

# LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA



# LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

**Juan Manuel Santos Calderón**  
Presidente de la República de Colombia

**Luis Gilberto Murillo**  
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

**Carlos Alberto Botero López**  
Viceministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

**Omar Franco Torres**  
Director General  
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM

**José Franklyn Ruiz Murcia**  
Subdirector de Meteorología (E) - IDEAM

**Ignacio Mantilla Prada**  
Rector  
Universidad Nacional de Colombia - UNAL

**Jaime Franky Rodríguez**  
Vicerrector - UNAL Sede Bogotá

**Luz Amparo Fajardo Uribe**  
Decana de la Facultad de Ciencias Humanas - UNAL Sede Bogotá

**José Daniel Pabón Caicedo**  
Director del Departamento de Geografía  
Facultad de Ciencias Humanas - UNAL  
Sede Bogotá

## AUTORES DEL DOCUMENTO

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM  
Jeimmy Yanelly Melo Franco  
José Franklyn Ruiz Murcia  
*Subdirección de Meteorología*

Universidad Nacional de Colombia – UNAL  
José Daniel Pabón Caicedo  
Inés Concepción Sánchez Rodríguez  
Diana Marcela Guzmán Lugo

Guillermo Eduardo Armenta Porras  
Xavier Corredor Llano  
María Alejandra Guerrero Morillo  
Zaida Yamile Peña Beltrán  
Germán Andrés Torres Soler  
Bryan Esteban Bonilla Velázquez  
Danys Wilfredo Ortiz Olarte  
Nestor Ricardo Bernal Suarez  
Xabier Lecanda García  
Grupo de Investigación "Tiempo, clima y sociedad"  
*Departamento de Geografía - Facultad de Ciencias Humanas - UNAL*

## COMITÉ EDITORIAL

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: Jeimmy Yanelly Melo Franco, José Franklyn Ruiz Murcia.

Universidad Nacional de Colombia: José Daniel Pabón Caicedo

## Cítese como

IDEAM - UNAL, Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia, Bogotá, D.C., 2018.

2018, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM; Universidad Nacional de Colombia – UNAL. Todos los derechos reservados. Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total o parcial debe ser autorizada por el IDEAM.

Publicación aprobada por el IDEAM Marzo de 2018, Bogotá D.C., Colombia -  
Distribución Gratuita.  
ISBN: 978-958-8067-97-1

## Diseño Gráfico:

Grupo de Comunicaciones Ideam  
Impresión y Acabados: Grupo de Comunicaciones Ideam, Backroom Designers S.A.S.  
Primera Edición, 2018.  
250 ejemplares Bogotá D.C., Colombia – Marzo 2018



## AGRADECIMIENTOS

Los autores de ésta publicación hacemos un reconocimiento al apoyo de las oficinas administrativas y jurídicas y en general a los funcionarios de la Universidad Nacional de Colombia y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM que participaron de una u otra forma en este proyecto, sin cuyo aporte no hubiese sido posible la realización del mismo.

De igual forma, hacemos un reconocimiento especial a la Mayor Yadira Cárdenas Posso quién como Subdirectora de Meteorología del IDEAM en el año 2017 realizó oportunos y valiosos aportes para obtener este producto que hoy se entrega a la sociedad.

“No se consigue nada si no se cuenta con un equipo profesional y preparado que respalda y brinda el éxito a los proyectos planteados”.



# CONTENIDO

<b>PRÓLOGO</b>	<b>9</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>10</b>
1.1 Conceptos básicos	10
1.2 Clima y sociedad, clima y territorio	11
<b>2 EL SISTEMA CLIMÁTICO Y EL CLIMA GLOBAL</b>	<b>11</b>
2.1 Patrones climatológicos globales	12
2.2 La variabilidad climática	14
2.2.1 Variabilidad climática intraestacional	
2.2.2 Variabilidad climática interanual	
2.2.3 Variabilidad climática interdecadal	
2.3 Cambio climático	16
2.3.1 Las causas de los cambios climáticos globales	
2.3.2 El actual proceso de calentamiento de la atmósfera y el cambio climático en la escala global	
2.3.3. El clima global hacia finales del siglo XXI	
<b>3 CONDICIONES FÍSICO-GEOGRÁFICAS QUE DETERMINAN EL TIEMPO Y EL CLIMA SOBRE EL TERRITORIO COLOMBIANO</b>	<b>20</b>
3.1. Localización en la zona tropical, particularmente en la franja ecuatorial donde actúa la Zona de Confluencia Intertropical	20
3.2. Localización en relación con el Océano Pacífico y Atlántico tropical y el Mar Caribe	21
3.3. Localización en relación con la cuenca amazónica	21
3.4. La orografía	21
3.5. Características locales (la altitud, la continentalidad, la cercanía a ríos y lagunas)	21
<b>4 LOS PATRONES CLIMATOLÓGICOS SOBRE EL TERRITORIO COLOMBIANO</b>	<b>22</b>
4.1. Distribución de la temperatura media del aire	22
4.2. Distribución de la humedad relativa	22
4.3. Distribución de la precipitación	22
<b>5 LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN COLOMBIA</b>	<b>27</b>
5.1. Sobre la variabilidad climática intraestacional en Colombia	28
5.2. La variabilidad interanual asociada al ciclo ENOS	29
5.3. El ciclo cuasibienal en la precipitación sobre el territorio colombiano	33
5.4. La variabilidad interdecadal de la precipitación en el territorio colombiano	34
5.5. Las relaciones de la variabilidad de la precipitación de regiones del territorio colombiano con diferentes procesos oceánico-atmosféricos	35
<b>6 EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA</b>	<b>37</b>
6.1 Los cambios climáticos del pasado sobre el territorio colombiano	37
6.2. El cambio climático reciente en Colombia	37
6.3. Sobre el clima futuro en el territorio colombiano	42

# PRÓLOGO

---

El clima es uno de los factores ambientales que incide en diferentes aspectos del territorio. De manera recurrente o cíclica ocurren anomalías climáticas que impactan en diversa forma y grado, los sistemas humanos asentados en un determinado territorio; las fluctuaciones que generan estas anomalías se denominan **variabilidad climática**. De otra parte, en el largo plazo, de manera paulatina las condiciones climáticas están modificándose debido al denominado **cambio climático**, que también afectará cada vez de manera más marcada a la población y sus actividades.

Para obtener óptimos resultados en la gestión del riesgo de desastres por fases extremas de la variabilidad climática, es necesario comprender los procesos y saber cómo es que ocurren en el territorio en el que habitamos. El riesgo en los distintos sectores productivos del país depende altamente del clima; que a su vez enmarca dos variables fundamentales para su cálculo: “la amenaza” y “la vulnerabilidad”. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM como órgano rector meteorológico de Colombia, tiene dentro de sus funciones, caracterizar y pronosticar la amenaza por condiciones climáticas para apoyar la planificación sectorial, lo que igualmente contribuye a reducir pérdidas humanas y bienes materiales.

Las fases extremas de variabilidad climática, producen impactos socioeconómicos tanto en los territorios como en los sectores, que en algunos casos toman la magnitud de desastre. Los ciclos de variabilidad climática y sus extremos son inevitables, pero sí es posible reducir el impacto negativo de los mismos, haciendo **gestión del riesgo de desastres** asociado a sus fases extremas. Dado que el clima en los territorios está cambiando, es necesario prepararse ante las nuevas condiciones mediante la **adaptación**.

El cambio climático y el aumento de su variabilidad, ponen en riesgo el bienestar de las poblaciones debido a aspectos como, posibles olas de calor asociadas a un clima cambiante, extremos de temperaturas persistentes durante varios días (posible consecuencia del cambio de la cobertura y uso del suelo) o desastres hidrometeorológicos que ponen en riesgo el desarrollo y la calidad de vida en las ciudades; razón por la cual, la adquisición del conocimiento científico del clima es de suma importancia para el ser humano, pues permite entre otros, establecer que áreas se acondicionan a una o varias actividades productivas, que favorecen el desarrollo y crecimiento socio-económico del país, incorporando el riesgo climático dentro de sus estrategias nacionales.

Bajo este contexto, la publicación “Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia”, pretende caracterizar el clima del país no solo en términos de valores medios, sino también en términos de las fluctuaciones que ocurren en distintas escalas espacio-temporales bajo fundamentos físicos, que explican el porqué de este comportamiento climático sobre el territorio nacional, a fin de mejorar el conocimiento de la población colombiana sobre su clima y procesos asociados, aspectos que se encuentran en sintonía con el Artículo 6 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Conocer el clima y sus variaciones, posiblemente se convierte en el primer mecanismo de adaptación a la variabilidad y el cambio climático en un país.

Para lograr este objetivo, el IDEAM y la Universidad Nacional de Colombia, aunaron esfuerzos basados en investigación, intercambios de experiencia y desarrollos de metodologías, para entregar el estado actual del arte acerca de la variabilidad climática y el cambio climático de Colombia; por lo tanto, es un orgullo poner a disposición de la comunidad en general este documento, para la toma de decisiones climáticamente inteligentes.

---

OMAR FRANCO TORRES  
Director general del IDEAM

# 1 INTRODUCCIÓN

Como comienzo de la exposición de los temas a tratar en esta publicación se presentan los conceptos básicos que contextualizan y permiten entender lo expuesto en capítulos posteriores. Un aspecto fundamental es diferenciar los procesos atmosféricos de momento denominados “tiempo atmosférico” de aquellas condiciones que predominan en periodos de tiempo extensos a las que se refiere el clima.

## 1.1. CONCEPTOS BÁSICOS

El **tiempo atmosférico** es el estado de la atmósfera en un *momento* dado. El tiempo atmosférico se expresa en el conjunto de fenómenos (nublado, soleado, lluvioso, calor, frío, viento o calma; o en situaciones atmosféricas extremas como helada, tormenta, vendaval, granizada, entre otros) que observamos en un instante determinado. El intervalo a que hace referencia el tiempo atmosférico es de minutos, horas hasta un par de días.

Por **clima** se entiende las condiciones atmosféricas predominantes durante un *período* determinado sobre un lugar o una región. Ese período puede ser una semana, o de cinco-diez días, mes(es), años, siglos. Las condiciones predominantes generalmente se cuantifican con el promedio de temperatura del período, el acumulado de precipitación en el período o el número de fenómenos extremos ocurrido en el período.

Las estaciones del año son la expresión más común del concepto clima. En algunas regiones del mundo las estaciones se manifiestan en la variación de la temperatura media durante el año: verano (calor), otoño, invierno (frío), primavera. En la zona tropical, en donde se localiza Colombia, las estaciones están marcadas



**Figura 1.** Tiempo atmosférico (fenómeno lluvia)  
FUENTE: Stormy weather <http://planetpov.com/2011/08/27/weekend-music-thread-stormy-weather/comment-page-2>

en la precipitación (estación lluviosa – estación seca).

El clima regula la distribución de las condiciones meteorológicas y los fenómenos atmosféricos extremos. Así, debido a condiciones climáticas determinado tipo de fenómeno extremo (tornado, granizo, huracán, tormenta eléctrica) se registra o es más frecuente en determinada región en alguna época del año y no en otra. Dado que es controlado por la estacionalidad que es la expresión del clima.

En el estudio del clima se utiliza el concepto **patrón climatológico**, el cual representa las condiciones que predominan durante un período largo, generalmente 30 años, con el que se caracterizan el clima de una región. Este se cuantifica mediante el cálculo de promedios de las observaciones o mediciones realizadas a las variables climatológicas (temperatura del aire, presión atmosférica, humedad relativa, precipitación, etc) y de la frecuencia de los fenómenos extremos. A los valores (promedios multianuales de las variables climatológicas) que representan lo predominante en un período de 30



**Figura 2.** Clima en dos regiones diferentes.  
(FOTOS J.D.Pabón)

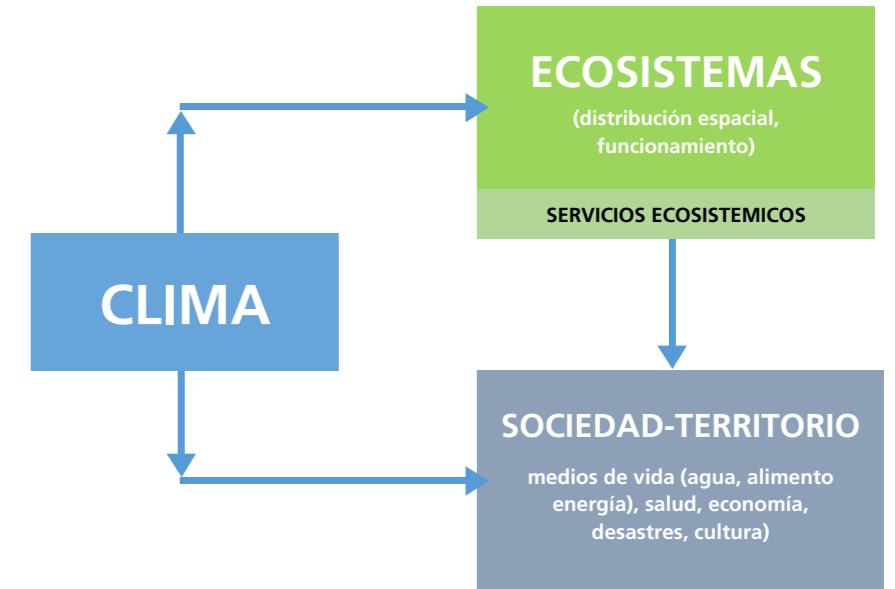
años (por ejemplo, en 1971-2000 o 1976-2005), se denomina **norma (o normal) climatológica**. Con las normales climatológicas se establecen el patrón de la región, es decir la distribución espacial y la estacionalidad de las variables climatológicas. La situación que se diferencia del patrón establecido en un lugar o región se denomina **anomalía climática**.

Comúnmente se habla del **diagnóstico/pronóstico** del tiempo cuando se refiere a lo observado/previsto para una hora o día determinados. El término **diagnóstico/predicción climática** se refiere al análisis de las condiciones atmosféricas predominantes en un período inmediatamente anterior / la anticipación de las posibles condiciones predominantes durante un período futuro.

## 1.2. CLIMA Y SOCIEDAD, CLIMA Y TERRITORIO

Los patrones climatológicos (ciclo anual y distribución espacial de la temperatura, la humedad, el viento, la precipitación y de los fenómenos extremos) regulan diversos procesos en un territorio y con ello inciden en diversos aspectos de este y de la sociedad establecida allí. La relación clima sociedad y clima-territorio se puede resumir con el esquema de la Figura 3.

Las diferentes zonas climáticas influyen en la distribución espacial y en el comportamiento estacional de la vegetación y de animales, estableciendo una influencia en los biomas y en la distribución y funcionamiento de los ecosistemas. Así, por ejemplo, las condiciones cálidas y lluviosas propician la presencia del bioma de bosque tropical húmedo en el que es posible encontrar los hongos, plantas y animales que viven únicamente en el clima tropical húmedo o ecuatorial; igualmente, con el cálido árido o con el polar. De esta manera el clima incide en la distribución espacial y en el funcionamiento de los ecosistemas y en la disponibilidad de servicios ecosistémicos para la población en los territorios.



**Figura 3.** Esquema sobre la influencia del clima en la sociedad y en aspectos del territorio (Elaboración J.D. Pabón)

El clima incide en la sociedad no solo a través de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos. Además influye de manera directa en aspectos como:

- Las actividades productivas que se desarrollan en el territorio
- En la salud humana, animal y vegetal
- En la regulación de la frecuencia de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos que generan desastres.

En aspectos culturales en el territorio Si se alteran los patrones climatológicos establecido establecidos se afecta la relación ilustrada en la Figura 3. La alteración de estos patrones puede ocurrir por anomalías o por modificaciones de estos que son generadas respectivamente por las fases extremas de la variabilidad climática y por el cambio climático.

# 2 EL SISTEMA CLIMÁTICO Y EL CLIMA GLOBAL

Las condiciones atmosféricas predominantes durante un período conocidas como clima están determinadas por factores radiativos forzantes (radiación solar y efecto invernadero), por la interacción entre los componentes del sistema Tierra (atmósfera, hidrosfera, litosfera, biosfera y antroposfera). Estos

procesos propician una distribución global de la energía (calor y viento) y de masa (humedad del aire, nubosidad y precipitación). Ya el clima de un lugar o región depende de cómo estén ubicados o inmersos en esa distribución global, lo que depende de características físico-geográficas como la latitud, la altitud, la

orografía, si están cerca del mar o en el centro del continente (continentalidad), bajo determinado sistema de circulación atmosférica o bajo la influencia de alguna corriente marina. Todo ello se puede describir como el funcionamiento de un sistema (Figura 4).



Figura 4. El sistema climático (Tomado de publicación de la Organización Meteorológica Mundial, situada en la Web en: Adaptado de IPCC, 1996)

El clima de La Tierra está controlado por la radiación solar que ingresa al planeta. La Tierra intercepta los rayos solares, los que al atravesar la atmósfera sufren un proceso de debilitamiento (por la *difusión* y *reflexión*) y de *absorción* (por las moléculas de gases y por partículas en suspensión). Del total de la energía que llega al tope de la atmósfera aproximadamente la mitad alcanza la superficie terrestre (agua del océano o suelo en el continente) que la refleja o la absorbe y se transforma en calor. En el océano el calor se acumula en una capa de espesor promedio de 100-200 metros y en el suelo en una capa de 1-2 metros.

Desde la superficie el calor se transfiere mediante diversos mecanismos a la atmósfera: directamente como calor sensible por conducción molecular, por la turbulencia del aire, por movimiento vertical (convección) de las masas de aire; también como calor latente, que es el gastado en la evaporación y que va junto con el vapor de agua que constituye la humedad del aire; y, finalmente, como irradiación de energía desde la superficie terrestre en onda larga hacia arriba, en dirección del espacio extraterrestre. Algunos gases componentes del aire como el dióxido de carbón y el metano retienen parte de esta energía de onda larga que la superficie emite hacia el espacio, manteniéndola así dentro de la atmósfera, constituyendo una propiedad

de ésta última conocida como **efecto invernadero**.

Por la esfericidad de La Tierra se acumula más energía (calor) en el trópico que en las zonas polares, lo que genera diferencia en la distribución espacial de la presión atmosférica que a su vez produce la circulación del aire, surgiendo así los grandes sistemas de circulación general de la atmósfera que también dan impulso a las corrientes marinas. La energía acumulada en el océano se redistribuye en el planeta por la circulación del océano (las corrientes marinas y la circulación termohalina); el calor y la humedad del aire se redistribuyen por la circulación de la atmósfera. De esta manera se establece sobre el planeta una distribución espacial de la temperatura del aire, de la presión atmosférica, de la humedad del aire, de los vientos, nubosidad, precipitación y fenómenos atmosféricos y meteo-marinos. Distribuciones que varían dependiendo de la estación del año configurando el ciclo anual de las variables climatológicas mencionadas. A tal distribución planetaria de dichas variables y al ciclo anual se les denomina los patrones climáticos globales.

El clima de un lugar o región concretos depende entonces de en dónde se encuentre dentro de esa distribución global de masa (humedad del aire o nubes) y energía (calor): si está lejos o cerca del Ecuador, si se localiza al nivel del mar o

a cierta altura, si está en una topografía plana o se localiza en alguno de los lados (barlovento o sotavento) de las montañas; también como está situado en relación con los sistemas de circulación general de la atmósfera y si tiene influencia de corrientes marinas.

Cada componente del sistema climático tiene un papel importante para generar las condiciones climáticas del planeta y de regiones del mismo. La atmósfera, con el efecto invernadero y con su circulación atmosférica; el océano, con sus procesos químicos, físicos y biológicos juega un papel en la regulación del efecto invernadero al constituirse en sumidero del dióxido de carbono, con el albedo regula el balance de radiación y con la circulación redistribuye igualmente la energía en el planeta; la biosfera es un importante regulador del balance de radiación por sus características de albedo y de transmisión de calor latente en la evapotranspiración, así como regulador del efecto invernadero al actuar intervenir en las variaciones del dióxido de carbono atmosférico; la litosfera, mediante la interacción de las geoformas con la circulación atmosférica y a través del vulcanismo incide en el clima; la antroposfera, con los procesos socioeconómicos, transforma la superficie terrestre y modifica el balance de radiación y con las emisiones de gases interviene en el efecto invernadero de la atmósfera.

## 2.1. PATRONES CLIMATOLÓGICOS GLOBALES

La distribución global del calor y de la humedad trae como resultado los patrones espaciales y temporales (ciclos diario y anual) de las diferentes variables climatológicas como la temperatura del aire, la precipitación y los vientos que se muestran en la Figura 5. Tal distribución induce características particulares al ambiente en diferentes partes del mundo que se resumen en índices climáticos o clasificaciones como la de Köppen-Geiger (Figura 5, abajo-izquierda).

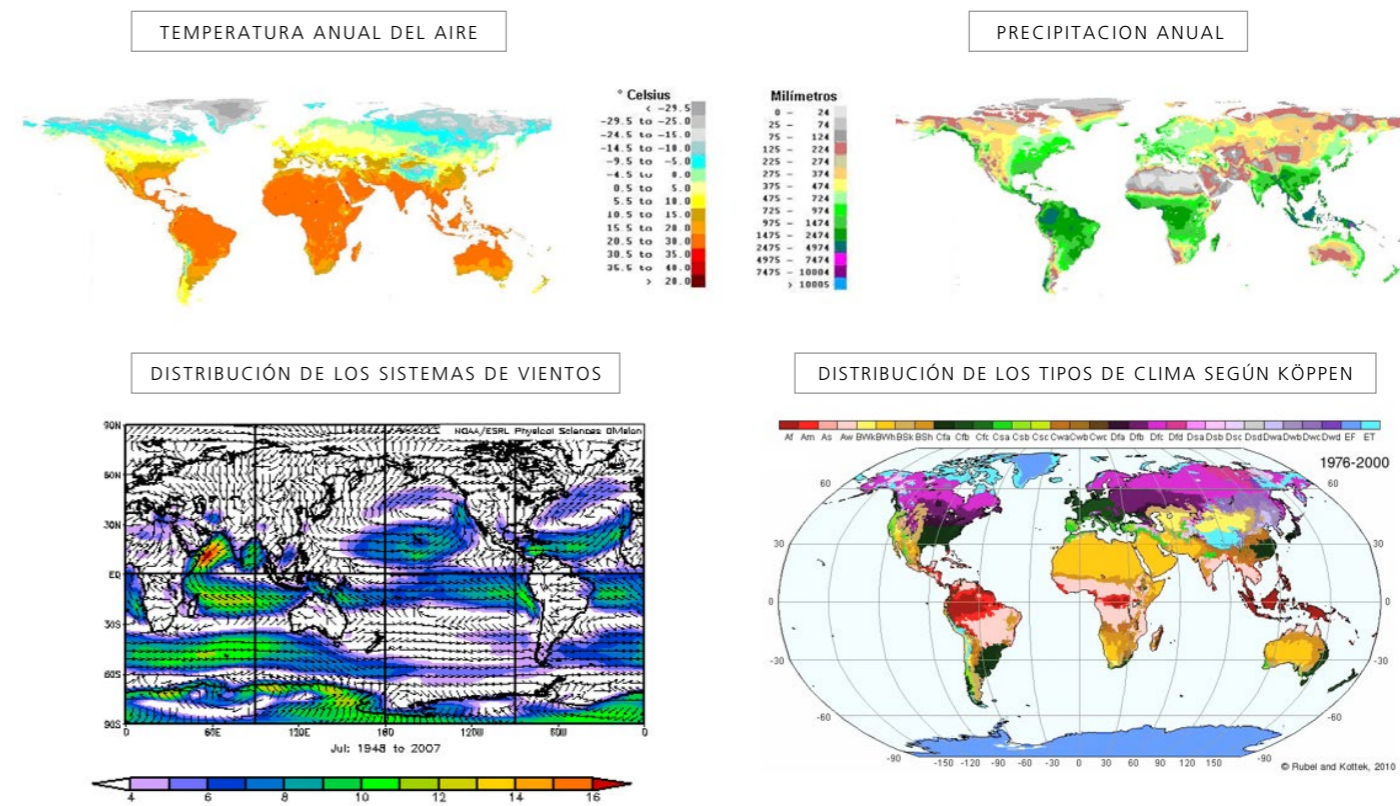


Figura 5. Distribución mundial de la temperatura media anual del (arriba, izquierda), precipitación (arriba, derecha) y climas según Köppen (abajo, derecha) (Tomado de Global Climate Maps de la FAO. <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/SUSTDEV/Eldirect/CLIMATE/EIsp0002.htm>)- (El mapa de la distribución de los climas de Köppen es tomado de Rubel & Kottek, 2010 en el sitio <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/shifts.htm>).

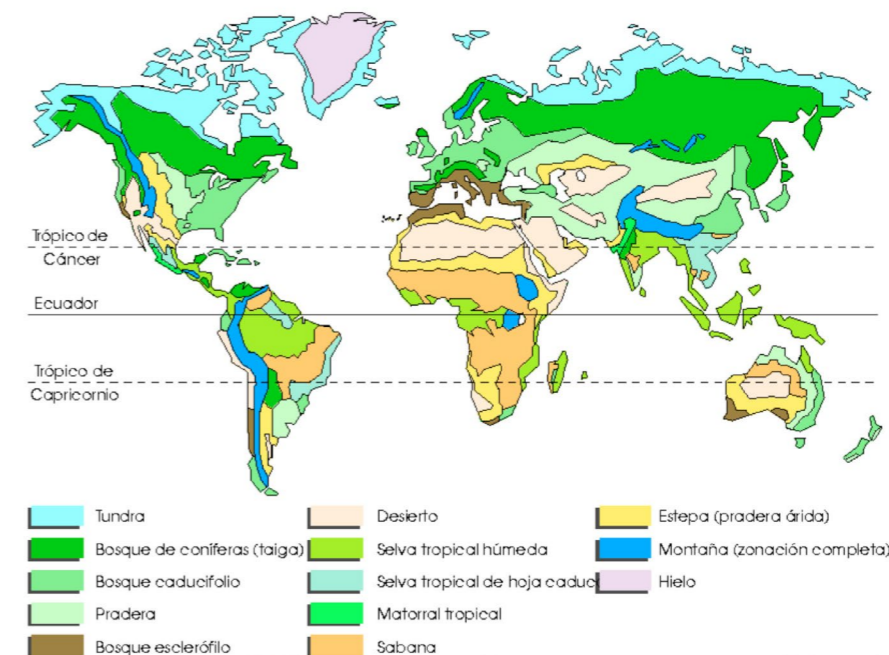


Figura 6. Distribución global de los principales biomas (Tomado de <http://www.elclima-enelmundo.com/2012/04/principales-biomas-del-mundo.htm>)

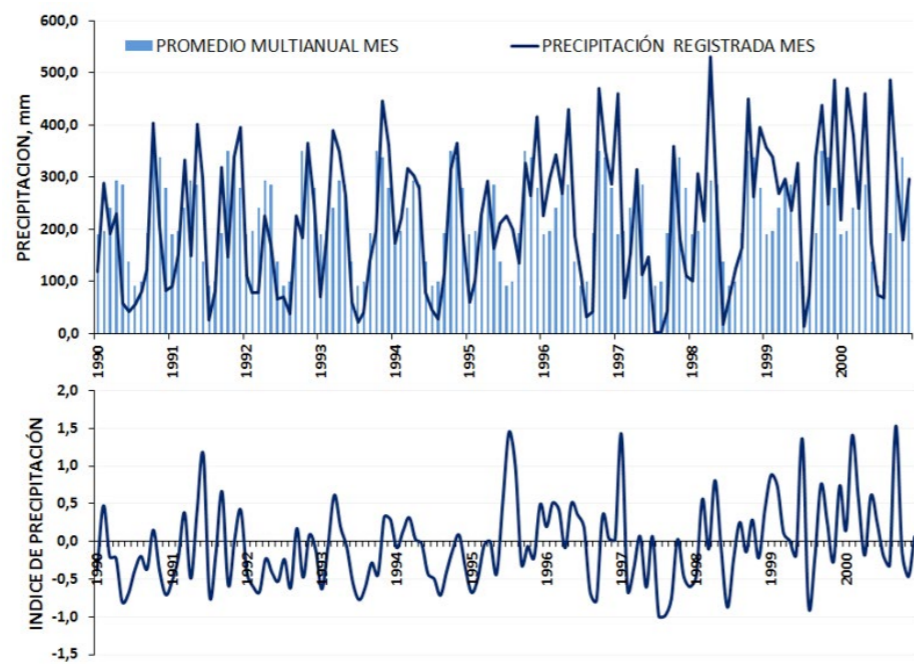
A esta distribución mundial de los diferentes tipos de clima está asociada la productividad primaria en los continentes, la vegetación, los animales, los seres vivos en general y los ecosistemas. Los patrones climatológicos (especialmente la distribución de la temperatura del aire y de la precipitación) organizan una repartición de los biomas en el planeta como la que se señala en la Figura 6. En cada bioma, los ecosistemas allí existentes funcionan acorde con la estacionalidad del clima

De igual manera, la distribución global de la diversidad de climas existentes en el planeta organiza espacialmente las diferentes formas de actividad humana por lo que es posible encontrar regiones que se especializan en algún tipo de cultivo, que se caracterizan por determinadas rasgos culturales, o se ocupan en una actividad de turismo dada. En conexión con esta distribución de las actividades de producción de bienes y servicios, se organizan patrones de comercio y hasta flujos financieros entre diversas regiones del planeta.

Los patrones climáticos se alteran temporalmente de manera recurrente con las fases extremas de la variabilidad climática o pueden modifican por largos períodos debido a los cambios climáticos. La alteración de tales patrones incide en la relación clima-ecosistemas o clima-sociedad con efectos socioeconómicos que pueden ser adversos para esta.

## 2.2. LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

A través del tiempo (meses, años, siglos, milenios,...) el clima presenta ciclos o fluctuaciones de diversa duración. En diferentes años, los valores de las variables climatológicas (temperatura del aire, precipitación, etc.) fluctúan por encima o por debajo de lo normal (condición generalmente representada por el valor promedio de una variable climatológica en un período de por lo menos 30 años); la secuencia de estas oscilaciones alrededor de los valores normales, se conoce como



**Figura 7.** Arriba: Comportamiento de la precipitación (línea azul oscura) durante el período 1990-2000 comparado con los promedios multianuales de cada mes (barras en azul) que representan el ciclo anual de la precipitación. Abajo: índice de precipitación calculado con los datos del gráfico superior, que indica los meses en los que la precipitación estuvo por encima (valores positivos) o por debajo (valores negativos) de lo normal. Las fluctuaciones que se observan mes a mes en el gráfico inferior evidencian la variabilidad intraestacional de la precipitación. Tomado de Pabón & Montealegre (2017)

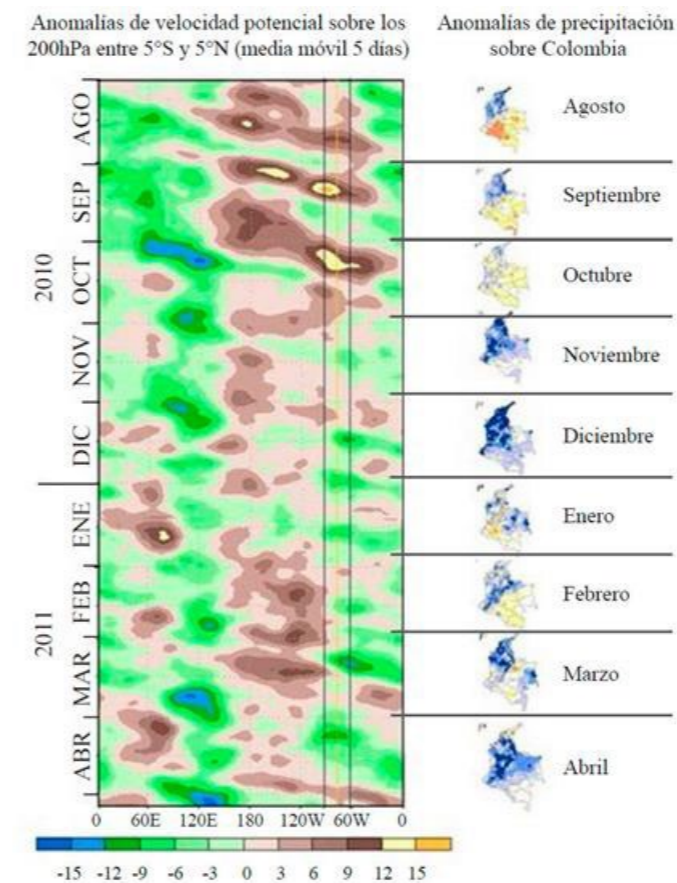
variabilidad climática y su valoración se logra mediante la determinación de las anomalías (la diferencia resultante entre el valor de la variable climatológica y su valor promedio). Al analizar las secuencias históricas de anomalías de una variable climatológica determinada para un lugar dado es posible observar una serie de ciclos interpuestos que tienen períodos de meses, años y decenios, los que evidencian la variabilidad climática en las escalas intraestacional, interanual e interdecadal, respectivamente. Tales fluctuaciones se originan, generalmente, por procesos en los distintos componentes del sistema climático (especialmente en el océano y en la atmósfera) y por oscilaciones en la radiación solar incidente.

### 2.2.1. VARIABILIDAD INTRAESTACIONAL

En el transcurrir de una estación (verano o invierno en las latitudes medias; temporada lluviosa o temporada seca en la zona tropical) se presentan oscilaciones

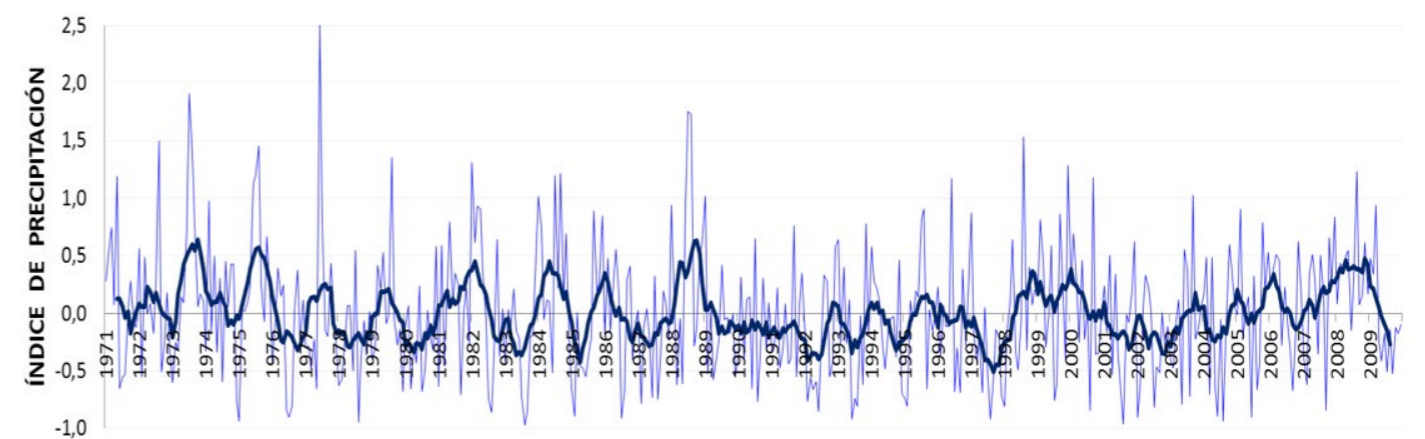
que por decenas de días controlan la actividad los sistemas que generan las condiciones de tiempo. En la Figura 6 se ilustra la variabilidad intraestacional de la precipitación: Año a año debería repetirse el ciclo anual (expresado en las barras azules); sin embargo, en la realidad en un mes determinado llueve más o menos (ver línea en color azul oscuro en la Figura 6 arriba) del valor correspondiente al promedio de ese mes (como se puede ver tanto el gráfico superior como en el inferior de la Figura 7).

Diversas investigaciones han señalado que dentro de las oscilaciones intraestacionales de la precipitación y de otras variables climatológicas se destaca un ciclo de 30-60 días de duración. Éste ha sido detectado en la actividad convectiva en el Pacífico Tropical Oriental, en la presión atmosférica, en las anomalías de vientos en altura y en la precipitación de esta región y de la América Tropical. Gran parte de estas oscilaciones están asociadas a las ondas de Madden-Julian, descubiertas en 1971 en el campo de la presión atmosférica de la zona tropical.



**Figura 8.** Comparación de comportamiento de la anomalía de velocidad potencial sobre el nivel de 200hPa (izquierda) y las anomalías de precipitación mensual sobre el territorio colombiano (derecha) en el período comprendido entre agosto/2010 y mayo/2011. [Los colores azules y verdes (marrón y amarillo) en el gráfico Hovmöller de la izquierda representan valores negativos (positivos) o la fase convectiva (subsidente) de la OMI; en los mapas de Colombia los tonos de color azul (anaranjado y amarillo) presentan lluvias por encima (por debajo) de lo normal. La franja vertical entre líneas negras entre 60°W y 90°W indica la localización del norte de Suramérica]. Tomado de Torres-Pineda & Pabón-Caicedo (2017).

Para ilustrar el efecto de las ondas de Madden-Julian en la precipitación, en la Figura 8 se compara el comportamiento de la anomalía de velocidad potencial (indicador de las fases de las ondas) sobre el nivel de 200 hPa (Figura 8, izquierda) y la distribución espacial de las anomalías de precipitación mensual sobre el territorio colombiano (Figura 8, derecha). Es posible observar que en la medida como sobre el norte de Suramérica (ver la franja entre 60°W y 90°W) se registra la fase subsidente de la OMI, hay una disminución de las anomalías positivas de precipitación e incluso aparición de regiones con anomalías negativas; por el contrario, la aparición de la fase convectiva de la OMI agudizó la presencia de anomalías positivas sobre el país. (Es necesario tener en cuenta que el período analizado agosto/2009 - mayo/2010 estuvo influenciado por la fase negativa del ciclo ENOS generada por un evento La Niña, lo que en términos generales debería originar anomalías positivas de precipitación en gran parte del país).



**Figura 9.** Oscilaciones de un índice de precipitación calculado con datos de una estación climatológica del territorio colombiano. En la línea azul clara se observa la variabilidad intraestacional; la línea gruesa en color azul oscuro (serie suavizada para filtrar las fluctuaciones intraestacionales), muestra las oscilaciones interanuales. Tomado de Pabón & Montealegre (2017).

### 2.2.2. VARIABILIDAD INTERANUAL

A la escala interanual corresponden las fluctuaciones con ciclos con períodos de

más de un año. En la precipitación esta variabilidad se percibe como la alternancia de años más lluviosos que lo normal con años deficitarios de lluvias. En la Figura 9 se muestran los ciclos interanuales (línea gruesa de color azul oscuro) de la

precipitación, con la intraestacionalidad de fondo. Según estudios realizados hasta ahora, en la escala interanual es posible identificar dos señales: una asociada a la influencia de los fenómenos de El Niño y de La Niña, otra con período de casi dos años.



Los fenómenos de El Niño (aguas más cálidas que lo normal en el Pacífico tropical) y de La Niña (aguas más frías que lo normal en el Pacífico tropical) generan cambios de presión atmosférica en el Pacífico tropical (conocidos como la Oscilación del Sur), lo que altera la circulación en la atmósfera tropical e induce anomalías climáticas a diferentes regiones del planeta. La Figura 10 muestra la secuencia de un índice de las condiciones de El Niño (valores positivos) o La Niña (valores negativos) conocido como ONI, comparado con la secuencia de anomalías de precipitación de una región en Colombia.

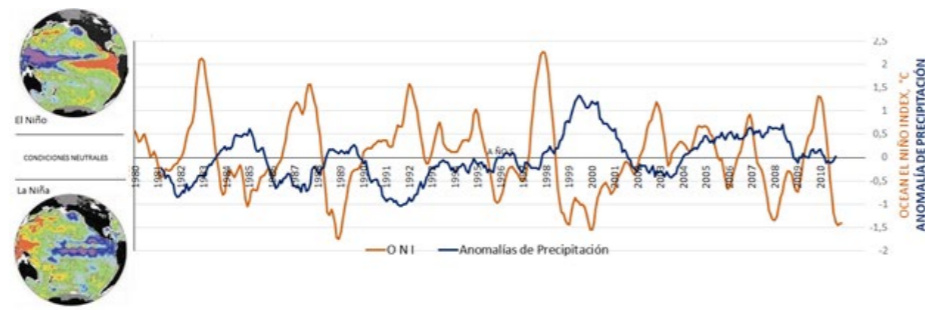


Figura 10. Índice Oceánico El Niño (ONI) y secuencia de anomalías de precipitación en una región dentro de la parte andina del territorio colombiano (Elaboración J.D. Pabón).

El ciclo con período alrededor de los 2 años está asociado a la oscilación cuasibienal del viento zonal en la estratosfera inferior (entre 20 y 30 kilómetros sobre la superficie terrestre) en la zona ecuatorial; este fenómeno estratosférico consiste en la alternancia del viento zonal un año con componente Este, el año siguiente con componente Oeste, la cual tiene un período que varía entre 20 y 30 meses (casi 2-2.5 años, razón por la que se denomina cuasibienal).

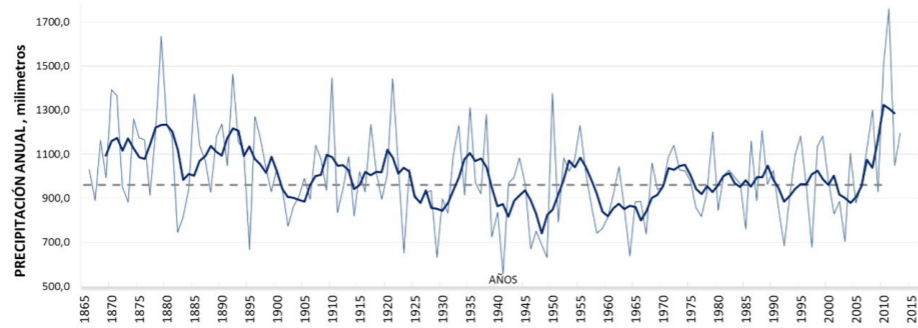


Figura 11. Serie de precipitación anual del Observatorio Meteorológico Nacional (Bogotá) en el período 1866-2015. Tomado de Pabón & Montealegre (2017).

## 2.2.3. VARIABILIDAD INTERDECADAL

Esta variabilidad se expresa en ciclos con períodos de más de diez años (Figura 11). Estas fluctuaciones pueden estar asociadas a los ciclos detectados en el número de manchas solares, a oscilaciones decadales en el océano como la Oscilación Decadal del Pacífico (siglas en inglés PDO) o al ciclo lunar de 18.6 años.

## 2.3. CAMBIO CLIMÁTICO

A la modificación de las condiciones predominantes en el largo plazo (siglos, milenios, etc) se le denomina cambio climático. Son ciclos de largo período. Un ejemplo de tales cambios son los períodos glacial-interglacial que han ocurrido en el planeta.

### 2.3.1. LAS CAUSAS DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS GLOBALES

En la evolución del planeta se han presentado cambios climáticos. Como evidencia de ello en la actualidad se tiene los rastros de períodos muy fríos (períodos glaciales) que duraron miles de años seguidos de calentamientos (interglaciales) de similar duración.

Pero ¿qué procesos generan estos cambios? Para responder a ello demos una mirada de nuevo al sistema climático y tratemos de identificar lo que podría hacer cambiar el clima en el planeta. Puede haber factores externos e internos del sistema Tierra que generan tales cambios, como los que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las causas de los cambios climáticos

INFLUENCIAS EXTERNAS	INFLUENCIAS INTERNAS
<b>Impactos de meteoritos</b>	
Ciclos solares de largo plazo Cambios en la geometría de la órbita de La Tierra Cambios en la geometría de la incidencia de los rayos solares a la superficie terrestre	Deriva continental Cambios en la composición atmosférica Interacción entre componentes sistema Tierra Procesos antrópicos

Como se anotó al comienzo, el motor del clima es la energía solar que ingresa al sistema Tierra. Si hay procesos que generen ciclos de largo período en la cantidad de energía, tendremos ciclos similares en el clima de este planeta. Algunos de los ciclos de largo plazo se explican por el cambio en la geometría de la órbita terrestre (cambios en la excentricidad), en el ángulo de inclinación del eje de La Tierra (cambios en la oblicuidad) y por el movimiento de precesión, lo cuales se han planteado a través de la **teoría de Milankovich**.

**Cambios en la excentricidad:** La órbita de La Tierra alrededor del Sol varía de elíptica a casi circular y viceversa (Figura 12). El período que gasta en ir de elíptica a circular y regresar a elíptica es de cerca de 80.000-90.000 años. Dependiendo de la forma de la órbita, La Tierra recibe más o menos radiación y se generan ciclos de período mencionado en el clima del planeta.

**Cambios en la oblicuidad:** La Tierra rota alrededor de un eje inclinado. El ángulo de inclinación (ver Figura 13) en la actualidad es de 23°27', pero este no es constante y varía de 21,5° a 24,5°, demorando cerca de 42.000 años para completar un ciclo, es decir en ir del mínimo al máximo y regresar al mínimo. Esto genera cambios en la estacionalidad de las variables climatológicas en diferentes partes del planeta

**Movimiento de precesión:** El eje de rotación de La Tierra tiene un movimiento cónico que es más amplio en el polo norte (Figura 14). Por tal razón, este cambia de posición haciendo un círculo que completa en un lapso de 22.000 años. Esto hace que no siempre la misma región del hemisferio norte esté más cerca del Sol durante el afelio.

Los ciclos de Milankovich son los responsables de los períodos glacial-interglacial registrados en el pasado.

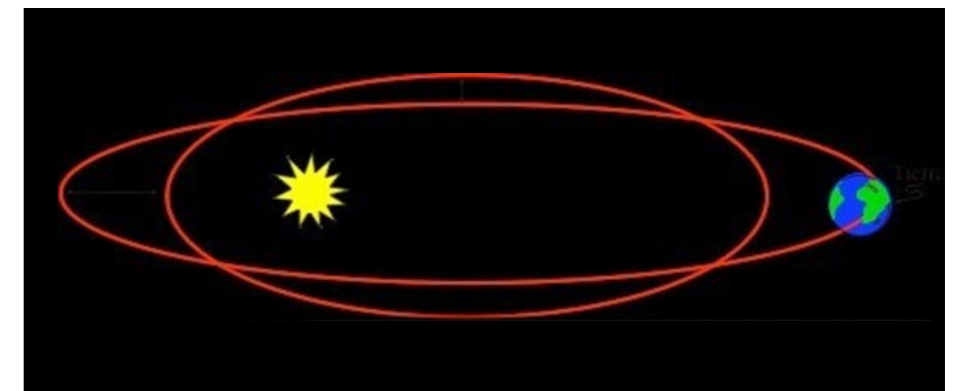


Figura 12. Cambio de forma de la órbita de la Tierra alrededor del Sol (Tomado de Uriarte, 2010)

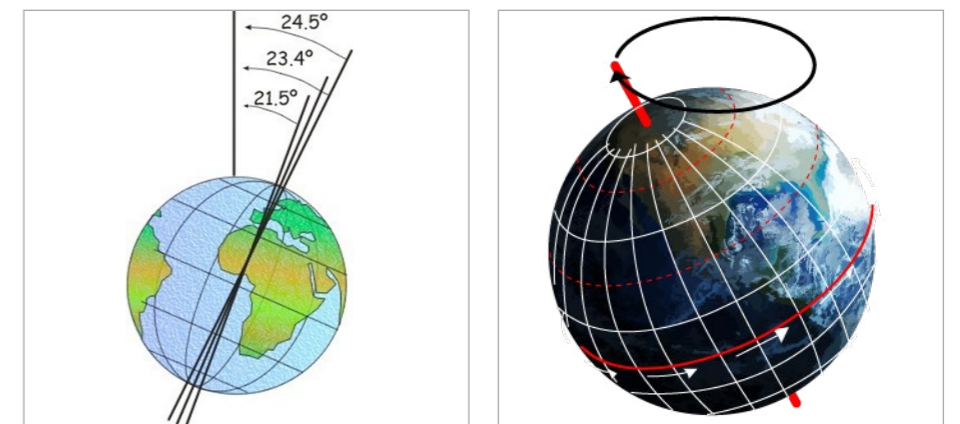


Figura 13. Cambio del ángulo de inclinación del eje de La Tierra (Tomado de Uriarte, 2010).

Figura 14. Movimiento del eje de rotación de La Tierra (Tomado <http://www.antioquiatic.edu.co/noticias-general/item/206-los-movimientos-de-la-tierra>).

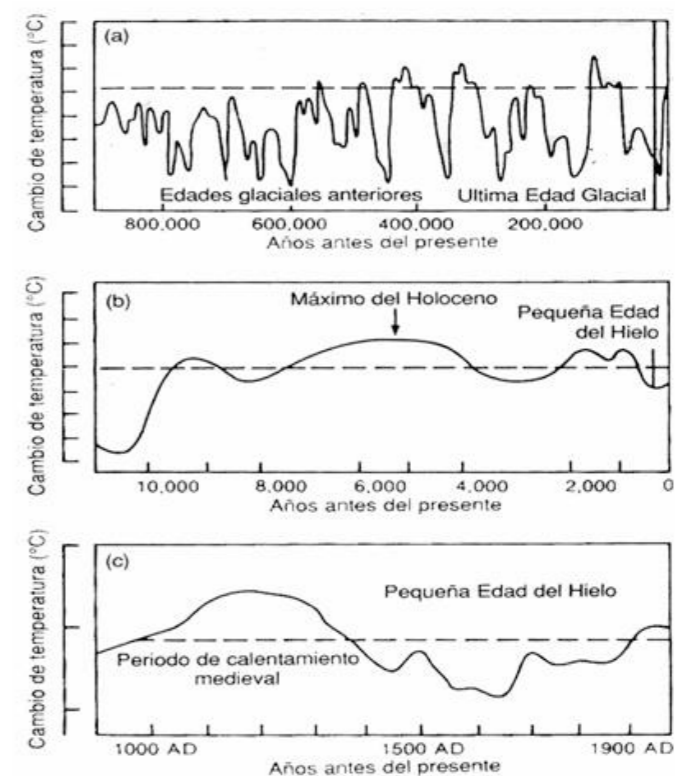


Figura 15. Comportamiento de la temperatura media del aire durante el último millón de años (arriba), los últimos once mil años (medio) y a partir del año 900 DC (abajo). La línea horizontal punteada representa la temperatura media global en el período 1961-1990 (aproximadamente 15°C). (Adaptado de IPCC, 1990:202)

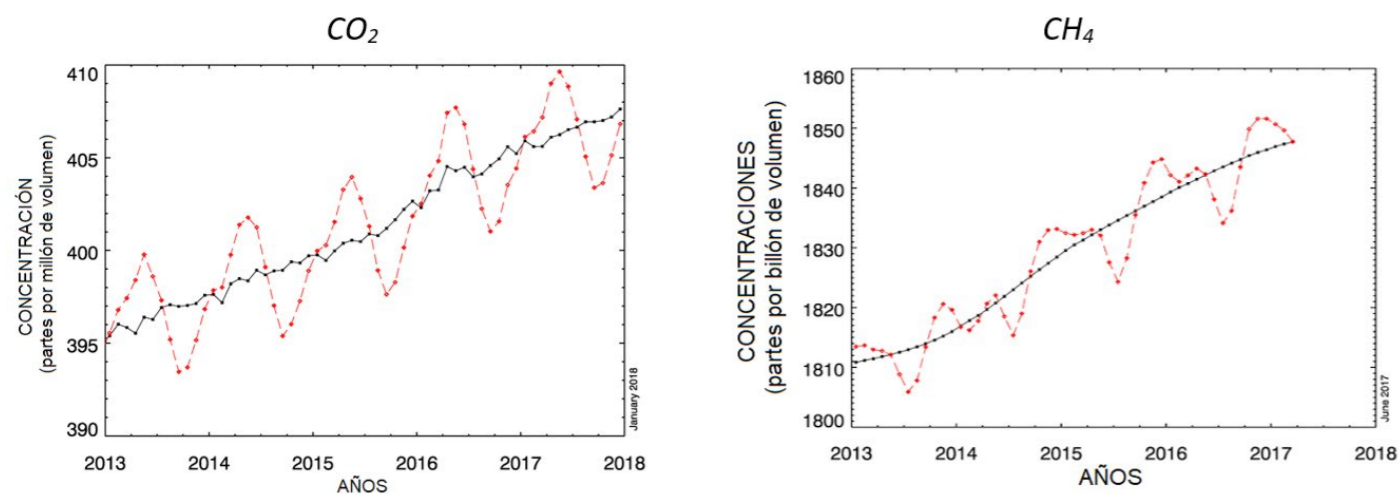


Figura 16. Comportamiento de las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en partes por millón de volumen (ppmv) en Mauna Loa (NOAA) y de metano (CH<sub>4</sub>) en partes por billón de volumen (ppbv) durante los últimos 5 años. (FUENTE: NOAA/ESRL <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>)

La cantidad de energía que llega al planeta también está regulada por ciclos de largo plazo, pero no tan extensos, de la actividad del Sol, los que generan ciclos de menor período en el clima. Así, por ejemplo, entre el siglo XVII y XVIII hubo baja actividad por cerca de 70 años, lo que produjo el enfriamiento conocido como la Pequeña Edad de Hielo.

Además de los anteriores, otro factor que interviene en el clima es la composición de la atmósfera: si aumenta la concentración de gases de efecto invernadero, se produce un calentamiento de la misma; si disminuye la concentración de estos habría un enfriamiento. Ahora, si se aumentan las partículas sólidas que están en suspensión en la atmósfera, interceptarían la radiación habría un calentamiento en la capa en donde estarían esas partículas y simultáneamente un enfriamiento sobre la superficie terrestre. De otra parte, si las corrientes marinas cambian su curso promedio por un período largo genera cambios en el clima.

En la Figura 15 se presentan con diferente detalle tres ventanas de la historia del clima del planeta en las que se pueden observar cambios climáticos de diversos períodos. En el panel superior de esta figura, en el que se presenta el último millón de años, se observan los períodos glacial-interglacial correspondientes a los

ciclos de Milankovich. El mínimo de la última glaciación ocurrió hace 25.000-20.000 años, los hielos comenzaron a retirarse para dar lugar al interglacial que tuvo su máximo en el Holoceno medio (ver panel central de la Figura 11.9) entre hace 7000 y 5000 años. En estos ciclos vamos lentamente en un enfriamiento que tendría el mínimo dentro de unos 20.000 años.

La Figura 15 muestra que hay cambios climáticos de menor período (500-1000 años) como los que tuvieron lugar durante el Holoceno; en el panel del medio de esta figura, que muestra los últimos 10.000 años, es posible observar fluctuaciones que se destacan dentro de la tendencia del ciclo de mayor largo plazo como por ejemplo un enfriamiento en el período de hace 10.500 años, un corto calentamiento entre el 9000 y el 10.000 y de nuevo un enfriamiento en el 8.000.

En el panel inferior de la Figura 15 se muestra la ventana de los últimos 1.000 años. Se aprecia fácilmente una fase de calentamiento entre el 1000 y el 1300 conocida como el Calentamiento Medieval, una fase fría con el mínimo entre 1500 y 1700 denominada la Pequeña Edad del Hielo y una tendencia hacia una nueva fase cálida que comenzó a finales del siglo XIX. Es decir hay ciclos de 500-600 años y en estos vamos hacia un calentamiento.

### 2.3.2. EL ACTUAL PROCESO DE CALENTAMIENTO DE LA ATMÓSFERA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ESCALA GLOBAL

En los últimos tres siglos se ha acentuado la actividad humana y se ha intensificado su efecto en el sistema climático. A través de la quema de combustibles fósiles para producción de energía y de la transformación de las características de la superficie terrestre está generando cambios en la composición de la atmósfera (particularmente el aumento de gases de efecto invernadero, Figura 16), proceso que altera el balance de radiación del sistema tierra-atmósfera.

Debido al aumento de los gases de efecto invernadero está ocurriendo un calentamiento de la atmósfera global que se suma al calentamiento que está ocurriendo desde finales de siglo XIX. El ritmo de aumento se ha acelerado y en los últimos cincuenta años es casi dos veces el de hace 100 años (Figura 17) y es posible constatar que los últimos años han sido los más calurosos desde 1850, período en el que se tienen mediciones.

El análisis de las observaciones de la temperatura del mar efectuadas desde 1961 muestran un aumento de la

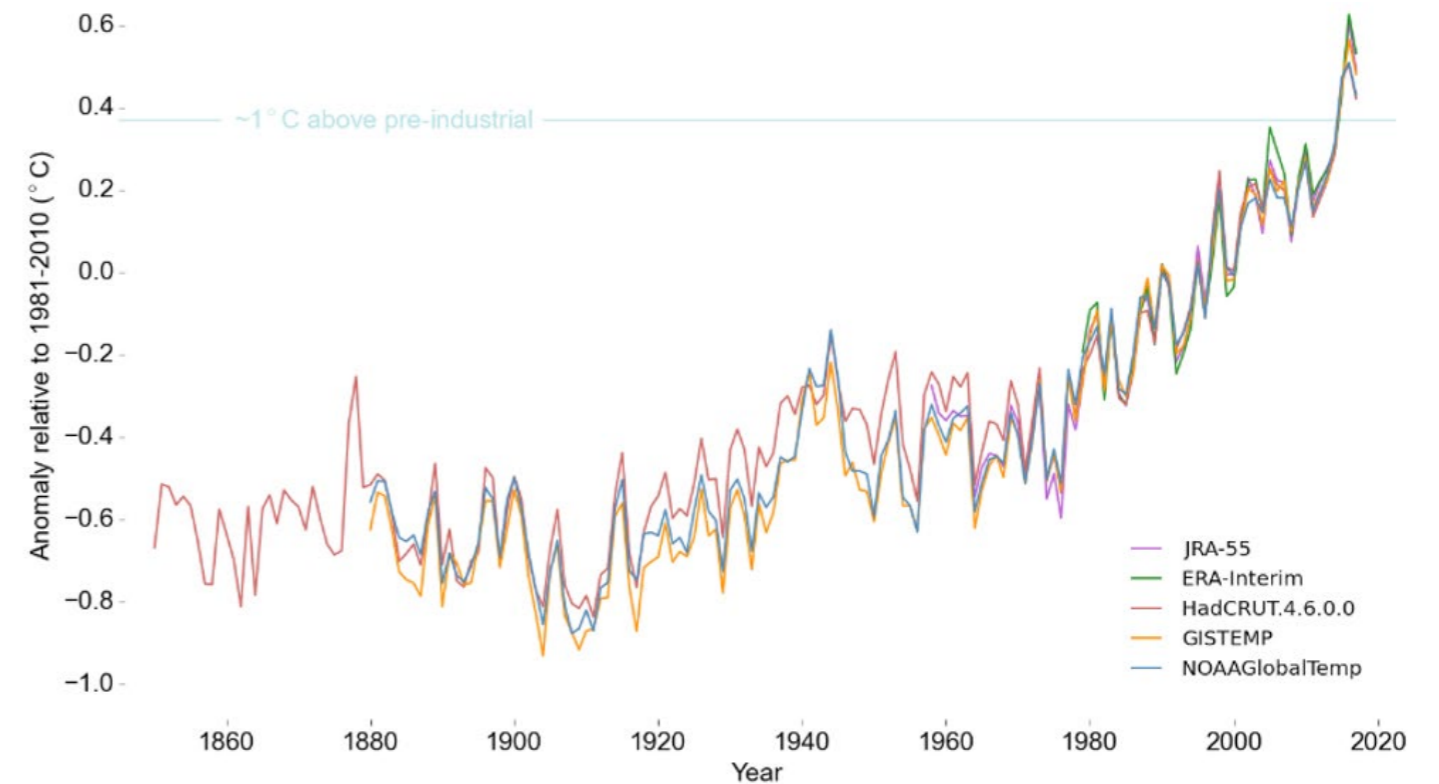


Figura 17. Anomalia de la temperatura global en el período 1886-2017 referenciada al período 1980-2010, según diversas aproximaciones de procesamiento de las mediciones de la temperatura del aire (WMO, 2017)

temperatura oceánica. La expansión térmica y el aporte de los glaciares (principalmente de Groenlandia y de la Antártica, así como los glaciares de montaña) están amentando el nivel del mar a un ritmo medio mundial de 1.8 milímetros desde 1961, pero desde 1993 el ritmo ha aumentado considerablemente; el ascenso del nivel del mar durante el siglo XX ha sido de cerca de 17 centímetros. La precipitación ha presentado tendencias diferentes para las diversas regiones del mundo. Así, por ejemplo, se detectó que entre 1990 y 2005 ha aumentado significativamente en los sectores orientales de Norte y Suramérica, al norte de Europa y en el norte y centro de Asia; para el mismo período se ha observado disminución sobre Sahel, el Mediterráneo, el sur de África y partes del sur de Asia. Se ha identificado igualmente un aumento de los eventos de lluvias fuertes en varias regiones del mundo; también, hay una tendencia al

aumento de la frecuencia de ciclones tropicales (tormentas tropicales y huracanes) en el Atlántico tropical.

### 2.3.3. EL CLIMA GLOBAL HACIA FINALES DEL SIGLO XXI

En la mirada hacia el futuro bajo diversos escenarios, IPCC, 2013 estima que la temperatura media mundial del aire hacia finales del siglo XXI (2090-2099) estaría entre 1.8° y 4.0°C por encima de lo que se observó a finales del siglo XX (1980-1999); este calentamiento se distribuiría como se muestra en la Figura 18 (panel superior). El nivel medio del mar para este mismo período aumentaría entre 18 y 60 centímetros. Es muy probable un aumento de la precipitación en las latitudes altas y medias y una disminución en la zona subtropical (ver Figura 18, panel inferior).

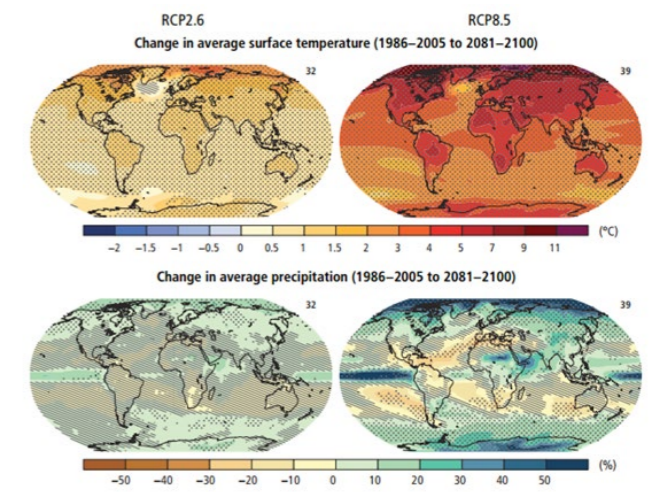


Figura 18. Cambios en la temperatura del aire (panel superior) y en la precipitación (panel inferior) que habría bajo diferentes escenarios que se podrían presentar a finales del siglo XXI (Tomado de IPCC, 2013).

Estos cambios impactarían directamente las regiones y sectores socioeconómicos que se señalan en la Figura 19).

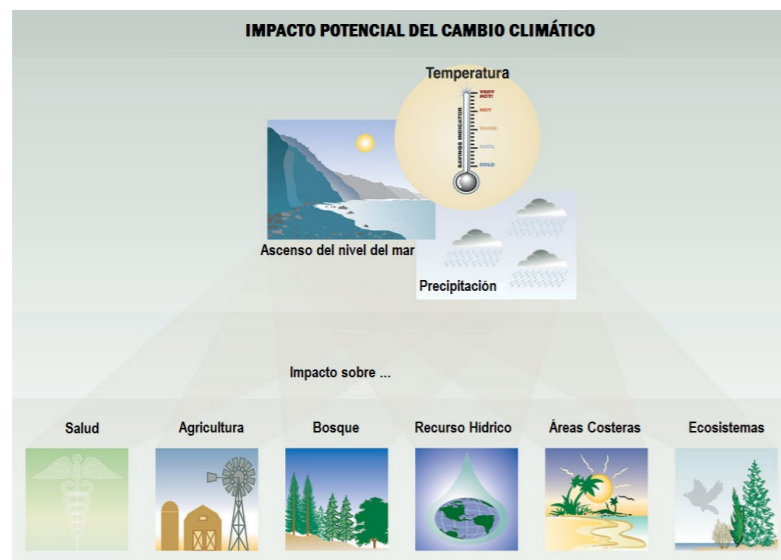


Figura 19. Aspectos de los ecosistemas y del sistema socioeconómico mundial que se verían afectados por procesos como el calentamiento global, el ascenso del nivel del mar y el cambio climático (Adaptado de <https://www.grida.no/resources/6447>)

## 3. CONDICIONES FÍSICO-GEOGRÁFICAS QUE DETERMINAN EL TIEMPO Y EL CLIMA SOBRE EL TERRITORIO COLOMBIANO

Las particularidades del clima del territorio colombiano, así como de los fenómenos atmosféricos que se observan en sus regiones, se deben a su localización en medio de la distribución mundial de energía (calor, viento) y masa (humedad, nubosidad y precipitación), es decir por las características físico-geográficas de la región donde se localiza, las cuales se resumen a continuación.

### 3.1. LOCALIZACIÓN EN LA ZONA TROPICAL, PARTICULARMENTE EN LA FRANJA ECUATORIAL DONDE ACTÚA LA ZONA DE CONFLUENCIA INTERTROPICAL

La zona tropical (el área ubicada entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio o entre los 27.5°S y 27.5°N) tiene la particularidad de disponer de la mayor cantidad de energía solar que recibe el planeta. Dicha zona se caracteriza por presentar altas temperaturas; sin embargo, a una misma altura, las diferencias térmicas horizontales son bajas, razón por la cual en la atmósfera tropical es difícil identificar masa de aire con características térmicas diferentes que puedan generar frentes atmosféricos como ocurre en las latitudes medias; los cambios en las condiciones de tiempo en la zona tropical están controlados por sistemas diferentes a los que se observan en las latitudes medias. Otra particularidad destacada de la zona tropical es la relacionada con el ciclo anual y diario de temperatura del aire: en el ciclo anual la diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y la del más frío es pequeña

(aproximadamente 2°C), mientras que en ciclo diario la diferencia entra la mínima y la máxima es bastante amplia (puede alcanzar hasta 20°C).

Además de las características térmicas, la zona tropical presenta bajas presiones en la parte ecuatorial y altas presiones en los subtrópicos; en esta región predomina la circulación de los vientos alisios (vientos que soplan del Este, del Noreste o del Sureste) los cuales convergen en la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). Los sistemas térmicos, béricos y de circulación enunciados se desplazan de norte a sur o de sur a norte dependiendo de la época del año, con lo cual inducen la estacionalidad del clima en diferentes regiones de esta zona.

El territorio de Colombia está localizado entre los 4°S y los 13°N, por lo que gran parte se ubica en la zona ecuatorial

(delimitada entre los 7°S y 7°N, aproximadamente) y una parte en la zona subtropical del hemisferio norte. Al estar localizado en la franja ecuatorial, el territorio colombiano está en el área de influencia de la ZCIT. Esto es un factor determinante en la distribución espacio-temporal de la precipitación, de la nubosidad y de otras variables climatológicas.

### 3.2. LOCALIZACIÓN EN RELACIÓN CON EL OCEANO PACÍFICO Y ATLÁNTICO TROPICAL Y EL MAR CARIBE

La localización de Colombia al noroccidente de Suramérica propicia la influencia de los procesos que ocurren en los Océanos Atlántico Tropical, el Mar Caribe y el Pacífico Tropical.

La parte norte, nororiental y oriental del territorio colombiano tiene la influencia de los procesos que ocurren en el Océano Atlántico. La estacionalidad de los procesos en el Atlántico tropical permite que la influencia sea diferente a lo largo del año. Por un lado, el sistema de alta presión subtropical de las Azores extiende su influencia sobre el Mar Caribe y en el norte y nororiental del país; esta influencia se manifiesta con la presencia de los vientos del Este y del Noreste, así como con nubosidad y precipitación escasas. De otro, las áreas marítimas e insulares del Caribe colombiano y del Norte del territorio continental, se ve frecuentemente influenciado por los ciclones tropicales que nacen en el Atlántico tropical. En el sector occidental del país, el Océano Pacífico, en interacción con una circulación de tipo monzónico generado por la migración de la ZCIT en esta área aporta humedad al sector sur de la vertiente occidental de la Cordillera Occidental; de la misma manera, en el sector norte del Pacífico colombiano un sistema cuasipermanente dirige la humedad hacia la misma cordillera. Lo anterior induce condiciones que hacen que la región Pacífica colombiana sea una de las zonas más lluviosas del mundo. El territorio colombiano también se ve influenciado

por la variabilidad interanual del Océano Pacífico, particularmente por las fases extrema El Niño y La Niña.

### 3.3. LOCALIZACIÓN EN RELACIÓN CON LA CUENCA AMAZÓNICA

La Amazonia es una vasta extensión de vegetación que aporta gran cantidad de humedad al aire, la cual es transportada por los alisios hacia el occidente. El territorio colombiano, al estar localizado al noroeste de esta área, recibe una cantidad importante de esta humedad lo cual induce características particulares al clima, en especial del sector suroriental conocido como Amazonia colombiana.

En la Amazonia colombiana, las masas de aire húmedo en su desplazamiento hacia el Oeste encuentran la cordillera de los Andes. Al tener un ascenso forzado por la orografía, la humedad se condensa, genera nubosidad de desarrollo vertical y abundante precipitación. Esto hace que el nor-occidente de la Amazonia (es decir, el territorio amazónico colombiano) sea uno de los sectores más lluviosos de toda esa región; de esta manera, en el territorio colombiano sectores como el piedemonte amazónico y llanero se destacan por ser bastante lluviosos.

Los efectos de la Amazonia no solo se limitan al sector suroriental sino que trascienden al sur y centro de la región Andina colombiana. En determinada época del año, los sistemas sinópticos provenientes de la Amazonia aportan importantes cantidades de humedad y precipitación a la parte sur de la región Andina, en particular a la parte alta de los ríos Putumayo, Caquetá y Magdalena.

### 3.4. LA OROGRAFÍA

En el territorio colombiano el sistema de los Andes se convierte en tres grandes cordilleras; adicionalmente se destacan: el sistema de Baudó, la Sierra Nevada de Santa Marta y La Macarena. Estos elementos generan la compleja orografía

que caracteriza la superficie del territorio colombiano.

Esta orografía influye de manera notable en las condiciones climáticas del país. La interacción de los sistemas de circulación de gran escala los alisios y los grandes sistemas orográficos organizan grandes regiones climáticas sobre el territorio. Así, es posible encontrar que las zonas más lluviosas están en la vertiente oriental de la cordillera oriental y en la vertiente occidental de la cordillera occidental, mientras que en los valles interandinos las precipitaciones son menores. La compleja orografía igualmente comprende innumerable cantidad de valles y montañas que inducen una diversidad de meso y microclimas.

La orografía también induce que diversos lugares y regiones estén a diferente altura sobre el nivel del mar. Esto genera a su vez, que el clima de Colombia tenga diferentes zonas climáticas altitudinales que van desde el piso cálido húmedo ecuatorial hasta el nival propio de los glaciares de montaña.

### 3.5. CARACTERÍSTICAS LOCALES (LA ALTITUD, LA CONTINENTALIDAD, LA CERCANÍA A RÍOS Y LAGUNAS)

Además de la situación de macroescala que predomine, el clima de un lugar está condicionado por su localización en relación con el nivel de mar (altitud), por su lejanía al mar (continentalidad) o su cercanía a grandes ríos o cuerpos de agua. La altitud sobre el nivel del mar define variables como la cantidad de radiación solar que incide sobre el lugar, la temperatura media del lugar y la amplitud del ciclo diario de la temperatura, así como la presión atmosférica; también puede definir la humedad media del aire y el viento.

En cuanto a la continentalidad, que generalmente induce particularidades en la amplitud del ciclo diario y anual de la temperatura del aire, en el territorio colombiano este efecto es apenas apreciable en el sector oriental (particularmente en la Orinoquía)

# 4 LOS PATRONES CLIMATOLÓGICOS SOBRE EL TERRITORIO COLOMBIANO

Las características físico-geográficas del territorio colombiano descritas en el capítulo anterior redistribuyen la energía (calor, movimiento) y masa (humedad, nubosidad, precipitación) ubicada en la América tropical y generan una diversidad climática en la cual es posible encontrar gran cantidad de micro y mesoclimas en cuencas y regiones del país. No obstante, en el clima nacional es posible identificar ciertas características generales, particularmente en la distribución espacio-temporal de la temperatura media del aire, de la humedad del aire, de los vientos y de la precipitación, variables climatológicas de gran importancia en los procesos biológicos, ecosistémicos y socioeconómicos.

## 4.1. DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE

Los sistemas orográficos en mayor grado orientan la distribución de la temperatura media del aire y la conformación de los denominados pisos térmicos. En vista de que gran parte del territorio continental son zonas bajas cercanas al nivel del mar (llanuras del Caribe, la Orinoquía, Amazonía y la costa Pacífica), las temperaturas medias anuales por encima de 24°C cubren cerca del 70% del área total del país (ver Figura 20). Pequeños núcleos con temperaturas medias anuales superiores a 28°C se observan en el Valle del Magdalena a la altura de Huila y Tolima, en el Magdalena Medio y Bajo, así como en La Guajira.

En la región Andina, en la medida como se avanza con la altura la temperatura disminuye a un promedio de 5.53°C cada

kilómetro (Eslava, 1992), sin embargo, este descenso no es homogéneo en todo el territorio colombiano: en el Pacífico es de 4.62°C/kilómetro, en la región Andina 6.13°C/kilómetro y un poco mayor en la región Caribe, particularmente en La Guajira.

El comportamiento de la temperatura media mensual durante el año es estacional, aunque la fluctuación no es marcada y no sobrepasa los 2°C en las diferentes regiones del país; en este ciclo anual es posible encontrar máximos en el primer y segundo semestres y valores mínimos a mediados y finales o comienzos de año.

La diferencia entre la máxima y mínima temperatura del día (amplitud del ciclo diario) depende de la época del año y en promedio puede alcanzar los 10°C y tiende a ser mayor a mayores altitudes sobre el nivel del mar. En el caso de Bogotá, por ejemplo, en enero se tiene una máxima absoluta cercana a los 25°C y una mínima absoluta de -3°C.

## 4.2. DISTRIBUCIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA

La humedad del aire, en términos de humedad relativa media anual, en el territorio colombiano está por encima del 60% siendo mayor en la región del Pacífico colombiano en donde está entre 85 y 95% (ver Figura 21). Valores similares se pueden observar en algunos sectores de la Sierra Nevada de Santa Marta. La región amazónica colombiana presenta humedad relativa media anual entre el 80 y el 90%, en tanto que sobre la Orinoquía oscila

entre 70 y 80%, valores que también se observan en un amplio sector de la región Andina y Caribe.

Núcleos con valores bajos de humedad relativa media anual (menores de 70%) se observan en el valle del Magdalena entre los departamentos de Huila y Tolima, en la Península de La Guajira y un núcleo el valle del río Cesar.

## 4.3. DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

En la Figura 22 se presenta la distribución de la precipitación anual en el país. En una visión general se diferencian zonas muy lluviosas (Región Pacífica, piedemonte amazónico y llanero) y secas (Península de la Guajira; algunos sectores en los valles interandinos).

Sobre el territorio colombiano se destacan núcleos con precipitación superiores de 4000 milímetros al año, los que se localizan en: sectores sur, centro y norte de la región Pacífica, en el piedemonte amazónico y llanero (occidente de la Orinoquía), en el departamento de Antioquia, así como en un área reducida de la cuenca alta del río Arauca y en el Catatumbo. En el Pacífico se presentan zonas extremadamente lluviosas localizadas en los departamentos del Cauca y del Chocó; en dichas zonas la precipitación anual sobrepasa los 10000 milímetros al año.

En la región interandina (cuencas de los ríos Magdalena, Cauca y Patía) las precipitaciones no sobrepasan los 4000 milímetros al año. Se presentan sectores como los altiplanos nariñense y cundiboyacense donde la precipitación anual está entre los 500 y 1000 milímetros; condiciones similares se registran en

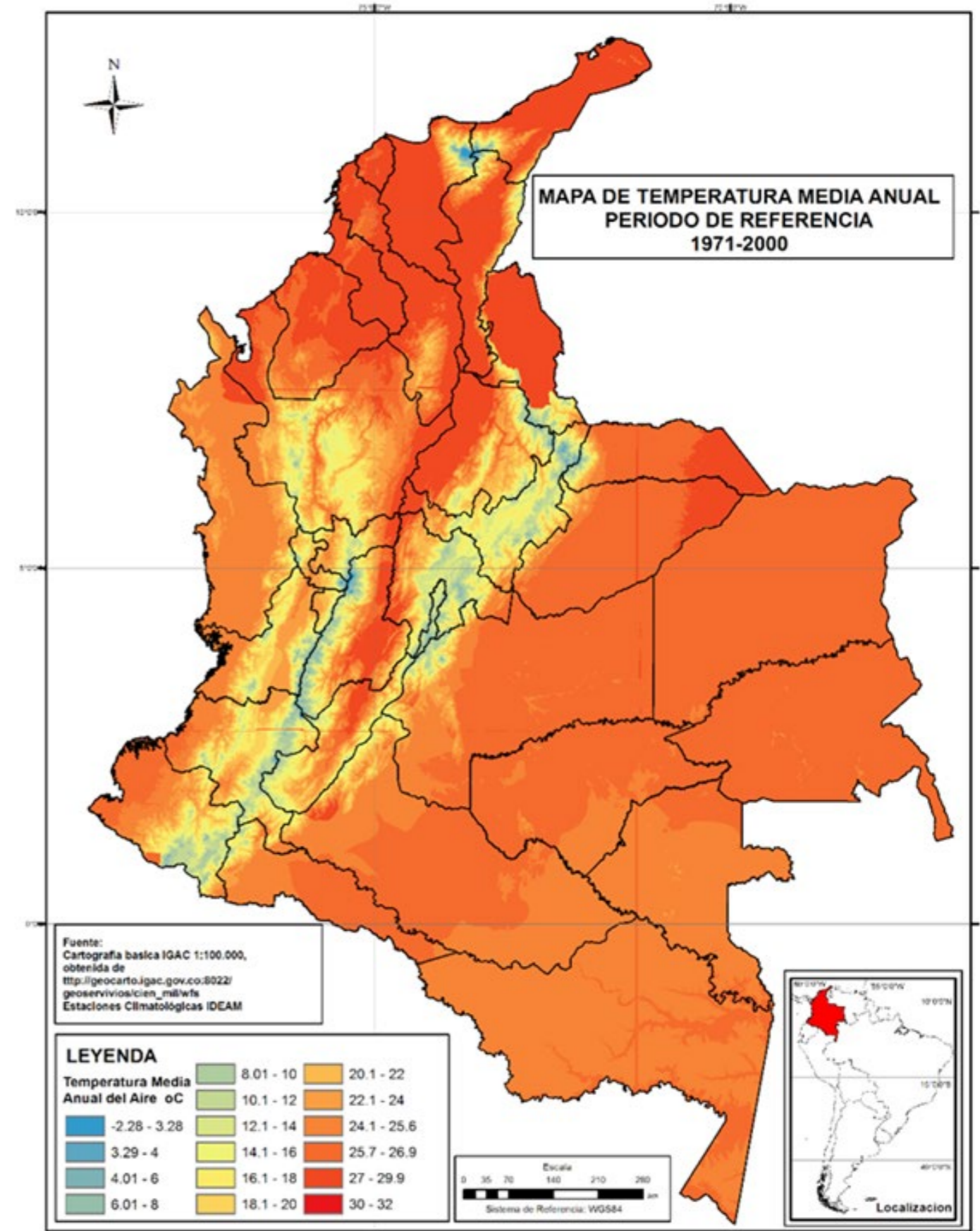


Figura 20. Mapa de temperatura media anual del aire, periodo de referencia 1971-2000 (Tomado de Alarcón-Hincapié, 2017)

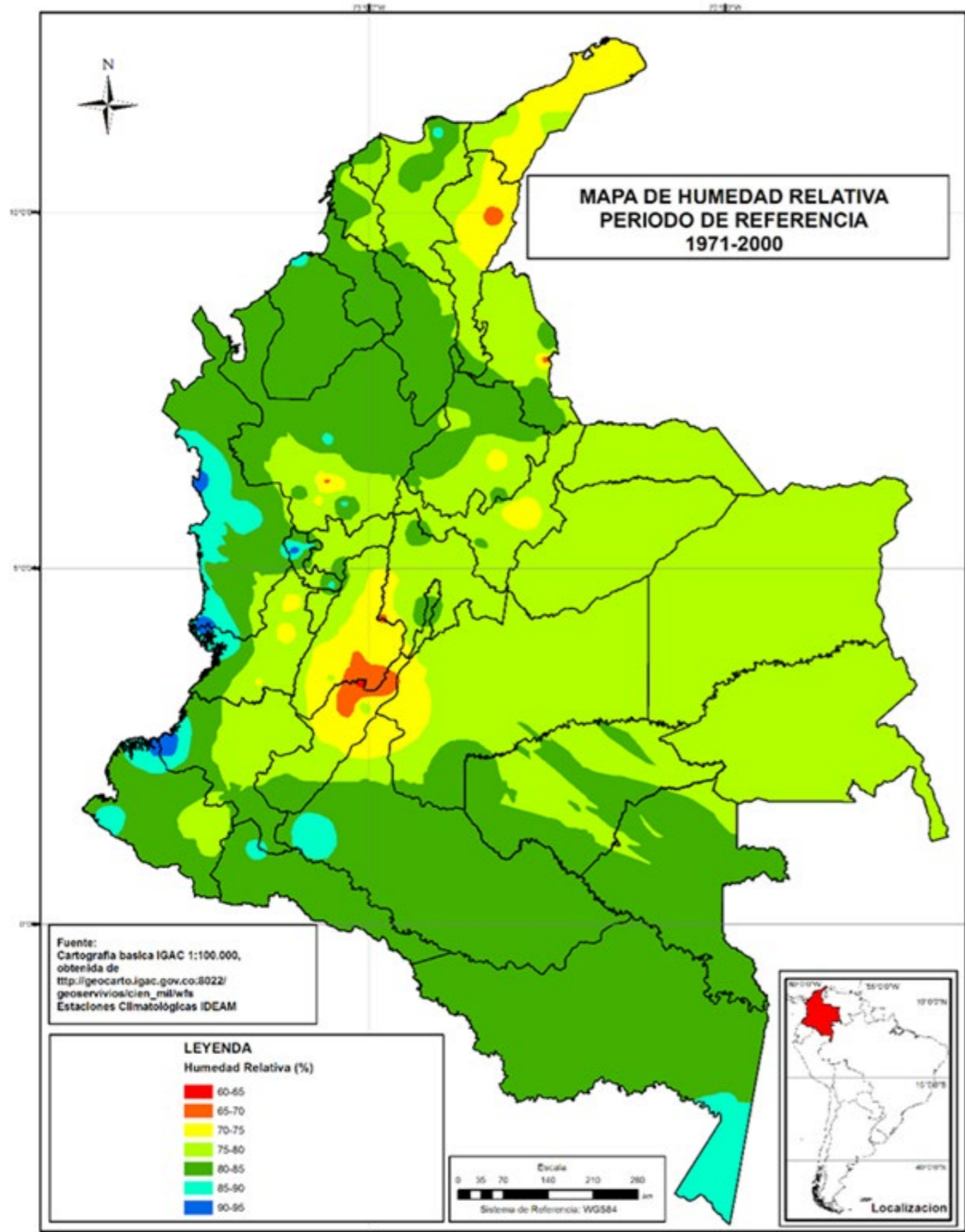


Figura 21. Mapa de humedad relativa del aire, periodo de referencia 1971-2000. (Tomado de Alarcón-Hincapié, 2017)

sectores pequeños de los departamentos del Valle, Huila, Santander y Norte de Santander. La región con menor precipitación es península de La Guajira, con precipitaciones entre 500 y 1000 milímetros anuales, pero en el extremo norte se presentan volúmenes anuales menores de 500 milímetros.

El comportamiento de la precipitación a través del año en diferentes regiones del país, en la Figura 23 se presenta con los histogramas en puntos representativos de diferentes regiones. En esa figura

es posible constatar que en el país hay tres regimenes en el ciclo anual de la precipitación: monomodal en la parte oriental, bimodal en las regiones Andina y Caribe y cuasimonomodal (o cuasibimodal) en la región Caribe.

En la parte oriental, en la Orinoquia colombiana, las lluvias son abundantes a mediados de año y solo se presenta un máximo. En la región Andina y Pacífica, hay dos temporadas de abundantes lluvias (una en marzo-mayo otra en septiembre-noviembre) y dos períodos secos; este

régimen bimodal se produce por el efecto del paso de la ZCIT de sur a norte en el primer semestre y de norte a sur en el segundo semestre.

En la región Caribe se presenta un máximo a mediados de año, luego disminuyen ligeramente las lluvias en julio-agosto para dar paso a un período de mayores precipitaciones en septiembre octubre. El primer máximo se asocia con la ZCIT y el segundo con la acción de las ondas del Este y de los ciclones tropicales que están muy activos en esta época del año.

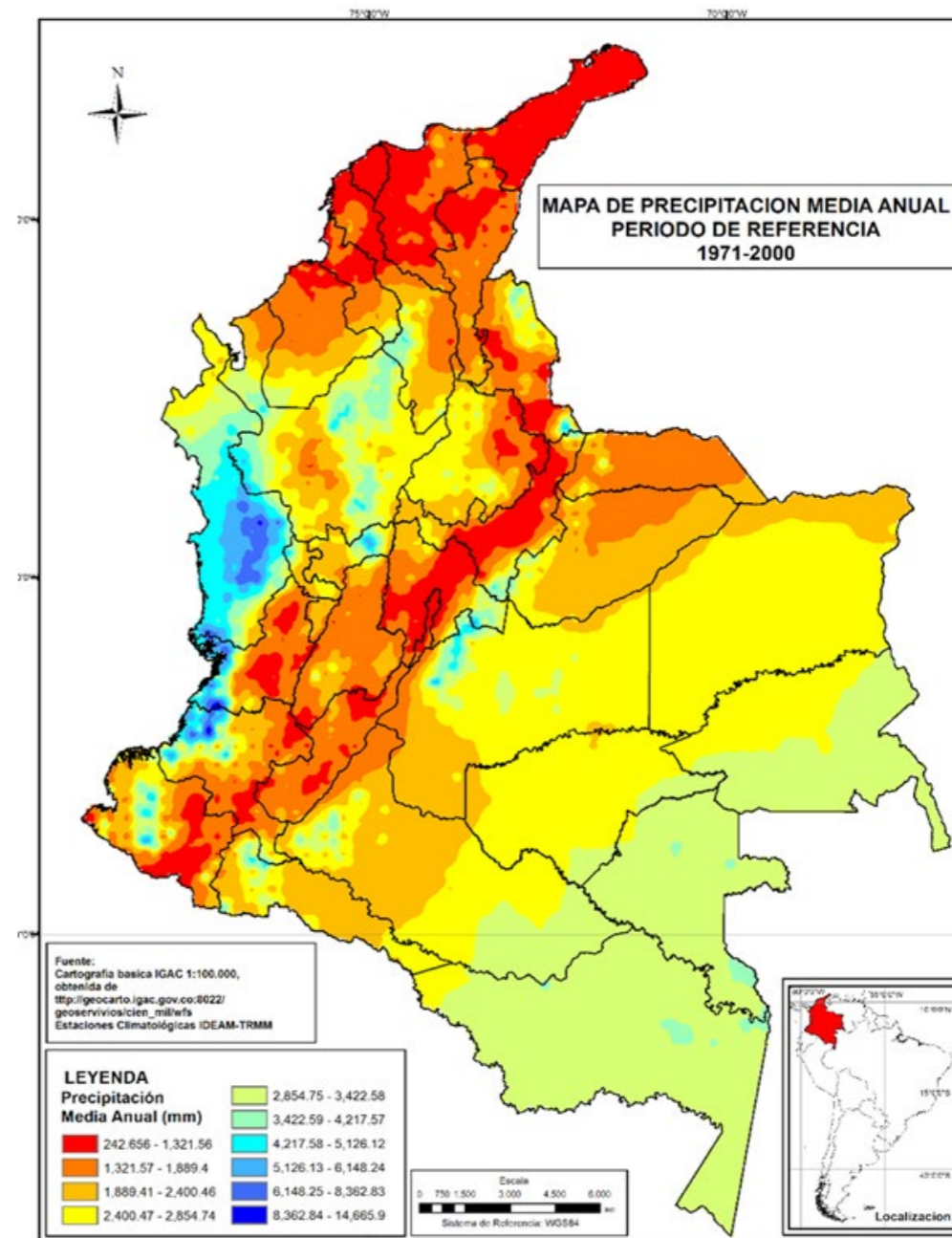


Figura 22 Mapa de precipitación media anual, periodo de referencia 1971-2000 (Tomado de Alarcón-Hincapié, 2017)

# 5 LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN COLOMBIA

Dada la ubicación del territorio colombiano en la zona tropical, la variable climatológica en la que se expresa mayormente la variabilidad climática es la precipitación; razón por la cual en la presente publicación se toma esta para visibilizar la variabilidad climática observada en diferentes regiones del país.

Para el efecto, se desestacionalizan (filtrar la estacionalidad<sup>1</sup>) las series de datos de precipitación mensual generando el índice: x

$$IP_{i,j} = \frac{P_{i,j} - \bar{P}_j}{\bar{P}_j} \quad (2)$$

Donde:  $IP_{i,j}$  - Índice estandarizado de precipitación en el mes  $j$  del año  $i$ ;  $P_{i,j}$  - Precipitación en el mes  $j$  del año  $i$ ;  $\bar{P}_j$  - Promedio multianual de la precipitación del mes  $j$ . Así, se obtuvieron nuevas series de índices de precipitación que consideran situaciones con lluvias por encima de la norma (valores positivos) o por debajo de la norma (valores negativos).

En la Figura 24 se presentan las series para algunas estaciones climatológicas representativas de regiones de Colombia con las cuales es posible apreciar la expresión de la variabilidad climática.

En las regiones presentadas como ejemplo en la Figura 24, se registran fluctuaciones de alta frecuencia (líneas en azul) y ciclos de varios años (línea en rojo) los que corresponden a diferentes escalas temporales de dicha variabilidad. Para identificar que ciclos pueden haber en esas series se aplica el análisis espectral a cada una de ellas. La Figura 25 resume el espectro para las series del índice de precipitación de diferentes

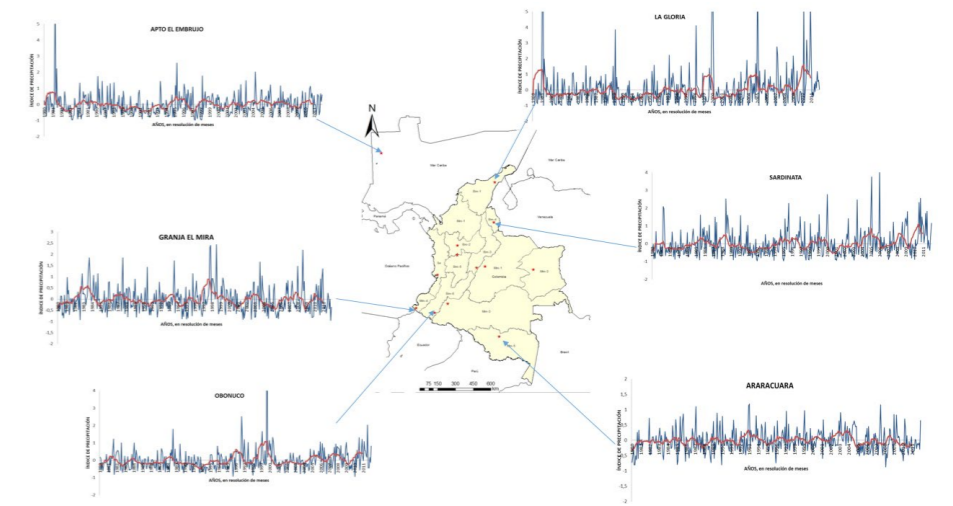


Figura 24. Variabilidad del índice de precipitación en diferentes regiones del territorio colombiano



Figura 25. Análisis espectral de las series de índice de precipitación

regiones. En el comportamiento de la precipitación se detectan entonces ciclos interanuales (de 4.6-5 años y de 2.5 años) e intraestacionales (de un par de meses); vislumbrando adicionalmente un ciclo interdecadal (un máximo que

podría aparecer más allá de los 10 años) en la misma figura. Las series podrían descomponerse por las señales más destacadas del espectro y visualizarse como en la Figura 26.

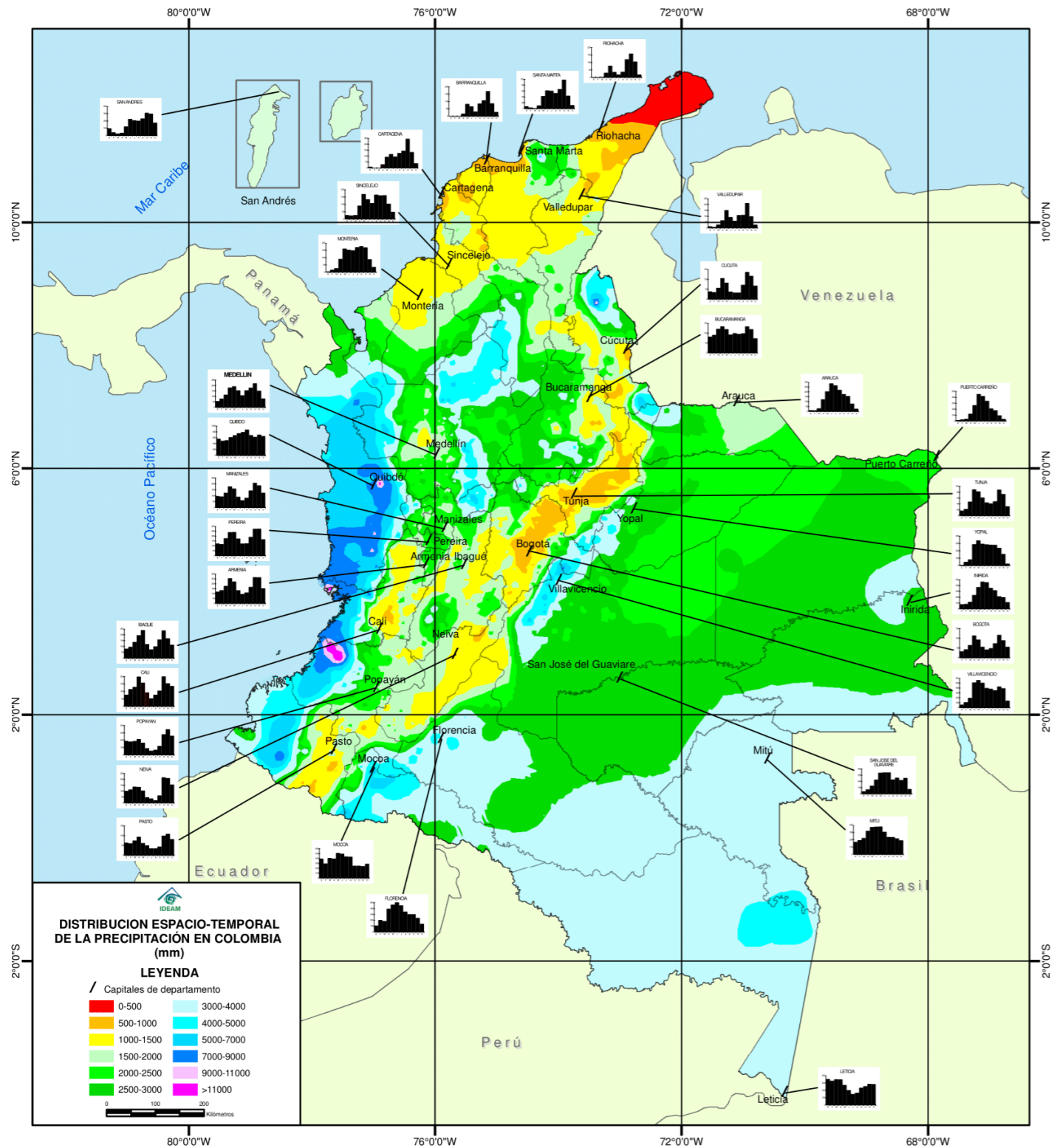
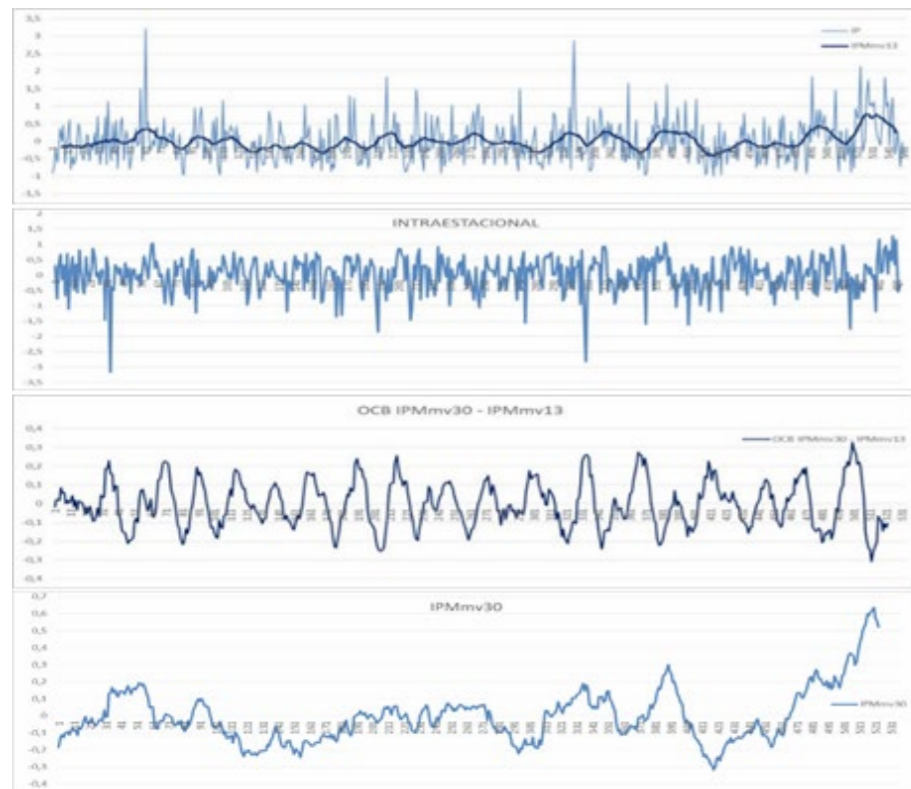


Figura 23. Comportamiento de la precipitación durante el año en diferentes regiones del territorio colombiano (Fuente de Datos: IDEAM, 2005)

<sup>1</sup> La estacionalidad es un patrón, el ciclo anual (en este caso de la precipitación). Al analizar la variabilidad climática se debe dejar lo que no es normal o las anomalías, por eso se filtra (o se quita) la estacionalidad o se desestacionaliza.



**Figura 26.** Series para cada una de las señales de la variabilidad del IP: serie original en resolución mensual y IPMmv13 (arriba), intraestacional (en el medio superior), cuasibienal (medio inferior), IPMmv30 (inferior).

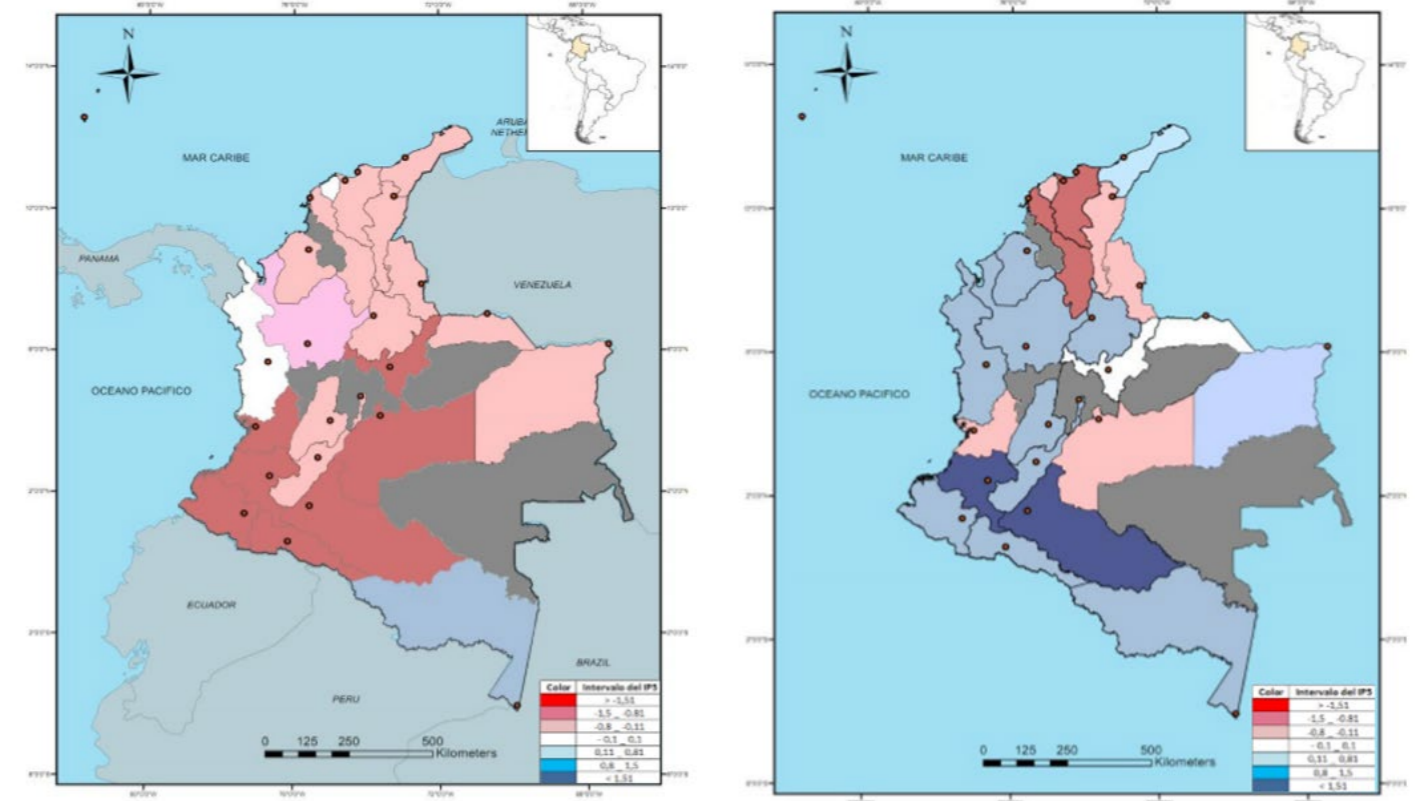
Los ciclos anteriormente expuestos, han sido estudiados por diversos investigadores en el país, en búsqueda de posibilidades de predicción climática.

## 5.1. SOBRE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA INTRAESTACIONAL EN COLOMBIA

La variabilidad climática intraestacional ha sido abordada para diferentes partes del mundo (Lau & Waliser, 2012; Zhang, 2013) y para América del Sur (Paegle et al., 2000; Carvalho & Jones, 2004; Martin & Schumacher 2012; Álvarez et al., 2015). Para el territorio colombiano, según Pabón (2011-a), las fases extremas de las fluctuaciones intraestacionales modulan la intensidad y frecuencia de eventos extremos (como lluvias torrenciales, desbordamientos) en la estación lluviosa o la agudización/ suavización transitoria de fenómenos hidroclimáticos como sequías/inundaciones, situaciones que generan impactos socioeconómicos considerables al país.

**Tabla 2.** Anomalías generadas en diferentes períodos del año por las fases 1 y 8 de la Oscilación Madden-Julian, identificada según RMM index, sobre el nor-occidente de Sudamérica (Torres-Pineda & Pabón-Caicedo (2017) con información extractada para la región a partir de los mapas de Álvarez et al., 2015)

	DEF	MAM	JJA	SON
Anomalía de altura de geopotencial	No marcadas	No marcadas	No marcadas	No marcadas
Anomalías de velocidad potencial	Negativas	Negativas	Negativas	Negativas
Anomalías de temperatura del aire en superficie	Negativas (hasta de -0,2°C) en el sector occidental (Pacífico colombiano), más marcado (hasta 0,4°C) en el norte; positivas (0,2°C) en el sector sur y suroriental, más marcadas (0,4°C) en la Amazonia; cercano a lo normal sobre la Orinoquía, nororiental y Caribe	En el suroccidente del Caribe negativas muy marcadas (hasta -0,5°C); en la parte andina negativas (-0,2°C); sobre la Orinoquía positivas (0,2°C), pero muy altas (hasta 0,5°C) sobre la Amazonia Perú-Ecuador-Colombia.	Pacífico colombiano de ligeras anomalías a -0,2°C; sobre el Caribe anomalías negativas de hasta -0,4°C; Amazonia, positivas con el núcleo de hasta 0,4°C; resto del país sin anomalías	Anomalías de -0,3°C a 0,4°C sobre Caribe y Pacífico; región Andina, Orinoquía y noroccidente de la Amazonia con -0,3; suroriental de la Amazonia con 0,3°C
Anomalías de precipitación (la probabilidad de que el acumulado semanal exceda el tercer tercil)	Excesos en el sur y centro (Eje Cafetero) de la región Andina y en el sector central (Valle del Cauca) de la región Pacífica	Alta probabilidad de exceso sobre Nariño y Cauca; probabilidad de exceder en el Pacífico, Eje Cafetero, montaña antioqueña, centro de la región-litoral Caribe y sobre el Archipiélago de San Andrés y Providencia	Incremento marcado (especialmente bajo fase 1) de la probabilidad de exceder el tercer tercil sobre toda la región Andina y Caribe, incluido el Archipiélago de San Andrés y Providencia	Alta probabilidad de exceder el tercer tercil en el sur de la región Pacífica, región Andina y Caribe. Muy alta sobre Antioquia y litoral Caribe central bajo la fase 8.



**Figura 27.** Respuesta de la precipitación en diferentes regiones del territorio colombiano cuando la fase máxima (izquierda) o mínima (derecha) del IMJ está en 120° W. (Los colores rojo y rosado señalan disminución de la precipitación; los tonos de azul - aumento; el gris señala las regiones donde la señal no es clara hacia aumento o disminución) (Tomado de Torres-Pineda & Pabón-Caicedo, 2017).

En Colombia las oscilaciones intra-estacionales han sido el objeto de estudio de Poveda et al. (2002), Pabón & Dorado (2008), Torres-Pineda (2012), Yepes & Poveda (2013), Torres-Pineda & Pabón-Caicedo (2017). En síntesis, se han detectado oscilaciones de la precipitación en la escala intermensual (mes a mes) que señalan que la variabilidad intraestacional tiene una fuerte relación con las ondas Madden-Julian, pero no es el único factor y ha quedado pendiente por establecer la causa de una señal de 20-25 días en la precipitación; no obstante, se ha avanzado en el establecimiento de la respuesta de la precipitación de algunas regiones del territorio colombiano a los extremos del índice de Madden-Julian (Torres-Pineda & Pabón-Caicedo (2017). En la Tabla 2, organizada por Torres-Pineda & Pabón-Caicedo (2017) con base en Álvarez et al., 2015, es posible ver el efecto que tiene la fase convectiva de las ondas de Madden-Julian sobre el norte de Suramérica en donde se localiza Colombia.

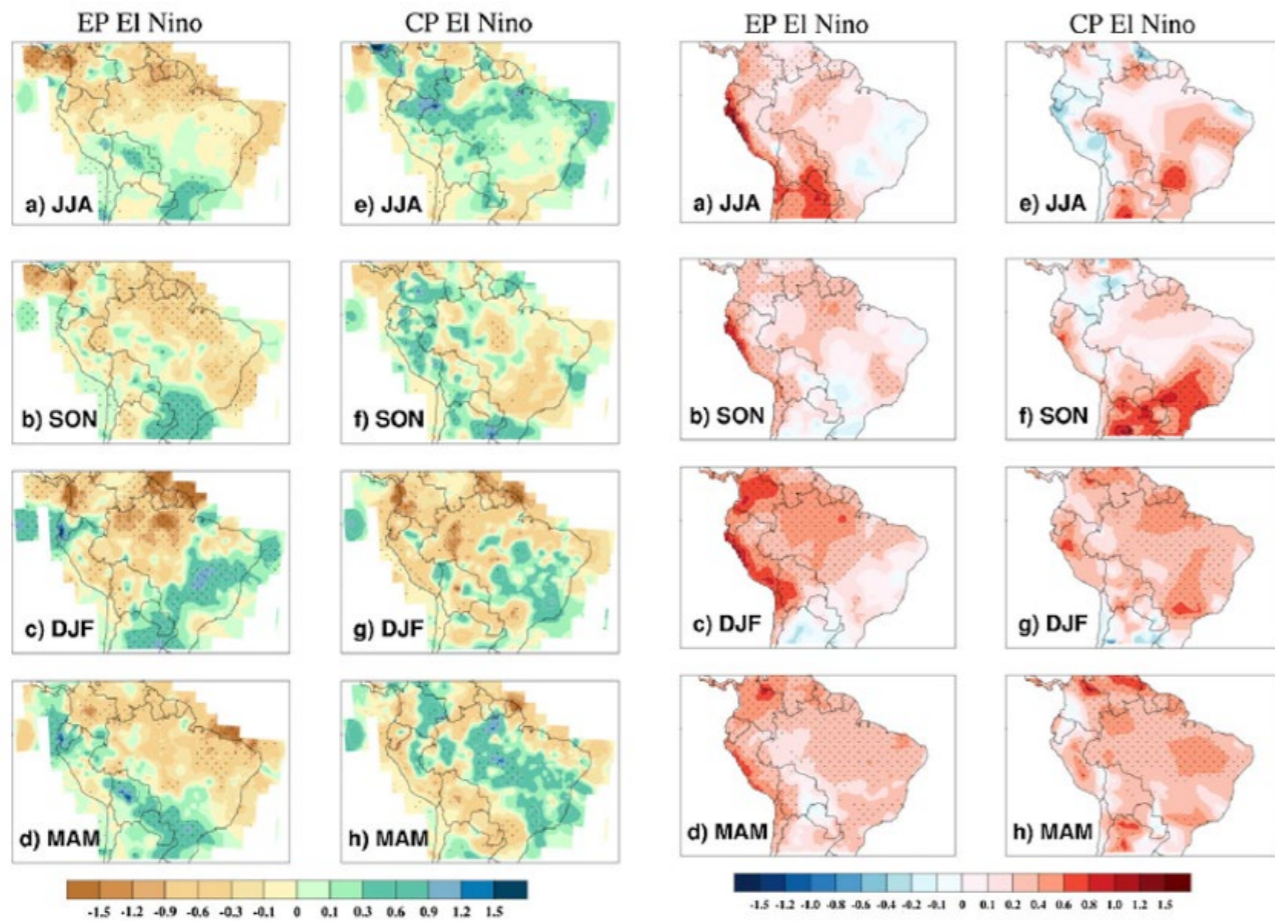
El análisis realizado por Torres-Pineda & Pabón-Caicedo (2017) sobre la respuesta de la precipitación en diferentes regiones del territorio colombiano ante fases extremas de las oscilaciones Madden-Julian (representadas por el IMJ) dio como resultado que bajo extremos positivos de la IMJ (fase positiva o subsidente) se produce disminución de la precipitación pentadal en algunas regiones del país (ver Figura 27, izquierda; con valores extremos negativos de la IMJ (fase negativa o convectiva) ocurre aumento de la precipitación pentadal en varias regiones (Figura 27, derecha). Sin embargo hay regiones en las que no se detecta respuesta a las fases extremas de las oscilaciones de Madden-Julian; para siete de las 24 regiones no se identificó un patrón de respuesta definido.

En el estudio sobre la variabilidad climática realizado por el IDEAM en el año 2017, se exploraron predictores útiles para pronosticar las oscilaciones intraestacionales de la precipitación. Se tomó el índice de

Wheeler-Hendon y el índice de Madden-Julian (IMJ) como los posibles predictores, no obstante no fue posible identificar una correlación que permitiera establecer un modelo de relación lo suficientemente robusto, aunque se estableció que para el efecto resultaba más práctico utilizar el IMJ que presenta valores positivos y negativos que se pueden comparar con los valores del índice de precipitación, a diferencia del índice Wheeler-Hendon que tiene solo valores positivos.

## 5.2. LA VARIABILIDAD INTERANUAL ASOCIADA AL CICLO ENOS EN COLOMBIA

En la escala interanual, el ciclo asociado a los fenómenos de El Niño-La Niña-Oscilación del Sur (ENOS) es el que tiene



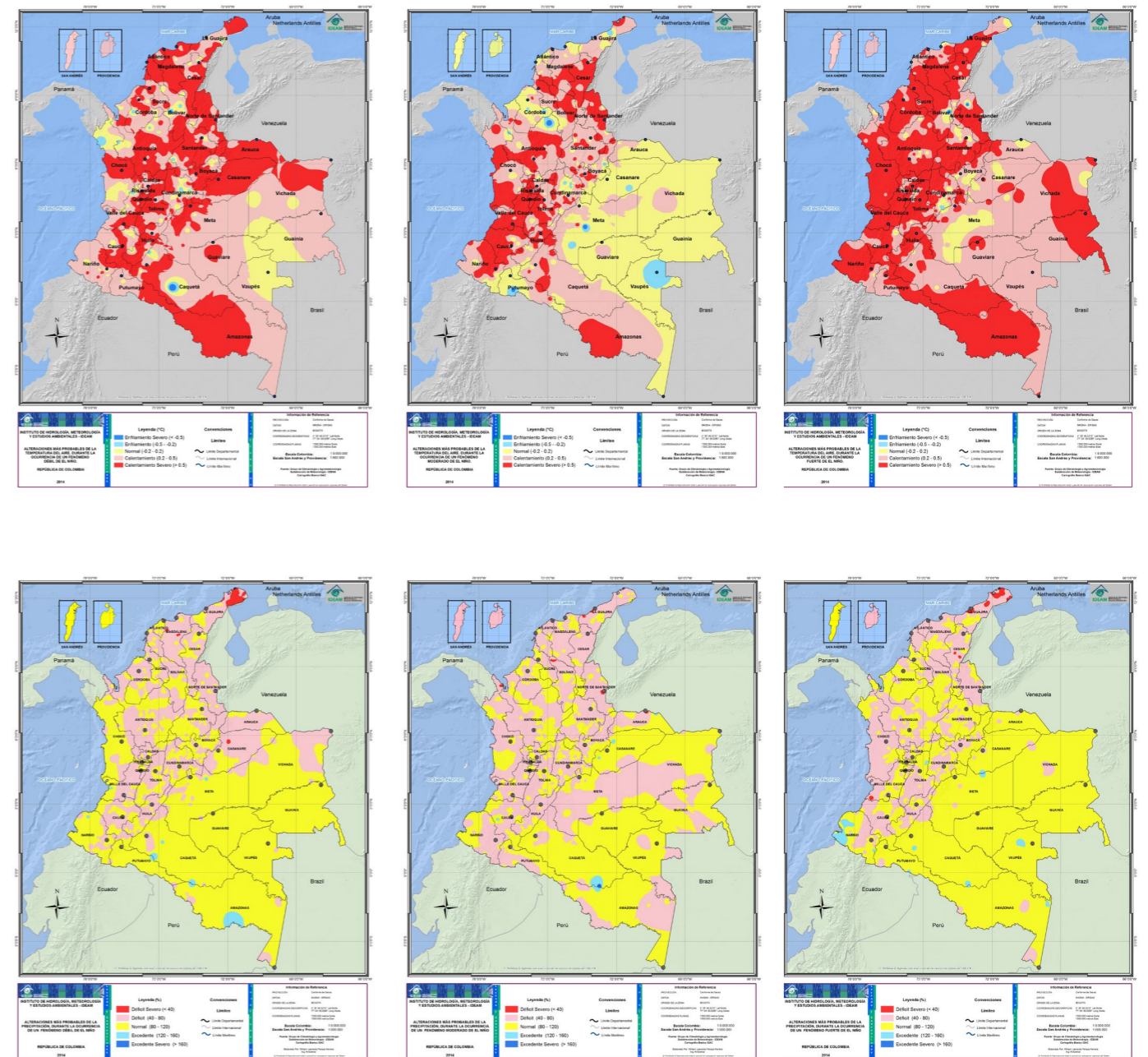
**Figura 28.** Efecto de los dos tipos de El Niño (El Niño del Este del Pacífico - EP El Niño; El Niño del Pacífico Central - CP El Niño o Niño-modoki) sobre la precipitación trimestral (izquierda) y temperatura media trimestral del aire en gran parte de América del Sur. (Tomado de Li et al., 2011)

el más marcado efecto sobre el clima de diferentes regiones del planeta (Hidore et al., 2009; Rohli & Vega, 2012) y particularmente sobre la precipitación (Ropelewski & Halpert, 1987). En América del Sur, el ciclo ENOS tiene efectos diferenciados espacialmente en el clima (Enfield, 1996; Grimm & Tedeschi, 2009; Li et al., 2011). La Figura 28, tomada de Li et al. (2011) muestra la diferencia del efecto de los dos tipos de fenómenos de El Niño (del Pacífico Central o Niño-modoki y del Pacífico oriental) en la precipitación y temperatura de América del Sur. Para el sector noroeste donde se localiza el territorio colombiano este efecto ha sido estudiado por Pabón & Montealegre (1992), Poveda & Montealegre (1992), Poveda (2004) y otros, conocimiento que ha sido resumido en IDEAM-DPAD (2002), Poveda (2004). Para la Sabana de Bogotá, la variabilidad

climática interanual asociada a ENOS ha sido abordada por Pabón & Torres (2006), Pabón & Torres (2007), Pabón (2011-b), Serna-Cuenca (2013) y Montealegre (2014), entre otros.

Según lo establecido hasta ahora (Montealegre, 2009; Guzmán et al., 2014; Montealegre, 2014), bajo condiciones de fenómeno de El Niño, se presenta déficit de precipitación las regiones Caribe, Andina centro y norte de la región Pacífica, en la Orinoquía y Amazonía, excepto en los piedemontes amazónico y llanero en los que se pueden presentar exceso; bajo la influencia del fenómeno de La Niña la respuesta es inversa: abundantes precipitaciones en gran parte del país, excepto en los piedemontes. En las Figuras 29 y 30 se presenta los resultados más recientes (Montealegre, 2014) relacionados

con la distribución de las anomalías de temperatura del aire y de precipitación sobre el territorio colombiano debidas al efecto de los fenómenos de El Niño (Figura 29) y de La Niña (Figura 30). También se ha avanzado en el análisis del efecto de los fenómenos de El Niño y de La Niña en las diferentes épocas del año (Montealegre, 2009; Guzmán et al., 2014), lo que ha permitido identificar que el primer y último trimestre del año son los más marcados por la influencia de los dos fenómenos. En términos generales, el ciclo ENOS ha sido explorado ampliamente para el territorio colombiano y se han identificado patrones de respuesta de la precipitación de diferentes regiones del país ante las fases extremas de tal ciclo: los fenómenos de El Niño y de La Niña. Sobre la base de este conocimiento se realiza la predicción climática operativa estacional en Colombia.



**Figura 29.** Distribución de las anomalías de temperatura del aire (arriba) y de precipitación (abajo) en Colombia, generadas por el fenómeno de El Niño débil (izquierda), moderado (centro) y fuerte (derecha) (Tomado de Montealegre, 2014)



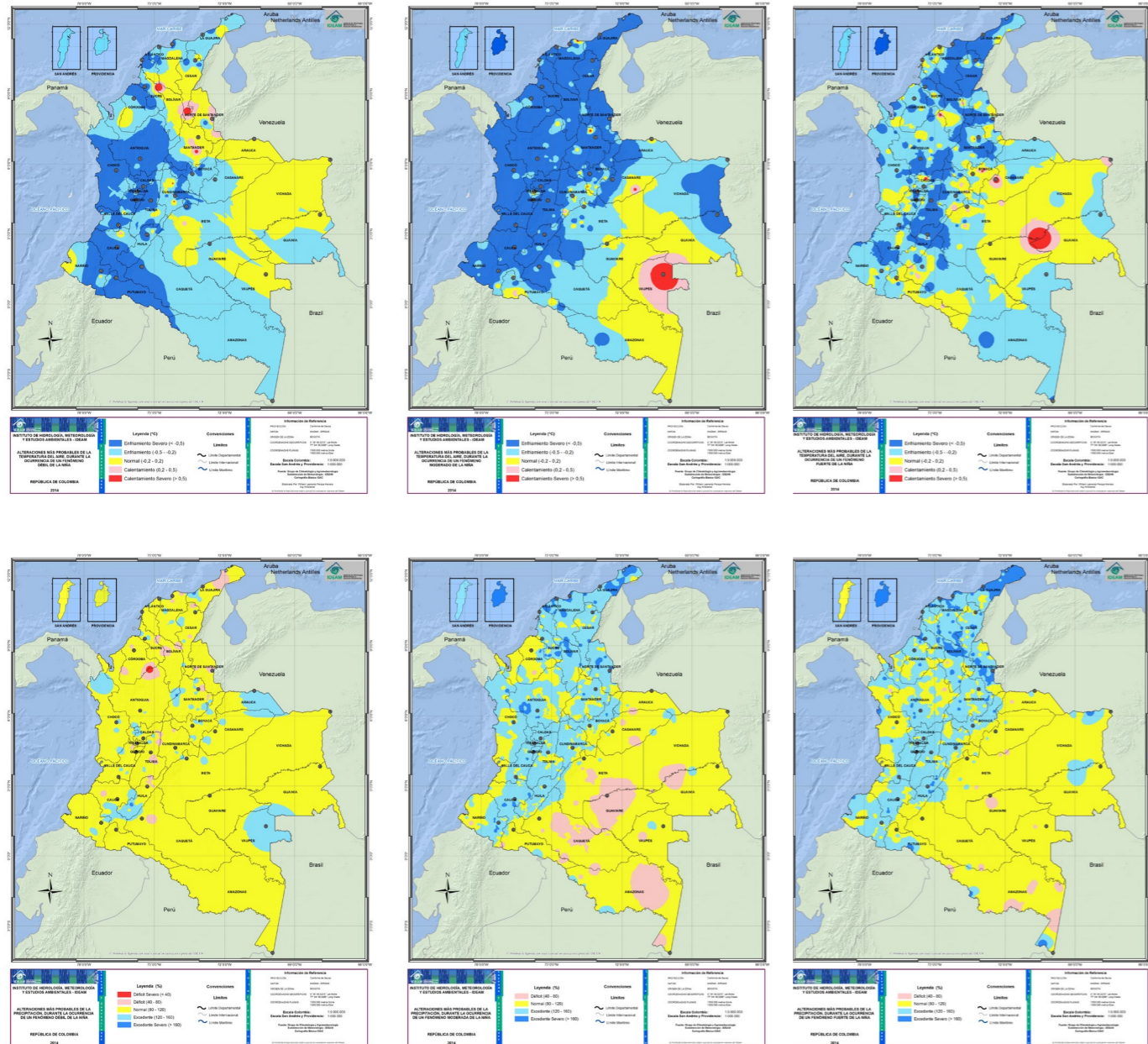


Figura 30. Distribución de las anomalías de temperatura del aire (arriba) y de precipitación (abajo) en Colombia, generadas por el fenómeno de La Niña débil (izquierda), moderado (centro) y fuerte (derecha) (Tomado de Montealegre, 2014)

No obstante, aún se requiere mejorar en aspectos como la predicción de las anomalías de temperatura de la superficie del mar para anticiparse al advenimiento de alguno de los dos fenómenos extremos, la espacialidad de la respuesta del clima regional a diferentes configuraciones espaciales de las anomalías de la superficie del mar del Pacífico tropical, disponer de elementos autónomos para definir

situación Niño o Niña y no depender de los criterios utilizados por la NOAA basados únicamente en ONI, etc. Pabón & Martínez (2016) señalan que es aún necesario comprender mejor la dinámica oceánico-atmosférica del Pacífico Oriental (Sectores Niño 1+2 y la mitad oriental de Niño-3, así como el Pacífico nor-oriental). La predicción del advenimiento de los fenómenos de El Niño o de La Niña ha

avanzado (además de la predicción operacional de la NOAA de Estados Unidos de América, del IRI de la University of Columbia y del BoM de Australia se puede mencionar los logros de Ludescher et al., 2013, 2014), sin embargo en ocasiones falla en la medida como los procesos no ocurren tan ceñidos al modelo canónico de inicio y desarrollo de los fenómenos de El Niño o de La Niña; sin duda la clasificación

actual de Niño de Pacífico Este (anomalías en Niño 3) y del Pacífico Central o Niño-modoki, aún no capta la diversidad de la configuración espacial de las anomalías del Pacífico tropical (Takahashi et al., 2011; Takahashi & Dewitte, 2015). De igual manera el seguimiento y predicción con solo un indicador del Pacífico central (el ONI que es en el sector Niño 3.4), definitivamente deja por fuera otras expresiones de los fenómenos de El Niño o de La Niña como el denominado Niño costero o el desplazamiento de ondas Kelvin oceánica por el canal subtropical 10-20°S (caso de 1997-1998, 2014-2015 y 2015-2016), no por la franja ecuatorial de 5°S-5°N, o la localización de las anomalías del 2015-2016 un tanto al norte del Ecuador. Es necesario avanzar en la comprensión de tal diversidad y particularmente de los procesos que ocurren en el Pacífico oriental.

Para mejorar la predicción climática para el territorio colombiano, se requiere no solo comprender la respuesta de la temperatura media del aire y de la precipitación mensual a las diversas configuraciones

espaciales de las anomalías del Pacífico tropical, sino también conocer el efecto de otros forzantes de variabilidad climática. Se han realizado esfuerzos para dar respuesta a los cuestionamientos actuales en este campo (Serna-Cuenca, 2013; Guzmán et al., 2013; Sánchez & Corredor, 2014; Córdoba et al., 2015), pero aún se debe avanzar no solo en el establecimiento de relaciones entre posible predictores con la precipitación y la temperatura, sino también en la construcción de esquemas de predicción climática.

### 5.3. EL CICLO CUASIBIENAL EN LA PRECIPITACIÓN SOBRE EL TERRITORIO COLOMBIANO

En la escala interanual de la variabilidad climática se ha identificado un componente

cuasibienal en diversas regiones del mundo (Gray, 1984; Lau & Sheu, 1988; Brázdil & Zolotokrylin, 1995; Amador y Alfaro, 1996), señal que se ha relacionado por la mayor parte de los autores, con la oscilación cuasibienal del viento zonal de la estratosfera inferior que se describe por Baldwin et al. (2001). Para Colombia, esta señal se ha evidenciado en la precipitación (Pabón, 1996; Poveda, 2004; Pabón, 2008) y se han observado importantes relaciones entre la QBO y la precipitación en diferentes regiones del país (ver Tabla 3), pero los esquemas de predicción climática no la consideran, generalmente argumentando que la magnitud de su efecto es mínima. No obstante, la coincidencia de fases de esta señal con la de otro ciclo puede intensificar o suavizar la señal de este último y conducir a anomalías climáticas bastante notorias; también, en fases neutras de otros ciclos, la QBO puede ser la determinante de las oscilaciones en diferentes variables climatológicas regionales.

Tabla 3. Coeficientes de correlación entre el índice QBO (anomalía estandarizada del viento zonal) sobre los 30 y 50 hPa y un índice de precipitación de diferentes regiones de Colombia (Pabón, 2008)

CÓDIGO	ESTACIÓN	CORRELACIÓN QBO30 - Índice de precipitación												CORRELACIÓN QBO50 - Índice de precipitación													
		REGIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	REGIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1701501	Isla Sn Andrés	1	-0,1	-0,2	0,0	0,2	0,1	0,0	-0,4	0,1	0,0	0,2	-0,3	-0,1	1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	-0,1	-0,2	0,3	-0,2	0,0	-0,2	0,0
1507503	Manaure	2	-0,5	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,0	0,3	-0,4	0,2	-0,1	-0,4	2	0,3	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,3	-0,4	0,2	0,1	0,3	-0,3
1501505	Sta Marta	3	-0,1	0,2	0,0	-0,3	-0,1	0,3	-0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	3	-0,3	0,2	-0,2	-0,3	-0,2	0,3	-0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,0
1401502	Cartagena	4	0,0	0,2	0,2	0,2	-0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	4	-0,1	0,3	-0,3	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,1	-0,1	-0,1
2502508	Corozal	5	-0,1	-0,4	0,0	-0,2	0,3	-0,1	-0,3	-0,2	-0,1	-0,4	-0,2	0,4	5	-0,1	0,0	0,1	-0,3	0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,2	-0,3	-0,2	0,3
1307503	Turipana	6	0,0	-0,1	0,0	-0,2	0,1	0,4	-0,3	-0,1	0,5	-0,2	-0,1	0,2	6	-0,2	0,1	0,0	-0,2	-0,1	0,1	-0,3	-0,2	0,3	-0,2	0,0	0,2
1104501	Quibdó	7	-0,5	-0,1	0,1	0,3	-0,2	-0,1	-0,4	-0,1	0,1	-0,3	0,1	-0,3	7	-0,4	-0,2	0,1	0,0	0,1	-0,3	-0,4	-0,1	0,1	-0,5	0,0	-0,2
5205501	Ipiales	8	-0,3	0,0	0,3	-0,1	0,2	0,3	-0,1	-0,5	-0,1	-0,2	0,0	0,4	8	-0,4	0,1	0,3	-0,3	-0,1	0,3	0,1	-0,4	0,1	0,1	0,0	0,3
5204501	Pasto	9	-0,3	-0,2	0,2	-0,1	0,1	0,4	-0,1	-0,2	0,2	0,3	0,1	0,0	9	-0,3	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	0,4	0,0	-0,4	0,2	0,2	-0,1	-0,1
5201502	El Bordo (Patia)	10	-0,4	0,0	0,4	0,3	-0,3	0,1	0,0	-0,4	0,0	0,1	-0,1	0,3	10	-0,2	-0,2	0,2	0,2	-0,5	0,1	-0,1	-0,4	0,1	0,2	-0,1	0,2
2613504	Pereira	11	-0,4	0,3	0,3	0,5	0,0	0,1	-0,4	-0,2	0,2	0,1	-0,1	0,2	11	-0,3	0,1	0,2	0,4	-0,3	0,0	-0,4	-0,4	0,1	0,2	-0,2	0,0
2701507	Medellín	12	-0,2	-0,1	-0,1	0,3	-0,2	0,0	0,0	0,1	-0,1	-0,2	0,3	0,1	12	-0,4	0,1	0,0	0,1	-0,4	0,0	0,0	-0,2	-0,1	-0,1	0,2	-0,1
2111502	Neiva	13	-0,4	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,3	0,1	-0,3	0,0	-0,2	0,1	0,5	13	-0,6	0,1	0,0	-0,1	-0,3	0,2	-0,1	-0,5	-0,1	-0,1	0,2	0,2
2315503	Barranca	14	-0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	-0,1	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	14	0,0	-0,1	-0,3	0,0	-0,2	0,1	-0,2	-0,1	0,2	0,0	-0,2	-0,1
2120541	Cogua	15	-0,5	0,0	0,2	0,0	0,1	0,3	0,0	0,1	-0,1	0,0	-0,3	-0,2	15	-0,4	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2
2401512	Fuquene	16	-0,2	-0,3	0,4	0,3	0,1	0,1	-0,3	-0,1	0,3	0,0	-0,3	0,0	16	-0,4	-0,4	0,1	0,4	-0,1	0,1	-0,5	-0,2	0,2	0,1	-0,3	-0,1
1601501	Cúcuta	17	0,0	-0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,4	0,3	0,0	0,2	-0,1	0,1	17	-0,1	0,1	-0,1	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	0,2	0,1	0,2	-0,1	0,3
3705501	Arauca	18	-0,1	-0,1	0,1	-0,1	-0,4	0,2	0,1	0,0	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	18	0,0	0,1	0,3	0,3	-0,4	0,2	0,1	-0,3	-0,2	-0,2	0,3	-0,2
3503502	Villavicencio	19	-0,3	-0,1	0,1	0,0	0,3	0,3	0,1	-0,3	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	19	-0,3	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,5	0,2	-0,3	0,0	-0,1	-0,3	-0,1
3401501	Las Gaviotas	20	0,0	-0,1	0,2	0,2	0,1	-0,2	-0,1	0,0	-0,2	0,1	-0,4	-0,1	20	-0,1	-0,3	0,3	0,2	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	0,1	-0,1	-0,3
3512501	Carimagua	21	-0,3	0,1	-0,1	-0,4	0,3	0,4	-0,2	-0,2	0,3	-0,2	-0,1	0,1	21	-0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,0	-0,1	0,2	-0,2	0,2	0,0
4801501	Leticia	22	0,3	0,3	-0,3	0,2	0,0	-0,1	-0,1	0,1	0,1	-0,1	0,3	0,3	22	-0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	-0,2	0,2	0,0	0,1	-0,2	0,4	0,1
3203501	La Macarena	23	0,0	-0,1	0,1	0,0	0,5	-0,1	0,2	-0,3	0,0	-0,2	0,1	0,1	23	0,1	-0,4	-0,1	0,2	0,4	-0,1	0,4	-0,3	-0,2	-0,2	0,1	0,2
4401501	Villagarzón	24	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,1	0,4	-0,2	-0,2	0,2	0,2	-0,1	0,4	24	0,0	0,1	0,2	0,1	-0,1	0,4	-0,2	-0,2	0,3	0,4	0,0	0,5

## 5.4. LA VARIABILIDAD INTERDECADAL DE LA PRECIPITACIÓN EN EL TERRITORIO COLOMBIANO

Los ciclos interdecadales de la variabilidad climática han sido identificados y descritos para diferentes partes del mundo (Anderson & Willebrand, 1996; Navarra, 1999; Purcell & Huddleston, 2016). Para Colombia, las evidencias de ciclos de la escala decadal han sido mostradas por Pabón y Pulido (1998), Poveda (2004), entre otros. Se ha intentado relacionar los ciclos interdecadales de la precipitación de diferentes regiones de Colombia con la PDO (Córdoba-Machado et al., 2015), la AMO y con los ciclos del número de manchas solares (Gonzalez-Lozano, 2016), pero no se ha obtenido una clara conexión (A manera de ilustración, en la Figura 31 se muestra la secuencia de la precipitación anual de la Sabana de Bogotá y la PDO y la AMO). El conocimiento de la variabilidad interdecadal es importante en tanto permite afinar la predicción climática estacional y, además, porque sirve para la planificación de largo plazo. De otra parte, aún en la actualidad, fases crecientes o decrecientes de ciclos de variabilidad climática interdecadal se han presentado como tendencias de largo plazo atribuidas al cambio climático; es necesario establecer mayor claridad sobre el particular para el país.

El espectro de ondas para la serie de precipitación anual del OMN arroja los resultados de la Figura 32. Sobresale del ruido rojo señal ubicada sobre los 12-16 años

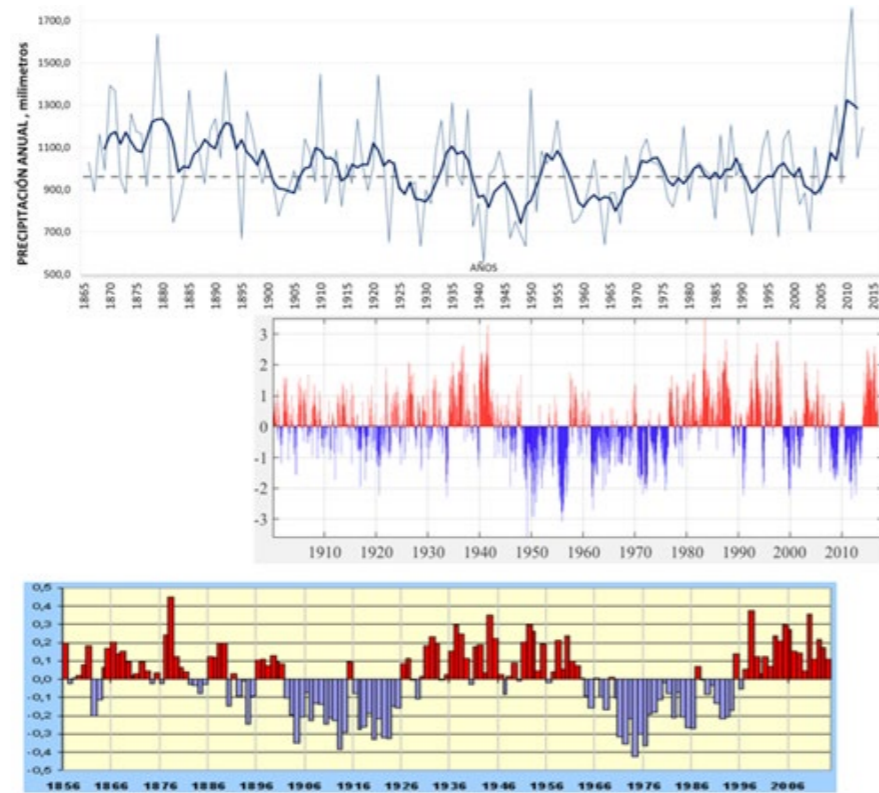


Figura 31. Secuencia de la precipitación anual de la Sabana de Bogotá en el período 1886-2015 (arriba) comparada con la secuencia del Pacific Decadal Oscillation (PDO) Index (centro) y del índice de la Atlantic Multidecadal Oscillation – AMO (abajo).

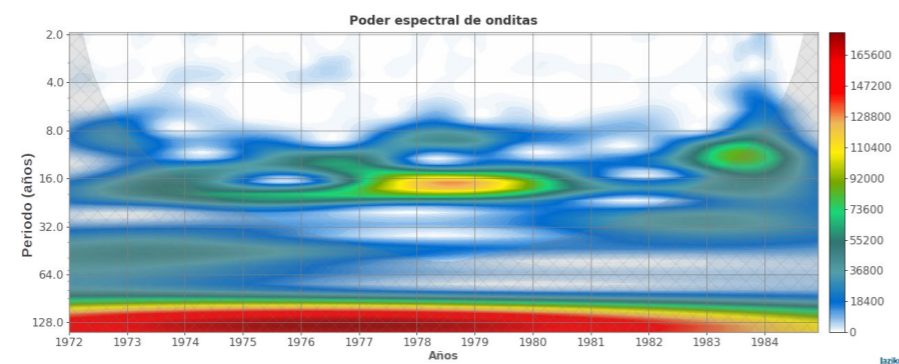


Figura 32. Análisis espectral (espectro de ondas) de la serie suavizada de precipitación de la Sabana de Bogotá (presentada en la Figura 31).

## 5.5. LAS RELACIONES DE LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN DE REGIONES DEL TERRITORIO COLOMBIANO CON DIFERENTES PROCESOS OCEÁNICO-ATMOSFÉRICOS

Se ha explorado la relación de los diferentes ciclos detectados en la variabilidad climática de diferentes regiones y procesos que ocurren en el sistema climático, particularmente en el oceánico y el atmosférico. Así, por ejemplo, la señal de 4-5 años se ha venido asociando con las anomalías del Pacífico tropical y con el Atlántico tropical y sobre la base de ello se han construido herramientas de predicción climática. Las Figuras 33 y 34 muestran el grado de relación entre los procesos del Pacífico tropical central y el norte de Atlántico tropical, respectivamente. En cuanto a la relación de la variabilidad de la precipitación con las anomalías de temperatura de la superficie del mar del Pacífico tropical central es posible ver que no está presente para todas las regiones (Figura 33). Solo en una gran parte de los valles del Magdalena y del Cauca es marcadamente inversa, en tanto que para algunos sectores del piedemonte oriental y de la Orinoquía y Amazonía colombianas es directa. Si bien en la región Caribe el efecto se percibe, no es tan marcado.

La relación entre el sector norte del Atlántico tropical (TNA) y la precipitación de diferentes regiones de Colombia, se resumen en los mapas de distribución de la correlación correspondiente que se presenta en la Figura 34. El efecto del Atlántico tropical es muy localizado en algunos sectores de las regiones Pacífico y Caribe en donde es directa la relación, y en puntos aislados de la parte oriental del país donde la relación es inversa.

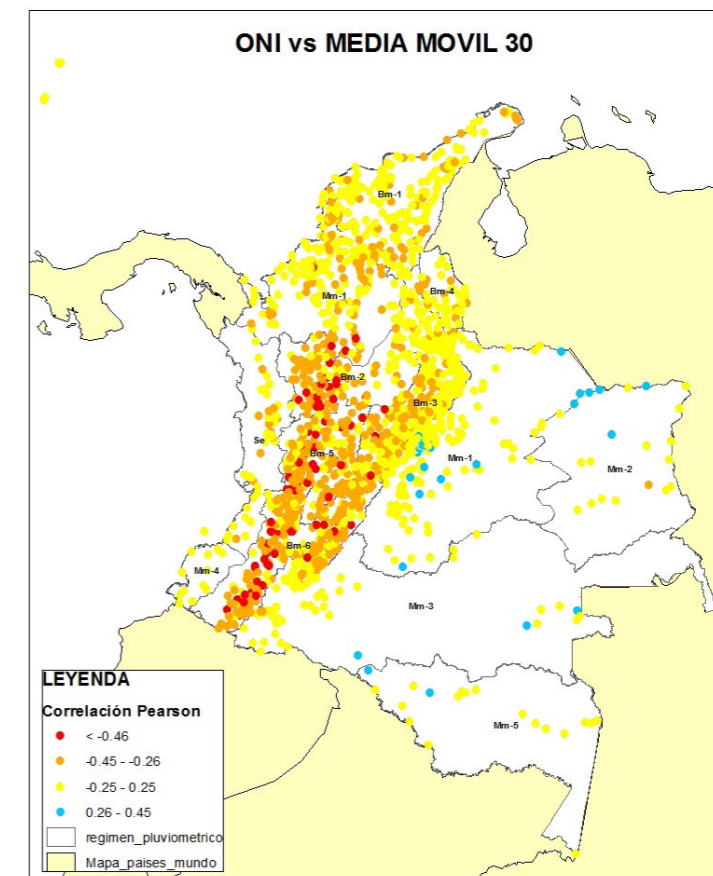
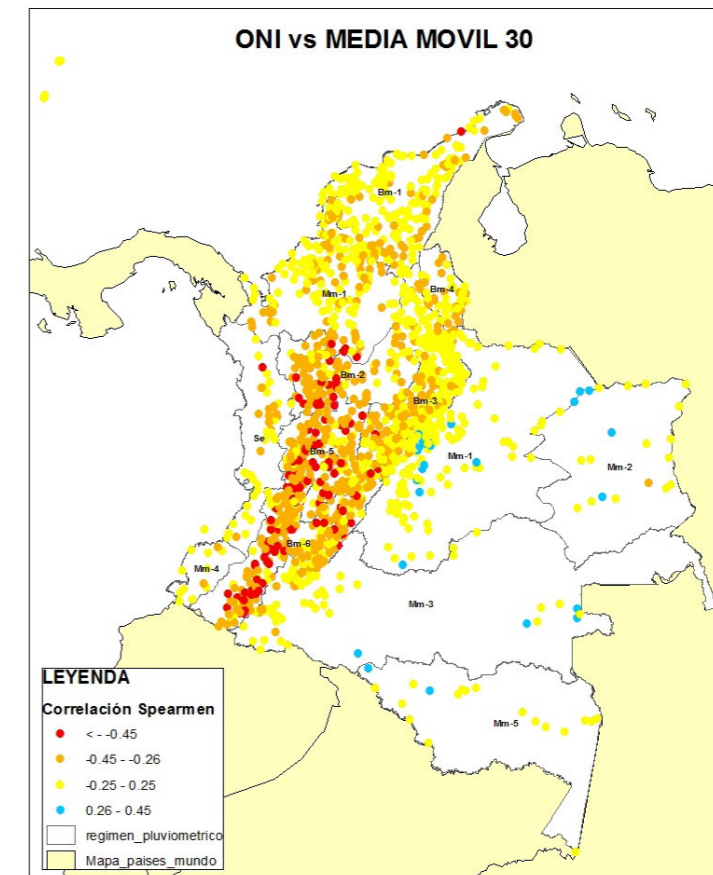


Figura 33. Distribución de los coeficientes de correlación de Spearman (superior) y de Pearson (inferior) entre el Oceanic Niño Index (ONI) y la media móvil de 30 meses del índice de precipitación de diferentes estaciones climatológicas localizadas en territorio colombiano.

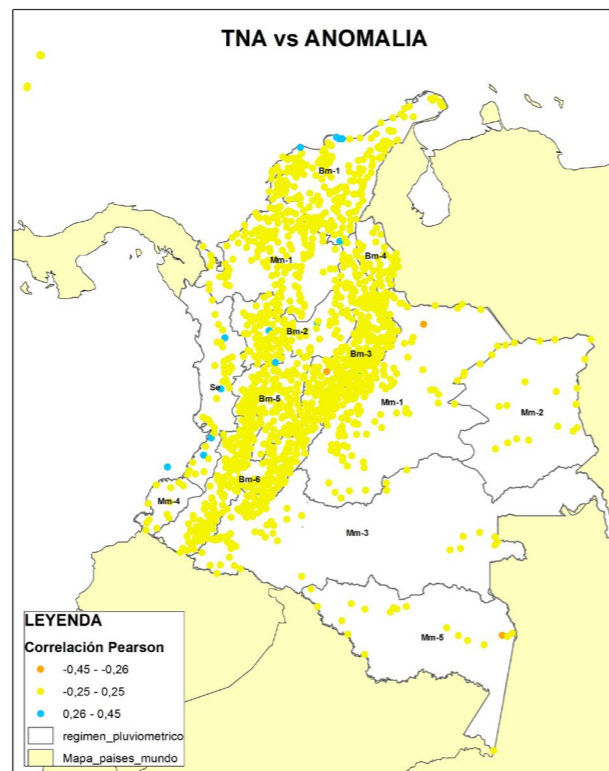
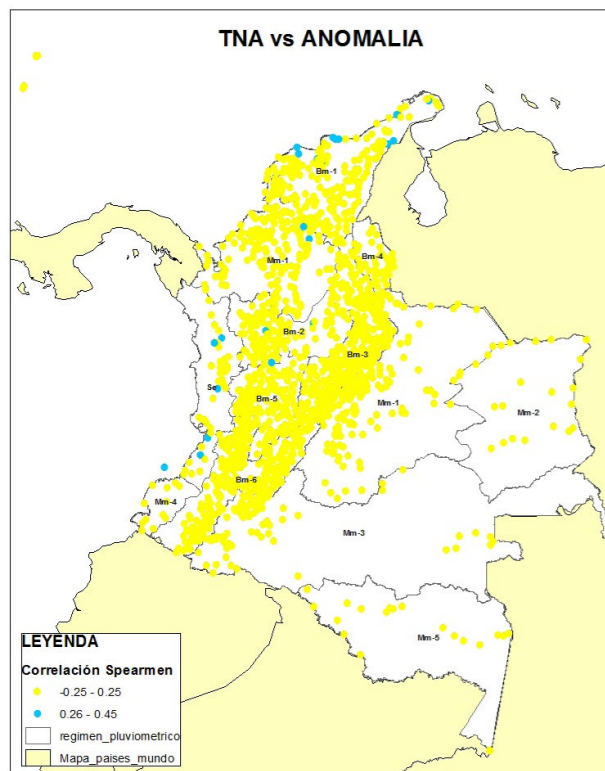


Figura 34. Distribución de los coeficientes de correlación de Spearman (izquierda) y de Pearson (derecha) entre el Tropical North Atlantic (TNA) Index y la media móvil de 30 meses del índice de precipitación de diferentes estaciones climatológicas localizadas en territorio colombiano.

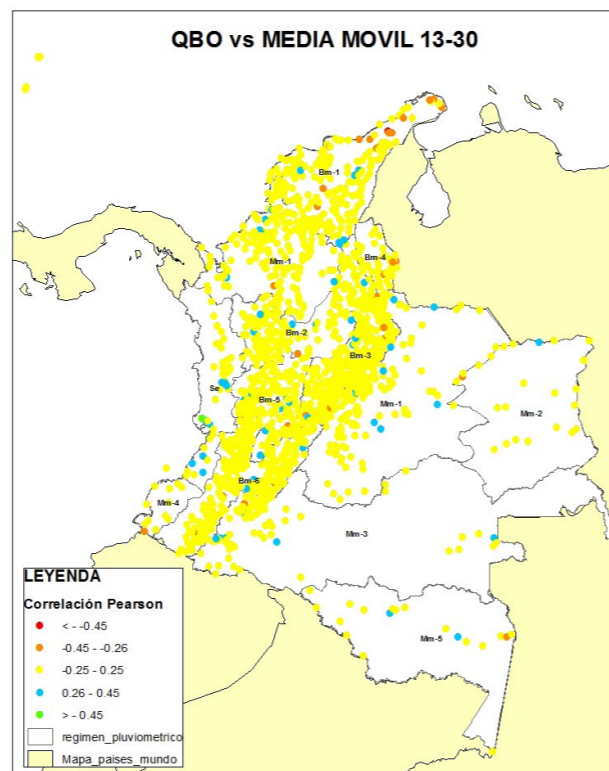
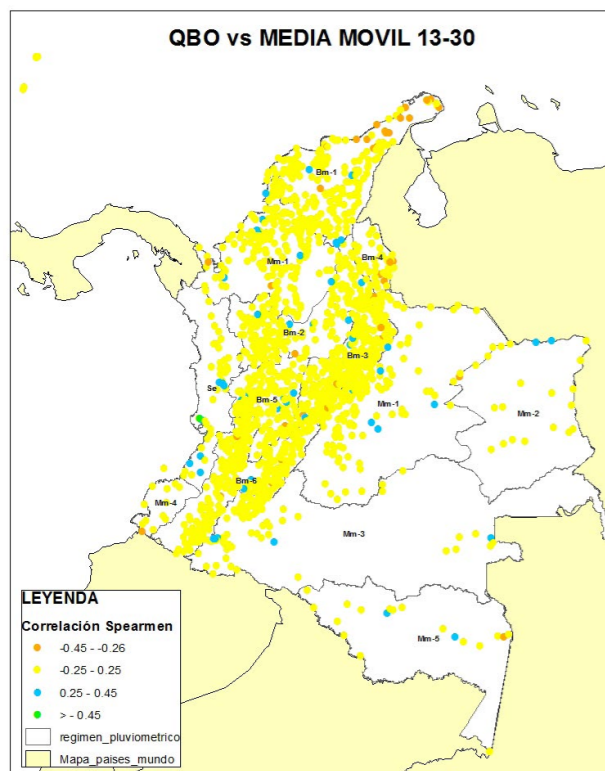


Figura 35. Distribución de los coeficientes de correlación de Spearman (izquierda) y de Pearson (derecha) entre el índice QBO y la serie obtenida de la diferencia entre la media móvil 13 meses y la de 30 meses del índice de precipitación de diferentes estaciones climatológicas localizadas en territorio colombiano.

La Figura 35 muestra el grado de relación entre el fenómeno de la QBO y las oscilaciones cuasibienales de la precipitación. Es posible constatar que

también en este caso el efecto de la QBO en la OCBPr es marcada en puntos aislados, no hay un patrón en el que región u otra se va más influenciada. Hay sectores

en donde tal correlación es marcadamente negativa (puntos color café) o notablemente positiva (puntos en azul y verde)

## 6 EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

En el tema del cambio climático es necesario identificar tres ventanas temporales: los cambios climáticos del pasado lejano (hace miles y millones de años), reciente-actual y futuro.

### 6.1 LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS DEL PASADO SOBRE EL TERRITORIO COLOMBIANO

Las evidencias de cambios climáticos de los últimos 3 millones de años (los ocurridos en el Cuaternario, principalmente) han sido analizadas con la aplicación de diferentes metodologías (estratigrafía, glacio-morfología, análisis de polen en sedimentos lacustres, dendroclimatología, principalmente) en diversas zonas del territorio colombiano. En la actualidad se dispone de los resultados de las investigaciones realizadas para la Sabana de Bogotá (van der Hammen & Gonzales, 1963, 1964; van Geel & van der Hammen, 1983; Hooghiemstra, 1984; Hooghiemstra & Ran, 1994), diferentes zonas de la región Andina (Gonzalez et al., 1965; van der Hammen et al., 1981), el río Magdalena (Wijmstra, 1967; van der Hammen, 1986; Dueñas, 1992; van der Hammen & Cleef, 1992) y la Amazonía colombiana (van der Hammen & Hooghiemstra 1995, 1997, resumieron las investigaciones que sobre el tema de cambios climáticos del pasado se había realizado hasta la época. De los trabajos de van der Hammen & Ortiz-Troncoso (1988) y van der Hammen et al., (2002) es posible inferir que en el Pleniglacial de hace 25000-15000 años, la temperatura media

del aire estuvo en 6-8°C por debajo de lo actual y que hace 15 000 años el hielo en las montañas colombianas descendió hasta altitudes ligeramente inferiores a los 3.000 metros. Estos estudios también demuestran que los pisos bioclimáticos sufrieron importantes desplazamientos altitudinales y los altiplanos de Cundinamarca y Boyacá, por ejemplo, tenían una vegetación similar a la de los páramos actuales. De otra parte, en la zona costera del país numerosas cavernas sumergidas actualmente a diversas profundidades reflejan el ascenso del nivel del mar desde sus niveles mínimos durante los períodos glaciales (última glaciación) hasta los niveles que se observan hoy en día. Adicionalmente, presentan evidencias de que los patrones de distribución espacial de la precipitación también sufrieron grandes cambios; por ejemplo, los campos de dunas de los Llanos orientales, que actualmente se encuentran inactivos y estabilizados por la vegetación, registraron condiciones desérticas preholocénicas, muy diferentes a las observadas hoy en día en esa región.

De igual manera, los resultados de van der Hammen & Cleef (1992) sugieren que en el máximo del Holoceno medio (entre hace 7000 y 5000 años) la temperatura media del aire estuvo hasta en 2°C por encima de los promedios multianuales que se registraron en la segunda mitad del siglo XX y que sobre el altiplano cundiboyacense se registraron condiciones relativamente más secas que las del período actual. La fase de enfriamiento que duró cerca de mil años (entre hace 12 000 y 11 000), correspondiente al Younger Dryas, registrada regionalmente como el estadal El Abra, tuvo efectos sobre el territorio colombiano con disminución de las temperaturas medias anuales entre 1 y 3°C y reducciones de los volúmenes de

precipitación en los Andes colombianos (van der Hammen & Gonzalez, 1963; van der Hammen & Hooghiemtra, 1995; van't Veer et al., 2000).

La expresión de las dos fases de cambio climático del último milenio (el Calentamiento Medieval entre los años 900 y 1200 y la Pequeña Edad de Hielo entre el 1400 y 1800, aproximadamente) no ha sido descrita aún. Solo a partir de los resultados algunos estudios en los que se representa la región de Suramérica (Mann, 2002; Mann et al., 2009; Reuter et al. 2009; Gonzalez-Roucco et al. 2011), se puede concluir que en la Pequeña Edad de Hielo, sobre la región en la que se localiza el territorio colombiano la temperatura media anual estuvo en 1-3°C por debajo de la actual, la precipitación estuvo por encima de lo actual y en la región Andina se presentaron condiciones más húmedas que las registradas en la segunda mitad del siglo XX.

### 6.2. EL CAMBIO CLIMÁTICO RECIENTE EN COLOMBIA

Un primer esfuerzo por compilar lo relacionado con cambio climático en Colombia han sido las publicaciones de Lozano & Pabón (1995) y León-Aristizabal et al. (1996). Posteriormente se realizaron variedad de estudios en los que se han analizado las diferentes expresiones del cambio climático en curso sobre diversos elementos del medio biofísico de Colombia. Se han analizado las tendencias de largo plazo en variables climatológicas, especialmente de la temperatura del aire y de la precipitación (Pabón, 1995a, 1995b;

Mesa et al., 1997; Perez et al., 1998; Quintana-Gómez, 1999; León, 2000a; Pabón & Hurtado, 2002; Pabón, 2003b; Poveda, 2009; MAVDT-IDEAM-PNUD, 2010), así como de los eventos extremos en estas variables (Benavides et al., 2007; Mayorga et al., (2011)). Al sintetizar los resultados se puede establecer que, durante la segunda mitad del siglo XX, en diversas regiones del país la temperatura media del aire está aumentando a razón de 0.1-0,2° por decenio y la temperatura máxima en alrededor de 0,6°C, en tanto que la precipitación presentó cambios entre el -4% y el 6% por decenio, aunque los sectores con disminución o aumento son diferentes según los autores, se estaría observando una generalizada reducción en sectores de la región interandina (valles de los ríos Magdalena y Cauca) y Caribe, e incrementando en áreas de piedemonte del lado Este de la Cordillera Oriental y en el sector centro-norte de la región Pacífica. Se debe mencionar los trabajos sobre la identificación de cambios climático por factores locales como la urbanización particularmente para Bogotá (Pabón et al., 1998; Perico-Agudelo, 2009; Poveda, 2008; Ángel et al., 2010), otras ciudades (León, 2000b) y por el cambio en el uso del suelo en diferentes regiones (Rodríguez et al. 2010, Pabón et al., 2013, Carvajal & Pabón, 2014; Carvajal & Pabón, 2016).

Estudios sobre tendencias de diversas variables climatológicas han sido elaborados en el IDEAM. Así, por ejemplo, Mayorga et al., (2011), utilizando series del período 1970-2010 y la herramienta RCLimdex, establecieron que las noches tienden a ser más cálidas extensas áreas del país, en especial en la zona costera de la región Caribe, los departamentos de Santander, Antioquia y los piedemontes Llanero y Amazónico. Hallaron también aumento generalizado de la precipitación en el país, se destaca la zona noroccidental (Antioquia y Chocó), Vichada, el Piedemonte de Putumayo y la isla de Providencia, donde se observa el incremento más significativo; lo contrario ocurre en la isla de San Andrés, en la vertiente oriental de la Cordillera Oriental (Arauca y Casanare) y en amplias áreas del Alto Cauca, donde se observa una disminución de la precipitación; la mayor disminución ocurre en el suroccidente del



territorio colombiano. De igual manera, Mayorga et al. (2011) pudieron establecer que las tormentas o lluvias intensas están aumentando en amplios sectores del territorio nacional un aumento y resaltan zonas como Caribe, Orinoquía, norte de la región Andina (incluida la mayor parte del departamento de Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda y Santander) y Pacífico norte y centro.

Hurtado (2012) analizó las tendencias en las olas de calor y frío para diferentes regiones del territorio colombiano con base en series históricas de temperaturas máximas y mínimas diarias para alrededor de 33 estaciones climatológicas en las que contó las rachas de 1, 2, 3, 4 y 5 días consecutivos con temperaturas máximas por encima de ciertos valores críticos (olas de calor) y con temperaturas mínimas por debajo de los valores críticos (olas de frío), encontrando una tendencia al aumento de las olas de calor y del número total de días al año; para las olas de frío estableció una disminución en la mayor parte de la región Caribe y norte y centro de la región Andina.

En el año 2017 se realizó el análisis de las tendencias de la precipitación y de la temperatura del aire utilizando series para el período 1980-2011, utilizando la misma herramienta RCLimdex. La Figura 36 muestra el signo de las tendencias detectadas para ese período. Comparativamente con lo realizado por Mayorga et al. (2011) no hay mayores diferencias en cuanto al signo de las tendencias, sin embargo, la estimación de tendencias en el período 1980-2011 está afectada por el máximo histórico de precipitación observado en la segunda mitad del año 2010 y en el 2011 relacionado con una fase extrema de variabilidad climática interdecadal,

por ello los valores de las tendencias de aumento son mayores que los establecidos previamente por Mayorga et al. (2011). En esta situación es posible concluir que efectivamente la precipitación está aumentando en la mayor parte del país (las que se señalan en azul en la Figura 36), pero la magnitud de la tendencia estaría entre las dos estimaciones (la de Mayorga et al. (2011) y esta que se presenta en este informe).

En cuanto a la intensidad de los eventos más extremos de lluvias diaria (tomando los eventos que sobrepasan el percentil 99) analizada para el período 1980-2011 (Figura 37), hay una diferenciación regional (aumentos en algunas regiones y disminuciones en otras), sin embargo son más los lugares en donde están haciéndose más intensos estos eventos, que en los que hay debilitamiento.

En un intento por identificar los cambios que podrían estar ocurriendo en la estacionalidad de la precipitación de diferentes regiones del país se analizó la tendencia en la amplitud del ciclo anual de esta variable. La Figura 38 muestra las tendencias en este parámetro de la estacionalidad calculadas para tres periodos diferentes (1980-2009, 1981-2010, 1981-2011). Como se puede apreciar en algunas regiones la amplitud está aumentando en otras disminuyendo. Habría que saber cómo está ocurriendo ese cambio? ¿Los períodos lluviosos serán más intensos o los períodos secos están agudizando el déficit de precipitación?. Para ello, el análisis de las tendencias en la amplitud debe ir acompañado del análisis de las tendencias de los valores mensuales. En las Figuras 39 y 40 respectivamente se presentan dichas tendencias para meses relativamente secos y para los meses de la época lluviosa.

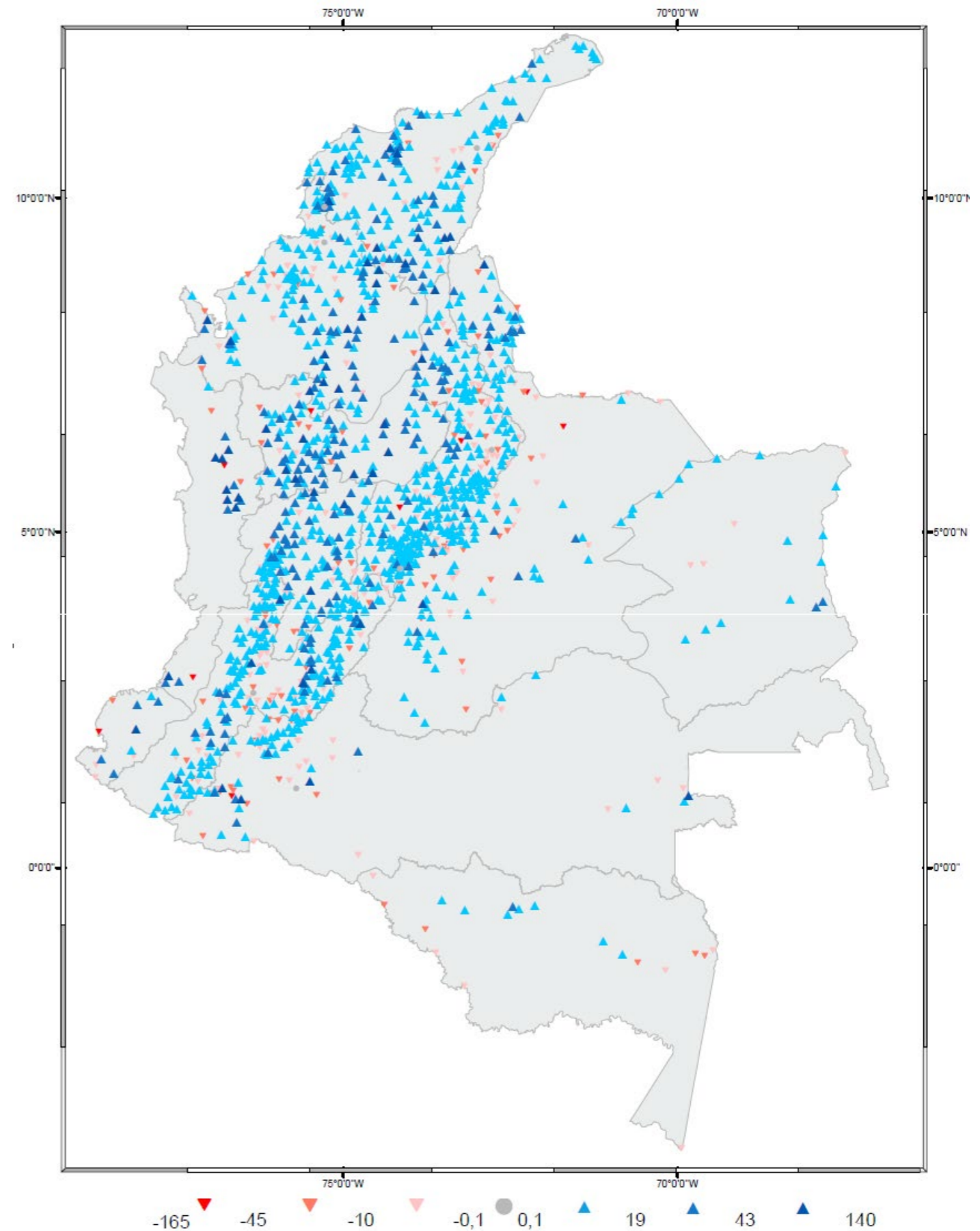


Figura 36. Tendencias en la precipitación anual calculadas para el período 1980-2011. (Los rangos están en milímetros)

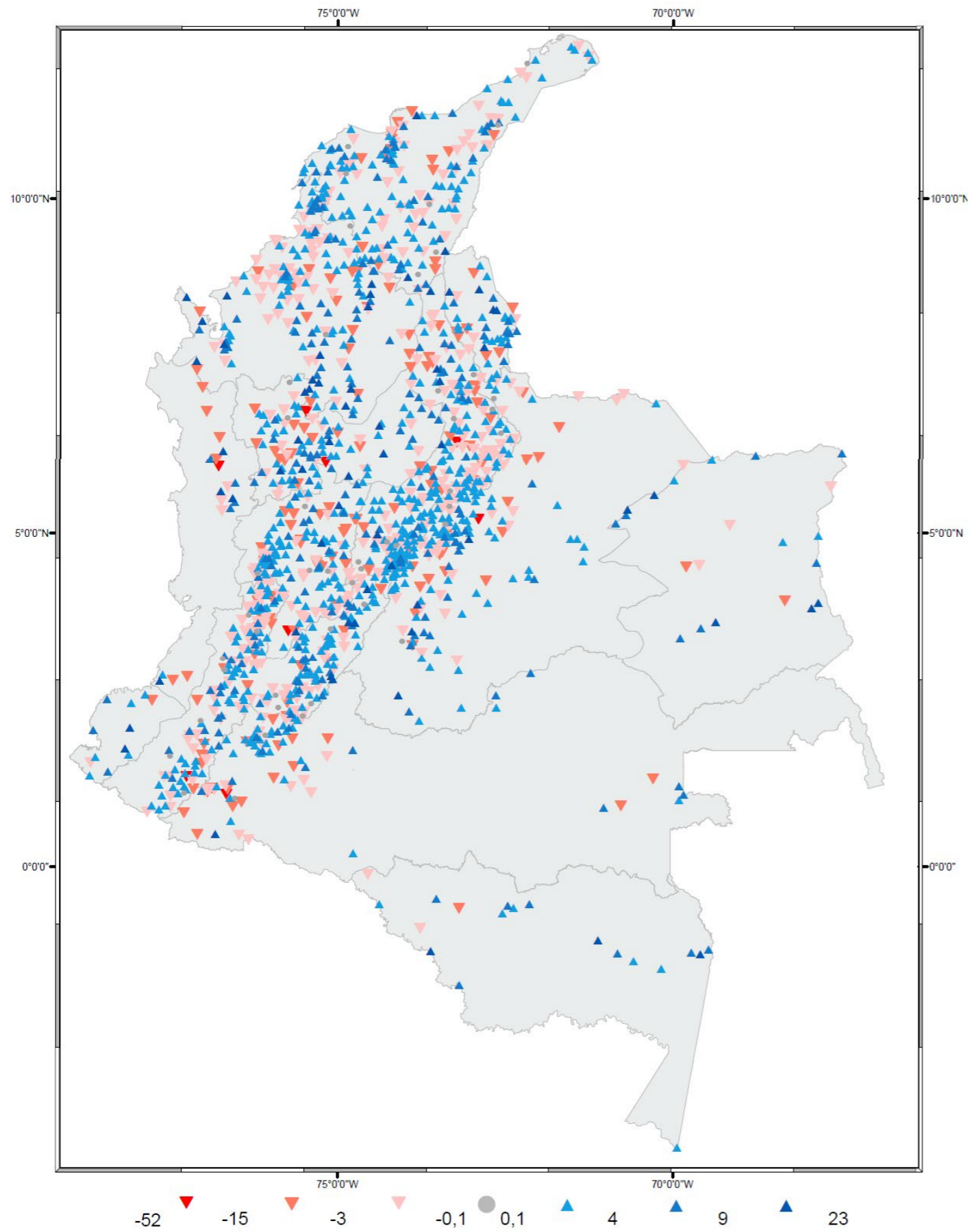


Figura 37. Tendencias de la intensidad de los eventos extremos de precipitación diaria (por encima del percentil 99) en el periodo 1980-2011

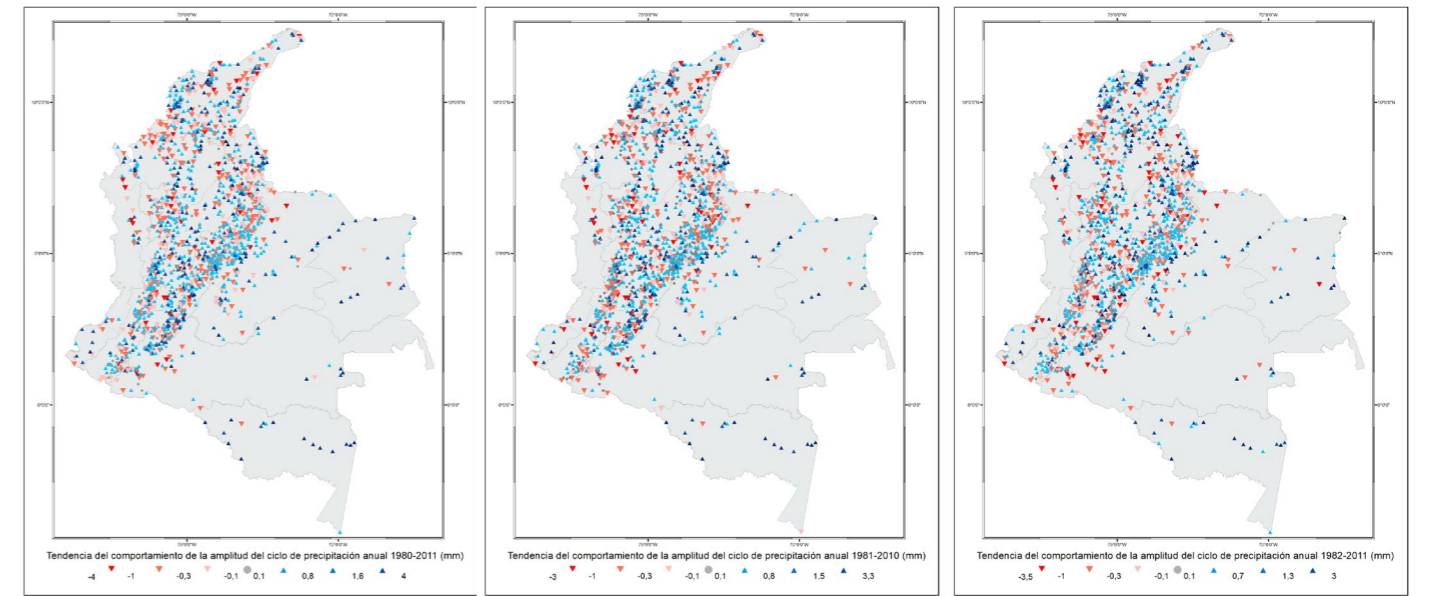


Figura 38. Tendencias de la amplitud de ciclo anual de la precipitación en los periodos 1980-2009, 1981-2010 y 1982-2011. (Azules aumento; rojos disminución)

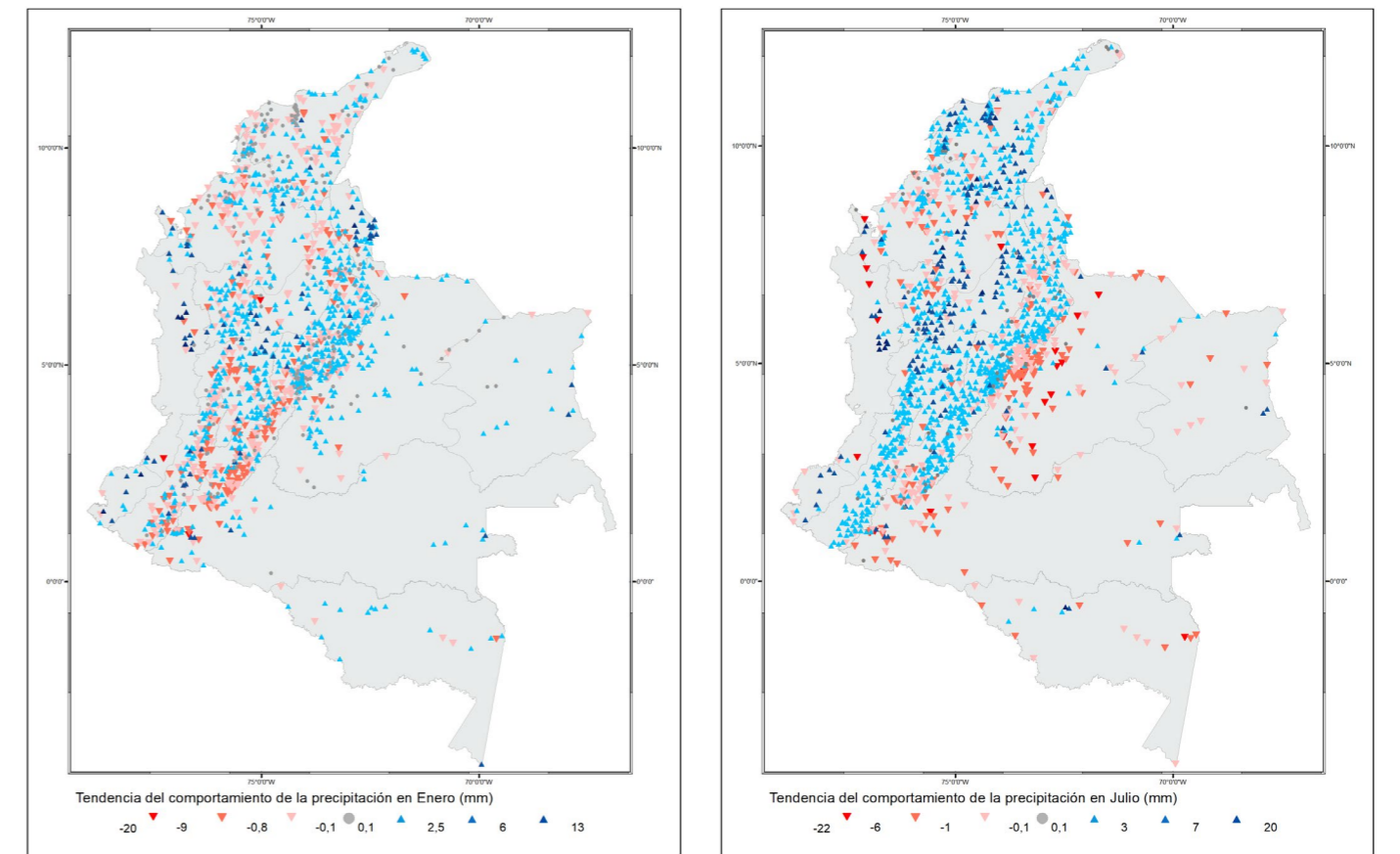


Figura 39. Tendencias de la precipitación de los eneros y los julio, periodos seco y de menos lluvia en el año

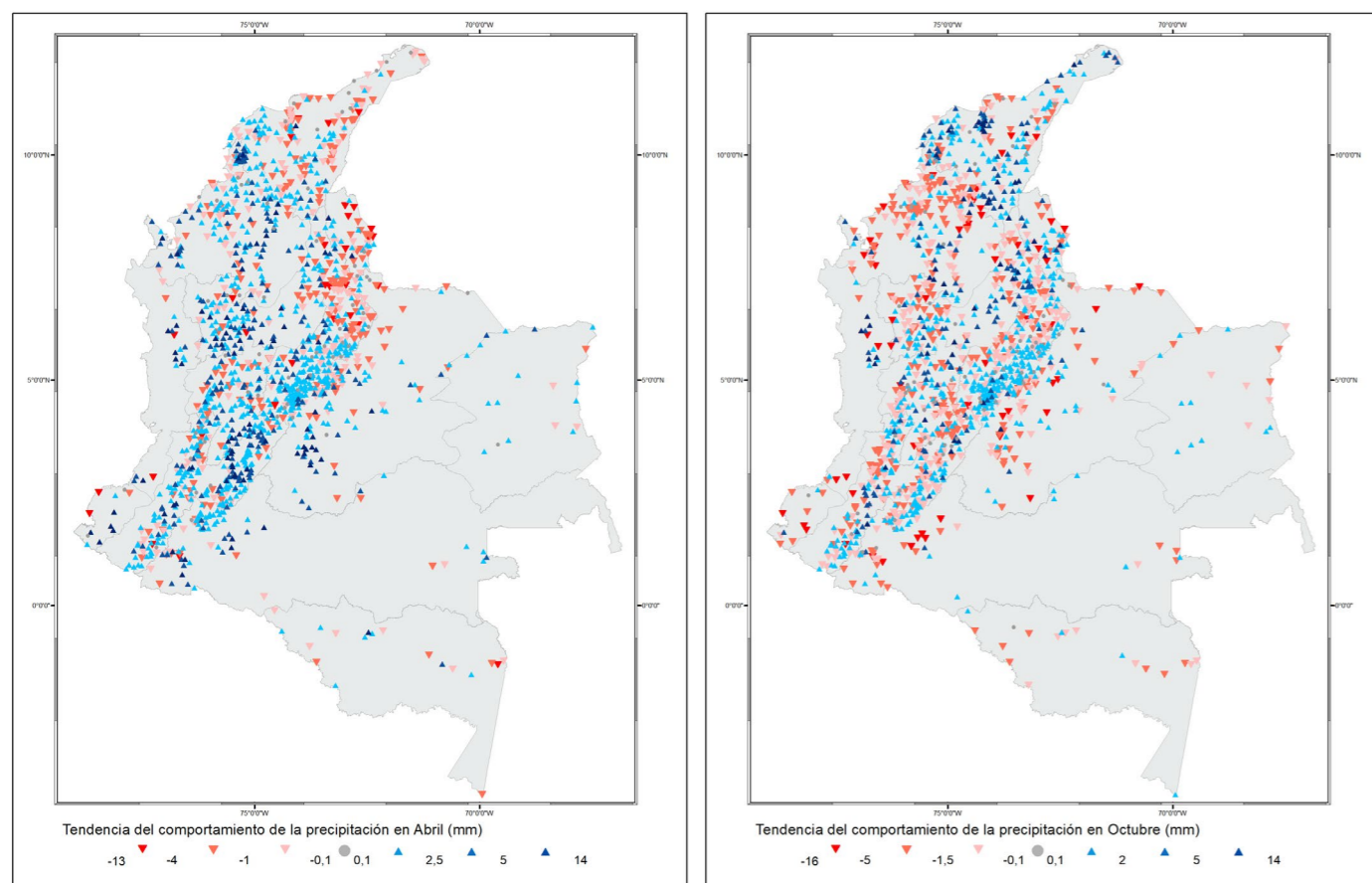


Figura 40. Tendencias de la precipitación de los abril y los octubres, periodos de mayor lluvia en el año

La expresión más contundente del calentamiento global y del cambio climático en el territorio colombiano es la reducción del área de los glaciares de montaña. Entre 1940 y 1985 desaparecieron en Colombia ocho glaciares y actualmente sólo existen cuatro nevados sobre estructuras volcánicas (Huila, Ruiz, Santa Isabel, Tolima) y dos sierras nevadas (Cocuy y Santa Marta). Se estimó que a finales del siglo XX la recesión de las lenguas glaciares era del orden de 15 a 20 metros/año y que la pérdida de espesor variaba entre 1-2 metros/año (Flórez, 1992b). Hay evidencias de que el ritmo del retroceso fue mayor en los últimos decenios del siglo XX (Flórez, 1992a) y, especialmente, en el primer decenio del siglo XXI (Ceballos et al., 2006; Huggel et al., 2007). Recientes estimaciones del retroceso glaciar (MAVDT-IDEAM-PNUD, 2010), basadas en observaciones del primer decenio del siglo XXI, señalan un ritmo de 20-25 metros por año y proyectan

una desaparición de los glaciares entre el decenio de 2030 y 2040, aunque una evaluación realizada por Poveda & Pineda (2009) alertan sobre la desaparición en el decenio 2010-2020.

Las tendencias de incremento del nivel medio del mar en las costas colombianas han sido analizadas por Rangel y Montealegre (2003), Pabón (2003a,b); Pabón & Lozano (2005), quienes han utilizado las series de nivel medio del mar en el Pacífico y Caribe y los datos de topografía del océano generados por el programa TOPEX/POSEIDON. Se ha establecido que durante el período 1961-1990 el incremento regional del nivel del mar tuvo un ritmo de 3-5 milímetros al año para el Pacífico y 1-2 milímetros/año en la costa Caribe. Gutiérrez (2010) analizó los efectos asociados al ascenso del nivel medio del mar en el área urbana de la Bahía de Buenaventura (Valle del Cauca) e identificó que la invasión de aguas marinas

del área urbana del municipio con un escenario de 50 cm de aumento sería cerca de 2,3 km<sup>2</sup> y con el escenario de 1 metro sería de 3,8 km<sup>2</sup>.

### 6.3. SOBRE EL CLIMA FUTURO EN EL TERRITORIO COLOMBIANO

Para evaluar los posibles impactos de un clima cambiado se requiere conocer las particularidades de este en condiciones futuras. Para el efecto se ha trabajado en escenarios de cambio climático. Los avances más recientes en cuanto a escenarios de cambio climático están compilados en el Quinto Informe de Evaluación de IPCC (ver IPCC, 2013; IPCC, 2014).

La elaboración de escenarios de cambio climático para Colombia data de comienzos del presente siglo con la aplicación de la metodología de escalamiento estadístico de los productos de modelos globales de circulación general de la atmósfera (Eslava & Pabón, 2001; Pabón et al., 2001a). Mulligan (2000) desarrolló escenarios de cambio climático para el Valle del Cauca y se debe mencionar también el trabajo realizado por Hulme & Sheard (1999) para los países del sector norte de la región Andina. Estos trabajos iniciales generaron información que fue incluida en IDEAM-MINAMBIENTE-PNUD (2001).

Con base en seis modelos y apoyándose en los modelos incluidos en los sistemas MAGGIC y SCENGEN, Hulme & Sheard (1999) establecieron los posibles cambios de la temperatura anual del aire y de la precipitación anual en el noroeste de Suramérica (los Andes del Norte) considerando los escenarios B1, B2, A1 y A2 formalizados por IPCC en su Reporte Especial de Escenarios un año después (IPCC, 2000). Según estos autores, considerando los escenarios más extremos, la temperatura del aire para el territorio colombiano en el año 2050 estaría entre 1.0°C (escenario bajo) y un poco más de 2.5°C (escenario alto) por encima del promedio de 1961-1990; hacia el año 2080 el cambio estaría entre 1.5 y 4.5°C, respectivamente. Según el estudio de Hulme & Sheard (1999) hacia el año 2050 la precipitación anual en el sector centro, sur y sur-occidente del territorio colombiano aumentaría entre un 2-10% del volumen anual 1961-1990; en el sector norte y nororiente disminuiría hasta en un 4%. Hacia el 2080 el aumento es mayor en el suroccidente y puede alcanzar un 28%, mientras que las disminuciones en la región Caribe podrían alcanzar el 8% del valor de referencia del período 1961-1990. Los resultados relacionados con la temperatura del aire, son consistente con las tendencias que se han identificado en el país y que se mencionaron arriba; no obstante, los cambios obtenidos para la precipitación resultan contradictorios ya que, según las tendencias observadas, en el suroccidente el país la precipitación está disminuyendo y en el norte y nororiente, la precipitación está aumentando (ver Pabón, 2003b). Mulligan (2000) aplicó la regionalización

con escalamiento estadístico a los datos generados por GFDL, HadCM2 y ECHAM4 para generar escenarios de cambio climático para el Valle del Cauca. Obtuvo como resultado que hacia el 2050 en esa región la temperatura del aire podría aumentar hasta en 2.7°C por encima de lo observado en 1998-1999, mientras que la precipitación anual tendría un incremento de 27 a 59 milímetros (0.4-0.5% del valor observado en 1995-1996).

El Grupo de Investigaciones en Meteorología de la Universidad Nacional de Colombia (Eslava & Pabón, 2001) usó el Community Climate Model, versión 3 (CCM3) para simular el clima de la América tropical y generar escenarios de cambio climático para Colombia. Usando el escenario de duplicación de dióxido de carbono y aplicando la técnica de regionalización con escalamiento estadístico (Molina et al., 2000; Bernal et al., 2001; Pabón et al., 2001e) establecieron los cambios que se darían bajo ese escenario en la temperatura media del aire y en la precipitación anual sobre diferentes regiones del territorio colombiano. Los resultados (Pabón et al., 2001b, c y d; Tellez-Guio et al., 2001; Molina et al., 2003) mostraron que bajo una duplicación del dióxido de carbono la temperatura del aire cambiaría en diferentes regiones no más de 1.0°C (aunque hubo una región que presentó un valor un poco mayor); la precipitación (Tellez-Guio et al., 2001) en general aumentaría en valores que en algunos son exagerados (60-100%), pero se presentaron regiones como el Alto Magdalena y Alto Cauca, Pacífico Sur y Central, el Patía, la montaña nariñense y el pie de monte amazónico en donde en algunas épocas del año la precipitación estaría por debajo del promedio 1961-1990.

Posteriormente, Pabón et al. (2001a), tomaron los datos de los 6 modelos que publicó el Data Distribution Center (DDC) del IPCC y analizaron las simulaciones del clima de 1961-1990 efectuadas por estos modelos y las compararon con el clima representado por el NCEP/NCAR Reanalysis (Kalnay et al., 1996) para ese mismo período. Como resultado se obtuvo que del grupo de modelos

analizados el Hadley, ECHAM4 y el CSIRO representaron mejor el clima de América tropical, pero considerando que el ECHAM4 (malla de 2.5° x 2.5° de latitud y longitud, respectivamente) presenta la información en mayor resolución que el modelo del CSIRO (malla de 5° x 5°), se usó el primero para simular el clima nacional y generar escenarios climáticos aplicando la metodología de la reducción de escala estadística (Pabón et al., 2001e). Los resultados mostraron que en una duplicación del CO<sub>2</sub>, que muy probablemente ocurrirá a mediados del siglo XXI, la temperatura del aire cambiaría entre 1.0 y 2.0°C en relación con el promedio 1961-1990 y la precipitación anual entre -10% (algunas regiones) y +15% del volumen anual observado en ese mismo período de referencia (ver Pabón, 2003b).

En una nueva aproximación se analizaron 16 simulaciones de modelos globales diferentes para el escenario de duplicación del CO<sub>2</sub> y se tomaron los cambios de la temperatura media anual del aire y de la precipitación anual para 24 regiones del territorio colombiano. Se identificó entonces que aunque los cambios previstos para la temperatura del aire oscilan entre 0°C y un poco más de 2.0°C, el umbral en el que más coinciden los modelos está entre 1.1 y 1.5°C (ver Pabón, 2007). En lo que a la precipitación se refiere, la mayor parte de los modelos señalaron que habría un incremento hasta del 5% en la precipitación anual en comparación con lo que había en el período 1961-1990; sin embargo algunos modelos que señalaron reducciones del 5% para regiones como el Bajo Magdalena, cuencas de los ríos Sinú, San Jorge y Nechí, en Urabá, así como en el Medio Cauca y Magdalena, las cuencas de los ríos Sogamoso, Catatumbo, Arauca y el Medio Meta. Esto último no coincide con las tendencias observadas en la precipitación de estas regiones.

Hacia el 2006 se había avanzado en el proceso del Coupled Model Intercomparison Project - CMIP3 (Meehl et al., 2007) para generación de escenarios globales de temperatura del aire y precipitación con las familias de escenarios de emisiones (A1, A2, B1, B2, A1B y AFI) propuesto por el Special Report on



Emission Scenarios -SRES (IPCC, 2000); con el CMIP3 se elaboraron las proyecciones que sirvieron de base para el Cuarto informe de Evaluación (IPCC, 2007a; IPCC, 2007b).

Ruiz y Martínez (2007) utilizaron los productos de simulación del clima presente y del escenario A1B generados para la región del norte de Suramérica por el modelo global de alta resolución espacial (grilla de 20x20 kilómetros) del Meteorological Research Institut (MRI) de Japón. De otra parte Pabón (2006) utilizó el modelo climático regional PRECIS y se consideraron los escenarios concentraciones de dióxido de carbono equivalente del Second Report on Emission Scenarios SRES (IPCC, 2000), se obtuvieron los cambios que se tendrían en la temperatura media del aire y en la precipitación anual hacia finales del siglo XXI (2070-2100) bajo el escenario A2 sin sulfatos, que se resumen así: El calentamiento en podría estar entre 2 y 4°C con relación a las temperaturas del período 1961-1990 en la mayor parte del territorio nacional, pero hay regiones en las que podría sobrepasar los 4°C; En las regiones interandina y Caribe se presentará reducción de la cantidad anual de lluvias, en algunas regiones de más del 30%; en el piedemonte oriental de la Cordillera Oriental y en la región Pacífica habría aumentos.

Con base en la estimación de los cambios de la temperatura media anual y la precipitación anual en los escenarios A2 y B2 usando el modelo regional PRECIS en resolución espacial de 25x25 kilómetros, Pabón (2008) indicó que la temperatura media del aire hacia el 2070-2100 en general estaría entre 2-4°C por encima de la observada en 1961-1990, pero identificó sectores con aumentos mayores de 4°C localizados en el Valle del Magdalena y en la región Caribe. En cuanto a la precipitación, los dos escenarios sugirieron para las regiones interandina y Caribe reducciones de más del 30% en la cantidad anual de lluvias, con sectores en donde tal reducción es mayor del 50% localizados en Tolima, Huila, Altiplano cundiboyacense, litoral central Caribe y en la Península de La Guajira; en el piedemonte oriental de la

Cordillera Oriental y en la región Pacífica habría aumentos de más del 30% (similares resultados se presentaron por Pabón, 2012). La capacidad de PRECIS para reproducir las particularidades del clima regional se infiere de la evaluación realizada por Alves & Marengo (2009), quienes probaron PRECIS en resolución de 50x50 kilómetros para Suramérica.

Ruiz (2010) efectuó el ajuste del escenario A1B obtenido con el modelo del MRI, a los escenarios con PRECIS y elaboró escenarios de cambio climático con el modelo Weather & Research Forecasting - WRF (usando las salidas del modelo global CAM para las condiciones de contorno). Realizó escenarios para tres períodos a partir del 2011 hasta el 2100. En términos generales obtuvo incremento paulatino de la temperatura media anual del aire de 1.4, 2.4 y 3.2°C para los períodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente; para la precipitación los cambios identificados como probables fueron disminución en la región Caribe y Andina y aumento en la región Pacífica.

También se ha avanzado en el desarrollo de escenarios para otras variables hidroclimáticas. Así, Acevedo (2009) y Acevedo & Poveda (2011) validaron cuatro modelos globales en cuanto a la simulación de los extremos de lluvia y desarrollaron escenarios para la precipitación mensual, los eventos extremos de lluvia a través de la estimación de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) y los caudales; encontraron el ECHAM5 como el que mejor aproxima las condiciones hidroclimáticas regionales. Al elaborar escenarios (tomando A1 y B1 de los propuestos por IPCC, 2000), identificaron que habría grandes cambios en la frecuencia de eventos de lluvia intensa y un posible aumento de las precipitaciones en la cuenca del río Magdalena y de sus caudales. Los escenarios elaborados por Nakaegawa & Vergara (2010) para la cuenca Magdalena-Cauca, sugieren que hacia finales del siglo XXI habría una reducción de los caudales medios de febrero y un aumento en los de julio. Se han explorado otras opciones con miras a disponer de información sobre las condiciones climáticas del futuro para usarla en estudios de impactos del cambio

climático en Colombia (ver, por ejemplo, Peña et al., 2010). De igual manera, se han examinado los cambios en el clima local o regional asociados al cambio en el uso del suelo (Rodríguez et al, 2010) y elaborado escenarios de cambio climático para regiones dentro del territorio colombiano (Pabón, 2011).

La Segunda Comunicación Nacional (IDEAM, 2010), basada en los análisis de Ruiz (2010), plantea para el siglo XXI los siguientes cambios en la temperatura media del aire: aumentaría 1.4°C para el período 2011-2040, 2.4°C para el lapso de 2041-2070 y 3.2°C para el período comprendido entre los años 2071 a 2100. La precipitación media anual tendría un cambio entre más o menos 10% (prácticamente sin cambio) hacia el 2011-2040 en el 78% del territorio continental; en un 20 % del país la precipitación se reduciría entre el 30-10%) en el mismo período.

Para el territorio de la CAR, la Segunda Comunicación Nacional (2010) indicó que habría un aumento de la temperatura del aire del orden de los 2-3°C para el período 2011-2040, 3-4°C para el 2041-2070 y un tanto mayores de 4°C en valle del Magdalena y de 2-3°C en la parte oriental, franja del piedemonte llanero, hacia el 2070-2100. Para la precipitación, IDEAM (2010) planteaba que en hacia el 2011-2040 habría una marcada disminución (-30% del volumen anual) en del alto y medio Magdalena, así como en el sector nor-oriental, aumento de más del 30% sobre Bogotá y Soacha y prácticamente sin cambio (entre -10% y +10%) en el resto del territorio CAR; la precipitación hacia 2041-2070 aumentaría marcadamente (más del 40% del valor anual) sobre Bogotá, Soacha, Sabana centro y Sumapaz, se agudiza el déficit sobre el Medio Magdalena y el nororiente; en 2071-2100 la precipitación estaría cerca de los volúmenes actuales (entre -10 y +10% del acumulado anual) en una franja central y oriental, en tanto que en el Bajo Magdalena y Guali habría déficit del orden del 30%.

Escenarios elaborados para el territorio de jurisdicción de la CAR por Pabón (2011) planteó que el clima del futuro en la región



CAR, durante el siglo XXI los cambios se irán haciendo cada vez más notorios. En el período 2011-2040 el clima sería más cálido (alrededor de 1°C por encima de la temperatura de referencia) y lluvioso que lo que se registró en 1971-2000 (clima de referencia), excepto la zona alta que cubre el altiplano particularmente el sector nor-oriental (entre -10 y -30%) y en el Medio Magdalena, regiones en donde la precipitación estaría por debajo; en general, los cambios son similares a los de IDEAM (2010) descritos en el párrafo anterior. En el 2041-2070 las condiciones serían aún más calurosas (temperaturas anuales en 2-3°C por encima de los promedios del período de referencia) y la disminución de la precipitación cubriría gran parte de la región siendo más marcado en la parte alta, pero el aumento continuaría en el sector oriental y hacia el Valle del Magdalena. En el 2071-2100 el calentamiento sobrepasaría los 4°C y la disminución de la precipitación

cubriría toda la región, pero sería extrema (reducciones de más del 30% de los volúmenes anuales del clima de referencia) en la parte del altiplano.

En el Programa Regional Interinstitucional de Cambio Climático - PRICC se desarrollaron escenarios para Cundinamarca. En este se previeron cambios de temperatura del aire del orden de los 2-3°C para 2011-2040, y para 2071-2100 aumento de 4-5°C en sectores del Alto Magdalena y Bajo Magdalena, de 3-4°C en gran parte del esto de la región, excepto para una franja oriental sobre el área del piedemonte llanero donde el aumento sería de 2-3°C. El volumen anual de precipitación en 2011-2040 estaría cercana al que se presentó en el período 1971-1990, excepto en el Magdalena medio donde se presentaría una reducción del 30%; en 2041-2070 presentaría prácticamente la misma distribución con ligeros incrementos en la mayor parte de

la región Excepto en el Medio Magdalena donde se seguiría registrando déficit del 30% y un sector del sur de Bogotá y sur de Cundinamarca en donde habría aumento de más del 40%; hacia el final del siglo XXI (2071-2100) se mantendría la misma configuración de los cambios del período anterior.

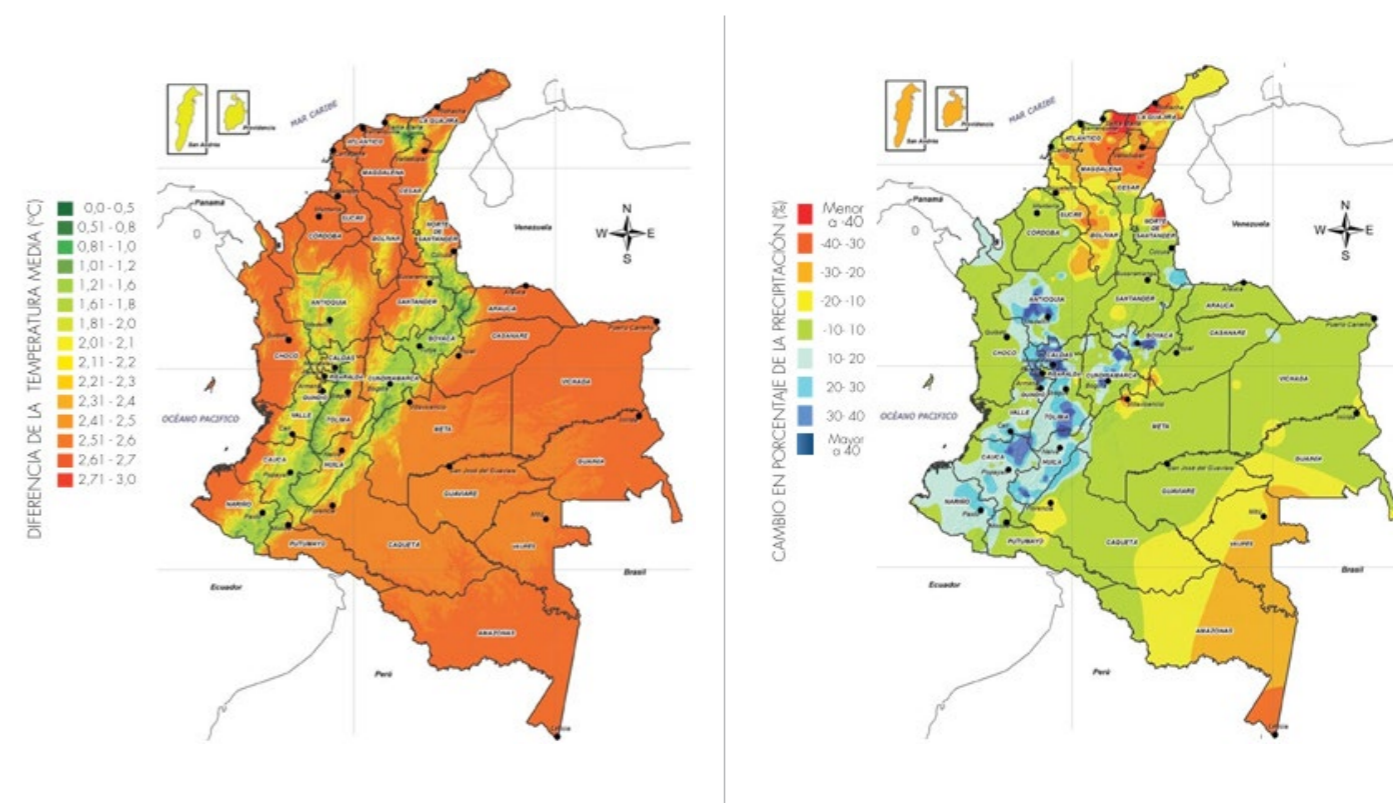
Con el proceso de elaboración del Quinto Informe de Evaluación del IPCC (2013) se desarrolló una nueva generación de escenarios denominados Representative Concentration Pathways - RCP (van Vuuren et al., 2011), cuatro opciones de forzamiento radiativo (2.6, 4.0, 6.0 y 8.5 W/m<sup>2</sup>) generadas por supuestos en cuanto al futuro cambio en el uso del suelo y a emisiones, los cuales se utilizaron en los modelos climáticos del CMIP5 (Taylor et al., 2012) reportados en IPCC (2013). Es necesario mencionar que en el primer decenio del siglo XXI se desarrollaron aproximaciones estadísticas

para reducir las incertidumbres en la elaboración de escenarios. Uno de ellos ha sido el Reliability Ensemble Average (REA) desarrollado por Giorgi & Mearns (2003) y aplicado posteriormente por otros investigadores (Tebaldi & Knuti, 2007); el REA, que se debe usar cuando se dispone de productos de simulaciones de diferentes modelos para construir ensamble multimodelo (no entre escenarios), reduce las incertidumbres en las proyecciones de cambio climático.

Sobre la base de los escenarios del AR5 (IPCC, 2013), se construyeron, mediante regionalización dinámica y estadística, escenarios climáticos de mayor resolución espacial para regiones y países. Así, para Colombia se elaboraron escenarios de

cambio climático (IDEAM, 2015) para fundamentar los estudios relacionados con evaluación de impactos y de la vulnerabilidad que se incluirán en la Tercera Comunicación de Colombia ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Armenta et al, (2014) utilizaron REA para generar "ensambles multiescenario" que posteriormente se difundieron como oficiales por IDEAM(2015). Según este último, el clima futuro sobre el territorio colombiano se iría haciendo paulatinamente más cálido hacia finales del siglo XXI cuando estaría en 2.8-3.0°C por encima del promedio 1976-2005, con el mayor calentamiento en las zonas bajas orientales, del Caribe y Pacífico y de la cuenca del río Magdalena; la precipitación

hacia el 2011-2040 se reduciría en más del 30% en sectores de la región Caribe y en el trapecio amazónico y tendría aumentos superiores al 30% en el Cauca y Valle del Cauca, Eje Cafetero, Huila, Tolima, Cundinamarca y Boyacá; para el período 2041-2070 y 2071-2100 se mantiene prácticamente la misma configuración de los cambios en la precipitación. La tercera Comunicación Nacional IDEAM (2015) sitúa sobre el altiplano cundinamarqués incrementos marcados (por encima del 30%) de la precipitación. La Figura 41 muestra los cambios que habrían de ocurrir en la temperatura media anual del aire y en la precipitación hacia finales del siglo XXI En Colombia.



**Figura 41.** Posibles cambios que ocurrirían en la temperatura media anual del aire y en la precipitación anual hacia finales del siglo XXI en comparación con el clima observado en 1976-2005. (Tomado de la Tercera Comunicación Nacional de cambio climático para Colombia; ver IDEAM, 2015)



# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo L.A., 2009: Estimación hidrológica bajo escenarios de cambio climático en Colombia. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, p. (Consultado en <http://www.bdigital.unal.edu.co/2178/>).

Acevedo L.A., Poveda G., 2011: Construcción y análisis de curvas intensidad-frecuencia-duración (idf), bajo escenarios de cambio climático en Colombia. *Revista Colombia Amazónica*, No. 3, pp. 11-30.

Alves L.M., Marengo J., 2009: Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. *Theoretical and Applied Climatology*, 100, pp. 337-350.

Alarcón-Hincapié J.C., 2017: EL cambio climático como factor transformador del territorio. [www.bdigital.unal.edu.co/58092/1/79558538.2017.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/58092/1/79558538.2017.pdf) consultado el 30 de noviembre de 2017

Álvarez M.S., Vera C.S., Kiladis G.N., Liebmann B., 2015: Influence of the Madden-Julian Oscillation on precipitation and surface air temperature in South America. *Climate Dynamic*, DOI 1007/s00382-015-2581-6.

Amador J., Alfaro E., 1996: La Oscilación Cuasi-Bienal, ENOS y Acoplamiento de Algunos Parámetros Superficiales y Estratosféricos en Costa Rica. *Top. Meteor. Oceanogr.*, 3, 45-53.

Anderson D.L.T., Willebrand J., (Eds) 1966: Decadal climate variability: dynamics and predictability. *Proceedings of the NATO Advanced Study Institute "Decadal Climate Variability: Dynamics and Predictability"*, held at Les Houches, France, February 13-24, 1995. NATO ASI Series. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg. 493 p.

Ángel L., Ramírez A., Domínguez E., 2009: Isla de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, v. 34(131), pp. 173-183

Armenta G.E., Dorado J., Rodríguez A.O., Ruiz J.F., 2014: Escenarios de cambio climático para precipitación y temperaturas en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Nota Técnica del IDEAM, 274 p.

Benavides H., Mayorga R., Hurtado G., 2007. Análisis de índices de extremos climáticos para Colombia usando el Rclimdex. Nota Técnica del IDEAM. No. METEO/007-2007. Bogotá D.C., 28 p.

Bernal N.R., Martínez J., Pabón J.D., 2001: El método de reducción de escala estadístico aplicado a estudios de cambio climático. *Meteorología Colombiana*. No. 4, pp. 73-76.

Baldwin M.P., Gray L.J., Dunkerton T.J., Hamilton K., Haynes P.H., Randel W.J., Holton J.R., Alexander M.J., Hirota I., Horinouchi T., Jones D.B.A., Kinnerson J.S., Marquardt C., Sato K., Takahashi M., 2001: The Quasi-Biennial Oscillation. *Reviews of Geophys.*, 39, 179-229.

Brázdil R., Zolotkrylin A.N., 1995: The QBO signal in Monthly Precipitation Fields over Europe. *Theor. Appl. Climatol.* 51, 3-12.

Carvajal A.F., Pabón J.D., 2014: Temperatura de la superficie terrestre en diferentes tipos de cobertura de la región andina colombiana. *Sociedade & Natureza*, v 26 (1), pp.95-112.

Carvalho L., Jones L., 2004: The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, form, persistence and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *J. Climate*, 17, 88-108.

Ceballos J.L., Euscátegui C., Ramírez J., Cañón M., Huggel C., Haeberli W., Machguth H., 2006: Fast shrinkage of tropical glaciers in Colombia. *Annals of Glaciology*, v.43 (1), pp.194-201.

Córdoba-Machado S., Palomino-Lemus R., Gámiz-Fortis S.R., Castro-Díez Y., 2015: Influence of tropical Pacific SST on seasonal precipitation in Colombia: prediction using El Niño and El Niño Modoki. *Climate Dynamic*, 44 (5), pp. 1293-1310.

Dueñas H., 1992: The Paleo ENSO record in the Lower Magdalena basin, Colombia. En: Ortlieb L., Macharé J. (Eds): *Paleo ENSO Records* Internat. Symp., Extended Abstracts. Lima. pp. 81-85.

Enfield D.B., 1996: Relationships of inter-american rainfall to tropical Atlantic and Pacific SST variability. *Geophysical Research Letters*, 23(23), pp. 3305-3308.

Eslava J.A., Pabón J.D., 2001: Proyecto "Proyecciones climáticas e impactos socioeconómicos del cambio climático en Colombia". *Meteorología Colombiana*, N° 3, pp. 1-8.

Florez A., 1992a: Los glaciares residuales de Colombia. Enfoque histórico y geosituación actual. *Zenit*, N° 3, pp 35-45

Florez A., 1992b: Los nevados de Colombia. Glaciales y glaciaciones. *Análisis Geográficos IGAC*, Bogotá, N° 22, 95 p.

Gonzalez-Rouco F.J., Fernandez-Donado L., Raible C.C., Barriopedro D., Luterbacher J., Jungclauss J.H., Swingedouw D., Servonnat J., Zorita E., Wagner S., Ammann C.M., 2011: Medieval Climate Anomaly to Little Ice Age transition as simulated by current climate models. *PAGES News*, v. 19(1), pp.7-8

González E.T., van der Hammen T., Flint R.F., 1965: Late Quaternary Glacial Vegetational Sequence in Valle de Lagunilla, Sierra Nevada del Cocuy, Colombia. *Leides Geol.*, 32, pp. 157-182.

Gonzalez-Lozano F.A., 2016: El ciclo de las manchas solares y la precipitación en la Región del Eje Cafetero – Colombia. Consultado en <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1512/1512.05412.pdf> el día 25 de septiembre de 2016.

Gray W. M., 1984: Atlantic seasonal hurricane frequency, part I, El Niño and 30 mb quasi-biennial oscillation influences, *Mon. Weather Rev.*, 112, 1649–1668.

Grimm A.M., Tedeschi R.G., ENSO and Extreme Rainfall Events in South America. *Journal of Climate*. 22, pp. 1589-1609.

Guzman D.M., Arango C., Dorado J., 2014: Precipitation variability in Colombia associated to ENSO. *Book of Abstracts of the III International Conference on ENSO "Bridging the gaps between Global ENSO Science and regional processes, extremes and impacts"*, Guayaquil, Ecuador, 12-14 November 2014, p.27

Gutierrez J.F., 2010: Efectos Asociados al Ascenso del Nivel del Mar en el Área Urbana de la Bahía de Buenaventura, Valle del Cauca. Trabajo de Grado. Departamento de Geografía,

Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., 60p

Hidore J.J., Oliver J.E., Snow M., Snow R., 2009: *Climatology: An Atmospheric Science*. 3rd Edition. Prentice Hall, New York. 408 p.

Hooghiemstra H., 1984: Vegetational and climatic history of the High Plain of Bogotá, Colombia: A continuous record of the last 3.5 million years. En T. van der Hammen (Ed.), 1984: *The Quaternary of Colombia*, 10, CRAMER, 368 p.

Hooghiemstra H., Ran E.T.H., 1994: The Pliocene and Quaternary of the high plain of Bogotá (Colombia): An overview of climatic change. *Quaternary International*, 21, pp. 63-80.

Huggel C., Ceballos J.L., Pulgarín B., Ramírez J., Thouret J.C., 2007: Review and reassessment of hazards owing to volcano-glacier interactions in Colombia. *Annals of Glaciology*, 45, pp. 128-136.

Hulme, M. y Sheard, N., 1999 Escenarios de Cambio Climático para Países de los Andes del Norte, Unidad de Investigación Climática, Norwich, Reino Unido, 6pp.

Hurtado G., 2012: Características y tendencias a largo plazo de las olas de calor y de frío en Colombia. Informe Técnico contrato 223-2012. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C.,

IDEAM-DPAD, 2002: Efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno El Niño en Colombia. Publicación del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y de la Dirección para la Prevención y Atención de Desastres. Bogotá D.C., 52 p.

IDEAM-MINAMBIENTE-PNUD, 2001: Colombia, Primera Comunicación Nacional ante la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Bogotá D.C., 307 páginas.

IDEAM, 2010: Segunda Comunicación Nacional de Colombia ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

IPCC, 1990: Climate Change: the IPCC Scientific Assessment. (Report of the Working Group I for the First Assessment Report of the IPCC). Cambridge University Press. Cambridge, UK, 364 p.

IPCC, 1996: Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the International Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, UK, 572 p.

IPCC, 2000: Special Report on Emissions Scenarios. Edited by N. Nakicenovic and R. Swart. / Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NJ, USA.

IPCC, 2007a: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC, 2007b: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 688.

Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha

S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D., 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. of American Meteor. Soc.*, v.77, No.3, pp. 437-471.

Lau W., & Waliser D., 2012: Intraseasonal Variability in the atmosphere-ocean climate system. Chichester: Springer-Praxis.

Lau K.-M., Sheu P.J., 1988: The Annual Cycle, Quasi-biennial Oscillation, and Southern Oscillation in Global Precipitation. *J. of Geophys. Res.*, 93, N D9, pp. 10975-10988.

León G.E., 2000a: Tendencia de la temperatura del aire en Colombia. *Meteorología Colombiana*, N. 2, pp. 57-65.

León G.E., 2000b: Variabilidad y tendencia de la temperatura del aire en las cuatro ciudades principales de Colombia. *Meteorología Colombiana*, No. 2, pp. 81-86.

Li W., Zhang P., Ye J., Li L., Baker P.A., 2011: Impact of two different types of El Niño events on the Amazon climate and ecosystem productivity. *J. of Plant Ecology*. 4 (1-2).

Lozano J.A., Pabón J.D., (Eds) 1995: Memorias del Seminario Taller sobre Alta Montaña Colombiana. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Memorias, No. 3, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Bogotá D. C. 114 p.

Lozano J.A., León G.E., Pabón J.D., (Eds) 1996: Memorias del Primer Seminario Nacional sobre Cambio Climático (Santa Fe de Bogotá, 3 y 4 de marzo de 1994). Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Santa Fe de Bogotá, D.C. 133 p.

Ludescher J., Gozolchiani A., Bogachev M.I., Bunde A., Havlin S., Schellnhuber H.J., 2013: Improved El Niño forecasting by cooperativity detection. *Proc Natl Acad Sci USA* 110(29), pp. 11742–11745.

Ludescher J., Gozolchiani A., Bogachev M.I., Bunde A., Havlin S., Schellnhuber H.J., 2014: Very early warning of next El Niño. *Proc. Natl Acad Sci.*, 111 (6), pp.2064-2066

Mann M.E., 2002: The Little Ice Age. In: Encyclopedia of the Global Environmental Change, volume I, “The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change”, John Wiley & Sons, Chichester. pp 504–509.

Mann M.E., Zhang Z., Rutherford S., Bradley R.S., Hughes M.K., Shindell D., Ammann C., Faluvegi G., Ni F., 2009: Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science*, v.326, pp. 1256-1260.

Martin E., Schumacher C., 2012: Modulation of Caribbean precipitation by the Madden-Julian Oscillation. *Journal of Climate*, 813-824.

MAVDT-IDEAM-PNUD, 2010: Segunda Comunicación de Colombia ante la Convención Marco de Cambio Climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C. 443 p.

Mayorga R., Hurtado G., Benavides H., 2011: Evidencias de cambio climático en Colombia con base en información estadística. Nota Técnica del IDEAM, IDEAM–METEO/001-2011, Bogotá D.C., 48 p.

Meehl G.A., Covey C., Delworth T., Latif M., McAvaney B., Mitchell J.F.B., Stouffer R.J., Taylor K.E., 2007: The WCRP CMIP3 multimodel dataset. A New Era in Climate Change Research. *Bulletin of American Meteorological Society*, 88 (9), pp.1383-1394

Mesa O.J., Poveda G., Carvajal L.F., 1997: Introducción al clima de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas, Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Medellín, 390 p.

Molina A., Bernal N.R., Pabón J.D., Martínez J., Vega E., 2000: Reducción de escala estadístico aplicado a datos del CCM3 para generar datos de temperatura del aire en superficie. *Meteorología Colombiana*, N° 2, pp. 95-100.

Molina A., Bernal N.R., Vega E E., Martínez J., Pabón J.D., 2003: Cambios en la temperatura del aire en Colombia bajo un escenario de duplicación de dióxido de carbono. *Meteorología Colombiana*, No.7. Marzo de 2003, pp. 21-35.

Montealegre J.E., Pabón J.D., 1992: Interrelación entre el ENOS y la precipitación en el noroccidente de Suramérica”. *Boletín ERFEN*, No. 31, p. 12.

Montealegre J.E., (2009: Estudio de la

Variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala. Nota Técnica IDEAM, IDEAM -METEO/022-2009.

Montealegre J.E., 2014: Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. Informe de contrato de prestación de servicios profesionales No IDEAM 078 -2014. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., 134 páginas.

Mulligan M., 2000: Downscaled Climate Change Scenarios for Colombia and their Hydrological Consequences. *Advances in Environmental Monitoring and Modeling*, Vol. 1, No. 1, pp.3-35.

Nakaegawa T., Vergara W., 2010:First Projection of Climatological Mean River Discharges in the Magdalena River Basin, Colombia, in a Changing Climate during the 21st Century. *Hydrological Research Letter*, 4, pp. 50-54.

Navarra A., (Ed.), 1999: Beyond El Niño. Decadal and Interdecadal Climate Variability. Springer.-Verlag. Berlin-Heidelberg, 374 p.

Pabón J.D., 1996: Variabilidad inter-anual de la precipitación estacional en la Amazonia Colombiana. En: “*Dialogo en la Amazonia: Estructuración territorial, ética ambiental y desarrollo en Colombia*”. Memorias del XIII Congreso de Geografía, 11-15 de agosto de 1994, Florencia, Caquetá). Universidad de la Amazonia - ACOGE - OEA -PROMESUP, 87-96.

Pabón J.D., Pulido S.I., 1998: La Variabilidad Climática Inter-Decadal en la Sabana de Bogotá. *Cuadernos de Geografía*, volumen VII, No. 1-2, pp. 94 – 100.

Pabón J.D., 1995a: Búsqueda de Series de Referencia para el Seguimiento de la Señal Regional del Calentamiento Global”. *Cuadernos de Geografía*, v.V., pp. 164-173.

Pabón, J. D. 1995b. Aspectos globales y regionales del cambio climático y su impacto en la alta montaña colombiana. En: Memorias del Seminario Taller sobre Alta Montaña Colombiana (Santa Fe de Bogotá, octubre de 1993). Colección Memorias No. 3, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Bogotá D. C. p. 19-32.  
Pabón J.D., Pulido S.I., Jaramillo O., Chaparro J.A., 1998: Análisis Preliminar de la Isla de Calor en la Sabana de Bogotá. *Cuadernos de Geografía*, v. VII, No. 1-2, pp.87-93.

Pabón J.D., Cárdenas I., Kholostyakov R., Calderón A.F., Bernal N., Ruiz F., 2001a: Escenarios climáticos para el siglo XXI sobre el territorio colombiano. Informe Técnico Interno del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Bogotá, D.C., Colombia.

Pabón J.D., Eslava J.A., Pelkowski J., Montoya G.J., Vega E.E., 2001b: Resultados de la simulación del clima por CCM3. *Meteorología Colombiana*. No. 4, pp. 61-64.

Pabón J.D., Eslava J.A., Vega E.E., 2001c: Comparación entre los climas simulados por los modelos CCM3 y CSM1. *Meteorología Colombiana*. No. 4, pp. 25-37.

Pabón J.D., Eslava J.A., Pelkowski J., Montoya G.J., Vega E.E., 2001d: Resultados de la simulación del clima por CCM3. *Meteorología Colombiana*. No. 4, pp. 61-64.

Pabón J.D., Martínez J., Bernal N.R., Molina A., Vega E.E., 2001e: Aspectos metodológicos del método de reducción de escala. *Meteorología Colombiana*. No. 4, pp. 65-72.

Pabón J.D., Torres G.A., 2006. Efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en la Sabana de Bogotá. *Meteorología Colombiana*. No. 10, marzo 2006, pp. 86-99.

Pabón J.D., Torres G., 2007: Impacto socioeconómico de los fenómenos El Niño y La Niña en la Sabana de Bogotá durante el siglo XX. *Cuadernos de Geografía*, No. 16. pp. 81-94.

Pabón J., Dorado J., 2008: Intraseasonal variability of rainfall over northern South America and Caribbean. *Earth Sci Res J.*, v. 112, pp. 194-212.

Pabón J.D., 2011-a: Improving Climate Prediction Schemes with Intraseasonal Variability: A Key Tool toward Hydrometeorological Disasters Reduction in Tropical America. In: “Natural Disasters Policy Issues and Mitigation Strategies” (Andi Eka Sakya, (Ed.), Centre for Science & Technology of the Non-Aligned and other Developing Countries (NAM S&T Centre), New Delhi, India, 229 p.), pp.: 127-137.

Pabón J.D., 2011-b: El cambio climático en la región de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia – Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Bogotá D.C., 128 páginas.  
Pabón J.D., 2003a: El aumento del nivel del mar en las costas y área insular de Colombia. En: El Mundo marino de Colombia investigación y desarrollo de territorios olvidados Red

de Estudios del Mundo Marino – REMAR, Universidad Nacional de Colombia, pp.75-82.

Pabón J.D., 2003b: El cambio climático global y su manifestación en Colombia. *Cuadernos de Geografía*, v XII (1-2), pp. 111-119

Pabón J.D., 2009: Tendencias en el desarrollo conceptual de la climatología, sus avances en el siglo XX y su contribución al progreso de la geografía. En “Lecturas en Teoría de la Geografía” (J.W.Montoya (Editor): Lecturas en teoría de la geografía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., 377 páginas), pp. 319-335

Pabón J.D., 2011: El cambio climático en la región de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia – Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Bogotá D.C., 128 páginas.

Pabón J.D., Hurtado G., 2002 : Cambios en los patrones de temperatura media anual del aire y precipitación anual en los páramos de Colombia. En: Páramos y Ecosistemas Alto Andinos de Colombia en Condiciones HotSpot & Global Climatic Tensor. (Castaño-Urbe C (Editor), 2002, Bogotá D.C., 387 páginas; pp. 242-251.

Pabón J.D., Lozano J.A., 2005: Aspectos relacionados con las estimaciones globales y regionales del ascenso del nivel del mar y su aplicación a Colombia. *Cuadernos de Geografía*, No. 14, pp. 97-106.

Pabón J.D., 2006: Escenarios de cambio climático para Colombia. En: Memorias del IV Encuentro de la Red de Universidades del Pacífico Sur (RUPSUR), 8-10 de noviembre de 2006.

Pabón J.D., 2007: El cambio climático en Colombia. Tendencias actuales y proyecciones para el siglo XXI. En: Memorias de la Primera Conferencia Internacional de Cambio Climático: Impacto en los Sistemas de Alta Montaña. IDEAM-Universidad de Zurich. Bogotá D.C.- Zurich, pp.31-48.

Pabón J.D., 2008: Escenarios de cambio climático para 24 regiones de Colombia. Informe presentado en el marco del proyecto Integrated National Adaptation Pilot (INAP). Conservación Internacional – Departamento de Geografía (Universidad Nacional de Colombia). Bogotá D.C., 15 páginas.

Pabón J.D., Rodríguez N., Bernal N.R., Castiblanco M.A., Sánchez Y.V., 2013: Modelamiento del efecto del cambio en el uso del suelo en el clima local-regional sobre los

Andes colombianos. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 37 (144): 379-391.

Pabón J.D., 2012: Cambio climático en Colombia: tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 36 (139), pp.127-144.

Pabón J.D., Martínez R., 2016: Third ENSO Conference: findings and key messages *Advances in Geosciences*, 42, 91-93, doi:10.5194/adgeo-42-91-2016

Pabón-Caicedo J.D., Montealegre-Bocanegra J.E., 2017: Los fenómenos de El Niño y de La Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras No. 43. Bogotá D.C., 168 p.

Paegle J.N., Byerle L.A., Mo K.C., 2000:Intraseasonal Modulation of South American Summer Precipitation. *Monthly Weather Review*, 128 (3), pp. 837-850

Peña A.J., Arce B.A., Ayarza M.A., Lascano C.E., 2010: Simulación de los requerimientos hídricos de pasturas en un escenario de cambios climáticos generados con análisis espectral singular. *Acta Agronómica*, No.59 (1), pp. 1-8.

Pérez C.A., Poveda G., Mesa O.J., Carvajal L.F., Ochoa A., 1998: Evidencias de cambio climático en Colombia: Tendencias y cambios de fase y amplitud de los ciclos anual y semianual. *Bulletin de l’Institute Francais d’Études Andines*. 27 (3), pp. 537-546.

Perico-Agudelo D., 2009: El espacio público de la ciudad: una aproximación desde el estudio de sus características microclimáticas. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 2 (4), pp. 278-301.

Poveda E.A., 2008: Efecto del proceso de urbanización en el clima de Bogotá durante el período 1960-2000. Trabajo de Grado. Departamento de Geografía, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia, 55 p.

Poveda G., 2009: Evidences of climate and environmental change on water resources and malaria in Colombia, IOP Conf. Series, Earth Environ. Sci., 6, 292054, doi:10.1088/1755-1307/6/9/292054, online available at : http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/29

Poveda G., Pineda K., 2009: Reassessment of Colombia’s tropical glacier’s retreat rates: are they bound to disappear during the 2010-2020 decade? *Advances in Geosciences*, v.22, pp.107-116.

Poveda G., 1994: Cuantificación de los efectos de El Niño y La Niña sobre los caudales mensuales de los ríos colombianos. *XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica e Hidrología*. IAHS, Santiago, Chile.

Poveda , 2004: La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 28 (107), pp. 201–222 doi:10.5194/adgeo-42-91-2016

Poveda, G., Mesa, O., Agudelo, P., & Álvarez, J., 2002: Influencia del ENSO, oscilación Madden-Julian, ondas del este, huracanes y fases de la luna en el ciclo diario de precipitación en los Andes Tropicales de Colombia. *Meteorología Colombiana*, pp. 3-12.

Purcell A., Huddleston N., (Rapp.), 2016: Frontiers in Decadal Climate Variability. Proceedings of a Workshop. Board on Atmospheric Sciences and Climate - Ocean Sciences Board. Division on Earth and Life Studies. The National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. The National Academies Press, Washington D.C., 79 p.

Quintana-Gómez R.A., 1999: Trends of Maximum and minimum Temperatures in Northern South America. *Journal of Climate*, v. 12 (6), pp. 2104-2112.

Rangel E.S., Montealegre J.E., 2003: Análisis de las series del nivel del mar en el Pacífico colombiano y su relación con el cambio climático. *Meteorología Colombiana*, No.7, pp. 53-66.

Reuter J., Stott L., Khider D., Sinha A., Cheng H., Edwards R.L., 2009: A new perspective on the hydroclimate variability in northern South America during the Little Ice Age. *Geophysical Research Letters*, 36 (21): L21706 DOI: 10.1029/2009GL041051.

Rodríguez-Becerra M., Mance H., 2009: Cambio climático: lo que está en juego. Fondo Nacional Ambiental. Bogotá D.C., 73 p.

Rodríguez N., Pabón J.D., Bernal N., Martínez J., 2010: Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos. Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt – Universidad Nacional de Colombia – Colciencias. Bogotá D.C., 80 páginas.

Rohli R.V., Vega A.J., 2012: Climatology. Second Edition. Jones & Bartlet Learning. Sudbury MA. 425 p.  
Ropelewski C.F., Halpert M.S., 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated

with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, pp. 1606-1626.

Ruiz, F., Martínez M.C., 2007: Report on Activities Performed in MRI-Japan to Simulate Climate in Colombia and the A1B Scenario with the Japanese Model using a Resolution of 20 x 20 Km. Visualizing Future Climate in Latin America: Results from the application of the Earth Simulator. Latin America and Caribbean Region Sustainable Development Working Paper 30, pp. 43-59.

Ruiz F., 2010: Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución (panorama 2011-2100). *Nota Técnica de IDEAM*, No. IDEAM-METEO/005-2010, Bogotá D.C., 91 páginas

Sánchez I., Corredor X., 2014: Jaziku - Statistical inference software for the teleconnections analysis. Book of Abstracts of the III International Conference on ENSO "Bridging the gaps between Global ENSO Science and regional processes, extremes and impacts", Guayaquil, Ecuador, 12-14 November 2014, p 38.

Serna-Cuenca N.J.J., 2013: Efecto de los fenómenos El Niño y La Niña sobre la frecuencia de los eventos de precipitación extrema en la Sabana de Bogotá. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., 152 p.

Takahashi K., Montecinos A., Goubanova K., Dewitte B., 2011: ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño. *Geophys. Res. Lett.*, doi: 10.1029/2011GL047364

Takahashi K., Dewitte B., 2015: Strong and moderate nonlinear El Niño regimes. *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-015-2665-3.

Taylor K.E., Stouffer R.J., Meehl G.A., 2012: An overview of CMIP5 and the experimente design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), pp. 485-498.

Tellez-Guio P., Boshell J.F., Zea J.A., 2001: Proyecciones en los cambios del balance hídrico en Colombia bajo alteraciones en el

contenido del dióxido de carbono. *Meteorología Colombiana*, No. 4, pp. 87-102.

Torres-Pineda C.E., Pabón-Caicedo J.D., 2017: Variabilidad intraestacional de la precipitación en Colombia y su relación con las ondas Madden-Julian. *Revistas de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41 (158), pp. 79-93 doi: <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.380>

Uriarte-Cantilla A., 2010: Historia del Clima de la Tierra. [http://www.herbogeminis.com/IMG/pdf/historia\\_del\\_clima\\_de\\_la\\_tierra\\_anton\\_uriarte.pdf](http://www.herbogeminis.com/IMG/pdf/historia_del_clima_de_la_tierra_anton_uriarte.pdf).

Van der Hammen T., 1986: Fluctuaciones holocénicas del nivel de inundaciones en la cuenca del Bajo Magdalena-Cauca-San Jorge (Colombia). En *Geología Norandina*, 10, Bogotá, pp. 11-18.

Van der Hammen T. & Gonzales E., 1963: Historia del clima y vegetación del Pleistoceno superior y del Holoceno de la Sabana de Bogotá. *Bol. Geol.* 11(1-3) 189-266, SGN.

Van der Hammen T. & Gonzales E., 1964: A pollen diagram from the Quaternary of the Sabana de Bogotá (The Tilatá and Sabana formations). *Geologie en Mijnbouw*, 45, pp. 102-109.

van der Hammen T., Ortiz-Troncoso O.R., 1992: Arqueología y medio ambiente en Suramérica septentrional. In *Archaeology and Environment in Latin America*, pp. 9-24 (O.R. Ortiz-Troncoso and Th. van der Hammen, Eds) *Proceedings of a symposium held at the 46th International Congress fo Americanists Amsterdam July 4-8, 1988*, 304 p.

van der Hammen T., Pabón J.D., Gutierrez H., Alarcón J.C., 2002: El cambio global y los ecosistemas de montaña de Colombia, En: *Páramos y Ecosistemas Andinos de Colombia en Condición de HotSpot & Global Climatic Tensor* (Castaño C., (Editor), IDEAM, Bogotá DC, 387 p), pp. 163-209.

Van der Hammen T. & Hooghiemstra H., 1995: The El Abra Stadial, a Younger Dryas Equivalent

in Colombia. *Quaternary Science Reviews*, 14, pp. 841-851.

Van der Hammen T. & Hooghiemstra H., 1997: Chronostratigraphy and correlation of the Pliocene and Quaternary of Colombia. *Quaternary International*, v. 40, pp. 81-91.

Van der Hammen T. & Cleef M., 1992: Holocene Changes of Rainfall and River Discharge in Northern South America and the El Niño Phenomenon. *Erdkunde*, 46, pp. 252-

Van Geel B. & van der Hammen T., 1983: Upper Quaternary vegetational and climatic sequence of the Fuquene area (Eastern cordillera, Colombia). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 14, pp. 9-92.

van't Veer R, Islebe GA, Hooghiemstra H. 2000. Climate change during the Younger Dryas chron in northern South America: a test of the evidence. *Quaternary Science Reviews* 19, pp. 1821–1835.

Van Vuuren D.P., Edmonds J., Kinuma M., Riahi K., Thomson A., Hibbard K., Hurtt G.C., Kram T., Krey V., Lamarque J-F., Masui T., Meinshausen M., Nakicenovic N., Smith S.J., Rose S.K., 2011: The representative concentration pathways: an overview. *Climate Change*, 109, pp-5-31.

Wijmstra T.A., 1967: A pollen Diagram from the Upper Holocen of the Lower Magdalena Valley. *Leidse Geologische Mededelingen*, 39, pp. 261-267.

WMO, 2017: WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017 - Provisional Release 06.11.2017. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2017-set-be-top-three-hottest-years-record-breaking-extreme-weather> consultado el 29 de diciembre de 2017

Zhang C., 2013: Madden-Julian Oscillation. *Bridging Weather and Climate. Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(12), pp. 1849-1870. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00026.1>

# GLOSARIO

**Anomalía climática:** La anomalía climática es una alteración de la norma y se cuantifica mediante la diferencia entre el valor del elemento climático en un periodo de tiempo determinado, por ejemplo un mes, con respecto al valor medio histórico o norma de la variable climática correspondiente en un lugar dado.

**Cambio Climático:** Modificación de largo plazo de los patrones (distribución espacial, ciclo anual, amplitud, frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos) observados en el clima durante largos periodos (siglos, milenios, etc).

**Clima:** Es un factor ambiental que consiste en las condiciones atmosféricas predominantes en un lugar, en una región ó en el planeta entero, durante un período determinado (meses, años, decenios, etc). Cuantitativamente se representa con los consolidados (promedio, frecuencia, amplitud) de las variables meteorológicas para un período determinado. El patrón climatológico de una región se establece con las características estadísticas de un período de por lo menos 30 años.

**Climatología:** Ciencia dedicada al estudio del sistema climático, la dinámica del clima, distribución de los diferentes tipos de clima y las relaciones del clima con los ecosistemas y las actividades humanas.

**Efecto invernadero:** Propiedad que tiene la atmósfera de retener parte de la radiación de onda larga que la superficie terrestre emite hacia el espacio, la cual se debe a que algunos gases de los que componen el aire (vapor de agua, CO2, CH4, otros), conocidos como gases de efecto invernadero, no son transparentes a esta radiación. La temperatura media global de la atmósfera es de aproximadamente 15°C gracias al efecto invernadero; sí no existiera este efecto, la temperatura estaría entre -23 y -18°C.

**Fenómeno de El Niño:** término usado originalmente para describir la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales más cálidas que lo normal en la región del Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia. Es una de las fases extremas dentro del ciclo conocido como El Niño, La Niña - Oscilación

del Sur, que es la causa de la mayor señal de la variabilidad climática interanual, en la zona tropical.

**Fenómeno de La Niña:** se refiere a las condiciones frías extremas que recurrentemente, pero de manera irregular, se presentan en el sector central y oriental del Pacífico tropical (es el opuesto a las condiciones El Niño), durante por lo menos seis meses. Dicho enfriamiento de la superficie del mar cubre grandes extensiones de la superficie de este océano y por su magnitud altera sensiblemente el clima en diferentes regiones del planeta.

**Meteorología:** Ciencia que estudia la atmósfera de La Tierra, su composición, estructura, dinámica y la influencia de los fenómenos atmosféricos en las actividades humanas.

**Norma climática:** La norma climática es la valoración de las condiciones predominantes o patrones establecidos durante un período y cuantitativamente se representa con características estadísticas (promedio, varianza, frecuencia) de una serie continua de datos de observaciones o mediciones de una variable climatológica (temperatura, humedad, precipitación, etc) para un periodo de por lo menos 30 años.

**Oscilación del Sur:** Variación interanual (de año en año) en el campo bórico del Pácífico tropical generada por los fenómenos de El Niño y de La Niña. Durante los años La Niña la presión atmosférica es mayor en el Pacífico tropical oriental que en el centro-oriental y durante El Niño la situación es inversa. La Oscilación de Sur produce a su vez fluctuación de la circulación atmosférica (de Hadley y de Walker) a través de la cual los fenómenos de El Niño y de La Niña generan anomalías climáticas en regiones remotas.

**Precipitación:** Cantidad total de agua, líquida o sólida, que alcanza la superficie de La Tierra (suelo en el continente, agua en el océano) durante un determinado periodo de tiempo y se expresa por la altura (en milímetros) de la lámina de agua que cubriría el suelo supuesto perfectamente horizontal y si no hubiese pérdidas por infiltración o por evaporación. Un

milímetro de lluvia equivale a un litro de agua por metro cuadrado de superficie.

**Predicción climática:** Establecimiento de las condiciones climáticas con anticipación de un mes, una estación (tres-cuatro meses), o hasta un año.

**Presión atmosférica:** Es la fuerza que la atmósfera ejerce, en razón de su peso, sobre una superficie. Por consiguiente, es igual al peso (expresado en hectopascales o milibares) de una columna vertical de aire que se extiende desde la superficie al límite superior de la atmósfera.

**Pronóstico del tiempo:** se refiere específicamente a la determinación de la evolución futura del estado de la atmósfera en lapsos de horas y días subsiguientes.

**Tiempo atmosférico:** Es el estado de la atmósfera en un momento determinado. Cuando se habla del estado tiempo se hace referencia a las situaciones (cálidas ó frías, secas ó húmedas, de cielo nublado o despejado) observadas en ese instante.

**Temperatura:** Es la medida de la energía cinética media (nivel de agitación) de las moléculas del aire alrededor del termómetro. Es un índice indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire que resulta del intercambio de calor entre la atmósfera y La Tierra

**Variabilidad climática:** Fluctuación de las condiciones atmosféricas predominantes (clima) alrededor de la norma dentro de rangos establecidos para los procesos en el sistema climático. Se determina mediante el análisis de la secuencia de anomalías climáticas.

**Vientos Alisios:** (o Alisios) Sistema de vientos relativamente persistentes en dirección y velocidad que soplan en ambos hemisferios, desde aproximadamente los 20° de latitud (Norte o Sur) hacia el Ecuador con dirección noreste en el hemisferio norte y sureste en el hemisferio sur.

**Zona de Convergencia Intertropical:** Es la franja en donde confluyen los vientos alisios del noreste y del sureste (que soplan al lado y lado del Ecuador).

# LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA



Instituto de Hidrología,  
Meteorología y  
Estudios Ambientales

