

ESTIMACIÓN HIDROLÓGICA BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA.

2009

LINA ACEVEDO ARISTIZÁBAL, I.C.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE MINAS

POSGRADO EN APROVECHAMIENTO DE RECURSOS

HIDRÁULICOS

MEDELLÍN

ESTIMACIÓN HIDROLÓGICA BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO EN COLOMBIA

LINA ALEXANDRA ACEVEDO ARISTIZÁBAL, I.C.

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Magíster en Ingeniería -
Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos

Director: Germán Poveda Jaramillo; I.C., M.Sc., Ph.D.,



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE MINAS

POSGRADO EN APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HIDRÁULICOS

MEDELLÍN, 2009.

*Esta tesis es una parte de mi vida y
comienzo de otras etapas por esto
y más, la dedico a Dios y a mi
Familia*

AGRADECIMIENTOS

A mis PADRES y HERMANAS, por darme la estabilidad emocional, económica, sentimental; para poder llegar hasta este logro, que definitivamente no hubiese podido ser realidad sin ustedes. GRACIAS por darme la posibilidad de que de mi boca salga esa palabra...FAMILIA.

A SARIS gracias por escucharme y por tus consejos. Además de ser mi mejor amiga eres la mejor compañía para compartir el mismo techo

A mi novio ANDRÉS por su apoyo, comprensión y amor que me permite sentir poder lograr lo que me proponga.

Gracias a ANTONIO QUINTERO quien con su comprensión y apoyo me ayudo a terminar esta tesis y quien de ahora en adelante será mi nuevo maestro.

Gracias a ALEJA CARMONA por que en el momento más difícil me tendió su mano sin esperar nada a cambio.

Gracias a mis compañeros de maestría y amigos JULIÁN, ERNESTO, JULIO y BUILES por ayudarme a crecer y madurar como persona, pero sobre todo por hacer que las 2 horas del almuerzo fueran las mejores del día, LOS EXTRAÑO

Y a mi director de tesis GERMÁN POVEDA quien me permitió aprender a su lado y por tan valiosa escuela que he recibido de su parte la cual me ha servido para muchas cosas, entre tantos objetivos y metas propuestas durante el desarrollo de esta investigación.

A COLCIENCIAS por haber fundado el programa GRECIA.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1-1
1.1	Hipótesis	1-2
1.2	Objetivo general	1-3
1.2.1	Objetivos específicos	1-3
2	FUENTES DE INFORMACIÓN	2-1
2.1	Series históricas de precipitación	2-1
2.2	Datos de Modelos De Circulación Global (MCG)	2-3
2.2.1	Selección y descripción de los MCG	2-4
2.2.2	Selección y descripción de simulaciones de los MCG	2-7
3	VALIDACIÓN DE MCG PARA LA SIMULACIÓN 20C3M CON INFORMACIÓN HISTÓRICA DE PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA	3-1
3.1	Antecedentes	3-1
3.2	Validación a escala mensual	3-4
3.2.1	Metodología	3-4
3.2.2	Resultados	3-9
3.3	Validación trimestral	3-20
3.3.1	Metodología y resultados	3-20
3.4	Selección del modelo	3-34
4	CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE CURVAS INTENSIDAD-FRECUENCIA-DURACIÓN (IDF) DE 24 HORAS.	4-1
4.1	Generalidades curvas IDF	4-1
4.2	Antecedentes	4-3
4.3	Análisis de frecuencia de las series de precipitación máximas de los MCG	4-4

4.3.1	Funciones de distribución	4-5
4.3.2	Estimación de parámetros	4-6
4.3.3	Ajuste de los datos a las funciones de distribución	4-9
4.4	Comparación de curvas IDF en el Siglo 20 y 21	4-10
4.4.1	Error cuadrático medio	4-10
4.4.2	Mapas porcentuales de cambio para cada Tr	4-11
4.4.3	Distancia de Mahalanobis	4-14
4.5	Cambios futuros en las características de la precipitación	4-18
5	ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS Y EXTREMOS BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO	5-1
5.1	Caudales medios anuales	5-1
5.1.1	Promedio de la evaporación real anual de largo plazo	5-3
5.1.2	Modelos de elevación digital	5-4
5.1.3	Resultados de los balances	5-5
5.2	Estimación de caudales extremos combinando el balance hídrico de largo plazo con el escalamiento	5-6
6	DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	6-1
7	BIBLIOGRAFÍA	7-1

LISTA DE FIGURAS

Figura 2 1	Zona de estudio y ubicación de estaciones puntuales de precipitación. base de datos: 1)HidroSig, 2) Red Río, 3) CeniCafé, 4) LBA, 5) WhyBam, 6) Bogotá, 7) IDEAM	2-2
Figura 2 2	Componentes de los modelos climáticos globales.	2-3
Figura 2 3	Ejemplo de discretización espacial 3D (Δx , Δy , Δz) de un Modelo de Circulación General (Castro, 2007).	2-4
Figura 2 4	Etapas de intervención de cada simulación para la ejecución del modelo. (Castro, 2007)	2-8
Figura 2 5	Escenarios de emisiones según el reporte especial (IPCC-SRES 2000) para el IPCC.	2-9
Figura 2 6	Esquema del desarrollo de los posibles forzantes según el escenario considerado.	2-10
Figura 3 1	Ciclo Anual de Precipitación en Colombia.	3-9
Figura 3 2	Mapas de los valores estimados del coeficiente de correlación estimado entre series históricas de precipitación y el MCG CCSM3 para la simulación 20c3m para el periodo 1981-2000. A la izquierda se presentan los valores de la correlación pixel-serie histórica y a la derecha los de correlación pixel-promedio de estaciones por pixel	3-11
Figura 3 3	Mapas de los valores estimados del coeficiente de correlación estimado entre series históricas de precipitación y el MCG ECHAM5 para la simulación 20c3m para el periodo 1981-2000. A la izquierda se presentan los valores de la correlación pixel-serie histórica y a la derecha los de correlación pixel-promedio de estaciones por pixel.	3-12
Figura 3 4	Mapas de los valores estimados del coeficiente de correlación estimado entre series históricas de precipitación y el MCG HADGEM1 para la simulación 20c3m para el periodo 1981-2000. A la izquierda se presentan los valores de la correlación pixel-serie histórica y a la derecha los de correlación pixel-promedio de estaciones por pixel.	3-13

Figura 3 5	Mapas de los valores estimados del coeficiente de correlación estimado entre series históricas de precipitación y el MCG MIROC 3.2 HIRIES para la simulación 20c3m para el periodo 1981-2000. A la izquierda se presentan los valores de la correlación pixel-serie histórica y a la derecha los de correlación pixel-promedio de estaciones por pixel.	3-14
Figura 3 6	Validación a escala mensual del modelo CCSM3. A la derecha el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas.	3-16
Figura 3 7	Validación a escala mensual del modelo ECHAM5. A la derecha el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas.	3-17
Figura 3 8	Validación a escala mensual del modelo HADGEM1. A la derecha el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas.	3-18
Figura 3 9	Validación a escala mensual del modelo MIROC 3.2 HIRIES. A la derecha el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas	3-19
Figura 3 10	Validación para el trimestre DEF del modelo CCSM3. A la derecha	3-22

el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas

- Figura 3 11 Validación para el trimestre MAM del modelo CCSM3. A la derecha el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas 3-23
- Figura 3 12 Validación para el trimestre JJA del modelo CCSM3. A la derecha el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas 3-24
- Figura 3 13 Validación para el trimestre SON del modelo CCSM3. A la derecha el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas 3-25
- Figura 3 14 Validación para el trimestre DEF del modelo ECHAM5. A la derecha el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas 3-26
-

- Figura 3 15 Validación para el trimestre MAM del modelo ECHAM5. A la derecha el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas 3-27
- Figura 3 16 Validación para el trimestre JJA del modelo ECHAM5. A la derecha el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas 3-28
- Figura 3 17 Validación para el trimestre SON del modelo ECHAM5. A la derecha el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas 3-29
- Figura 3 18 Validación para el trimestre DEF del modelo HADGEM1. A la derecha el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas 3-30
-

Figura 3 19	Validación para el trimestre MAM del modelo HADGEM1. A la derecha el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas	3-31
Figura 3 20	Validación para el trimestre JJA modelo HADGEM1. A la derecha el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas	3-32
Figura 3 21	Validación para el trimestre SON del modelo HADGEM1. A la derecha el análisis por correlación, a la izquierda el análisis por información mutua, arriba comparación entre todas las estaciones y los pixeles, que son estadísticamente significativas, en medio las comparaciones entre estaciones y pixeles que pasan las pruebas de Smirnov- Kolmogorov y que son estadísticamente significativas y abajo las comparaciones que no pasan ninguna de las dos pruebas	3-33
Figura 4 1	Ejemplo de curvas IDF para tormentas intensas de 24 horas de duración en el pixel 152 del modelo CCSM3 que pertenece a la región amazonas (ver anexo 1 y 2).	4-9
Figura 4 2	Mapas porcentuales de cambio para el modelo CCSM3. En la fila 1 los mapas para el Tr de 2 años, fila 2 para Tr de 5 años, fila 3 para Tr de 10 años, fila 4 para Tr de 25 años y fila 5 Tr de 50 años. en la columna 1 las comparaciones entre la simulación 20C3M en el periodo 1981-2000 con el escenario SRES A2 en el periodo 2046-2065, en la columna 2, la comparación del escenario SRES A2 en los periodos futuros 2046-2065 y 2081-2100, en columna 3 las comparaciones entre la simulación 20C3M en el periodo 1981-2000 con el escenario SRES B1 en el periodo 2046-2065 y en la columna 4 la comparación del escenarios SRES B1 en los periodos futuros 2046-2065 y 2081-2100	4-12
Figura 4 3	Mapas porcentuales de cambio para el modelo ECHAM5. En la fila 1 los mapas para el Tr de 2 años, fila 2 para Tr de 5 años, fila 3 para	4-13

Tr de 10 años, fila 4 para Tr de 25 años y fila 5 Tr de 50 años. en la columna 1 las comparaciones entre la simulación 20C3M en el periodo 1981-2000 con el escenario SRES A2 en el periodo 2046-2065, en la columna 2 la comparación del escenarios SRES A2 en los periodo futuro 2046-2065 y 2081-2100, en columna 3 las comparaciones entre la simulación 20C3M en el periodo 1981-2000 con el escenario SRES B1 en el periodo 2046-2065 y en la columna 4 la comparación del escenario SRES B1 en los periodos futuros 2046-2065 y 2081-2100

Figura 4 4	Histogramas diarios de frecuencia de precipitación (primera fila), de precipitación acumulada (segunda fila), porcentaje de cambio en los escenarios futuros tanto de frecuencia (tercera fila) y de precipitación acumulada (cuarta fila) para la región Amazonas mediante los modelos ECHAM5 (izquierda) y CCSM3 (derecha).	4-21
Figura 4 5	Histogramas diarios de frecuencia de precipitación (primera fila), de precipitación acumulada (segunda fila), porcentaje de cambio en los escenarios futuros tanto de frecuencia (tercera fila) y de precipitación acumulada (cuarta fila) para la región Andina mediante los modelos ECHAM5 (izquierda) y CCSM3 (derecha).	4-22
Figura 4 6	Histogramas diarios de frecuencia de precipitación (primera fila), de precipitación acumulada (segunda fila), porcentaje de cambio en los escenarios futuros tanto de frecuencia (tercera fila) y de precipitación acumulada (cuarta fila) para la región Caribe mediante los modelos ECHAM5 (izquierda) y CCSM3 (derecha)	4-23
Figura 4 7	Histogramas diarios de frecuencia de precipitación (primera fila), de precipitación acumulada (segunda fila), porcentaje de cambio en los escenarios futuros tanto de frecuencia (tercera fila) y de precipitación acumulada (cuarta fila) para la región Orinoquía mediante los modelos ECHAM5 (izquierda) y CCSM3 (derecha).	4-24
Figura 4 8	Histogramas diarios de frecuencia de precipitación, de precipitación acumulada (arriba) y porcentaje de cambio en los escenarios futuros tanto de frecuencia como de precipitación acumulada (abajo) para la región Pacífica (a la derecha: modelo ECHAM5 e izquierda: modelo CCSM3).	4-25
Figura 5 1	Modelo Digital del Terreno.	5-4

Figura 5 2 En la parte superior se encuentran los caudales máximos y abajo se 5-9
encuentran los caudales mínimos para diferentes periodos de
retorno. A la izquierda los resultados del modelo CCSM3 y a la
derecha los del ECHAM5. Los colores indican los diferentes
escenarios de cambio climático y periodos de evaluación para los
cuales se hallaron los caudales extremos.

LISTA DE TABLAS

Tabla 2 1	Modelos climáticos Globales empleados en el AR4-IPCC (base de datos CMIP3)	2-5
Tabla 2 2	Resumen de los esquemas de parametrización empleados en los modelos seleccionados.	2-6
Tabla 2 3	Experimentos disponibles en la base de datos CMIP3 corridos para el AR4 del IPCC.	2-11
Tabla 3 1	Resolución de los Modelos y ventadas seleccionadas para el estudio.	3-7
Tabla 3 2	Resultados para la validación mensual	3-34
Tabla 3 3	Resultados para la validación del trimestre DEF	3-35
Tabla 3 4	Resultados para la validación del trimestre MAM	3-35
Tabla 3 5	Resultados para la validación del trimestre JJA	3-36
Tabla 3 6	Resultados para la validación del trimestre SON	3-36
Tabla 4 1	ECM promedio por regiones para el modelo ECHAM5	4-11
Tabla 4 2	ECM promedio por regiones para el modelo CCSM3	4-11
Tabla 4 3	Distancias de Mahalanobis para el modelo CCSM3	4-17
Tabla 4 4	Distancias de Mahalanobis para el modelo ECHAM5	4-17
Tabla 5 1	Resultados del balance hidrológico de largo plazo para el modelo CCSM3 para la cuenca del río magdalena.	5-5
Tabla 5 2	Resultados del balance hidrológico de largo plazo para el modelo ECHAM5 CCSM3 para la cuenca del río magdalena.	5-5
Tabla 5 3	Prefactores y exponentes	5-7
Tabla 5 4	Media, desviación estándar y caudales máximos para el modelo CCSM3	5-8
Tabla 5 5	Media, desviación estándar y caudales mínimos para el modelo CCSM3	5-8

Tabla 5 6	Media, desviación estándar y caudales máximos para el modelo ECHAM5	5-8
Tabla 5 7	Media, desviación estándar y caudales mínimos para el modelo ECHAM5	5-8

RESUMEN EXTENDIDO.

Los efectos del calentamiento global ya están aquí y llegaron para quedarse no por décadas, sino por siglos, con consecuencias muy importantes para la distribución espacio-temporal del ciclo hidrológico a escalas global, continental, regional y local. La magnitud de los impactos será determinada por distintos escenarios de desarrollo durante el Siglo 21. En este trabajo se cuantifican los resultados de 4 Modelos de Circulación General (MCG) del Reporte IV del IPCC (2007) sobre las proyecciones de la oferta natural (lluvia) para el Siglo 21 (en los periodos 2046 a 2065 y de 2081 a 2100) para Colombia. Los modelos que se utilizan son los llamados: (1) CCSM3 de EUA; (2) HADGEM1 de Reino Unido, (3) ECHAM5 de Alemania, y (4) MIROC 3.2 HIRCS de Japón. Con el propósito de evaluar la capacidad de pronóstico futuro de los modelos, se hizo una investigación detallada de los resultados de los modelos para las últimas dos décadas del Siglo 20, y se validan con las observaciones históricas de las precipitaciones mensuales y trimestrales de un gran conjunto de registros de lluvias mensuales de 2271 estaciones de medición en Colombia. La validación se ha realizado usando varias métricas de análisis, incluyendo análisis de correlación y estimación de la información mutua. Los resultados indican que el modelo ECHAM5 exhibe las mejores correlaciones y los mejores estimativos de la información mutua, en segundo lugar aparece el modelo CCSM3, en tercer lugar el modelo HADGEM1, mientras que el modelo MIROC 3.2 HIRCS del Japón es el que exhibe el desempeño más pobre durante el Siglo 20 en Colombia. Puede decirse de forma general que estos modelos simulan de manera aceptable la distribución espacial de las precipitaciones extremas en comparación con las observaciones, teniendo en cuenta la escala de las observaciones (series históricas de precipitación puntuales) comparada con la grilla de MCG, más aún en las regiones tropicales.

Adicionalmente, con los modelos que arrojaron los mejores resultados en el proceso de validación durante el siglo 20 (CCSM3 Y ECHAM5) se cuantifican sus proyecciones (escenarios futuros SRES A1 y SRES B1) durante el Siglo 21 en los periodos 2046–2065 y 2086-2100. En particular, se hace énfasis en la estimación de las curvas Intensidad-Frecuencia-Duración (IDF) usadas ampliamente en la ingeniería para evaluar los periodos de retorno de las tormentas más intensas. La estimación y el uso de curvas de las IDF se basa en la hipótesis de estacionariedad de la serie de precipitaciones, a saber, que las intensidades, duraciones y frecuencias de los fenómenos hidrológicos extremos no cambian con el tiempo. Sin embargo, el cambio climático modificará la ocurrencia de los eventos extremos de precipitación.

La estimación de las curvas IDF para el Siglo 21 se realizó sólo para registros diarios (24 horas) empleando la función de distribución generalizada de valor extremo (GEV) y la estimación de los parámetros se realizó con la metodología de los L-momentos tanto para la simulación de control como para los escenarios de cambio climático. Para la evaluación de los cambios futuros en las curvas IDF se emplearon tres indicadores: el error cuadrático medio, la distancia de Mahalanobis y la construcción de mapas porcentuales de cambio para cada periodo de retorno. Los resultados indican que, ante los escenarios de cambio global analizados, habría

grandes cambios en las tormentas más intensas, para ambos escenarios de cambio climático, pero sobre todos para el escenario SRES B1.

Otra forma de evaluar los cambios futuros en las características de la precipitación de los modelos seleccionados se realiza con la construcción de histogramas diarios de precipitación bajo los escenarios de emisiones SRES A2 y B1. Los histogramas de precipitación de los modelos CCSM3 y ECHAM5 muestran un cambio hacia una mayor frecuencia de fuertes precipitaciones (mayor de 20mm/día) y una mayor acumulación de las precipitaciones para los escenarios de calentamiento comparado con las simulaciones del clima actual (20C3M).

Se realiza, además, una caracterización de los cambios futuros en la precipitación y estimación de los balances hídricos en la cuenca del Río Magdalena. Los resultados indican que los caudales medios tienden a aumentar como consecuencia del aumento de las precipitaciones. Ambos modelos presentan tendencias de aumento en cuanto a los caudales medios de la cuenca. Existen diferencias significativas al comparar el caudal medio de largo plazo obtenido por cada modelo, sobre todo para la simulación del siglo 20 con diferencia del 45% y para el escenario SRES B1 del 20% entre los resultados obtenidos para el caudal medio de cada modelo. Con respecto a los caudales extremos, se halla que las variaciones del caudal máximo para ambos modelos se encuentran entre 7.000 y 12.500 m³/s y para el caudal mínimo se encuentran entre 1.500 y 12.500 m³/s.

ABSTRACT

The effects of Global warming are already being evidenced and they we will continue to experience them not only for decades but for centuries, with important consequences for spatial-temporal distribution of water cycle in global, continental, regional and local scales. The magnitude of impacts will be determined by different development scenarios for the 21st Century. The results of 4 Global Circulation Models (GCMs)of the IV IPCC Report (2007)are quantified based on projections of natural supply(rain)for the 21st Century (in the periods 2046 to 2065 and from 2081 to 2100) for Colombia. The used models are: (1) CCSM3 (USA), (2) HADGEM1 (United Kingdom), (3) of ECHAM5 (Germany), and (4) MIROC 3.2 HIRES (Japan). To evaluate the model's predictive ability, a detailed investigation of the modeling results for the last two decades of the 20st Century were validated with a historical large set of quarterly and monthly rainfall records from 2271 measurement stations in Colombia. The validation process was performed using several metrics analysis, including correlation analysis and estimation of mutual information. Results show that the CCSM3 model exhibits the best correlation and the best estimates of mutual information, followed by the ECHAM5 model, then the HADGEM1 model, while the 3.2 MIROC HIRES Japanese model displays a poor performance during the 20th Century in Colombia. It can be said that in general these models simulate in an acceptable way the spatial distribution of extreme precipitation in comparison with the observations, taking into account the scale of observations (punctual precipitation time series) compared to the GCM grid, even in tropical regions.

Additionally, with the models that showed the best validation results during the 20th century (CCSM3 and ECHAM5) projections (future scenarios SRES A1 and SRES B1) were quantified for the 21st Century in the periods 2046 - 2065 and 2086 - 2100. In particular, an emphasis in the estimation of intensity-duration-frequency (IDF) curves was made. These curves are extensively used in engineering to assess the return periods of more intense storms. The estimation and use of the IDF curves are based on the assumption of stationarity of the series of precipitation, given that the intensity and frequency of extreme hydrological events do not change with time. However, climate change will amend the occurrence of extreme precipitation events.

The estimation of the IDF curves for the 21st Century was carried out only for daily records (24 hours) using the distribution function of generalized extreme value (GEV) and the estimation of the parameters was performed using the methodology of the L-moments not only for the control simulation but also for the climate change scenarios. For the evaluation of future changes in the IDF curves three indicators were used: the mean square error, the Mahalanobis distance and the construction of percentage change maps for each return period. Results indicate that for the global change scenarios analyzed, major changes in the most intense storms will be evidenced for both climate change scenarios, but especially for the SRES B1 scenario.

Another way to assess future changes in rainfall patterns of the selected models is carried out by the construction of histograms of daily precipitation under SRES emission scenarios A2 and B1. Histograms of precipitation ECHAM5 and CCSM3 models show a shift towards a higher frequency of heavy precipitation (greater than 20mm/day) and a greater accumulation of precipitation for the warming scenarios compared with current climate models (20C3M).

A characterization of future changes in precipitation and estimation of water balances in the Magdalena River was carried out. Results indicate that mean discharges tend to increase as a result of increased precipitation. Both models show increase tendencies regarding average discharges in the basin. Significant differences were found when the long-term average flows obtained from each model were compared, especially for the simulation of the 20th century with a 45% difference and a 20% for the SRES B1 scenario between. Regarding extreme flows, variation in the maximum flows for both models was found to be between 7.000 and 12.500 m³/s and the minimum flow rate was found to be between 1.500 and 12.500 m³ / s.