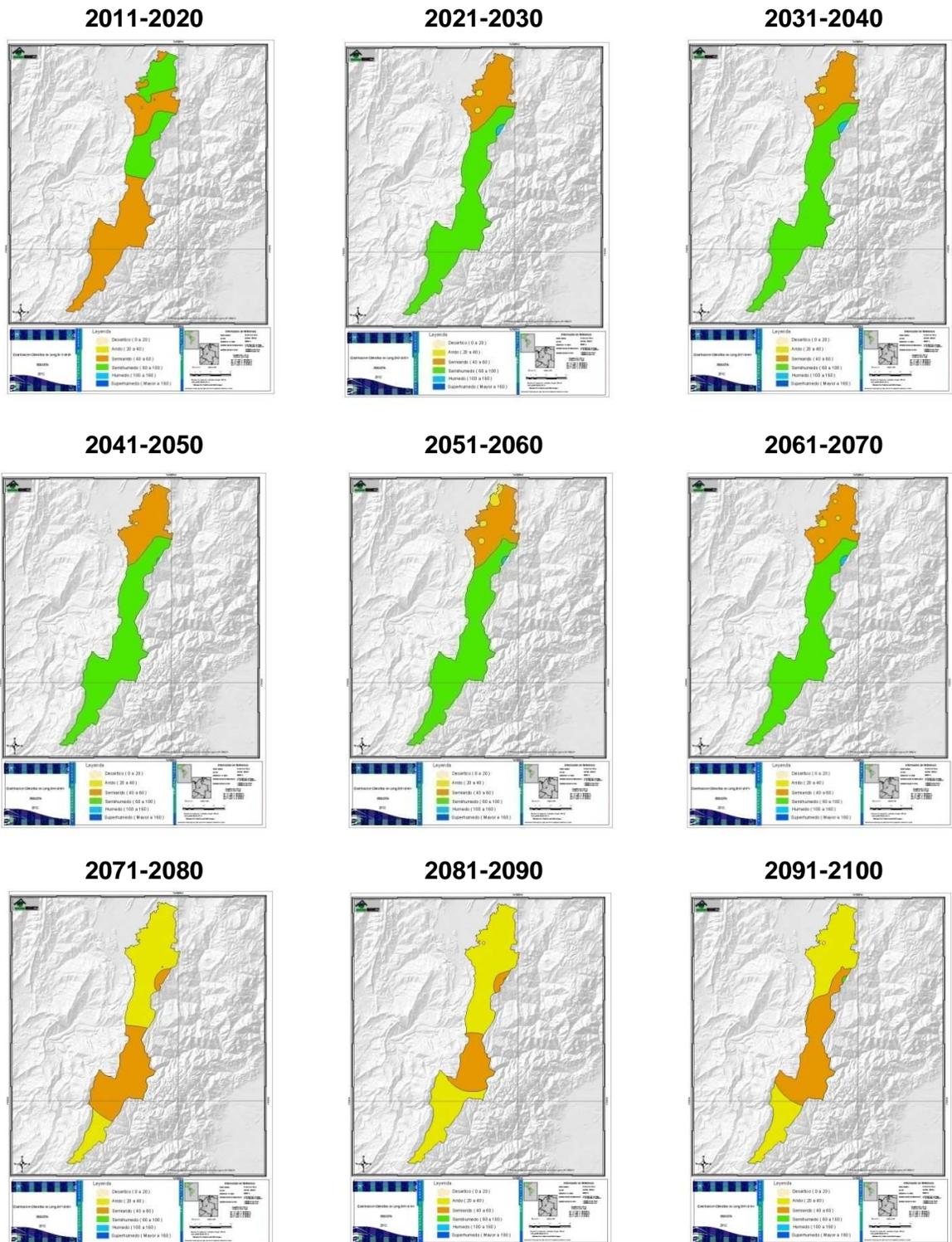


Figura 11. Clasificación climática de Lang para el siglo XXI bajo el escenario emisión promedio

CONCLUSIONES

El análisis de clima presente reveló que en los últimos 40 años, la década mas lluviosa correspondió al período 2001-2010, cuando aumentaron las precipitaciones en un 40% respecto a los valores normales. En este aspecto le siguió la década 1971-1980.

El estudio manifestó que bajo condiciones La Niña existen altas probabilidades que se presente un aumento significativo en los niveles de precipitación, esto se hace más evidente hacia los últimos trimestres del año. Contrariamente, cuando el clima de Bogotá esta bajo la influencia de un fenómeno El Niño, la precipitación presenta altas probabilidades de la disminución en sus volúmenes, pero en menores proporciones para los trimestres de final del año.

Bajo el fenómeno la Niña, la temperatura media presenta altas probabilidades de disminuir respecto a los valores normales especialmente en los trimestres Febrero-Marzo-Abril y Marzo-Abril-Mayo. No obstante, bajo condiciones El Niño existen altas probabilidades del aumento de sus valores respecto a la normal climatológica principalmente a comienzos del año, en los trimestres 1, 2 y 3.

De acuerdo con el promedio multi-escenario de emisión de gases de efecto invernadero forzado con condiciones iniciales de algunos modelos del IPCC, se esperaría para 2011-2100 una reducción de las precipitaciones aproximada del 18% respecto a los valores normales 1971-2000. No obstante, para el período 2011-2061, los volúmenes de precipitación podrían ubicarse entre los 500 mm y los 1500 mm anuales en contraste con la última década del siglo XXI cuando se presentarían precipitaciones entre los 500 mm y 1000 mm anuales. Dichas reducciones en las precipitaciones, se podrían presentar principalmente sobre las localidades de Suba, Engativá, Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Fontibón.

Con el uso de los mismos modelos de IPCC ajustados para la zona de estudio, la temperatura media continuaría aumentando para el resto del siglo XXI respecto a los valores normales del período 1971-2000; dicho incremento paulatino podría pasar de 1°C en las primeras décadas a 4°C para las últimas décadas del siglo XXI. Los valores promedios estimados para el período 2011-2070, podrían variar desde los 10°C en las zonas más altas y los 16°C en las partes más bajas; mientras que para el período 2071-2100 estos valores estarían entre los 12°C y los 18°C respectivamente. Estos aumentos en la temperatura media, se podría presentar en la parte norte y occidental del área de estudio, en donde están presentes las localidades de Suba, Engativá, Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar, Fontibón, Usaquén y Barrios Unidos.

La simulación con modelos IPCC pone de manifiesto que las localidades de menor afectación en cuanto a los posibles cambios de precipitación o temperatura serían las ubicadas hacia la parte centro-oriental de la ciudad tales como Chapinero, Santa Fe y San Cristóbal.

El aumento de la temperatura y la reducción en los valores de precipitación proyectados por los escenarios IPCC tratados en este trabajo, manifiestan una

transición de un clima semi-húmedo a semiárido para mitad de siglo y casi árido para final de siglo, situación que podría ser preocupante porque de darse así, muchas zonas perderían su valor en términos agrícolas.

BIBLIOGRAFÍA

Anandhi A, Frei A, Pierson D., Schneiderman E, Zion M, Lounsbury D, & Atonse, H., (2011) Examination of change factor methodologies for climate change impact assesment. Water Resources Research, Vol. 47, W03501. 1-10 p.

Escobar, O. F. (2012) Proyección de la variación de la temperatura y la precipitación ante Cambio Climático para Bogotá. Informe Final de Opción de Grado. Universidad Santo Tomás. Bogotá D.C.

Gómez & Maravall (1996) "Programs Tramo and Seat". Instruction for the user, Banco de España, Servicio de Estudios, Documento de Trabajo No. 9628.

Jones R, M Noguera, D Hassell, D Hudson, S Wilson, G Jenkins & J Mitchell (2004) Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS. Hadley Center for Climate Prediction and Research, UK.

León, G., Sánchez, I. & Corredor X. (2012). Manual de Usuario de Jaziku. Informe Subdirección de Meteorología. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

Monsalve G., 1995. Hidrología en la Ingeniería. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería p 353

Richman M & Lamb P (1985) Climatic Pattern Analysis of Three and Seven Day Summer Rainfall in the Central United States. Some Methodological Considerations and a Regionalization. Climate and Meteorological Section. Illinois State Water Survey. American Meteorological Society

Ruiz F (2010) Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución (Panorama 2011-2100). Nota Técnica IDEAM, IDEAM-METEO/05-2010, Bogotá D.C.