



# Informe del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables 2011

## Impacto del clima en Colombia y Cambio Climático Global



1

TOMO



**MinAmbiente**  
Ministerio de Ambiente  
y Desarrollo Sostenible

**PROSPERIDAD  
PARA TODOS**

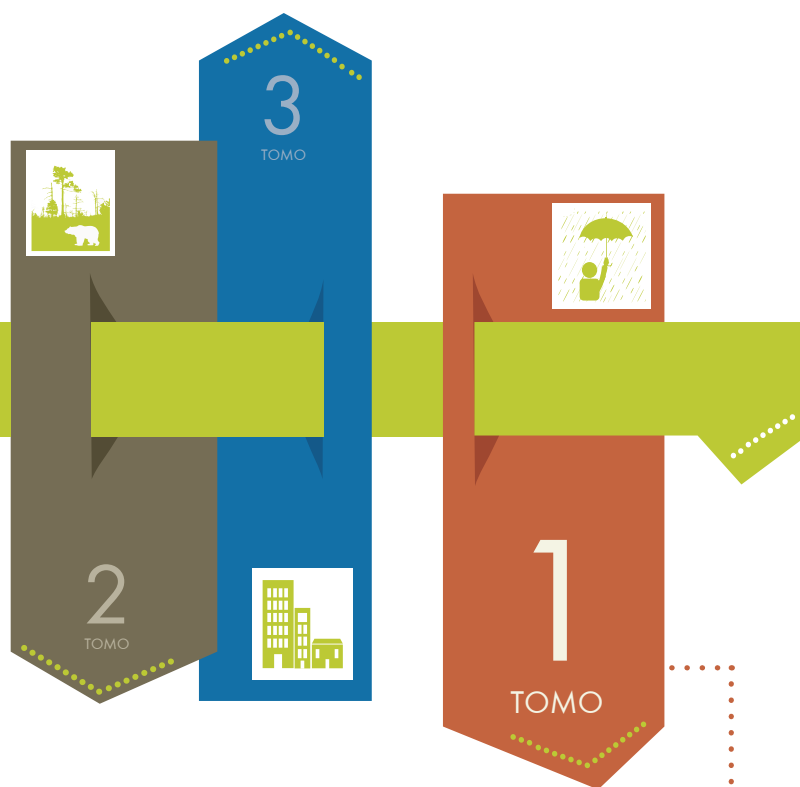


Instituto de Hidrología,  
Meteorología y  
Estudios Ambientales



# Informe del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables

2011



Impacto del clima en Colombia y  
Cambio Climático Global



**JUAN MANUEL SANTOS CALDERÓN**  
Presidente de la República de Colombia

**LUZ HELENA SARMIENTO VILLAMIZAR**  
Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

**PABLO ABBA VIEIRA SAMPER**  
Viceministro de Ambiente

**ÓMAR FRANCO TORRES**  
Director General - IDEAM  
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM

**JOSÉ ALAÍN HOYOS HERNÁNDEZ**  
Subdirector de Estudios Ambientales – IDEAM

#### **EDITORES**

Lina María Carreño Correa y Max Alberto Toro Bustillo  
Subdirección de Estudios Ambientales – IDEAM

#### **COMITÉ EDITORIAL**

Lina María Carreño Correa, Max Alberto Toro Bustillo, Estefanía Ardila Robles, Jairo Miguel Guerra, Óscar Orrego, Carolina García Valencia, Leonardo Arias-alemán y William Castro Pulido

#### **CORRECCIÓN DE ESTILO**

Imprenta Nacional de Colombia

#### **DISEÑO DE LA CARÁTULA**

Bibiana Lissette Sandoval Báez  
Grupo de Comunicaciones – IDEAM

#### **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**

Imprenta Nacional de Colombia

#### **FOTOGRAFÍA DE LA CARÁTULA**

Reconstrucción canal del dique. Oscar Martinez

#### **CARTOGRAFÍA**

Institutos de Investigación del SINA: IDEAM, IAvH, Invemar, SINCHI e IIAP.

#### **REPRODUCCIÓN, IMPRESIÓN Y EMPAQUE**

Imprenta Nacional de Colombia  
Bogotá - Colombia

#### **CÍTESE COMO**

IDEAM, IAvH, Invemar, SINCHI e IIAP, Tomo 1: Impacto del clima en Colombia y Cambio climático Global. Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables 2011. Bogotá, D. C., 2013. 164 pag.

Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, noviembre de 2013, Bogotá, D. C., Colombia.

ISSN: 2346-1586  
Distribución Gratuita

2013, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. 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.

Impreso en Colombia – Printed in Colombia

## Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

### Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM

ÓMAR FRANCO TORRES  
Director General - IDEAM

CLEMENTINA DEL PILAR GONZÁLEZ PULIDO  
Secretaria General - IDEAM

### CONSEJO DIRECTIVO

LUZ HELENA SARMIENTO VILLAMIZAR  
Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

CECILIA ÁLVAREZ CORREA GLEN  
Ministra de Transporte

TATIANA OROZCO DE LA CRUZ  
Directora General  
Departamento Nacional de Planeación - DNP

JORGE RAÚL BUSTAMANTE ROLDÁN  
Director General  
Departamento Nacional de Estadísticas - DANE

JUAN PABLO RUIZ SOTO  
Delegado  
Presidencia de la República

RAMÓN LEAL LEAL  
Director Ejecutivo  
Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible - ASOCARS

PAULA MARCELA ARIAS PULGARÍN  
Directora General  
Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - Colciencias

CLEMENTINA DEL PILAR GONZÁLEZ PULIDO  
Secretaria Técnica del Consejo

## DIRECTIVAS

NELSON ÓMAR VARGAS MARTÍNEZ

Subdirector de Hidrología

JOSÉ ALAÍN HOYOS HERNÁNDEZ

Subdirector de Estudios Ambientales

MARÍA SARALUX VALBUENA LÓPEZ

Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

MARÍA TERESA MARTÍNEZ GÓMEZ

Subdirectora de Meteorología

CHRISTIAN FELIPE EUSCATEGUI COLLAZOS

Jefe Oficina Pronósticos y Alertas

FAVIANA ESTHER FAJARDO FERREIRA

Jefe(E) Oficina Asesora de Planeación

JUAN JOSÉ POSADA URIBE

Coordinador Grupo de Comunicaciones

LEONARDO CÁRDENAS CHITIVA

Jefe Oficina de Informática

ADRIANA PORTILLO TRUJILLO

Jefe Oficina Asesora Jurídica

MARÍA EUGENIA PATIÑO JURADO

Jefe Oficina Control Interno

## Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI

LUZ MARINA MANTILLA CÁRDENAS

Directora General

ROSARIO PIÑERES VERGARA

Subdirectora Administrativa y Financiera

CATALINA CHICA VARGAS

Oficina Asesora de Planeación

WILLIAM CASTRO PULIDO

Subdirección Científica y Tecnológica

## Instituto de Investigación de Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt” - IAvH

BRIGITTE LG BAPTISTE BALLERA  
Directora General

JERÓNIMO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ  
Subdirector Científico

## Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon Von Neuman - IIAP

WILLIAM KLINGER BRAHAN  
Director General

SATÚ DEL PILAR LOZANO MAYA  
Secretaría General y Jurídica

JAIRO MIGUEL GUERRA GUTIÉRREZ  
Subdirector de Investigaciones

## Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” - Invemar

FRANCISCO ARMANDO ARIAS ISAZA  
Director General

JESÚS ANTONIO GARAY TINOCO  
Subdirector de Coordinación de Investigaciones

SANDRA RINCÓN CABAL  
Subdirectora Recursos y Apoyo a la Investigación

## AUTORES Y COLABORADORES TOMO 1

### Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM

*Autores:* Olga Cecilia González Gómez, Nelsy Verdugo Rodríguez, Reinaldo Sánchez López, Eliana Carolina Rincón Carrera, Jorge Luis Ceballos Liévano, Edgard Leonardo Real Núñez, Camilo Eduardo Rodríguez Murcia, Mónica Cuéllar Buraglia, Mery Johana Ladino Zuluaga, Félix Ignacio Meneses Arias, Andrea Onelia Rodríguez Roa, Gloria León Aristizábal, José Franklyn Ruiz Murcia, Ómar Felipe de Jesús Escobar García, Henry Oswaldo Benavides Ballesteros, Carlos Enrique Rocha Enciso, Natalia Gutiérrez, Carolina López Miranda y Diana Carolina Lugo, Cristian Arango, Jennifer Dorado, Diana Guzmán.

*Colaboradores IDEAM:* Henry Benavides Ballesteros, Gloria León Aristizábal.



## Presentación de la Dirección

Los procesos ininterrumpidos de seguimiento y monitoreo de las diferentes problemáticas ambientales, la construcción de datos e información y la consolidación del conocimiento enmarcada en la función pública del SINA constituyen uno de los mayores logros del sector ambiental, específicamente de sus cinco instituciones de investigación y de información desde la Ley 99 de 1993.

En Colombia, tal desempeño se fundamenta en la combinación de los resultados de investigación estructurada de los centros de investigación y académicos mundiales más importantes, con un enfoque notable de la ciencia construida y de los resultados emanados desde la perspectiva de la ciencia posnormal que permiten avanzar en escenarios exploratorios sobre condiciones aún inciertas.

El resultado ha permitido que el conocimiento ambiental sea de interés y de amplia utilidad para los formuladores y evaluadores no solamente de la política ambiental a nivel global y nacional sino de otros sectores estatales y privados.

Uno de los resultados más significativos de tales procesos de investigación y desarrollo es *El informe del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables 2011*, que la Dirección General tiene el gusto de presentar siendo el IDEAM, entidad en la que recae la labor de consolidación a nivel nacional de los diferentes avances logrados por las instituciones de investigación.

En este sentido el informe es mucho más que un reporte de información de cada una de estas instituciones, constituye la síntesis de acuerdos, que denotan importantes logros en integración y articulación de información y conocimiento.

Adicionalmente, este informe representa un avance significativo en la evaluación del estado del medio ambiente debido a que da continuidad a los análisis con base en indicadores que se esbozaron en el informe 2010 y que se mantienen en la presente versión 2011, indicadores que resultan fortalecidos y que permitirán hacia el futuro la estructuración de informes de balance y resultado de políticas, con base en relaciones de causa-efecto.

Dirección General  
IDEAM.

## Prólogo

¿Cuáles son los problemas ambientales más importantes de Colombia? ¿Cómo han evolucionado estos problemas en años recientes? Cuál es el patrimonio natural del país? Las respuestas a estos interrogantes se encuentran en el Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales del 2011 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). El Informe presenta avances significativos en el aprendizaje social en el camino hacia el desarrollo sustentable, y la conservación efectiva del patrimonio natural.

Una de las mejores maneras de garantizar el aprendizaje social y la participación democrática en el manejo de los recursos naturales y la gestión ambiental es facilitando la información y los medios para que los ciudadanos hagan una estricta vigilancia de los recursos del Estado y del patrimonio natural del país. En este sentido, en concordancia con las responsabilidades asignadas al IDEAM, el informe recopila la información científica y técnica sobre el patrimonio ambiental del país y hace seguimiento de los recursos biofísicos nacionales.

El levantamiento, recopilación, procesamiento, análisis y validación de información para garantizar la conformación de líneas base ha requerido un proceso de coordinación interinstitucional. La preparación de este informe ha sido posible gracias al liderazgo del IDEAM en la coordinación interinstitucional con entidades gubernamentales y no gubernamentales, centros académicos y organizaciones internacionales. Adicional a la obtención, procesamiento y divulgación de información básica sobre los ecosistemas y recursos físicos nacionales, este informe incluye series de tiempo con la evolución de indicadores ambientales, identificación de riesgos, análisis económicos, y comparaciones con referencias nacionales e internacionales.

Los eventos climáticos extremos han aumentado en intensidad en los últimos años con impactos negativos sobre la vida y el patrimonio de los colombianos. Los eventos de la Niña en el 2010 y 2011 llevaron a los mayores niveles registrados de precipitación en cuatro décadas. El efecto de las lluvias se refleja en mayores inundaciones y deslizamientos de tierra. Durante estos años la superficie inundada fue de 5.5 millones de hectáreas de las 10 millones de hectáreas de zonas inundables periódicamente. Los impactos de los desastres asociados con el clima analizados en este informe ponen de relieve la importancia de fortalecer el equipamiento hidrometeorológico para garantizar el pronóstico temprano de eventos climáticos extremos y el diseño y puesta en marcha de sistemas de alerta temprana. Los cambios en los patrones del clima dificultan los pronósticos y hacen que las decisiones sobre inversiones y actividades se tengan que efectuar con base en información parcial e imperfecta que cambia de manera continua. La información que se presenta es una herramienta fundamental para integrar los riesgos e incertidumbre correlacionados con el cambio climático en los procesos de decisión nacionales.

Resulta paradójico que las regiones del territorio nacional dotadas con mayor abundancia de biodiversidad y recursos naturales, como la Amazonía o el Chocó Biogeográfico, sean a su vez epicentros de conflictos sociales y registren alta incidencia de pobreza. Este informe da especial énfasis a la presentación de datos sobre biodiversidad recopilada a partir del Sistema de Información sobre Biodiversidad. La fragmentación de los hábitats naturales, particularmente de áreas ricas en biodiversidad, revelan el empeoramiento de las condiciones económicas de quienes tienen por sustento los recursos naturales en proceso de degradación. Con esta información es factible hacer seguimiento a las condiciones ambientales y las tendencias en el tiempo de los procesos de cambio de cobertura forestal y de fragmentación de bosques.

La elevación del nivel del mar y los eventos climáticos extremos resaltan la importancia del manejo integrado de áreas costeras. El análisis del estado de las áreas marinas y costeras, en el Informe del 2011, evalúa los cambios de estado de los arrecifes coralinos, los manglares y pastos marinos. De manera paralela se examina la calidad del agua de zonas costeras y

marinas. Los análisis mencionados fundamentan propuestas de planes de manejo integrado de unidades ambientales costeras, ordenamiento de manglares y áreas marinas protegidas.

Otra de las innovaciones del Informe del 2011 es el uso de análisis comparativos con indicadores nacionales e internacionales en temáticas como el espacio público. El análisis de la calidad urbana incluye temas como el espacio público, las zonas verdes en centros urbanos, que permiten dar lineamientos para mejoras continuas de la calidad de vida del mayor porcentaje de la población colombiana. El informe también incluye índices de riesgo de calidad de agua y de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento para consumo humano. Información sobre sitios con altos niveles de tóxicos como mercurio permiten identificar las fuentes de estos contaminantes, para garantizar un control efectivo. Idealmente, esta información permitirá a los ciudadanos tomar mejores decisiones sobre dónde vivir y cómo tener una mayor calidad de vida.

Una de las mayores contribuciones de este informe es el análisis de la interrelación entre el ambiente y los recursos naturales, y el bienestar de los colombianos que incluyen valoraciones económicas del costo de degradación ambiental y su impacto distributivo tales como las realizadas por el Banco Mundial en los últimos años. De acuerdo con tales valoraciones el informe el daño a la salud humana generado por la degradación ambiental en Colombia se aproxima a 2% del producto nacional bruto. Los mayores problemas ambientales asociados con los daños a la salud humana incluyen la contaminación del aire urbana e intradomiciliaria y las deficiencias en el suministro de agua de consumo y en la prestación de servicios de saneamiento. Para el 2012 los problemas ambientales están asociados a muertes prematuras. Del total el 65% correspondían a contaminación atmosférica urbana, 20% al inadecuado suministro de agua y servicios de saneamiento y 15 % a la contaminación por uso de combustibles sólidos en los hogares. Las evaluaciones del impacto distributivo de los daños ambientales en el medio ambiente como la contaminación atmosférica en ambientes interiores muestra que los grupos más vulnerables son los de niños menores a 5 años y las mujeres mayores a 30 años.

En resumen, este informe constituye una base sólida para generar políticas dirigidas a orientar el desarrollo hacia el modelo de economía verde adoptado en la Conferencia de Naciones Unidas para Desarrollo (Rio +20). El uso de los resultados de los análisis, que se presentan en este informe, permite iniciar un debate y convertir en realidad políticas públicas y programas que consoliden el aprendizaje social en el camino hacia el desarrollo sustentable mediante la transformación de los réditos del capital natural en bienestar económico y en mejoras continuas de la calidad de vida de los colombianos.

Ernesto Sánchez Triana Ph.D.  
Especialista ambiental líder para América Latina del Banco Mundial.

## Agradecimientos

A los funcionarios y contratistas de los diferentes Institutos de Investigación por su aporte en datos e información básica para la producción del informe. De la misma forma a los funcionarios del Instituto Nacional de Salud, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y al Comité Directivo del Sistema de información para Colombia quienes comentaron el enfoque del informe.

A los doctores Ricardo José Lozano Picón y Maríz Claudia García Dávila, quienes en calidad de Director General (2009-2012) y subdirectora de Estudios Ambientales (2012-2013) del IDEAM, impulsaron el desarrollo del presente informe.

En el IDEAM a Fabian Mauricio Pinzón Rincón, Coordinador del Grupo de Seguimiento a la Sostenibilidad del Desarrollo y a los funcionarios de la Subdirección de Estudios Ambientales que tuvieron a su cargo la gestión administrativa del presente informe. De la misma forma a los funcionarios del centro de documentación y del Grupo de Comunicaciones del IDEAM quienes aportaron sus habilidades en diseño y publicación en medios digitales para hacer de este un documento visible en la web y accesible al público en los diferentes medios.



## TABLA DE CONTENIDO TOMO 1, 2 Y 3

RESUMEN EJECUTIVO.....	21
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	29
CONTEXTO NACIONAL .....	31

### Impacto del clima en Colombia y Cambio Climático Global ..... Tomo 1

2. IMPACTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL TERRITORIO DURANTE EL PERIODO 2010 A 2012.5.....	41
2.2 EFECTOS DE LOS EVENTOS ENOS EN LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA EN EL PERIODO 2010 A 2012 .....	42
2.1.1 Comportamiento de la Precipitación.....	42
2.1.2 Comportamiento de la temperatura media.....	49
2.2 IMPACTOS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL TERRITORIO .....	54
2.2.1 Afectación de los niveles de los ríos en el periodo 2010 - 2012.....	58
2.2.2 Síntesis de la caracterización de las zonas de inundaciones 2010 - 2011.....	60
2.2.3 Deslizamientos de tierra en Colombia al año 2012 .....	63
2.2.3.1 Deslizamientos de tierra en Colombia entre el 2001 y 2012 (enero - agosto).....	63
2.2.3.2 Persistencia de la amenaza por deslizamientos durante el evento Niña 2011-2012.....	66
2.2.4 Retroceso de los glaciares en Colombia y vulnerabilidad de las poblaciones aledañas. ....	68
2.2.5 Incendios forestales durante el año 2011 .....	72
2.2.6 Variación del ozono y la radiación UV en Colombia. Impacto en la Salud.....	77
2.2.7 Bibliografía Impacto del Clima en el territorio.....	83

### APÉNDICE: PROYECCIONES CLIMÁTICAS REGIONALES Y EMISIONES DE GEI DE COLOMBIA. .... 85

I. EVALUACIÓN DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES EN LA REPRESENTACIÓN DE LA VARIABILIDAD INTERANUAL RELACIONADA CON LOS FENÓMENOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA Y SU POSIBLE PROYECCIÓN.....	92
II. CAMBIO CLIMÁTICO MÁS PROBABLE PARA COLOMBIA A LO LARGO DEL SIGLO XXI RESPECTO AL CLIMA PRESENTE .....	101
III. INDICADORES QUE MANIFIESTAN CAMBIOS EN EL SISTEMA CLIMÁTICO DE COLOMBIA: AÑOS Y DÉCADAS MÁS CALIENTES Y LAS MÁS Y MENOS LLUVIOSAS.....	118
IV. ALTERACIONES DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA ANTE VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ. ....	135
V. CONSTRUCCIÓN DE SERIES DE TIEMPO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE COLOMBIA 1990-2008. ....	154

Estado de la Biodiversidad, de los ecosistemas continentales, marinos, costeros  
y avances en el conocimiento .....Tomo 2

3. DEFORESTACIÓN EN COLOMBIA, TENDENCIAS Y FACTORES DE CAMBIO.....	23
3.1 CUANTIFICACIÓN DE LA DEFORESTACIÓN Y SUS TENDENCIAS A ESCALA NACIONAL .....	24
3.1.1 Cuantificación de la deforestación histórica (1990-2000-2005-2010). Participación regional.....	25
3.1.2 Análisis de tendencias y patrones espaciales de deforestación en Colombia .....	31
3.1.3 Identificación de los hotspots de deforestación en Colombia .....	32
3.2 AVANCES EN LOS ESTUDIOS SOBRE LOS FACTORES DE CAMBIO EN LA COBERTURA BOSCOSEA DE LA AMAZONÍA COLOMBIANA. POBLAMIENTO Y DINÁMICAS DE MOVILIDAD Y CRECIMIENTO ECONÓMICO. ....	36
3.2.1 Análisis de cambios de coberturas en la amazonía colombiana. ....	37
3.2.2 Sistema de asentamientos humanos y jerarquía urbana en la región Amazónica colombiana .....	55
3.2.3 Consumo de energía eléctrica en la región Amazónica colombiana .....	67
3.3 DEFORESTACIÓN EVITADA. ....	77
3.3.1 Estimación de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO <sub>2</sub> e) por la conversión de bosques naturales a praderas, durante los periodos 2000-2005 Y 2005-2010 .....	77
3.3.2 Reservas potenciales de carbono almacenado en la biomasa aérea de los bosques naturales de Colombia .....	79
3.4 BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO DEFORESTACIÓN .....	82
4. ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS CONTINENTALES Y BIODIVERSIDAD EN COLOMBIA. REGISTROS OFICIALES Y SISTEMA DE INFORMACIÓN .....	87
4.1 CONTEOS GENERALES .....	89
4.2 DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES EN COLOMBIA.....	91
4.3 ECOSISTEMAS EN COLOMBIA .....	92
4.4 ESPECIES AMENAZADAS, INVASORAS Y USOS DE LA BIODIVERSIDAD.....	92
4.5 POBLACIÓN EN BIOMAS .....	93
4.6 DATOS E INFORMACIÓN SOBRE BIODIVERSIDAD DISPONIBLES EN EL SIB COLOMBIA .....	99
4.6.1 Proceso de compilación y análisis de registros biológicos.....	101
4.6.2 Registros biológicos por grupos de organismos .....	102
4.6.3 Registros biológicos y especies por departamento y municipio .....	103
4.6.4 Agrupación de registros biológicos por criterios temáticos .....	109
4.7 ESPECIES EN CATEGORÍAS DE AMENAZA UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (UICN).....	112
4.8 REGISTRO NACIONAL DE COLECCIONES BIOLÓGICAS .....	115
4.9 METADATOS DE LA INFORMACIÓN SOBRE BIODIVERSIDAD EN COLOMBIA. ....	118
4.10 BIBLIOGRAFÍA ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS CONTINENTALES. ....	124
5. ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL DE LA REGIÓN DEL CHOCÓ BIOGEOGRÁFICO COLOMBIANO .....	129
5.1 METODOLOGÍA GENERAL.....	131

5.2	COMPONENTE BIODIVERSIDAD.....	132
5.2.1	Criterio de Diversidad y Singularidad de Especies y Ecosistemas.....	132
5.2.2	Criterio de Funcionalidad de los Ecosistemas-Integridad Ecológica.....	154
5.3	COMPONENTE DE FUNCIONALIDAD Y SERVICIOS.....	170
5.3.1	Criterio de provisión.....	170
5.3.2	Estructura ecológica de provisión de la región del Chocó biogeográfico.....	171
5.3.3	Componente Cultural.....	182
5.4	ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL DEL CHOCÓ BIOGEOGRÁFICO.....	184
5.5	BIBLIOGRAFÍA SOBRE ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL CHOCO BIOGEOGRÁFICO.....	186
6.	ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS Y DE LA BIODIVERSIDAD DE LA AMAZONÍA.....	193
6.1	ESTADO DEL CONOCIMIENTO, USO Y CONSERVACIÓN DE LA FLORA EN LA AMAZONÍA COLOMBIANA.....	193
6.1.1	Colecciones biológicas de la Amazonía colombiana.....	194
6.1.2	Diversidad florística de la Amazonía colombiana.....	195
6.1.3	Especies útiles de la Amazonía colombiana.....	197
6.1.4	Enclaves del Escudo Guayanés en la Amazonía Colombiana.....	198
6.1.5	Plantas amenazadas en Amazonía colombiana.....	203
6.1.6	Plantas introducidas a la Amazonía colombiana.....	205
6.1.7	Plantas invasoras en la Amazonía colombiana.....	207
6.2	RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS Y CALIDAD AMBIENTAL DE HUMEDALES AMAZÓNICOS.....	208
6.2.1	Área de estudio.....	209
6.2.2	Calidad de hábitat.....	210
6.2.3	Calidad física, química y microbiológica de las aguas continentales amazónicas.....	211
6.2.4	Biota acuática.....	213
6.2.5	Especies incluidas dentro de las categorías de las listas rojas.....	216
6.2.6	Síntesis general.....	219
6.3	CAPTURA DE PECES COMERCIALES EN LA AMAZONÍA COLOMBIANA.....	220
6.4	ESTADO DEL INVENTARIO DE MICROORGANISMOS EN SUELOS DE LA AMAZONÍA COLOMBIANA.....	223
6.4.1	Estado actual del conocimiento de los microorganismos rizosféricos.....	224
6.4.2	Inventario de microorganismos por herramientas moleculares sin información sobre su función específica en el suelo.....	226
6.5	BIBLIOGRAFÍA SOBRE EL ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS Y DE LA BIODIVERSIDAD DE LA AMAZONÍA.....	226
7.	ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS EN COLOMBIA.....	435
7.1	CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS. EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS (ICAM <sub>PF</sub> ).....	235
7.2	ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS Y HÁBITATS MARINOS Y COSTEROS EN COLOMBIA.....	238
7.2.1	Arrecifes coralinos.....	238
7.3	EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS CORALES. INDICADOR DE INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE CORALES.....	239

7.3.1	Manglares.....	242
7.3.2	Evaluación del estado de los manglares del país.....	246
7.3.3	Pastos marinos.....	249
7.4	ASPECTOS FISICOQUÍMICOS Y CALIDAD DEL MEDIO ABIÓTICO MARINO Y COSTERO: HIDROCARBUROS, METALES PESADOS, PLAGUICIDAS Y MICROORGANISMOS DE CONTAMINACIÓN FECAL.....	251
7.4.1	Hidrocarburos aromáticos disueltos y dispersos (HDD).....	252
7.4.2	Residuos de plaguicidas.....	253
7.4.3	Metales pesados.....	254
7.4.4	Microorganismos indicadores de contaminación fecal.....	255
7.5	AVANCES EN PLANIFICACIÓN, PROTECCIÓN Y ACCIONES DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ZONAS MARINAS Y COSTERAS.....	256
7.5.1	Planes de manejo integrado en las Unidades Ambientales Costeras.....	258
7.5.2	Ordenamiento de manglares.....	259
7.5.3	Diseño e implementación del subsistema de áreas marinas protegidas en Colombia.....	259
7.6	PROTECCIÓN DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS, PLANES DE MANEJO DE MANGLARES.....	261
7.7	ACCIONES NACIONALES Y SECTORIALES DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	263
7.8	BIBLIOGRAFÍA ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS, MARINOS Y COSTEROS COLOMBIA.....	263

## Contaminación del aire y agua en Colombia e impactos sobre la salud.....Tomo 3

8.	CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y RESIDUOS. DESCUIDO EN LOS MEDIOS DE VIDA COMUNES.....	15
8.1	LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN COLOMBIA Y SUS EFECTOS EN LA SALUD.....	16
8.1.1	Estado de la vigilancia de la calidad del aire en el país. Excedencias de acuerdo al SVCA entre 2007 y 2010.....	16
8.1.2	Impactos sociales y económicos de los actuales niveles de contaminación del aire sobre la salud.....	18
8.1.3	Estudio de caso: el impacto en la salud por la contaminación atmosférica en ambientes interiores en Colombia.....	19
8.1.4	Ruido.....	27
8.2	RESIDUOS SÓLIDOS ORDINARIOS.....	30
8.2.1	Generación de residuos sólidos ordinarios.....	33
8.2.2	Disposición final regulada.....	36
8.2.3	Reducción, reutilización y reciclaje en Colombia (Plásticos, papel, vidrio y chatarra).....	39
8.2.4	Programas orientados por el Estado en reducción, reutilización y reciclaje.....	42
8.3	GENERACIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS O DESECHOS PELIGROSOS EN COLOMBIA PARA LOS AÑOS 2010 Y 2011.....	46
8.3.1	Reporte de Generación de residuos o desechos peligrosos en Colombia, según el RESPEL.....	48
8.3.2	Manejo de los Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia.....	51
8.4	BIBLIOGRAFÍA CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y RESIDUOS.....	60

9.	CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y VULNERABILIDAD EN EL ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	67
9.1	CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL EN COLOMBIA. ESTADO DE LA VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL EN COLOMBIA.....	68
9.1.1	Contaminación por metales pesados en la Cuenca Magdalena – Cauca.....	69
9.1.2	Evidencias de contaminación por mercurio en la Cuenca Magdalena – Cauca.....	74
9.1.3	Contaminación del agua por carga orgánica, nutrientes y sólidos .....	76
9.1.4	Aportes de cargas contaminantes al agua superficial en Colombia.....	81
9.2	CONSUMO HUMANO, COBERTURA Y CALIDAD DE AGUA.....	82
9.2.1	Cobertura de abastecimiento de agua en Colombia.....	83
9.2.2	La calidad del agua para consumo humano.....	85
9.2.3	El impacto social y económico de la baja calidad del agua.....	86
9.3	VULNERABILIDAD HÍDRICA POR DESABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	88
9.4	BIBLIOGRAFÍA CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y VULNERABILIDAD EN EL ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	90

<b>APÉNDICE:</b>	<b>PRIMERA APROXIMACIÓN AL ESTUDIO DE LA DENSIDAD POBLACIONAL DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES QUE CONFORMAN LOS SVCA EN CIUDADES COLOMBIANAS.....</b>	<b>93</b>
------------------	--	-----------

I.	PRIMERA APROXIMACIÓN AL ESTUDIO DE LA DENSIDAD POBLACIONAL DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES QUE CONFORMAN LOS SVCA EN CIUDADES COLOMBIANAS.....	97
A.	BOGOTÁ DISTRITO CAPITAL.....	101
B.	ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (ANTIOQUIA).....	104
C.	ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA (SANTANDER) .....	107
D.	MUNICIPIOS DE MAGDALENA JURISDICCIÓN DE CORPAMAG.....	110
E.	ZONA MINERA DEL CESAR (CORPOCESAR).....	113
F.	BIBLIOGRAFÍA.....	117



## Siglas, acrónimos

AMVA Área Metropolitana del Valle de Aburrá  
 Asocars Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible  
 AVAD: Años de vida ajustados por discapacidad o muerte.  
 BEN Balance Energético Nacional  
 CAR Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (Autoridad Ambiental Regional)  
 Cardique Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique  
 CCP Clasificación Central de Productos  
 CDMB Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga  
 CMNUCC Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (sigla en inglés UNFCCC)  
 COAH Herbario Amazónico Colombiano  
 CONIF Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal  
 COP Conferencia de las Partes de la CMNUCC, por sus siglas en inglés  
 CORPOBOYACÁ Corporación Autónoma Regional de Boyacá  
 CORPOCHIVOR Corporación Autónoma Regional de Chivor  
 CORPORINOQUIA Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía  
 CRA Corporación Autónoma Regional del Atlántico  
 CVC Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca  
 DAMAB Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente de Barranquilla  
 DANE Departamento Nacional de Estadística  
 DIAN Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales  
 EAM Encuesta Anual Manufacturera  
 EEP Estructura Ecológica Principal  
 ENA Encuesta Nacional Agropecuaria  
 EPA Cartagena Establecimiento Público Ambiental de Cartagena.  
 EPE Espacio Público Efectivo  
 FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, por sus siglas en inglés (UN Food and Agricultural Organization)  
 GEI Gases de Efecto Invernadero  
 IGAC Instituto Geográfico Agustín Codazzi

INGEOMINAS Instituto Colombiano de Geología y Minería  
 INS Instituto Nacional de Salud  
 IPCC Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, por sus siglas en inglés.  
 PCG Potencial de calentamiento global  
 PFC Perfluorocarbonos (Hidrocarburos perfluorados)  
 PIB Producto Interno Bruto  
 PCN Primera Comunicación Nacional de Colombia  
 PNUD Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo  
 PPP Paridad de Poder Adquisitivo, por sus siglas en inglés  
 PYMES Pequeñas y Medianas Empresas  
 SDA Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá  
 SIN Sistema Interconectado Nacional  
 SINA Sistema de Información Nacional Ambiental  
 SISAC Sistema de Información del Sector Agropecuario Colombiano  
 SSPD Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios  
 UAESPNN Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales  
 PNN Parques Nacionales Naturales  
 UNCCD Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación.  
 PNPCIFRA Plan Nacional Para el Control de Incendios Forestales y Restauración de Áreas Afectadas  
 UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change, por sus siglas en inglés  
 UPME Unidad de Planeación Minero Energética del Ministerio de Minas y Energía  
 UTO Unidad Técnica de Ozono  
 REDCAM: Red de Vigilancia de la Calidad Ambiental Marina de Colombia  
 SVCA Sistema de Vigilancia de la Calidad el Aire  
 SIMCO Sistema Información Minero Colombiano  
 TSM Temperatura Superficial del Mar

## Convenciones

BEP/hab: barriles equivalentes de petróleo por habitante  
 CCl<sub>4</sub>: Tetracloruro de carbono  
 CFC: Clorofluorocarbonos  
 CFC: Clorofluorocarbonos  
 COVDM: Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano

DBO<sub>5</sub>: Demanda biológica de oxígeno determinada a los cinco días  
 DQO: Demanda química de oxígeno  
 FE: Factor de emisión gal galón (3,785 l)  
 GEI: Gases de efecto invernadero  
 Gg: Gigagramo = 109 gramos = 1.000 toneladas  
 GJ: Gigajulios  
 GLP: Gas Licuado de Petróleo  
 GNC: Gas Natural Comprimido  
 GNCV: Gas Natural Comprimido para Vehículos  
 GWh: Gigawattios hora  
 GWP: Potencial de calentamiento global por sus siglas en inglés (Global Warming Potential)  
 ha: Hectárea  
 hab/km<sup>2</sup>: Habitante por kilómetro cuadrado  
 HFC: Hidrofluorocarbonos  
 J: Julios  
 kg: Kilogramo  
 km: Kilómetro  
 km<sup>2</sup>: Kilómetro cuadrado  
 kt: Kilotonelada  
 m<sup>2</sup>: Metro cuadrado  
 m<sup>3</sup>: Metro cúbico  
 MDL: Mecanismos de desarrollo limpio  
 MJ: Megajulios  
 M: Mega o millones  
 MW: Megawatio  
 NH<sub>3</sub>: Amoniaco  
 NH<sub>4</sub>: Amonio  
 N<sub>2</sub>O: Óxido nitroso  
 NOx: Óxidos de nitrógeno  
 PJ: Petajoule = 1015 joules  
 SAO: Sustancias agotadoras de la capa de ozono  
 SF<sub>6</sub>: Hexafluoruro de azufre  
 SO<sub>2</sub>: Dióxido de azufre  
 t: Tonelada  
 Tcal: Teracalorías  
 Tg: Teragramo = 1012 gramos  
 TJ: Terajoule = 1012 joules  
 TW: Terawattios = 1012 wattios  
 ICA: Índice de Calidad Ambiental  
 m<sup>2</sup>/hab: metro cuadrado por habitantes  
 m w.e: metros equivalentes de aguas  
 mm w.e: milímetros equivalentes de aguas  
 UV: Radiación ultravioleta  
 UVB: Radiación ultravioleta onda media



## Resumen ejecutivo



### Tomo 1

La variabilidad intermensual del clima durante el periodo 2010-2012 fue significativamente afectada por la presencia de los fenómenos ENOS (oscilación del Sur), El Niño 2009-2010, La Niña 2010-2011, y posteriormente La Niña 2011-2012, generando importantes alteraciones, principalmente en los regímenes de precipitación y temperatura del país.

#### Comportamiento de la precipitación

En la región Andina del país se apreció un marcado y previsible impacto de los eventos La Niña 2007-2008, 2010-2011 y 2011-2012, y El Niño 2009-2010, reflejados en el aumento (La Niña) y disminución (El Niño) de las lluvias en amplias áreas de esta región, durante los meses de mayor incidencia de estos fenómenos. Desde un punto de vista comparativo:

La región Caribe fue afectada por el Fenómeno de El Niño 2009-2010, el cual generó la disminución de los volúmenes de lluvia en esta región. El Fenómeno de La Niña 2010-2011 afectó con abundantes lluvias a la mayor parte de la región. De igual manera, La Niña 2007-2008 y 2011-2012 produjeron el aumento significativo de las lluvias al inicio del fenómeno con una reducción de los efectos de este al final de cada periodo.

El oriente del país, Orinoquía y Amazonía, no mostró una afectación significativa relacionada directamente con los fenómenos ENOS, salvo algunas excepciones.

En la región Pacífica, durante el segundo semestre de 2009 se mantuvieron las deficiencias en los regímenes de precipitaciones presumiblemente por el Fenómeno de El Niño en grandes áreas. La Niña 2010-2011 produjo fuertes lluvias en más de la mitad de la región durante el segundo semestre; finalmente, La Niña 2011-2012 se caracterizó por abundantes lluvias, principalmente al comienzo del evento y al final las lluvias fueron menores.

#### Impactos de la variabilidad climática en el territorio

El claro incremento de las lluvias ocurrido desde el segundo trimestre del año 2010 y a lo largo del año 2011 determinó varios tipos de impactos sobre el territorio. El incremento en el nivel de los ríos seguido por un periodo significativo de inundaciones afectaron gran parte del país, particularmente en las regiones Andina y Caribe: importantes aumentos de los deslizamientos casi durante los mismos meses que las inundaciones afectaron al país.

#### Inundaciones

Para el mes de diciembre se reportaron más de un centenar de eventos de inundación. Los departamentos de Valle del Cauca, Cauca, Cundinamarca y Córdoba presentaron la mayor cantidad de eventos. Por otro lado, la mayor población afectada se localizó en el departamento de Atlántico, seguido por Cauca, Córdoba, Bolívar, Santander y Norte de Santander.

Durante los eventos La Niña 2010-2011 y 2011-2012 la extensión de las inundaciones fue de aproximadamente cinco millones y medio de hectáreas, de las cuales cerca de la mitad corresponde a superficies que periódicamente (anualmente) se inundan y cerca de ochocientos mil hectáreas son cuerpos de agua. Los departamentos que registraron mayor área afectada del

total departamental fueron: Sucre, Bolívar, Atlántico, Magdalena, Córdoba, Cesar y Chocó. Se destaca que en los departamentos de Chocó, Casanare y Arauca, del total de área afectada, entre el 70% y 85% corresponde a zonas periódicamente inundables.

### Deslizamientos

Los mayores registros de deslizamientos se presentaron en los años 2008, 2010 y 2011 con 962, 1.465 y 1.203 eventos, respectivamente, en los cuales se observó la marcada influencia e intensidad del Fenómeno Frío del Pacífico (La Niña), particularmente en los meses de mayo y noviembre del 2008, noviembre y diciembre del 2010, abril del 2011, los cuales ocurrieron principalmente en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Santander, Norte de Santander, Nariño, Caldas, Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Tolima, Huila, Boyacá y Quindío. En contraste con los periodos en los cuales se presentó la influencia del Fenómeno Cálido del Pacífico (El Niño) y a pesar de la generalizada disminución de las lluvias, se registraron 619 movimientos en masa en los tres periodos mencionados anteriormente, los cuales se presentaron con mayor frecuencia en los meses de abril y mayo de 2004 en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Santander, Cundinamarca, Caldas, Valle del Cauca, Norte de Santander y Tolima.

### Incendios

En el año 2011 los meses que reportaron el mayor número de incendios fueron: enero con 184, seguido por agosto, con 174, y por último febrero con 156, comportamiento inusual, ya que los registros históricos han mostrado que en febrero ocurren la mayoría de los incendios, pues coincide con la época de quemas para la preparación de tierras para nuevos cultivos y una persistencia de condiciones secas que normalmente se inicia a finales de diciembre.

En términos de áreas, en el año 2011 se quemaron en Colombia 44.394 ha, siendo la Orinoquía la región que tuvo mayor afectación con 31.640 (72% del total), seguida por las regiones Amazonía con 6.662, y Andina con 4.792 (15% y 11% respectivamente). Se debe tener en cuenta que el Fenómeno de La Niña del 2011 tuvo sus mayores repercusiones en el territorio nacional justamente en estas dos últimas regiones.



## Tomo 2

El objetivo principal de este tomo es ampliar información en torno a la problemática de uso del suelo y del territorio en Colombia desde una perspectiva ambiental, se aportan indicadores para evaluar el estado de la biodiversidad, los ecosistemas, sus funcionalidades, los servicios que prestan y sus principales presiones, como la deforestación.

### Cuantificación de la deforestación histórica (1990-2000-2005-2010). Participación regional

Los resultados del monitoreo permitieron identificar para el territorio continental del país una cobertura de bosque de 64.417.248 ha para 1990; para el año 2000 se detectó una extensión de cobertura boscosa total de 61.732.841 ha (54,1%); para el periodo 2005 se contabilizó una superficie de cobertura boscosa total de 60.206.330 ha (52,8%) y para el periodo 2010 se identificó una superficie de cobertura boscosa total de 58.633.631 ha, representando el 51,4% del territorio nacional.

Con estos resultados, se realizó un proceso de superposición temática para generar los mapas de cambio de la cobertura del bosque en los periodos 1990-2000, 2000-2005 y 2005-2010, identificando los dos tipos posibles de cambio: áreas de

deforestación y áreas de regeneración. Entre 1990 y 2000 la tasa promedio anual de pérdida de la cobertura boscosa fue de 279.757 ha, entre los años 2000-2005 la tasa promedio anual de pérdida de la cobertura boscosa fue de 314.991 ha; y para el periodo 2005-2010 se encontró que la superficie de cambio total en el periodo de análisis fue de 1'191.365 ha, con una tasa promedio anual de pérdida de la cobertura boscosa de 238.361 ha.

El área de cambio o no cambio del bosque nacional para el periodo 2010-2030 se simuló a través de un modelo logístico. La primera es un escenario optimista donde se espera que no cambie significativamente el área de bosque en el año 2030 (alrededor de 55 millones de hectáreas), la segunda es un escenario pesimista que proyecta la disminución de alrededor de 1,3 millones de hectáreas más (para un total de 8,6 millones de hectáreas) si no se garantiza la conservación del total del bosque ubicado en resguardos o en zonas protegidas.

### **Cambios en las coberturas: fragmentación de bosques en la Amazonía, frontera agropecuaria y áreas urbanas**

El proceso de ocupación de los ecosistemas boscosos amazónicos por actividades ganaderas y agrícolas, de explotación forestal y otros usos está generando procesos de fragmentación de las coberturas naturales, principalmente en los bosques.

En el periodo 2002 se detectaron 3.659 fragmentos y en el periodo 2007, 4.441 equivalentes a 782 nuevos fragmentos en cinco años. El mayor número de parches en el periodo 2002 estaban clasificados como fragmentación alta, pero para el año 2007 el mayor número eran de fragmentación muy alta; esto demuestra que las dinámicas de colonización están ejerciendo fuerte presión, afectando hábitats y parches de vegetación, provocando mayor riesgo de desaparición de fragmentos.

### **El sistema de asentamientos de la Amazonía**

Los municipios del departamento del Caquetá poseen la mayor participación en área en el anillo de poblamiento amazónico colombiano (conjunto de centros urbanos que ocupan un espacio que tiende a rodear el territorio amazónico), seguido en su orden por Meta, Putumayo, Guaviare, Cauca, Vichada, Guainía y Nariño. Los departamentos de Amazonas y Vaupés no involucran territorios en el anillo. El proceso de poblamiento en el anillo, de manera general, tiene una direccionalidad en sentido occidente-oriente, de acuerdo con el curso de los ríos, buscando a la vez una relación concéntrica con los nodos que conforman municipios como Florencia, Mocoa y San José del Guaviare.

En términos generales, se observa que la mayor oferta de servicios se concentra en el anillo de poblamiento amazónico, en la Amazonía noroccidental y disminuye significativamente en la Amazonía suroriental. Algunos de los centros urbanos de los departamentos de Putumayo, Caquetá y Guaviare ascendieron en la clasificación de jerarquía urbana nacional y regional, ubicándose en un nivel superior al registrado en el año 2005.

### **Deforestación evitada. Estimación de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) por la conversión de bosques naturales a praderas durante los periodos 2000-2005 y 2005-2010**

Para realizar los cálculos de las emisiones resultantes de la conversión de bosques naturales a praderas, se consideraron las siguientes variables: categorías de uso de la tierra, cambios en las coberturas, datos de biomasa aérea, factores de emisión y gases de efecto invernadero. Dichos análisis se desarrollaron para los periodos 2000-2005 y 2005-2010.

En el periodo 2000-2005 las emisiones netas (lo emitido por deforestación menos lo capturado por regeneración) fueron de 246.498.452,1 t CO<sub>2</sub>e, es decir, 49.299,69 Gg CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup>. Durante el periodo 2005-2010, las emisiones netas fueron de

275.499.451,69 t CO<sub>2</sub>e, es decir, 55.099,89 Gg CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup>. De lo anterior, se puede deducir, que durante el periodo 2005-2010 se emitieron 29.001,00 Gg CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup>, con respecto a lo emitido durante el periodo 2000-2005.

Los anteriores resultados de almacenamiento de carbono, y por ende de CO<sub>2</sub>e, aunque no contrarrestan directamente las emisiones generadas por conversión de bosques a praderas durante dichos periodos, sí demuestran que la conservación o el manejo sostenible de los bosques podría ser un mecanismo de mitigación importante para evitar las emisiones de CO<sub>2</sub>e que ocurren como consecuencia de la deforestación o degradación.

### **Estado de los ecosistemas continentales y biodiversidad en Colombia. Registros oficiales y sistema de información**

Los registros generales del sistema de información permiten obtener datos significativos sobre la biodiversidad, como son los conteos generales (especies), la distribución de las especies en Colombia, las especies amenazadas e invasoras, usos de la biodiversidad y las especies en amenaza según las categorías de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).

Por medio de tales registros ha sido posible clasificar las especies amenazadas de aves, invertebrados marinos, peces continentales, peces marinos, plantas criptógamas, reptiles y un primer volumen de plantas fanerógamas por regiones, tipos y comunicar internacionalmente el estado de la biodiversidad colombiana. En el futuro serán publicados los libros de anfibios, hongos, invertebrados terrestres, mamíferos y varios volúmenes de plantas fanerógamas, los cuales se encuentran en proceso de preparación.

**El estado del conocimiento, uso y conservación de la flora en la Amazonía colombiana, levantado por el Instituto Sinchi, permite una caracterización importante de la diversidad amazónica**

Las Colecciones Biológicas de la Amazonía Colombiana cuentan con 74.448 registros de plantas en el Herbario Amazónico Colombiano; los departamentos mejor estudiados son Amazonas y Caquetá e igualmente son los departamentos que registran un mayor número de especies, seguidos de Vaupés y Guaviare.

Se destaca el conocimiento sobre diversidad florística, plantas amenazadas, introducidas e invasoras en los afloramientos rocosos y en las sabanas de arenas blancas. Las conclusiones y las aplicaciones de estas colecciones para el ordenamiento ambiental comienzan a ser importantes, sobre todo en aspectos íntimamente relacionados con su conservación.

### **Recursos hidrobiológicos y calidad ambiental de humedales amazónicos**

Las aguas amazónicas presentan diferencias respecto a su color y composición debido principalmente a su origen geológico: aguas blancas y negras. Para la Amazonía colombiana se adoptó y amplió esta clasificación en aguas blancas y negras tipo I y II de Duque, Ruiz, Gómez, & Roessler (1997). En las áreas del Caquetá predominaron los ríos y arroyos de aguas transparentes. En estos ambientes se registraron los siguientes parámetros: pH (4,88-6,43 unidades de pH), conductividad (6,6 a 38,3 μS. cm<sup>-1</sup>), cationes (Na, K, Mg, Ca) y aniones (Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>) menores a 20 mg/L y bajas concentraciones de nitratos (0,005-<0,10). Estas características han sido registradas para ecosistemas acuáticos de la Amazonía colombiana y del norte de Suramérica.

En general, la calidad fisicoquímica del agua de los ecosistemas amazónicos fue buena considerando el contenido de oxígeno alto, la presencia de aguas transparentes, pobres en nutrientes baja conductividad y productividad primaria baja expresado por el bajo desarrollo de perifiton registrado. Así mismo, se observa cómo la riqueza de peces y de macroinvertebrados es significativamente alta; además, algunos de los elementos bióticos colectados son especies que representan el primer registro para el departamento del Caquetá y, en un caso, una posible especie de pez nueva para la ciencia. En el caso del perifiton,

aunque escaso, muestra la presencia de organismos que poco se conocen en la literatura y que, con seguridad, demuestran las interesantes condiciones ambientales de estos sistemas.

### **Captura de peces comerciales en los ecosistemas amazónicos**

El Instituto Sinchi, a partir de 2002, ha generado información sobre el indicador captura de peces comerciales según las tallas reglamentarias en la Amazonía colombiana. El indicador es calculado cada dos años, cuenta con actualizaciones para 2004, 2007 y 2009; los resultados y análisis para 2011 incorporan datos obtenidos en los años 2009 y 2010.

En relación con la captura de peces comerciales en la Amazonía colombiana, en términos generales, los resultados de esta actualización indican un fuerte impacto negativo de la pesca para el río Amazonas, que pasó de 33% en 2000 a 62% en 2010, lo que lo ubica en la categoría de alta afectación del recurso; mientras que en la cuenca del Putumayo los valores han pasado de 31% a 47%, que deja al recurso en el mismo grado de afectación que el Amazonas.

Un gran volumen del pescado comercializado está conformado por trece especies de bagres de la familia Pimelodidae, con el 90% de la captura registrada históricamente. De ellos, los peces con mayor comercialización son pintadillos, dorado, simí, lechero, baboso, camiseta, mapará, amarillo y barbachato.

### **Estado del inventario de microorganismos en suelos de la amazonía colombiana**

El inventario de microorganismos se ha realizado a partir de muestras de suelo rizosférico bajo diferentes coberturas vegetales y paisajes en la Amazonía colombiana, a lo largo de 11 años, en el periodo comprendido entre el año 2000 y el año 2011. El Instituto Sinchi ha identificado y evaluado microorganismos del suelo con funciones específicas y de interés para la conservación o manejo sostenible de sus ecosistemas, enfatizando en la identificación de microorganismos asociados a los principales ciclos biogeoquímicos del suelo (carbono, nitrógeno y fósforo).

Como conclusión, este inventario de microorganismos asociados a ciclos funcionales cubre un porcentaje bajo de la Amazonía colombiana. El grupo de hongos formadores de micorriza arbuscular es el más estudiado, cubriendo la mayoría de los departamentos de la región. Adicionalmente, y a partir de los presentes resultados de investigación, se ha podido encontrar que existe una mayor diversidad de microorganismos edáficos en bosques que otras coberturas, lo cual corrobora la importancia que tienen los ecosistemas boscosos como reservorios de microorganismos, siendo un elemento más de juicio para su conservación.

### **Estado de la estructura y funcionalidad de un territorio: la estructura ecológica principal del Chocó**

El concepto sobre el cual se desarrolla este primer análisis ecológico del territorio del Chocó biogeográfico colombiano propuesto por el IIAP se sustenta en el Decreto 3600 de 2007 (artículo 1°, num. 1), mediante el cual la estructura ecológica de un territorio corresponde con un "conjunto de elementos bióticos y abióticos que dan sustento a los procesos ecológicos esenciales de un territorio, cuya finalidad principal es la preservación, conservación, restauración, uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables, los cuales brindan la capacidad de soporte para el desarrollo socioeconómico de las poblaciones".

Como resultado, se pudieron obtener algunas representaciones del territorio del Chocó biogeográfico por medio de la aplicación de varios tipos de criterios sobre biodiversidad, funcionalidad, servicios y culturales. La estructura ecológica principal para el Chocó biogeográfico abarca un área de 8.435.552,83 ha, dentro de la cual se incluyeron 42 áreas que sustentan la riqueza de especies y ecosistemas, endemismo, especies y ecosistemas amenazados; 10 corredores biológicos que permiten la conectividad de gran parte de la diversidad biológica de la región, 28 áreas degradadas que requieren restauración y 24 ríos que conectan a cada una de las comunidades allí asentadas.

## Estado de los ecosistemas marinos y costeros en Colombia

Los análisis que se incluyen en el siguiente aparte fundamentan propuestas de planes de manejo integrado de unidades ambientales costeras, ordenamiento de manglares y áreas marinas protegidas, con base en el seguimiento a la elevación del nivel del mar y los eventos climáticos extremos, que hacen inaplazable el manejo integrado de áreas costeras.

El análisis del estado de las áreas marinas y costeras, en el *Informe* del 2011, evalúa los cambios de estado de los arrecifes coralinos, los manglares y pastos marinos. De manera paralela se examina la calidad del agua de zonas costeras y marinas. Los análisis mencionados fundamentan propuestas de planes de manejo integrado de unidades ambientales costeras, ordenamiento de manglares y áreas marinas protegidas.

### Calidad de las aguas marinas y costeras

El Invermar caracteriza el estado del recurso hídrico marino en sitios con tendencia al deterioro durante la época seca y lluvia de 2010 con base en el Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras (ICAM<sub>PEF</sub>), que integra ocho variables representativas de procesos naturales y antrópicos que pueden afectar el agua marina.

En resumen, aunque el estudio muestra resultados para épocas secas, la presencia del evento La Niña produjo un incremento de las precipitaciones por encima del promedio según el IDEAM (2011) en varios departamentos y zonas del país, que condicionó la calidad del agua en algunas estaciones de muestreo, debido a las inundaciones en la cuenca baja de los ríos que favorecieron el aumento del caudal, la escorrentía y las descargas de aguas ricas en nutrientes, sólidos, coliformes y todo tipo de sustancias contaminantes que drenan desde el continente a la zona costera, que se manifiestan en el aumento del porcentaje de índices con inadecuada y pésima calidad.

## Estado de los ecosistemas y hábitats marinos y costeros en Colombia

- Arrecifes coralinos

Las áreas arrecifales del Caribe son de mayor extensión que las del Pacífico, aunque estos arrecifes presentan diferentes estados de conservación, de acuerdo con el análisis realizado por el proyecto Reefs at Risk Revisited (2011), el cual revisó su estado actual y sus principales amenazas de origen antrópico a nivel mundial. Con base en este presupuesto, se identificaron los arrecifes continentales del Caribe colombiano con un grado de amenaza de medio a alto, mientras que los arrecifes del Pacífico que se encuentran en zonas remotas (isla Gorgona y Malpelo) evidencian un bajo nivel de amenaza.

- Manglares

Como resultados de las evaluaciones parciales sobre los ecosistemas de manglar, el Invermar concluye que es necesario que en el Pacífico colombiano se generen mayores esfuerzos de investigación, ya que este contiene casi el 78% de la cobertura de mangle del país y presenta mayor vulnerabilidad ante eventos de ascenso en el nivel del mar, de extracción excesiva de recursos forestales, no forestales e hidrobiológicos, desarrollo y expansión de la frontera urbana y agrícola, entre otros. Además, se deben proponer estudios en el país conducentes a la formulación de proyectos que contribuyan a la conservación de los ecosistemas de manglar y, al mismo tiempo, puedan generar actividades productivas de beneficio social y económico como, por ejemplo, mecanismos de desarrollo limpio (MDL) y pago por servicios ambientales.

Se recomienda desarrollar un sistema de monitoreo de manglar a nivel nacional, teniendo en cuenta la homogeneidad de coberturas, representatividad y estandarización de métodos para su posterior análisis. La información obtenida será de utilidad para poder realizar el cálculo de los índices con una frecuencia que permita el seguimiento y manejo adecuado de estos ecosistemas.

- **Pastos marinos**

La evaluación inicial de la cobertura de los pastos marinos indica que este ecosistema está prácticamente concentrado en la ecorregión de La Guajira, con 31.519 ha, en relación con 42.691 ha evaluadas, aunque existen parches en otras regiones costeras tales como archipiélagos coralinos, Morrosquillo y San Andrés islas.

### **Avances en planificación, protección y acciones de adaptación al cambio climático en las zonas marinas y costeras**

En las zonas costeras se generan importantes procesos ecológicos, económicos, culturales e institucionales que requieren una planificación y manejo orientado a armonizar el uso del espacio y de los recursos naturales. Es así como a través del Manejo Integrado de Zonas Costera (MIZC) se puede conocer la dinámica de los problemas y su tratamiento particular, participativo y dinámico.

Son objeto de planes de manejo integrado las siguientes unidades marino-costeras de Colombia: Unidad Integral de Planificación Caribe Insular, Unidad Integral de Planificación Caribe Continental y Oceánico y Unidad Integral de Planificación Pacífico. Cada una de ellas debe ser objeto de varios procesos que van desde la preparación, caracterización, diagnósticos como parte de una estrategia conducente a la realización de lineamientos, legalización y desarrollo de un marco institucional.

Se destaca el ordenamiento de los manglares que han sido objeto de procesos de caracterización y diagnóstico, zonificación y plan de manejo e implementación, desde hace 17 años, con base en un marco regulatorio particular orientado a su conservación y uso sostenible, a través de las resoluciones 1602 de 1995 y 020 de 1996 del hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Tales intervenciones, al 2010 se encuentran en manos de cada una de las corporaciones regionales donde se encuentran estos ecosistemas.



## **Tomo 3**

Los principales efectos sobre la salud de la contaminación del aire se asocian a las enfermedades respiratorias, que en muchos casos pueden producir la muerte. Desde el punto de vista del Banco Mundial, en el año 2010 el costo anual de la contaminación urbana es cercano al 1,1% del PIB y se le puede atribuir la ocurrencia de cerca de 5.000 muertes y de 4.700 casos de bronquitis crónica, sin considerar el total de los centros urbanos donde la exposición de la población es desconocida y difícil de estimar.

El estudio del Banco Mundial del año 2012 se basa en el monitoreo de la calidad del recurso que realiza el IDEAM. Los últimos resultados del monitoreo muestran que entre los años 2007 y 2010 en la mayor parte de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) se excedió lo establecido por la norma vigente, específicamente para PM10, Corponor, Corpocesar y SDA. Por el contrario, los SVCA de AMVA, CAR, Cortolima y CVC presentaron muy pocos datos que sobrepasan el límite permisible en algunos años del periodo analizado. De igual forma, la norma para ozono (O<sub>3</sub>) fue superada. Los porcentajes más altos se presentaron en los SVCA de Corantioquia (2007 y 2009), CVC (2007 y 2009) y AMVA (2008, 2009 y 2010).

Se puede destacar que un número de casos de bronquitis y de enfermedades respiratorias en Colombia se produce en ambientes interiores, principalmente las que se originan por el uso de combustibles sólidos como la leña para la cocción de alimentos, principalmente en las zonas rurales.

Según las Encuestas de Demografía y Salud 2005 y 2010, la reducción en el uso de combustibles sólidos en las zonas rurales en el país, especialmente leña, madera y carbón de leña, en un periodo de 5 años (2005-2010) ha sido de 2,7%, debido al uso de gas propano (3,2%) o del gas natural (1,1%). Así mismo, en Colombia se ha reducido el uso de carbón mineral (0,1%), petróleo, cocinol, entre otros (0,2%), y energía eléctrica (1,4%).

Esta tendencia en la reducción del uso de combustibles sólidos, se ve reflejada en la reducción de los casos de enfermedades respiratorias, con la consecuente reducción de los casos de mortalidad y morbilidad asociados.

### **Generación y disposición de residuos ordinarios**

Colombia como país de ingreso medio bajo se ajusta al promedio mundial de generación de residuos ordinarios de 0,97 Kg/hab/día según la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, tasa que corresponde con el crecimiento del ingreso que economías como la colombiana han registrado en las últimas décadas. No obstante, la problemática del país en este sentido se encuentra íntimamente relacionada con la disposición adecuada de residuos.

En los últimos cinco años el país ha mostrado un cambio significativo en la cobertura de disposición adecuada de residuos (relleno sanitario o planta de tratamiento), a juzgar por las cifras de cobertura a nivel municipal. Sin embargo, una problemática asociada a la disposición de residuos se puede estar presentando debido a la utilización de los cauces de los ríos como botaderos de residuos de diverso origen.

Vale la pena anotar que en Colombia, un elemento adicional debe ser considerado cuando se trata de revisar la contribución de los residuos peligrosos a la contaminación de las fuentes de agua que está directamente relacionada con el comportamiento del clima. Según el IDEAM, una importante cantidad de fuentes hídricas abastecedoras del recurso hídrico son vulnerables a condiciones secas, lo cual disminuye la capacidad de dilución y otras fortalezas del recurso hídrico.

### **Contaminación del agua y vulnerabilidad en el abastecimiento de agua para consumo humano**

El principal impacto social y económico derivado del consumo de agua de baja calidad (inadecuado suministro de agua), saneamiento y prácticas limitadas de higiene en la salud de la población, según el reciente estudio realizado por el Banco Mundial, representó un costo aproximado de 0,68% del PIB del 2009. Este costo lo ha asumido la población más vulnerable como es la de menores ingresos, personas mayores de edad y los menores de edad. En el año 2009, 660 niños menores de 5 años murieron, y cerca 21 millones de casos de diarrea son atribuibles al suministro de agua, saneamiento e higiene inadecuados.

El inadecuado suministro de agua, saneamiento y prácticas limitadas de higiene puede tener origen en varios tipos de problemáticas como son: la contaminación de las fuentes de agua que surten a los acueductos, las alteraciones en los aportes hídricos por fenómenos hidrometeorológicos y antrópicos, y otros múltiples aspectos de orden social, económico e institucional.

La vigilancia sobre la calidad del agua superficial en Colombia que el IDEAM tiene a su cargo, se desarrolla en la cuenca Magdalena-Cauca. En esta cuenca habita el grueso de la población colombiana y es donde se registra la mayor parte de los casos referidos anteriormente en relación con la afectación a la salud. Por otro lado, se destaca de los resultados de tal monitoreo el ascenso de las evidencias de contaminación por mercurio en parte de dicha cuenca.

Ante las condiciones dadas por la presencia de contaminantes, la reducción de los aportes hídricos debido a la presentación de condiciones de variabilidad climática puede estar afectando la calidad del recurso, lo que repercute finalmente en mayores costos de potabilización y tratamiento (ver Índice de Vulnerabilidad Hídrica del Estudio Nacional del Agua del IDEAM).

La población afectada por estos fenómenos puede ser considerable en las zonas rurales, aunque en las zonas urbanas aún no se puede establecer que la calidad del servicio de abastecimiento sea óptima o estrictamente similar a la representada por el acceso al suministro de agua debido a interrupciones constantes en el sistema y a otras problemáticas que son de amplio reconocimiento nacional.

## Introducción General

El Informe del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables 2011 presenta el estado nacional del medio ambiente y de los recursos naturales renovables de acuerdo con los resultados de investigación y monitoreo de los Institutos de investigación del SINA: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi), Instituto de investigaciones Marinas y Costeras (Invemar), Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Colombia (IavH), Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP) e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el ámbito de su competencia técnica y temática. Esta síntesis es coordinada por el IDEAM como lo establecen los Decretos 1277 de 1994 y 291 de 2004.

El informe que se desarrolla a continuación se sustenta en los conceptos y categorías dados por la Metodología GEO, la cual permite clasificar los diferentes indicadores que ilustran el estado de las problemáticas ambientales y de los recursos naturales (riesgo climático, conservación de los recursos y salud ambiental) en estado, presión, fuerzas motrices, respuesta y proyecciones permitiendo la interacción de diversidad de enfoques, disciplinas técnicas y especializaciones tal y como se puede apreciar en el diagrama (abajo) sobre estructura de este informe.

### Diagrama estructural del Informe 2011

INDICADORES METODOLOGÍA GEO	Problemáticas			
	Recursos	Tomo 1: Impacto de la variabilidad climática en el territorio durante el periodo 2010 a 2012	Tomo 2: Estado de la biodiversidad y de los ecosistemas continentales, marinos, costeros y avances en el conocimiento	Tomo 3: Contaminación del aire y agua en Colombia e impactos sobre la salud
presión estado, respuesta, fuerzas motrices y Proyecciones	Clima	X		
	Bosques		X	
	Ecosistemas		X	
	Biodiversidad		X	
	Aire			X
	Agua			X
	Calidad ambiental			X

En el diagrama se observa una clasificación de los capítulos del informe en forma de matriz, en las filas se encuentran los diferentes indicadores dados por la metodología GEO para tipos generales de recurso y en las columnas las problemáticas en diferentes niveles de especificación.

El tomo 1 del informe, compuesto por un capítulo y un apéndice, presenta el comportamiento del clima durante 2011 y parte del 2012 y sus impactos territoriales tales como las inundaciones, los deslizamientos y los incendios forestales. Este capítulo contiene un apéndice en el que se exponen las propuestas de investigación del IDEAM asociadas al análisis del clima en el largo plazo (fundamental para el análisis del cambio climático y su impacto en el territorio).

En el tomo 2, constituido por cinco capítulos, se revisa el estado de la biodiversidad y de los ecosistemas continentales, marinos y costeros. En primer lugar, trata la problemática de la deforestación, dado el enorme impacto que causa sobre los suelos y el estado y funcionalidad de los ecosistemas.

En segundo lugar, se aborda el estado de la biodiversidad y de los ecosistemas continentales desde la perspectiva de información y desarrollo del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAuH). Se presenta una caracterización del territorio del Chocó biogeográfico con base en el concepto de estructura ecológica principal que desarrolla el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon Van Neumann (IIAP). Este es uno de los resultados más significativos de investigación sobre la estructura y función de los ecosistemas de esta región en los últimos años. Para dar cuenta del estado de la Amazonía, otro de los ecosistemas continentales estratégicos, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi) expone una síntesis de sus resultados de investigación sobre afectación y estado de los recursos hidrobiológicos, biodiversidad y ecosistemas.

En el último capítulo de esta sección se incluyen las caracterizaciones realizadas por el Invemar sobre los ecosistemas marinos y costeros. Estas hacen énfasis en los problemas que afectan los diferentes tipos de ecosistemas tales como la contaminación de las aguas y calidad del medio biótico y abiótico.

En el tomo 3 en dos capítulos, se analiza la temática relacionada con la contaminación ambiental en Colombia; específicamente la contaminación del aire, del agua y la generación de residuos no peligrosos y peligrosos en Colombia, que constituye otro aspecto relevante de la contaminación. En estos capítulos se expone una síntesis de los resultados de investigación del Banco Mundial sobre el impacto de la contaminación en la salud de la población.

Se buscó tratar cada tema de manera directa sin abordar las metodologías que se utilizaron para la producción de los diferentes tipos de análisis con el fin de entregar la información en forma de resultados, por lo cual el contenido del presente libro es accesible a cualquier persona. De esta forma, se amplía la población objetivo del informe a estudiantes e investigadores, no necesariamente del sector ambiental.

# 1 Contexto nacional



Desde la promulgación de la Ley 99 de 1993, la sociedad colombiana ha acogido con singular importancia la necesidad de avanzar en los procesos de conservación, gestión ambiental y gestión del riesgo ante desastres naturales. Muestra de ello es que en los últimos gobiernos, los objetivos de política de desarrollo social y económico del país han cambiado y se han reinterpretado las metas y los medios para obtenerlos, considerando con más énfasis los límites impuestos por factores exógenos y con gran incertidumbre tales como los climáticos y los relacionados con la conservación de la biodiversidad y los servicios prestados por los ecosistemas.

Dos factores centrales han entrado a configurar el nuevo escenario que sirve de contexto al diagnóstico 2011 del estado del ambiente y de los recursos naturales renovables en Colombia: i) la entrada en funcionamiento pleno de las acciones del Gobierno nacional propuestas en el plan de gobierno en el marco de una economía global en crisis, y ii) La evolución reciente de los procesos de investigación y conocimiento aplicables al sector ambiental y otros sectores íntimamente relacionados en condiciones muy especiales de desarrollo.

A la fecha la consecución de los objetivos de las locomotoras, a saber, el desarrollo de la infraestructura, la construcción de viviendas a gran escala, el desarrollo moderno del agro, el desarrollo de la minería, y de la innovación y ciencia se ha mantenido como parte esencial de las acciones del Gobierno nacional, en un panorama creciente de inversión extranjera y de crecimiento económico moderado, no obstante la crisis económica mundial.

La economía global en auge que caracterizó el periodo comprendido entre el 2002 y el 2008 no ha seguido la misma tendencia durante los últimos años. El crecimiento económico que vivió Colombia durante buena parte de la década del 2000 fue significativo, alcanzando incluso un pico importante durante los años 2007 y 2008. Esto implicó la categorización del país como parte del grupo CIVETS (conformado por Colombia, Indonesia, Vietnam, Egipto, Turquía y Suráfrica; considerados mercados emergentes), con un ingreso medio superior al de países comparables y con opciones muy especiales de desarrollo para la inversión extranjera.

Hoy, la crisis europea se ha ido extendiendo a nivel global con impactos bastante moderados en América Latina y el Caribe. Incluso en países como Colombia el crecimiento se ha sostenido en gran parte gracias a la inversión extranjera. Para muchos analistas, es posible que las oportunidades de inversión creadas en Colombia y en algunos países de América Latina, se hayan constituido en un refugio para muchos capitales que buscan la seguridad y una rentabilidad renovada. Ciertamente los commodities siguen brindando esta opción.

Es de destacar que los objetivos en general del Plan Nacional de Desarrollo del Gobierno actual, en todos los temas, incluyen importantes condicionamientos sociales, humanitarios y ambientales que se han extendido a la inversión extranjera. Guardadas las proporciones, involucra también conservación, manejo sostenible de los recursos y desarrollo del conocimiento.

El segundo factor relacionado con el campo de desarrollo de la investigación y del conocimiento científico dentro del marco del sector ambiental, que es un determinante central del presente informe, se consolida año tras año acudiendo a los principios de integración, aplicabilidad y universalidad. En este sentido, se ha visto en los últimos años un desarrollo muy especial de los nuevos procesos de investigación vinculados con la gestión ambiental, tales como el que se realiza en torno a la biodiversidad y sus funciones (estructura ecológica principal), el conocimiento sobre el recurso agua ligado a la política sobre la gestión integral o los impactos del cambio climático en el territorio y su íntima relación con la mitigación y adaptación en el ámbito global.

En el marco de la gestión ambiental urbana surgen nuevas propuestas de investigación sobre el ordenamiento del territorio y los impactos del crecimiento urbano en la calidad de vida de la población, al mismo tiempo que propicia un conocimiento sobre el significado ambiental de tal crecimiento. En este sentido, es especialmente relevante la consolidación y desarrollo de sistemas de información que registran los impactos de la degradación ambiental. Un ejemplo de ello es la construcción y desarrollo del Sistema Unificado de Información de Salud Ambiental (SUISA), entre otros.

El cambio climático global ha incrementado la atención internacional sobre el país. Su stock de bosques y diversos recursos naturales, el potencial en biodiversidad y una condición de vulnerabilidad relativamente alta ante el cambio climático configuran un escenario propicio para el desarrollo de medidas de mitigación y adaptación global. La adaptación ante el cambio climático de países en condición similar a Colombia (IPCC 2008) no se restringe a su territorio. Es un asunto global que trasciende sus fronteras. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) ha determinado el desarrollo de procesos de investigación y de inversión significativos, cuyo resultado principal hasta el momento ha sido un fortalecimiento institucional en muchos aspectos, dentro de los cuales se destacan los avances en el conocimiento.

No obstante todos estos avances, Colombia destina tan solo el 0,7% del PIB al desarrollo de procesos de investigación, de innovación y ciencia. La entrada en funcionamiento de la locomotora de la innovación y ciencia da un esbozo de optimismo a la gestión del conocimiento de las diferentes problemáticas ambientales y seguramente permitirá incrementar la base del conocimiento sobre la potencialidad ambiental y su aporte al desarrollo en Colombia.







1

TOMO

## IMPACTO DEL CLIMA EN COLOMBIA Y CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

El comportamiento del clima durante el periodo que va del 2010 a 2012 está caracterizado por la presentación de anomalías de precipitación y temperatura y sus impactos sobre el territorio tuvieron la connotación de desastres por los graves efectos registrados en los bienes y calidad de vida de la población.

En el segundo capítulo del informe 2011, se presenta una evaluación del clima y sus impactos en el territorio nacional durante el periodo 2010 a 2012 y adicionalmente los avances en el conocimiento sobre el clima en el largo plazo, como un aporte al estudio de los impactos del cambio climático en el territorio que se presentarán en la Tercera Comunicación Nacional del país ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).





## TABLA DE CONTENIDO

2.	IMPACTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL TERRITORIO DURANTE EL PERIODO 2010 A 2012 .....	41
2.2	EFFECTOS DE LOS EVENTOS ENOS EN LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA EN EL PERIODO 2010 A 2012 .....	42
2.1.1	Comportamiento de la precipitación.....	42
2.1.2	Comportamiento de la temperatura media.....	49
2.2	IMPACTOS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL TERRITORIO .....	54
2.2.1	Afectación de los niveles de los ríos en el periodo 2010-2012.....	58
2.2.2	Síntesis de la caracterización de las zonas de Inundaciones 2010-2011.....	60
2.2.3	Deslizamientos de tierra en Colombia al año 2012 .....	63
2.2.3.1	Deslizamientos de tierra en Colombia entre el 2001 y 2012 (enero - agosto) .....	63
2.2.3.2	Persistencia de la amenaza por deslizamientos durante el evento Niña 2011-2012 .....	66
2.2.4	Retroceso de los Glaciares en Colombia y vulnerabilidad de las poblaciones aledañas.....	68
2.2.5	Incendios forestales durante el año 2011 .....	72
2.2.6	Variación del ozono y la radiación UV en Colombia. Impacto en la Salud.....	77
2.2.7	Bibliografía Impacto del Clima en el territorio.....	83
	<b>APÉNDICE: PROYECCIONES CLIMÁTICAS REGIONALES Y EMISIONES DE GEI DE COLOMBIA .....</b>	<b>85</b>

## TABLA DE FIGURAS

FIGURA 2-1.	ANOMALÍAS DE LA PRECIPITACIÓN EN EL 2009 (%).....	43
FIGURA 2-2.	ANOMALÍAS DE LA PRECIPITACIÓN EN EL 2010 (%).....	44
FIGURA 2-3.	ANOMALÍAS DE LA PRECIPITACIÓN EN EL 2011 (%).....	45
FIGURA 2-4.	ANOMALÍAS DE LA PRECIPITACIÓN A SEPTIEMBRE DE 2012 (%) .....	46
FIGURA 2-5.	ANOMALÍAS MENSUALES DE TEMPERATURA MEDIA 2009 (°C) .....	50
FIGURA 2-6.	ANOMALÍAS MENSUALES DE TEMPERATURA MEDIA 2010 (°C) .....	51
FIGURA 2-7.	ANOMALÍAS MENSUALES DE TEMPERATURA MEDIA 2011(°C) .....	52
FIGURA 2-8.	ANOMALÍAS MENSUALES DE TEMPERATURA MEDIA A SEPTIEMBRE DE 2012 (°C).....	53
FIGURA 2-9.	ORGANIZACIÓN DE LOS COMPONENTES Y PROCESOS DE LA PLANICIE DE INUNDACIÓN COMO UNA JERARQUÍA ESPACIOTEMPORAL.....	55
FIGURA 2-10.	ALECTACIÓN DE LA NIÑA 2010 -2011.....	56
FIGURA 2-11.	ESTACIÓN BOLOMBOLO RÍO CAUCA. NIVELES MEDIOS MULTIANUALES (PERIODO 1974 - 2012). .....	58
FIGURA 2-12.	ESTACIÓN LAS VARAS RÍO CAUCA. NIVELES MEDIOS MULTIANUALES (PERIODO 1972 - 2012).....	59
FIGURA 2-13.	ESTACIÓN EL BANCO – RÍO MAGDALENA. NIVELES MEDIOS MULTIANUALES (PERIODO 1972 - 2012)..	60
FIGURA 2-14.	ESTACIÓN CALAMAR – RÍO MAGDALENA. NIVELES MEDIOS MULTIANUALES (PERIODO 1972 - 2012)..	60
FIGURA 2-15.	ÁREAS AFECTADAS POR INUNDACIONES 2010 - 2011.....	61
FIGURA 2-16.	NÚMERO DE DESLIZAMIENTOS POR DEPARTAMENTO ENTRE LOS AÑOS 2001 Y 2012.....	63

FIGURA 2-17.	MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA REPORTADOS PARA EL PERIODO 2001-2012.....	64
FIGURA 2-18.	NÚMERO DE DESLIZAMIENTOS REPORTADOS POR CADA AÑO PERIODO 2001 Y 2012.....	65
FIGURA 2-19.	MAPA DE PERSISTENCIA DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN COLOMBIA. LA NIÑA SEPTIEMBRE 2011– MARZO 2012.....	66
FIGURA 2-20.	DISTRIBUCIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA PERSISTENCIA DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN COLOMBIA, DURANTE EL EVENTO “LA NIÑA” SEPTIEMBRE 2011– ABRIL 2012.....	67
FIGURA 2-21.	ÁREA GLACIAR ACTUAL EN COLOMBIA AÑO 2010. . . . .	68
FIGURA 2-22.	ANOMALÍAS EN LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL OCÉANO PACÍFICO SECTOR 3.4 Y SU RELACIÓN CON EL BALANCE DE MASA DEL GLACIAR CONEJERAS, VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL.....	69
FIGURA 2-23.	EVOLUCIÓN GLACIAR DEL VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL 1959-2010.....	69
FIGURA 2-24.	BALANCE DE MASA ANUAL GLACIAR CONEJERAS VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL.....	70
FIGURA 2-25.	ELEVACIÓN DE LA LÍNEA DE EQUILIBRIO (ELA). ALTITUD DE LA LÍNEA DE EQUILIBRIO GLACIAR CONEJERAS VOLCÁN NEVADO SANTA ISABEL (ABRIL DE 2006 – DICIEMBRE DE 2011).....	71
FIGURA 2-26.	PORCENTAJE DEL ÁREA TOTAL AFECTADA POR REGIÓN.....	73
FIGURA 2-27.	NÚMERO DE INCENDIOS Y ÁREA AFECTADA POR REGIÓN.....	73
FIGURA 2-28.	ÁREA TOTAL AFECTADA POR DEPARTAMENTO PARA EL AÑO 2011.....	74
FIGURA 2-29.	EVENTOS REPORTADOS POR DEPARTAMENTO PARA EL AÑO 2011.....	74
FIGURA 2-30.	NÚMERO DE INCENDIOS POR MES EN EL AÑO 2011.....	75
FIGURA 2-31.	SUPERFICIE AFECTADA POR ÁREA PROTEGIDA.....	75
FIGURA 2-32.	DISTRIBUCIÓN MEDIA DEL OZONO TOTAL, EN UNIDADES DOBSON (O MILIATMÓSFERAS).....	78
FIGURA 2-33.	DISTRIBUCIÓN MEDIA DEL OZONO TOTAL A LO LARGO DEL AÑO, EN UNIDADES DOBSON (O MILIATMÓSFERAS) CONTENIDO EN UNA COLUMNA DE AIRE DE 1 CM2 DE SECCIÓN QUE VA DESDE LA SUPERFICIE HASTA EL TOPE DE LA ATMÓSFERA, OBTENIDAS A PARTIR DE LAS MEDICIONES SATELITALES. ....	79
FIGURA 2-34.	PRONÓSTICO DEL ÍNDICE UV CON NUBOSIDAD Y CON CIELOS DESPEJADOS.....	80
FIGURA 2-35.	FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS NIVELES DE RADIACIÓN UV.....	81
FIGURA 2-36.	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA CIRCULACIÓN BREWER-DOBSON Y LA DISTRIBUCIÓN MEDIA DEL OZONO TOTAL EN UNIDADES DOBSON.....	82

## TABLAS

TABLA 2-1.	ÁREAS AFECTADAS POR INUNDACIONES 2010-2011.....	62
TABLA 2-2.	ÁREAS GLACIARES ACTUALES DE COLOMBIA PERIODO 2010.....	68
TABLA 2-3.	MUNICIPIOS CON MAYOR ÁREA AFECTADA.....	76
TABLA 2-4.	MUNICIPIOS CON MAYOR NÚMERO DE INCENDIOS REPORTADOS.....	77





## 2. Impacto de la variabilidad climática en el Territorio durante el periodo 2010 a 2012



Se puede destacar que dos hechos centrales marcan la evaluación del clima y de los fenómenos climáticos en el periodo: los años 2010 y 2011 según la OMM, fueron considerados como uno de los periodos con mayores niveles de precipitación en cerca de 40 años de monitoreo. Al mismo tiempo, las regularidades estadísticas capturadas por los investigadores en diferentes partes del mundo, comienzan a mostrar un incremento de la frecuencia de la presentación de los fenómenos de variabilidad climática y una mayor duración de estos periodos de excepción.



[http://www.eltiempo.com/Multimedia/galeria\\_fotos/colombia/GALERIAFOTOS-WEB-PLANTILLA\\_GALERIA\\_FOTOS-9222863.html](http://www.eltiempo.com/Multimedia/galeria_fotos/colombia/GALERIAFOTOS-WEB-PLANTILLA_GALERIA_FOTOS-9222863.html)

En el presente capítulo el IDEAM realiza un balance del impacto del clima en el territorio ocurrido durante el periodo que inicia a final del año 2010, continúa durante el 2011 y culmina en el año 2012. Específicamente, revisa el impacto sobre el nivel de los ríos de las dos principales cuencas del país y los eventos de inundación, deslizamientos e incendios ocurridos durante el mismo periodo. Se incluyen los resultados de los monitoreos de los glaciares ante estas condiciones excepcionales.

### Mapa de Indicadores de Impacto de la Variabilidad Climática en el Territorio

<b>Alteraciones climáticas</b>	Anomalías Mensuales o Trimestrales de precipitación o de la temperatura (% aumento o disminución)/año y % de área afectada (exceso o déficit)/año.
<b>Inundaciones</b>	Área inundada (ha).
<b>Inestabilidad geomorfológica</b>	Número de deslizamientos/departamento o número de deslizamientos/año
<b>Calentamiento y altas temperaturas</b>	Área glaciar (Km <sup>2</sup> ), longitud pérdida (m/año), pérdida de masa glaciar (m <sup>3</sup> ), Escorrentía superficial (%) captada por poblaciones.
	Número de incendios/Región, Número de incendios/mes, Área afectada

## 2.1 Efectos de los eventos ENOS en la precipitación y la temperatura en el periodo 2010 a 2012

(Autora: Olga Cecilia González Gómez. Subdirección de Meteorología - IDEAM)

Durante el periodo 2010-2012 la variabilidad intermensual de las variables meteorológicas fue significativamente afectada por la presencia de los fenómenos ENOS (El Niño - La Niña - Oscilación del Sur), El Niño 2009 - 2010 y La Niña 2010 - 2011, y posteriormente La Niña 2011-2012, con importantes alteraciones principalmente en los regímenes de precipitación y temperatura<sup>1</sup>.

### 2.1.1 Comportamiento de la precipitación

En la Figura 2-1, Figura 2-2, Figura 2-3 y Figura 2-4 se aprecia el comportamiento de las anomalías de precipitación referente a los valores históricos a nivel mensual para las regiones naturales de Colombia, expresadas como porcentaje de área afectada entre el año 2009 y 2012. La normalidad en estas figuras está dada por los cambios entre el 90% al 110% respecto al promedio histórico, y valores por debajo o por encima de este rango, son áreas deficitarias o de lluvias excesivas respectivamente.

<sup>1</sup> Se evidencia que los fenómenos El Niño y La Niña afectan de manera importante los regímenes de temperatura del aire y precipitación en Colombia. En términos generales, se ha comprobado que cuando se presenta el fenómeno El Niño, hay una tendencia hacia la disminución de los volúmenes de precipitación y al aumento de la temperatura, particularmente en las regiones Andina, Caribe y la parte norte de la región Pacífica. Durante el evento La Niña, ocurre el efecto contrario: aumento de lluvias y disminución de temperaturas en la mayor parte de la regiones Andina, Caribe y Pacífica. Sin embargo debe anotarse que el efecto sobre el régimen de precipitación y temperaturas en Colombia, varía de evento a evento y puede en algunos casos no ceñirse estrictamente a este patrón.

Figura 2-1. Anomalías de la precipitación en el 2009 (%)

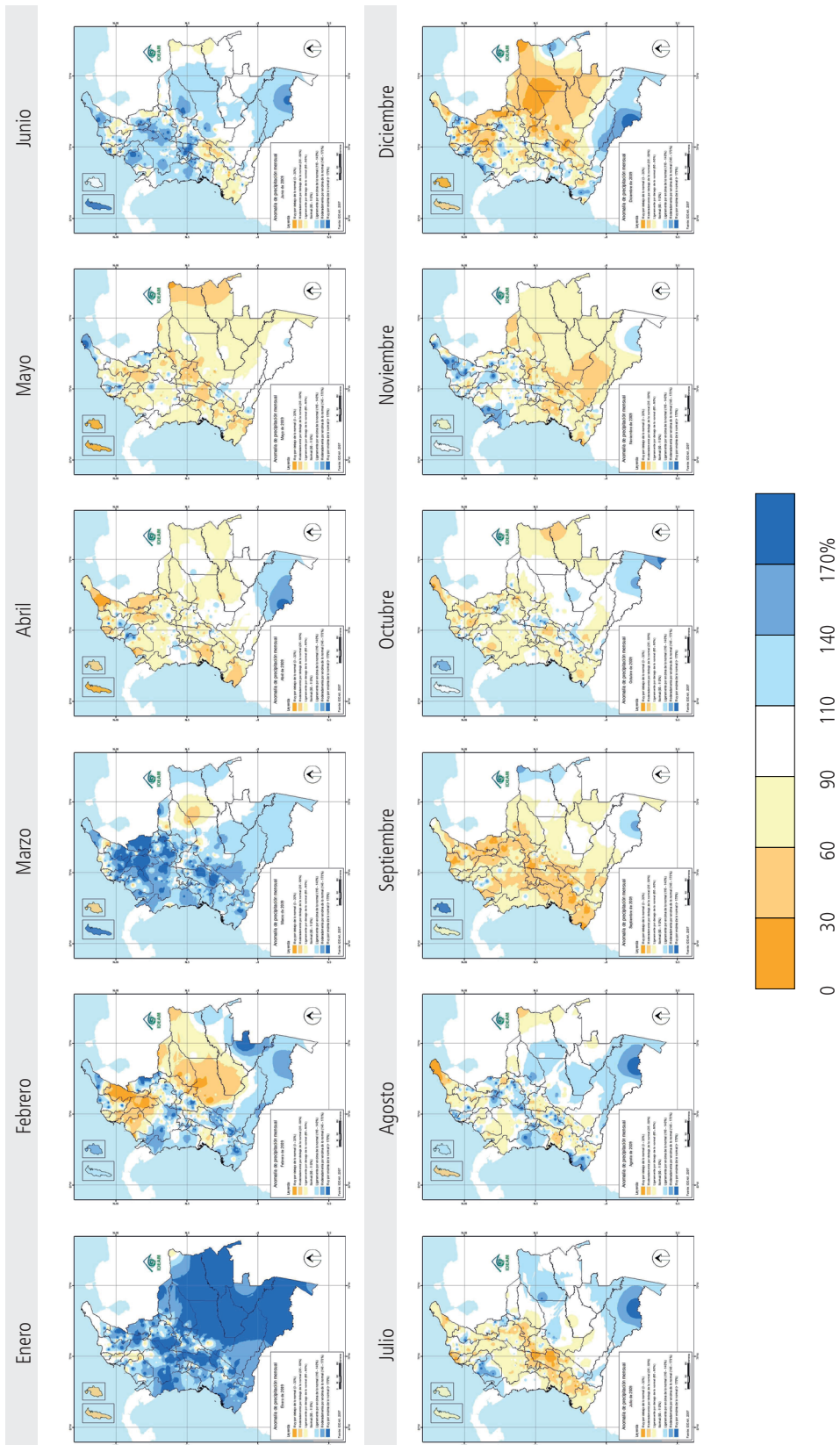


Figura 2-2. Anomalias de la precipitación en el 2010 (%)

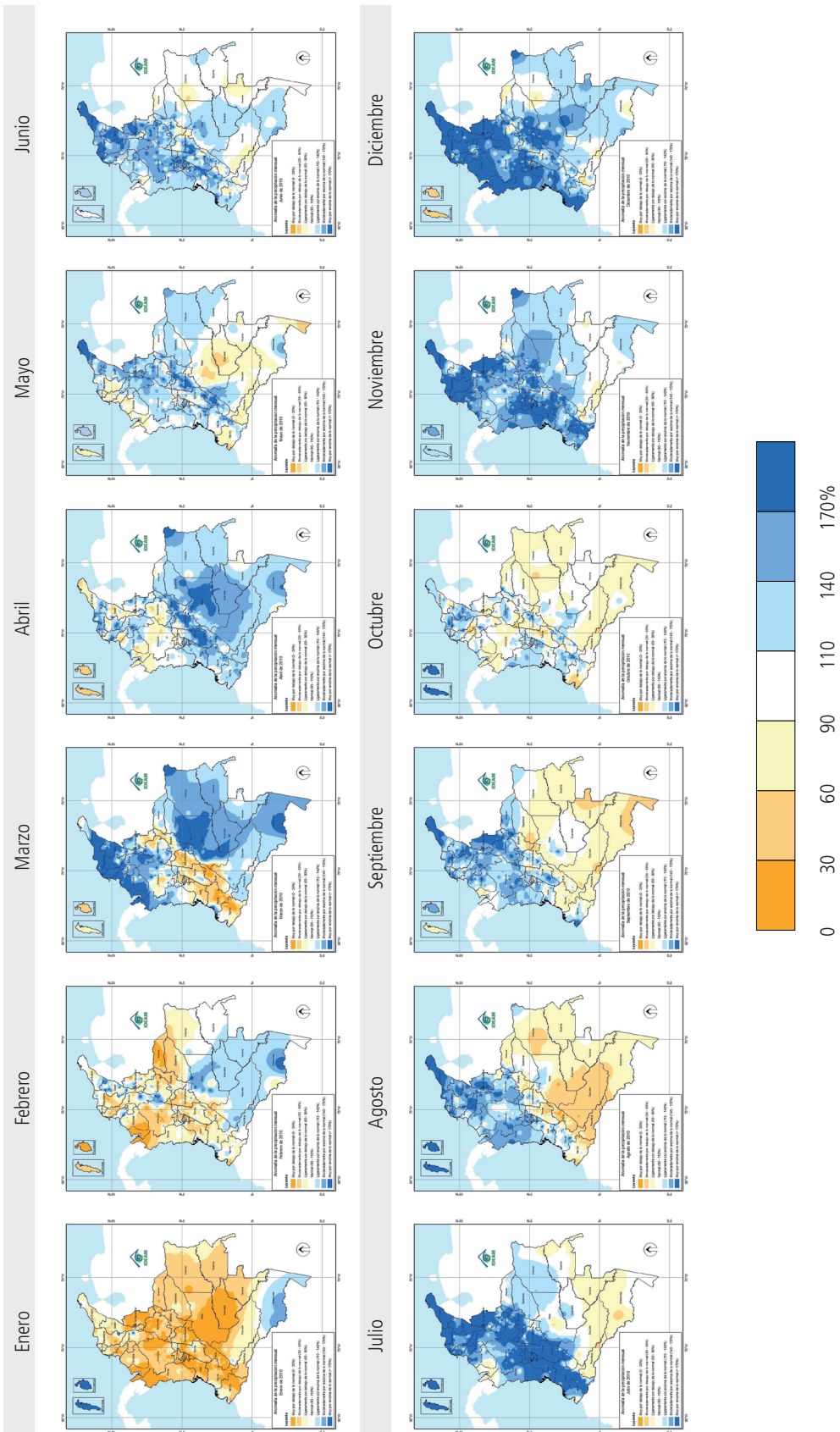


Figura 2-3. Anomalías de la precipitación en el 2011 (%)

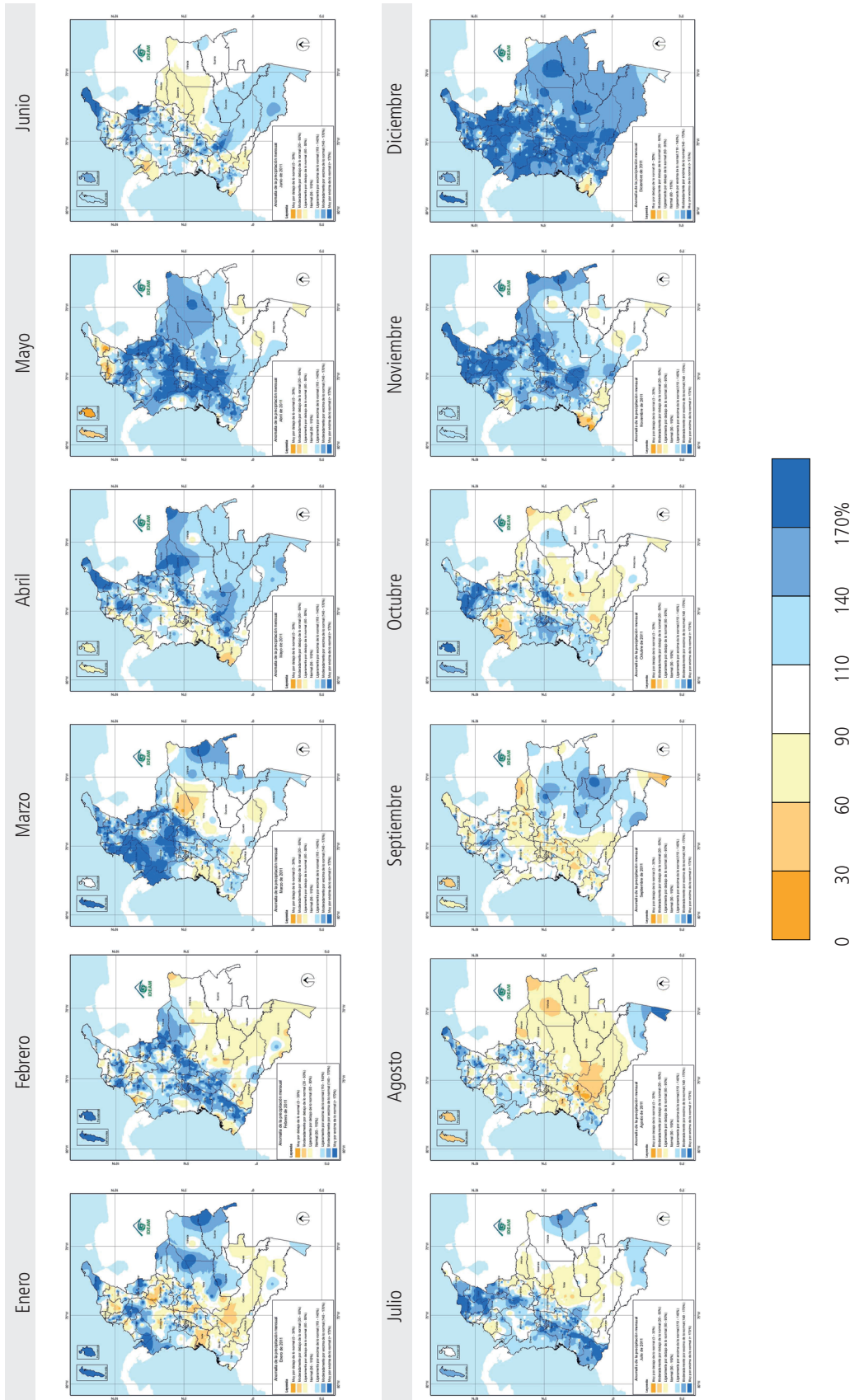
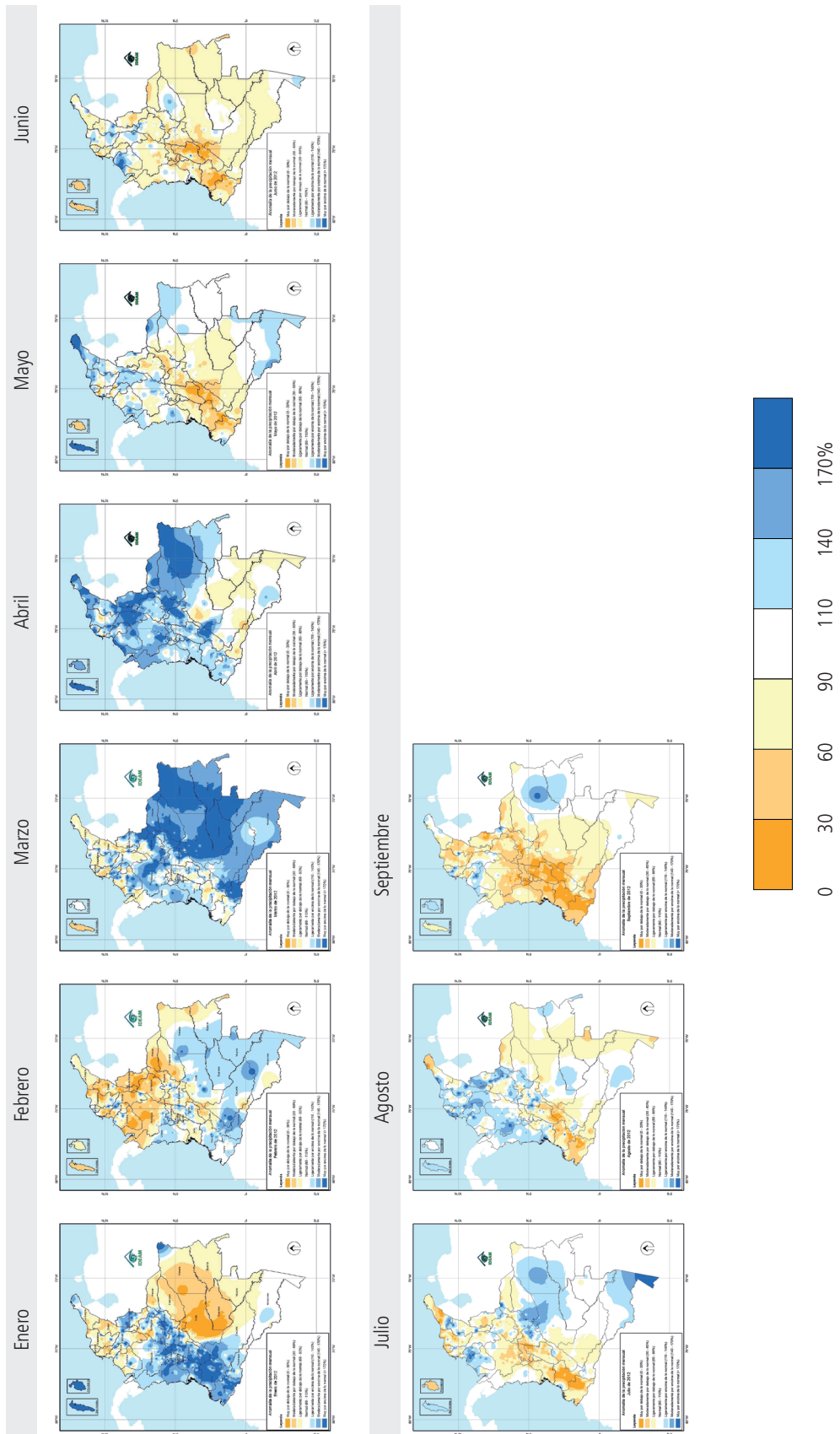


Figura 2-4. Anomalías de la precipitación a septiembre en el 2012 (%)



De acuerdo con la anterior información, se deduce del Fenómeno El Niño 2009-2010 para las diferentes regiones del país que:

**Región Andina:** El fenómeno El Niño 2009-10 tuvo un impacto marcado y dentro de los patrones previstos. El periodo de abril de 2009 a marzo 2010, registró un largo periodo de déficit de lluvias que ocupó más de la mitad de la región.

**La región Caribe:** A partir de abril de 2009 y hasta el primer trimestre de 2010, las áreas afectadas por lluvias en volúmenes por debajo de los valores normales, ocuparon gran parte de la región, respondiendo así al comportamiento esperado durante eventos El Niño.

**Orinoquía:** El año 2009, tuvo varios meses con amplias áreas deficitarias, como fueron abril, mayo, septiembre, noviembre y diciembre, y tres meses, enero, febrero y junio, con excesos. De esta manera, se nota que la Orinoquía, no respondió a un patrón definido a ninguno de los eventos y el comportamiento fue más bien aleatorio.

**Amazonía:** En el primer trimestre de 2009 la región estuvo dominada por lluvias excesivas, mientras que el resto del año, con excepción de noviembre, no mostró claro predominio de una u otra tendencia.

**Región Pacífica:** Los tres primeros meses de 2009 fueron muy lluviosos, reflejando el impacto de La Niña, en tanto que los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2009 y enero y febrero de 2010 fueron deficitarios, probablemente a causa de El Niño 2009-2010.

Con relación con el evento La Niña 2010-2011, en las diferentes regiones del país se observó:

**Región Andina:** Como en los eventos de los últimos años, se reflejaron muy bien los impactos de este fenómeno. El primer trimestre fue más seco de lo normal, como consecuencia del fenómeno El Niño 2009-2010. A partir de abril, comenzó a sentirse el efecto del paulatino enfriamiento de Pacífico, el cual conllevó al fenómeno La Niña 2010-2011, reflejado en lluvias excesivas desde abril a septiembre y en noviembre. Octubre no registró una tendencia definida, mientras que octubre y noviembre de 2010 y de febrero a abril de 2011, se registró un gran porcentaje de territorio con lluvias por encima de lo normal. Es de anotar que las excesivas lluvias presentadas desde abril, prácticamente eliminaron la temporada seca de mitad de año, por lo cual, la época lluviosa del segundo semestre, tuvo un impacto inusitado, originando uno de los inviernos más fuertes de los últimos tiempos en las regiones Andina y Caribe, principalmente.

**Región Caribe:** El primer bimestre fue seco, como consecuencia del fenómeno El Niño y a partir de marzo y hasta abril de 2011, se registró un largo periodo de lluvias excesivas, producidas por el evento La Niña 2010. Los impactos de esta larga temporada de lluvias por encima de lo normal, fueron similares a los de la región Andina y las pérdidas económicas y sociales fueron enormes en toda la región.

**Orinoquía:** El primer bimestre fue seco, como en el resto del país; de marzo a mayo y en julio, las lluvias estuvieron por encima de lo normal, y de agosto a octubre, las lluvias fueron deficitarias en concordancia con el impacto esperado del fenómeno La Niña en el oriente del país, que se supone sea contrario al impacto en la región Andina. Sin embargo, de noviembre de 2010 a enero de 2011, las lluvias estuvieron por encima de lo normal en gran parte del territorio de la Orinoquía.

**Amazonía:** El primer semestre fue predominantemente lluvioso; durante el segundo semestre, los meses de julio a octubre presentaron déficit en más de la mitad del área de la región. Por el contrario, noviembre y diciembre se registraron lluviosos.

El resto del evento La Niña (de enero a abril de 2011), la región no experimentó anomalías significativas que ocuparan más del 60% del territorio.

**Región Pacífica:** El primer bimestre estuvo menos lluvioso de lo normal en la mayor parte de la región; de junio en adelante las lluvias estuvieron en niveles superiores a lo normal, siguiendo el patrón típico del evento La Niña.

Para el evento La Niña 2011-2012, en las diferentes regiones se observó lo siguiente:

**Región Andina:** Entre mayo y septiembre de 2011 las condiciones fueron neutras con relación a los eventos ENOS (El Niño – La Niña Oscilación del Sur), sin embargo las lluvias continuaron por encima de los promedios hasta el mes de julio; en agosto y septiembre los niveles de precipitación fueron deficitarios, a partir de octubre consistente con el inicio de un evento La Niña, los valores de precipitación se fueron incrementando hasta llegar a estar muy por encima de los promedios en el mes de diciembre, situación que continuó durante los primeros meses de 2012, aunque de manera menos drástica, excepto en el mes de febrero en que las lluvias estuvieron por debajo de lo normal. Para los meses de mayo a Septiembre de 2012 en condiciones neutras, los niveles de las lluvias fueron inferiores al promedio.

**Región Caribe:** Con unas condiciones muy parecidas a la región Andina, las lluvias abundantes durante la temporada neutra se prolongaron hasta el mes de agosto, durante la época La Niña igualmente se fueron incrementando los niveles de precipitación hasta el mes de diciembre, pero para la última etapa del evento, en el año 2012, las lluvias fueron escasas y estuvieron por debajo de lo normal la mayor parte del tiempo, excepto en el mes de abril de 2012, que al igual que el primer mes de condiciones neutras, estuvo por encima de los promedios, en junio disminuyeron las lluvias.

**Orinoquía:** Durante condiciones neutras se presentó una alternancia en los niveles de las lluvias con meses de abundantes precipitaciones a meses con bajos niveles y meses con comportamiento normal; con la presencia de La Niña, esta región continuó con un comportamiento similar de alternancia de lluvias pero con una tendencia a las lluvias altas, por encima de los promedios, siendo los dos últimos meses del evento muy lluviosos, con esto se evidencia que no hay influencia de los eventos La Niña – El Niño en esta región, al menos igual a la que se presenta en las regiones Andina, Caribe y Pacífica.

**Amazonía:** En la época neutra en esta región las lluvias estuvieron mayormente por encima de los promedios con un solo mes por debajo de estos. Durante todo el tiempo de duración del evento La Niña el comportamiento fue variado, algunos meses normales seguidos de meses lluviosos y de meses secos sin que se note influencia clara de este evento.

**Región Pacífica:** Entre mayo y agosto de 2011, meses neutros, las lluvias en general tuvieron un comportamiento variado pero sin excesos, excepto en julio que estuvo muy por encima del promedio, entre octubre y abril se evidencia la influencia del fenómeno de La Niña con niveles de precipitación por encima del promedio la mayor parte del tiempo, solo en febrero se presentaron lluvias levemente por debajo de la media. En mayo las lluvias aun continuaron por encima del promedio aunque muy levemente, en junio las lluvias fueron deficitarias.

En conclusión, en la región Andina se apreció un marcado y previsible impacto de los eventos La Niña 2007-2008 (IDEAM, IAvH, Invemar, Sinchi, IIAP, 2011), 2010-2011 y 2011-2012, y El Niño 2009-2010, reflejado en el aumento (La Niña) y disminución (El Niño) de las lluvias en amplias áreas de esta región, durante los meses de mayor incidencia de estos fenómenos. Desde un punto de vista comparativo:

La región Caribe fue afectada por el fenómeno Niño 2009-2010 y tuvo respuesta en la disminución de los volúmenes de lluvia en esta región. El evento La Niña 2010-2011, afectó con abundantes lluvias a la mayor parte de la región; en el último

evento 2011-2012 de igual manera que en el evento 2007-2008, el aumento en las lluvias fue significativo al inicio del evento pero al final los efectos fueron menores.

Al oriente del país, la Orinoquía y Amazonía en general no mostraron una afectación significativa relacionada directamente con los fenómenos, salvo contadas excepciones.

En la región Pacífica, durante el segundo semestre de 2009 se mantuvieron deficiencias en grandes áreas, presumiblemente por el fenómeno Niño. La Niña 2010-2011 produjo fuertes lluvias en más de la mitad de la región durante el segundo semestre; finalmente La Niña 2011-2012 también se caracterizó por abundantes lluvias principalmente al comienzo del evento, al final las lluvias fueron menores.

Con el fin de observar un impacto más definido, se acumulan las anomalías trimestralmente y se puede ver que en el año 2010, se reflejan deficiencias en la región Andina, como producto de la etapa final del evento El Niño. En cambio en la región Caribe el trimestre acumulado se ve dominado por los excesos que se presentaron durante el mes de marzo, a pesar de que los dos primeros meses fueron claramente deficitarios. El segundo trimestre se caracteriza por lluvias fuertes en la mayoría de las regiones, la excepción es la Orinoquía donde la tendencia es de lluvias normales. En los siguientes dos trimestres el efecto de La Niña es muy claro, con excesos de lluvia dominando la mayor parte de las regiones Andina, Caribe y Pacífica.

Para el año 2011 el primer trimestre muestra la presencia del evento frío de La Niña, principalmente en las regiones Andina y Pacífica, no tanto en el Caribe, pero para el segundo trimestre (abril, mayo y junio) se ven abundantes lluvias en las tres regiones e incluso en la Orinoquía y algunos sectores de la Amazonía, el tercer trimestre en cambio tiene mayor tendencia al déficit y para el último trimestre con la reactivación del fenómeno de La Niña las regiones Andina, Caribe y Pacífica reflejan un significativo aumento en las precipitaciones.

El primer trimestre del año 2012 muestra aun lluvias fuertes, propias de eventos La Niña, en las regiones Andina y Pacífica, no así en la región Caribe que presenta lluvias deficitarias. La Orinoquía tiene un comportamiento variado y la Amazonía con abundantes lluvias. El segundo trimestre del año 2012 ya con condiciones ENSO neutras, durante la mayor parte del tiempo presenta tendencia al déficit en el centro y sur del país y lluvias por encima del promedio al norte; y para el tercer trimestre, la región Andina es deficitaria, al igual que el norte de la región Caribe y el sur de la Pacífica y excepto algunos núcleos con lluvias fuertes en las regiones Caribe, Orinoquía y Amazonía, el resto muestra un comportamiento normal.

### 2.1.2 Comportamiento de la temperatura media

La Figura 2-5, Figura 2-6, Figura 2-7 y Figura 2-8, muestran las "Anomalías mensuales de temperatura entre los años 2009 a 2012". Se puede observar que el primer trimestre del 2009, responde a la etapa final de un evento frío (La Niña) y se notan algunas áreas significativas, especialmente en marzo. A partir de abril comienzan a aparecer núcleos calientes especialmente en el oriente del país. Durante el segundo semestre, se generalizan las temperaturas por encima de lo normal en gran parte del país, como un claro reflejo del fenómeno El Niño. En los primeros meses de 2010, es muy marcado el efecto del evento El Niño, con temperaturas por encima de lo normal en gran parte del país.

Figura 2-5. Anomalías mensuales de temperatura media 2009 (°C)

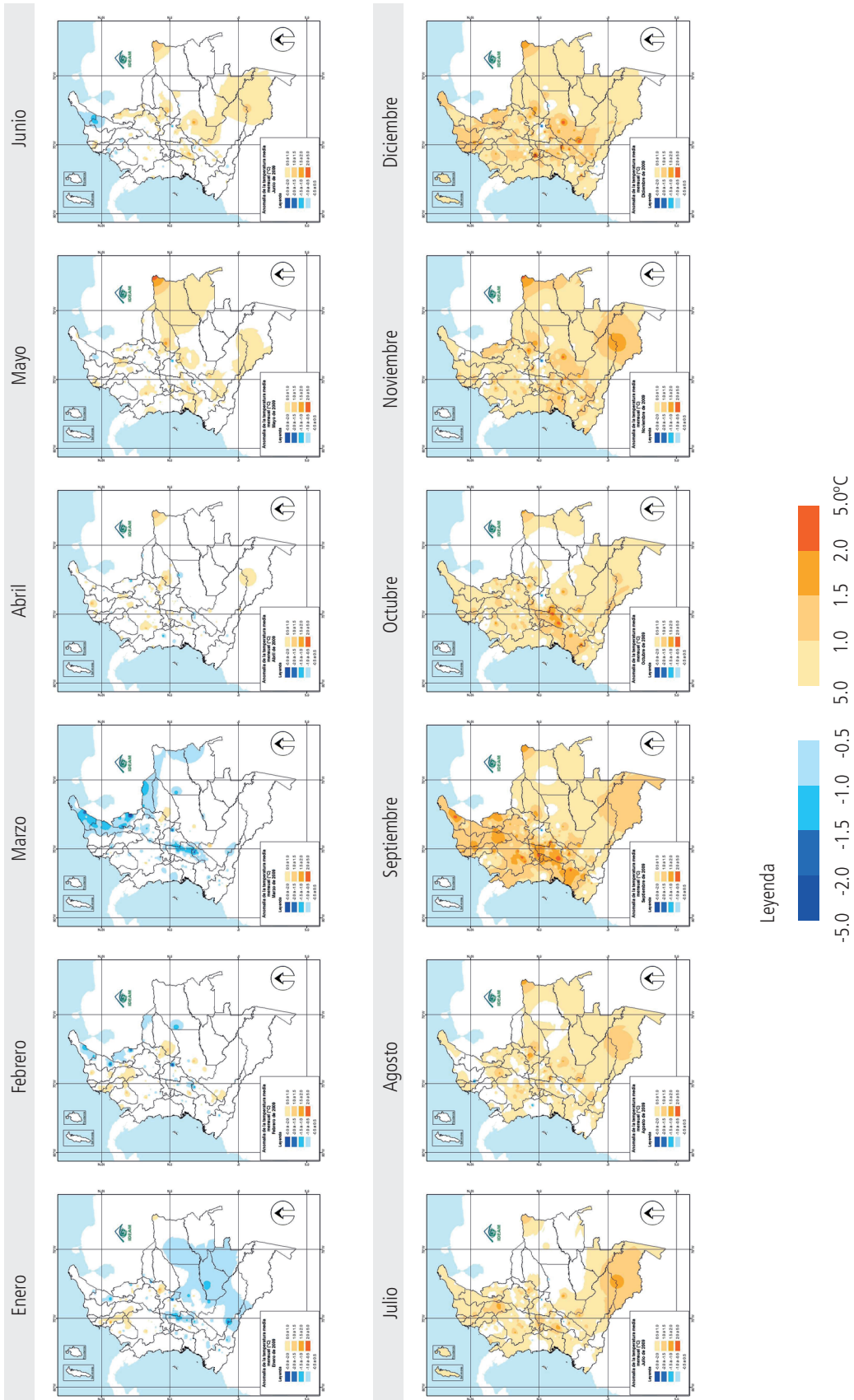


Figura 2-6. Anomalías mensuales de temperatura media 2010 (°C)

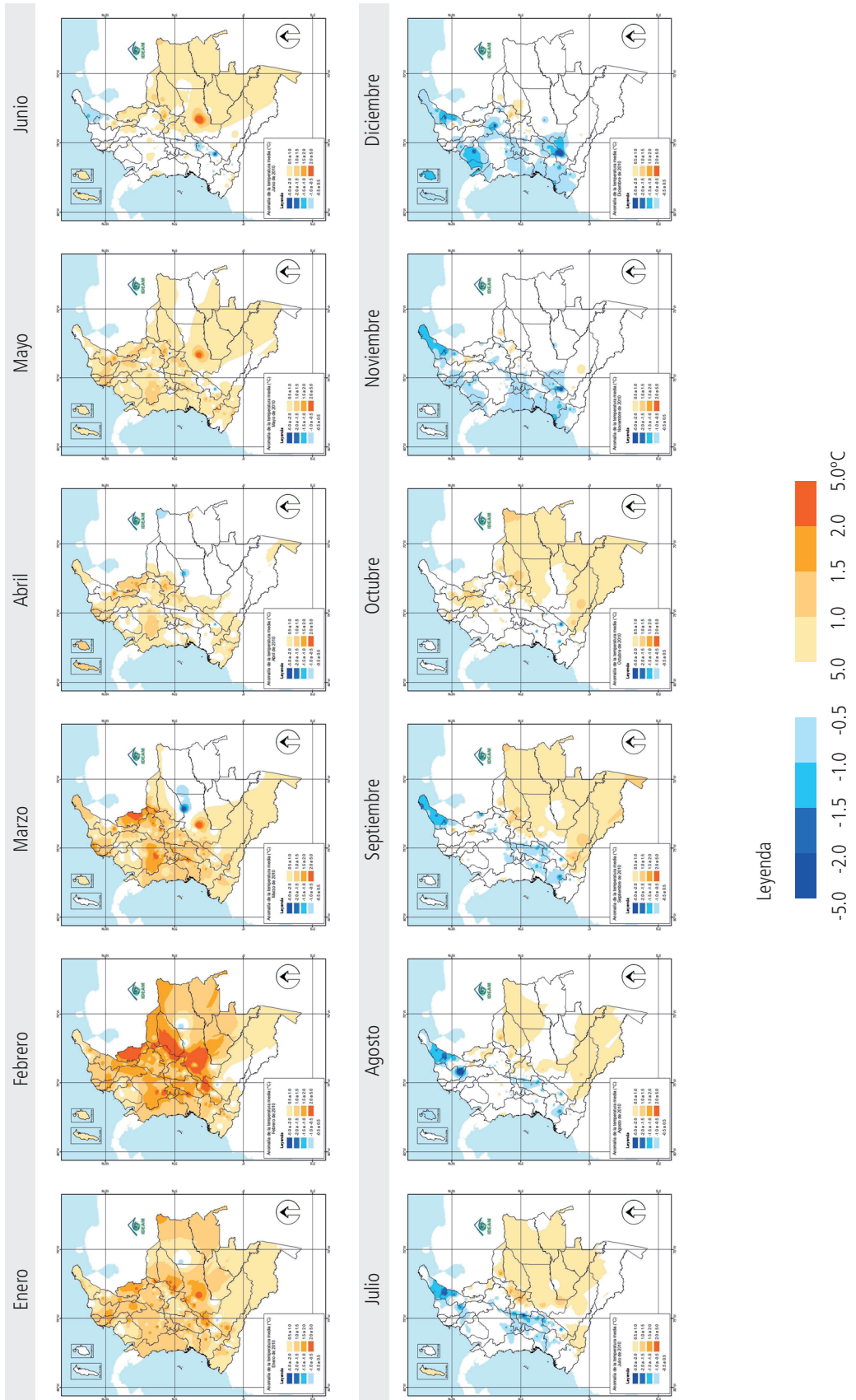


Figura 2-7. Anomalías mensuales de temperatura media 2011(°C)

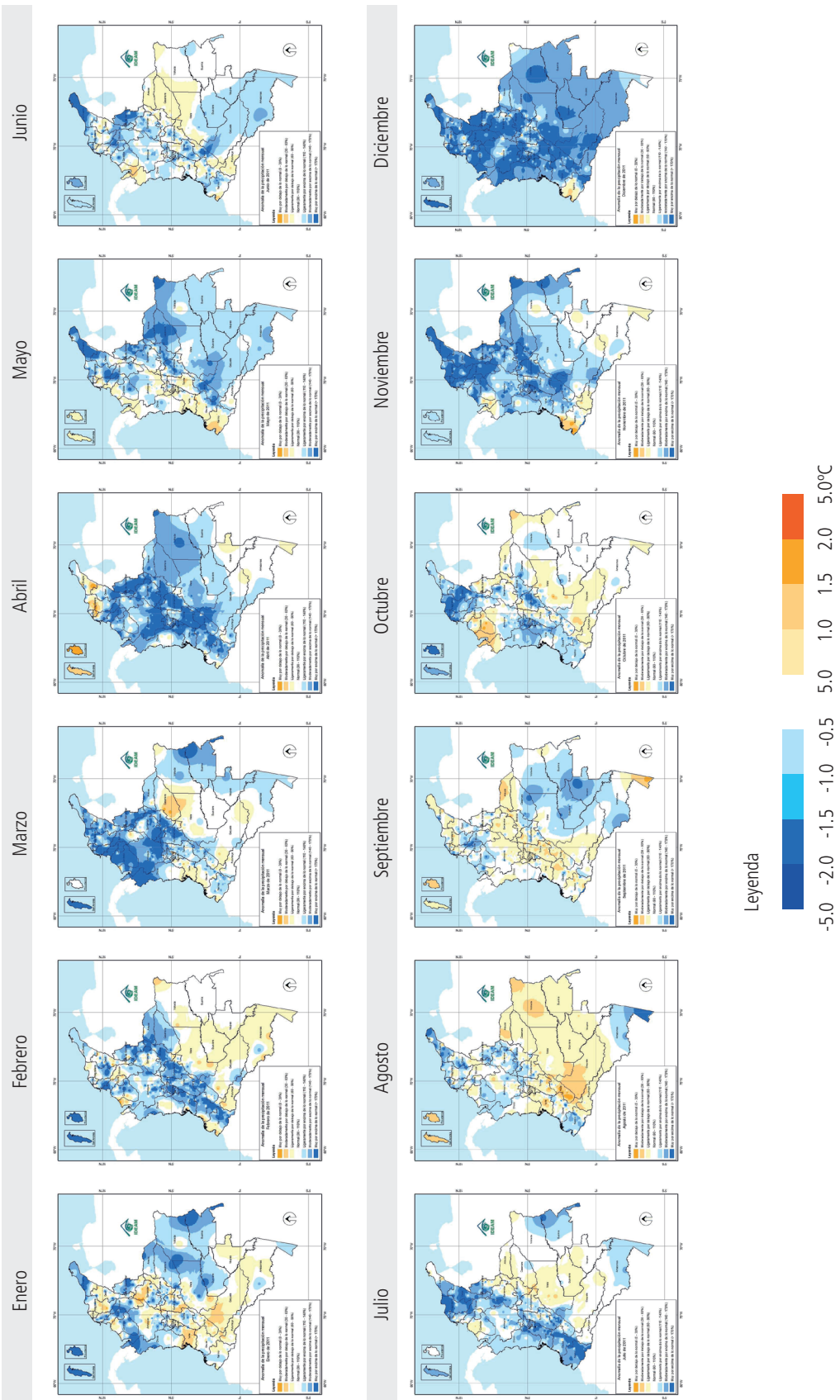
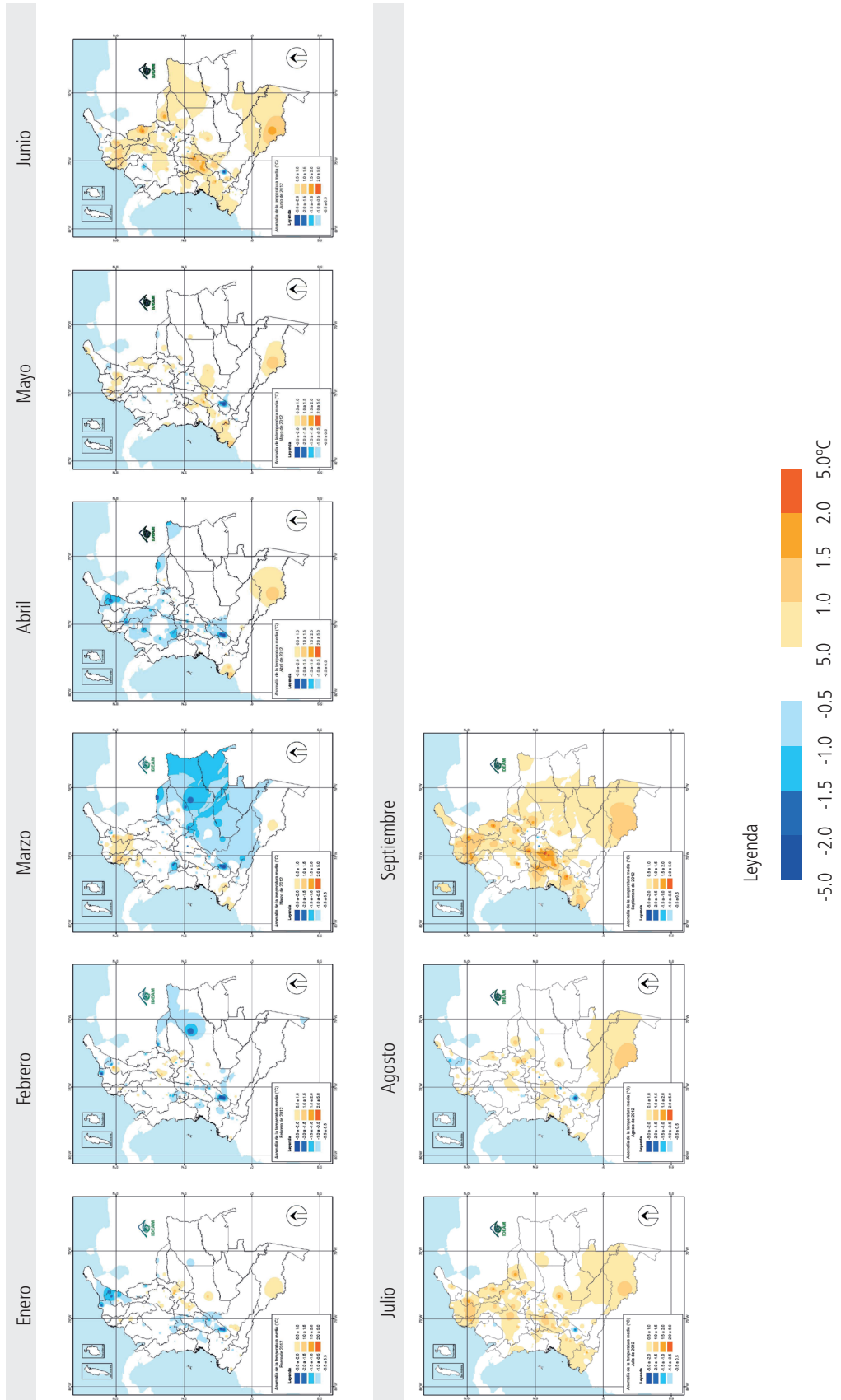


Figura 2-8. Anomalías mensuales de temperatura media a septiembre de 2012 (°C)



El evento La Niña 2010-2011 muestra núcleos de temperaturas frías, especialmente persistentes hacia el suroccidente del país. En algunos meses como noviembre, diciembre de 2010 y febrero a abril de 2011, el efecto es algo más extendido a nivel territorial. Es de anotar que durante los meses neutros el oriente del país registró temperaturas más altas de lo normal. En el año 2012, durante los últimos meses del evento de La Niña 2011-2012, las temperaturas presentan algunas áreas con valores por debajo de lo normal, principalmente en el mes de marzo y hacia el oriente del país. En los meses neutros mayo y junio de 2012, las temperaturas han estado por encima de los promedios en algunas áreas del país, especialmente entre los meses de junio a septiembre.

## 2.2 Impactos de la variabilidad climática en el territorio

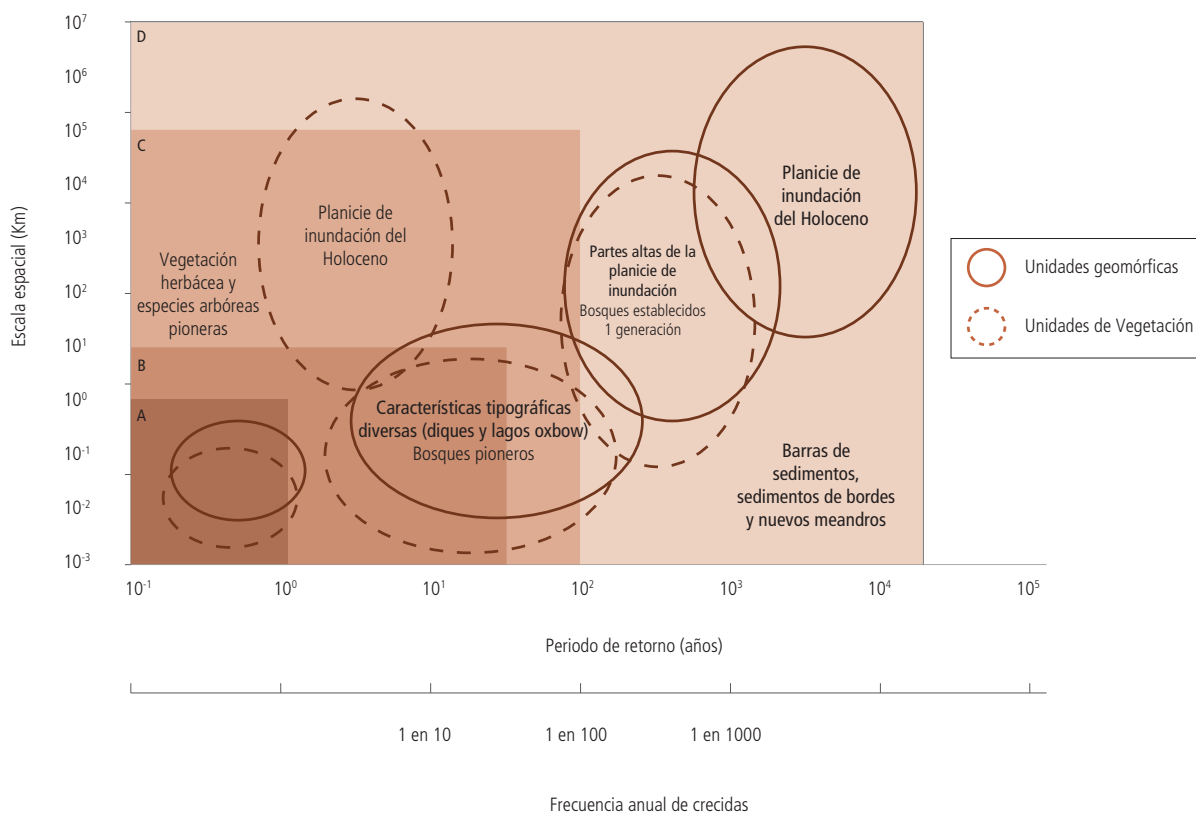
El claro incremento de las lluvias ocurrido desde el segundo trimestre del año 2010 y a lo largo del año 2011, determinó varios tipos de impactos sobre el territorio. El incremento en el nivel de los ríos seguido por un periodo significativo de inundaciones afectaron gran parte del país, particularmente en las regiones Andina y Caribe. Por efecto de los detonantes hidrometeorológicos se observa de igual forma un importante aumento de los deslizamientos casi durante los mismos meses que las inundaciones afectaron al país.

Reconociendo que las inundaciones son una parte de la variación natural de los procesos hidrológicos y cumplen una función esencial como determinantes del estado de productividad y de diversidad biológica de las planicies de inundación, por cuanto contribuyen a la fertilidad del suelo, la formación y renovación del hábitat y el intercambio de nutrientes y organismos; es posible considerar la estructura básica que describe el proceso de las inundaciones como un mecanismo recurrente asociado con la planicie de inundación tal como se esquematiza en la Figura 2-9 en la cual la región A representa la planicie de inundación que se inunda todos los años y se extiende hasta un kilómetro en el caso de ríos grandes. Una definición acuñada por los ecólogos fluviales para las planicies inundables corresponde a "zonas inundadas periódicamente (por lo general anualmente) por el desbordamiento lateral de ríos o lagos, o por la precipitación directa o incluso por una elevación en los niveles de agua subterránea", resaltando las reacciones de la biota frente al entorno físico y químico resultante. La región B comprende la sucesión de las planicies de inundación primaria y secundaria, asociada con una frecuencia media de inundaciones y que se extiende aproximadamente unos diez kilómetros.

La región C corresponde con inundaciones de alta magnitud y baja frecuencia, y puede extenderse decenas de miles de kilómetros en los sistemas de grandes ríos. En algunos casos podría asimilarse con la zona en ambos márgenes del río que se inunda por un fenómeno de crecida con un periodo de retorno de 100 años. La región D representa condiciones de cambio del clima y del nivel hídrico de base y está influida por la relajación posglacial de los aportes hidrológicos y de sedimentos a las planicies de inundación.

Por lo tanto, las acciones de intervención sobre un sistema como las planicies de inundación con el fin de realizar el manejo de las inundaciones que se presentan en una determinada zona debe fundamentarse en el conocimiento científico de conceptos básicos acerca de la morfología y ecología de los ríos y sus planicies de inundación y acerca de la manera en que estos se ven condicionados por el régimen fluvial.

Figura 2-9. Organización de los componentes y procesos de la planicie de inundación como una jerarquía espaciotemporal

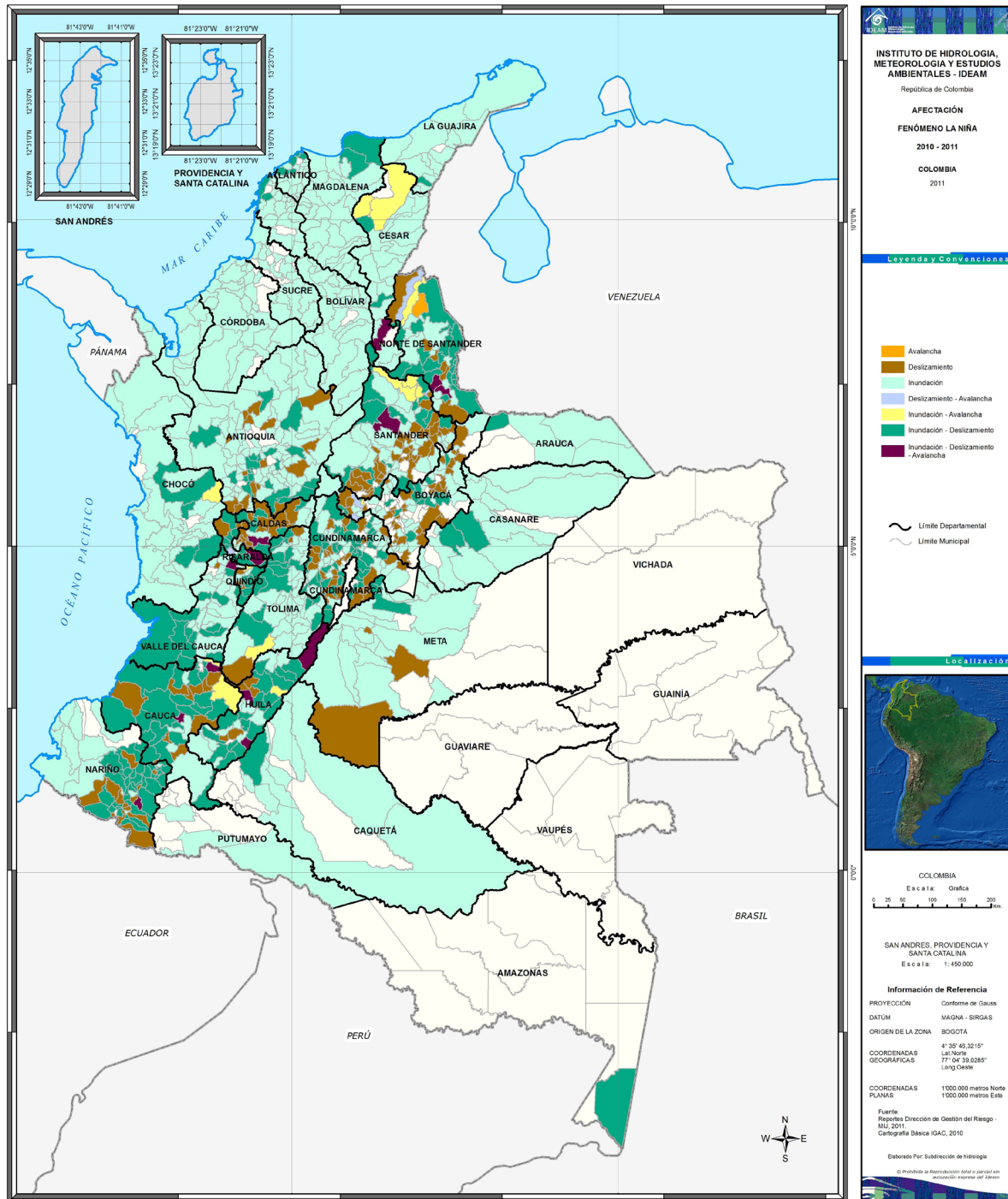


Fuente: Tockner, K y J. A. Stanford (2002), "Riverine flood plains: present state and future trends", *Environmental Conservation*, 29 (3): 308-330.  
Hughes, F.M.R. (1997), *Flood plain biogeomorphology*, *Progress in Physical Geography*, Vol. 21, 4:501-529

Con respecto a la ocurrencia de eventos de inundación asociados con el elevado incremento en las precipitaciones durante el segundo semestre del 2010 se destaca que de casi un centenar de eventos reportados para el mes de octubre (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD, 2010) los departamentos de Atlántico, Bolívar, Santander y Cesar presentaron la mayor cantidad y en total se reportó una población afectada cercana a las 130.000 personas. Durante el mes de noviembre se reportaron cerca de trescientos eventos de inundación (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD, 2010) y los departamentos de Valle del Cauca, Tolima, Chocó, Cundinamarca, Antioquia, Santander, Cesar y Boyacá presentaron más de 15 eventos cada uno. En cuanto a población afectada los departamentos con mayor afectación reportada fueron Chocó, Atlántico, Valle del Cauca y Bolívar. Los reportes de población afectada superaron las 500.000 personas.

Para el mes de diciembre se reportaron más de un centenar de eventos de inundación (DGR 2010) y los departamentos de Valle del Cauca, Cauca, Cundinamarca y Córdoba presentaron la mayor cantidad de eventos, aunque en cuanto a población afectada se refiere, el departamento con mayor afectación fue Atlántico, seguido por Cauca, Córdoba, Bolívar, Santander y Norte de Santander (Figura 2-10).

Figura 2-10. Afectación de La Niña 2010-2011



### Recuadro 2-1. Las culturas anfibas del San Jorge y del Sinú



Fuente: Banco de la República.

Los procesos de adaptación ante las condiciones planteadas por el clima y sus efectos sobre el territorio en Colombia no son nuevos.

La adaptación es un hecho final, un resultado producto de una serie de acciones acertadas. Es decir, en Colombia, ya se han logrado procesos exitosos de adaptación ante las condiciones impuestas por el clima o la orografía y otros condicionantes naturales.

Desde la simple construcción sobre palafitos de las poblaciones costeras del Pacífico colombiano y el desarrollo de grandes obras de transformación del paisaje como las ocurridas en la antigüedad en el bajo San Jorge, hasta la construcción de puentes que permiten que regiones enteras sigan interconectadas y no queden aisladas como ocurre actualmente, son todas adaptación.

Parece existir un acuerdo tácito en tres de los más importantes investigadores de geografía humana, antropología e historia en el País acerca de que "Tal vez la más grande modificación del paisaje llevada a cabo por el hombre prehispánico en Colombia, tuvo lugar en los cursos bajos de los ríos San Jorge y Sinú, donde, en áreas de 500.000 y unas 150.000 hectáreas, respectivamente, se observan vestigios de canales artificiales".

Afirman Parsons, Plazas y Falchetti que "Durante más de 2.000 años el hombre manejó los humedales, aprovechando la riqueza de la fauna acuática y controlando las aguas de inundación, con el fin de proteger las viviendas en un principio y eventualmente enriquecer con sus sedimentos las zonas de cultivo. Este fue un proceso lento, iniciado durante el segundo milenio antes de Cristo, que se prolongó en algunas áreas de los ríos Sinú y San Jorge hasta la época de la conquista española" Según Parsons 1970 y Plazas y Falchetti, 1981, 1987 citados por (Plazas & Falchetti, 1987).

### 2.2.1 Afectación de los niveles de los ríos en el periodo 2010-2012

(Autora: Nelsy Verdugo Rodríguez. Subdirección de Hidrología - IDEAM)

La respuesta hidrológica en algunos tramos de los ríos Cauca y Magdalena, desde el último trimestre de 2010 y hasta el primer trimestre de 2012, evaluada en términos de los niveles alcanzados de los ríos permitió identificar un predominio de niveles altos que superaron cotas de desbordamiento lo cual, aunado a la falla de infraestructuras de control tipo dique, determinó que extensas zonas se vieran sometidas a inundaciones.

Los ríos Magdalena y Cauca que discurren a lo largo de la región Andina y reciben los aportes de un gran número de afluentes de régimen torrencial definido por el sistema cordillerano que drenan, particularmente en las cuencas alta y media de estos ríos, presentan un régimen de variación de niveles que se ve influenciado por las condiciones de operación de los embalses de Betania y Prado para el caso del río Magdalena y Salvajina para el caso del río Cauca.

La variación de los niveles en unas condiciones promedio permite identificar a lo largo del año dos épocas de niveles altos, la del primer semestre del año con máximos en abril-mayo y la del segundo semestre del año con máximos en noviembre-diciembre.

Particularmente en la parte media de la cuenca del río Cauca, a la altura del municipio de Venecia-Antioquia, los niveles registrados durante los meses de noviembre y diciembre de 2010 fueron cercanos al doble de los promedios históricos de esa época y los alcanzados durante los meses de marzo y abril de 2011 también. Una condición de niveles muy altos superando los promedios históricos se mantuvo durante los meses de agosto a diciembre de 2011, tendencia que continuó hasta abril de 2012 cuando se evidenció una transición a condiciones cercanas al promedio histórico que se alcanzó en junio de este año (Figura 2-11).

Figura 2-11. Estación Bolombo río Cauca. Niveles medios multianuales (periodo 1974-2012)

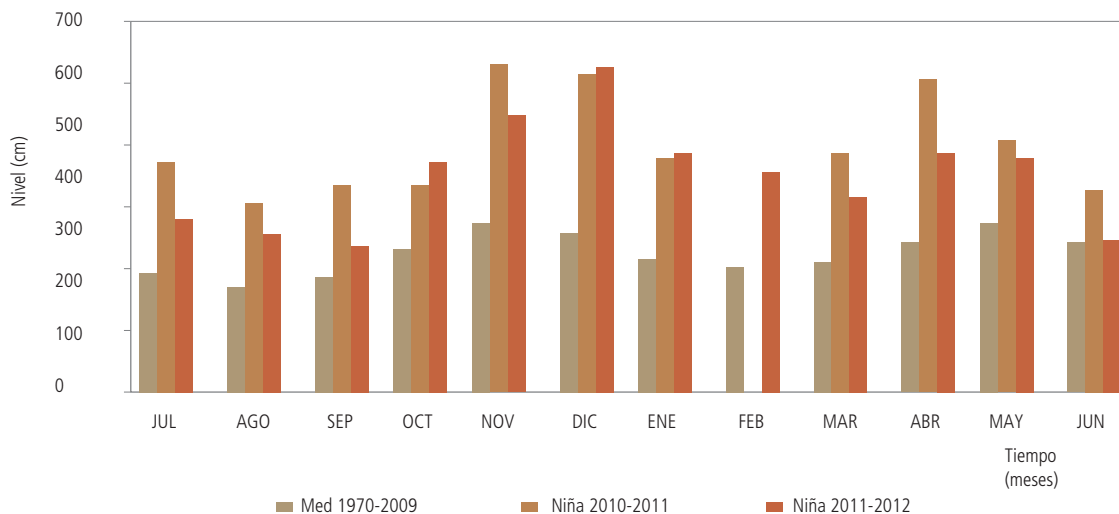
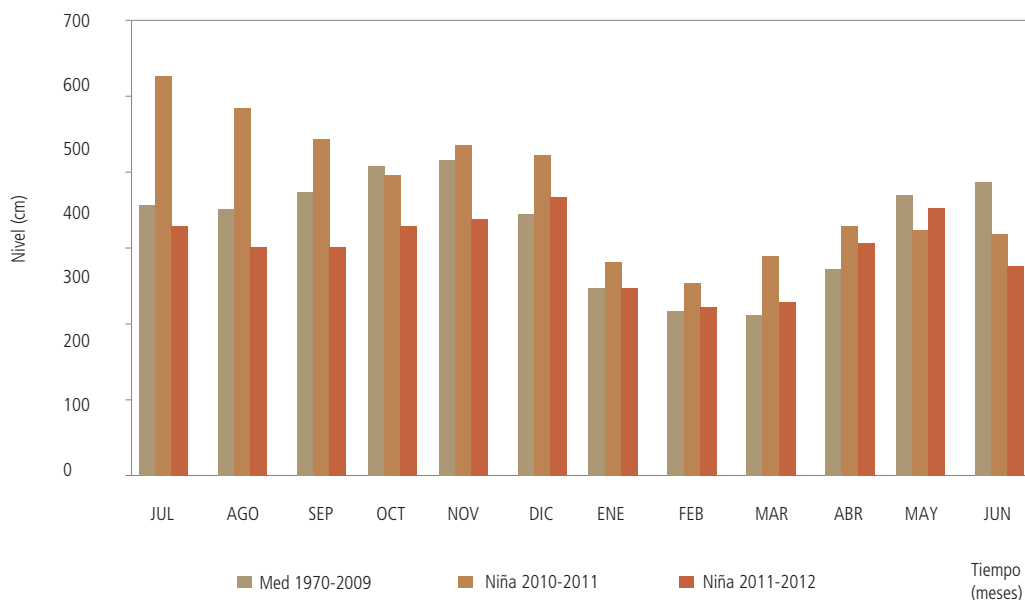


Figura 2-12. Estación Las Varas río Cauca. Niveles medios multianuales (periodo 1972-2012)



En la cuenca baja del río Cauca, a la altura del municipio de Guaranda (Sucre), la condición de niveles altos que superaron los promedios históricos se presentó desde mediados de 2010 y la aparente disminución de los niveles que se presentó en la estación Las Varas desde diciembre de 2010 (Figura 2-12) obedeció a la bifurcación que se originó en algunos sectores del río Cauca, con rompederos en las márgenes del río que ocasionaron múltiples caminos para el agua y con ello afectaciones a las poblaciones ribereñas.

En el río Magdalena en la cuenca media, a la altura de Puerto Salgar (Cundinamarca), el régimen habitual de dos temporadas de niveles altos y dos de niveles bajos presentó alteraciones con una ligera reducción en los niveles para los primeros meses del 2010. Durante los meses de noviembre y diciembre de 2010, los valores medios mensuales de niveles fueron superiores al promedio en los últimos 38 años. Esta condición se mantuvo a lo largo de 2011, acentuada durante los periodos de abril y mayo en el primer semestre y octubre a noviembre en el segundo semestre.

En Barrancabermeja (Santander) los niveles del río Magdalena se caracterizan por presentar un régimen bimodal, con dos máximos durante el año en los meses de mayo y noviembre. Sin embargo, durante el año 2010, el habitual descenso que se presenta en los meses de julio y agosto únicamente se evidenció en el mes de agosto, permaneciendo una tendencia de ascenso en los niveles para los últimos meses del año y una rápida condición de niveles en ascenso que determinó para abril de 2011 alcanzar el nivel máximo histórico en esta estación.

Para El Banco (Magdalena) los niveles del río Magdalena durante el evento La Niña 2010-2011 se mantuvieron en un 30% por encima de los promedios históricos mensuales y particularmente para los meses de agosto y septiembre se alcanzaron valores 50% superiores al promedio histórico de estos meses. Durante el evento La Niña 2011-2012 los niveles fueron aún superiores al promedio pero su incremento se mantuvo entre el quince y veinte por ciento; se destaca que en abril del 2012 los niveles presentaron incrementos cercanos a la cuarta parte del valor promedio histórico (Figura 2-13).

Figura 2-13. Estación El Banco río Magdalena. Niveles medios multianuales (Periodo 1972-2012)

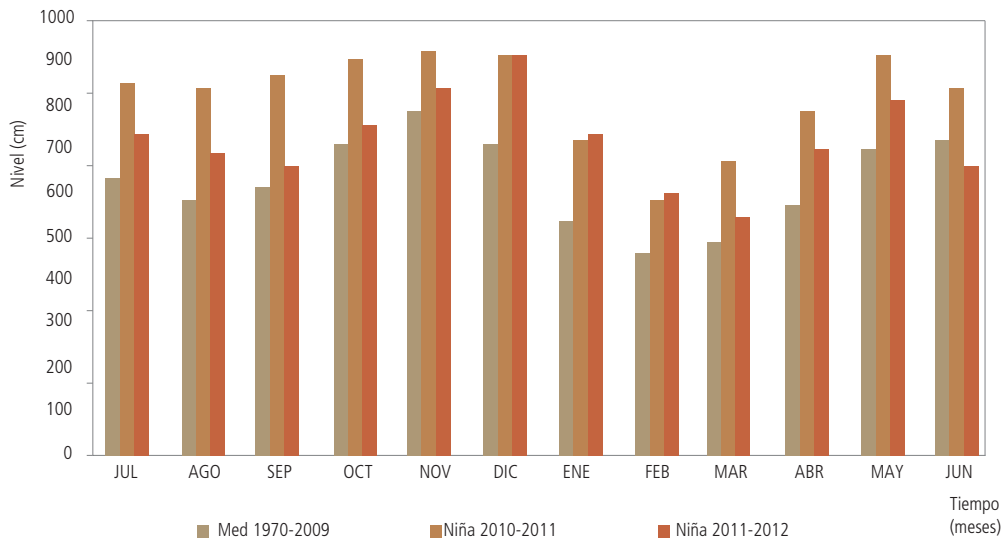
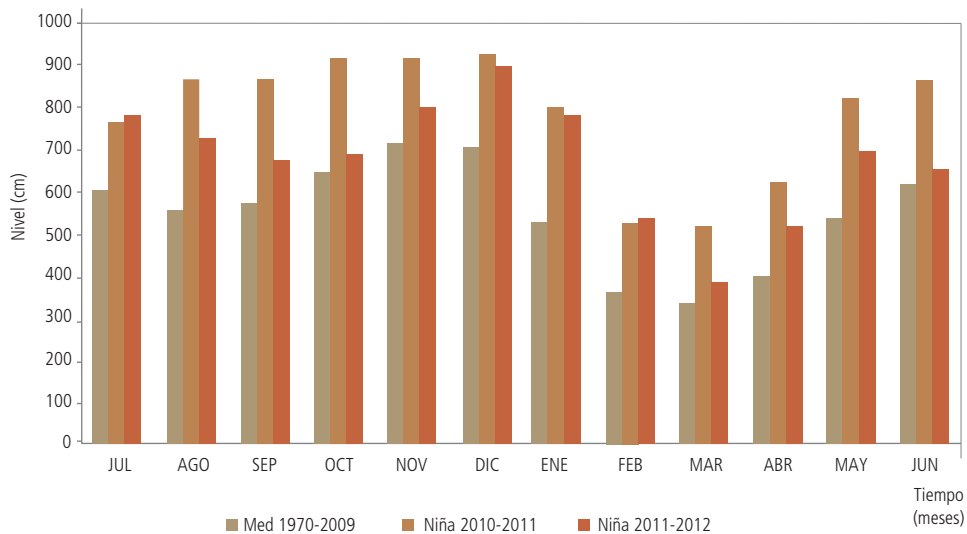


Figura 2-14. Estación Calamar río Magdalena. Niveles medios multianuales (periodo 1972-2012)



### 2.2.2 Síntesis de la caracterización de las zonas de inundaciones 2010-2011

(Autora: Nelsy Verdugo Rodríguez. Subdirección de Hidrología - IDEAM)

La caracterización de zonas inundables del territorio colombiano es un proceso en el cual el IDEAM ha venido avanzando con diferentes niveles de aproximación, en un primer nivel se reconoce que la extensa red hídrica que recorre la geografía nacional así como la configuración del paisaje determinan la ocurrencia de dos procesos bien diferenciados: inundaciones lentas y crecientes súbitas. Los primeros se asocian a las extensas zonas planas de las partes bajas de los grandes ríos: Magdalena, Cauca, San Jorge, Sinú, Atrato, Baudó, Patía, Arauca, Meta, Guaviare, Inírida, entre otros, en las cuales se configuran amplias

planicies de inundación. Los segundos se manifiestan en los sistemas montañosos y las zonas de piedemonte debido a una red de drenaje muy densa y el efecto de lluvias de corta duración y alta intensidad típicas de la zona tropical en la cual se encuentra el país y producto de fenómenos climáticos de mesoescala.

Particularmente para establecer las afectaciones por inundaciones asociadas a los eventos La Niña 2010-2011 y 2011-2012, se realizó una evaluación orientada a establecer la línea base o escenario de referencia anual de las inundaciones, considerando que los efectos más marcados por incrementos de lluvia durante estos periodos bajo la influencia de un evento típico de "La Niña" se presentan en las regiones Andina y Caribe, desde mediados del primer año del evento (Figura 2-15 y Tabla 2-1).

Figura 2-15. Áreas afectadas por Inundaciones 2010-2011

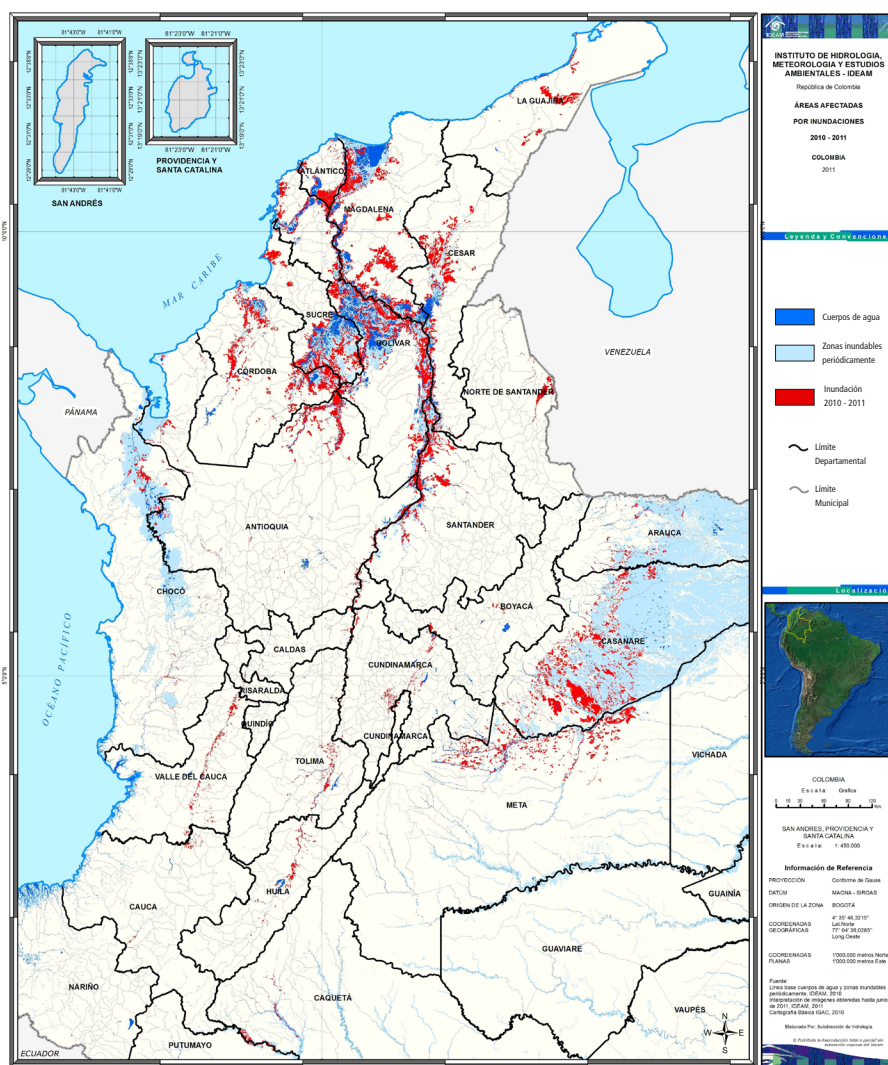


Tabla 2-1. Áreas afectadas por inundaciones 2010-2011

Departamento	Área (ha)	Muni- cipios afectados	Cuerpos de agua (ha)	Zonas inundables periódicamente (ha)	Inundación 2010-2012 (ha)	Total zona afectada (ha)	% Zona afectada
Antioquia	6.296.299	50	49.369	247.257	145.346	441.972	7.0%
Arauca	2.383.135	5	8.303	135.846	28.268	172.417	7.2%
Atlántico	331.159	21	20.587	11.627	55.827	88.041	26.6%
Bolívar	2.665.496	42	207.303	302.093	355.939	865.334	32.5%
Boyacá	2.317.531	34	11.026	1.113	18.757	30.896	1.3%
Caldas	743.890	7	2.303	257	5.747	8.307	1.1%
Caquetá	9.010.823	10	7.640	28.499	16.979	53.117	0.6%
Casanare	4.434.139	15	27.620	813.207	332.580	1.173.407	26.5%
Cauca	3.125.130	16	2.273	62	7.053	9.388	0.3%
Cesar	2.256.550	21	43.385	54.088	145.447	242.920	10.8%
Chocó	4.824.344	21	38.671	440.462	40.192	519.325	10.8%
Córdoba	2.499.858	27	37.859	71.138	185.657	294.654	11.8%
Cundinamarca	2.398.439	52	10.844	3.915	41.356	56.114	2.3%
Huila	1.813.533	17	10.572	125	21.165	31.862	1.8%
La Guajira	2.061.936	10	7.287	9.380	58.695	75.812	3.7%
Magdalena	2.314.438	29	161.324	122.774	250.580	534.678	23.1%
Meta	8.555.025	13	16.216	24.272	163.529	204.017	2.4%
Norte de Santander	2.182.705	9	2.594	525	29.668	32.787	1.5%
Putumayo	2.584.632	1	2.038	5.901	5.593	13.532	0.5%
Quindío	193.217	2	138	0	242	380	0.2%
Risaralda	356.035	6	104	0	1.988	2.092	0.6%
Santander	3.054.326	31	33.913	53.898	123.700	211.511	6.9%
Sucre	1.071.860	16	83.011	135.275	156.889	375.175	35.0%
Tolima	2.415.020	22	13.531	120	24.991	38.642	1.6%
Valle del Cauca	2.076.805	30	3.413	1.935	33.899	39.247	1.9%
Total	69.889.523	507	801.322	2.464.218	2.250.086	5.515.627	7.9%

Considerando los índices que permiten establecer la ocurrencia de eventos Niño/Niña durante el periodo 1990-2010, se seleccionó el año 2001 como un periodo durante el cual predominaron condiciones muy cercanas a las normales particularmente para la segunda temporada de niveles altos en las cuencas de los ríos de las regiones Andina, Caribe y Pacífica. Con base en la identificación de las coberturas de la tierra para el territorio nacional bajo la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000 se identificaron tres grandes unidades como las directamente asociadas a procesos de inundación: cuerpos de agua, áreas húmedas, bosques y áreas seminaturales.

En cuerpos de agua se encuentran los sistemas lénticos así como los cauces de agua permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior del continente y los que bordean o se encuentran adyacentes a la línea de costa continental. Las áreas húmedas comprenden aquellas coberturas constituidas por terrenos anegadizos, que pueden ser temporalmente inundados y estar parcialmente cubiertos por vegetación acuática, localizados en los bordes marinos y al interior del conti-

nente. Finalmente en bosques y áreas seminaturales se incluyen las áreas con vegetación de tipo arbóreo, que se encuentran localizadas en las franjas adyacentes a los cuerpos de agua (lóticos), las cuales corresponden a las vegas de divagación y llanuras de desborde con procesos de inundación periódicos.

En este escenario para 2001 el país contaba con cerca de un millón novecientas mil hectáreas en cuerpos de agua (1'888.312 ha) y diez millones y medio correspondían a zonas inundables periódicamente (10'508.251 ha). Durante los eventos La Niña 2010-2011 y 2011-2012 la extensión de las inundaciones fue de aproximadamente cinco millones y medio de hectáreas, de las cuales cerca de la mitad corresponde a superficies que periódicamente (anualmente) se inundan y cerca de ochocientas mil hectáreas son cuerpos de agua. Los departamentos que mayor área afectada registraron del total departamental fueron: Sucre, Bolívar, Atlántico, Magdalena, Córdoba, Cesar y Chocó. Se destaca que en los departamentos de Chocó, Casanare y Arauca del total de área afectada, entre el 70% y 85% corresponda a zonas periódicamente inundables.

### 2.2.3 Deslizamientos de tierra en Colombia al año 2012

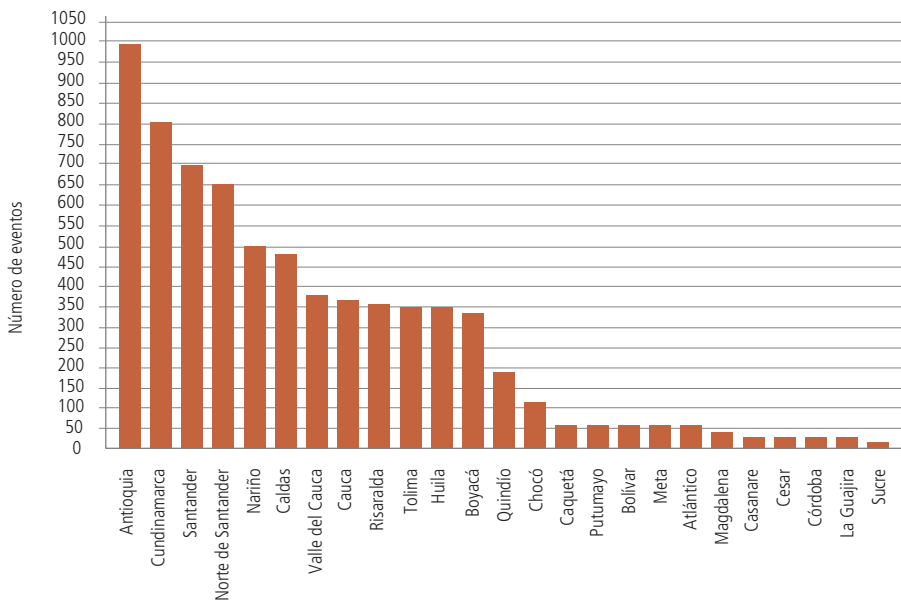
(Autores: Reinaldo Sánchez López, Eliana Carolina Rincón Carrera. Subdirección de Ecosistemas - IDEAM)

En este capítulo se presenta la síntesis de la ocurrencia y el impacto de los deslizamientos de tierra (movimientos en masa) en Colombia durante el periodo comprendido entre los años 2001 y 2012 y la influencia de los fenómenos cálidos del Pacífico (El Niño) y fenómenos fríos del Pacífico (La Niña) en la estabilidad de laderas en el territorio nacional.

#### 2.2.3.1 Deslizamientos de tierra en Colombia entre el 2001 y 2012 (enero-agosto)

Para el periodo comprendido entre los años 2001 y 2012, se dispone de un registro oficial de 7.063 movimientos en masa, de los cuales el 42,5% se presentaron en los departamentos de Antioquia, Santander, Norte de Santander y Cundinamarca con 1.004, 705, 657 y 634 eventos, respectivamente (Figura 2-16).

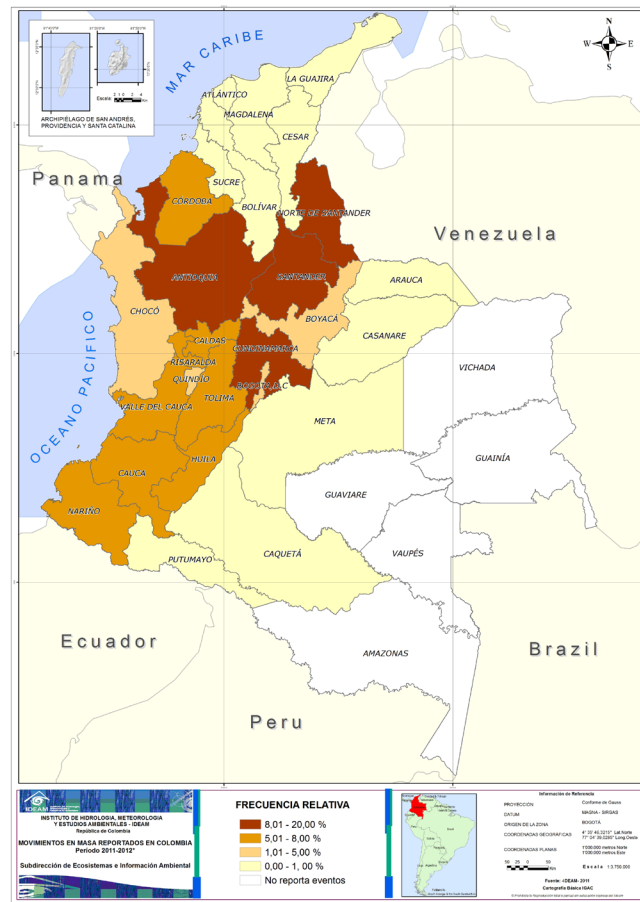
Figura 2-16. Números de deslizamientos por departamento entre los años 2001 y 2012



Datos actualizados hasta 31 de agosto de 2012

Como se observa en la Figura 2-17, los eventos se concentraron en la Región Andina, con un 92,1% de los eventos respecto al total reportados en el país para el periodo de análisis; de forma consecuente con esto el 7,9% de eventos fue reportado para las regiones Caribe, la Orinoquía y de la Amazonía.

Figura 2-17. Mapa de distribución espacial de los movimientos en masa reportados para el periodo 2001-2012



Datos actualizados hasta el 31 de agosto de 2012

Durante el periodo 2001-2012, los movimientos en masa generaron emergencias de variada intensidad de daño entre los que sobresalen los daños corporales relacionados con la muerte de personas y heridos, los daños estructurales con la destrucción y daño de viviendas, carreteras, poliductos, acueductos, ocasionando desabastecimiento de poblaciones enteras, trastornos en el comercio de materias primas, productos agrícolas y pecuarios.

El mayor número de muertos ocasionados por los deslizamientos se reportó en los departamentos de Antioquia, Caldas, Nariño y Cundinamarca; mientras que la mayor proporción de población afectada se registró en los departamentos de Cauca, Boyacá, Nariño, Tolima, Santander, Norte de Santander, Cundinamarca, Antioquia y Valle del Cauca.

Durante los episodios cálidos del Pacífico (El Niño) los deslizamientos y los flujos torrenciales, disminuyen, mientras que los mismos se incrementan durante los episodios fríos del Pacífico (La Niña). De acuerdo con el Inventario de Movimientos en Masa de origen hidrometeorológico que realiza el IDEAM a partir de los reportes entidades oficiales bajo la influencia del

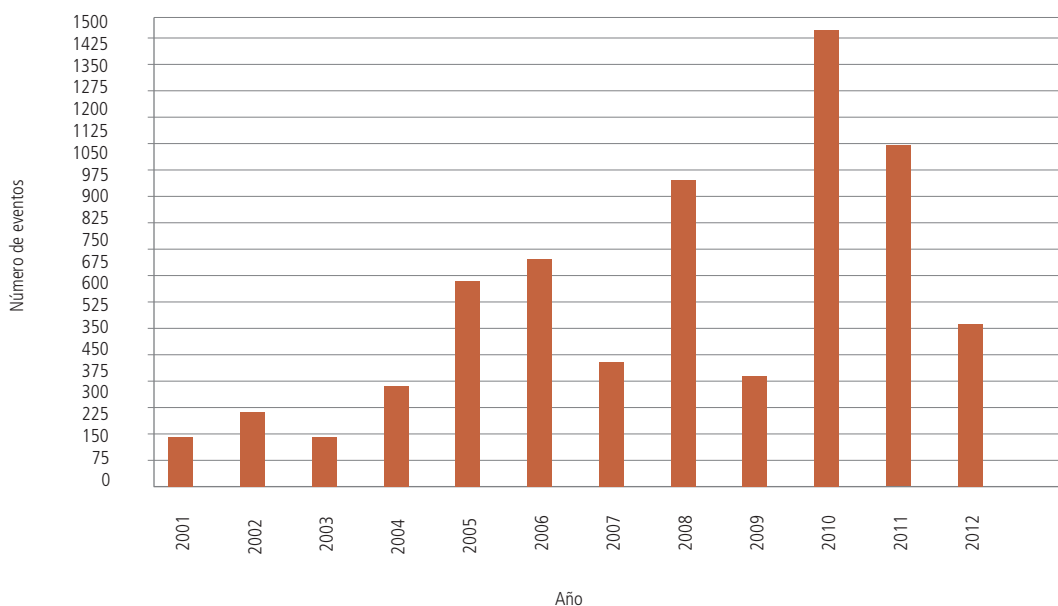
fenómeno de La Niña, los movimientos en masa aumentan aproximadamente en un 57%, mientras que durante la presencia del fenómeno de El Niño los mismos disminuyen en un 78%.

Respecto a la frecuencia de los fenómenos durante el periodo evaluado, se tiene registro de la presencia de tres fenómenos de La Niña (septiembre de 2007 a mayo de 2008, julio de 2010 a mayo de 2011 y septiembre de 2011 a abril de 2012), cuatro fenómenos de El Niño (mayo de 2002 a marzo 2003, junio de 2004 a febrero de 2005, agosto de 2006 a enero de 2007 y junio de 2009 a abril de 2009) y cuatro periodos neutros o normales (abril 2003 a mayo de 2004, marzo de 2005 a julio de 2006, febrero de 2007 a agosto de 2007 y junio de 2008 a mayo de 2009).

Los mayores registros de deslizamientos se presentaron en los años de 2008, 2010 y 2011 con 962, 1.465 y 1.203 eventos (Figura 2-18), respectivamente; en los cuales se observó la marcada influencia e intensidad del fenómeno frío del Pacífico (La Niña), particularmente en los meses de mayo y noviembre del 2008, noviembre y diciembre del 2010, abril del 2011; los cuales ocurrieron principalmente en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Santander, Norte de Santander, Nariño, Caldas, Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Tolima, Huila, Boyacá y Quindío (Figura 2-16 y Figura 2-17). Dichos eventos dejaron como saldo aproximado 563 muertos, 525 heridos, 203 desaparecidos, 183.632 personas damnificadas, 34.443 viviendas destruidas y 24.003 averiadas, así como daños en 43 sedes educativas e infraestructura de servicios públicos. Por la intensidad de los daños el fenómeno La Niña del periodo julio de 2010 a mayo de 2011 ha sido catalogado como fuerte, mientras el fenómeno La Niña del periodo septiembre 2011 a marzo de 2012 fue catalogado como moderado (Figura 2-18).

En contraste con los periodos en los cuales se presentó la influencia del fenómeno cálido del Pacífico (El Niño) y a pesar de la generalizada disminución de las lluvias, se registraron 619 eventos en los cuatro periodos mencionados inicialmente; los cuales presentaron mayor frecuencia de movimientos en masa, en los meses de abril y noviembre de 2004 en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Santander, Cundinamarca, Caldas, Valle del Cauca, Norte de Santander y Tolima, donde se reportaron 149 muertos, 163 heridos, 19 desaparecidos, 61.259 personas y 12.807 familias damnificadas, 3.477 viviendas destruidas y 4.791 averiadas.

Figura 2-18. Número de deslizamientos reportados por cada año periodo 2001 y 2012



\* Datos actualizados hasta 31 de agosto de 2012

### 2.2.3.2 Persistencia de la amenaza por deslizamientos durante el evento Niña 2011-2012

Con base en la información generada por el modelo de pronóstico diario de la amenaza por deslizamientos, a continuación se presenta el análisis de la persistencia de amenaza por deslizamientos de tierra para el fenómeno frío del Pacífico “La Niña” en el periodo septiembre 2011 a abril de 2012.

Durante el periodo se presentó una alta a muy alta persistencia de la amenaza por deslizamientos en el centro y occidente del territorio nacional, particularmente en centro del departamento de Chocó, en el sur de Santander, sur de Antioquia, nororiente de Caldas, sur de Nariño, Piedemonte de Meta; mientras que en los departamentos de Huilla, Tolima, Risaralda, Quindío, occidente de Boyacá se presentó persistencia moderada a alta (Figura 2-20).

Figura 2-19. Mapa de persistencia de la amenaza por deslizamientos de tierra en Colombia La Niña septiembre 2011- marzo 2012

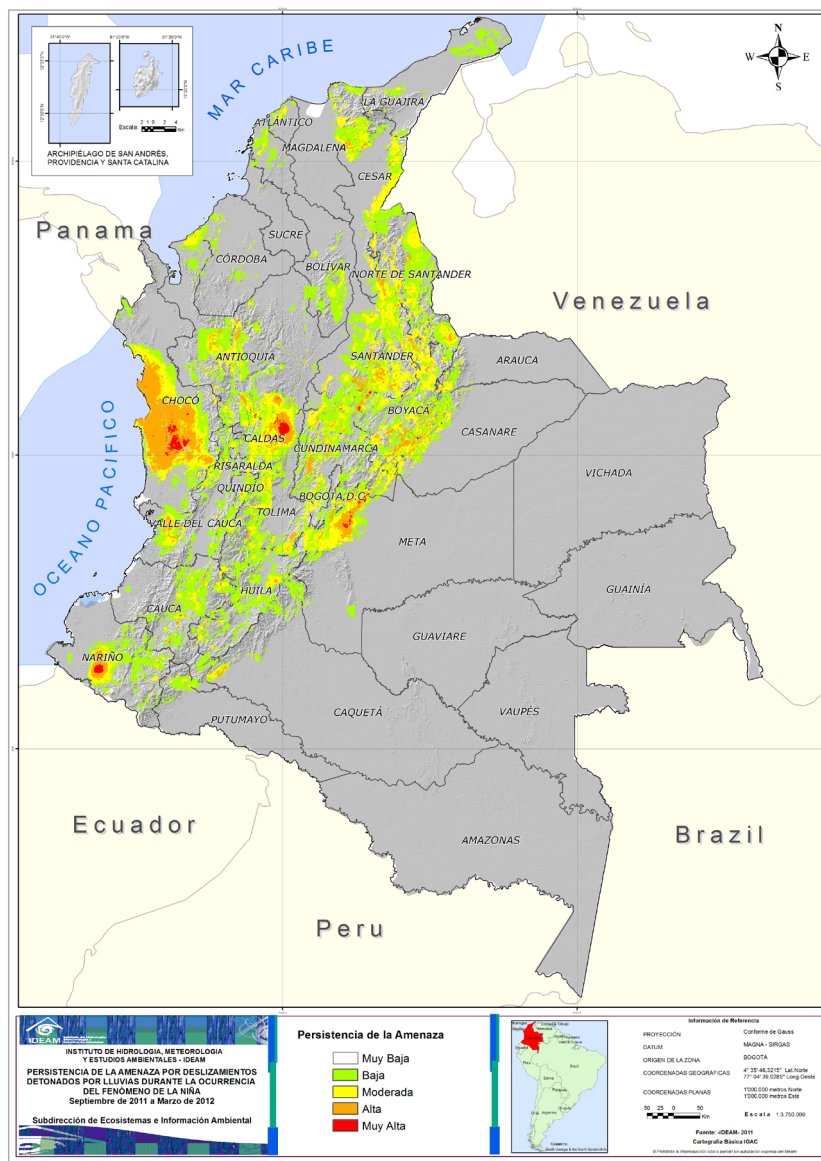
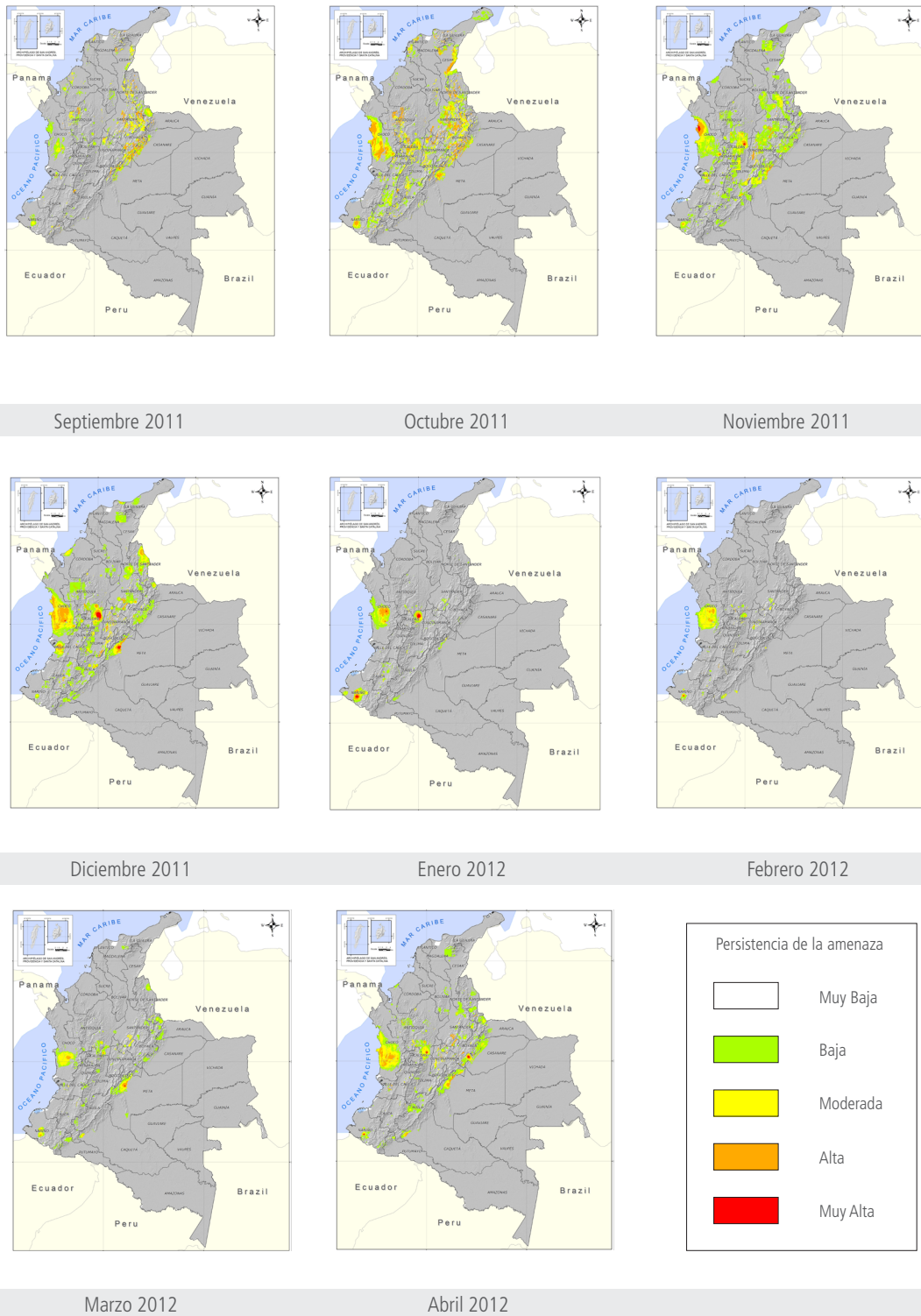


Figura 2-20. Distribución espacio temporal de la persistencia de la amenaza por deslizamientos de tierra en Colombia, durante el evento "La Niña" septiembre 2011- abril 2012



### 2.2.4 Retroceso de los glaciares en Colombia y vulnerabilidad de las poblaciones aledañas

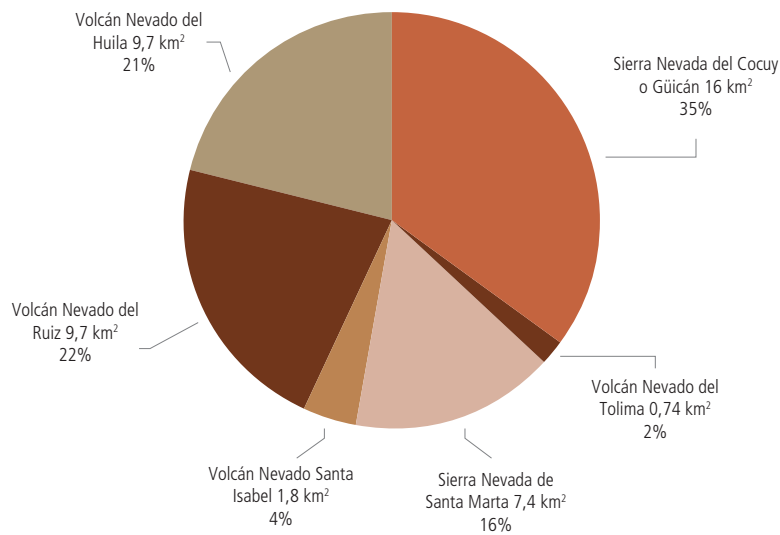
(Autores: Jorge Luis Ceballos Liévano, Édgard Leonardo Real Núñez, Camilo Eduardo Rodríguez Murcia, Félix Ignacio Meneses Arias. Subdirección de Ecosistemas - IDEAM)

A 2010 se actualizó el área glaciaria con base en las imágenes satelitales RapidEye dando como resultado 45,3 km<sup>2</sup> aproximadamente la cual se encuentra distribuida en seis nevados en la siguiente proporción (Tabla 2-2 y Figura 2-21).

Tabla 2-2. Áreas glaciares actuales de Colombia periodo 2010

Nombre del glaciar (m)	Altitud máxima (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Superficie relativa con respecto al área glaciaria total de Colombia	Año de Actualización	Fuente
Sierra Nevada del Cocuy	5.330	16	35 %	2010	Imagen satelital RapidEye
Volcán Nevado del Huila	5.364	9,7	21 %	2010	Imagen satelital ALOS
Volcán Nevado del Ruiz	5.330	9,7	22 %	2010	Imagen satelital RapidEye
Sierra Nevada de Santa Marta	5.775	7,4	16 %	2010	Imagen satelital RapidEye
Volcán Nevado Santa Isabel	5.100	1,8	4 %	2010	Imagen satelital RapidEye
Volcán Nevado del Tolima	5.280	0,74	2 %	2010	Imagen satelital RapidEye

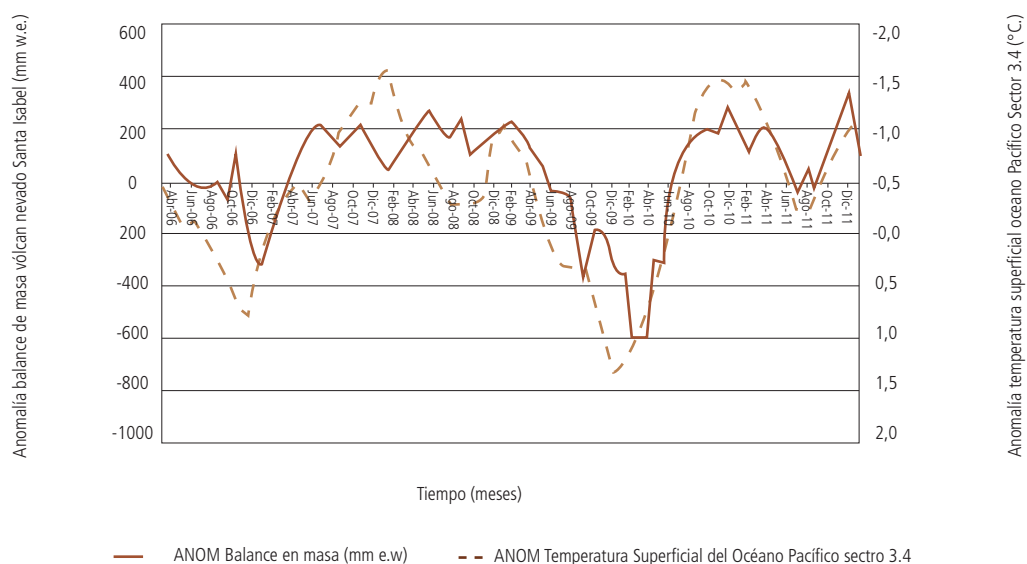
Figura 2-21. Área glaciaria actual en Colombia año 2010



\* Fuente IDEAM

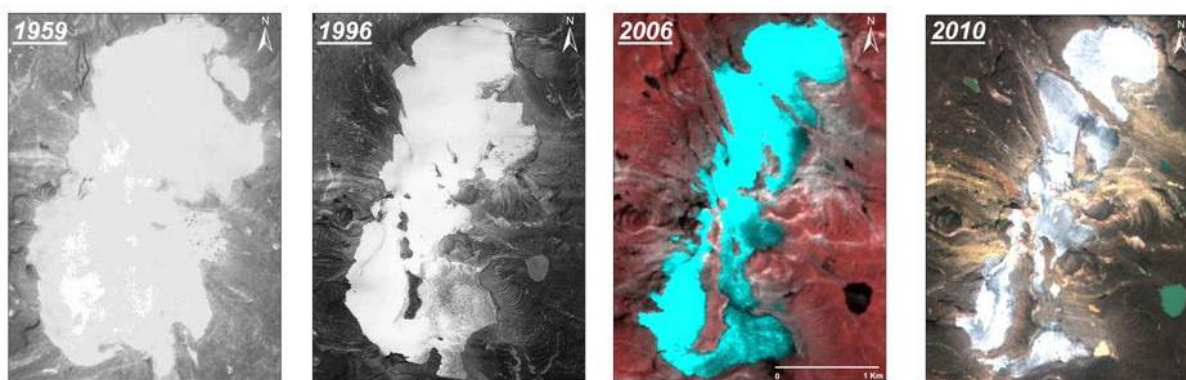
A pesar de la pequeña extensión de los glaciares en Colombia comparado con otros países latinoamericanos como Argentina, Bolivia Chile o Perú los glaciares colombianos son particulares por ser los más septentrionales de Suramérica. Esta ubicación latitudinal los hace fieles indicadores de las variaciones climáticas a diferentes escalas temporales, ya que responden de manera casi inmediata ante las fluctuaciones de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) y El Ciclo “El Niño-La Niña” Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) como se ha demostrado por primera vez en Colombia por medio de los estudios realizados por el IDEAM (Figura 2-22).

Figura 2-22. Anomalías en la temperatura superficial del océano Pacífico sector 3.4 y su relación con el balance de masa del glaciar Conejeras, Volcán Nevado Santa Isabel.



Estos estudios muestran que en general el área glaciar en Colombia se ha reducido en 60% en los últimos 60 años (Figura 2-23) con un retroceso del borde inferior de hielo del orden de 20 a 25 metros longitudinales por año.

Figura 2-23. Evolución glaciar del Volcán Nevado Santa Isabel 1959-2010

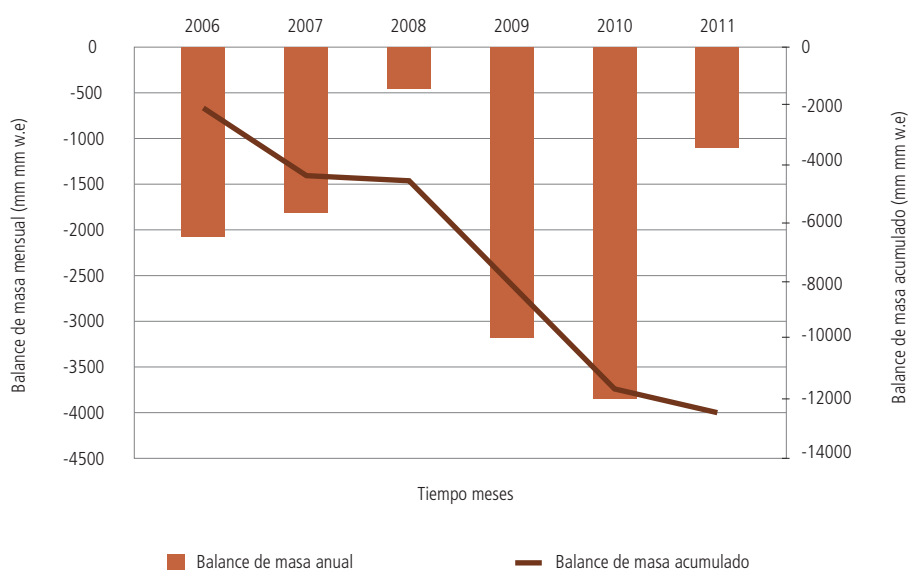


El Volcán Nevado Santa Isabel ha reducido su área glaciar en 81% durante el periodo 1959-2010 siendo uno de los glaciares con mayor retroceso en Colombia.

Uno de los glaciares piloto del IDEAM, el glaciar Conejeras ubicado al noroeste del volcán nevado Santa Isabel (Cordillera Central), indica que durante el periodo de observación (abril 2006-diciembre de 2011) este glaciar aportó al ciclo hidrológico aproximadamente 12 metros equivalentes de agua (m w.e) (Figura 2-24). Esta cuantificación se realiza aplicando la técnica del cálculo del balance de masa glaciar la cual permite estimar la masa de hielo glaciar perdido o ganado en un periodo de tiempo determinado. Con esta técnica se ha identificado por primera vez en Colombia la influencia de los fenómenos climáticos regionales “El Niño” -“La Niña” sobre dos glaciares colombianos (Figura 2-22 y Figura 2-24).

Al respecto, durante el último fenómeno climático “El Niño” (2009-2010) se estimó que los glaciares colombianos aportaron al ciclo hidrológico 6.912 milímetros equivalentes de agua (m w.e) (1,5 millones de m<sup>3</sup> de agua) siendo este el mayor periodo de pérdida de masa glaciar en los seis años de observación. Caso contrario se presentó durante el fenómeno climático “La Niña” (2010-2011) cuando por ejemplo, el glaciar Conejeras disminuyó sus pérdidas a 333 milímetros equivalentes de agua (6.600 m<sup>3</sup> de agua) debido a la caída de nieve que inhibe los procesos de fusión glaciar (Figura 2-24).

Figura 2-24. Balance de masa anual glaciar Conejeras volcán nevado Santa Isabel

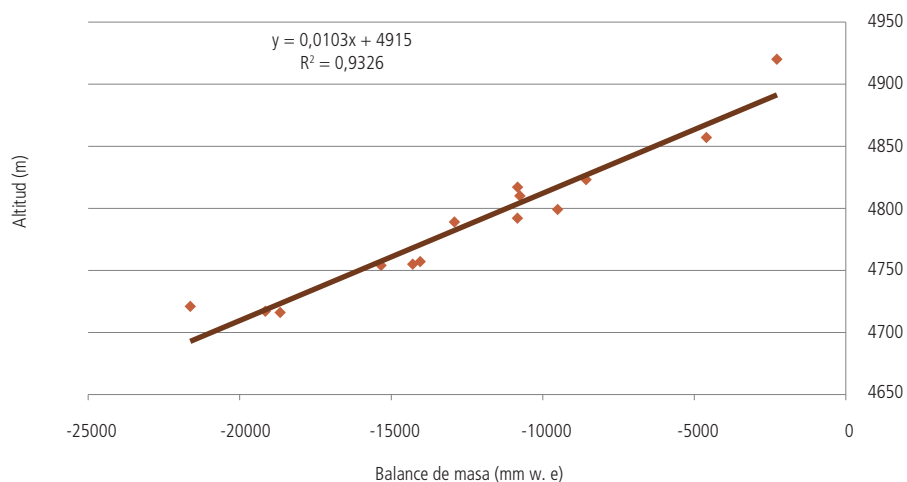


Adicional a esto, el balance de masa ha permitido estimar que la Elevación de la Línea de Equilibrio (ELA, por sus siglas en inglés)<sup>2</sup> para Colombia se localiza aproximadamente a 4.915 m de altitud (Figura 2-25).

Como conclusión, los glaciares colombianos no mostraron recuperación de masa después del fenómeno climático “El Niño” 2009-2010 a pesar de las precipitaciones por encima de lo normal durante el fenómeno climático La Niña 2010-2011. El área glaciar en Colombia continúa decreciendo 3% por año.

<sup>2</sup> La ELA es el nivel altimétrico donde el balance de masa alcanza el valor de cero (0) mm equivalentes de agua y separa la zona de acumulación de la zona de ablación.

Figura 2-25. Altitud (m) de la Línea de Equilibrio Glaciar Conejeras Volcán Nevado Santa Isabel (abril de 2006 - diciembre de 2011)



### Vulnerabilidad de las poblaciones aledañas a los glaciares en Colombia

Durante el año 2011 el volcán nevado Santa Isabel estuvo recubierto de un espesor de nieve promedio de 440 mm (0,44 m). Esta nieve actuó como un aislante térmico que minimizó los procesos de fusión glacial.

Los glaciares colombianos son más que masas de hielo. Las aguas que de allí se desprenden durante el proceso de fusión surten a poblaciones generalmente campesinas, que las usan para el consumo doméstico y las actividades agropecuarias. Es de esta forma que las poblaciones campesinas de alta montaña (habitantes de tierras por encima de los 2.700 m de altitud) de la cuenca del río Nevado (Sierra Nevada de El Cocuy, Chita o Güicán), aprovechan las “aguas blancas” que se desprenden de los casquetes glaciares, y que pueden representar entre el 15% y el 17% de la escorrentía superficial total de la alta montaña.

A través de 12 sistemas de acueducto, algunos de ellos con bocatomas por encima de los 4.200 msnm, cerca de 3.513 hombres y mujeres captan las aguas de los drenajes superficialmente vinculados a las masas glaciares de la Sierra Nevada de El Cocuy, especialmente en las temporadas secas cuando disminuye la precipitación y aumenta la fusión glacial.

En las veredas de alta montaña que rodean los glaciares del PNN Los Nevados (volcanes nevados de Santa Isabel, Ruiz y Tolima), la relación cambia, y las 3.153 personas que viven en esas tierras prefieren tomar agua de nacimientos y humedales.

El aporte que esos glaciares hacen a la escorrentía superficial de la alta montaña del Parque Nacional Natural Los Nevados, calculado entre un 4% y un 8%, es utilizada solo marginalmente, especialmente para el riego de potreros.

Para el caso del Volcán Nevado del Wila o Huila y de la Sierra Nevada de Santa Marta, si bien no se tienen datos precisos sobre el volumen de aguas aportado superficialmente por los glaciares y sobre la localización puntual de los asentamientos

humanos, se espera que la dependencia a las aguas de fusión sea mínima, dada la relación que los pueblos indígenas de esas zonas mantienen con la alta montaña, sus ríos y lagunas. Allí los vínculos entre comunidades humanas y casquetes glaciares son de tipo simbólico, jugando un papel importante dentro del marco cultural y territorial de los pueblos del Volcán Nevado del Wila (pueblo Nasa) y de la Sierra Nevada de Santa Marta (pueblos Kogui, Arhuaco, Wiwa y Kankuamo).

En Colombia, algunos centros urbanos localizan sus bocatomas de acueducto sobre cursos de agua que son parcialmente alimentados por los glaciares. Ese es el caso de Pereira (río Otún), Ibagué (río Combeima), Aracataca (río Aracataca) y Valledupar (río Guatapuri).

### 2.2.5 Incendios forestales durante el año 2011

(Autoras: Mónica Cuéllar Buraglia, Mery Ladino. Subdirección de Ecosistemas - IDEAM)

A continuación se presentan los datos sobre ocurrencia de incendios reportados por las entidades competentes del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD), del Sistema Nacional Ambiental y la Defensa Civil, para el año 2011.

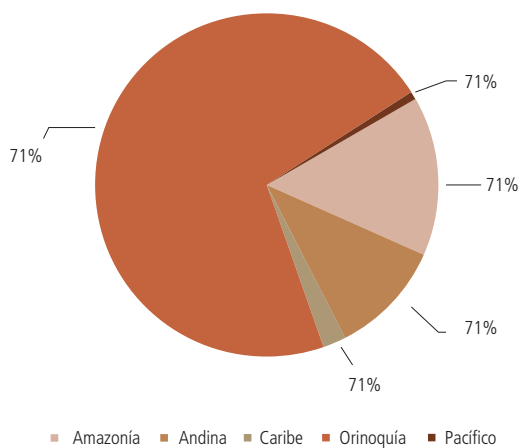
Los datos reportados, muestran que para este año, se quemaron en Colombia 44.394 ha siendo la Orinoquía la región que tuvo mayor afectación con 31.640 ha (72% del total), seguida por las regiones Amazonía con 6.662 ha y Andina con 4.792 ha (15% y 11 %, respectivamente), recordando que el fenómeno de La Niña<sup>3</sup> presente este año en el territorio colombiano, tuvo sus mayores repercusiones justamente en estas dos últimas regiones. (Figura 2-26).



Fuerza Aérea Colombiana

<sup>3</sup> La "Niña" se manifiesta entre otras variables, por un enfriamiento de las aguas del Océano Pacífico Tropical central y oriental frente a las costas del Perú, Ecuador y sur de Colombia. Este fenómeno favorece el incremento de las mismas en gran parte del país en particular sobre las regiones Caribe y Andina.

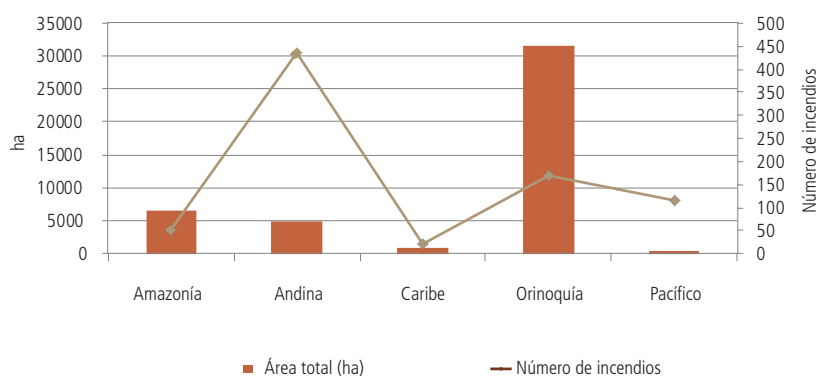
Figura 2-26. Porcentaje del área total afectada por región



Fuente: Sistema Nacional para la Prevención y Atención a Desastres (SNPAD), Sistema Nacional Ambiental (SINA), Defensa Civil Colombiana

Al analizar los datos, sin embargo, se observa que en relación con el número de incendios, la región Andina fue aquella que ocupó el primer lugar con aproximadamente 437 incendios (55% del total), seguido por las regiones Orinoquia con 169 (21%) y Amazonía con 51 (7%), situación que refleja el comportamiento típico de los incendios en la Orinoquia, caracterizados generalmente por ser de grandes extensiones, debido a los ecosistemas de sabana, en donde se conjugan topografías planas o semionduladas con grandes extensiones de vegetación altamente pirogénica y una limitada capacidad territorial de respuesta inmediata. Por el contrario, los incendios de la región Andina están asociados al desarrollo de actividades agropecuarias como parte del proceso de tala, tumba, roza y quema para el establecimiento de nuevos cultivos y por lo tanto, su ocurrencia es frecuente, pero la respuesta para su atención por parte de los organismos encargados, es más rápida y por lo tanto, más eficiente para el control del incendio (Figura 2-27). Importante mencionar, que los datos para las regiones Caribe y Pacífica son bastante bajos comparativamente con las otras regiones, situación que posiblemente obedece al escaso e intermitente envío de reportes, más que a la situación real.

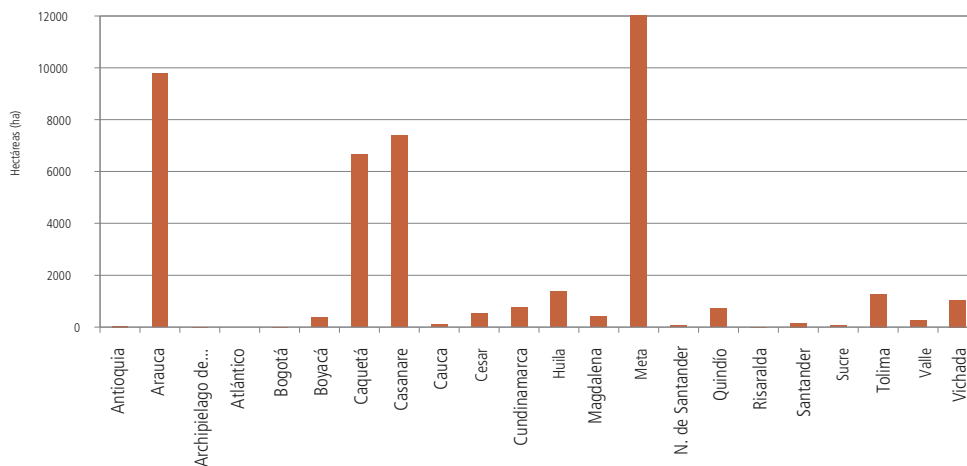
Figura 2-27. Número de incendios y área afectada por región



Fuente: Sistema Nacional para la Prevención y Atención a Desastres (SNPAD), Sistema Nacional Ambiental (SINA), Defensa Civil Colombiana

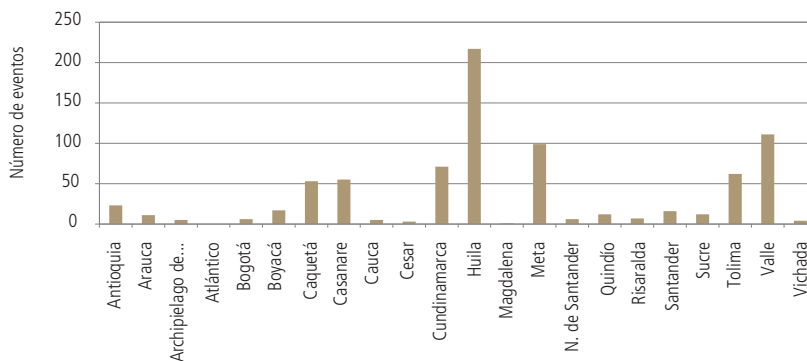
Los incendios reportados para este año, se concentraron principalmente en 21 departamentos y el Distrito Capital (Figura 2-28), siendo los mayores afectados Meta con 13.434 ha (casi 30% del total nacional afectado), Arauca con 9.786 ha (22%), Casanare con 7.378 ha (17%), Caquetá con 6.662 ha (18%) y Huila con 1.388 ha (3%), los dos primeros pertenecientes a la región Orinoquía y el último, a la región Andina. Con relación al número de incendios, Huila, V del Cauca, Meta, Cundinamarca, Tolima y Casanare, fueron los departamentos que registraron mayor número, con 217, 111, 99, 71, 62 y 55, respectivamente (Figura 2-29).

Figura 2-28. Área total afectada por departamento para el año 2011



Fuente: Sistema Nacional para la Prevención y Atención a Desastres-SNPAD, Sistema Nacional Ambiental-SINA, Defensa Civil Colombiana

Figura 2-29. Eventos reportados por departamento para el año 2011

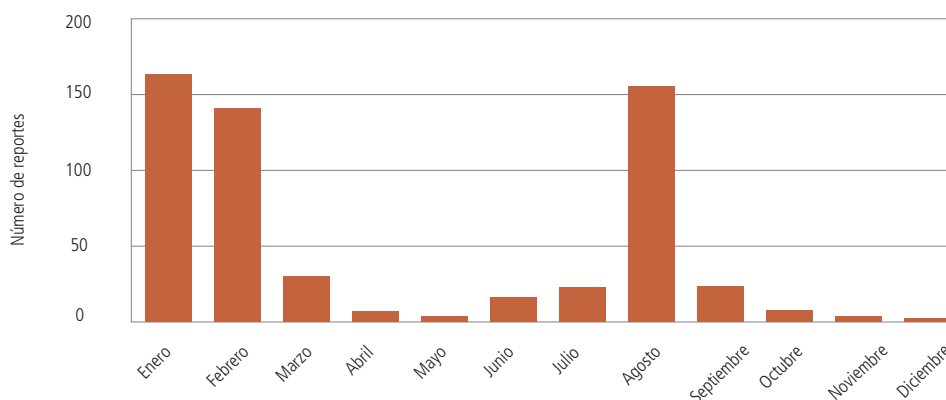


Fuente: Sistema Nacional para la Prevención y Atención a Desastres-SNPAD, Sistema Nacional Ambiental-SINA, Defensa Civil Colombiana

Cabe mencionar que durante el año 2011, los meses junio, julio, agosto y septiembre tuvieron condiciones climáticas neutrales, mientras que los demás meses del año, estuvieron influenciados por el fenómeno Frío del Pacífico (La Niña), caracterizado en términos generales, por traer precipitaciones por encima de lo normal, y que particularmente en el país, ocasionó una de las temporadas lluviosas más extremas y dramáticas.

Enero fue el mes en el que mayor número de incendios se reportaron (184), seguido de agosto (174) y febrero (156), comportamiento no usual, ya que los históricos han mostrado febrero como el mes donde ocurren la mayoría de los incendios, pues coincide con la época de quemas para la preparación de tierras para nuevos cultivos y una persistencia de condiciones secas que normalmente se inicia a finales de diciembre (Figura 2-30).

Figura 2-30. Números de incendios por mes en el año 2011



Fuente: Sistema Nacional para la Prevención y Atención a Desastres (SNPAD), Sistema Nacional Ambiental (SINA), Defensa Civil Colombiana

De igual manera, los datos de incendios para este año fueron bastante bajos, comparados con aquellos reportados para la década anterior, y no reflejan la problemática real, que de acuerdo con la Política Nacional de Biodiversidad, ha sido catalogada como una de las causas que reducen la biodiversidad.

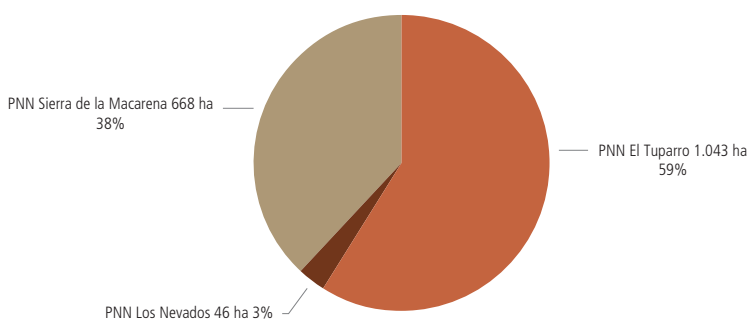
Se resaltan los impactos ambientales ocasionados por los incendios en áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, particularmente en ecosistemas de alta montaña, cuyas condiciones climáticas extremas, los hacen altamente vulnerables por sus lentísimos procesos de recuperación, de manera que un evento de estos puede causar impactos irreversibles.

Para este año se reportaron incendios en los Parques Nacionales Naturales Tuparro, Sierra de la Macarena y Los Nevados, siendo este último recordado por el incendio ocurrido el 6 de julio del año 2006 que arrasó con 3.260 ha.

El total de hectáreas afectadas para este año en los Parques Nacionales fue 1.757 ha, destacándose el Tuparro con 1.043 ha (59% del total afectado en los parques), en donde se resalta un incendio ocurrido en febrero del 2011 en Puerto Carreño (Vichada), con una afectación de 800 ha y que tuvo que ser atendido con el apoyo de la Fuerza Aérea.

La Sierra de la Macarena tuvo una afectación de 648 ha, con 8 incendios ocurridos en enero y febrero, de los cuales se resalta uno que afectó 230 ha en el municipio de la Macarena.

Figura 2-31. Superficie afectada por área protegida



Fuente: Sistema Nacional para la Prevención y Atención a Desastres (SNPAD), Sistema Nacional Ambiental (SINA), Defensa Civil Colombiana

La Figura 2-29, Figura 2-30 y en la Figura 2-31 se presentan los municipios con mayor área afectada, mayor número de incendios y la superficie afectada por área protegida respectivamente. Tame (Arauca) tuvo solamente 7 incendios en lo corrido de ese año, pero presentó la mayor área afectada con 9.771 ha, mientras que Neiva reportó el mayor número de incendios con 57, pero su área afectada fue bastante baja con 87,3 ha. Esta situación refleja la extensión promedio de los incendios en Tame, contrario a los ocurridos en Neiva, y es de mencionar un incendio reportado por Corporinoquia ocurrido en febrero, cuya duración de varios días, provocó que se afectaran miles de hectáreas.

Adicionalmente, es de anotar que la precaria situación logística para la atención temprana de estos eventos en estas zonas remotas del país, además, de la existencia de condiciones de orden público, dificulta la extinción rápida de conatos y afecta la intervención de la ayuda aérea, en caso de requerirse.

Tabla 2-3. Municipios con mayor área afectada

Municipio	Área total afectada	Número de incendios
Tame	9.771,00	7
Puerto López	7.950,00	7
San Vicente del Caguán	3.347,00	15
Orocué	3.058,00	18
Cartagena del Chairá	2.776,00	7
La Macarena	1.319,30	25
Yopal	818,00	15
Puerto Carreño	800,00	2
San Martín	800,00	1
Puerto Rico	732,00	21
Maní	701,50	3
Pijao	566,00	2
Hato Corozal	1.026,00	5
Ciénaga	400,00	1
Total	34.064,80	129

Puerto López fue el segundo municipio con mayor afectación con 7.950 ha (7 incendios), entre los cuales se destaca un solo incendio ocurrido en febrero, que afectó 7.000 ha de sabanas y pastizales y demandó el apoyo de las brigadas indígenas para su extinción.

San Vicente del Caguán y Orocué con 3.347 ha y 3.058 ha siguieron en su orden, con incendios ocurridos principalmente en el primer trimestre del año, caracterizado climatológicamente por ser la temporada seca para esta región.

Es importante mencionar que los ecosistemas de sabana de esta región, caracterizados por la presencia de pastizales y herbazales, son dependientes del fuego, lo que significa que el fuego es un factor esencial en su dinámica. Las especies han desarrollado adaptaciones para responder positivamente al fuego y para facilitar su propagación, es decir, la vegetación es

inflamable y si se suprime el fuego, o si se altera su régimen más allá del rango normal de variabilidad, el ecosistema se transforma en algo diferente, y se pierden hábitats y especies.

Tabla 2-4. Municipios con mayor número de incendios reportados

Municipio	Número de incendios	Área total afectada (ha)
Neiva	57	87,30
Villavicencio	30	89,00
La Macarena	25	1.319,30
Puerto Rico	23	732,00
Florencia	21	61,00
Orocué	18	3058
Ibagué	17	42,45
Bogotá, D. C.	17	18,66
Gigante	16	17,70
Yopal	15	818,00
Palermo	15	35,01
San Vicente del Caguán	15	3.347,00
Guasca	11	0,51
Zarzal	11	22,01
Junín	11	15,66
Total general	302	9.663,615

De igual manera se resaltan los municipios de Puerto López, San Vicente del Caguán y Orocué, cuya área afectada fue de 7.950 ha, 3.347 ha y 3.058 ha, con 7, 15 y 18 incendios, respectivamente.

## 2.2.6 Variación del ozono y la radiación UV en Colombia<sup>4</sup>. Impacto en la Salud.

(Colaboración: Henry Benavides Ballesteros. Subdirección de Meteorología - IDEAM y Gloria León. Consultora - IDEAM)

Es de conocimiento general que el ozono se constituye en el principal filtro de la radiación ultravioleta proveniente del Sol, la cual puede incrementar los casos de cáncer en la piel, cataratas, afectar el sistema inmunológico y causar el envejecimiento prematuro de la piel.

El IDEAM, ha encontrado que el ozono tiene una variabilidad natural durante el año en el territorio nacional; en el periodo entre diciembre y marzo se presentan los valores más bajos de la columna de ozono en el país, por lo tanto, es la época del año en la cual Colombia recibe mayor radiación ultravioleta en su superficie. Durante este periodo, también se presentan los mayores niveles de radiación en el tope de la atmósfera de los trópicos, ya que es cuando la Tierra está más cerca al Sol (perihelio). Adicionalmente, por su ubicación sobre la zona ecuatorial, en Colombia los rayos solares caen más directamente que en las latitudes medias y la radiación UV resulta ser más intensa.

<sup>4</sup> Extracto del documento técnico presentado por Henry Benavides y Gloria León, denominado. "Documento técnico de respaldo a la información en la página web de ozono del IDEAM". Nota técnica presentada en el 2007.

Esto último se refuerza, porque en la zona tropical se presentan en promedio los menores valores en el ozono total con respecto a otras latitudes del planeta.

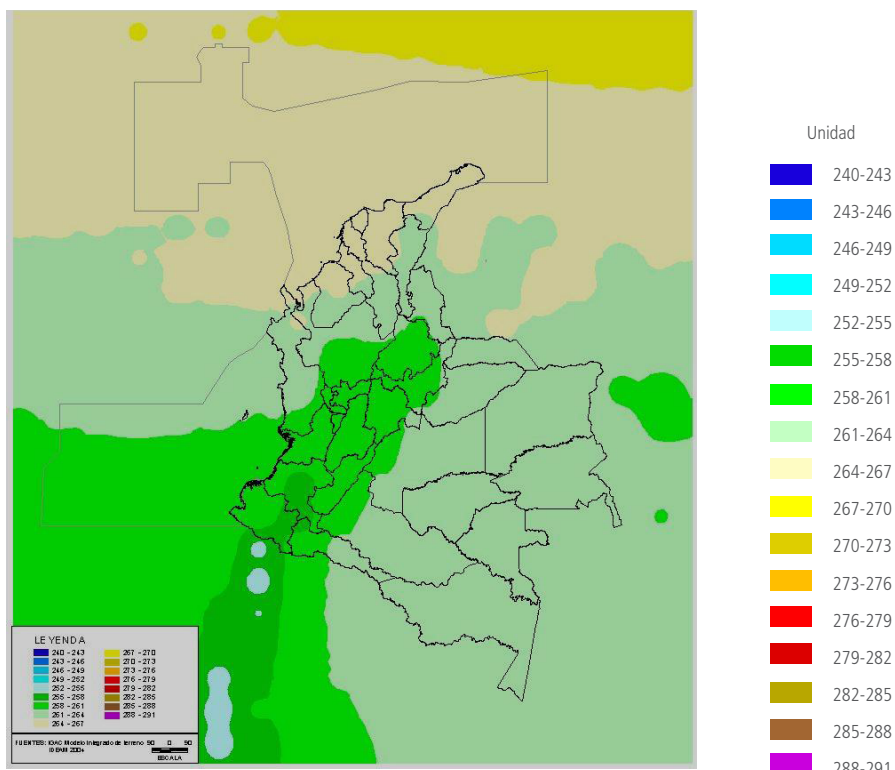
### Distribución espacial y temporal del ozono total en Colombia

En Colombia, el promedio de la columna de ozono total, varía entre 255 y 267 U.D. (Figura 2-32) caracterizándose por que la columna se hace más pequeña a lo largo de la cordillera, debido a que en esta zona es más delgada la capa atmosférica.

En la Figura 2-33 se presenta la distribución de la columna de ozono a lo largo del año, a partir de la información del sensor TOMS de la NASA, para el periodo 1979-2003.

En enero la columna de ozono presenta los valores más bajos en el año, por lo tanto es la época en la cual Colombia recibe mayor radiación ultravioleta; el sur de la región Caribe y el norte de la región Andina, registran los menores niveles de ozono, con mínimos de 240 U.D. sobre sectores de Antioquia, Boyacá, Santanderes, Cundinamarca y Eje cafetero; a partir de esta área del país los valores de ozono crecen latitudinalmente hacia el norte y sur, siendo más acentuado este aumento hacia la parte sur del país y es así como en Leticia la columna de ozono es de 256 U.D., en tanto que en el mar Caribe los valores se encuentran alrededor de 245 U.D.

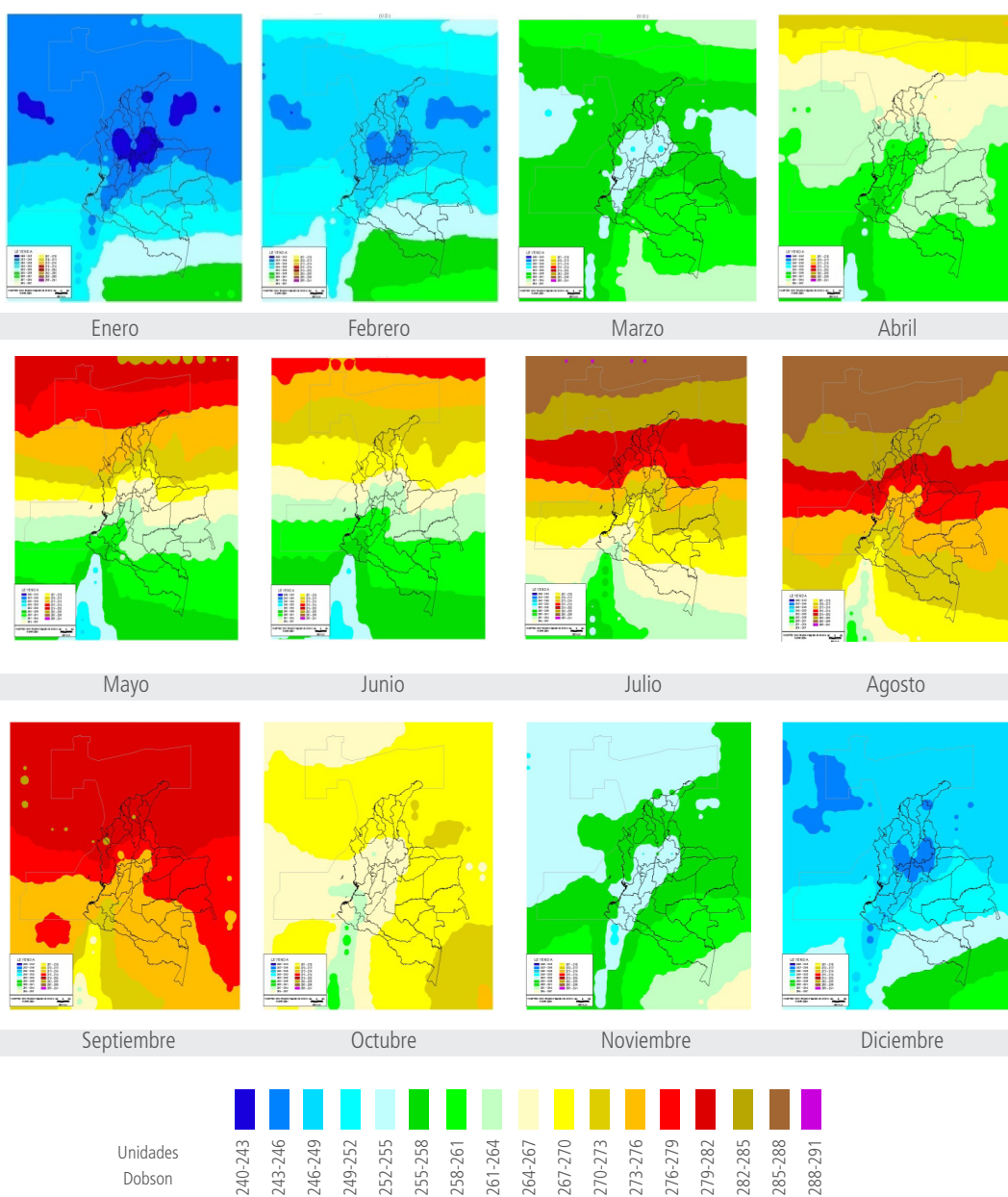
Figura 2-32. Distribución media del ozono total, en unidades Dobson (o miliatmósferas)



**Nota:** contenido en una columna de aire de 1 cm<sup>2</sup> que va desde la superficie de la Tierra hasta el tope de la atmósfera, obtenidas de las mediciones satelitales del sensor TOMS de la NASA, para el periodo 1979-2003.

Entre enero y agosto se presenta un aumento generalizado de la columna de ozono y además se presenta una distribución espacial similar, caracterizada porque en el norte del país el aumento es mayor que en el sur, con valores en agosto entre 280 a 288 U.D., mientras que en el trapecio amazónico fluctúan entre 267 y 273 U.D. Los valores más bajos, entre 260 y 265 U.D., se registran en Nariño y zonas circundantes. En septiembre se observa un aumento de las concentraciones de ozono, de aproximadamente 3 U.D., más que en agosto sobre el sur del país, mientras que en el norte, el comportamiento toma un rumbo contrario, con disminuciones hasta de 6 U.D. En los meses subsiguientes la cantidad del ozono continúa en descenso en todo el territorio hasta el mes de enero.

**Figura 2-33.** Distribución media del ozono total a lo largo del año, en unidades Dobson (o miliatmósferas) contenido en una columna de aire de 1 cm<sup>2</sup> de sección que va desde la superficie hasta el tope de la atmósfera, obtenidas a partir de las mediciones satelitales



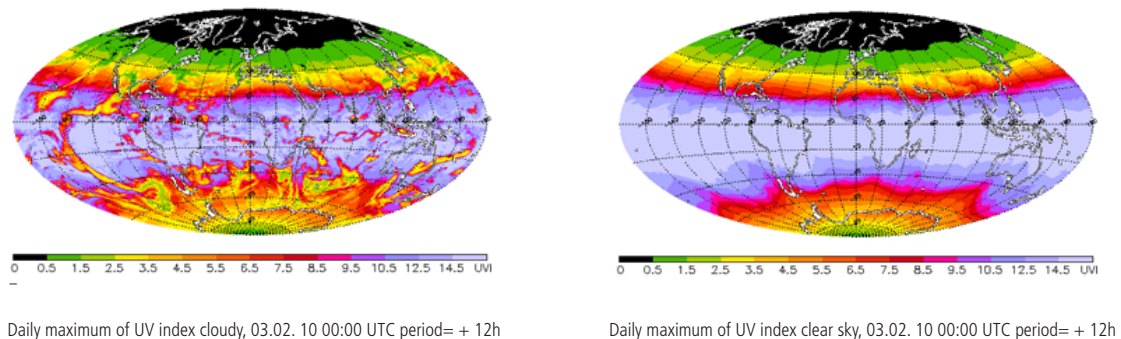
## Los Niveles de radiación UV en Colombia

Los niveles de radiación UV en la superficie dependen de varios factores como son: la posición del Sol, la altitud, la latitud, el cubrimiento de las nubes, la cantidad de ozono en la atmósfera y la reflexión terrestre.

Los niveles de radiación UV varían durante el día y a lo largo del año, presentándose los mayores niveles en el día cuando el Sol se encuentra en su máxima elevación, esto es entre las 10 a.m. y las 4 p.m. (entre el 70% y el 80% de la radiación UV es recibida a estas horas), mientras que, cuando el ángulo del Sol está más cercano al horizonte llega menos radiación UV a la superficie de la Tierra, debido a que atraviesa una distancia más larga en la atmósfera y encuentra más moléculas de ozono, dando lugar a una mayor absorción. En los trópicos los mayores niveles de radiación en el tope de la atmósfera se presentan a principios de año, durante el perihelio (que es cuando la Tierra está más cerca al Sol) y los más bajos a mitad del año durante el afelio (cuando la Tierra está más alejada del Sol). Promediado sobre el globo, la radiación del Sol sobre la Tierra durante el afelio es aproximadamente un 7% menos intensa de lo que es durante el perihelio.

La radiación UV varía de acuerdo con la ubicación geográfica sobre la zona ecuatorial (como es el caso de Colombia) los rayos solares caen más directamente que en las latitudes medias y altas y la radiación UV resulta ser más intensa, tal como se muestra en la Figura 2-34, donde se presenta el pronóstico diario del índice UV a nivel global generado por la oficina Alemana Deutscher Wetterdienst.

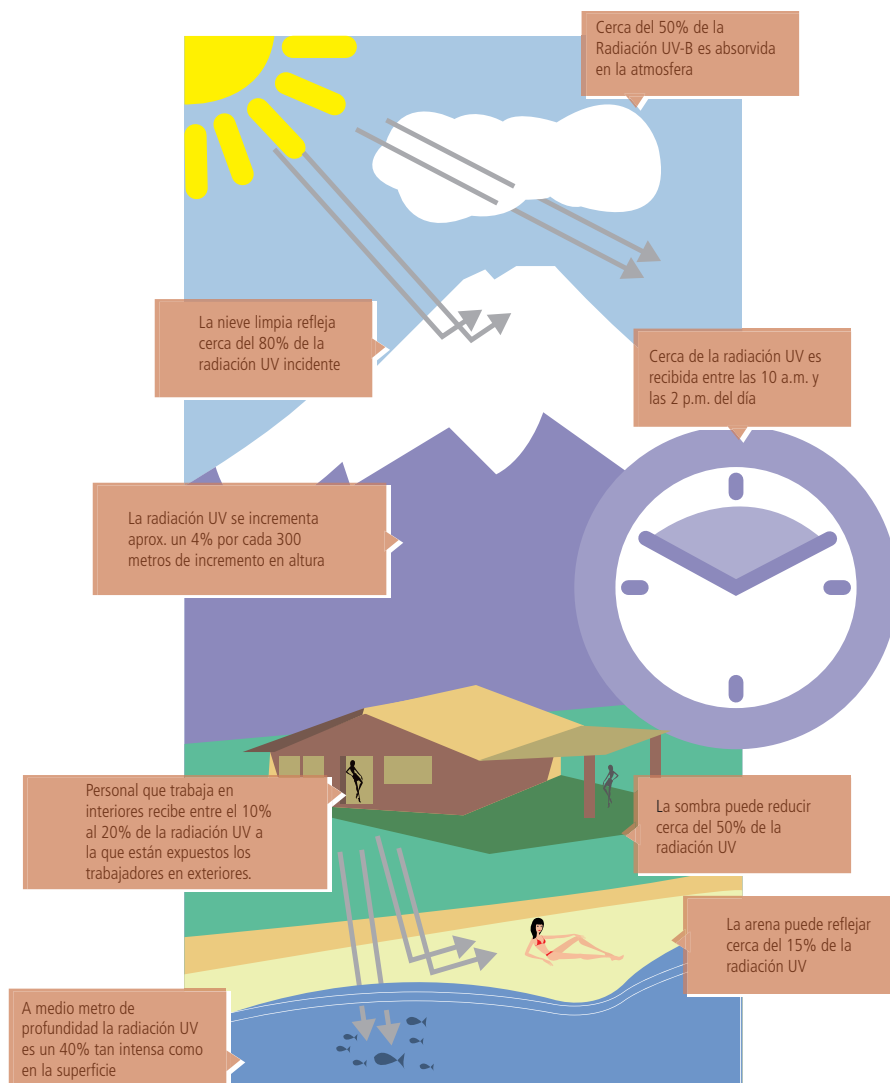
Figura 2-34. Pronóstico del índice UV con nubosidad y con cielos despejados



La altitud también determina la cantidad de radiación UV que se recibe, debido a que en zonas de alta montaña el aire es más limpio y más delgada la capa atmosférica que deben recorrer los rayos solares, por ello llega más UV, de manera que a mayor altitud mayor radiación UV. En promedio por cada 1.000 metros de incremento de la altitud la radiación UV aumenta entre un 10% a un 12%.

La cobertura nubosa afecta la cantidad de radiación UV que llega a la superficie terrestre, ya que las gotas de agua y los cristales de hielo, actúan como excelentes difusores de radiación UV, mediante el fenómeno conocido como difusión Mie. Las nubes pueden tener un impacto importante en la cantidad de radiación UV que recibe la superficie terrestre, generalmente las nubes densas bloquean más UV que una nube delgada. La contaminación trabaja en forma similar que las nubes, ya que la contaminación urbana reduce la cantidad de radiación UV que llega a la superficie de la tierra (Figura 2-35).

Figura 2-35. Factores que influyen en los niveles de radiación UV



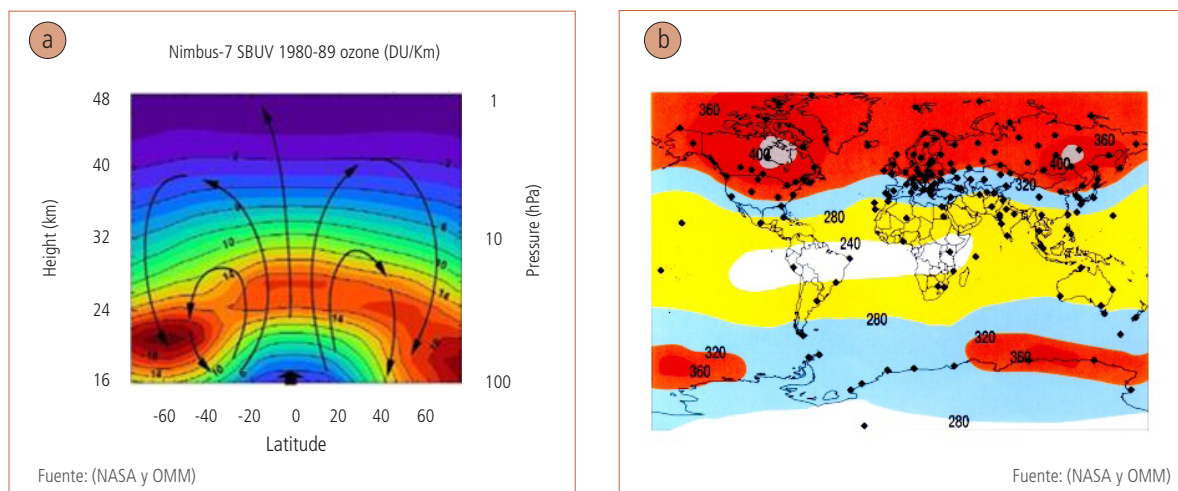
Fuente: (WHO, WMO, UNEP, 2002)

La radiación UV reflejada puede producir los mismos efectos que la radiación UV que llega a la superficie de la Tierra. La nieve es la superficie que más refleja radiación UV alcanzando hasta un 80% mientras que el concreto refleja hasta un 12%, la arena seca de playa el 15% y el agua de mar el 25%.

El nivel de radiación UV que llega a la superficie de un lugar, está inversamente relacionada con la cantidad de ozono total en la atmósfera (especialmente en la región entre los 18 y los 40 km de altura): a menor cantidad de ozono mayor radiación UV ingresa a la superficie. En la ausencia de cualquier otro factor, se podría esperar que el total de los niveles de ozono fueran más altos sobre los trópicos que en las regiones polares, debido a que es mayor la intensidad de la radiación ultravioleta en las regiones ecuatoriales. Finalmente, la distribución real del ozono está afectada por los vientos estratosféricos, debido a que la circulación conocida como Brewer-Dobson (Figura 2-36a) donde las flechas negras representan el campo medio de circulación

del aire), transporta el ozono producido en el trópico desde los niveles bajos de la estratosfera hasta los niveles altos, donde las corrientes se bifurcan hacia los polos y el ozono es conducido sobre las zonas de latitudes altas. Posteriormente el ozono es transportado a los niveles bajos de la estratosfera y de esta manera es depositado en la baja estratosfera de las latitudes altas. Debido a lo anterior, el ozono total tiene una gran variación con la latitud (Figura 2-36b) es mayor en las latitudes medias y altas (cerca a los polos) que en la zona tropical. Esto contribuye a que en la zona tropical se presenten altos valores de la radiación UV, tal como se presenta en la Figura 2-36.

Figura 2-36. Diagrama esquemático de la circulación Brewer-Dobson y la distribución media del ozono total en unidades Dobson



Finalmente, cabe recordar los siguientes aspectos relacionados con ozono, radiación UV y sus relaciones que son muy importantes:

El ozono se presenta desde la superficie terrestre hasta una altura aproximada de 70 kilómetros, pero la máxima concentración se presenta entre los 18 y 40 kilómetros, región conocida como la capa de ozono.

El ozono es de vital importancia porque protege la vida del planeta, constituyéndose en el principal filtro de la radiación ultravioleta proveniente del Sol. La cantidad de radiación UV-B que llega a la superficie de un lugar, está inversamente relacionada con el ozono total: a menor cantidad de ozono mayor radiación UV-B ingresa a la superficie y viceversa.

La radiación ultravioleta procedente del Sol, puede incrementar los casos de cáncer en la piel, cataratas y afectar el sistema inmunológico en los humanos.

La radiación ultravioleta puede causar el envejecimiento prematuro de la piel y su oscurecimiento. Durante el periodo entre diciembre y marzo, se presentan los valores más bajos de la columna de ozono en el país, por lo tanto, es la época del año en la cual Colombia recibe mayor radiación ultravioleta en su superficie.

La radiación UV varía de acuerdo con la ubicación geográfica; sobre la zona ecuatorial (como es el caso de Colombia) los rayos solares caen más directamente que en las latitudes medias y la radiación UV resulta ser más intensa en esa área.

La altitud determina la cantidad de radiación UV que se recibe, debido a que en zonas de alta montaña el aire es más limpio y más delgada la capa atmosférica que deben recorrer los rayos solares, por ello llega más UV, de manera que a mayor altitud mayor radiación UV.

El agua, la nieve y la arena reflejan los rayos solares y pueden duplicar la dosis de radiación UV que se recibe y se pueden producir quemaduras en la piel, incluso estando bajo la sombra. La nieve es la superficie que más refleja radiación UV, alcanzando hasta un 80%, mientras que el concreto refleja hasta un 12%, la arena seca de playa el 15% y el agua de mar el 25%.

Colombia por su ubicación geográfica sobre el trópico y por sus grandes altitudes sobre la cordillera de los Andes, presenta un riesgo alto debido a la exposición a la radiación ultravioleta.

Desde diciembre a marzo, meses en los cuales predomina el tiempo seco en gran parte del país, es típico que se presenten en promedio valores de 9 y 10 para el IUV (catalogados como de riesgo), en el lapso de 10 de la mañana a las 4 de la tarde, pero además, cuando se presentan cielos despejados, se pueden llegar a presentar valores de 11, 12 y más en el IUV, valor catalogado como de muy alto riesgo de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Se recomienda evitar la exposición al Sol por periodos superiores a 15 minutos durante el periodo comprendido entre diciembre y marzo, especialmente en las horas del mediodía, así como protegerse de los rayos solares usando protectores.

El índice de Radiación Ultravioleta (IUV) es usado como un indicador que asocia la intensidad de la radiación solar ultravioleta (UV-B) incidente sobre la superficie de la tierra, con posibles daños en la piel humana.

El pronóstico del índice UV (IUV) para 42 ciudades del país (en el supuesto de cielo despejado), se puede consultar en la página web del IDEAM: <http://www.pronosticosyalertas.gov.co/jsp/index.jsf#>

### 2.2.7 Bibliografía impacto del clima en el territorio

*Hughes, F. (1997). "Flood plain biogeomorphology", Progress in Physical Geography, "Aspectos Ambientales de la Gestión Integrada de Crecidas" Publicación 1009 OMM-GWP 2006, Vol. 21, 4: 501–529.*

*IDEAM, IAvH, Invemar, Sinchi, IIAP. (2011). Informe anual del ambiente y del estado de los Recursos Naturales 2010. Bogotá: IDEAM.*

*Plazas, C., & Falchetti, A. M. (1987). Una Cultura Anfibia: La Sociedad Hidráulica Zenú. Retrieved 2012, from Biblioteca virtual. Biblioteca Luis Ángel Arango. <http://old.lablaa.org/blaavirtual/geografia/carcol/culanf.htm>*

*Tockner, K., & A., S. J. (1997). Riverine flood plains: presents state and future trends. Environmental conservation, 29 (3): 308–330. Hughes, F.M.R. (1997).*

*Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD. (2010). Reportes de la UNGRD. Retrieved 2012, from [www.ungrd.gov.co](http://www.ungrd.gov.co)*

*WHO, WMO, UNEP. (2002). Global Solar, UV index. A practical guide.*





# 1

## APÉNDICE TOMO

### PROYECCIONES CLIMÁTICAS REGIONALES Y EMISIONES DE GEI DE COLOMBIA

A escala global, las economías nacionales pueden tardar cerca de 5 años para recuperar el nivel del crecimiento económico logrado antes de un desastre natural, lo cual es comprensible si se tiene en cuenta que las consecuencias de un desastre se viven en diferentes etapas que van desde el momento en que el desastre ocurre, en donde se atiende la emergencia, hasta el largo plazo en el que la economía ha superado procesos de rehabilitación, recuperación y reconstrucción (Jaramillo, 2009).

Bajo este escenario, relativamente cierto, las proyecciones sobre la presentación de anomalías climáticas en el territorio constituyen uno de los elementos esenciales en el diseño de planes de contingencia y principalmente para conjurar de una forma significativa los efectos de estos fenómenos sobre la población y la economía. De ahí que el IDEAM se haya propuesto avanzar en el desarrollo de modelos de predicción climática a diferentes escalas de tiempo y lugar.

Adicionalmente, y debido al compromiso del país con los objetivos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el IDEAM sigue aplicando importantes esfuerzos en el desarrollo de la información con menores niveles de incertidumbre y metodologías específicas para condiciones tan complejas como las que tiene el planeta en la zona ecuatorial.

Las evaluaciones que se presentan a continuación se pueden clasificar en dos grandes grupos: los que aportan a la caracterización del clima a escala nacional y global y los que aportan elementos para evaluar el comportamiento de las condiciones regionales en Colombia: Modelación del clima futuro a escala nacional y a escala subnacional, respectivamente.





## TABLA DE CONTENIDO

I. EVALUACIÓN DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES EN LA REPRESENTACIÓN DE LA VARIABILIDAD INTERANUAL RELACIONADA CON LOS FENÓMENOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA Y SU POSIBLE PROYECCIÓN.....	92
II. CAMBIO CLIMÁTICO MÁS PROBABLE PARA COLOMBIA A LO LARGO DEL SIGLO XXI RESPECTO AL CLIMA PRESENTE .....	101
III. INDICADORES QUE MANIFIESTAN CAMBIOS EN EL SISTEMA CLIMÁTICO DE COLOMBIA: AÑOS Y DÉCADAS MÁS CALIENTES Y LAS MÁS Y MENOS LLUVIOSAS.....	118
IV. ALTERACIONES DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA ANTE VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ.....	135
V. CONSTRUCCIÓN DE SERIES DE TIEMPO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE COLOMBIA 1990-2008.....	154

## TABLA DE FIGURAS

FIGURA I-1. REGIONES EL NIÑO EN LAS QUE SE HA DIVIDIDO EL PACÍFICO ECUATORIAL PARA LA VIGILANCIA DEL FENÓMENO ENOS.....	94
FIGURA I-2. DERECHA: DISTRIBUCIÓN DE LA TSM ANUAL DEL PERIODO 1971-2000 EN LA REGIÓN DEL PACÍFICO DE LOS DATOS DE LA NOAA Y CINCO MODELOS CERCANOS A LO OBSERVADO. IZQUIERDA: CLASIFICACIÓN DE LOS MCG EN LA REPRESENTACIÓN DE LA TSM A NIVEL ANUAL EN EL PACÍFICO.....	94
FIGURA I-3. DIAGRAMAS DE TAYLOR PARA LA SERIE TSM DEL PERIODO 1971-2000 EN EL PACÍFICO Y LAS REGIONES EL NIÑO: 3.4, 3,4 Y 1+2.....	95
FIGURA I-4. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS SERIE DE ANOMALÍAS DE LA TSM DEL PERIODO 1971-2000 DE LOS DATOS DE LA NOAA Y LOS 20 MODELOS DEL AR4, EN EL PACÍFICO Y LAS REGIONES EL NIÑO.....	96
FIGURA I-5. ESPECTROS DE POTENCIA RESULTANTE DEL ANÁLISIS ESPECTRAL DE LAS SERIES DE ANOMALÍAS DE LA TSM DE LA NOAA Y LOS MODELOS MÁS CERCANOS, EN LA REGIÓN EL NIÑO 3.4.....	97
FIGURA II-1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN (mm), PERIODO 1971-2010.....	103
FIGURA II-2. RÉGIMEN DE LA PRECIPITACIÓN PARA ALGUNAS ZONAS DE COLOMBIA.....	104
FIGURA II-3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE TEMPERATURA MEDIA ( °C) PARA COLOMBIA, PERIODO 1971-2010.....	105
FIGURA II-4. RÉGIMEN DE TEMPERATURA MEDIA ( °C) PARA ALGUNAS ZONAS DE COLOMBIA.....	106
FIGURA II-5. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN (%) DECADAL (1971-1980,1981-1990, 1991-2000, 2001-2010) PARA COLOMBIA.....	107
FIGURA II-6. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS DIFERENCIAS PROMEDIO DECADAL (1971-1980,1981-1990, 1991-2000, 2001-2010 DE LA TEMPERATURA CON TENDENCIA PARA COLOMBIA.....	108
FIGURA II-7. CAMBIOS DE PRECIPITACIÓN EN (%) DÉCADA POR ESCENARIO PARA ALGUNAS ESTACIONES DEL TERRITORIO NACIONAL.....	109
FIGURA II-8. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ANOMALÍAS DECADALES DE LA PRECIPITACIÓN PARA COLOMBIA.....	110
FIGURA II-9. CAMBIOS EN LA TEMPERATURA MEDIA (°C) DECADAL POR ESCENARIO PARA ALGUNAS ESTACIONES DEL TERRITORIO NACIONAL.....	111

FIGURA II-10. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA MEDIA (°C) CON TENDENCIA DE LAS DIFERENTES DÉCADAS PARA COLOMBIA .....	112
FIGURA II-11. DISTRIBUCIÓN DE LAS ANOMALÍAS DE LA PRECIPITACIÓN (PUNTOS DE COLORES) PARA LAS TRES NORMALES CLIMATOLÓGICA SOBRE LOS RESULTADOS GENERADOS POR IDEAM PARA COLOMBIA .....	113
FIGURA II-12. COMPARACIÓN DE LAS DIFERENCIAS DE TEMPERATURA CON TENDENCIA (OC) ENTRE IDEAM (ARRIBA) PARA AÑOS ANTERIORES Y ESTE ESTUDIO (ABAJO) .....	113
FIGURA II-13. CAMBIO DEL PORCENTAJE DE LA PRECIPITACIÓN RESPECTO AL CLIMA PRESENTE PARA LAS REGIONES NATURALES DE COLOMBIA .....	114
FIGURA II-14. INCERTIDUMBRES DE LAS ANOMALÍAS PARA LA TEMPERATURA MEDIA RESPECTO A CLIMA PRESENTE DE LAS REGIONES NATURALES DE COLOMBIA .....	115
FIGURA III-1. TEMPERATURA MEDIA SUPERFICIAL GLOBAL DE LOS ÚLTIMOS 15 AÑOS. ....	120
FIGURA III-2. TEMPERATURA MEDIA SUPERFICIAL GLOBAL DESDE 1950. AÑOS EN AZUL CON PRESENCIA DEL FENÓMENO DE LA NIÑA.....	120
FIGURA III-3. TEMPERATURAS DECENALES MUNDIALES CON RESPECTO A LA MEDIA PARA EL PERIODO 1961-1990. ....	121
FIGURA III-4. TENDENCIAS DE LA TEMPERATURA PARA DIFERENTES PERIODOS. ....	122
FIGURA III-5. TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE COLOMBIA EN LOS ÚLTIMOS 32 AÑOS.....	123
FIGURA III-6. TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE COLOMBIA, RELACIONADA CON LA OCURRENCIA DE EL NIÑO (BARRAS ROJAS) Y LA NIÑA (BARRAS AZULES). EN LOS RECUADROS APARECE EL VALOR DEL ONI.....	124
FIGURA III-7. ANOMALÍAS DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL GLOBAL PARA LAS ZONAS TERRESTRES, DURANTE EL PERIODO 1900 A 2011 CON RESPECTO AL PROMEDIO 1961-1990.....	127
FIGURA III-8: ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN ANUAL PARA LAS ZONAS TERRESTRES EN EL AÑO 2011, COMO PORCENTAJE DEL PROMEDIO PARA EL PERIODO DE REFERENCIA 1951-2000. ....	128
FIGURA III-9. ANOMALÍAS DE LA PRECIPITACIÓN DECADAL GLOBAL PARA LAS ZONAS TERRESTRES, DURANTE EL PERIODO 1900 A 2010.....	129
FIGURA III-10. PROMEDIO DEL EXCESO-DÉFICIT DE PRECIPITACIONES (AZUL-ROJO) PARA LAS ZONAS TERRESTRES EN EL DECENIO 2001-2010, A PARTIR DEL PROMEDIO PARA EL PERIODO DE REFERENCIA 1951-2000. ....	129
FIGURA III-11. INDICADOR DE PRECIPITACIÓN ANUAL DE COLOMBIA EN LOS ÚLTIMOS 32 AÑOS. ....	130
FIGURA IV-1. DISTRIBUCIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN BOGOTÁ.....	136
FIGURA IV-2. DTEMPERATURA MEDIA ANUAL PARA BOGOTÁ (°C). PROMEDIO MULTIANUAL (1971-210).....	136
FIGURA IV-3. ALTERACIONES DE LA PRECIPITACIÓN ANTE VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN PROBABILIDAD.....	137
FIGURA IV-4. ALTERACIONES DE LA TEMPERATURA MEDIA ANTE VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN PROBABILIDAD. ....	141
FIGURA IV-5. CAMBIOS DE LA PRECIPITACIÓN EN % PARA LOS ÚLTIMOS 40 AÑOS .....	145
FIGURA IV-6. AUMENTO DE LA TEMPERATURA MEDIA EN °C PARA LOS ÚLTIMOS 40 AÑOS .....	146
FIGURA IV-7. CAMBIOS EN % DE LA PRECIPITACIÓN DECADAL RESPECTO A LA NORMAL CLIMATOLÓGICA 1971-2000 ...	148
FIGURA IV-8. AUMENTO DE LA TEMPERATURA DECADAL EN °C RESPECTO A LOS VALORES HISTÓRICOS .....	149
FIGURA IV-9. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LANG PARA 1971-2000.....	150
FIGURA IV-10. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LANG PARA EL SIGLO XXI BAJO EL ESCENARIO EMISIÓN PROMEDIO.....	151
FIGURA V-1. EMISIONES COLOMBIANAS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO, SIN INCLUIR LAS EMISIONES POR USCUS, PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1990 Y 2008.....	155

FIGURA V-2.	CONTRIBUCIÓN PROMEDIO A LAS EMISIONES NACIONALES POR SECTORES.....	156
FIGURA V-3.	COMPOSICIÓN POR GAS DE LAS EMISIONES NACIONALES (1900 - 2008).....	156
FIGURA V-4.	EMISIONES POR CATEGORÍA DEL MÓDULO DE ENERGÍA.....	157
FIGURA V-5.	COMPOSICIÓN DE LAS EMISIONES EN EL MÓDULO DE ENERGÍA .....	157
FIGURA V-6.	EMISIONES POR CATEGORÍA DEL MÓDULO DE PROCESOS INDUSTRIALES.....	158
FIGURA V-7.	COMPOSICIÓN DE LAS EMISIONES EN EL MÓDULO DE PROCESOS INDUSTRIALES.....	158
FIGURA V-8.	EMISIONES POR CATEGORÍA DEL MÓDULO DE AGRICULTURA.....	160
FIGURA V-9.	COMPOSICIÓN DE LAS EMISIONES EN EL MÓDULO AGRICULTURA.....	160
FIGURA V-10.	EMISIONES POR CATEGORÍA DEL MÓDULO DE RESIDUOS .....	161
FIGURA V-11.	COMPOSICIÓN DE LAS EMISIONES EN EL MÓDULO RESIDUOS.....	161
FIGURA V-12.	TOTAL DE EMISIONES .....	162

## TABLAS

TABLA I-1.	MCG IMPLEMENTADOS EN LA EVALUACIÓN. ....	93
TABLA I-2.	NÚMERO Y DURACIÓN PROMEDIO DE FASES CÁLIDAS Y FRÍAS DEL OCÉANO PACÍFICO PARA LOS PERIODOS 2011-2040, 2041-2070 Y 2071-2100 DETERMINADOS DE LA SERIE DE LA TSM DEL MODELO BCCRBCM2 BAJO LOS ESCENARIOS A1B, A2 Y B1. ....	99
TABLA III-1.	LOS 17 AÑOS MÁS CALIENTES DESDE 1850.....	119
TABLA III-2.	TASAS LINEALES DE CALENTAMIENTO A NIVEL GLOBAL.....	121
TABLA III-3.	LOS 20 AÑOS MÁS CALIENTES EN COLOMBIA DURANTE LOS ÚLTIMOS 51 AÑOS. ....	123
TABLA III-4.	PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MEDIA A NIVEL NACIONAL PARA LOS DECENIOS DESDE 1961.....	125
TABLA III-5.	COMPARACIÓN DE LAS TASAS LINEALES DE CALENTAMIENTO NACIONAL Y GLOBAL.....	125
TABLA III-6.	LOS TRES AÑOS MÁS CALIENTES PARA LOS DIFERENTES MESES DEL AÑO.....	126
TABLA III-7.	LOS 15 AÑOS MÁS LLUVIOSOS EN COLOMBIA DURANTE LOS ÚLTIMOS 42 AÑOS.....	131
TABLA III-8.	LOS 15 AÑOS MÁS SECOS EN COLOMBIA DURANTE LOS ÚLTIMOS 42 AÑOS.....	131
TABLA III-9.	INDICADOR DE PRECIPITACIÓN NACIONAL PARA LOS DECENIOS DESDE 1961 HASTA EL 2010.....	132
TABLA III-10.	TASA LINEAL DE VARIACIÓN DEL INDICADOR DE PRECIPITACIÓN NACIONAL.....	132
TABLA III-11.	LOS TRES AÑOS MÁS LLUVIOSOS PARA LOS DIFERENTES MESES DEL AÑO .....	133
TABLA III-12.	LOS TRES AÑOS MENOS LLUVIOSOS PARA LOS DIFERENTES MESES DEL AÑO. ....	133
TABLA IV-1.	CAMBIO DE PORCENTAJE PARA PRECIPITACIÓN DECADAL RESPECTO A 1971-2000 .....	147
TABLA IV-2.	AUMENTO DE LA TEMPERATURA MEDIA RESPECTO A 1971-2000 EN °C BAJO EL PROMEDIO DE LOS ESCENARIOS ANALIZADOS.....	147



# Proyecciones climáticas regionales y emisiones de GEI de Colombia



Uno de los principales objetivos de los procesos de investigación en relación al clima futuro es el mejoramiento de la resolución espacial y temporal de los datos y la reducción de la incertidumbre de los diferentes modelos utilizados para la generación de escenarios, que hasta el momento han servido para estructurar las diferentes propuestas de investigación en otros temas tales como la adaptación y la contribución de Colombia a la mitigación.

Los componentes principales de los estudios de vulnerabilidad del país ante el cambio climático se han centrado hasta el momento en las proyecciones de los cambios en los patrones de precipitación y temperatura a escala nacional y su impacto sobre el territorio. Para tal fin se utilizó una técnica llamada *downscaling*, que es una regionalización de las variables climáticas de los modelos de circulación global (MCG) con las variables climáticas regional y local, fruto de la información de datos observados de estaciones en superficie. El *downscaling* puede ser de tres tipos: dinámico, estadístico y dinámico-estadístico.

**Downscaling dinámico:** Utiliza modelos dinámicos regionales de clima los cuales cuentan con una resolución espacial (alrededor de 25 km o menos) mucho más fina que los modelos climáticos globales. Estos últimos proporcionan las condiciones de frontera para las simulaciones.

**Downscaling estadístico:** Utiliza gran diversidad de técnicas y modelos estadísticos empíricos para regionalizar las simulaciones globales según los datos observados en superficie.

**Downscaling dinámico-estadístico (híbrido):** Como su nombre lo indica, es una combinación de las dos técnicas reseñadas anteriormente. En este sentido, el factor de cambio (Anandhi et al., 2011) es una metodología que se utiliza ampliamente y que permite un escalamiento directo de las observaciones de estaciones con los cambios simulados por los diferentes escenarios de los modelos de circulación global.

## I. Evaluación de los Modelos Climáticos Globales en la representación de la variabilidad interanual relacionada con los Fenómenos de El Niño y La Niña y su posible proyección

(Autor: Andrea Rodríguez Roa, Gloria León Aristizábal. Consultoras - IDEAM)

Los Modelos Climáticos Globales (MCG) son una representación tridimensional de la circulación general de la atmósfera y corresponden a las herramientas más avanzadas, disponibles para simular la respuesta del sistema climático global al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero y proporcionar estimaciones del cambio climático futuro (IPCC, 2009). Sin embargo, las simulaciones de los MCG están sujetas a numerosas incertidumbres que generan imprecisiones en las proyecciones futuras. Por lo tanto, para una mayor confianza en la implementación de los MCG se realiza una evaluación de su desempeño, utilizando herramientas de intercomparación de modelos.

Los modos de variabilidad tales como el ciclo océano-atmosférico El Niño-La Niña-Oscilación del Sur (ENOS) tienen importantes implicaciones en el estudio del cambio climático, pues las modificaciones en su frecuencia de ocurrencia, amplitud, posición o intensidad pueden alterar las condiciones climáticas en diversos lugares. De acuerdo con esto es importante examinar el desempeño de los MCG en la representación de los diferentes modos de variabilidad, ya que cuanto más realista sea su semejanza con los modos observados, tanto más apropiadamente representarán las características dinámicas atmosféricas asociadas (Pierce, 2004).

En este sentido, se analizó la capacidad de las simulaciones de los MCG para representar los modos de variabilidad interanual, específicamente los fenómenos enmarcados dentro del ciclo ENOS, el cual tiene una gran influencia sobre Colombia. Estos patrones se examinaron evaluando la temperatura superficial del mar (TSM) y las anomalías de la TSM en la región del pacífico ecuatorial para el periodo 1971-2000 de las salidas de los MCG y las observaciones. Los modelos incluidos en este trabajo son los utilizados en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (AR4), de los cuales se seleccionaron los más cercanos a la representación de la variabilidad interanual del clima observado, y que permitirán una representación más precisa de los posibles escenarios futuros sobre el territorio nacional.

Para tal objetivo, se implementaron diferentes técnicas utilizadas por la comunidad científica en la comparación de los resultados de las simulaciones de los modelos con las observaciones, entre los que se encuentran las métricas o estadísticos como la correlación, el error cuadrático medio, el sesgo y el error cuadrático medio corregido, junto con sus promedios. Igualmente, se implementaron el diagrama de Taylor, comparaciones de las distribuciones espaciales de los campos medios y las herramientas en el análisis de la variabilidad, como la desviación estándar y el análisis espectral, evaluando la identificación de los modos de variabilidad y el ciclo relacionado con las fases cálidas y frías del océano Pacífico.

Asimismo se realizaron las proyecciones de la TSM y su variabilidad relacionada con el ciclo ENOS, bajo los escenarios de emisiones A1B, A2 y B1 del IPCC, para los periodos 2011-2030, 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, utilizando los modelos seleccionados en la evaluación.

### Datos y área de estudio

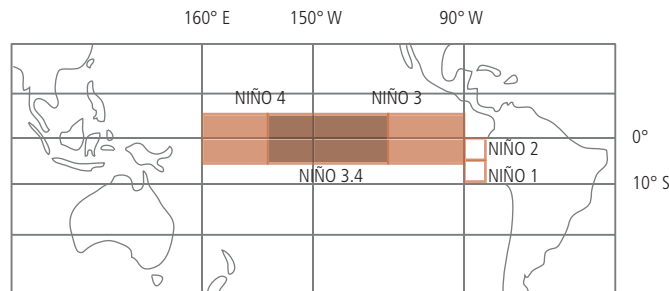
Se utilizaron las salidas mensuales de la TSM de 20 MCG empleados en el AR4 (Tabla I-1) para el periodo 1971-2000, tomados de la base de WCRP-CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project, 2005-2006). Los datos de referencia de la TSM mensual pertenecen al grupo ERSST (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature) de la NOAA para el mismo periodo.

Tabla I-1. MCG implementados en la evaluación

Modelo	Nombre utilizado	Institución
BCCR-BCM2.0	BCCRBCM2	Bjerknes Centre for Climate Research (Norway)
CCSM3	CCSM-30	National Center for Atmospheric Research
CGCM3.1(T47)	CCCMA-31	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis
CNRM-CM3	CNRM-CM3	Centre National de Recherches Meteorologiques / Centre Europeen de Recherche et Formation Avancees en Calcul Scientifique
CSIRO-Mk3.0	CSIRO-30	CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia), and BOM (Bureau of Meteorology, Australia)
ECHAM5/MPI-OM	MPIECH-5	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)
ECHO-G	ECHO---G	Meteorological Institute of the University of Born, Meteorological Research Institute of KMA, and Model and Data group (Germany and Korea)
FGOALS-g1.0	FGOALS1G	LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences
GFDL-CM2.0	GFDLCM20	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
GFDL-CM2.1	GFDLCM21	
GISS-EH	GISS—EH	NASA Goddard Institute for Space Studies
GISS-ER	GISS—ER	
INM-CM3.0	INMCM-30	Institute for Numerical Mathematics
IPSL-CM4	IPSL_CM4	Institut Pierre-Simon Laplace
MIROC3.2(hires)	MIROC-HI	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
MIROC3.2(medres)	MIROCMED	
MRI-CGCM2.3.2	MRI-232A	Meteorological Research Institute
PCM	NCARPCM1	National Center for Atmospheric Research
UKMO-HadCM3	UKHADCM3	Met Office Hadley Centre
UKMO-HadGEM1	UKHADGEM	

La evaluación se realiza para la región del Pacífico ecuatorial y para las regiones de: Niño 1+2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4 (Figura I-1).

Figura I-1. Regiones El Niño en las que se ha dividido el Pacífico Ecuatorial para la vigilancia del fenómeno ENOS



Evaluación de los MGGs en la Representación de la TSM en el Pacífico

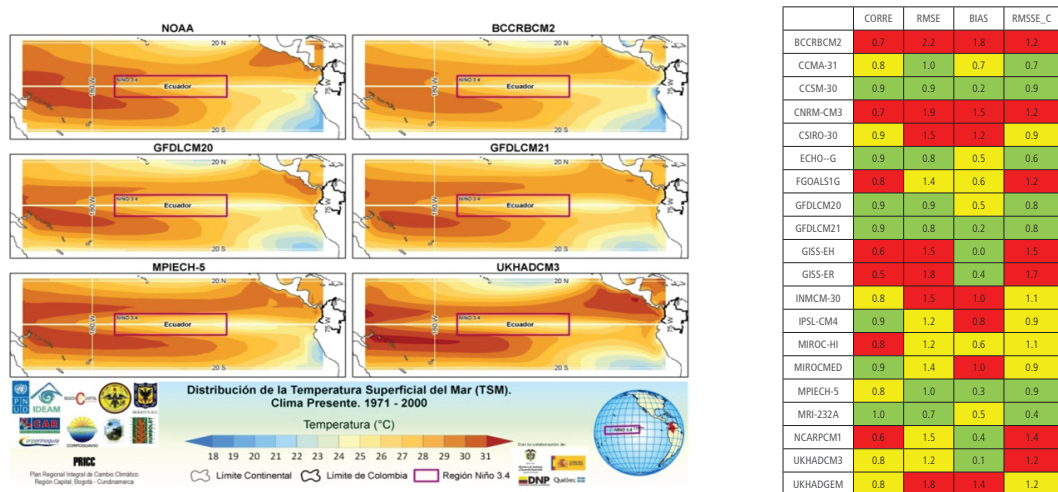
Fuente: ENSO Cycle: Recent Evolution, Current Status and Predictions, de la NOAA

### Evaluación de los en la representación de la TSM en el Pacífico

La distribución espacial de la TSM media anual de los datos de la NOAA muestra el aumento significativo de la temperatura a lo largo del Ecuador desde Sudamérica hacia Oceanía, representando el gradiente de temperatura con una lengua fría en el este y aguas cálidas en el oeste. Los modelos como el CCCMA-31, CCSCM-30, ECHO-G, GFDLCM20, GFDLCM21, MIROC-HI, MPIECH-5 y UKHADCM3 tienen a reproducir este patrón con gran aproximación, con valores cercanos de la TSM en cada punto del Pacífico, aunque algunos de estos modelos subestiman las altas temperaturas que se dan hacia el sector de Australia. Los modelos FGOALS1G, GISS-EH y GISS-ER representan un patrón muy diferente a lo real, en donde se sobrestima altamente la temperatura, especialmente hacia las costas de Suramérica en la región El Niño 1+2 (0°-10°S y 80°W-90°W).

En la representación de la TSM a nivel anual en el Pacífico se hace una clasificación de los modelos con los resultados de los estadísticos de correlación (CORRE), raíz del error cuadrático medio (RMSE), sesgo (BIAS) y raíz del error cuadrático medio corregido (RMSE\_C), mediante un código tipo semáforo, en el cual el color verde representa la clasificación del modelo en un nivel superior, el amarillo en medio y el rojo en inferior, con respecto a los demás. De lo anterior se puede destacar que los modelos más próximos a la TSM media anual observada son: el CCSM-30, GFDLCM21, GFDLCM20, MPIECH-5 y MRI-232A (Figura I-2. Izquierda).

Figura I-2. Izquierda: clasificación de los MCG en la representación de la TSM a nivel anual en el Pacífico Derecha: distribución de la TSM anual del periodo 1971-2000 en la región del Pacífico de los datos de la NOAA y cinco modelos cercanos a lo observado.



En la Figura I-3 se representan los diagramas de Taylor para la serie de TSM del periodo 1971-2000 en el Pacífico y las regiones El Niño: 3.4, 3, 4 y 1+2, que permite observar la calidad de las simulaciones de los 20 modelos del AR4, respecto a los valores observados. Los modelos en el diagrama, ubicados próximos al punto señalado como "observado" serán los modelos que mejor concuerdan (Taylor, 2001). Por regiones se puede destacar que:

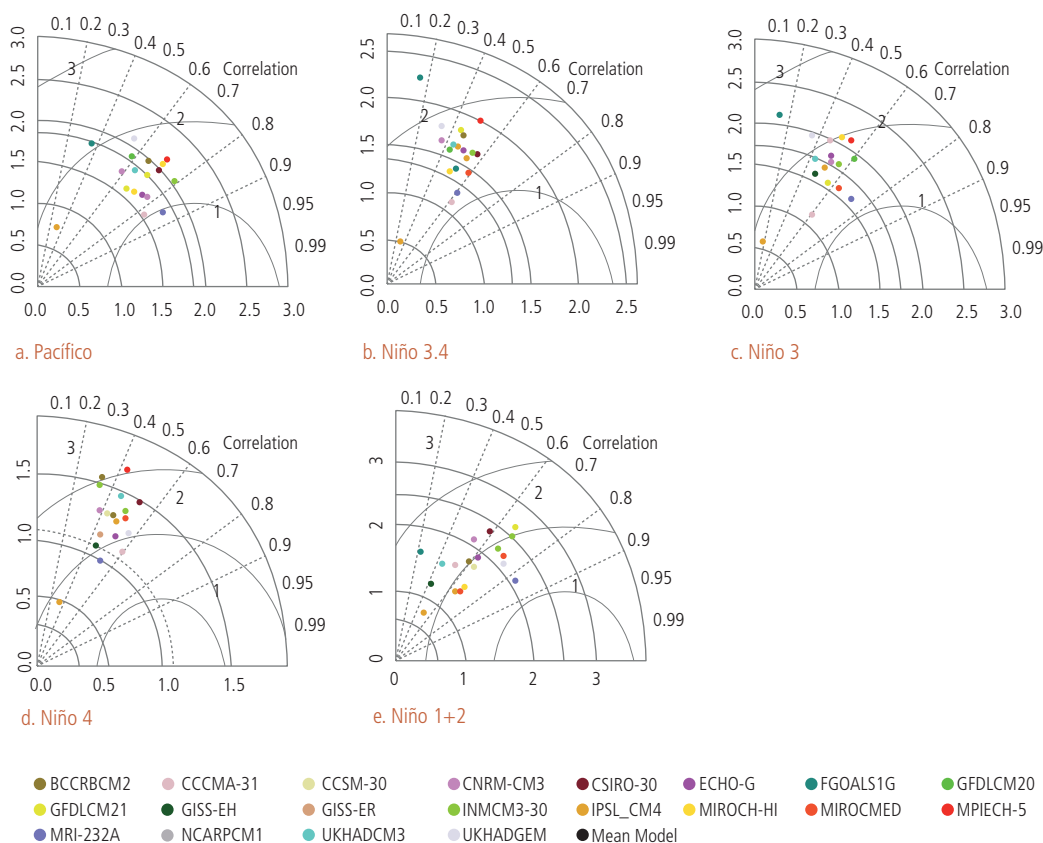
En la región del Pacífico el modelo más cercano a lo observado es el MRI-232A, seguido por el CCCMA-31, GFDLCM20, MIROC MED y el ECHO—G, que están próximos a lo observado pero se alejan en la amplitud. Los modelos CCSM-30 y UKHADCM3, aunque con menores correlaciones y mayores RMSE, representa la amplitud de los valores de referencia.

En la región de El Niño 3.4 el grupo de modelos más representativos en el diagrama de Taylor son: CCCMA-31, MRI-232A, MIROC MED y MIROC-HI.

Para la región Niño 3 los modelos con mayores correlaciones y menores errores, pero no con la misma amplitud que la referencia, son el MRI-232A, MIROC MED y IPSL\_CM4. Con menores correlaciones pero con amplitudes próximas están el ECHO—G, GFDLCM20 y UKHADCM3.

El más sobresaliente en la región Niño 4 es el MRI-232A, seguido por el CCCMA-3, mientras que para el Niño 1+2 los modelos MRI-232A, UKHADGEM y MPIEC-5 corresponden a los modelos con mayores correlaciones y menores errores, aunque el GFDLCM20 y el GFDLCM21 son los más próximos a la amplitud observada.

Figura I-3. Diagramas de Taylor para la serie TSM del periodo 1971-2000 en el Pacífico y las regiones El Niño: 3.4, 3,4 y 1 + 2



Desviación Estándar de la TSM en las regiones EL Niño.

### Desviación Estándar de la TSM en las regiones El Niño

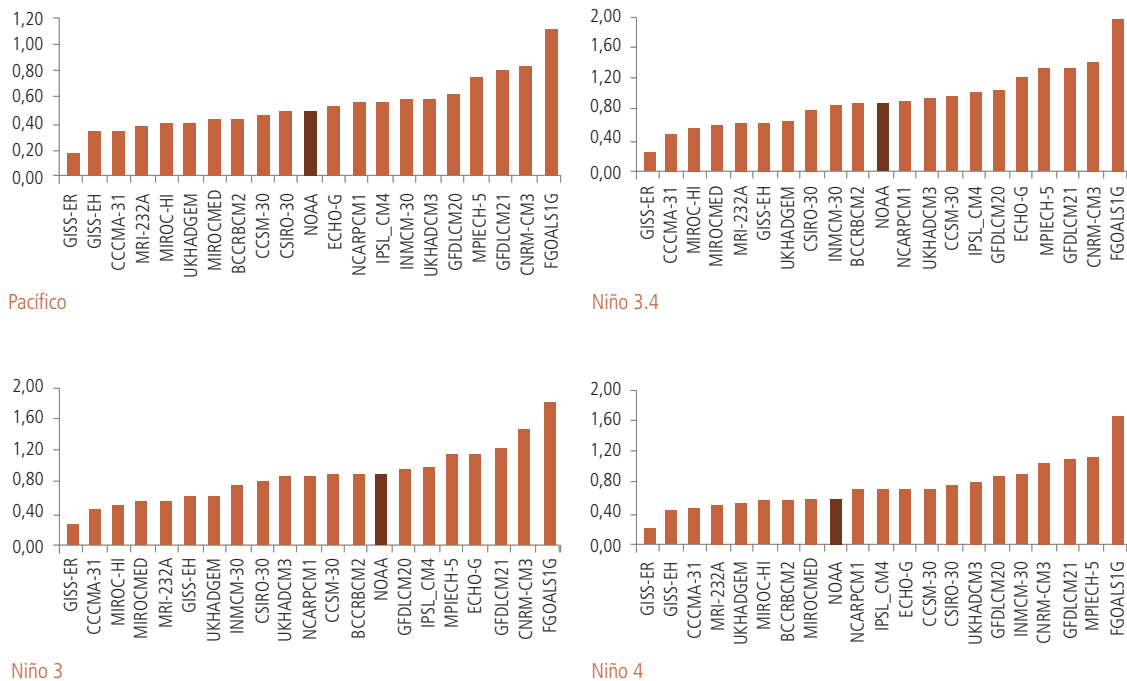
La desviación estándar ( $\sigma$ ) permite medir la capacidad de los modelos en la simulación de los modos de variabilidad climática de las diferentes cantidades meteorológicas. Los valores bajos de  $\sigma$  indican que la variabilidad entre un periodo de tiempo y otro es muy parecida, por lo cual no hay una representación importante de modos de variabilidad, mientras que si son altos indican una buena representación.

Para comparar la variabilidad de las series de la TSM en el Pacífico de los datos observados (NOAA) y los datos simulados por los MCG, se representa en la Figura I-4 el valor de la desviación estándar de la serie de anomalías de la TSM, en las regiones del Pacífico, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4. Se asume que los modelos con una desviación estándar igual o cercana a lo observado (NOAA) corresponden a los modelos con mejor representación de la variabilidad de las anomalías de la TSM en cada región.

Modelos como el FGOALS1G, el CNRM-CM3 y el GFDLCM21 muestran una sobrestimación de la variabilidad de la TSM en las diferentes regiones del Pacífico, mientras que el GISS-ER, MRI-232A y el UKHADGEM presentan una subestimación. Gran parte de los modelos evidencian dificultad para simular la variabilidad de las anomalías en la región Niño 3.

En general los modelos FGOALS1G y GISS-ER presentan las mayores diferencias con lo observado, mientras que los modelos BCCRBCM2, CCSM-30, CSIRO-30 y el NCARPCM1 son lo más cercanos.

Figural-4. Desviación estándar de las serie de anomalías de la TSM del periodo 1971-2000 de los datos de la NOAA y los 20 modelos del AR4, en el Pacífico y las regiones El Niño



Análisis Espectral

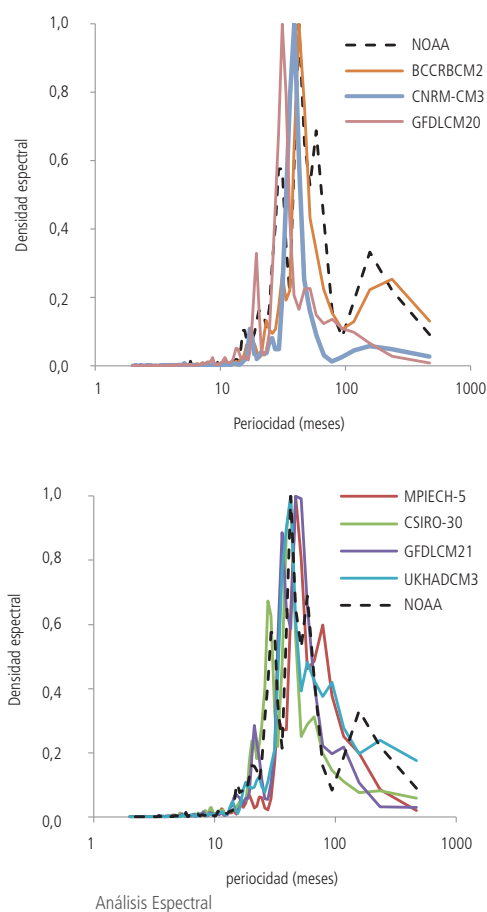
## Análisis Espectral

En la evaluación de la variabilidad interanual relacionada con el fenómeno ENOS es pertinente identificar a partir de las series de tiempo de las anomalías de la TSM los ciclos relacionados con las condiciones cálidas y frías del océano Pacífico. Uno de los métodos implementados en estos casos es el análisis espectral, el cual tiene por objeto descomponer una serie en sus componentes individuales de frecuencia (Montenegro, 2009), permitiendo reconocer los periodos más relevantes de ondas contenidas en una señal.

Periodos de 2 a 7 años correspondientes a 24 meses y 84 meses relacionados con el periodo del ENOS se tratan de identificar en el eje x (en escala logarítmica) de los espectros de potencia de la Figura I-5, resultado del análisis espectral de las series de anomalías de la TSM en la región El Niño 3.4, de las observaciones (NOAA) y las simulaciones de los modelos más cercanos.

En la Figura I-5 se muestran los modelos que identifican con mayor proximidad los ciclos relacionados con las condiciones cálidas y frías del océano Pacífico, entre los que se encuentran: el BCCRBCM2, CNRM-CM3, CSIRO-30, GFDLCM20, GFDLCM21, MPIECH-5 y el UKHADCM3, reconociendo estos modelos como los más óptimos en la simulación de variabilidad interanual relacionados con los fenómenos El Niño y La Niña.

Figura I-5. Espectros de potencia resultante del análisis espectral de las series de anomalías de la TSM de la NOAA y los modelos más cercanos, en la región El Niño 3.4



De acuerdo a la evaluación de la representación de la TSM y su variabilidad, los MCG que se destacan en la simulación de la variabilidad interanual y los cuales identifican el ciclo relacionado con las fases cálidas y frías del océano Pacífico son: el BCCRBCM2, CSIRO-30, GFDLCM20, GFDLCM21, MPIECH-5 y el UKHADCM3. Por lo tanto estos seis modelos son los implementados en el análisis de los escenarios de cambio climático de la TSM en el Pacífico.

### Proyecciones de la TSM en el Pacífico

Para la generación de los escenarios de cambio climático se han utilizado los resultados de las simulaciones de los seis modelos seleccionados, bajo los escenarios de emisiones balanceado (A1B), pesimista (A2) y optimista (B1). De acuerdo a la variación multianual de la TSM en el Pacífico, ensamblado los modelos seleccionados, para los periodos: 2011-2030, 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, con respecto al periodo 1970-2000, se evidencia que las diferencias de la TSM son mayores en los escenarios A1B y A2 que en el B1, y que a través del tiempo los incrementos de la TSM son mayores en todos los escenarios, siendo el periodo 2071-2100 los de más altos valores.

Los mayores incrementos en el periodo 2011-2030 oscilan en tres 0,7 °C y 0,8 °C, en el 2011-2040 entre 0,7 °C y 0,9 °C, en el 2041-2070 entre 1,3 °C y 1,7 °C y en el periodo 2071-2100 entre 1,7 °C y 3,0 °C. Los aumentos mayores se dan bajo el escenario A2 y los menores en B1.

### Análisis de las proyecciones de la variabilidad de la TSM

Los análisis de los ciclos predominantes en las proyecciones de las series de la TSM, en los que se pretende identificar las fases cálidas y frías del océano Pacífico, muestran en general que la señal de estos fenómenos, bajo los tres escenarios, manifiestan una disminución en su periodo, lo que significa una mayor frecuencia en los cambios de las condiciones cálidas y frías.

Para dar una idea de la ocurrencia de las fases cálidas y frías en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 se construyó con la serie de tiempo de la TSM, los valores del Índice Oceánico El Niño ONI, que es calculado como la media móvil de tres puntos de la serie mensual de anomalías de la TSM en la región Niño 3.4, con base en el periodo 1971-2000 (Climate Prediction Center, 2009).

La Tabla I-2 contiene el número de fases cálidas y frías del océano Pacífico en la región El Niño 3.4 y su duración promedio, para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 bajo escenarios A1B, A2 y B1, dados a partir de los valores del ONI calculados de la serie de TSM del modelo BCCRBCM2. Esto da una idea de las posibles fases cálidas y frías para los periodos futuros, que como causa del aumento de la TSM, evidencian una tendencia a permanecer el océano Pacífico bajo condiciones cálidas. Por lo tanto, estas fases son más recurrentes y de gran duración, mientras que las fases frías, son menores y de duración más corta. La tendencia hacia el calentamiento de la TSM vincula una semipermanencia de la fase cálida del océano para el último periodo del siglo, y la reducción casi nula de las fases frías.

No se puede indicar con lo anterior que el fenómeno El Niño sea predominante en los periodos futuros, ya que este fenómeno es una interacción océano-atmosférica y hasta el momento se ha realizado un análisis específicamente de la TSM, no sabiendo aun de las condiciones futuras de la atmósfera. Además, es claro que las proyecciones evidencian un aumento progresivo de la temperatura del océano Pacífico y el periodo 1971-2000 para construir el índice ONI siempre fue el mismo para las proyecciones.

**Tabla I-2.** Número y duración promedio de fases cálidas y frías del océano Pacífico para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 determinados de la serie de la TSM del modelo BCCRBCM2 bajo los escenarios A1B, A2 y B1

	Fase	Número de eventos	Duración Promedio (meses)
<b>Clima presente 1970-2000</b>	Cálida	8	10
	Neutra	13	12
	Fría	7	17

Escenarios:		A1B		A2		B1	
	Fase	Número de eventos	Duración Promedio (meses)	Número de eventos	Duración Promedio (meses)	Número de eventos	Duración Promedio (meses)
<b>2011-2040</b>	Cálida	12	11	9	21	10	18
	Neutra	14	8	12	5	12	12
	Fría	6	7	5	14	3	12
<b>2041-2070</b>	Cálida	12	27	10	Semipermanente	7	30
	Neutra	9	7	13	7	10	12
	Fría	4	7	1	12	5	9
<b>2071-2100</b>	Cálida	Semipermanente	Semipermanente	Semipermanente	Semipermanente	Semipermanente	Semipermanente
	Neutra	5	4	2	7	7	6
	Fría	0	0	0	0	0	0

## Conclusiones

Uno de los métodos más concluyentes en la evaluación de los MCG de la representación de la variabilidad interanual relacionado con los fenómenos El Niño y La Niña a partir de la serie de la TSM y sus anomalías en la región del Pacífico, corresponde a la identificación del ciclo del evento ENOS mediante el análisis espectral que permite reconocer los periodos más relevantes de ondas predominantes contenidas en una señal.

Los modelos que se destacan en la evaluación de la representación de la variabilidad interanual del clima relacionada con los fenómenos El Niño y La Niña son el BCCRBCM2, CSIRO-30, GFDLCM20, GFDLCM21, MPIECH-5 y el UKHADCM3.

Las simulaciones de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, con respecto al periodo 1970-2000, bajo los escenarios A1B, A2 y B1, muestran un incremento sobre toda la región del Pacífico, donde el último periodo del siglo muestra los mayores aumentos, con un crecimiento hasta de 3 °C en un escenario pesimista.

Los análisis de los ciclos predominantes en las proyecciones de las series de la TSM, muestran en general, una disminución de los periodos de las fases cálidas y frías del océano Pacífico, bajo los tres escenarios, lo que significa una mayor frecuencia en los cambios de estas condiciones.

Con el posible aumento de la TSM y el probable cambio de la frecuencia de las fases cálidas y frías del océano Pacífico, se evidencia una probable tendencia a permanecer el océano Pacífico bajo condiciones cálidas. Por lo tanto, los periodos cálidos se muestran más recurrentes y de gran duración, mientras que las fases frías son menores y de duración más corta. La tendencia hacia el calentamiento de la TSM vincula una semipermanencia de la fase cálida del océano para el último periodo del siglo y la reducción de las fases frías. Más aun no se puede indicar con lo anterior, que el fenómeno El Niño sea predominante en los periodos futuros, ya que este fenómeno es una interacción océano-atmosférica y hasta el momento se ha realizado un análisis específicamente de la TSM, no teniendo en cuenta las condiciones futuras de la atmósfera. Además es claro que las proyecciones evidencian un aumento progresivo de la temperatura del océano Pacífico y el periodo 1971-2000 para construir el índice ONI siempre fue el mismo para las proyecciones.

### **Bibliografía Evaluación de Modelos Globales**

*Climate Prediction Center. (2009). National weather service. [Online]National Oceanic & Admospheric Adminitration. Recuperado el 5 de marzo de 2011, de [http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml).*

*IPCC. (2009). What is a GCM? Recuperado el marzo de 2011, de [www.ipccdata.org/ddc\\_gcm\\_guide](http://www.ipccdata.org/ddc_gcm_guide)*

*Montenegro, A. (2009). Análisis Espectral. Bogotá: Universidad Javeriana.*

*Pierce, D. W. (2004). Beyond the means: validating climate models with higher order statistics. Comput Sci Eng 6(5), 22-29.*

*Taylor, K. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. Geophys. Res. , 106.*

## II. Cambio climático más probable para Colombia a lo largo del siglo XXI respecto al clima presente<sup>1</sup>

(Autores: Cristian Arango, Jennifer Dorado, Diana Guzmán y José Franklyn Ruiz Murcia. Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático, Subdirección de Meteorología – IDEAM)

El objeto del siguiente artículo es realizar un análisis comparativo de la precipitación y temperatura media, según el escenario ensamblado de cambio climático para las décadas del 2011-2100 respecto al clima presente 1971-2000 sobre Colombia.

En el ámbito mundial, Colombia es uno de los países más ricos en recursos hídricos. Su clima presenta comportamientos variados, los más fríos en nevados hasta los más cálidos a nivel del mar. La precipitación está regida por el doble paso de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), no obstante, también existe la influencia de los vientos alisios y los eventos de variabilidad climática como El Niño-La Niña, Ondas intraestacionales (MJO), entre otros; al igual que los factores físico-geográficos regionales, como la orografía (IDEAM, 2005). Estos patrones de circulación, acuerdo con Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), podrían verse alterados por emisión de gases efecto invernadero.

En la actualidad el cambio climático global es una de las mayores preocupaciones de la humanidad dadas las enormes repercusiones que tiene para la sostenibilidad futura de su desarrollo socioeconómico y ambiental. Este cambio climático comenzó a constatarse hace unas décadas a partir de distintas observaciones que indicaron no sólo un calentamiento global del planeta durante el último siglo, sino también un incremento de condiciones extremas que se traducen en sequías, olas de calor, inundaciones, etc. (Stott P., 2004, págs. 432, 610-614), (Jones R., 2004), con las consiguientes incidencias en la salud humana, la seguridad alimentaria, el acceso a los recursos naturales trayendo desplazamiento de la población para la adquisición de los mismos, así como por efectos de los eventos extremos, entre otros.

A partir de estos hechos, la comunidad científica ha realizado un gran esfuerzo para desarrollar modelos que permitan simular el sistema climático y que sean capaces de reproducir el cambio observado para, finalmente, determinar los factores que contribuyen al mismo y se analicen en los distintos escenarios socioeconómicos de emisión que se utilizan para forzar los modelos en el futuro. De acuerdo con el IPCC, un escenario de cambio climático es una respuesta del clima bajo un supuesto de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera; por lo tanto, dependiendo del escenario analizado, se admite un cambio en los patrones meteorológicos distinto, inducido por una mayor o menor emisión de gases a lo largo del siglo XXI (Jones R., 2004).

En este sentido el diseño de escenarios de cambio climático para Colombia es importante, a pesar de que el país, no emite una cantidad de gases de efecto invernadero tal que se conviertan en factor decisivo para la afectación de la composición de la alta atmósfera del planeta, por su impacto en el territorio. Se prevé que el país sea una de las zonas más afectadas del globo con el cambio climático, en especial, los Andes colombianos (Oviedo, 2010).

De acuerdo con lo anterior, es necesario un estudio para averiguar el posible cambio de precipitación, parámetro seleccionado por ser un elemento climatológico que caracteriza el estado del tiempo atmosférico (Montealegre, 2009) en Colombia para el periodo 2011-2100 frente al clima de referencia 1971-2000, llevando a cabo una metodología similar a la que IDEAM realizó para elaborar la Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de la Las Naciones Unidas sobre Cambio

<sup>1</sup> Se hace un reconocimiento a los funcionarios del IDEAM, que con sus oportunos y valiosos aportes para esta investigación hicieron posible la elaboración del presente artículo, en especial a la Doctora Gloria León por sus orientaciones y en formulación en la metodología del control de calidad de las series, al Ing. de Sistemas Guillermo Eduardo Armenta por la colaboración en el downscaling con el modelo PRECIS, la Ing. Geógrafa Paola Bulla por su ayuda en los mapas de anomalías de la precipitación y a la Ing. de Sistemas Blanca Oviedo, por su participación en la homogenización de los datos.

Climático (Ruiz, 2010). Se presentan dos metodologías para el relleno de datos ausentes, enfocadas hacia su uso en series de tiempo geoestadística. Para ello, en una primera etapa se agruparon la estaciones por descomposición en componentes principales y en una segunda etapa se complementaron las series de tiempo mensuales con metodologías como la Razón de los Valores Normales, el cual utiliza datos de las estaciones cercanas y el modelo Arima, cuando el proceso se debe hacer con la información de la misma estación. El proceso de complementación se validó mediante el Test de McCuen.

A partir de la complementación de las series, estas se utilizaron como materia prima (Clima presente), para generar las proyecciones de cambio climático a partir de tres escenarios de emisión de gases de efecto invernadero con base en los datos disponibles de los modelos globales de circulación general atmosférica de baja resolución espacial suministrados por el Centro Hadley de Reino Unido; los cuales tienen la ventaja de representar bien el clima de referencia de Colombia como son el HadCM3 y el ECHAM5 (Rodríguez, 2010); dichos datos de los modelos globales, se utilizaron como condiciones de frontera e iniciales para obtener resultados en alta resolución usando el modelo PRECIS (Providing Regional Climate sformimpact Studies). El ajuste a nivel de estación, se realizó con la técnica denominada Factor de Cambio (Anandhi A., 2011, págs. 1-10), la cual establece el coeficiente de ajuste entre los datos simulados de clima presente del modelo global ERA40 con las observaciones de IDEAM para luego ser aplicados a los escenarios proyectados de cambio climático (en este caso, del mismo modelo regional). Dichos coeficientes, son aplicados al clima de referencia en forma multiplicativa para la precipitación, con el fin de obtener la proyección de cambio climático a nivel local. Finalmente, se obtuvo el cambio de porcentaje de la precipitación, mes a mes, para 2011-2100 frente a dichos promedios climatológicos, lo que permitió ver las variaciones decadales proyectadas frente a los valores normales promedios del periodo de referencia para esta variable meteorológica.

### Análisis del clima presente

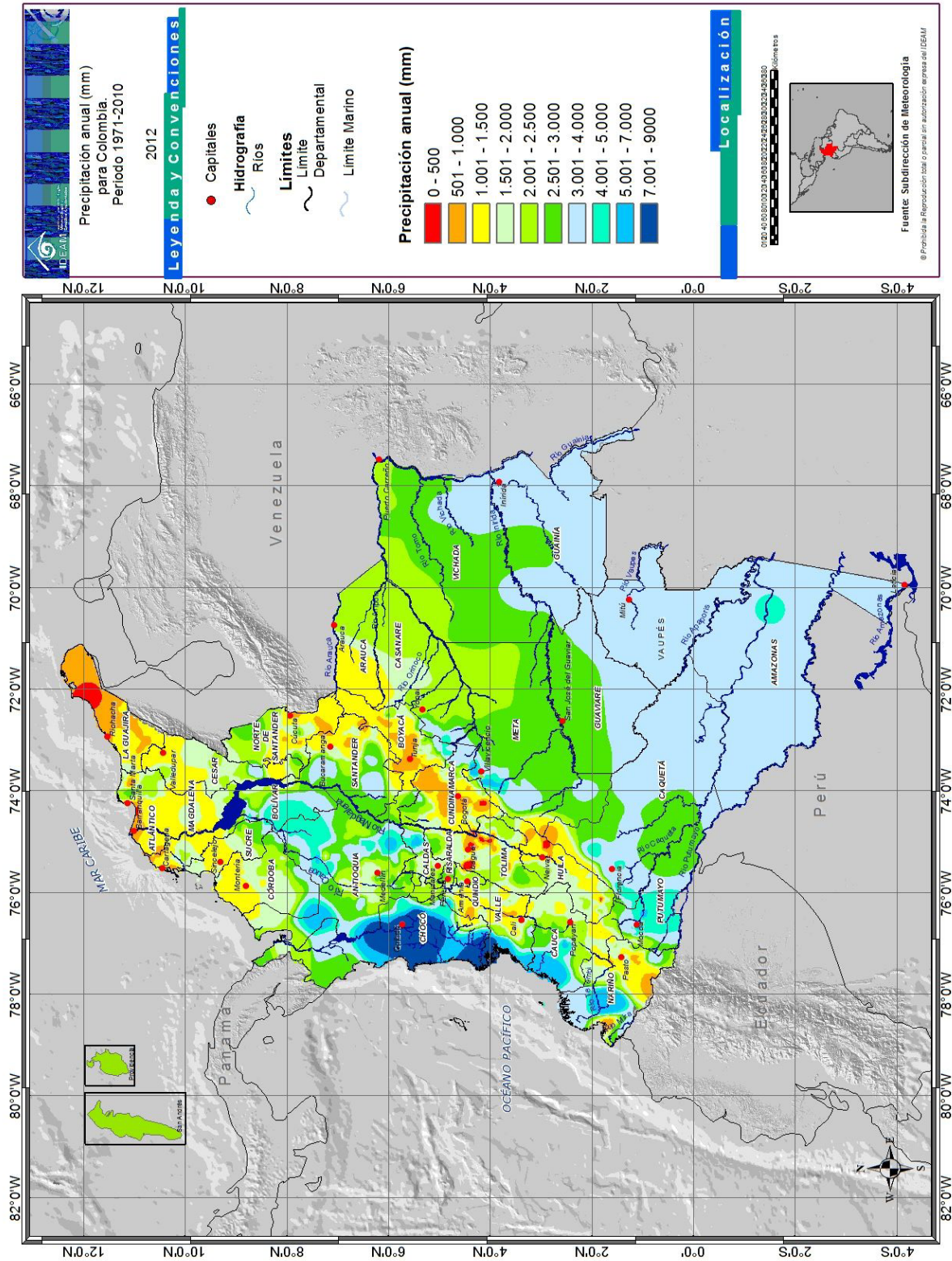
El análisis del patrón general del comportamiento de la precipitación sobre Colombia para clima presente y con base a las 1072 (precipitación) y 331 (temperatura media) estaciones es el siguiente:

**Precipitación:** Las menores lluvias se presentan en la Alta Guajira con totales de 500 mm y menos; los núcleos máximos se han registrado en la región Pacífica con totales anuales de más de 9000 mm. La región Caribe registra lluvias entre 500 y 4000 mm con un gradiente muy definido en dirección Sur. La región Andina posee una gran diversidad pluviométrica, con lluvias relativamente escasas (hasta 500 mm), para el sur del Huila y el nororiente del Tolima (límites con Cundinamarca); a lo largo de la cordillera oriental entre 1000 y 1500 mm, en los valles del Alto Magdalena y Alto Cauca desde 2500 hasta 3000 mm, y núcleos máximos (de 5000 a 7000 mm) en las cuencas del Medio Magdalena y Medio Cauca. En la Orinoquía predominan las lluvias altas de 2000 a 3500 mm en su parte central y Oriental, aun cuando hacia el piedemonte pueden observarse hasta 7000 mm y por el contrario en el extremo Norte de Arauca las lluvias pueden ser menores de 1500 mm. La mayor parte de la Amazonía recibe entre 4000 y 5000 mm por año, mientras que en la región Pacífica se reciben entre 3000 y 9000 mm. Sin embargo, a nivel regional se presentan grandes desviaciones respecto a este comportamiento, en razón de la accidentada topografía y/o a factores de mesoescala ya reseñados. A nivel mensual, este patrón se conserva relativamente constante, variando únicamente algunas cantidades (Figura II-1).

Como características predominantes de la distribución durante el año se encuentran régimen bimodal, para la mayor parte de la región Andina y de la región Caribe con excepción de la región del Bajo Nechí, parte de la cuenca del río Sinú y sectores de la vertiente oriental de la cordillera central a la altura de Samaná (Caldas) y régimen monomodal para la mayor parte de la Orinoquía y Amazonía colombiana y los sectores mencionados anteriormente como excepciones en la parte andina (Figura II-2).

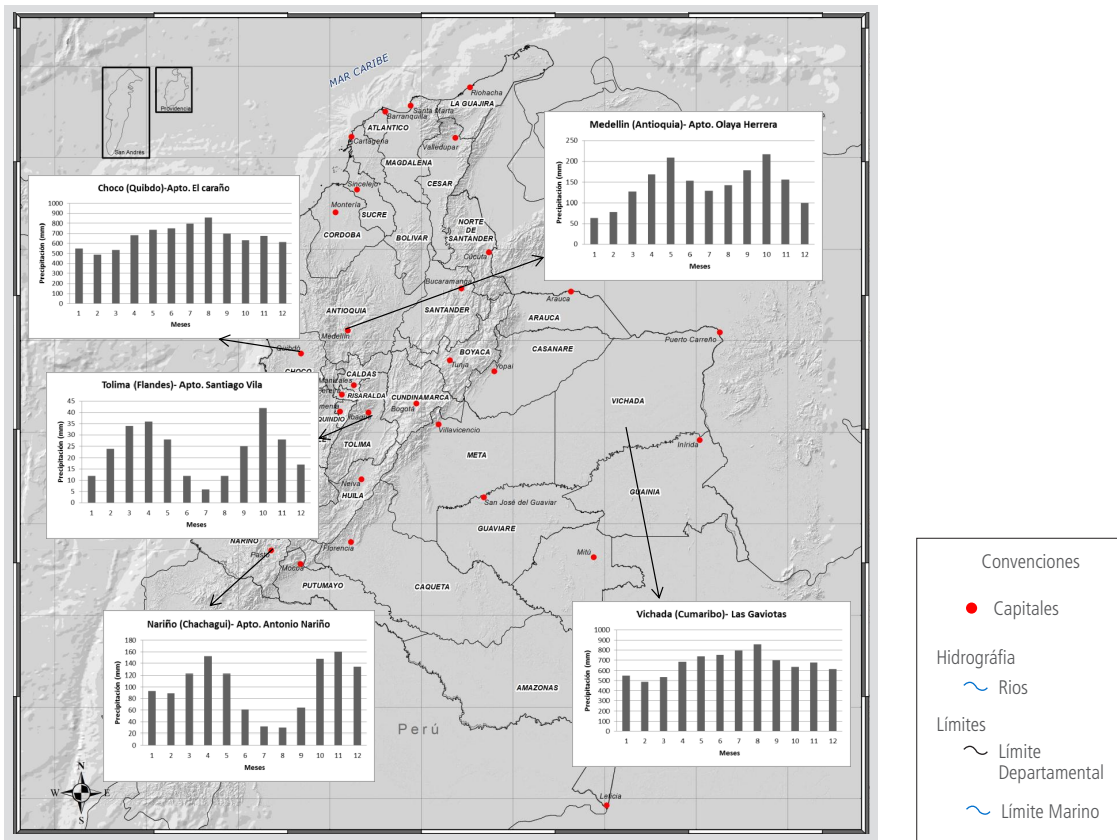
La región Pacífica no presenta una tendencia definida y muestra escasa diferencia entre las cantidades aportadas por cada mes en particular. En los valles interandinos de la cuenca Magdalena y Cauca se aprecia que hacia el sur se hace más marcada la temporada seca de mitad de año y es más lluviosa la temporada seca de principios de año. Lo contrario sucede hacia el norte

Figura II-1. Distribución espacial de la precipitación (mm), periodo 1971-2010



de dicha cuenca, al punto de que en el medio y bajo Cauca, la temporada seca de mitad de año casi tiende a desaparecer. En la cuenca Magdalena no es tan marcado este efecto latitudinal, pero se nota asimismo la importancia que adquiere la temporada seca de principio de año. Aproximadamente al sur de los 2° N, el régimen comienza a invertirse, hasta el punto de que en el extremo sur de Colombia la temporada menos lluviosa tiene lugar a mediados de año (Figura II-2).

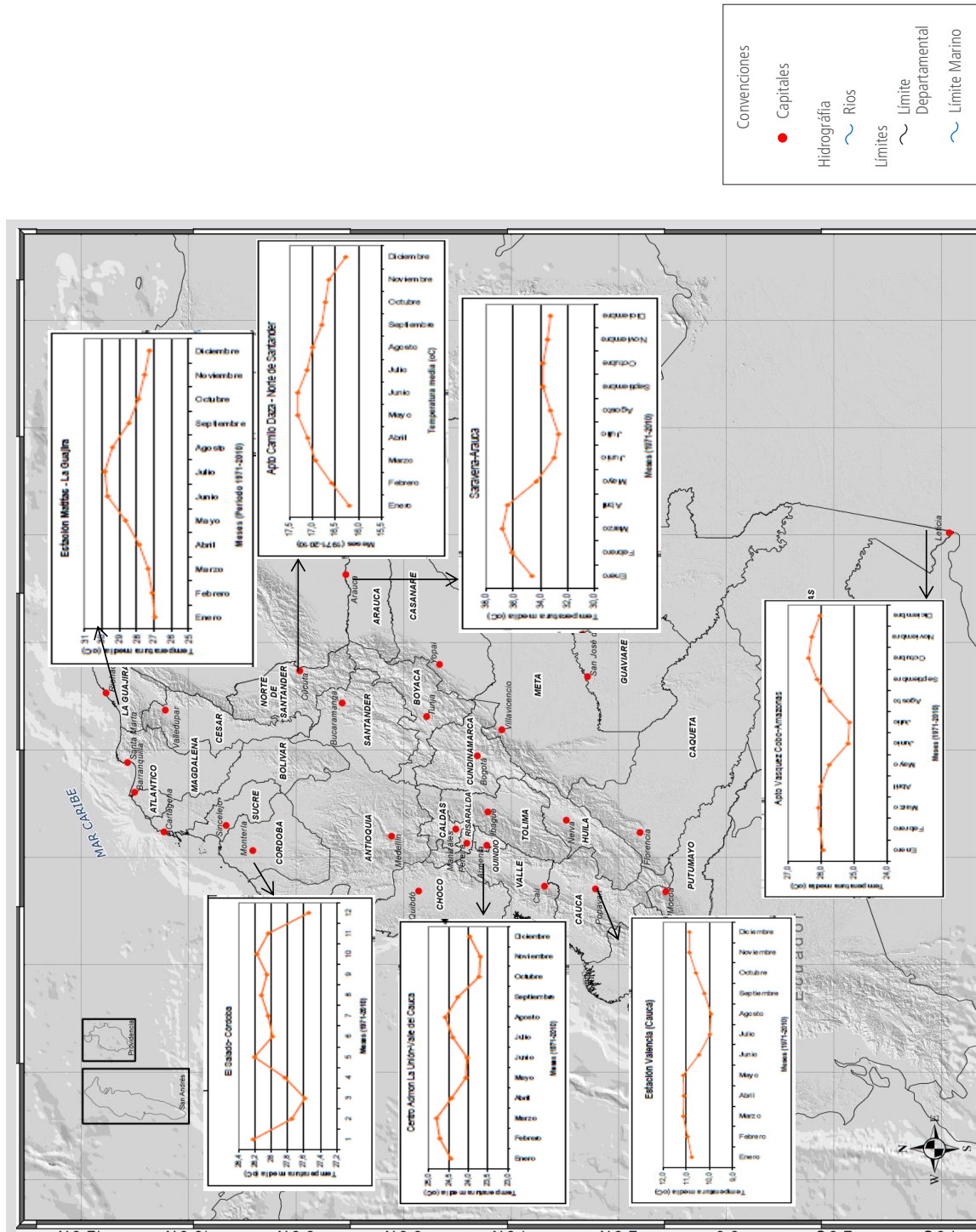
Figura II-2. Régimen de la precipitación para algunas zonas de Colombia



**Temperatura media:** Para la región del Caribe, la temperatura media del aire presenta un comportamiento entre 27 y 34 °C en sectores como la alta y media Guajira, en la parte central del Cesar y Bolívar y en el sur de los departamentos de Magdalena, Atlántico y Sucre, en el resto de la región, exceptuando el pico de la Sierra Nevada de Santa Marta y sus alrededores, las temperaturas medias oscilan 26,6 y 28,5 °C. En la región Andina, los valles de los principales ríos como el Magdalena, el Cauca, el Patía y el Sogamoso, registran los valores más altos de temperatura, entre 23 y 26 °C, mientras que en los altiplanos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño, la zona montañosa del centro de Antioquia, Cauca y el Viejo Caldas, se presentan valores bajos, entre 12 y 16 °C. En la alta montaña se registran valores inferiores a 8 °C. En la región Pacífica, se encuentran temperaturas medias comprendidas entre 22 y 28 °C. En forma general, las temperaturas son relativamente más bajas que para otras regiones del país con estas mismas elevaciones, dado que es la región más lluviosa del país. El Pacífico sur presenta temperatura media del aire casi constante a lo largo del año con valor promedio de 25 °C, al igual que las temperaturas extremas medias que fluctúan entre 22 °C y 28 °C. En la región de la Orinoquía no existen accidentes orográficos notables, siendo bastante homogénea la distribución de temperatura, la cual presenta valores entre 24 y 28 °C. Por su parte, la región de la Amazonía, se caracteriza por tener una fisiografía muy homogénea y por tanto las temperaturas poco varían espacialmente. En la mayor parte del territorio de la Amazonía se registran valores entre 24 y 28 °C. Hacia el piedemonte los registros oscilan entre 12 y 20 °C, en dependencia de la elevación. La temperatura para el territorio colombiano, está marcada por un patrón determinado por la altitud (Figura II-3).



Figura II-4. Régimen de temperatura media (°C) para algunas zonas de Colombia

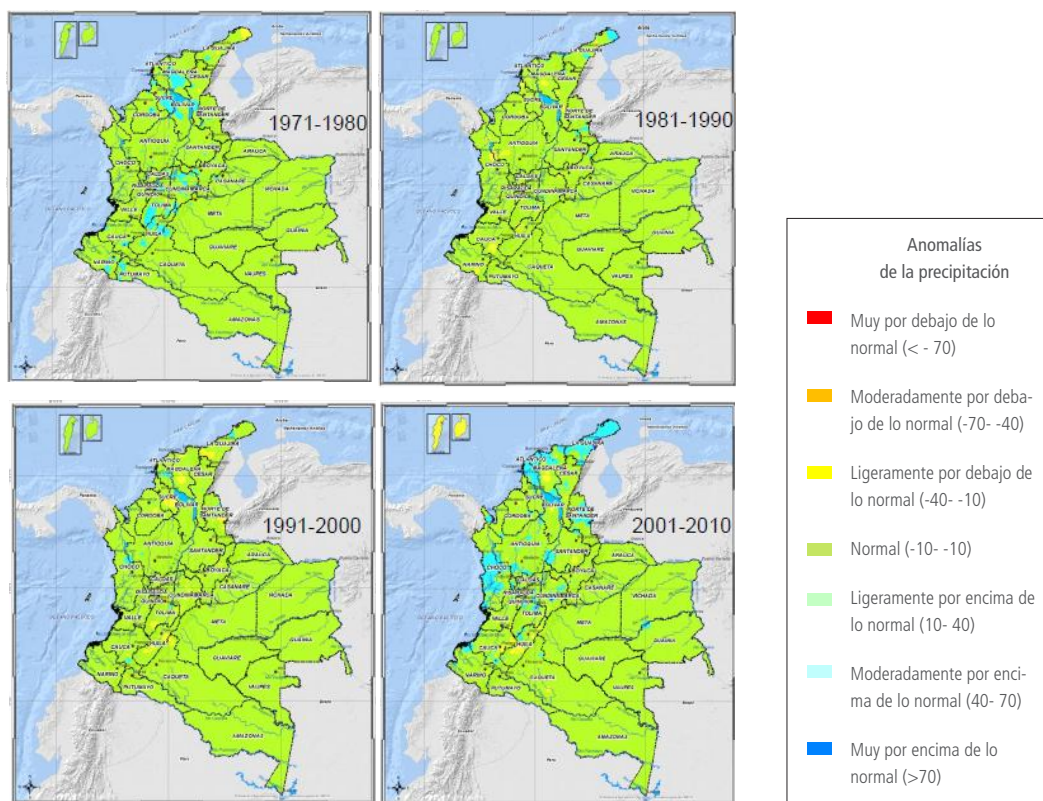


Respecto a las particularidades en el comportamiento de la temperatura media para algunas regiones de Colombia (Figura II-4), en la Sierra Nevada de Santa Marta y cuenca del Cesar, tiene un comportamiento bastante uniforme. El Litoral Central presenta un comportamiento muy regular a lo largo del año, los meses más cálidos son mayo a agosto; mientras que principios y finales del año las temperaturas son ligeramente menores por efecto de los vientos Alisios. En general para la región Andina, se presenta una un régimen bimodal en su temperatura, en el sector del Catatumbo, las temperaturas medias presentan un comportamiento monomodal. Por su parte, el Pacífico Norte y Central, el régimen de las temperaturas medias es muy uniforme a lo largo del año. En el Piedemonte Llanero, los primeros y últimos meses del año tienen la particularidad de presentar las temperaturas más elevadas, mientras que los de mediados de año presentan los valores más bajos. La temperatura del aire para la Orinoquía Oriental presenta un comportamiento monomodal. En la región Amazónica, las temperaturas medias del aire presentan una marcha casi uniforme a lo largo del año, con tendencia a registrar los valores más bajos a mediados del año.

### Comportamiento de la última década frente a los promedios históricos

**Precipitación:** En general, se observó que en gran parte del territorio colombiano, la precipitación mantuvo un comportamiento constante, con cambios poco significativos que se encuentran dentro de un rango normal con respecto al periodo de referencia 1971-2000. Sin embargo, se aprecia que las décadas 1971-1980 y, principalmente 2001-2010, han sido las más lluviosas, siendo éstos resultados similares a los planteados por (OMM, 2012) en el contexto mundial; donde menciona que, a nivel global, el decenio 1951-1960 fue el que presentó mayor cantidad de precipitaciones medias mundiales desde 1901, seguido de los decenios 2001-2010 y 1971-1980 (Figura II-5).

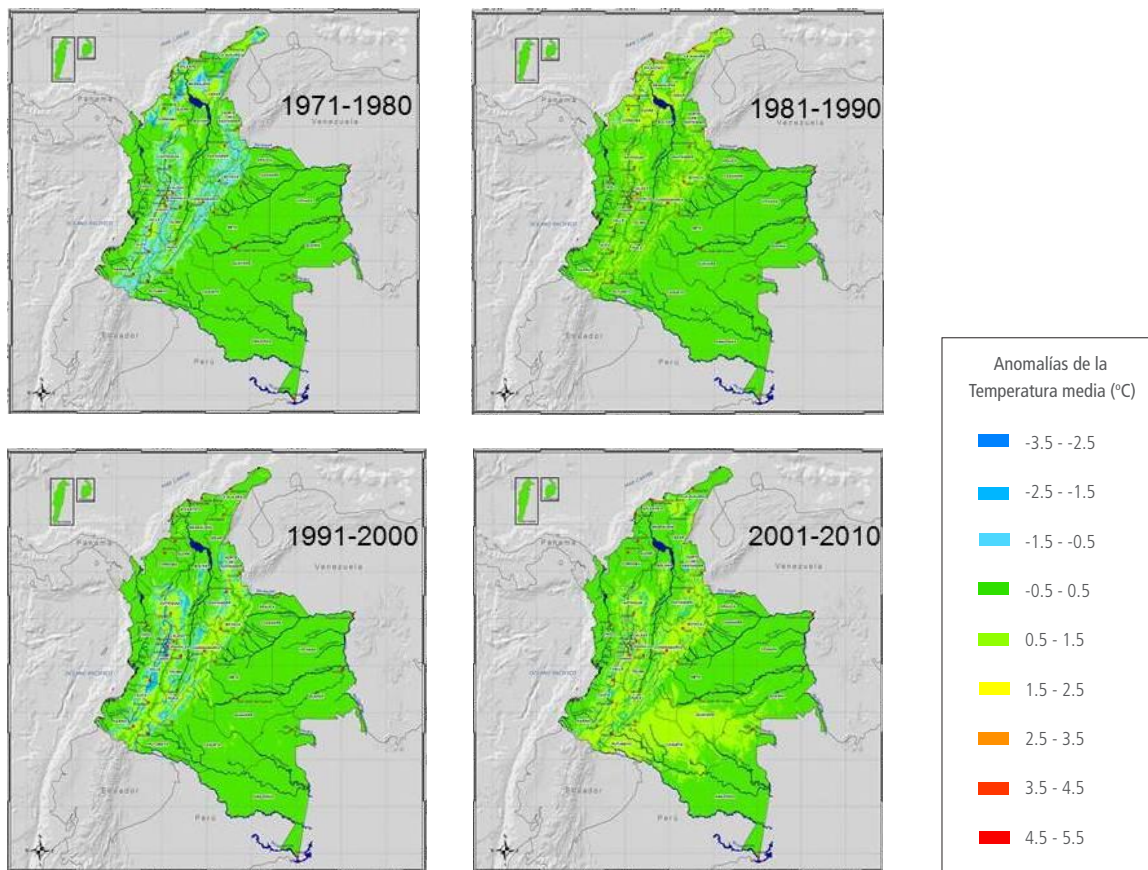
Figura II-5. Distribución espacial de las anomalías de precipitación (%) decadal (1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010) para Colombia



En la década 2001-2010 se encuentran precipitaciones ligeramente por encima de lo normal (entre 10 y 40%) respecto a 1971-2000 en los departamentos de La Guajira, parte norte del Magdalena, Atlántico, Chocó, y algunas zonas del Eje Cafetero y Norte de Santander. Por otro lado, se han presentado precipitaciones ligeramente por debajo de lo normal (entre -40% y -10%) en algunas partes del Huila, Cauca, Cundinamarca, Santander y Magdalena.

**Temperatura:** En los cuatro decenios que van desde 1971 a 2010 (Figura II-6) la temperatura no presenta mayores cambios con respecto al periodo de referencia, con anomalías entre  $-0.5$  y  $0.5$  °C, hacia las regiones de Amazonía, Orinoquía, Pacífico, los valles interandinos y algunas zonas del Caribe. Sin embargo, se han presentado aumentos de temperatura en las zonas altas del territorio nacional, con anomalías entre  $0.5$  y  $1.5$  °C, principalmente hacia la región Andina y la Sierra Nevada de Santa Marta, siendo el decenio más caluroso el comprendido entre 2001-2010, donde también se presentan anomalías positivas hacia el sur oriente colombiano. Lo anterior es acorde con lo expuesto por la OMM (2012), que indica que, a nivel global, desde que se están registrando con instrumentos la temperatura media superficial global, los trece años más calientes se han producido en los últimos quince años, a partir de 1997. Por su parte, la década 1971-1980 ha sido la más fría de los últimos 40 años, con temperaturas más bajas que el promedio ( $-1.5$  y  $-0.5$  °C) ubicadas principalmente en la región Andina y algunas partes de la región Caribe, donde se destacan el norte de La Guajira, y la Sierra Nevada con anomalías que descienden hasta los  $-2.5$  °C.

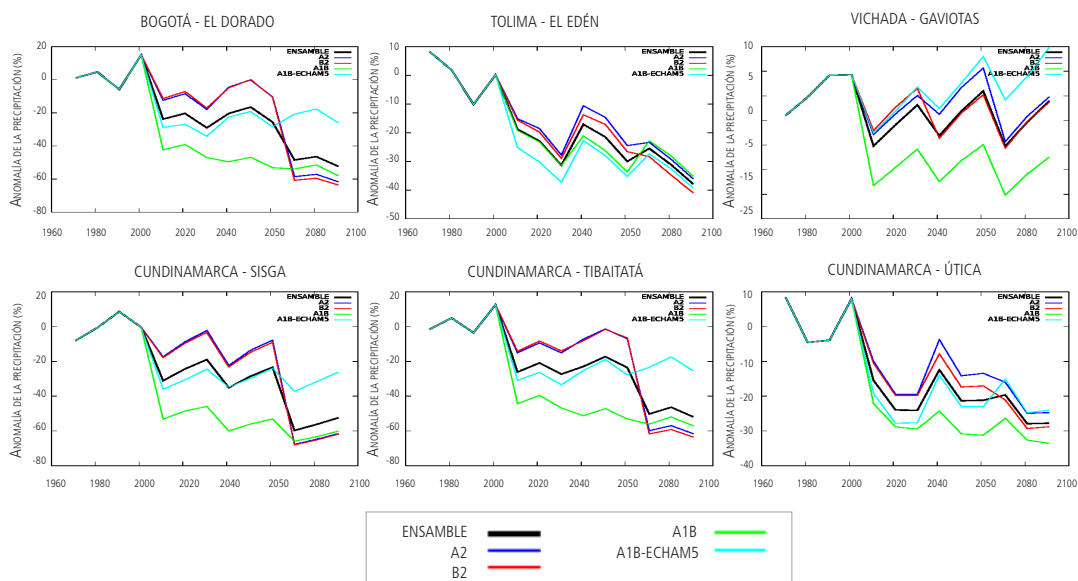
Figura II-6. Distribución espacial de las diferencias promedio decadal (1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010) de la temperatura (°C) con tendencia para Colombia



## Escenario más probable de precipitación a lo largo del siglo XXI (Promedio multiescenario)

**Precipitación:** Los escenarios de IPCC sugieren una disminución en todas las estaciones, excepto las ubicadas en el oriente colombiano (estaciones del Vichada), que presentaría un comportamiento normal. Sin embargo, se puede distinguir que en el periodo 2051-2070 la tendencia hacia la disminución de las precipitaciones se haría menos acentuada como se presenta en la Figura II-7. El escenario que presenta una disminución más significativa de la precipitación es el A1B, mientras que el A2 es el escenario que se acerca más hacia la normalidad. El escenario ensamblado muestra un promedio de los escenarios proyectados como se esperaba.

Figura II-7. Cambios de precipitación en (%) década por escenario para algunas estaciones del territorio nacional



De igual manera, la proyección de los escenarios de la Figura II-8, muestra una marcada disminución de la precipitación con anomalías moderadamente y ligeramente por debajo de lo normal (entre -70% y -10%) sobre toda la región Andina, Caribe y sur del Pacífico. Los impactos más grandes se presentarían a lo largo de la cordillera oriental y la Guajira en el periodo 2071-2100 y en el sur del Pacífico en el periodo 2011-2070. San Andrés también mostraría una disminución en la precipitación para ese mismo periodo. Por otro lado, se observa un aumento del 10% al 40% para la región comprendida entre los departamentos del Amazonas y Caquetá principalmente para el periodo 2061-2100, con una expansión de la precipitación en el territorio para la década 2081-2090.

**Temperatura:** El IPCC sugiere un aumento en todos sus escenarios (Figura II-9), sin embargo, para la década 1991-2000, las estaciones Bogotá y La Guajira muestran una leve disminución, y para el periodo 2050 -2060 y 2070-2100 se observa que la tendencia al aumento es más leve en todas las estaciones y escenarios. Al igual que en precipitación, la estación Gaviotas presenta el menor aumento con un rango entre 2 °C y 6 °C. Esta estación presenta un comportamiento especial a partir del 2060, ya que mientras en los escenarios A1B y A1B-ECHAM5 aumentan drásticamente la temperatura, el escenario B2 muestra una caída considerable. Por otro lado, el escenario "ensamble con tendencia" es el que presenta el menor aumento para todas las estaciones, con un promedio de 4 °C para el 2100, mientras que los escenarios A1B, A2 y ensamble sin tendencia son los que muestran los mayores aumentos. De igual forma, en Figura II-9 se muestra las proyecciones futuras de temperatura y se indica un constante aumento para todas las regiones del país. En general, los mayores aumentos se darían hacia el oriente de Colombia y los valles interandinos, mientras que los menores aumentos se presentarían principalmente al sur del Golfo de Urabá, también hacia las cordilleras y algunas zonas de los departamentos de La Guajira, Atlántico y Cesar.

Figura II-8. Distribución espacial de las anomalías decadales de la precipitación para Colombia

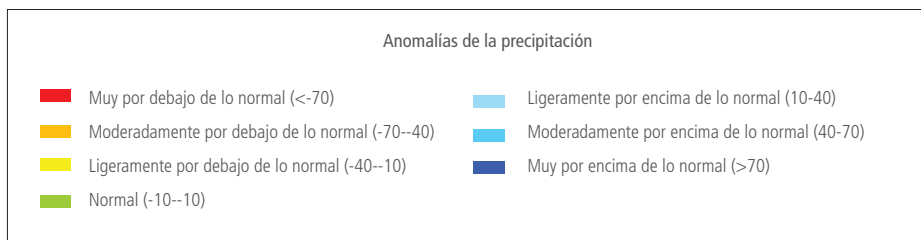
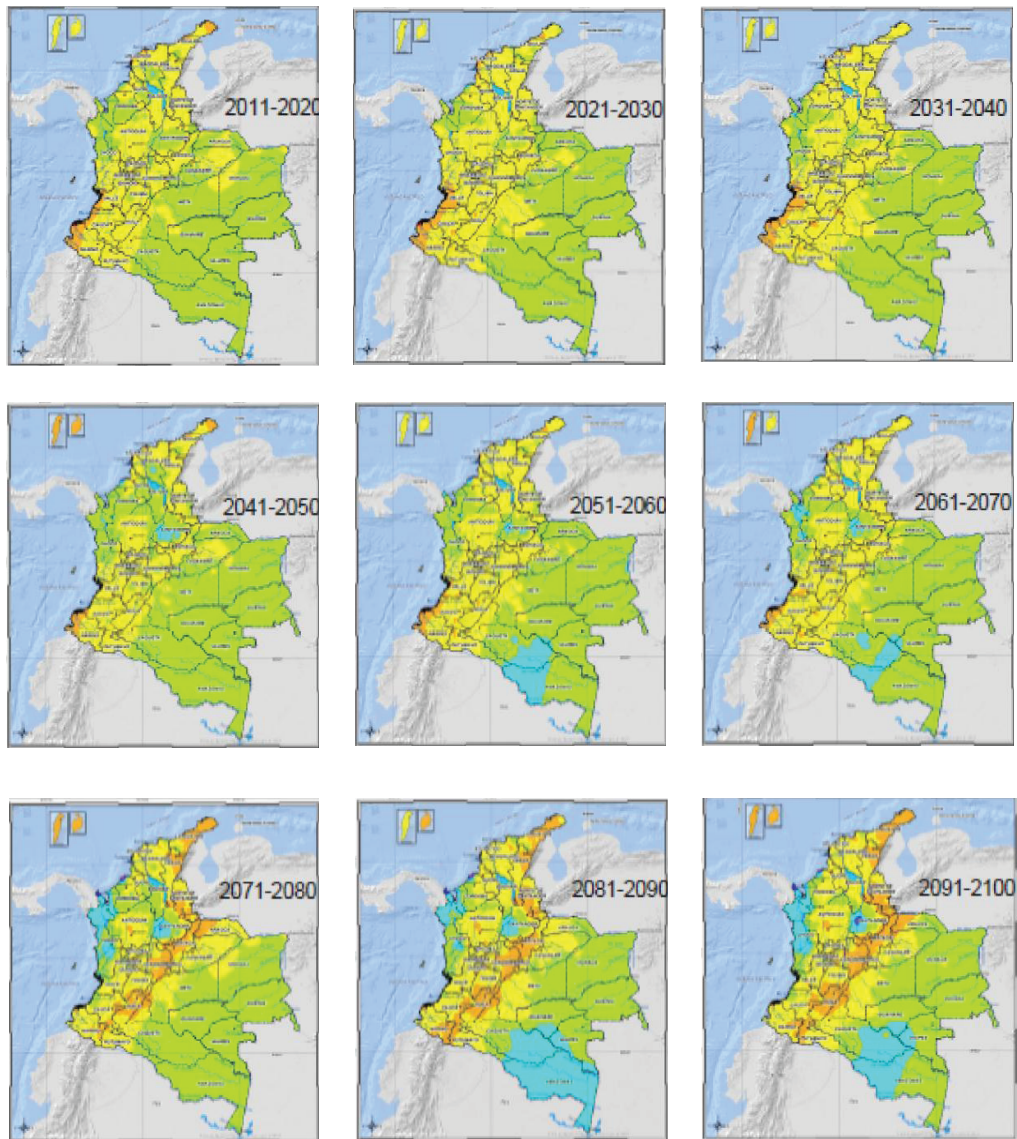
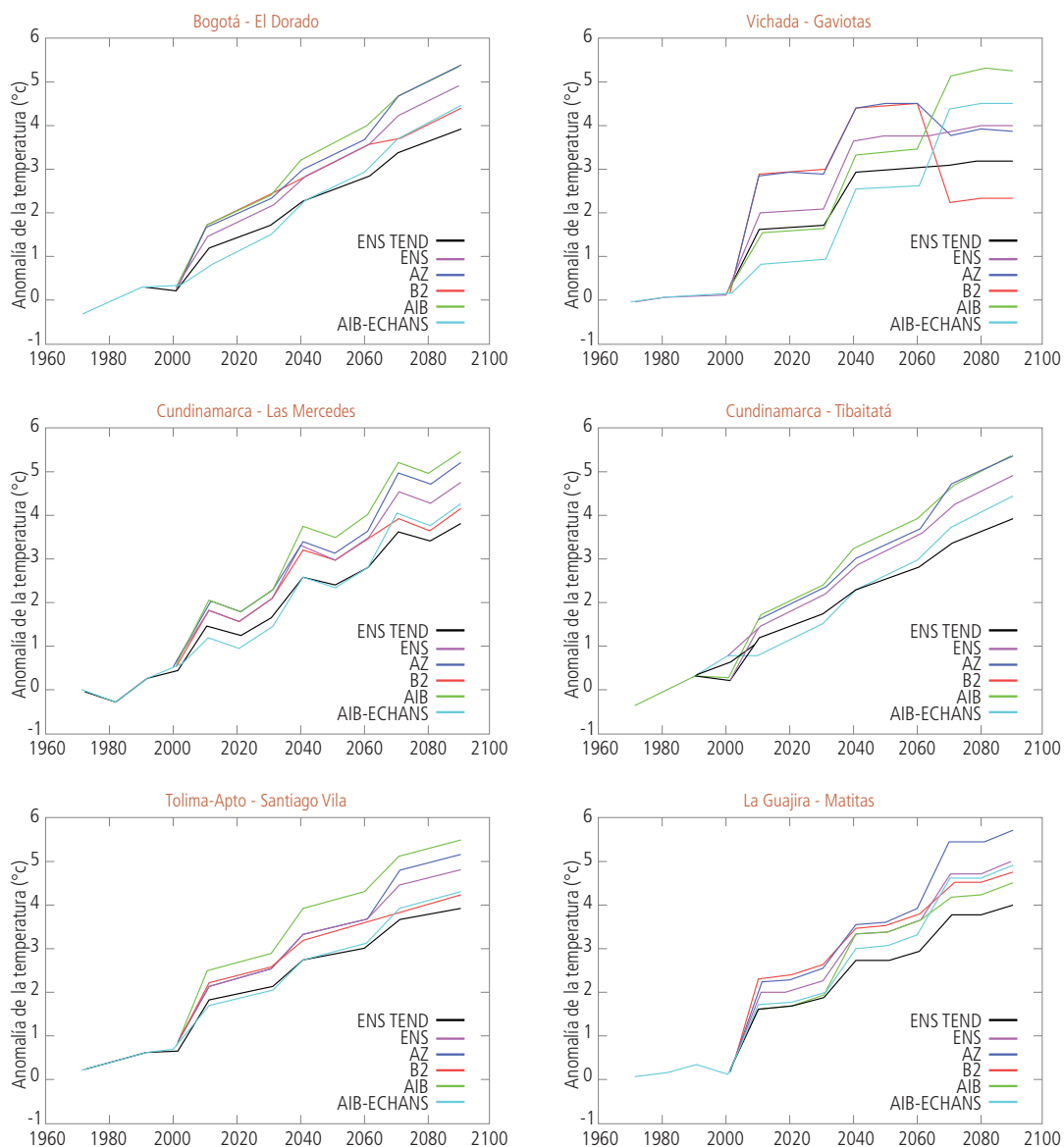
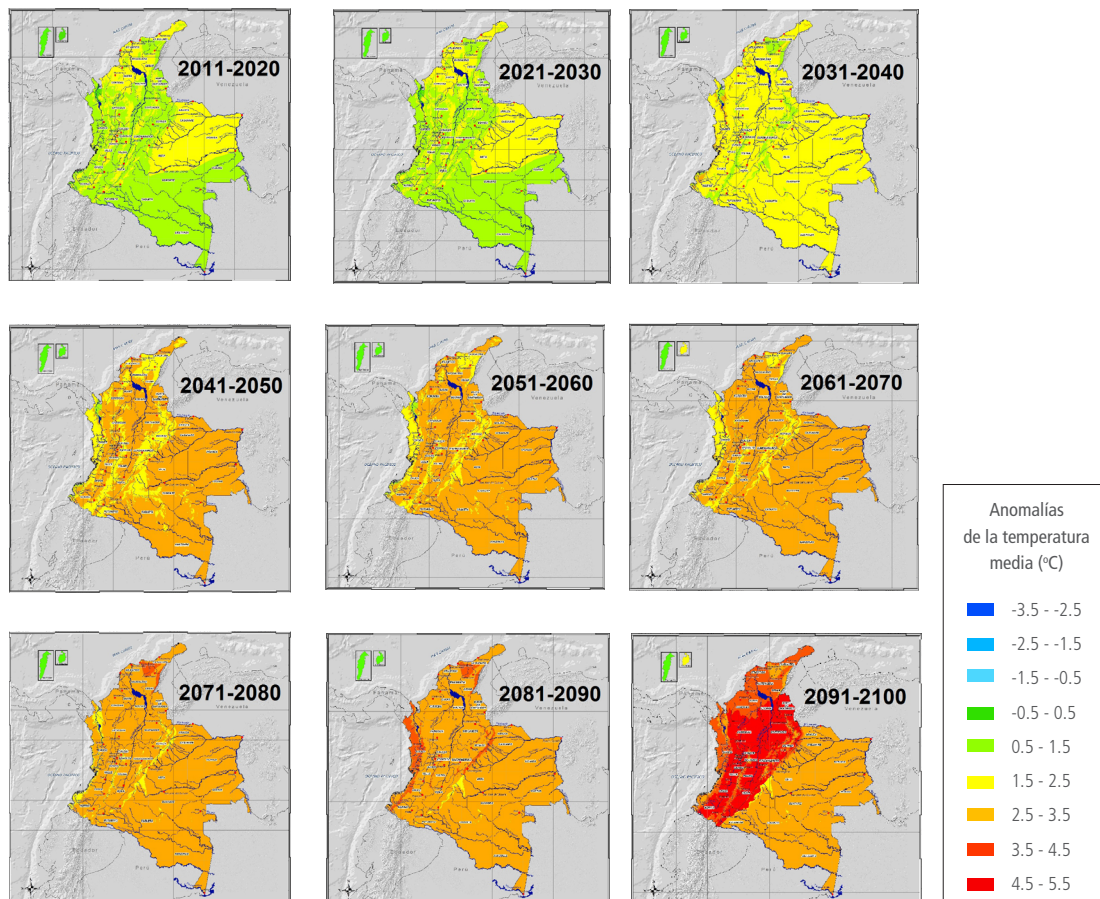


Figura II-9. Cambios en la temperatura media (°C) decadal por escenario para algunas estaciones del territorio nacional



Los primeros tres decenios presentarían aumentos entre 0,5 y 1,5°C en los primeros años, llegando a anomalías de hasta 2,5 °C en casi todo el territorio nacional para el 2031-2040. Un comportamiento singular es que el aumento de temperatura en la región Orinoquía para la década 2021-2030 sería menor con relación a la década predecesora (Figura II-10). En las últimas tres décadas se presentan las mayores anomalías en temperatura alcanzando en promedio los 4 °C para las zonas de alta montaña.

Figura II-10. Distribución espacial de las anomalías de la temperatura media (°C) con tendencia de las diferentes décadas para Colombia



#### Análisis por normales climatológicas (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100)

En precipitación, se pudo apreciar en la sección anterior, arrojó como resultados un aumento ligero de la precipitación (10%- 40%) hacia el norte de la región Pacífica - Golfo de Urabá y Santander para el periodo 2071-2100, llegando a aumentar hasta en un 70% en algunos puntos para la década 2091-2100. Para el resto del país, hacia el oriente, prevalece una situación de precipitación que no cambia significativamente con respecto al clima actual. Para apoyar estos resultados, en la Figura II- 11, se presenta una comparación de los resultados de anomalías proyectados por IDEAM (Ruiz, 2010) con los obtenidos en este estudio (en puntos).

Para temperatura media, el periodo 2041-2070 tendría un comportamiento casi que constante, con anomalías que llegan hasta 2,5 y 3,5 °C a lo largo del país, exceptuando algunas zonas de las regiones Pacífico y Caribe, y de las cordilleras Oriental y Central, donde los aumentos llegarían máximo a los 2,5 °C. De la misma manera, el periodo 2071-2100 presenta una anomalía entre 3,5 °C y 4,5 °C en los 30 años en casi todo el territorio nacional, con una acentuación muy particular en la última década en toda la región Andina en la cual la temperatura podría llegar a los 5,5 °C (Figura II-12).

Figura II-11. Distribución de las anomalías de la precipitación (puntos de colores) para las tres normales climatológicas sobre los resultados generados por IDEAM para Colombia

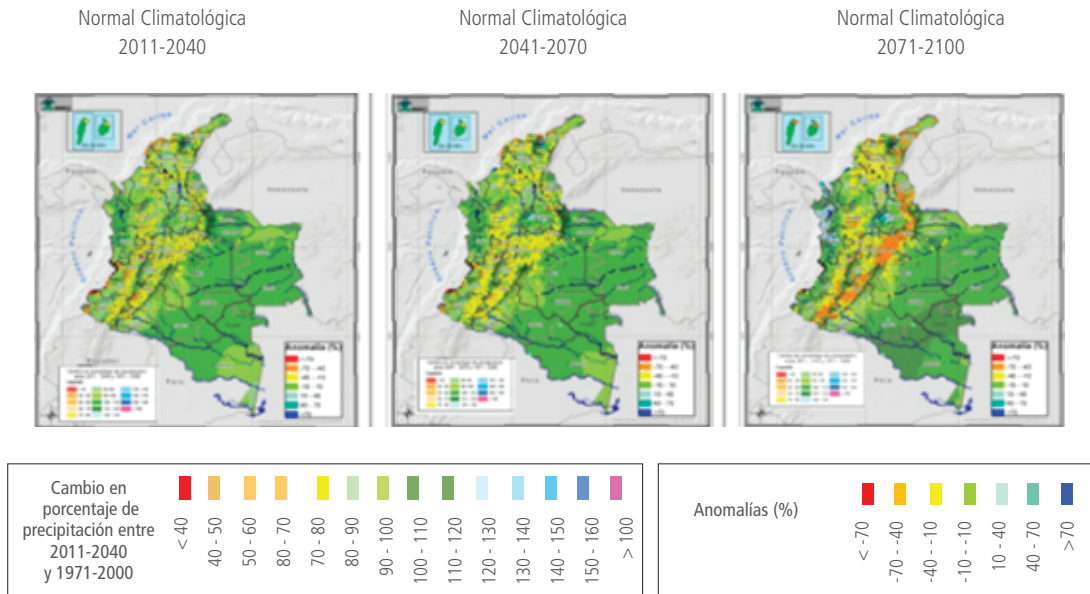
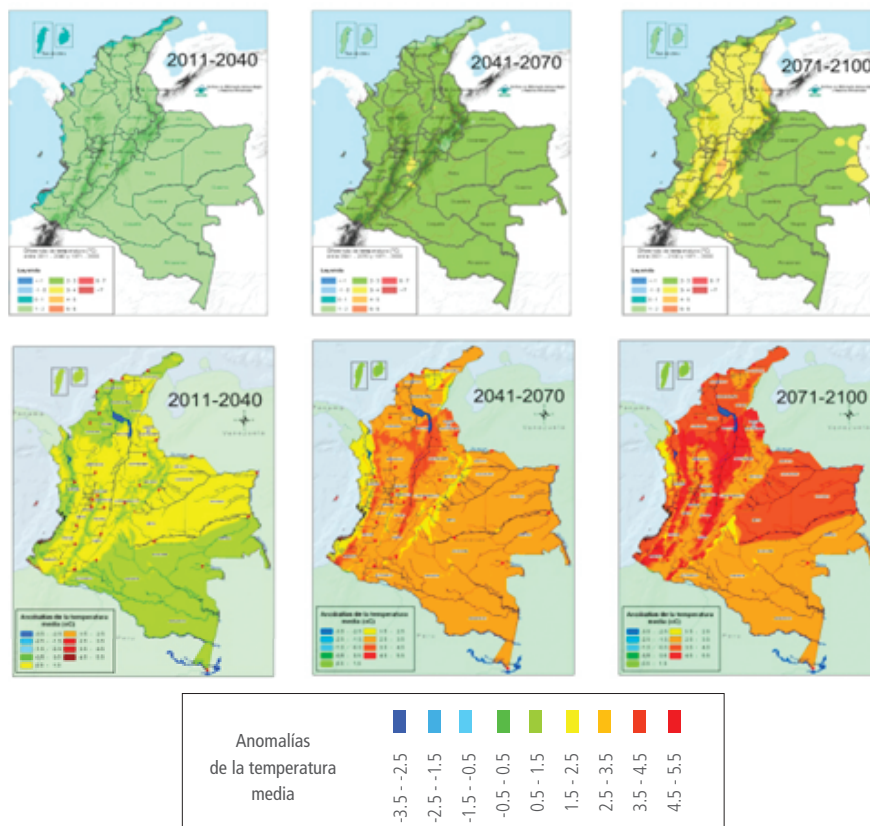


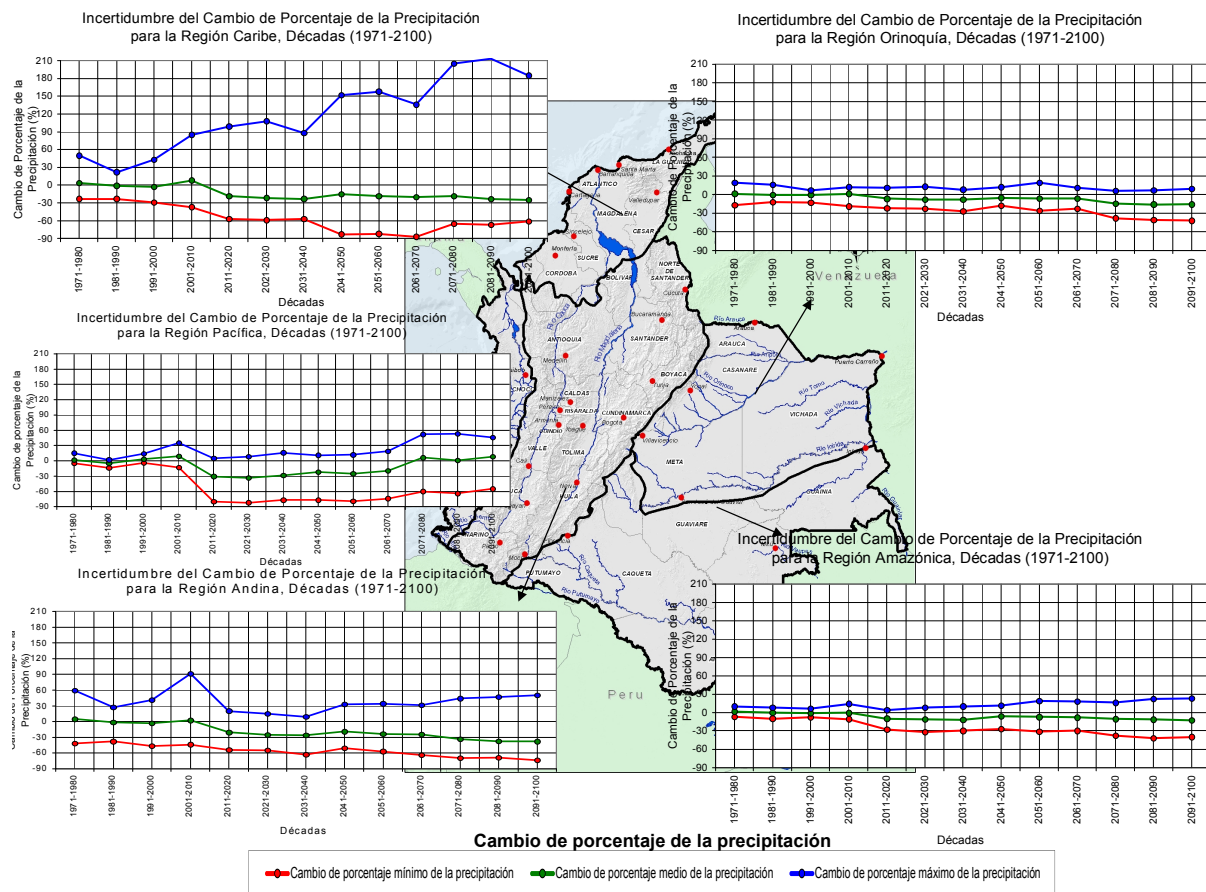
Figura II-12. Comparación de las diferencias de temperatura con tendencia (°C) entre IDEAM (arriba) para años anteriores y este estudio (abajo)



### Análisis del escenario más probable de la precipitación y temperatura media por regiones naturales (incertidumbres)

El cambio porcentual de la precipitación presenta un mayor rango de variación, lo que indica que tiene una incertidumbre más alta en los modelos climáticos, pero además, indica también que, dentro de una misma región, la disminución de la precipitación sería heterogénea. Las regiones Pacífica y Andina presentarían un comportamiento similar, marcado en la disminución de la precipitación para los periodos medios y crecimiento al final de la serie. La región del Caribe, exhibió amplitudes extremas en sus series (entre mínimo y máximo), sin embargo, su promedio mostraría una tendencia en decrecimiento a través del tiempo. La Orinoquía expondría un comportamiento en disminución porcentual de la incertidumbre para todo el periodo mientras que la Amazonía proyectaría uniformidad en toda la serie (Figura II-13).

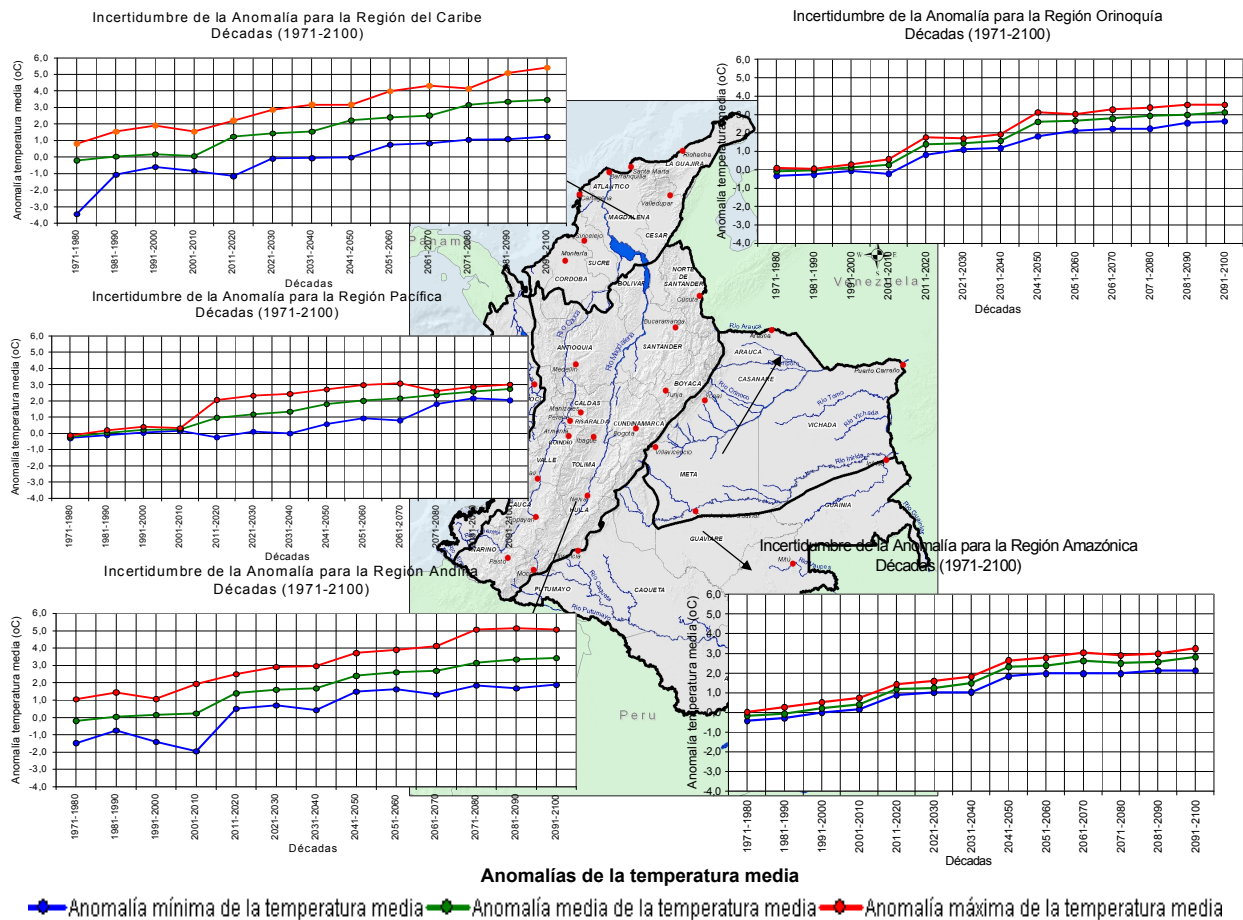
Figura II-13. Cambio del porcentaje de la precipitación respecto al clima presente para las regiones naturales de Colombia



La temperatura media presentaría un aumento en todas las regiones de forma paulatina. Sus comportamientos particulares estarían enmarcados de la siguiente manera, las regiones Caribe y Andina, mostrarían amplitudes similares a través del tiempo, caso contrario en las regiones Orinoquía y Amazonía donde su comportamiento no presentaría variaciones en la serie y la Pacífica reflejaría ambos comportamientos, uniforme al inicio y al final de la serie y grandes amplitudes en mitad del periodo analizado (Figura II-14).

Cabe aclarar que la Figura II-13 y Figura II-14 no solo muestran la proyección de la anomalía de cada región en términos de precipitación y temperatura media respectivamente, sino que también indican el grado de incertidumbre (variación) que tiene cada región con referencia a cada variable.

Figura II-14. Incertidumbres de las anomalías para la temperatura media respecto a clima presente de las regiones naturales de Colombia



## Conclusiones<sup>2</sup>

Para clima presente y a nivel decadal, la precipitación presentó cambios poco significativos respecto al periodo de referencia 1971-2000. Sin embargo, los registros pluviométricos manifestaron que las décadas 1971-1980 y, principalmente 2001-2010, fueron las más lluviosas. Para esta última década en particular, se mostraron aumentos de precipitación entre el 10% y 40% en las regiones hidroclimáticas de la Alta Guajira, Litoral Central, Pacífico Norte y Central, vastos sectores de la cuenca del río Sogamoso, norte y centro del Alto Magdalena así como sobre las franjas centrales del Medio Magdalena y Catatumbo.

En cuanto a la temperatura, se observó que presenta una tendencia en aumento para todas las series del país, sin embargo, los cambios no fueron significativos respecto al periodo de referencia. Las regiones Amazonía, Orinoquía y Pacífica, los valles interandinos y algunas zonas del Caribe presentaron anomalías entre los -0,5 y los 1,0 °C y los mayores aumentos se presentaron en las zonas altas como la región Andina y el pico de la Sierra Nevada de Santa Marta (en el Caribe) con anomalías entre los 1,3 y 1,8 °C. Este comportamiento hace indicar que el decenio 2001-2010 fue el más "caluroso" respecto a los iniciales. Lo anterior es acorde con lo expuesto por la OMM (2012), donde indica que a nivel global, desde que se están registrando con instrumentos la temperatura media superficial global, los trece años más calientes se han producido en los últimos quince años, a partir de 1997. Por su parte, la década 1971-1980 ha sido la más fría de los últimos 40 años, con temperaturas más bajas que el promedio (-1,5 y -0,5 °C) ubicadas principalmente en la región Andina y algunas partes de la región Caribe, donde se destacan el norte de La Guajira, y la Sierra Nevada con anomalías que descienden hasta los -2,5 °C.

Contrario a lo que se esperaba y de acuerdo con el escenario pesimista o de mayor emisión de gases de efecto invernadero de IPCC (Escenario A2) el análisis multiescenarios, para la precipitación del país no presentaría disminuciones tan significativas como ocurriría bajo un escenario balanceado (A1B) de emisiones, lo propio ocurre con la temperatura media en el que el escenario A1B y A2 mostraron los mayores aumentos, mientras que el escenario ensamble sin tendencia presenta una anomalía más baja. Caso especial para Colombia, son los Llanos Orientales, en especial el departamento del Meta, donde las estaciones presentaron normalidad en la serie respecto al resto del país donde existe caída en la misma.

La proyección de los escenarios mostró una marcada disminución de la precipitación (-70 y -10%) sobre toda la región Andina, Caribe, sur del Pacífico. Los cambios más significativos se presentarían a lo largo de la cordillera oriental y la Guajira para el periodo 2071-2100 y en el sur del Pacífico para el periodo 2011-2070. Igualmente, San Andrés presentaría una disminución en la precipitación para ese mismo periodo. Para la región comprendida entre los departamentos del Amazonas y Caquetá para el periodo 2061-2100 habría un aumento de la precipitación entre el 10% y el 40%, con una expansión de la misma variable meteorológica en el territorio para la década 2081-2090. Una situación similar se presentaría hacia el norte de la región Pacífica - Golfo de Urabá y Santander pero para el periodo 2071-2100, llegando a aumentar hasta en un 70% en algunos puntos alrededor de la década 2091-2100. El resto del territorio nacional no presentaría cambios significativos respecto al clima actual 1971-2000.

Por su parte, la temperatura media tiende a aumentar en todas las series analizadas, llegando a incrementos de hasta 5,5 °C en la región Andina para el 2100, sin embargo, en las décadas previas, las anomalías serían más altas en zonas de baja elevación.

<sup>2</sup> El análisis de las series de tiempo mediante los gráficos de Box-Plot y el test de McCuen, demostraron que el proceso de complementación de datos, no afectó la estadística ni la variabilidad de la estación. En general, el 98,2 % de las 1072 estaciones para precipitación pasaron los debidos métodos de evaluación, caso similar para la temperatura donde el 99% de las 331 estaciones de temperatura, empleadas en este estudio, pasaron los debidos métodos de evaluación (Coeficiente de Variación), manteniendo los momentos estadísticos de primer orden y los comportamientos entre las series con vacíos y las completas.

En las décadas comprendidas entre 2011 y 2040, la anomalía llegaría hasta 1,5 °C y 2,5 °C en las siguientes tres décadas el aumento sería más homogéneo en el país con anomalías que podrían llegar hasta 3,5 °C por encima de lo normal, mientras que en último periodo tridecadal la temperatura seguiría aumentando en todo el país hasta llegar en promedio a 4,5 °C.

Las incertidumbres indicaron disminución en la precipitación para todas las regiones y se encontraron mayores variaciones en la región Caribe. Para el caso de la temperatura media, las incertidumbres indicaron incremento de la misma para el siglo XXI y las mayores variaciones se encontraron en la región Pacífica. En general, las incertidumbres se vieron enmarcadas en los modelos climáticos, para las últimas décadas evaluadas (2071-2100) esto basado en las grandes amplitudes en la anomalía.

### **Bibliografía Cambio Climático más probable**

*Anandhi A., F. A. (2011). (2011) Examination of change factor methodologies for climate change impact assesment. Water Resources Research, , Vol. 47, W03501, 1-10 p.*

*IDEAM. (2005). Atlas climatologico nacional. Bogotá D. C.*

*Jones R., M. N. (2004). Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS. Hadley Center for Climate Prediction and Research, UK.*

*Montealegre, 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.*

*OMM Organización Meteorológica Mundial. (2012). OMM (2012) Organización Meteorológica Mundial. Declaración de la Organización Meteorológica Mundial: Resumen decenal sobre el estado del clima mundial, conclusiones preliminares.*

*Oviedo, B. (2010). Generación de escenarios de cambio climático regionales y locales a partir de modelos globales - guía para tomadores de decisiones. Nota Técnica IDEAM.*

*Rodríguez, A. (2010). Evaluación de los modelos globales del clima utilizados para la generación de escenarios de cambio climático con el clima presente en Colombia. Nota Técnica IDEAM, IDEAM-METEO/009-2010.*

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

*Stott P., S. D. (2004). Human contribution to the European heatwave of 2003, Nature, 432, 610-614.*

### III. Indicadores que manifiestan cambios en el sistema climático de Colombia: años y décadas más calientes y las más y menos lluviosas

(Autores: Henry Oswaldo Benavides Ballesteros y Carlos Enrique Rocha Enciso subdirección de meteorología - IDEAM)

Anualmente la Organización Meteorológica Mundial (OMM) publica el informe “Declaración anual de la OMM sobre el estado del clima mundial”, en el que se presenta un análisis del comportamiento de la temperatura media superficial global, la precipitación y los fenómenos extremos que se presentaron a nivel mundial. Su objetivo es propiciar una comprensión más cabal de nuestro clima cambiante y variable desde una perspectiva a largo plazo. Estas mediciones ponen de manifiesto que “el cambio climático está teniendo lugar y no es una amenaza de un futuro lejano”, advirtió el Secretario General de la OMM, Michel Jarraud.

En el presente documento se hará énfasis en el comportamiento nacional de la temperatura y la precipitación, presentando su evolución meteorológica y climática, así como algunas señales que evidencian el calentamiento del sistema climático. Es algo similar a algunos productos que presenta el informe de la OMM, que se menciona en el párrafo anterior, pero aplicado a nivel nacional.

En el caso de la temperatura, se presenta inicialmente un corto análisis de la temperatura media superficial global (promedio de la temperatura del aire cerca de la superficie del suelo y la temperatura superficial del mar), analizando la información más reciente de la OMM: cuales fueron los 17 años más calientes desde 1850; la relación de estos años con el fenómeno El Niño y La Niña; las tendencias lineales de calentamiento definidas por diferentes fuentes (IPCC y OMM) y en diferentes periodos de tiempo y finalmente las décadas más calientes desde 1850 a nivel global.

Teniendo en cuenta la anterior información a escala global, se realizó un análisis similar en el país, para obtener información sobre cuáles fueron los años y las décadas más calientes, para el periodo comprendido entre 1961 y el 2011, así como para cada mes cuales fueron los tres años más calientes durante este periodo. También se relacionaron estos resultados con la ocurrencia del fenómeno El Niño y La Niña y se logró establecer la tendencia lineal de aumento de la temperatura media en el país, para los periodos 1961-2010 y el 1980-2011. Lo anterior se realiza con base en la información de cerca de 470 estaciones meteorológicas, representativas para todo el país y las cuales tienen la información más completa y actualizada de la red de estaciones del IDEAM en esta variable. Se tuvieron en cuenta solo estaciones ubicadas en zonas terrestres, sin incluir las temperaturas en los océanos.

En cuanto a la precipitación a nivel global, se realiza un breve análisis de la precipitación en zonas terrestres (sin incluir las precipitaciones en los océanos), respecto a cuales fueron los años y las décadas más lluviosos para el periodo 1900-2011.

Con base en la anterior información a escala global, se realizó un análisis similar en el país, generando un indicador de precipitación nacional que se obtiene de los acumulados mensuales de las series históricas de las estaciones analizadas, para obtener información sobre: cuales fueron los años y las décadas más lluviosas y más secas de los últimos 52 años; la relación de los resultados anteriores con el fenómeno de El Niño y La Niña; las tasas lineales de cambio de la precipitación para los periodos 1961-2010 y el 1980-2011, así como para cada mes, cuáles fueron los tres años más y menos lluviosos. Lo anterior se realiza con base en la información de cerca de 2.500 estaciones meteorológicas, representativas para todo el país, las cuales tienen la información más completa y actualizada de precipitación en la red de estaciones del IDEAM.

#### Indicadores asociados a la temperatura

Entre los indicadores que manifiestan el cambio climático a nivel mundial, el principal es la temperatura media superficial global (promedio de la temperatura del aire cerca de la superficie del suelo y la temperatura superficial del mar), que es usado

generalmente por las principales organizaciones internacionales (OMM, IPCC) y centros de investigación para sustentar el calentamiento de la baja atmósfera. Estos cambios de temperatura no se han producido de manera homogénea en todo el mundo, sino que han variado según las diferentes regiones y diferentes partes de la baja atmósfera.

### Años más calientes a nivel global

Desde que se están registrando con instrumentos (1850) la temperatura media superficial global, los trece años más calientes se han producido en los últimos quince años, a partir de 1997, tal como se observa en la Tabla III-1 se presenta el comportamiento de la temperatura media global de los últimos quince años.

Tabla III-1. Los 17 años más calientes desde 1850

Puesto	Año	Temperatura media global (°C)
1	2010	14,53
2	2005	14,51
3	1998	14,50
4	2003	14,48
5	2002	14,47
6	2009	14,47
7	2006	14,46
8	2007	14,46
9	2004	14,43
10	2001	14,41
11	2011	14,40
12	2008	14,36
13	1997	14,34
14	1995	14,30
15	1999	14,28
16	1990	14,28
17	2000	14,27

Fuente: OMM<sup>3</sup>

La temperatura media del planeta en el 2010 superó la del año 2005, que había sido considerado el más caluroso de los últimos tiempos, según datos de la OMM, desde que empezaron a realizarse las mediciones instrumentales en 1850. Según los datos de ese organismo de la ONU, el récord de calor en los últimos 40 años lo tiene el año 2010 (recordemos las olas de calor en Rusia y el oriente de Europa), con una temperatura de 0,53 °C superior a la media calculada entre 1961 y 1990 (y una temperatura media global de 14,53 °C), mientras que, en el 2005 y 1998 el incremento registrado sobre ese promedio es de 0,51 °C y 0,50 °C, respectivamente.

<sup>3</sup> Datos obtenidos de varios sitios web y de las publicaciones anuales del "WMO Statement on the status of the global climate" de la OMM.

El año 2011 fue el undécimo año más caliente (Tabla III-1) pero ha sido el año, con presencia del fenómeno de la Niña (que tiene un efecto de enfriamiento y por lo tanto de disminución de la temperatura media global), más caliente con una temperatura de 0,40 °C por encima del promedio (Figura III-2). El año 2008 fue el año más frío de la década (con una temperatura de 0,36 °C superior que el promedio y sin embargo ha sido el decimosegundo más caliente desde 1860) debido a una baja en las temperaturas de las corrientes tropicales del océano Pacífico y el año 2009 fue el más caliente en el hemisferio sur desde 1850.

La tendencia lineal de aumento de la temperatura para el periodo 1906-2005 de 0,74 °C es mayor a la tendencia de 0,6 °C para el periodo 1901-2000 (Tabla III-1). Esta tendencia lineal (0,0074 °C/año) se mantiene durante los últimos 15 años, tal como se relaciona en la Figura III-2. La tasa lineal de calentamiento promedio de los últimos 50 años es de 0,13 °C por década y es casi el doble al promedio de los últimos 100 años. Los efectos de las islas de calor urbana son reales pero locales y tienen un efecto insignificante sobre estos valores (menos de 0,006 °C por década) (Cuarto informe del IPCC).

Figura III-1. Temperatura media superficial global de los últimos 15 años

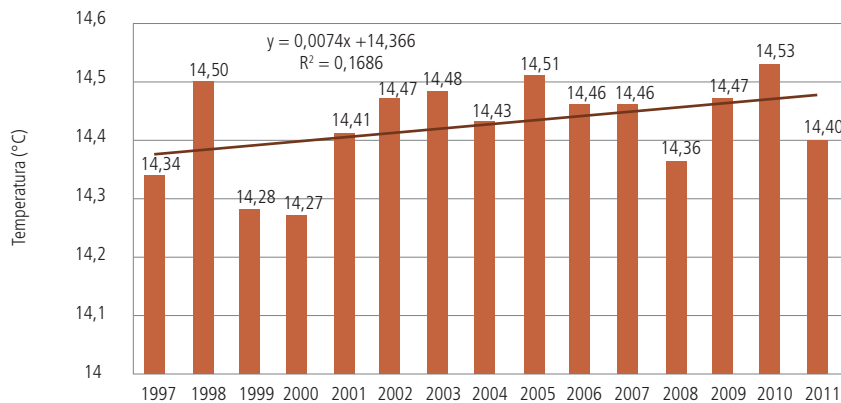
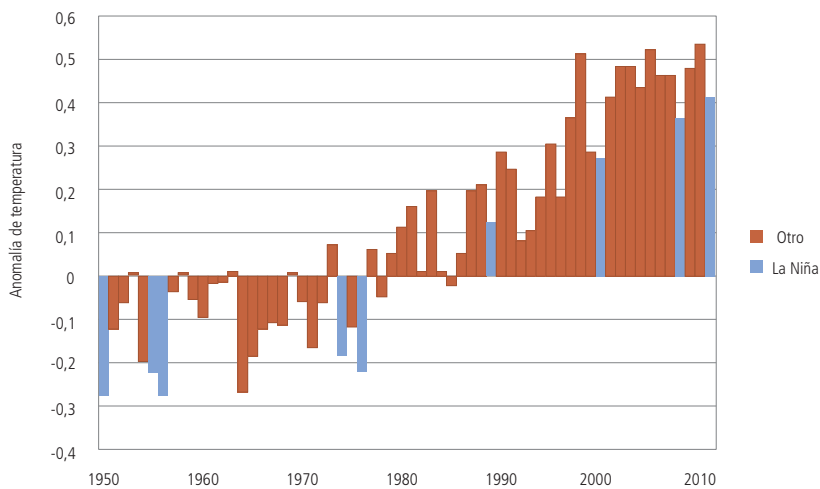


Figura III-2. Temperatura media superficial global desde 1950. Años en azul con presencia del fenómeno de La Niña



Fuente: (OMM, 2012b)

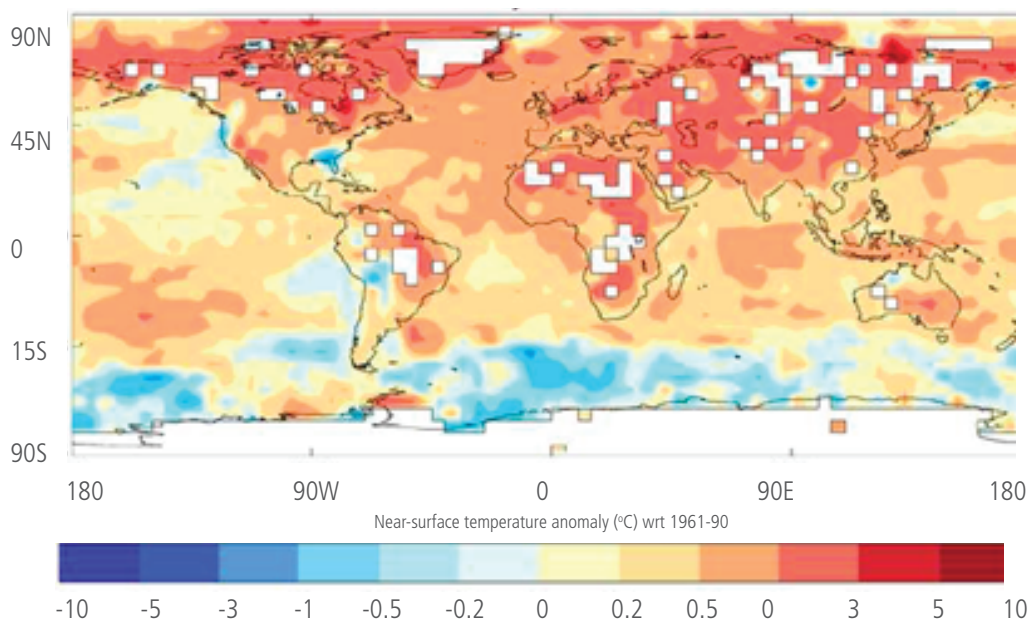
Tabla III-2. Tasas lineales de calentamiento a nivel global

Periodo	Tendencia lineal durante el periodo (°C)	Fuente
1901-2000	0,6	IPCC (2007)
1906-2005	0,74	IPCC (2007)
Periodo	Tasa lineal de calentamiento por década (°C)	Fuente
1881-2010	0,06	OMM (2012)
Últimos 50 años	0,13	IPCC (2007)
1971-2011	0,166	OMM (2012)

### Décadas más calientes a nivel global

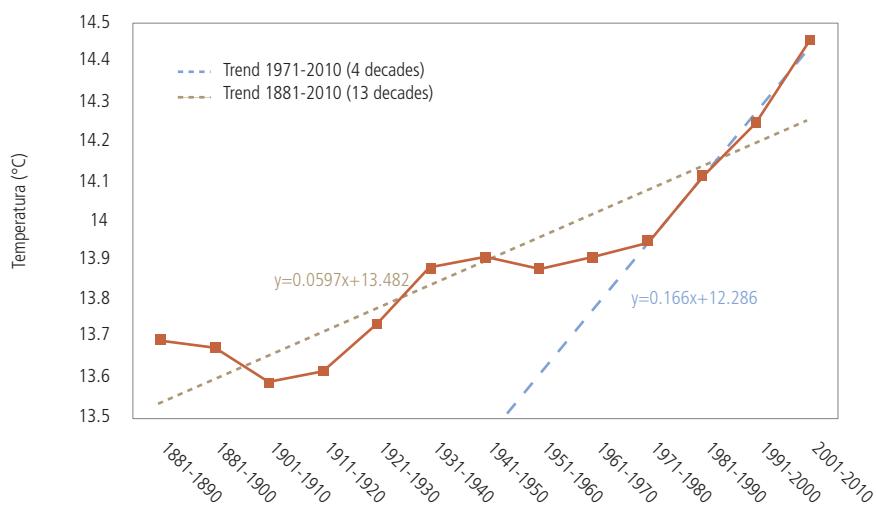
Otra señal importante de cambios en el clima global, es que el decenio comprendido entre 2001 y 2010, ha sido considerado como el periodo más cálido jamás registrado para la superficie del suelo y del mar de todos los continentes, con una temperatura promedio de 14,46 °C (nueve años de ese decenio están entre los diez más cálidos jamás registrados), frente a los 14,25 °C en la década de 1991-2000 y 14,12 °C en la de 1981-1990, según el Informe de la década 2001-2010 sobre clima mundial de la OMM (2012). En este informe se destaca, que en el decenio 2001-2010 en la mayor parte de Canadá, Alaska, Groenlandia, Asia y el norte de África, se registraron temperaturas situadas entre 1 °C y 3 °C por encima de la media del periodo de 1961 a 1990 (Figura III-3). En casi el 90 por ciento de los países que fueron objeto de la evaluación se dio el decenio más cálido jamás registrado.

Figura III-3. Temperaturas decenales mundiales con respecto a la media para el periodo 1961-1990



Durante los cuatro decenios anteriores el ritmo de aumento de la temperatura mundial ha sido “notable”, según el informe de la OMM. Desde 1971 la temperatura mundial ha aumentado en un promedio de 0,166 °C por decenio según las estimaciones, frente a la media de 0,06 °C por decenio calculada para el periodo completo de 1881 a 2010 (Tabla III-1, Tabla III-2 y Tabla III-4, (OMM, 2012).

Figura III-4. Tendencias de la temperatura para diferentes periodos



Fuente: (OMM, 2012c)

### Años más calientes a nivel nacional

Teniendo en cuenta la anterior información a escala global, se realizó un análisis similar en el país, para obtener información sobre cuáles fueron los años y las décadas más calientes, así como para cada mes, cuáles fueron los tres años más calientes. Lo anterior se realiza con base en la información de cerca de 470 estaciones meteorológicas, representativas para todo el país y las cuales tienen la información más completa y actualizada de la red de estaciones del IDEAM.

Inicialmente, se calcularon los promedios mensuales de la temperatura media en las 450 estaciones seleccionadas. Con base en lo anterior, para cada estación se obtuvieron los promedios anuales de temperatura media y finalmente a partir de estos promedios se obtuvo el promedio anual a nivel nacional de la temperatura media, para el periodo comprendido entre enero de 1980 y diciembre de 2011 (Tabla III-5).

Se observa que en el territorio nacional el año más caliente fue 1998, con un promedio de 22,85 °C (Figura III-5), seguido de 1997 con 22,66 °C, el 2004 con 22,54 °C, 2003 con 22,50 °C y 1995 con 22,49 °C.

De acuerdo a la Figura III-5, entre los 20 años más calientes en el país, figuran nueve que hacen parte del decenio 2001-2010 (el único año que está por fuera de esta lista es el 2008). Por otro lado, del decenio 1991-2000 aparecen 7 años en este listado y solo 3 del decenio 1981-1990. El único año del decenio 2011-2020, el 2011, se encuentra en el lugar número 14.

Figura III-5. Temperatura media anual de Colombia en los últimos 32 años

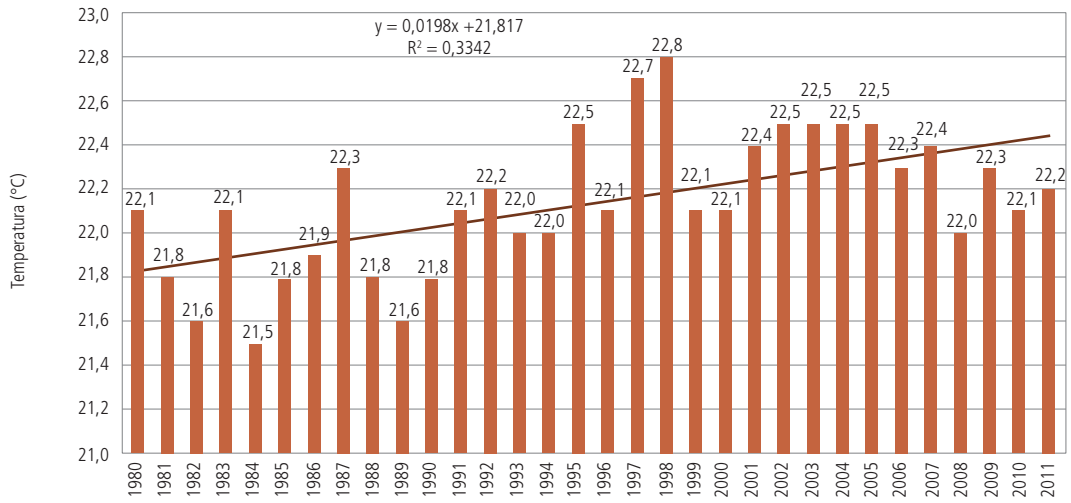


Tabla III-3. Los 20 años más calientes en Colombia durante los últimos 51 años

Puesto	Año	Temperatura media nacional (°C)
1	1998	22,85
2	1997	22,66
3	2004	22,54
4	2003	22,50
5	1995	22,49
6	2005	22,48
7	2002	22,48
8	2001	22,36
9	2007	22,35
10	2009	22,34
11	2006	22,34
12	1987	22,29
13	1992	22,19
14	2011	22,18
15	2010	22,14
16	1991	22,13
17	1983	22,13
18	1996	22,07
19	1980	22,05
20	2000	22,02

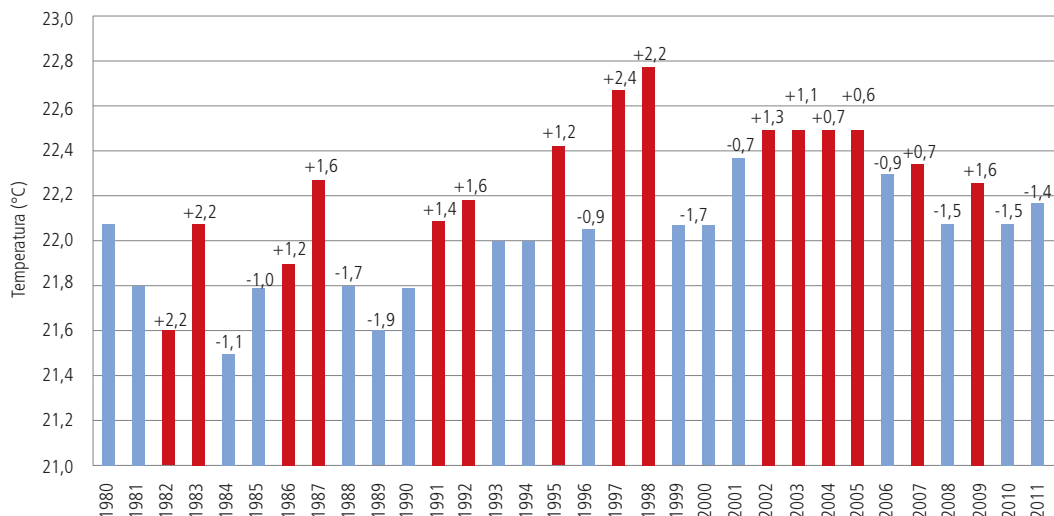
La tendencia lineal de aumento de la temperatura media en el país, para el periodo 1980-2011, de 0,198 °C por década (Tabla III-5), es mayor a la tasa lineal de calentamiento promedio de los últimos 50 años de 0,13 °C por década, a nivel global, según el Cuarto Informe del IPCC y mayor a los 0,166 °C por década para el periodo 1971-2011, según la OMM (2012c).

El comportamiento en la temperatura superficial promedio a nivel global y más a nivel nacional, se ve influenciado principalmente en el valor de la tendencia (positivo en este caso) por el incremento en la concentración global de los GEI, mientras que las variaciones anuales se relacionan principalmente a la ocurrencia o no de los fenómenos de El Niño y La Niña.

En la Figura III-6 se presenta la temperatura media anual de Colombia para el periodo comprendido entre 1980 y el 2011, relacionándola con la ocurrencia de El Niño (barras rojas) y La Niña (barras azules). Las barras con color degradado son los años con transición así: de rojo a azul de Niño a Niña, de azul a rojo de Niña a Niño y de azul a amarillo de Niña a normal. En los recuadros aparece el valor más alto del ONI para cada periodo de ocurrencia del fenómeno. El ONI (Índice del Niño Oceánico, por sus siglas en inglés) es uno de los indicadores más utilizados para hacerle seguimiento a este fenómeno, fue desarrollado por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y se calcula a partir de mediciones de la temperatura superficial del mar en el sector central del Pacífico tropical frente a las costas de Suramérica.

En la Figura III-6 se aprecia que el comportamiento de la temperatura media en el país está muy relacionada con la ocurrencia de los fenómenos El Niño y La Niña. Es así que cuando ocurren fenómenos El Niño fuertes, se presentan notables incrementos en la temperatura media anual en el país, con respecto al año anterior. De los diez años más calientes relacionados en la Tabla III-1 , ocho estuvieron bajo la influencia de El Niño.

Figura III-6. Temperatura media anual de Colombia, relacionada con la ocurrencia de El Niño (barras rojas) y La Niña (barras azules). En los recuadros aparece el valor del ONI



Contrario a lo que ocurre con El Niño, cuando se presentan fenómenos de La Niña, las temperaturas medias en el país disminuyen también en forma notoria con respecto al año anterior. Los años más fríos en el país, durante el periodo 1995 a 2011, estuvieron bajo la influencia de La Niña (1996, 1999, 2000, 2008, 2010 y 2011), sin embargo, el año 2011 ha sido el año con presencia del fenómeno de La Niña más caliente del periodo 1980 – 2001, tal como ocurrió a nivel mundial (Figura III-2).

## Décadas más calientes

Para definir las temperaturas medias de cada década, se promediaron las temperaturas medias del país de los años correspondientes a cada década desde el año 1951 al 2011. Los resultados se presentan en la Tabla III-4. Se realizó también el cálculo para el decenio 1951-1960, pero debido a la falta de confiabilidad en dichas mediciones (da un valor promedio de 22,00 °C en la temperatura media de ese decenio), no se incluyó dicha cifra en la Tabla III-4.

Tabla III-4. Promedio de la temperatura media a nivel nacional para los decenios desde 1961

Decenios	Promedio de la temperatura (°C)
1961-1970	21,62
1971-1980	21,72
1981-1990	21,82
1991-2000	22,23
2001-2010	22,36

Se observa que se presenta un incremento progresivo en el promedio de la temperatura media de cada decenio desde la década 1961-1970, siendo la década 2001-2010 la del valor más alto con 22,36 °C. La década 1991-2000 (caracterizada por la ocurrencia de varios fenómenos de El Niño, incluido el más fuerte de los últimos 50 años, que fue el de 1997-1998, ver (Figura III-6). En los recuadros aparece el valor del ONI, fue la que presentó un mayor aumento con respecto a la anterior, presentando un incremento de 0,41 °C con respecto a la década 1981-1990.

El incremento en el promedio de la temperatura media entre la década 1961-1970 hasta la 2001-2010, fue de 0,74 °C, de acuerdo a la Tabla III-4. Lo anterior equivale a una tasa lineal de calentamiento de 0,148 °C por década para el periodo 1961-2010, la cual aumenta a un valor de 0,198 °C, por década para el periodo 1980-2011, años más calientes y es levemente superior al valor reportado por la OMM (2012) de 0,166 °C por década para el periodo 1971-2010 a nivel mundial.

Tabla III-5. Comparación de las tasas lineales de calentamiento nacional y global

Promedios globales		
Periodo	Tendencia lineal durante el periodo (°C)	Fuente
1901-2000	0,6	IPCC (2007)
1906-2005	0,74	IPCC (2007)
Periodo	Tasa lineal de calentamiento por década (°C)	Fuente
1881-2010	0,06	OMM (2012)
Últimos 50 años	0,13	IPCC (2007)
1971-2011	0,166	OMM (2012)
Promedios nacionales		
Periodo	Tasa lineal de calentamiento por década (°C)	Fuente
1961-2010	0,148	IDEAM (2012)
1980-2011	0,198	IDEAM (2012)

## Años más calientes para cada mes

Utilizando la información de las 470 estaciones analizadas, se determinó para cada mes del año, cuáles fueron los tres años con mayor promedio en la temperatura superficial. Para lo anterior, se obtuvieron y analizaron los promedios mensuales nacionales de los primeros quince años que aparecen en la Tabla III-1 y se escogieron, para cada mes, los tres años con los valores más altos (Tabla III-6).

Tabla III-6. Los tres años más calientes para los diferentes meses del año

Años más calientes para cada mes (temperatura en °C)											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1998 (23,74)	1998 (23,69)	1998 (23,52)	1998 (23,38)	1998 (22,98)	1998 (22,68)	1997 (22,80)	1997 (23,22)	1997 (22,97)	1997 (22,91)	1997 (22,49)	1997 (23,14)
2003 (22,95)	2010 (23,23)	2004 (23,23)	2005 (22,85)	2010 (22,62)	2004 (22,61)	2005 (22,57)	2001 (22,73)	1995 (22,65)	2001 (22,57)	1995 (22,25)	2002 (22,53)
1995 (22,84)	1995 (23,15)	2010 (23,21)	1995 (22,79)	2005 (22,61)	2005 (22,53)	2002 (22,42)	2004 (22,69)	2005 (22,59)	1998 (22,50)	2001 (22,24)	2001 (22,29)

Para el primer semestre del año, periodo comprendido entre enero y junio, el año más caliente fue 1998, mientras que para el segundo semestre, el año más caliente fue 1997. Recordemos que en estos dos años se presentó El Niño más fuerte de los últimos 60 años, empezando su etapa más fuerte en junio de 1997, con un ONI de 1,5 para el periodo JJA (junio-julio-agosto), hasta un valor de 1,4 para el periodo FMA (febrero-marzo-abril) del año 1998. En este Niño el valor del ONI más alto (2,4) se presentó en el periodo OND (octubre, noviembre y diciembre) de 1997.

Otros años que se presentan en varias oportunidades en la Tabla III-6 son: 1995 y 2005 con dos segundos lugares y tres terceros lugares; el 2001 con dos segundos lugares y dos terceros lugares y el 2010 y 2004 con dos segundos lugares y un tercer lugar.

De acuerdo con la Tabla III-8, el mes más caliente en el país desde 1951, ha sido enero de 1998 con un promedio en la temperatura media nacional de 23,74 °C.

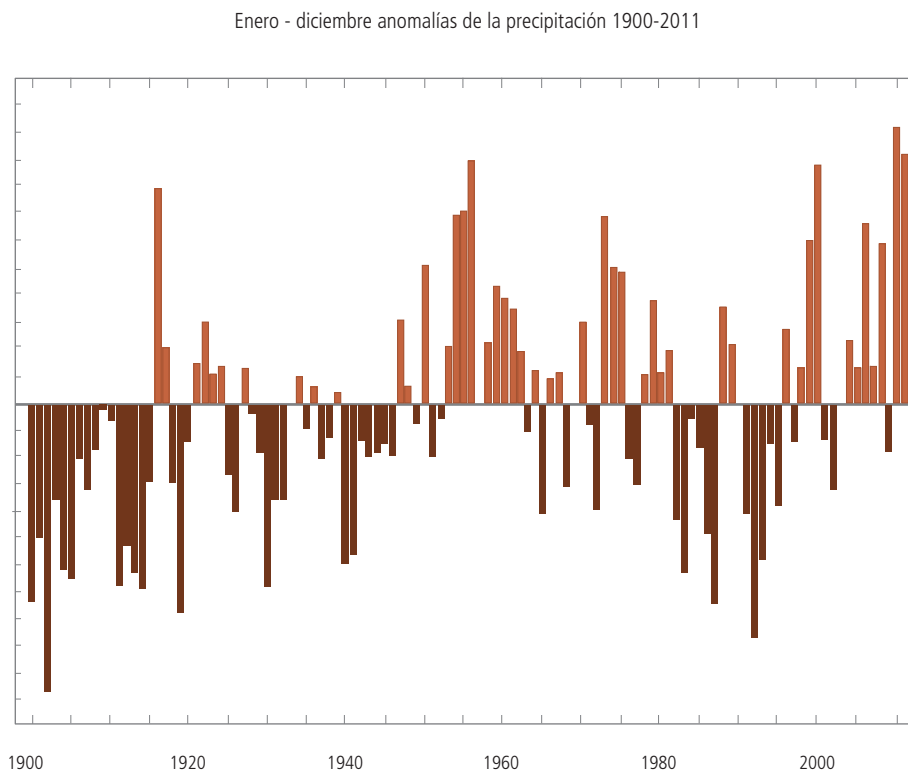
## Indicadores asociados a la precipitación

Otro indicador importante que manifiesta el cambio climático a nivel mundial, son los cambios en los patrones de la precipitación en zonas terrestres, sin incluir las precipitaciones en los océanos. Estos cambios, al igual que la temperatura media superficial global, no se han producido de manera homogénea en todo el mundo (en la precipitación estos cambios son mucho más evidentes y diferenciados), sino que han variado según las diferentes regiones.

## Años más lluviosos a nivel global

De acuerdo con el NCDC (Centro Nacional de Datos Climáticos) de los Estados Unidos, la precipitación media de la superficie terrestre a nivel global, en el año 2011, fue la segunda más alta registrada, con un valor de 46 mm por encima del promedio de 1961-1990, situándose sólo por detrás de 2010 (52 mm por encima del promedio), pero con marcados contrastes entre regiones húmedas y secas (Figura III-7).

Figura III-7. Anomalías de la precipitación anual global para las zonas terrestres, durante el periodo 1900 a 2011 con respecto al promedio 1961-1990



Fuente: (NOAA National Climatic Data Center, 2011)

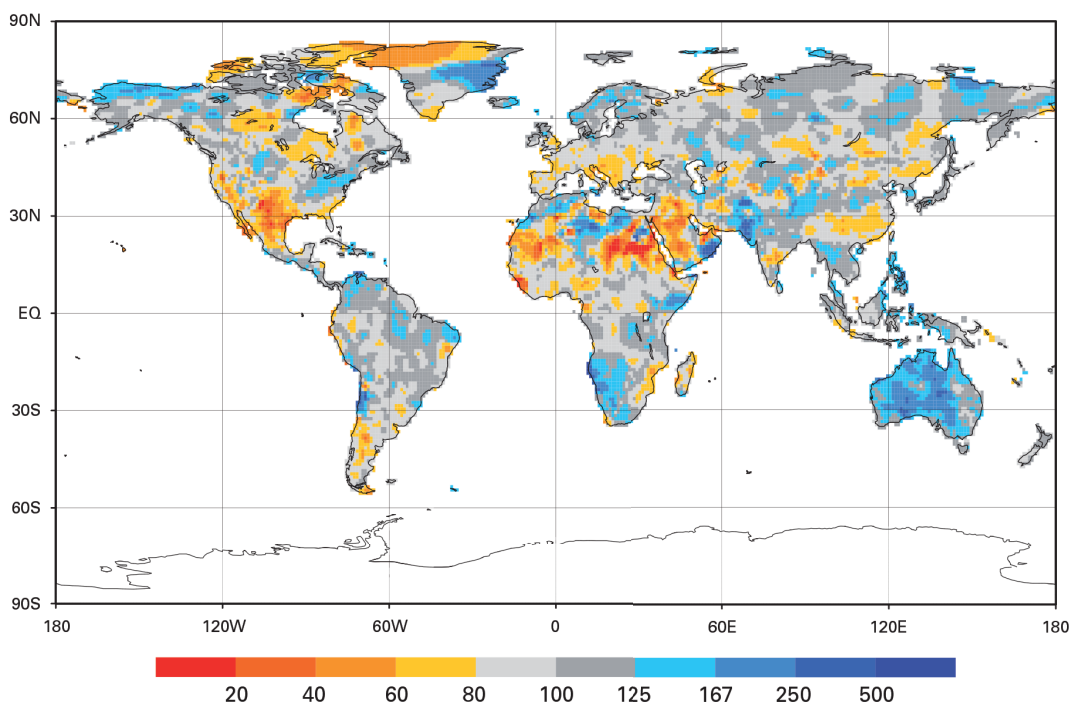
Según la OMM (2012c), las principales zonas que experimentaron precipitaciones sustancialmente por encima de lo normal en el año 2011, fueron: la mayor parte de Australia, gran parte del sudeste de Asia y de las islas más occidentales del Pacífico (como Japón, Filipinas e Indonesia), el sur de África, grandes áreas de Brasil, Colombia, Venezuela, Pakistán, el occidente de la India, el norte-centro y el nororienté de los Estados Unidos y la franja noroccidental de Europa.

Las precipitaciones extremas, causadas en su mayoría por uno de los episodios de La Niña de más intensidad en los últimos 60 años, tuvieron amplias consecuencias a nivel mundial. Por un lado, se produjeron inundaciones de gran magnitud en todos los continentes, mientras que por otro hubo sequías importantes en partes del África Meridional y de América del Norte (Figura III-8).

#### Décadas más lluviosas

A nivel global el decenio 2001-2010 fue el segundo decenio con mayor cantidad de precipitaciones medias mundiales (lluvia, nieve, etc.) desde 1901 y el fenómeno extremo que se notificó con mayor frecuencia fueron las inundaciones. De acuerdo con la Figura III-8, el decenio con mayor cantidad de precipitaciones fue el de 1951-1960, seguido por el 2001-2010 y el 1971-1980.

Figura III-8. Anomalías de precipitación anual para las zonas terrestres en el año 2011, como porcentaje del promedio para el periodo de referencia 1951-2000



Tomado de: Centro de Climatología de la precipitación global, Deutscher Wetterdienst. 2012.

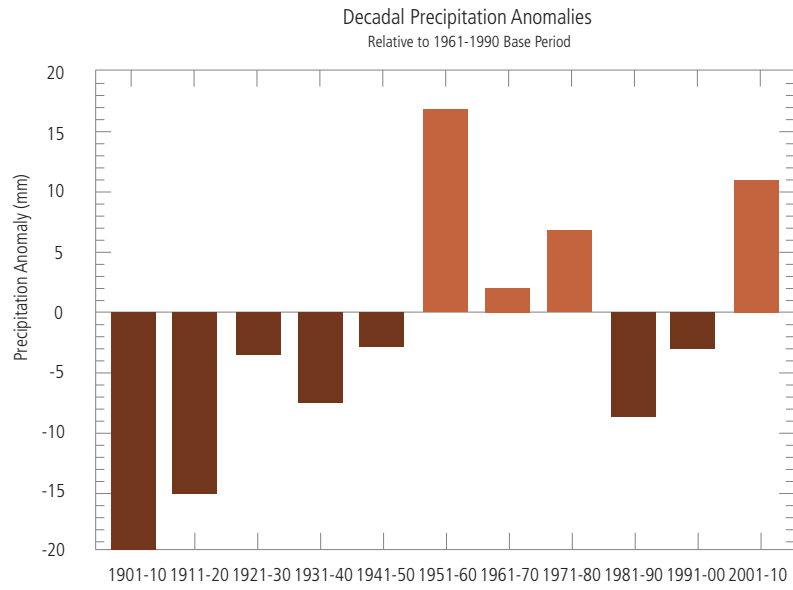
Durante el decenio, en gran parte del hemisferio norte se registraron condiciones de humedad superiores a la media, especialmente en el este de Estados Unidos de América, el norte y el este de Canadá, y en numerosas partes de Europa y Asia central, ver Figura III-10. También en América del Sur, y en particular en Colombia, en partes del norte y el sur de Brasil, Uruguay y el noreste de Argentina se dieron condiciones de humedad superiores a la media, al igual que en la mayor parte de Sudáfrica, Indonesia y el norte de Australia.

Por el contrario, en otras regiones, las precipitaciones medias fueron inferiores a las normales, como el oeste de Estados Unidos, el suroeste de Canadá, Alaska, gran parte del sur y el oeste de Europa, y la mayoría de las zonas del sur de Asia, África central, la zona central de América del Sur, y el este y el sureste de Australia fueron los más afectados.

#### Años más lluviosos y más secos a nivel nacional

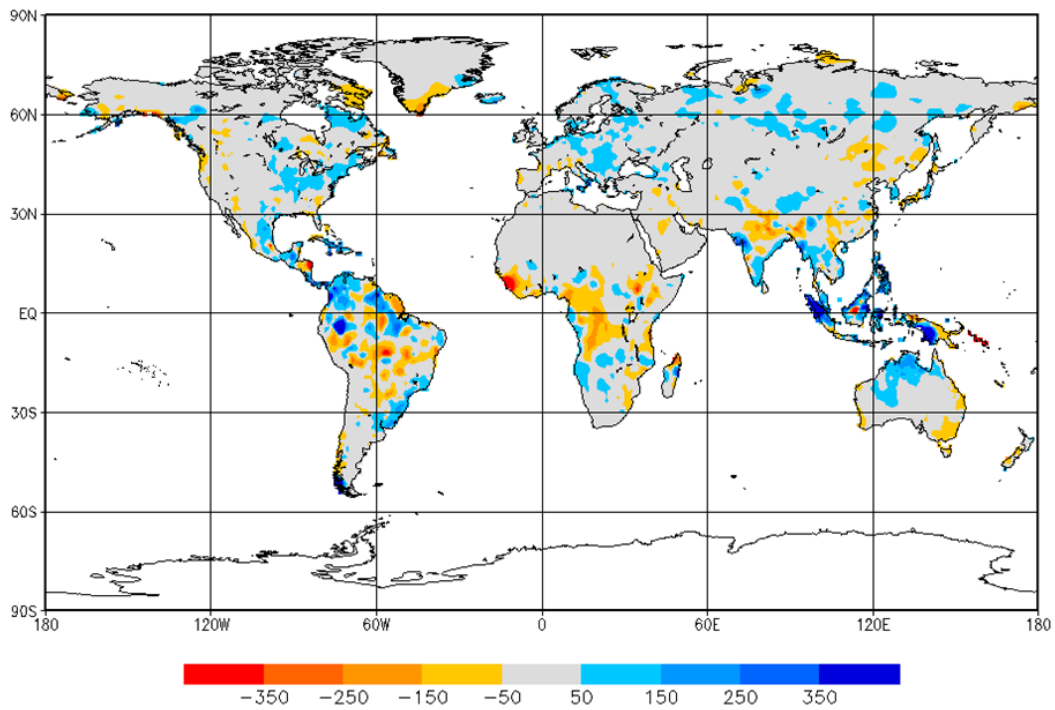
Con base en la anterior información a escala global, se presentará a continuación un análisis similar en el país, para obtener información sobre cuáles fueron los años y las décadas más lluviosas y más secas de los últimos 42 años, así como para cada mes, cuáles fueron los tres años más lluviosos y más secos. Lo anterior se realiza con base en la información de cerca de 2.500 estaciones meteorológicas, representativas para todo el país, las cuales tienen la información más completa y actualizada de la red de estaciones del IDEAM.

Figura III-9. Anomalías de la precipitación decadal global para las zonas terrestres durante el periodo 1900 a 2010



Fuente: (OMM, 2012b)

Figura III-10. Promedio del exceso-déficit de precipitaciones (azul-rojo) para las zonas terrestres en el decenio 2001-2010, a partir del promedio para el periodo de referencia 1951-2000

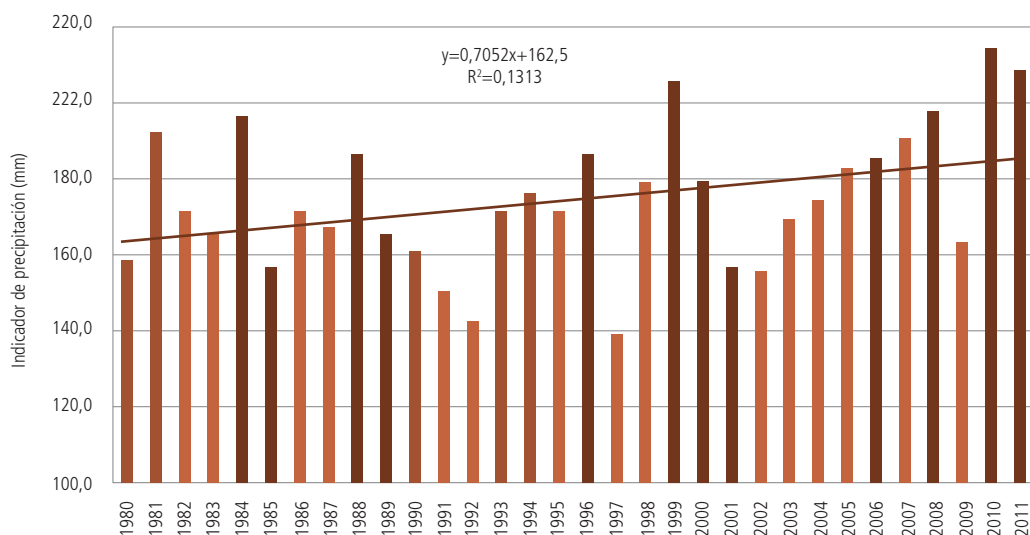


Tomado de: Centro de Climatología de la precipitación global, Deutscher Wetterdienst. 2012.

Para obtener la estadística de los 15 años más lluviosos y más secos en el país durante los últimos 42 años, se tomo como dato inicial el acumulado mensual de la precipitación para la serie histórica de cada estación. Con esta información se obtuvo el promedio anual de la precipitación en cada estación y con esta información se obtuvo el promedio de todas las estaciones tenidas en cuenta para cada año, como indicador de precipitación a nivel nacional, similar a como lo realiza el NCDC (Centro Nacional de Datos Climáticos) de los Estados Unidos. No se tiene en cuenta el acumulado de las precipitaciones como indicador, porque al salir de funcionamiento una estación o la falta de datos puede alterar este indicador. En el primer caso, no siempre se tiene la misma cantidad de estaciones, con buena información para los diferentes años, entonces para tener en cuenta la mayor cantidad de información de todas las regiones del país, lo mejor es promediar los datos.

En la Figura III-11 se presenta el comportamiento del indicador de precipitación a nivel nacional, para el periodo comprendido entre 1980 y 2011. Se observa que cuando se presentan años bajo la influencia del fenómeno de La Niña, el indicador de precipitación nacional tiende a ser alto y ocurre lo contrario cuando los años están bajo la influencia del fenómeno de El Niño.

Figura III-11. Indicador de precipitación anual de Colombia en los últimos 32 años.



Respecto a los años más lluviosos en el país durante los últimos 42 años (periodo 1970-2011), en la Tabla III-7 se observa que el 2010 ocupa el primer lugar, seguido de los años 2011, 1999, 2008 y 1984. Los dos primeros años con más altas precipitaciones en el país, coinciden con los que se presentaron a nivel global, tal como se observa en la Figura III-7.

Para el periodo analizado 1980-2011 se tiene una tasa lineal de aumento de la precipitación en el país de 7,05 milímetros por década.

De los 15 años más lluviosos en el país, para el periodo 1970-2011, 14 estuvieron bajo la influencia del fenómeno de La Niña, tal como se observa en la Tabla III-7, los cuales están resaltados en azul.

Por otro lado, los años con menores precipitaciones en el país durante los últimos 42 años (periodo 1970-2011), fueron 1997, 1992, 1991, 1976 y 1977, tal como se observa en la Tabla III-7. A nivel global, los años con menores precipitaciones fueron 1992, 1987, 1983, 1993 y 1986, tal como se observa en la Tabla III-7.

Los 15 años con menores precipitaciones en el país, durante el periodo 1970-2011, los seis primeros años estuvieron bajo la influencia del fenómeno de El Niño y un total de 10 dentro de esos 15 años, también lo estuvieron, tal como se observa en la Tabla III-8, los cuales están resaltados en rojo.

**Tabla III-7.** Los 15 años más lluviosos en Colombia durante los últimos 42 años

Puesto	Año	Indicador de precipitación media nacional (mm)
1	2010	213,5
2	2011	208,1
3	1999	204,0
4	2008	196,9
5	1984	195,7
6	1981	191,5
7	1971	190,2
8	1975	190,1
9	2007	189,9
10	1988	185,9
11	2006	185,2
12	1996	185,1
13	2005	182,5
14	1970	179,1
15	2000	179,1

**Nota:** los años sombreados en azul están bajo la influencia del fenómeno de La Niña.

**Tabla III-8.** Los 15 años más secos en Colombia durante los últimos 42 años

Puesto	Año	Indicador de precipitación media nacional (mm)
1	1997	139,4
2	1992	142,7
3	1991	149,4
4	1976	150,2
5	1977	151,9
6	2002	155,6
7	2001	155,8
8	1985	156,7
9	1980	157,2
10	1972	158,9
11	1990	160,1
12	1989	163,9
13	2009	164,0
14	1983	164,4
15	1987	166,7

**Nota:** los años sombreados en rojo están bajo la influencia del fenómeno del Niño.

### Décadas más lluviosas y más secas a Nivel nacional

Para definir el indicador de precipitación nacional para cada década, se promediaron los indicadores de precipitación del país de los años correspondientes a cada década desde el año 1961 al 2011. Los resultados se presentan en la Tabla III-9.

Tabla III-9. Indicador de precipitación nacional para los decenios desde 1961 hasta el 2010

Decenios	Indicador de precipitación nacional (mm)
1961-1970	154,4
1971-1980	169,1
1981-1990	172,7
1991-2000	169,6
2001-2010	178,5

Se observa que se presenta un incremento progresivo en el indicador de precipitación nacional, desde la década 1961-1970 hasta la de 2001-2010 (la cual presenta el valor más alto del indicador con 178,5 mm), excepto por la década 1991–2000 (caracterizada por la ocurrencia de varios fenómenos de El Niño, incluido el más fuerte de los últimos 50 años, que fue el de 1997-1998, ver Figura III-6), en la cual, se presenta una disminución en el indicador con respecto a la década anterior (1981-1990).

El incremento en el indicador de precipitación nacional entre la década 1961-1970 hasta la 2001-2010, fue de 24,1 mm de acuerdo a la Tabla III-10. Esta cifra equivale a una variación de 4,82 mm por década para el periodo 1961-2010, la cual aumenta a un valor de 7,05 mm por década para el periodo 1980-2011 (ver sección anterior).

Tabla III-10 Tasa lineal de variación del indicador de precipitación nacional.

Promedios nacionales		
Periodo	Variación del indicador de precipitación por década (mm)	Fuente
1961-2010	4,82	IDEAM (2012)
1980-2011	7,05	IDEAM (2012)

### Años más y menos lluviosos para cada mes

Con información de la precipitación acumulada mensual de las 2.500 estaciones analizadas, se calculó el indicador de precipitación nacional para cada mes, en los últimos 42 años y se determinó cuales fueron los tres años con mayores y menores lluvias en cada mes. Los resultados se presentan en las Tabla III-7 y Tabla III-8.

En la Tabla III-11 se observa que el año 2010 fue el más lluvioso en los meses de junio, julio y noviembre, el segundo más lluvioso en diciembre y el tercero más lluvioso en septiembre. El año el 2011 fue el más lluvioso en abril y diciembre, el segundo año más lluvioso en noviembre y el tercero más lluvioso en mayo. El año 1999 fue el más lluvioso en febrero y septiembre, el segundo año más lluvioso en junio y el tercero más lluvioso en enero. Por último, el año 1971 fue el más lluvioso en enero y marzo y el segundo más lluvioso en mayo.

**Tabla III-11.** Los tres años más lluviosos para los diferentes meses del año

Años más lluviosos para cada mes (Indicador de precipitación media en mm)											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1971 (162,1)	1999 (204,5)	1971 (226,0)	2011 (314,3)	1981 (319,6)	2010 (242,7)	2010 (2.281,2)	1988 (253,1)	1999 (258,4)	2007 (309,9)	2010 (337,5)	2011 (253,5)
2009 (141,8)	1984 (161,1)	2006 (201,3)	1981 (269,2)	1971 (289,3)	1999 (233,7)	1987 (216,1)	2007 (237,2)	1984 (254,1)	1987 (299,3)	2011 (317,5)	2010 (225,7)
1999 (141,5)	2000 (141,9)	2009 (193,1)	1983 (266,6)	2011 (283,8)	1984 (232,6)	2008 (215,5)	2008 (229,3)	2010 (242,3)	1975 (286,7)	2008 (290,1)	1975 (203,6)

De acuerdo a la Tabla III-11, los tres meses más lluviosos en el país desde 1970 han sido: noviembre de 2010 con un valor en el indicador de precipitación nacional de 337,5 mm, mayo de 1981 con un valor de 319,6 mm y noviembre de 2011 con 317,5 mm.

Respecto a la Tabla III-12, se observa que 1997 fue el menos lluvioso en mayo, agosto y diciembre, el segundo menos lluvioso en octubre y el tercero menos lluvioso en julio. En el año 1992 fue el menos lluvioso en octubre, el segundo menos lluvioso en junio y el tercero menos lluvioso en marzo. En el año 1972 fue el menos lluvioso en julio, el segundo menos lluvioso en septiembre y el tercero menos lluvioso en septiembre y por último, 2009 fue el menos lluvioso en septiembre y el segundo menos lluvioso en mayo.

**Tabla III-12.** Los tres años menos lluviosos para los diferentes meses del año

Años menos lluviosos para cada mes (Indicador de precipitación media en mm)											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2010 (37,2)	2007 (40,5)	1988 (61,5)	2001 (128,3)	1997 (187,6)	1987 (131,6)	1972 (113,4)	1997 (102,1)	2009 (130,1)	1992 (155,5)	2002 (144,3)	1997 (51,8)
1977 (38,8)	1985 (48,8)	1980 (73,8)	1989 (133,4)	2009 (189,2)	1992 (142,1)	1976 (114,8)	1976 (120,9)	1972 (143,8)	1997 (169,5)	1976 (154,5)	1977 (86,3)
1998 (44,1)	1977 (59,2)	1992 (78,6)	1975 (140,9)	1976 (200,3)	1990 (147,9)	1997 (120,9)	2001 (125,3)	1976 (145,0)	1991 (170,5)	1983 (156,0)	1972 (93,2)

Finalmente, en la Tabla III-12 se observa que los tres meses menos lluviosos en el país desde 1970 han sido: enero de 2010 con un valor en el indicador de precipitación nacional de 37,2 mm, enero de 1977 con un valor de 38,8 mm y febrero de 2007 con 40,5 mm.

## Bibliografía indicadores de cambio

*IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.*

*NOAA - National Climatic Data Center. State of the Climate Global Analysis Annual 2011, National Oceanic and Atmospheric Administration. Ubicación en internet: <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2011/13>*

*OMM, Organización Meteorológica Mundial. Declaración de la Organización Meteorológica Mundial: Resumen decenal sobre el estado del clima mundial, conclusiones preliminares, marzo de 2012.*

*OMM, Organización Meteorológica Mundial. WMO Statement on the status of the global climate in 2011, marzo de 2012b.*

#### IV. Alteraciones de la precipitación y la temperatura ante variabilidad y cambio climático para la ciudad de Bogotá

(Autores: José Franklyn Ruiz Murcia & Ómar Felipe de Jesús Escobar García, Subdirección de Meteorología - IDEAM)

Durante la década 2001-2010 se pudieron observar los valores más altos de precipitación. Evidencia directa de esta situación se puede constatar por las emergencias vividas en la ciudad durante los últimos años. En el año 2010, el nivel del río Bogotá aumentó de forma significativa y se desbordó generando daños en buena parte del occidente de la ciudad. Anteriormente hacia el año 2002, el río Tunjuelito se desbordó generando inundaciones de incluso un 1,50 m de altura en algunos barrios de la ciudad, dejando miles de damnificados. Las zonas con mayor afectación, correspondieron a la parte norte, oeste y centro de la ciudad influenciando localidades como Suba, Engativá, Fontibón, Barrios Unidos y Teusaquillo, pero en menor porcentaje la localidad de Sumapaz ubicada al sur de Bogotá (Escobar, 2012). Generalmente bajo la presencia del evento de variabilidad climática asociado a La Niña favoreciendo la hipótesis de que bajo la influencia de dicho fenómeno de variabilidad climática en la escala intraanual, se desencadena un aumento en la precipitación. Sin embargo, la investigación muestra que trimestres mensuales localizados a mitad de año, las lluvias tienen comportamientos dentro de lo normal bajo mencionada situación.

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

En cuanto a las alteraciones de la precipitación a lo largo del siglo XXI visto con datos iniciales de algunos modelos de IPCC, regionalizados con downsacling dinámico, utilizando el modelo PRECIS (Jones R, 2004) y, re-escalado a nivel local con el método del factor de cambio; el efecto general sobre todo el territorio bogotano es hacia una reducción de la precipitación especialmente al norte de la ciudad, sobre localidades como Suba, Usaquén, Engativá y Fontibón; mientras que para el caso de la temperatura media, esta seguiría aumentando a lo largo del siglo XXI, alcanzando un aumento de alrededor 3,6 °C para la década 2091-2100.

##### Aspectos climatológicos

**Distribución espacial de la precipitación:** Según el total multianual, los valores más altos de precipitación (mm) están presentes hacia la parte noreste de la ciudad afectando localidades como Santa Fe, San Cristóbal, Chapinero, Usaquén, sectores de Usme y la parte sur sobre Sumapaz con valores que oscilan entre los 1.000 y 2.000 mm. En cuanto a los valores mínimos de precipitación, estos se presentan principalmente en Suba, Engativá y Fontibón con valores que oscilan entre 500 y 1000 mm tal como se aprecia en la Figura IV-1.

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

**Distribución espacial de la Temperatura:** Los valores del promedio multianual de temperatura media se encuentran entre los 9 °C en las zonas más altas y 14 °C para la parte más baja de la ciudad de Bogotá, este último valor tiende a ubicarse hacia la parte norte y oeste de la ciudad, en donde se encuentran las localidades de Suba, Engativá, entre otras. Por otro lado, los valores más bajos se presentan hacia la parte central y sur tal como Sumapaz (Figura IV-2).

Figura IV-1. Distribución espacio temporal

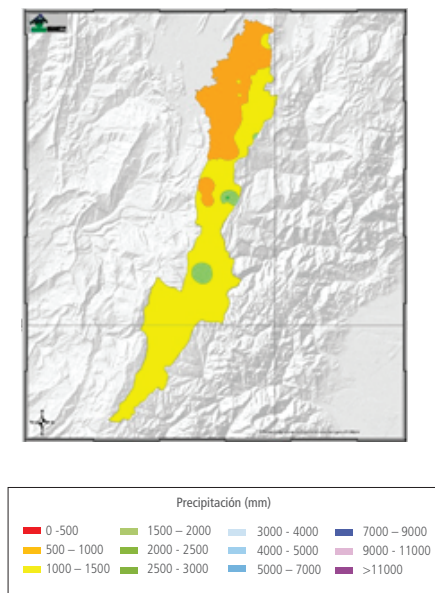
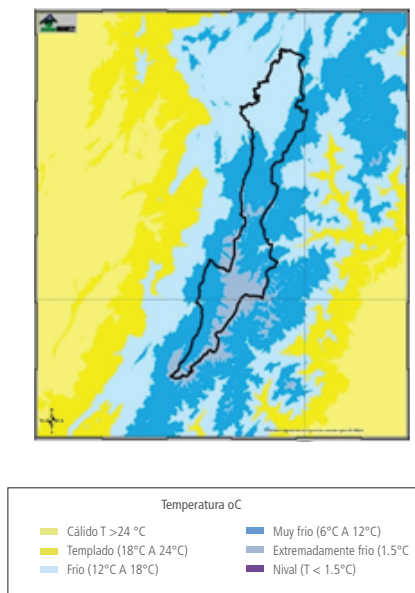


Figura IV-2. Temperatura media anual para Bogotá (°C). Promedio multianual (1971-2010)



### Alteración de la precipitación por eventos de variabilidad climática

**Evento La Niña (Anomalía de la TSM < -0,5 °C):** El principal efecto es el aumento notorio en los niveles de precipitación. Cuando se presenta un comportamiento por debajo de lo normal en las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM), la lluvia en Bogotá se caracteriza porque en el lapso del primer trimestre (enero-febrero-marzo) al tercer trimestre (marzo-abril-mayo) hay una probabilidad del 80% del aumento del volumen de la precipitación. Situación similar se presenta entre el trimestre 7 (julio-agosto-septiembre) al 12 (diciembre-enero-febrero). De igual manera, los trimestres 10, 11 y 12, tienen un comportamiento bastante influenciado por una anomalía negativa en la TSM, pues la probabilidad de que los niveles de precipitación aumentan es considerablemente alta (Figura IV-3).

**Fase Normal (Anomalías de la TSM entre -0,5 y +0,5 °C):** Cuando no existe alteraciones del comportamiento de la Temperatura Superficial del Mar, en general predomina un comportamiento de lluvias acorde a los valores típicos. Las alteraciones presentadas en la Figura IV-4, por lo tanto, corresponden a otros tipos de variabilidad climática que no fueron consideradas en este trabajo. La localidad de Sumapaz obedece un caso especial de análisis, ya que el comportamiento observado radica en el hecho de que al tener características de páramo contiene una gran cantidad de recursos hídricos, esto en sumatoria a la cantidad de formaciones montañosas de la zona, permiten generar una constante precipitación (Escobar, 2012).

**Evento El Niño (Anomalía de la TSM mayor a 0,5 °C):** Cuando se presenta un comportamiento por encima de lo normal en la TSM, el efecto observado para Bogotá es la reducción en los niveles de precipitación especialmente en los trimestres 11, 12 y 1 con una probabilidad del 80%. El trimestre con mayor afectación es el trimestre 12 seguido del trimestre 1, lo cual nos permite concluir que los meses de enero y febrero son los que se verían más afectados con una mayor reducción de precipitaciones ya que son los meses comunes a ambos trimestres. Las zonas de mayor afectación durante eventos el Niño varían según el trimestre que se tiene en cuenta, durante el trimestre 11, localidades como Ciudad Bolívar y Usme padecen disminución de la precipitación. Durante el trimestre 12 toda la ciudad se vea afectada por el fenómeno y durante el trimestre 1 principalmente Ciudad Bolívar y Fontibón.

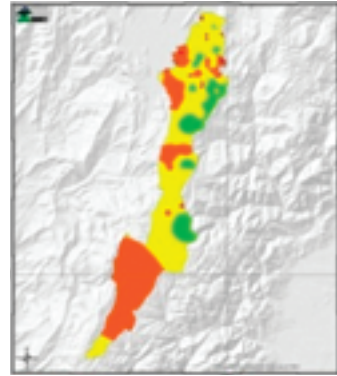
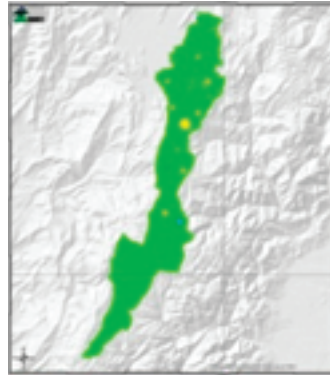
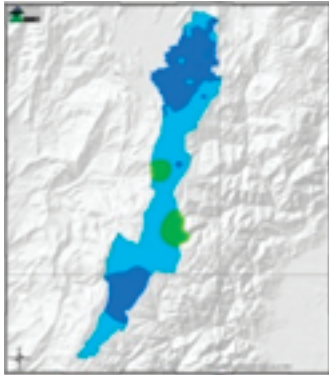
Figura IV-3. Alteraciones de la precipitación ante variabilidad climática en probabilidad

EVENTO LA NIÑA

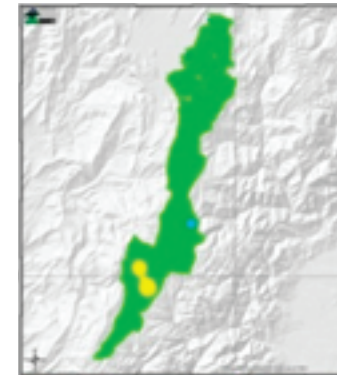
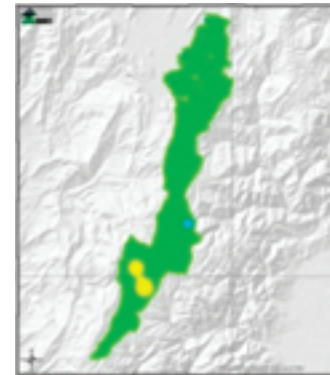
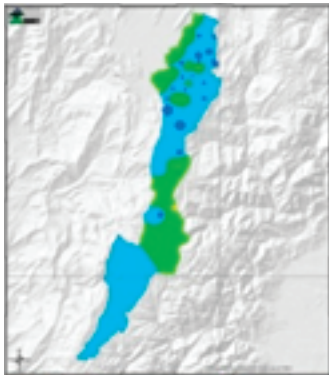
NORMAL

EVENTO EL NIÑO

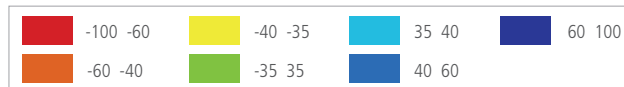
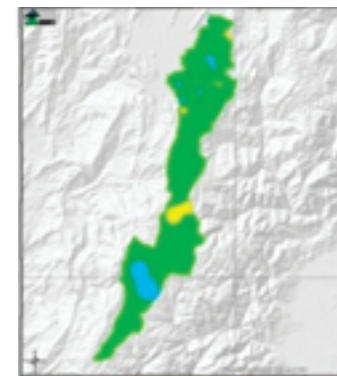
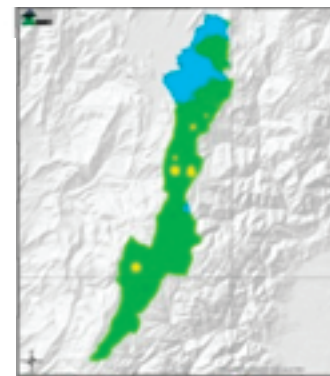
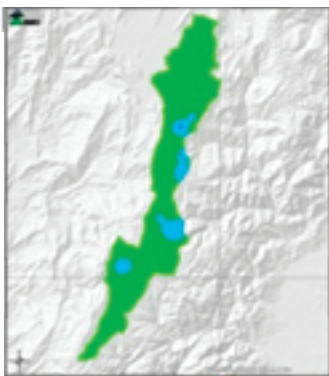
Trimestre 1 (enero-febrero-marzo)



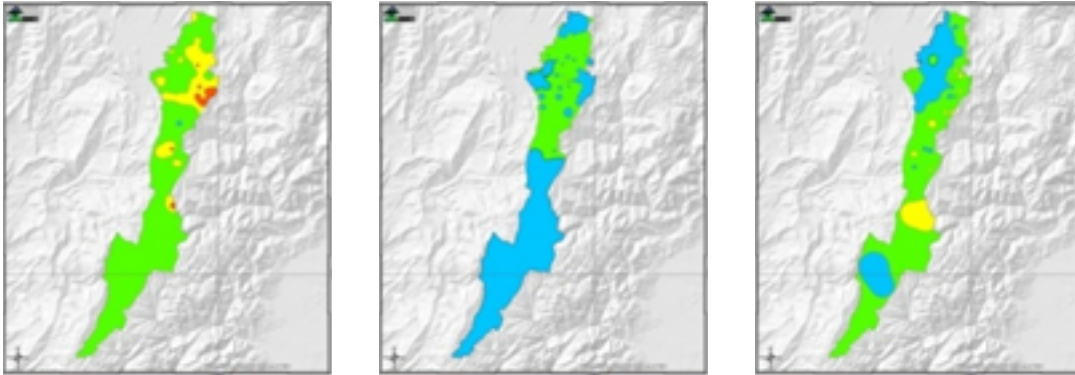
Trimestre 2 (febrero-marzo-abril)



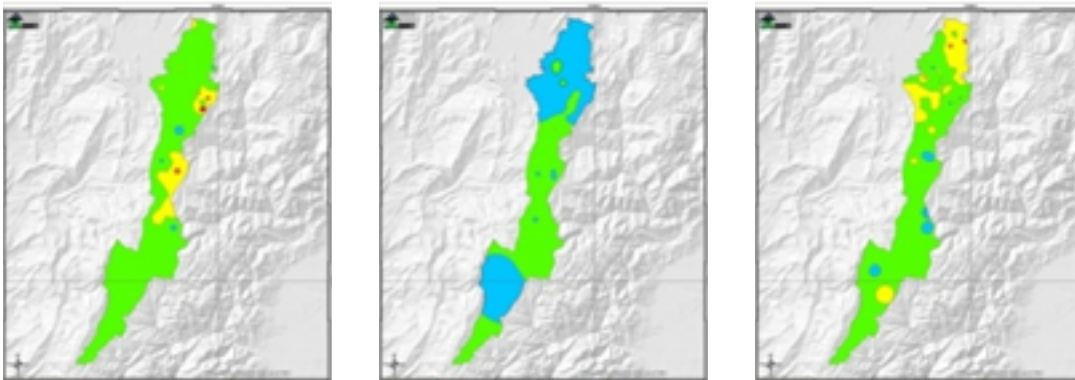
Trimestre 3 (marzo-abril-mayo)



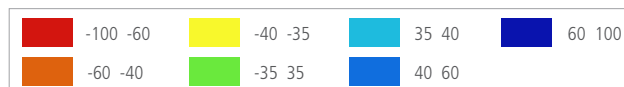
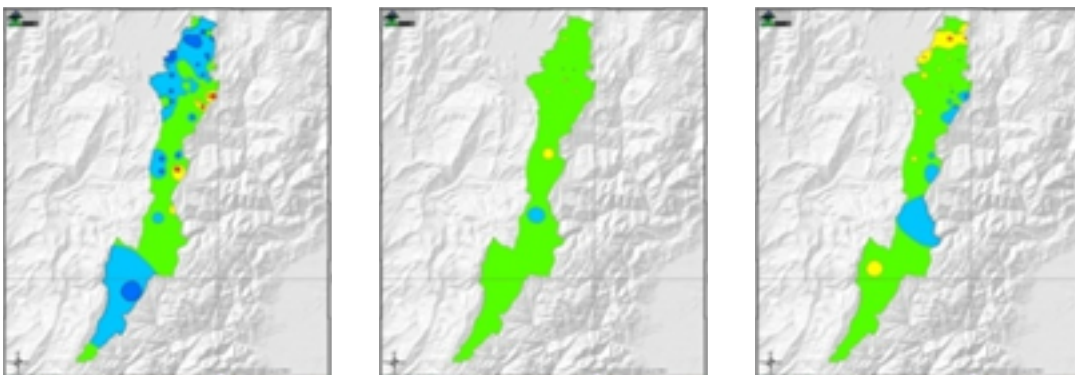
Trimestre 4 (abril-mayo-junio)



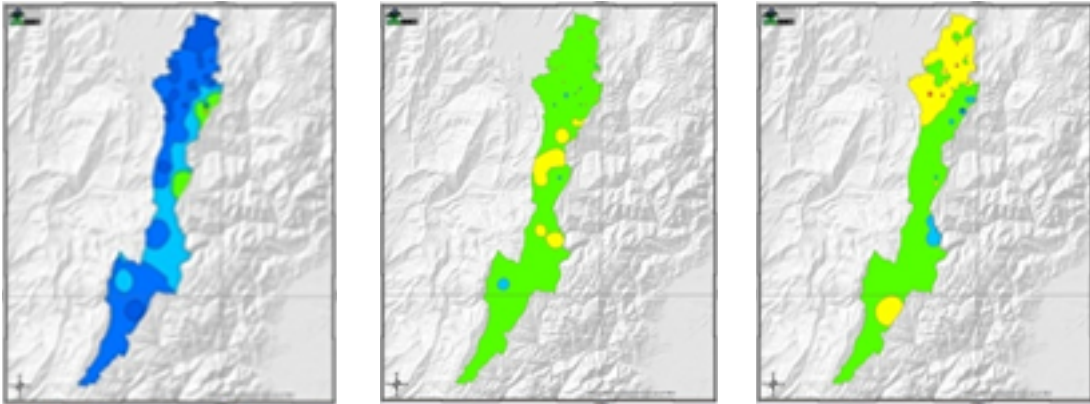
Trimestre 5 (mayo-junio-julio)



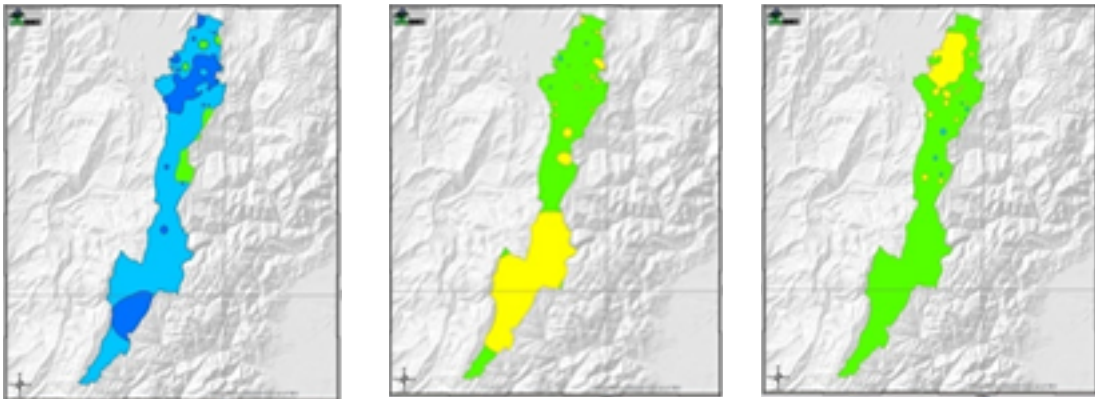
Trimestre 6 (junio-julio-agosto)



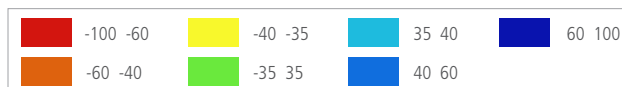
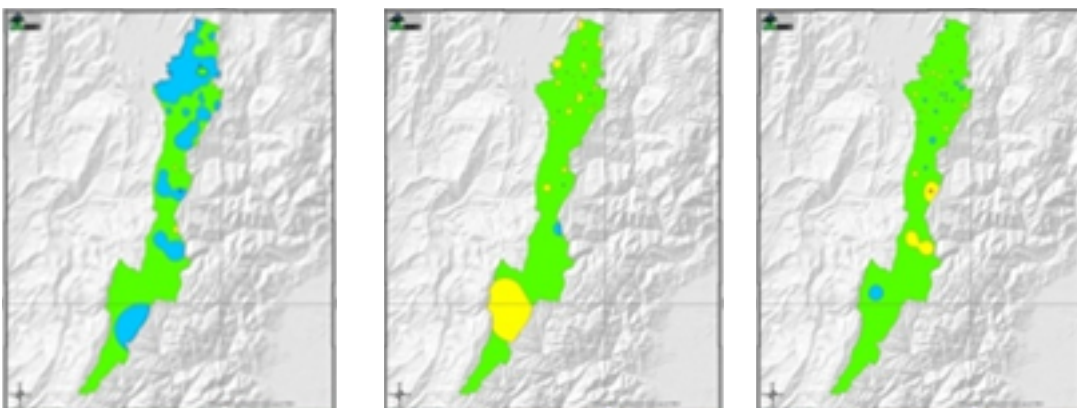
Trimestre 7 (julio-agosto-septiembre)



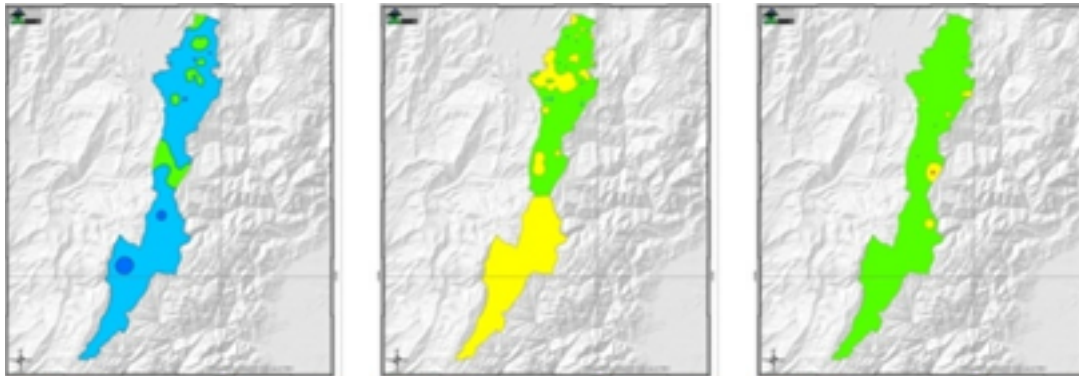
Trimestre 8 (agosto-septiembre-octubre)



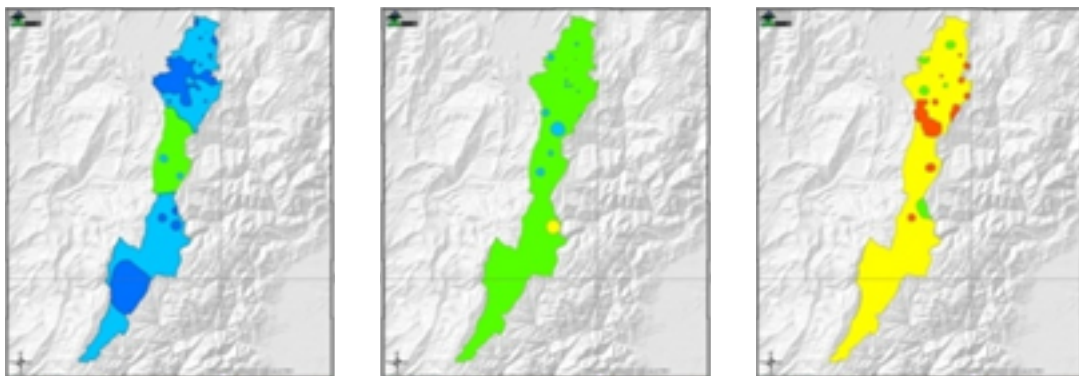
Trimestre 9 (septiembre-octubre-noviembre)



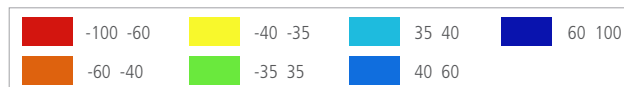
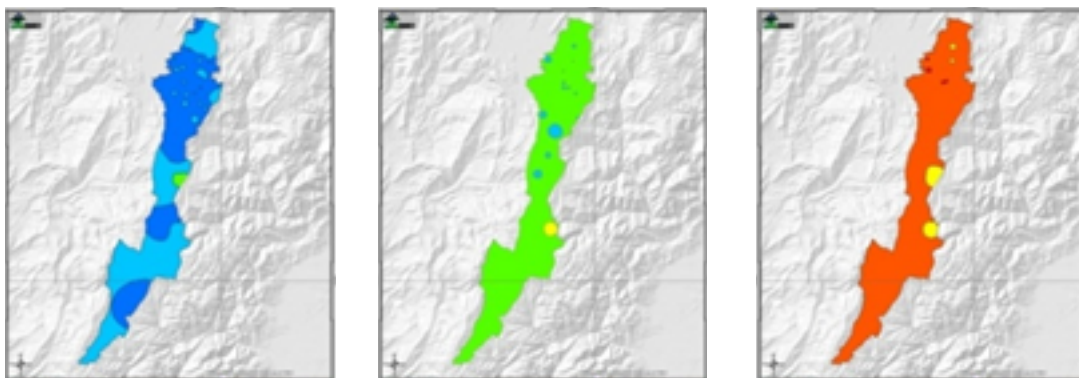
Trimestre 10 (octubre-noviembre-diciembre)



Trimestre 11 (noviembre-diciembre-enero)



Trimestre 12 (diciembre-enero-febrero)



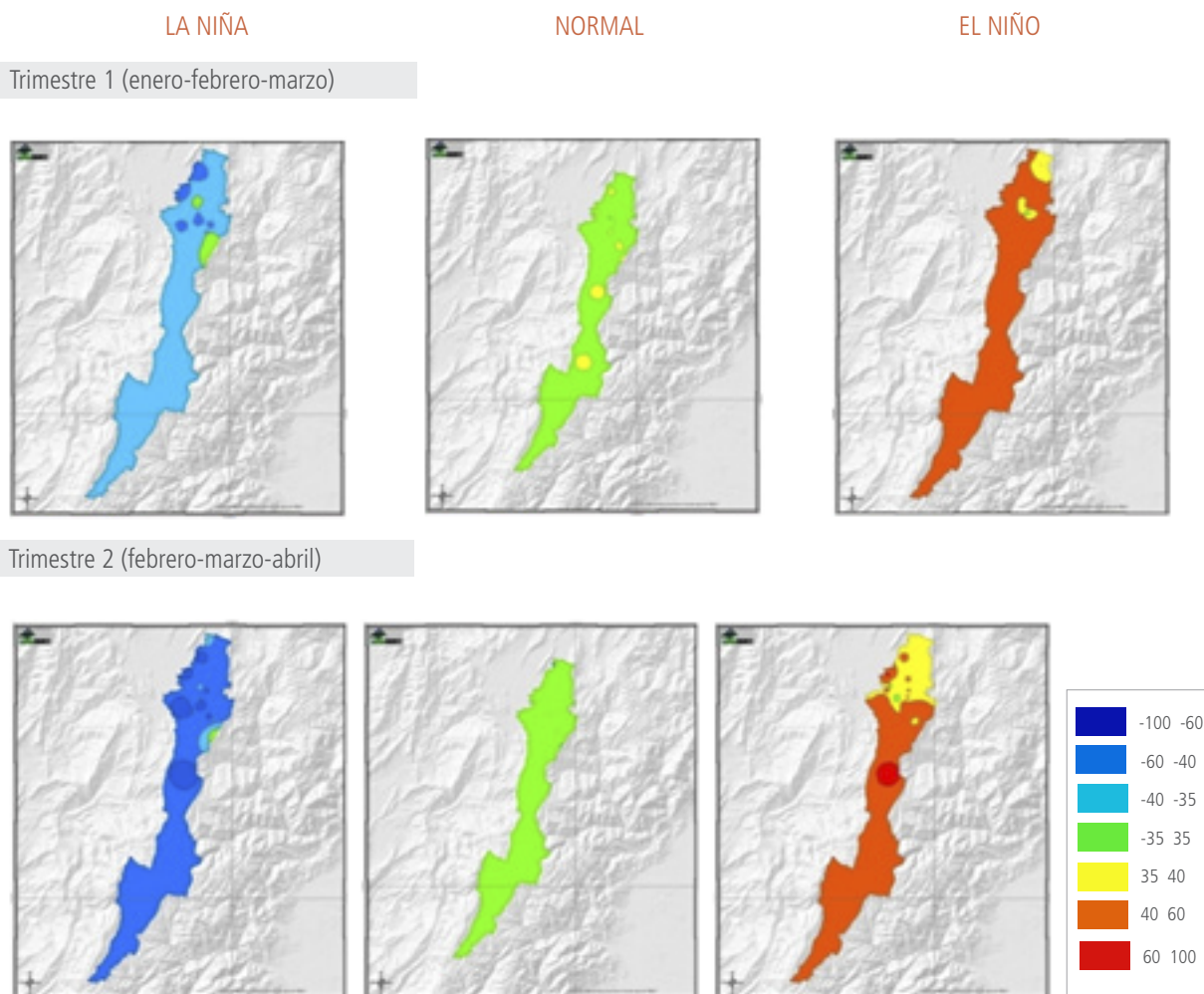
### Alteración de la temperatura media por eventos de variabilidad climática

**Evento La Niña (Anomalía de la TSM < -0,5 °C):** Cuando se presenta un comportamiento por debajo de lo normal en la TSM, el efecto observado para Bogotá es una disminución en la temperatura con probabilidades entre el 60 y 100% en todos los trimestres. Sin embargo, el segundo trimestre es aquel que presenta mayor disminución, seguido del trimestre 3, lo que nos permite concluir que marzo y abril son los meses de mayor afectación ya que son comunes a ambos trimestres. De igual manera, otro de los trimestres más afectados es el número 10.

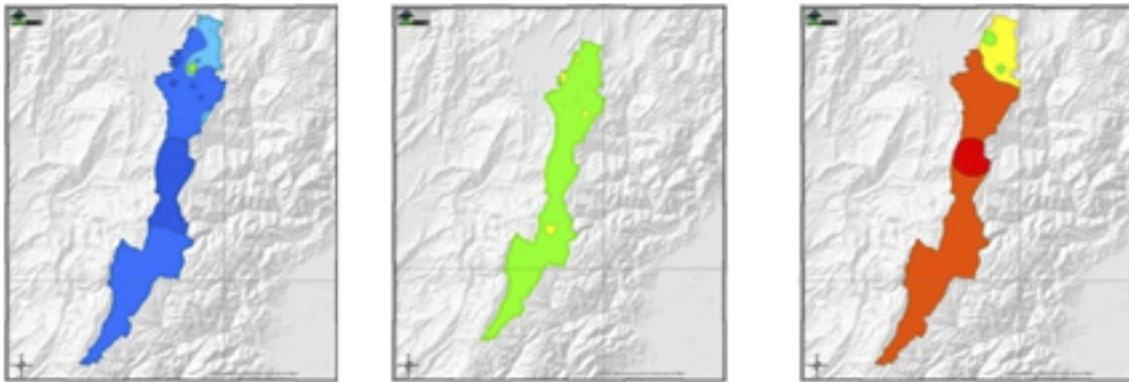
**Fase Normal (Anomalías de la TSM entre -0,5 y +0,5 °C):** Cuando la TSM está bajo condiciones normales, Bogotá se caracteriza por presentar un comportamiento dentro de valores típicos para todos los trimestres.

**Evento La Niña (Anomalía de la TSM > +0,5 °C):** En esta situación de la TSM, el efecto observado para Bogotá es un aumento en la temperatura con probabilidades hasta del 80% especialmente para los primeros 4 trimestres. Sin embargo, luego de esto hay una disminución que repercute en valores cercanos incluso a las condiciones normales. El trimestre de mayor afectación es el primero, seguido respectivamente del segundo y tercer trimestre, lo que nos permite concluir que el mes de marzo es el más afectado, ya que es el mes común a los trimestres mencionados tal como se presenta en la Figura IV-4.

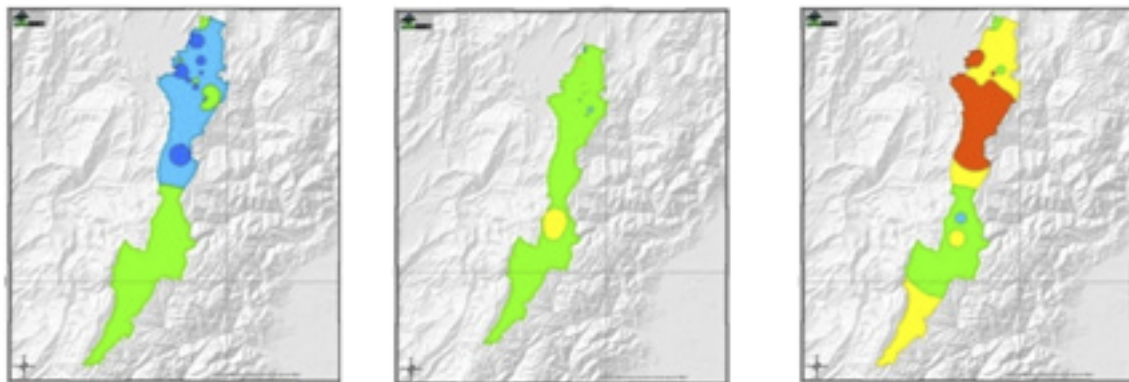
Figura IV-4. Alteraciones de la temperatura media ante variabilidad climática en probabilidad



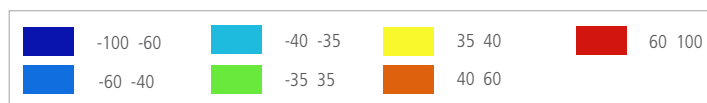
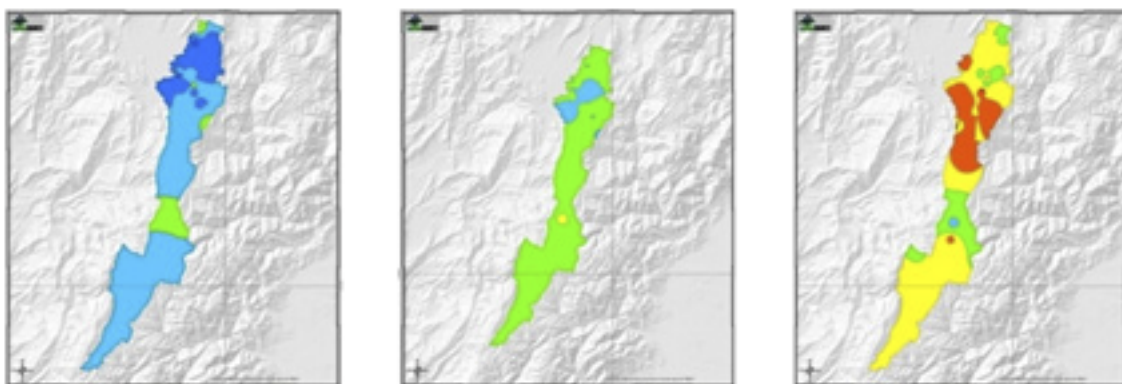
Trimestre 3 (marzo-abril-mayo)



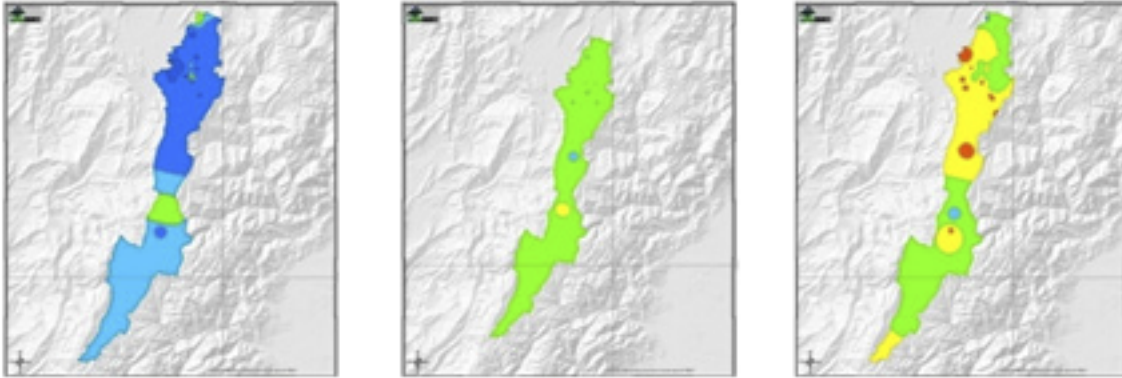
Trimestre 4 (abril-mayo-junio)



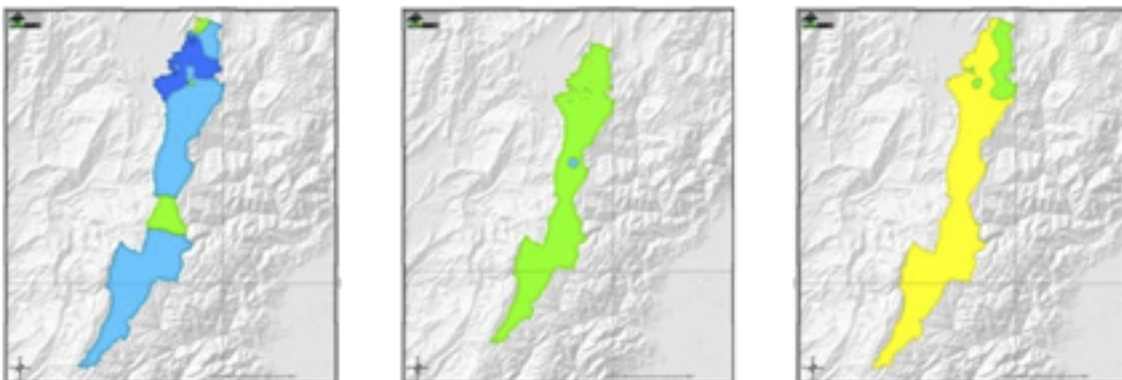
Trimestre 5 (mayo-junio-julio)



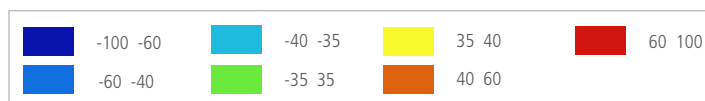
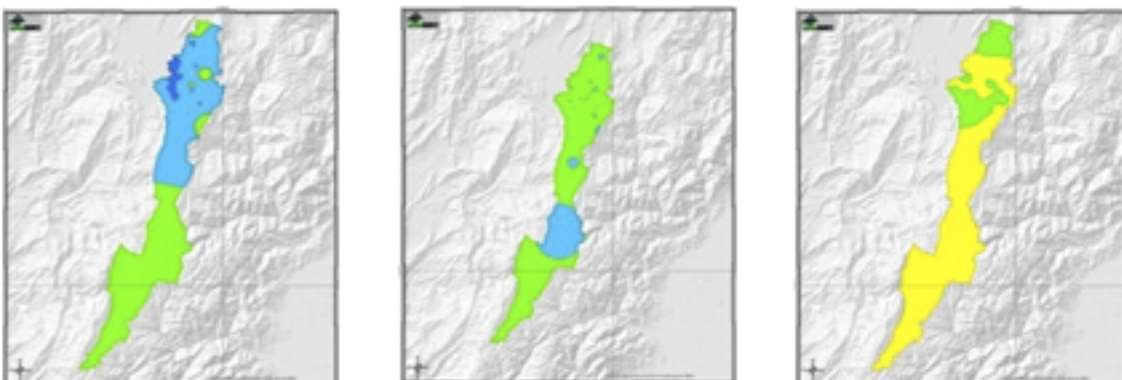
Trimestre 6 (junio-julio-agosto)



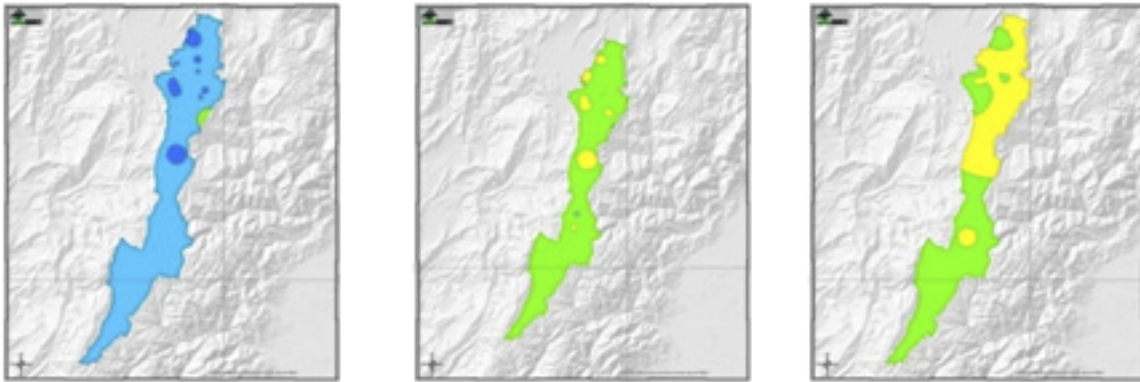
Trimestre 7 (julio-agosto-septiembre)



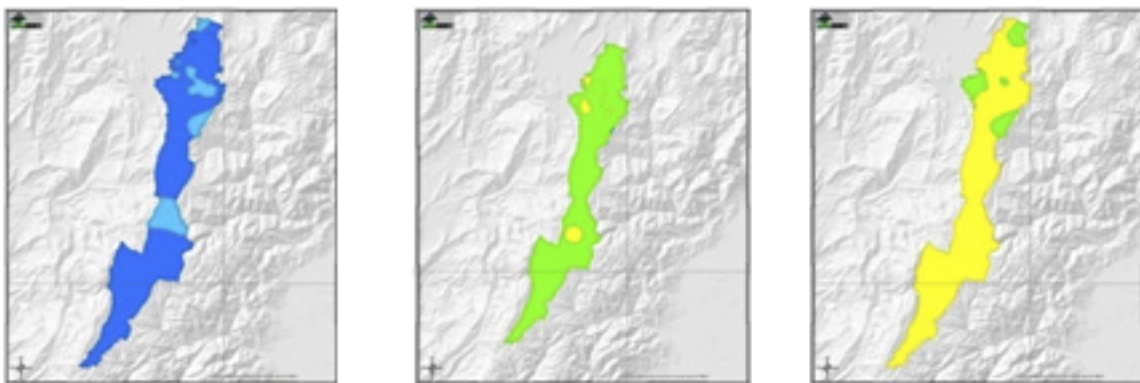
Trimestre 8 (agosto-septiembre-octubre)



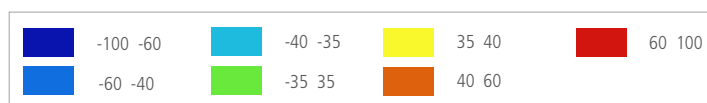
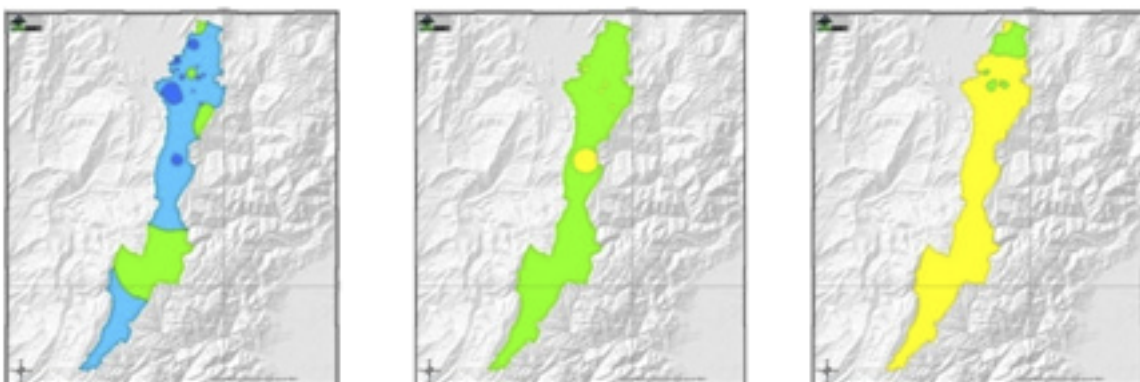
Trimestre 9 (septiembre-octubre-noviembre)



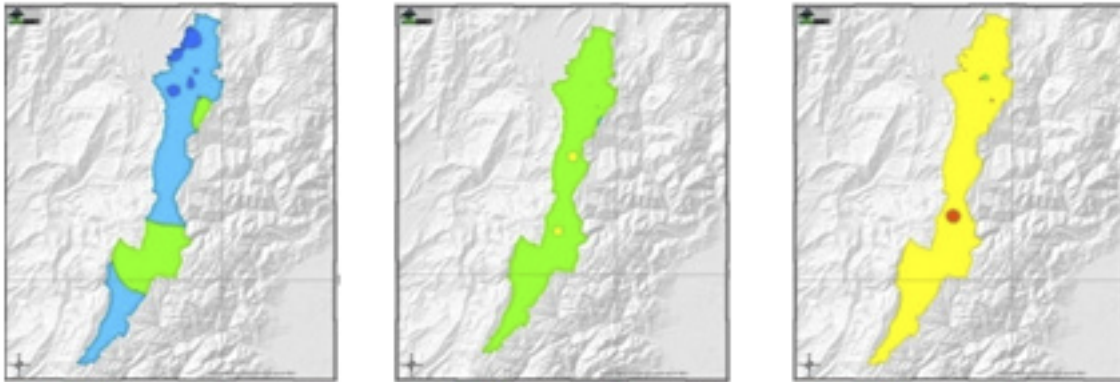
Trimestre 10 (octubre-noviembre-diciembre)



Trimestre 11 (noviembre-diciembre-enero)



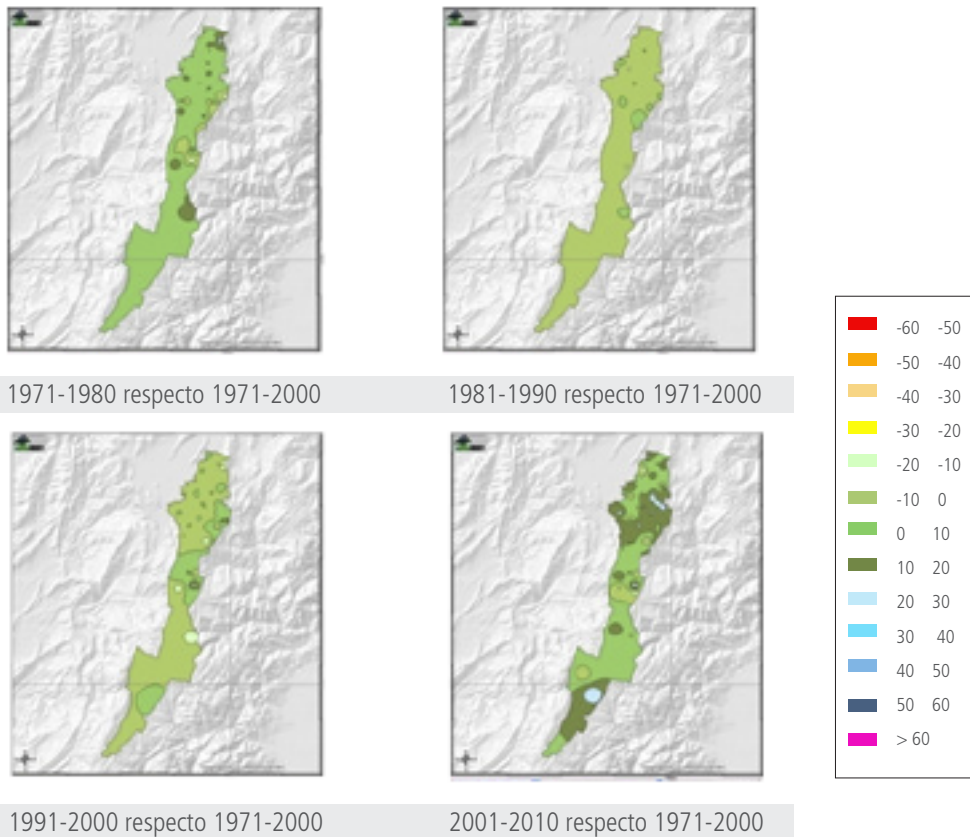
Trimestre 12 (diciembre-enero-febrero)



Cambio climático de clima presente

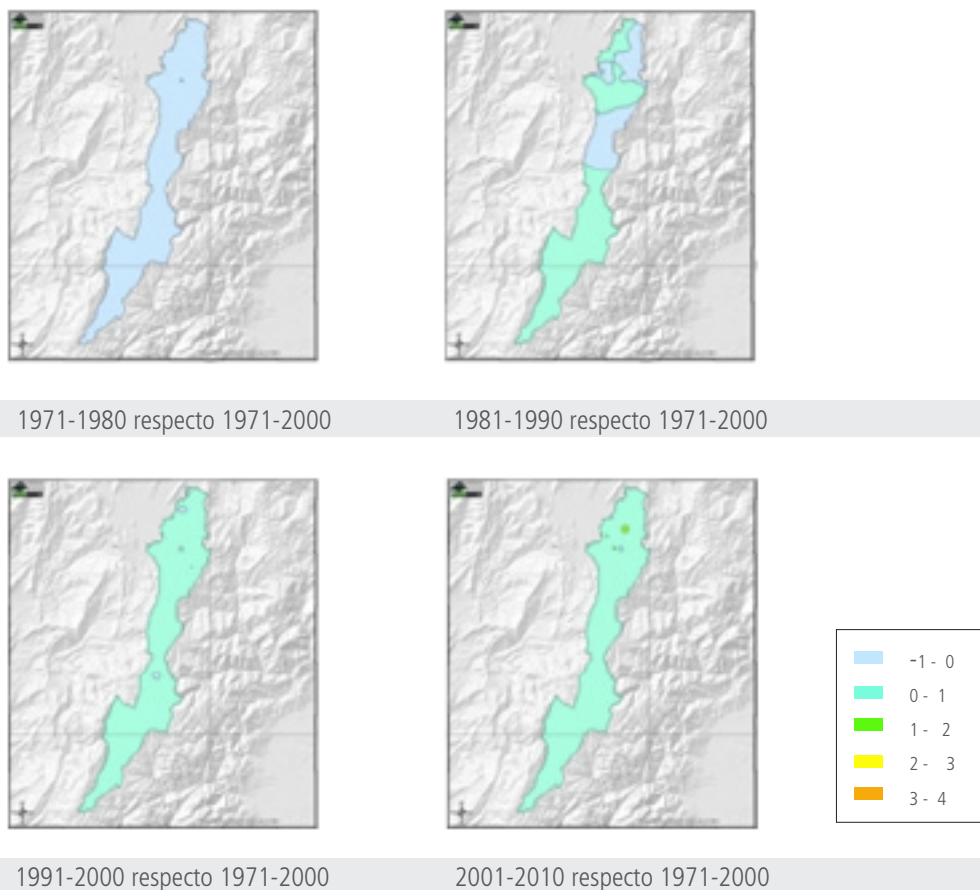
**Precipitación:** La última década se caracterizó por ser la más lluviosa de los últimos 40 años; 2001-2010 presentó alteraciones de la precipitación decadal respecto a la normal climatológica 1971-2000 reflejado en aumento de las lluvias por encima del 40% respecto al periodo de referencia tal como se muestra en la Figura IV-5.

Figura IV-5. Cambios de la precipitación en % para los últimos 40 años



**Temperatura media:** En los últimos 40 años, la temperatura media para Bogotá ha aumentado en promedio entre 1 y 2 °C tal como se muestra en la Figura IV-6.

Figura IV-6. Aumento de la temperatura media en °C para los últimos 40 años



### Escenarios de cambio climático

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

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

Dicha tabla pone de manifiesto que a partir del año 2011 habría una posible disminución hasta llegar a la década 2091-2100, en la cual la reducción de precipitación es bastante significativa lloviendo solo 50% respecto a la normal climatológica actual tal como se muestra en la Figura IV-7. También esta figura muestra la posible tendencia de la reducción de la preci-

pitación con el paso de los años para Bogotá, lo cual afectaría en general a la ciudad especialmente hacia la parte norte y occidental sobre localidades como Suba, Kennedy y Engativá. Esta reducción podría ser preocupante puesto que las últimas décadas del siglo, especialmente la correspondiente a 2091-2100, la precipitación presentaría valores alrededor de 500 mm en comparación con la situación actual donde normalmente se presentan valores de precipitación entre 1.000 y 2.500 mm.

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

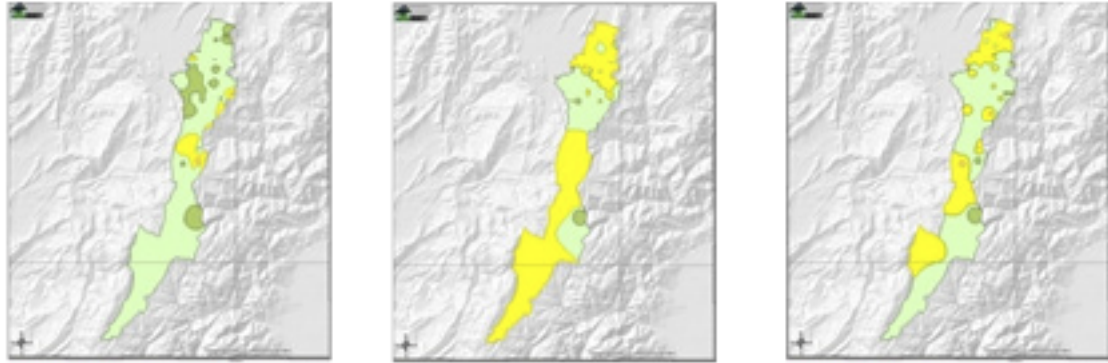
Década	Valor (%)
2011-2020	-15,3
2021-2030	-20,3
2031-2040	-18,1
2041-2050	-14,4
2051-2060	-19,3
2061-2070	-16,7
2071-2080	-46,9
2081-2090	-50,2
2091-2100	-48,8
Promedio para el resto del siglo XXI	-18,4

**Temperatura Media:** Bajo escenarios de cambio climático de IPCC, esta variable meteorológica continuaría presentando un incremento en su temperatura media con efecto casi igual para todo Bogotá (Tabla IV-2). Tal incremento alcanzaría valores por encima entre 3 °C y 4 °C en algunas localidades como Suba, Engativá, Kennedy y Bosa para finales del siglo XXI tal como se muestra en la Figura IV-8.

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

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

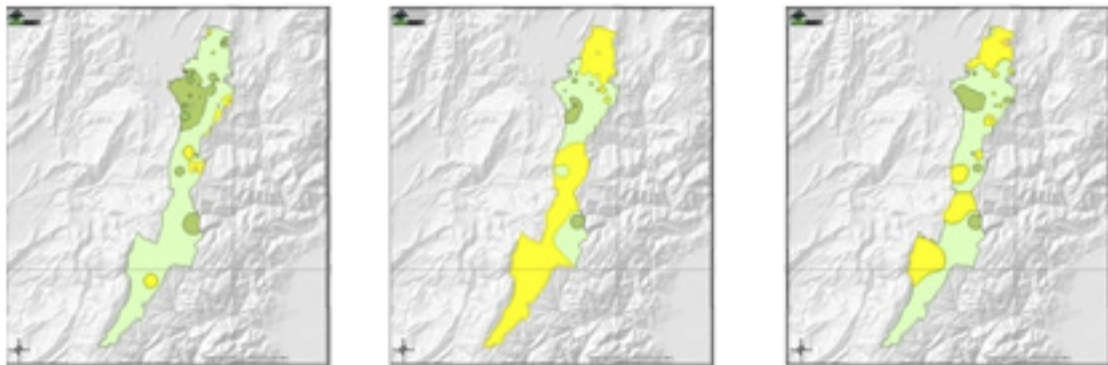
Figura IV-7. Cambios en % de la precipitación decadal respecto a la normal climatológica 1971-2000



2011-2020 respecto 1971-2010

2021-2030 respecto 1971-2010

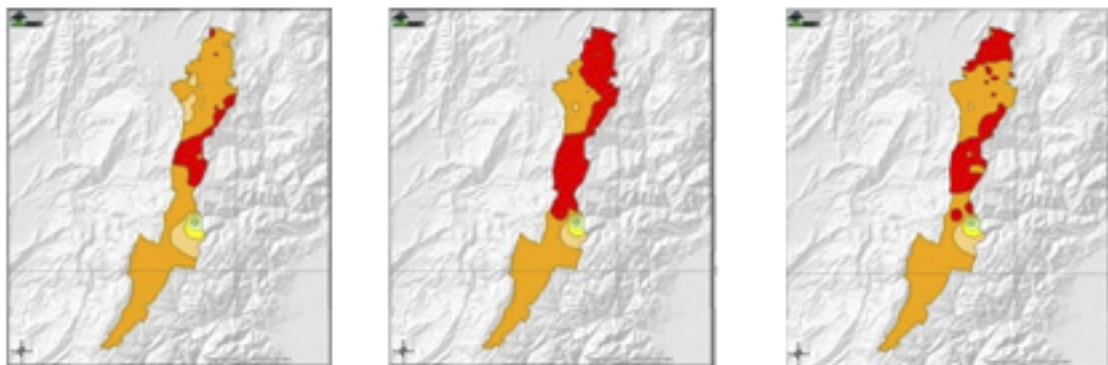
2031-2040 respecto 1971-2010



2041-2050 respecto 1971-2010

2051-2060 respecto 1971-2010

2061-2070 respecto 1971-2010



2071-2080 respecto 1971-2010

2081-2090 respecto 1971-2010

2091-2100 respecto 1971-2010

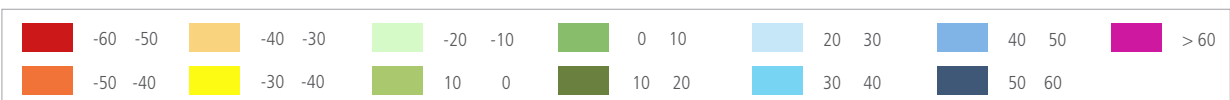
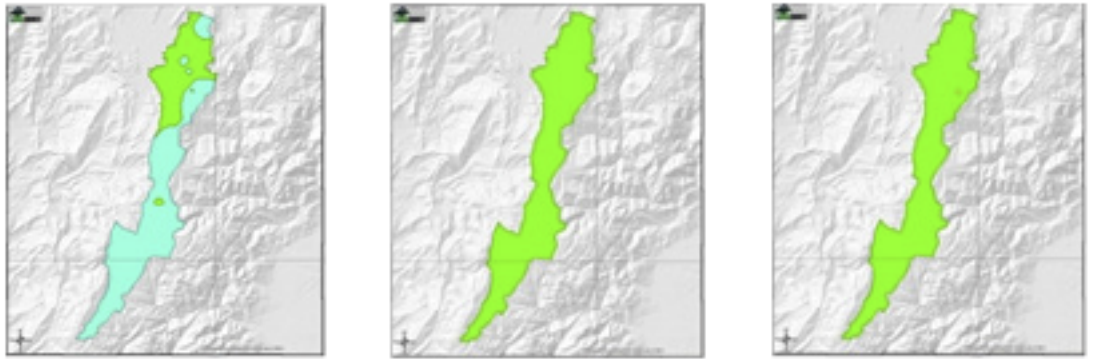


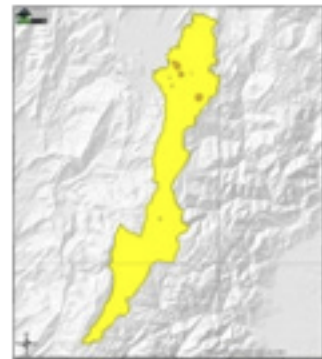
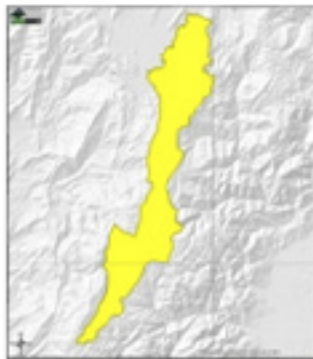
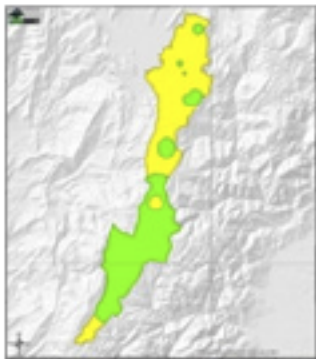
Figura IV-8. Aumento de la temperatura decadal en °C respecto a los valores históricos



2011-2020 respecto 1971-2010

2021-2030 respecto 1971-2010

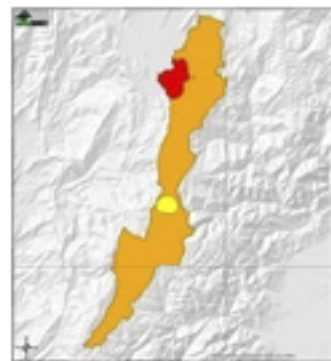
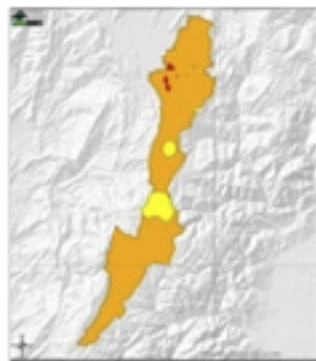
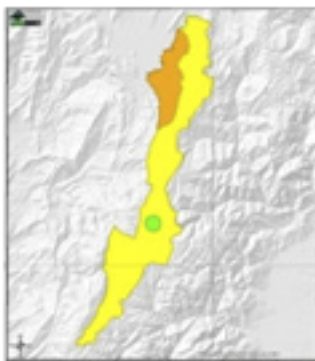
2031-2040 respecto 1971-2010



2041-2050 respecto 1971-2010

2051-2060 respecto 1971-2010

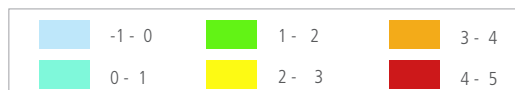
2061-2070 respecto 1971-2010



2071-2080 respecto 1971-2010

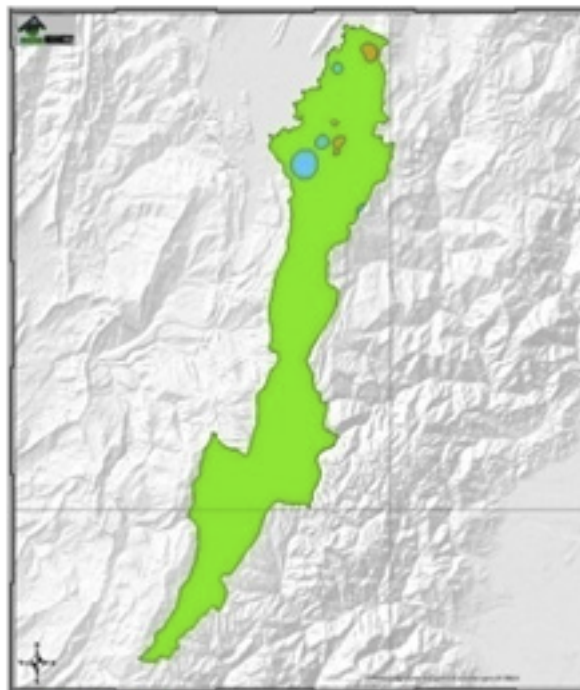
2081-2090 respecto 1971-2010

2091-2100 respecto 1971-2010



**Clasificación climática de Lang:** Como se puede analizar en los mapas, durante el periodo 1971-2010 el clima dominante de Bogotá fue semihúmedo (Figura IV-9). A partir de la década 2011-2020 probablemente se inicie una tendencia de características de clima semiárido; pero hacia finales del siglo XXI posiblemente se presenten características de clima árido. Visto así, puede que toda Bogotá presente afectaciones en su tipo de clima; los resultados finales indican que la zona centro-sur sería la mayormente influenciada ya que tendría amplias zonas de tipo árido, especialmente en las localidades de Usme, Ciudad Bolívar y Sumapaz. Este cambio en el tipo de clima se produciría como consecuencia del aumento de la temperatura y la disminución en las precipitaciones simulado por el escenario promedio de emisión de gases de efecto invernadero (Figura IV-10).

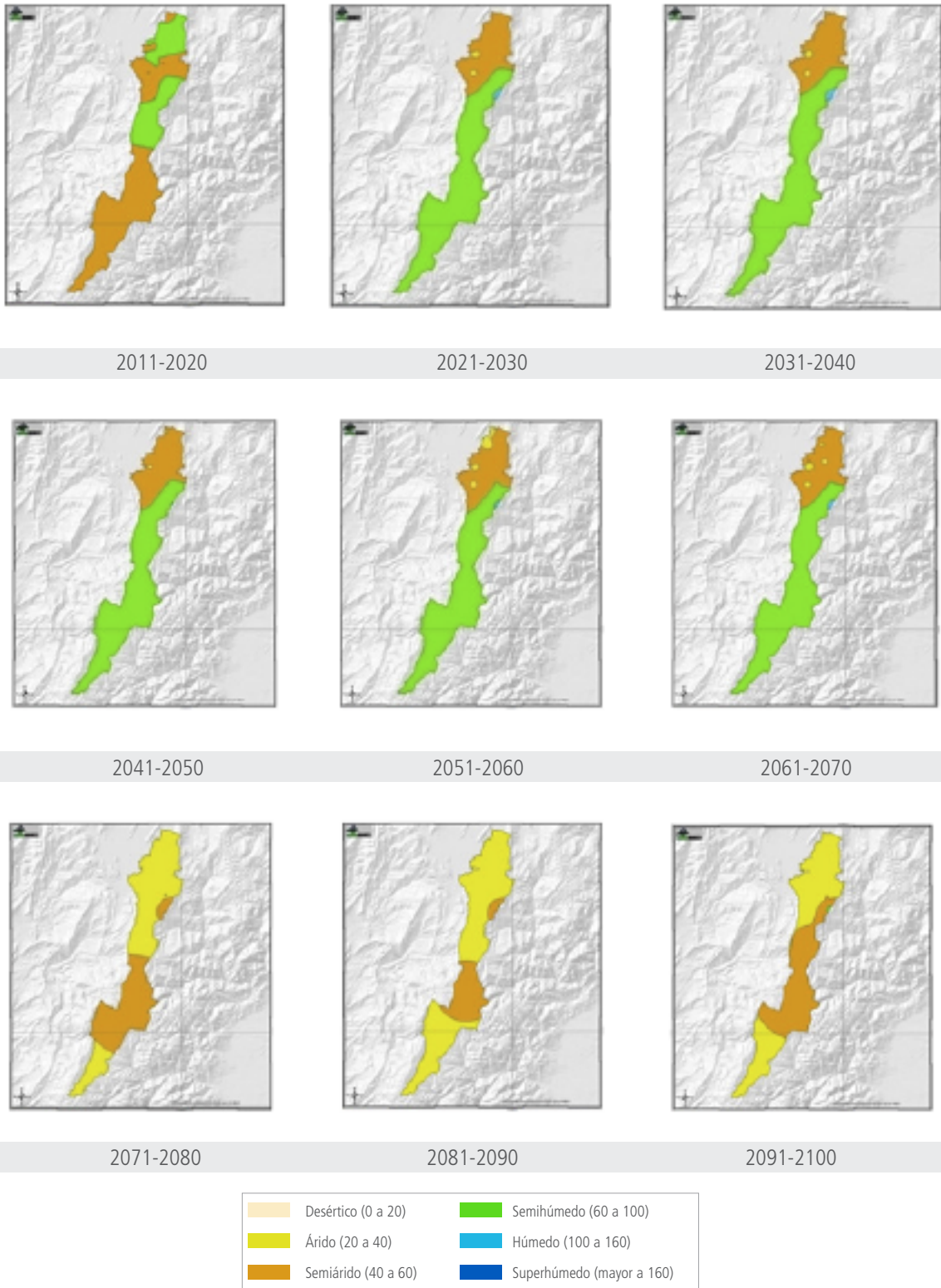
Figura IV-9. Clasificación climática de Lang para 1971-2000



<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #f4b084; border: 1px solid black;"></span> Desértico (0 a 20)	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #00b050; border: 1px solid black;"></span> Semihúmedo (60 a 100)
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #f0e68c; border: 1px solid black;"></span> Árido (20 a 40)	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #00a0e3; border: 1px solid black;"></span> Húmedo (100 a 160)
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #c47a3b; border: 1px solid black;"></span> Semiárido (40 a 60)	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #000080; border: 1px solid black;"></span> Superhúmedo (Mayor a 160)

1971-2000

Figura IV-10. Clasificación climática de Lang para el siglo XXI bajo el escenario emisión promedio



## Conclusiones

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

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

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

De acuerdo con el promedio multiescenario de emisión de gases de efecto invernadero forzado con condiciones iniciales de algunos modelos del IPCC, se esperaría para 2011-2100 una reducción de las precipitaciones aproximada del 18% respecto a los valores normales 1971-2000. No obstante, para el periodo 2011-2061, los volúmenes de precipitación podrían ubicarse entre los 500 mm y los 1.500 mm anuales en contraste con la última década del siglo XXI cuando se presentarían precipitaciones entre los 500 mm y 1.000 mm anuales. Dichas reducciones en las precipitaciones, se podrían presentar principalmente sobre las localidades de Suba, Engativá, Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Fontibón.

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

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

El aumento de la temperatura y la reducción en los valores de precipitación proyectados por los escenarios IPCC tratados en este trabajo, manifiestan una transición de un clima semihúmedo a semiárido para mitad de siglo y casi árido para final de siglo, situación que podría ser preocupante porque de darse así, muchas zonas perderían su valor en términos agrícolas.

## Bibliografía alteraciones de la temperatura Sabana de Bogotá

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

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

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

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

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

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

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

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

## V. Construcción de Series de tiempo de emisiones de gases de efecto invernadero de Colombia 1990-2008

(Autores: Natalia Gutiérrez, Carolina López Miranda y Diana Carolina Lugo, Subdirección de Estudios Ambientales – IDEAM)

La aplicación de las metodologías sugeridas por el IPCC y de buenas prácticas en el desarrollo del Inventario de gases de efecto invernadero (GEI) ha permitido ampliar la base de información sobre la que se calculan las emisiones GEI en Colombia. Entre el año 1997 y el 2011, el país ha logrado reducir la incertidumbre en las cifras presentadas en el marco del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) debido a los logros en el desarrollo de información sectorial. Se presenta a continuación una evolución de las cifras que Colombia prepara de cara a la presentación del próximo inventario de GEI y la tercera comunicación nacional.

En el 2010 y dentro del marco del proyecto de cooperación internacional financiado por el Ministerio de Medio Ambiente de los países Bajos, el IDEAM construyó el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) 1990 a 2008, documento en el que se estimaron las emisiones año a año por categoría, fuente y composición, permitiendo el análisis del comportamiento de las emisiones de GEI para una serie temporal de 18 años, tarea que hasta el momento no había sido posible.

En el proceso de construcción de un INGEI, las etapas de consolidación de datos y de cuantificación de emisiones se desarrollan con las entidades que generan la información oficial sectorial del país, en espacios definidos como “mesas de trabajo interinstitucionales”. De igual manera, profesionales de cada sector brindan apoyo desde su conocimiento y experiencia, sobre el uso adecuado de la información suministrada y posteriormente en el análisis de las emisiones calculadas.

La metodología bajo la cual se elaboró el INGEI se basa en las guías metodológicas del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (por sus siglas en inglés) de 1996, para los módulos de energía, procesos industriales, agricultura y residuos. La construcción de la serie temporal demandó, entre otras, la identificación y selección tanto de las fuentes de datos históricos como de los factores de emisión, teniendo como referencia los INGEI realizados anteriormente. Adicionalmente, es importante mencionar que el inventario se construyó utilizando el software CollectER III de la Agencia Europea de Medio Ambiente, herramienta usada por el Centro Temático Europeo para la Contaminación del Aire y Mitigación del Cambio Climático (por sus siglas en inglés. ETC/ACM).

### Arreglos Institucionales para el desarrollo de INGEI

Los arreglos institucionales son acuerdos entre las entidades públicas y privadas generadoras y/o acopiadoras de los datos de entrada que facilitan el desarrollo sistemático del INGEI. Como se mencionó anteriormente, las Mesas de Trabajo Interinstitucionales constituyen el mecanismo mediante el cual el IDEAM recolecta y verifica la información necesaria para estimar las emisiones de GEI provenientes de los diferentes sectores en Colombia. La composición de las Mesas de Trabajo se resume brevemente a continuación:

- a) Módulo Energía: La fuente principal de información en el módulo de Energía proviene de los Balances Energéticos Nacionales generados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Para calcular las emisiones fugitivas, se consultó el Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO). Adicionalmente, en este módulo se cuenta con la activa participación del Ministerio de Transporte.

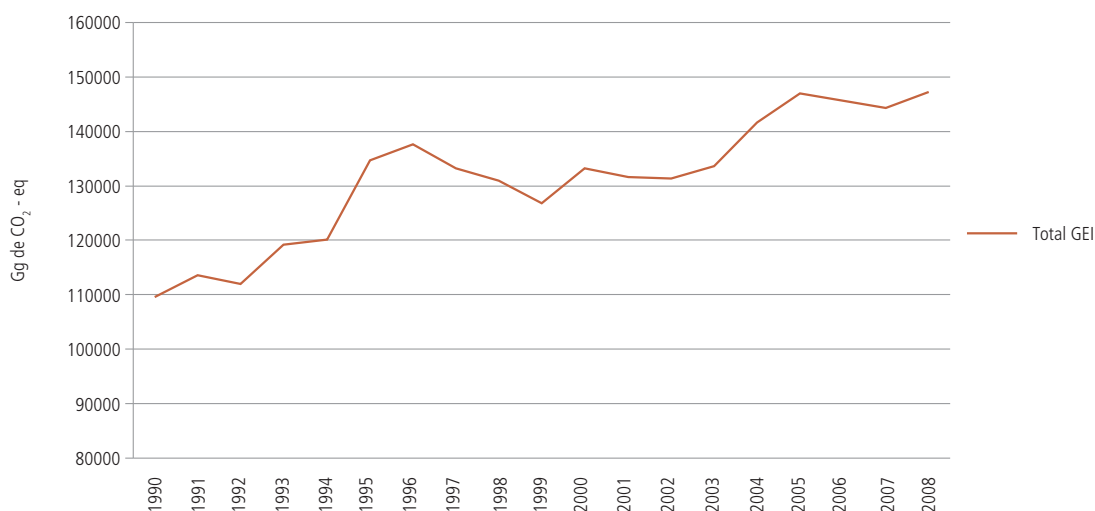
- b) Módulo de Procesos Industriales: En este módulo la información base es suministrada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), el Ministerio de Comercio Industria y Turismo, la Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol), el Instituto Nacional de Vías (Invías), la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) y diferentes entidades del sector privado.
- c) Módulo de Agricultura: En esta Mesa participan el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el DANE, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), la Corporación Colombiana Internacional (CCI), la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) y diferentes gremios, federaciones y asociaciones del sector.
- d) Módulo de Residuos: la información que se requiere se recopila de diferentes estudios de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) y el DANE.

Es importante anotar que la participación del sector académico se integró de manera transversal a todas las mesas de trabajo anteriormente descritas. Los resultados y el análisis para los módulos anteriormente mencionados<sup>4</sup> para el periodo comprendido entre los años 1990-2008 se muestran a continuación.

#### Emisiones agregadas de GEI (1990-2008)

Para el periodo comprendido entre 1990 y 2008, las emisiones totales de GEI (excluyendo las emisiones generadas por el Uso de Suelo, Cambio de uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS), se resumen en la Figura V-1. Las emisiones para el último año de estudio fueron en total 147.235 Gigagramos (Gg) de dióxido de carbono – equivalente (CO<sub>2</sub>-eq), lo que representa un crecimiento del 34,5 % (3.7703,5 Gg) con relación a las emisiones de 1990.

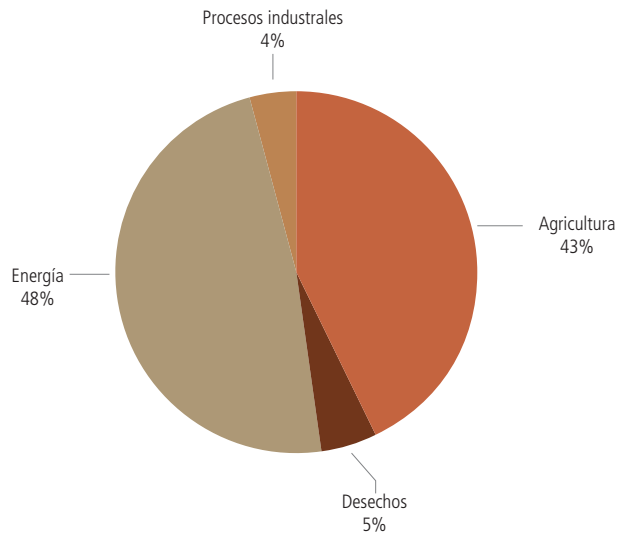
Figura V-1. Emisiones colombianas de gases de efecto invernadero, sin incluir las emisiones por USCUSS, para el periodo comprendido entre 1990 y 2008



<sup>4</sup> No se incluye el módulo de Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura, dado que la información existente en el país sobre este sector no permite hacer un cálculo para los 18 años contemplados en el ejercicio.

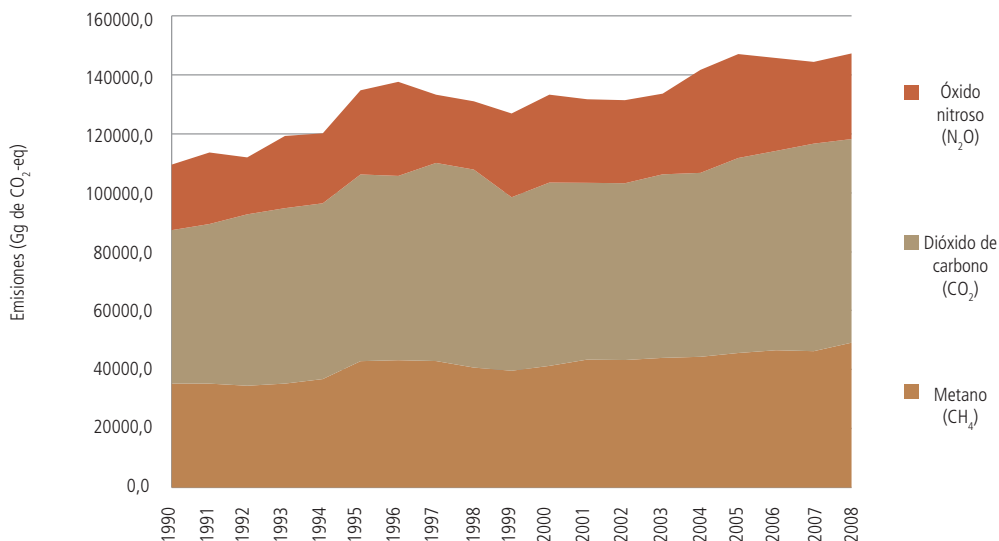
El sector energía es el mayor contribuyente del total nacional con un aporte promedio del 48%, seguido de las emisiones generadas por el sector agricultura que constituyen cerca del 43% a lo largo de los años. Finalmente las emisiones generadas por desechos y procesos industriales presentan una tendencia similar al aportar 5% y 4% respectivamente (Figura V-2).

Figura V-2. Contribución promedio a las emisiones nacionales por sectores



Al estudiar las emisiones anuales y su composición por gas: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (Figura V-3), es evidente que la mayor contribución a las mismas es generada por el  $\text{CO}_2$  que mantiene un aporte entre 44% y 52% a lo largo de los años. Por otro lado, el  $\text{CH}_4$  es el gas con el mayor incremento neto (39,4%).

Figura V-3. Composición por gas de las emisiones nacionales (1900-2008)

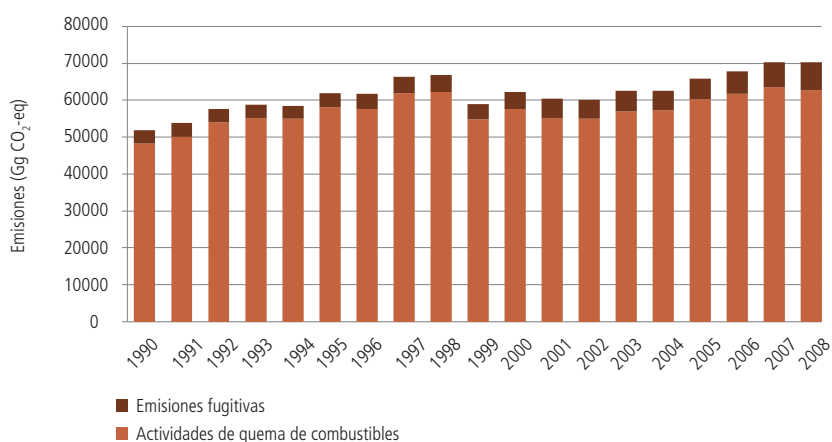


## Módulo de energía

En el módulo de energía se cuantifican los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y sus precursores que tienen origen en las actividades antrópicas de quema, manipulación o extracción de combustibles fósiles (petróleo y sus derivados, carbón y gas natural). Adicionalmente, se contabilizan las emisiones fugitivas generadas por la explotación de carbón e hidrocarburos.

Las emisiones de GEI para este módulo están constituidas por dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), provenientes de la quema de combustibles fósiles en fuentes estacionarias y móviles y de las emisiones fugitivas.

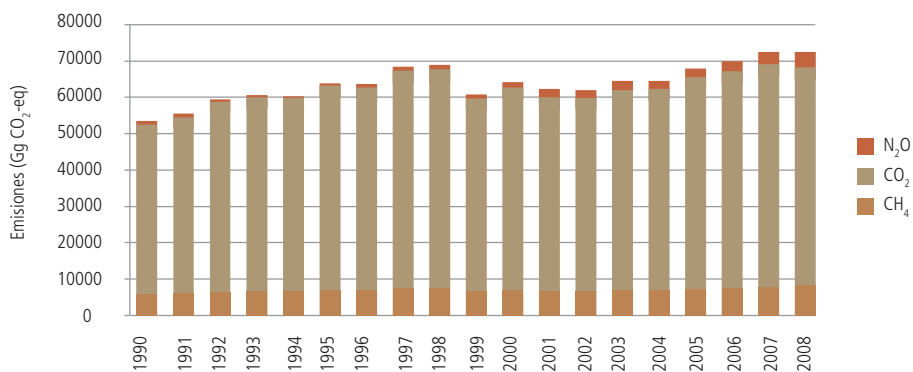
Figura V-4. Emisiones por categoría del módulo de energía



Las emisiones por quema de combustibles aportan en promedio el 92% de las emisiones del módulo, mientras que las emisiones fugitivas tan solo representan el 8%. Las emisiones en Gg de CO<sub>2</sub>-eq para las dos fuentes de emisiones se muestran en la Figura V-4. El CO<sub>2</sub> contribuye con aproximadamente el 90% de estas emisiones, mientras que el CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O tienen una participación de 9% y 1% respectivamente<sup>5</sup> (Figura V-5).

A lo largo de la serie temporal analizada, se observa un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente del 36.8% para el periodo de estudio.

Figura V-5. Composición de las emisiones en el módulo de energía



<sup>5</sup> Comparación realizada al pasar todos los gases a CO<sub>2</sub> equivalentes.

## Módulo de procesos industriales

En el módulo de procesos industriales se cuantifican las emisiones de GEI y sus precursores asociadas con el uso y transformación de materias primas a través de procesos físicos y químicos, con el uso de GEI en los productos y, por último, con los usos no energéticos del carbono contenido en los combustibles fósiles.

La tendencia de las emisiones del módulo de Procesos industriales según su categoría fuente se muestra en la Figura V-6. Estas emisiones están constituidas principalmente por la industria de los minerales no metálicos, con una participación promedio de 64,7%, seguido de la industria de los metales con una participación del 28,7% y, finalmente, de la industria química con un 6,6%.

Las emisiones de procesos industriales están constituidas en un 96,8% por CO<sub>2</sub>, mientras que el N<sub>2</sub>O y el CH<sub>4</sub> tienen una pequeña participación de 2,9% y 0,3%, respectivamente (Figura V-7).

Figura V-6. Emisiones por categoría del módulo de procesos industriales

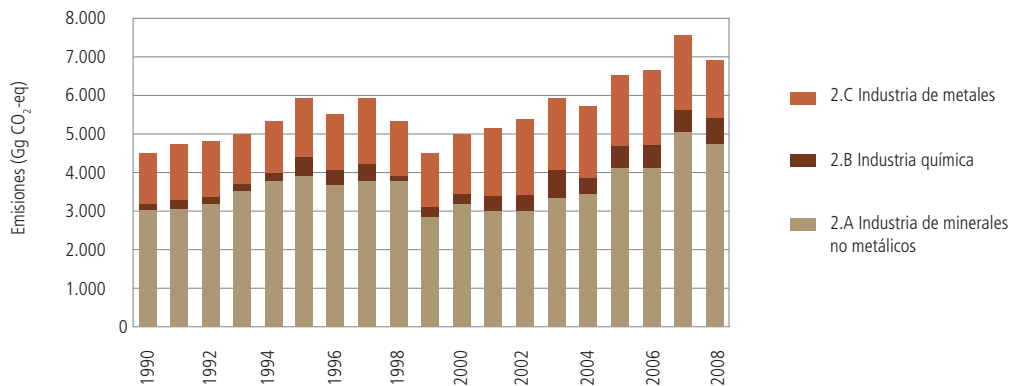
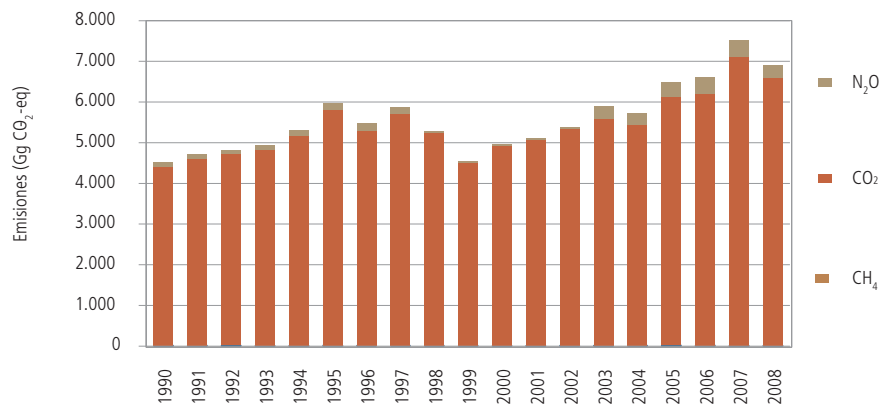


Figura V-7. Composición de las emisiones en el módulo de procesos industriales



Para calcular la emisiones provenientes de la industria de metales (compuesta por la industria de ferróníquel y la industria del acero en su fase de producción de coque y arrabio); se supuso que todo el mineral de hierro extraído es colado antes de ser conducido a los altos hornos en el proceso de fabricación del acero. Las emisiones de la categoría de industria química están constituidas por la producción de amoníaco, identificada como el mayor aportante; de ácido nítrico, de negro de humo y de metanol.

Debido a la accesibilidad de la información sobre el uso y existencias de Sustancias Agotadoras de Ozono (SAO) y sus sustitutos, así como de otros gases como los Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ); no se incluyen las emisiones indirectas de GEI para la serie temporal del estudio.

A lo largo de la serie temporal analizada, se observa un incremento en las emisiones de  $\text{CO}_2$  equivalente del 53.15%.

### Módulo de agricultura

En el módulo de agricultura se cuantifican las emisiones de GEI procedentes de cinco fuentes o categorías (Figura V 8): ganado doméstico (fermentación entérica y manejo de estiércol), cultivos de arroz, quema prescrita de sabanas, quema en el campo de residuos agrícolas y por último de suelos agrícolas, donde se incluyen las emisiones por uso de fertilizantes nitrogenados.

Las cinco categorías incorporan la estimación de metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Los resultados de las emisiones por composición muestran que el 53,7% corresponden a  $\text{CH}_4$  y el 46,3% a  $\text{N}_2\text{O}$  (Figura V-9).

La participación de la categoría ganado doméstico dentro del módulo es en promedio del 65%, correspondiente en un 51% a emisiones por fermentación entérica y 14% por manejo de estiércol. Las emisiones por fermentación entérica están determinadas por la emisión de  $\text{CH}_4$  producto de la actividad digestiva de los animales, que a su vez depende de factores como el tipo y clase de aparato digestivo, número de animales y cantidad de alimento.

En la categoría de cultivos de arroz las emisiones de  $\text{CH}_4$  se producen bajo el régimen de inundación, principalmente en las etapas de crecimiento por la descomposición anaerobia de materia orgánica. El cálculo de las emisiones se realiza teniendo en cuenta factores como el área cultivada, el tipo de arroz empleado, su fertilización y las prácticas de manejo de las aguas utilizadas. La participación de esta categoría dentro del módulo de agricultura es en promedio del 2%.

En la categoría de suelos agrícolas, las emisiones directas de Óxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) provienen de los suelos dedicados a la producción animal, los suelos agrícolas<sup>6</sup> y las emisiones indirectas de Óxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) en la agricultura (IPCC, 1996). La participación de esta categoría dentro del módulo es del 32,2%.

Debido a la baja disponibilidad de información sobre las emisiones generadas por cultivos en áreas de Histosoles, únicamente se obtuvieron resultados solo para los años 1990, 1994, 2000, 2001 y 2002. Teniendo en cuenta la información recopilada sobre el uso de fertilizantes nitrogenados, se calcularon emisiones de GEI para los años de 1990, 1994, 2000, 2004, 2005, 2006, 2007 y 2008.

En la categoría de quema de sabanas se contabilizan emisiones de  $\text{CO}_2$ <sup>7</sup>,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{NO}_x$ . Esta práctica cultural se realiza con una frecuencia relacionada con el cambio en el uso de la tierra, con el objetivo de realizar prácticas agrícolas o de pastoreo,

<sup>6</sup> Incluidos los sistemas de producción en invernadero y excluyendo los efectos del pastoreo de los animales.

<sup>7</sup> No se contabiliza por reabsorción.

control de malezas o hierbas, entre otras. En el país no existe información oficial sobre esta actividad, por lo cual se tomaron datos consolidados desde el año 2001 por estudios académicos. La participación dentro del módulo es de 0,16% (teniendo en cuenta los datos desde el 2001).

Finalmente, las emisiones por quema de residuos agrícolas<sup>8</sup> participan con un 0,13 % dentro del total de módulo. Los residuos de las cosechas son una importante fuente de emisiones de metano, monóxido de carbono, óxido nitroso y óxidos de nitrógeno. (IPCC, 1996).

En la mesa técnica de trabajo se concertó que aproximadamente desde el año 2000 los residuos agrícolas de los cultivos trigo, maíz, sorgo y algodón no se queman sino que se incorporan como abono al suelo, por lo cual solo se consideran emisiones en la década de 1990 a 1999.

A lo largo de la serie temporal analizada, se observa un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente del 24,17%.

Figura V-8. Emisiones por categoría del módulo de agricultura

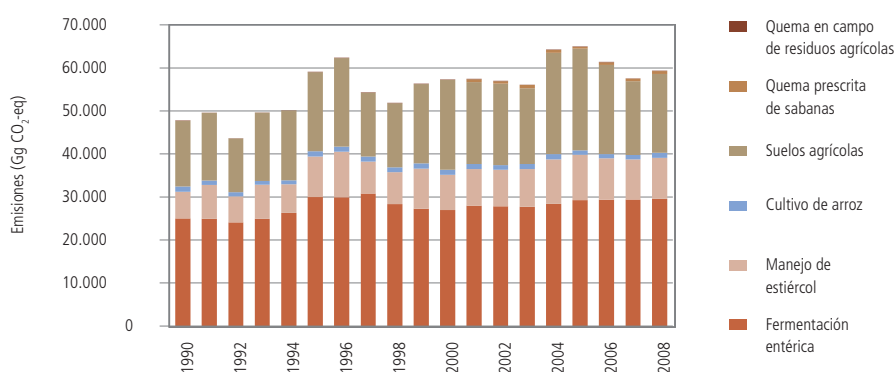
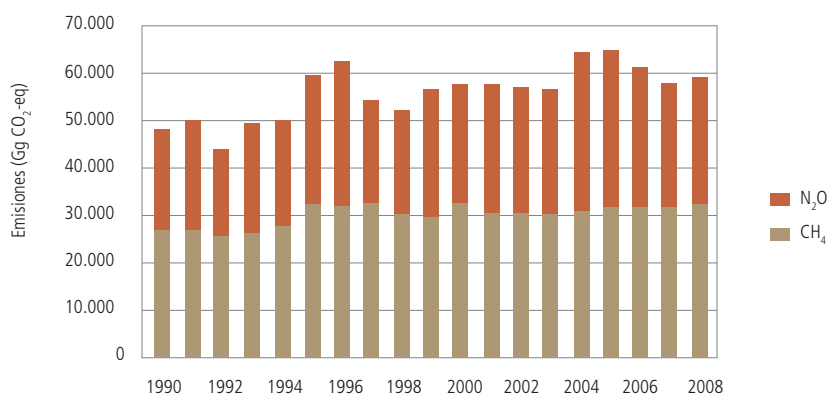


Figura V-9. Composición de las emisiones en el módulo agricultura



<sup>8</sup> Las emisiones para esta categoría dependen de la cantidad de los residuos provenientes de las cosechas que se queman en el campo y del contenido de carbono y nitrógeno contenidos en los mismos. Aproximadamente desde el año 2000 los residuos agrícolas de los cultivos Trigo, Maíz, Sorgo y Algodón no se queman sino que se incorporan como abono al suelo, por lo que no se consideran

## Módulo de residuos

El módulo de residuos cuantifica las emisiones de GEI generadas por la disposición de residuos sólidos en tierra y el tratamiento de aguas residuales industriales, domésticas y comerciales.

La categoría clave de este módulo, con mayor participación en las emisiones, corresponde a los residuos sólidos dispuestos en tierra, seguido por las aguas residuales domésticas y comerciales y finalmente por las aguas residuales industriales, con 82,7%; 15,5%; 1,9% respectivamente. Por tipo de gas, el mayor porcentaje de participación corresponde al CH<sub>4</sub> con el 89,1%, mientras que el N<sub>2</sub>O tan solo contribuye con el 10,9% restante.

En la Figura V-10 se observa el porcentaje de participación por las diferentes categorías del módulo y en la Figura V-11 la participación por tipo de GEI.

A lo largo de la serie temporal analizada, se observa un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq del 112,7%.

Figura V-10. Emisiones por categoría del módulo de residuos

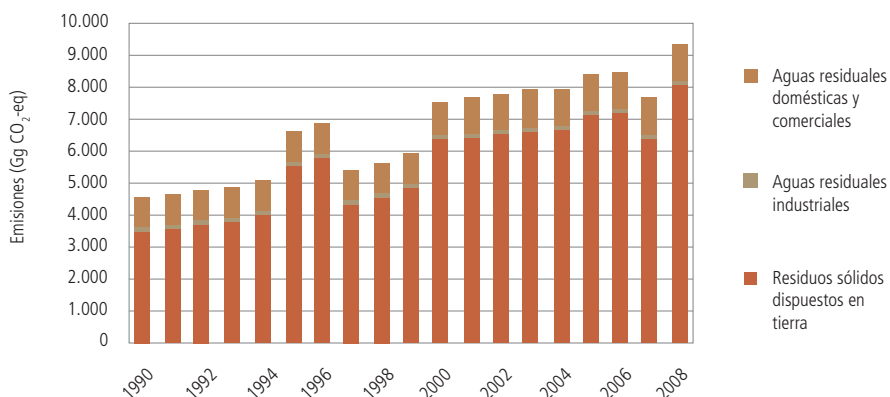
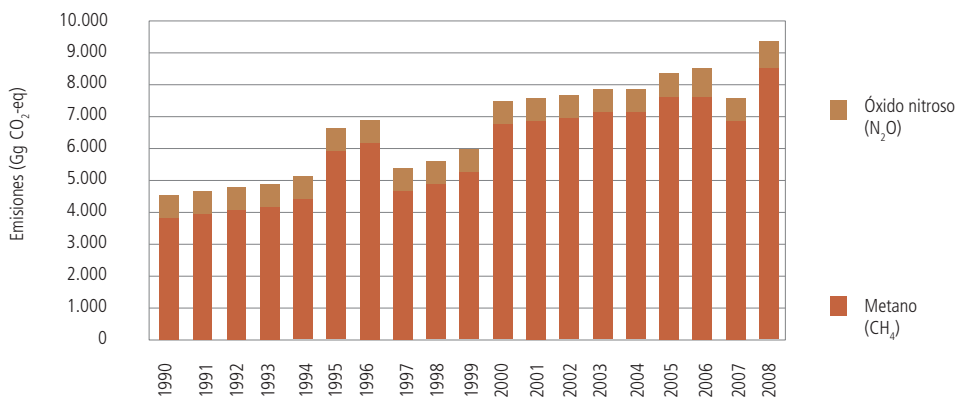


Figura V-11. Composición de las emisiones en el módulo residuos



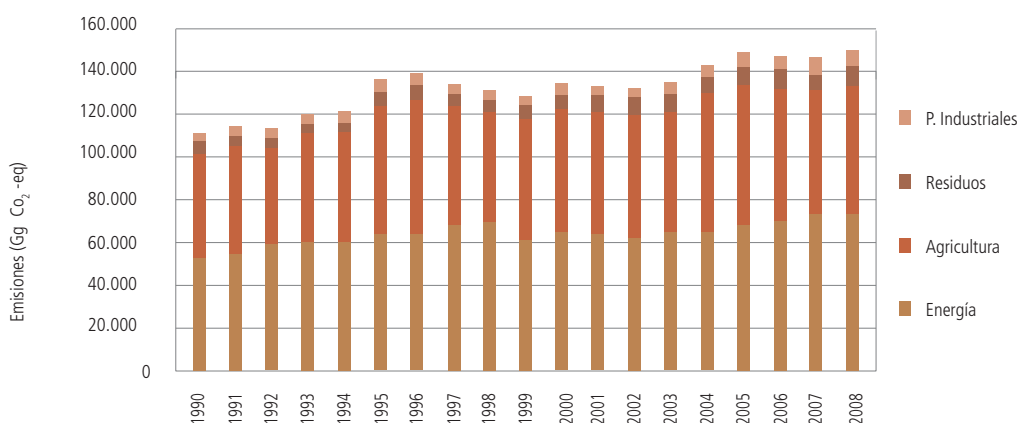
## Anotaciones Finales

Como resultado de este ejercicio se observa que en Colombia las principales fuentes de emisión corresponden al sector energético, seguido del sector agrícola (incluida la producción pecuaria), con un porcentaje de participación con respecto a las emisiones totales del 49% y el 42% respectivamente.

El ejercicio realizado con el inventario permite identificar las principales fuentes de emisión en cada sector, que son: la categoría quema, manipulación o extracción de combustibles fósiles en el módulo de energía; en el módulo de procesos industriales la industria de los minerales no metálicos; en el módulo de agricultura el ganado doméstico (fermentación entérica y manejo de estiércol), seguido por suelos agrícolas y en el módulo de residuos la disposición de residuos sólidos en tierra. Dado que el presente informe no contiene las emisiones de GEI generadas por el sector de Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura, no se presenta la categorización de las fuentes claves a escala nacional.

A lo largo de la serie temporal (Figura V-12) se observa un incremento del 35% en las emisiones de GEI a escala nacional. Sobre este resultado, el sector que presenta un mayor incremento en su tendencia es el módulo de residuos, seguido por el módulo procesos industriales, energía y finalmente agricultura.

Figura V-12. Total de emisiones



Los vacíos de información para algunas de las variables requeridas por las directrices del IPCC constituyen una de los principales retos del ejercicio, debido a que la información recopilada no era constante para cada uno de los años evaluados en el inventario. Esto generó dificultades en el cálculo de las emisiones y su posterior análisis y, probablemente, errores de apreciación por la no inclusión de datos sectoriales. Reconociendo esta y otras debilidades asociadas con la calidad y cantidad de los datos de entrada, así como de las limitaciones impuestas por la no aplicación de factores de emisión nacionales, el IDEAM adelanta el cálculo del nivel de incertidumbre<sup>9</sup> de los datos y emisiones calculadas en el INGEI.

<sup>9</sup> Según las orientaciones del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero publicadas en el año 2000, el término de Incertidumbre hace referencia a la falta de certeza (en cuanto a los componentes del inventario) que se deriva de cualquier factor causal, como pueden ser la existencia de fuentes y sumideros no identificados, la falta de transparencia, etc.

Realizar un inventario de GEI para una serie temporal ha permitido identificar la necesidad de fortalecer los acuerdos institucionales que soportan su desarrollo, con el fin de crear la capacidad de contabilizar las emisiones de GEI de manera más sistemática y de generar la información requerida por las Guías del IPCC de manera consistente y verificada. Una de las posibles respuestas a estas necesidades es la consolidación de un Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero, que además de facilitar la generación y el fortalecimiento de acuerdos interinstitucionales; permita consolidar y unificar un sistema de archivo del inventario, asegurar procesos de control de calidad de los datos, análisis de incertidumbre y promueva procesos de mejora continua a la plataforma bajo la cual se consolida la información sectorial y que permite el cálculo de las emisiones.

A diferencia de los resultados publicados en el Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables 2010, en esta oportunidad, se consolida también los resultados del módulo de agricultura para la serie temporal. Aun así es necesario realizar el análisis de la tendencia de las emisiones calculadas y encontrar una relación con el desarrollo de los mismos sectores, por lo cual el INGEI 1990-2008 se publicara de la mano con la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.

### **Bibliografía Series de tiempo GEI**

*IPCC. (1997). Lineamientos para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del IPCC revisadas en 1996. Tres tomos. París, Francia: PICC, PNUMA, OCDE & AIE.*

*IPCC. (2000). Guía de las Buenas Prácticas y Manejo de Incertidumbre en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del PICC. Unidad de Apoyo Técnico para el Programa de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del PICC. Kanagawa, Japón: PICC.*



IMPRENTA  
NACIONAL  
D E C O L O M B I A

[www.imprenta.gov.co](http://www.imprenta.gov.co)  
PBX (0571) 457 80 00  
Diagonal 22 B No. 67-70  
Bogotá, D. C., Colombia



**IDEAM**

Instituto de Hidrología,  
Meteorología y  
Estudios Ambientales

Carrera 10 No. 20 - 30 Bogotá D.C. - Colombia / [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)