



CAPÍTULO CUATRO

VULNERABILIDAD

AUTORES

MAURICIO BEDOYA S.,
HENRY O. BENAVIDES,
MAURICIO CABRERA L.,
HELIO CARRILLO P.,
CLAUDIA CONTRERAS,
PATRICIA CUERVO C.,
MARTHA DUARTE O.,
CARLOS GÓMEZ,
OMAR JARAMILLO R.,
PEDRO SIMÓN LAMPREA Q.,
GLORIA ESPERANZA LEÓN,
RICARDO JOSÉ LOZANO P.,
RUTH MAYORGA,
GLADYS MORENO,
SALUA OSORIO,
JAVIER PAVA,
ANDREA PIÑERES,
FRANKLIN RUIZ M.,
EDUARDO ANDRÉS TOBÓN Q.

Colaboradores

- David A. Riaño, Héctor Herrera, María Victoria Arciniegas, María Zulema Vélez (**Acolgen**)
- Ángela Forero, (**Asoc. de Bananeros de Colombia**) • Silvia Calderón (**BID**) • José Ignacio Torres (**CCI**)
 - Camila Romero (**CCO**) • Ángela Andrade P. (**CI**) • Miguel Ayarza (**Corpoica**) • Hernando García, Leonardo Moreno (**Dimar**)
 - Roberto C. Angulo S., Francisco A. Espinosa, Juan Fernando Flórez Hernández, Mauricio Santos, Giampiero Renzoni, Ana María Loboguerrero, Daniel Alejandro Ordóñez (**DNP**) • Jaison García (**DNPAD**) • Gustavo Wilches Ch. (**Indep.**) • José Londoño (**EPM**)
 - Néstor M. Riaño (**Fedecafé / Cenicafé**) • Héctor Anzola (**Fedegan**) • Diana Carolina Forero, Laura Mantilla (**Fedepalma**)
 - Joaquín Barrero, Yolanda López (**Fedepapa**) • Carlos Álvarez (**Fed. campesina colombiana**) • Lorena Franco V. (**Fund. Natura**)
 - Fernando Castrillón (**Grupo Semillas**) • Tangmar Marmon (**GTZ**) • Brigitte Luis Guillermo Baptiste, Carlos Pedroza, Juliana Edith Rodríguez, Carolina Useche, Eduardo Zea (**IAvH**) • Henry A. Alterio G., Luz Marina Arévalo, Alejandro Ayala, Jorge Luis Ceballos, Claudia Yaneth Contreras, Julián Javier Corrales C., Omar Franco T., Martha García, Olga Cecilia González, Juanita González L., Margarita Gutiérrez A., Luis Alfonso López, Néstor Javier Martínez A., Óscar Martínez, Laura Noriega, Claudia Olarte V., Andrea Piñeros, Ernesto Rangel M., Camilo Rodríguez, Lina Lucía Sánchez, Fabio Vladimir Sánchez C., Klaus Schutze P. (**Ideam**) • Carol Ramírez, (**Igac**)
 - Diana Álvarez (**Inst. Est. sociales**) • Juan Antonio Clavijo D., Teresa Hernández, Carlos Sierra, (**MADR**)
 - Andrea Albán, Marcela Bonilla, Martha Liliana Cediel, Andrea García, Javier E. Mendoza S., Helmut Nieves, Lorena Santamaría, (**MAVDT**) • Guillermo A. Acevedo M. (**MinTransportes**) • Nelson García P. (**MinInterior**) • Angélica Echavarría, Luis Obando (**Moderación**), Claudia Capera L., Piedad Martín M. (**Pnud**) • María Fernanda Murcia (**SAC**) • Daniel Fonseca (**Sinchi**)
 - Carolina Figueroa (**UAESPNN**) • Diana Cristina Díaz, Edilberto León P. (**U. Jorge Tadeo Lozano**) • Elsy Corrales (**U. Javeriana**)
 - Gerardo Montoya G., José Daniel Pabón (**U. Nacional de Colombia**) • Olga Victoria González G., Héctor H. Herrera F., Beatriz Herrera J., Ricardo Rodríguez Y. (**UPME**) • Javier Sabogal, César Suárez (**WWF**) • Diana Vargas.

Coordinación y Supervisión

Mauricio Cabrera L.
Patricia Cuervo C.
Martha Duarte O.
Ricardo J. Lozano P.
Hebert Rivera

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	201
4.1 EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	201
4.1.1 En el mundo	202
4.1.2 En Colombia	202
4.2 POSIBLES ESCENARIOS FUTUROS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA	202
4.2.1 Escenarios climáticos para Colombia en el periodo 2011 A 2040	207
4.2.2 Escenarios climáticos para Colombia en el periodo 2071 A 2100	207
4.2.3 Comparación de los cambios de precipitación y temperatura entre periodos	209
4.3 OTRAS EVIDENCIAS Y TENDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA	212
4.3.1 Evidencia y tendencia de ablación de los glaciares	212
4.3.2 Áreas marino costeras frente al cambio climático	214
4.4 POSIBLES EFECTOS ADICIONALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO	216
4.4.1 Sensación térmica	216
4.4.2 En la salud humana	216
4.5 VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS	219
4.5.1 Fenómeno El Niño – La Niña (ENOS)	220
4.5.2 Eventos climáticos extremos de precipitación y temperatura	221
4.5.3 Ciclones tropicales en el Caribe	222
4.5.4 Incendios de coberturas vegetales	224
4.6 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL	224
4.6.1 El enfoque y propósito del método	224
4.6.2 Marco de referencia	225
4.6.3 Estructura general	225
4.6.4 Marco metodológico	227
4.6.5 Amenaza	227
4.6.6 Escenarios climáticos	228
4.6.7 Áreas de exposición	228
4.6.8 Decisión de la valoración	229
4.6.9 Evaluación de la sensibilidad ambiental	229
4.6.10 Afectaciones potenciales, impactos o consecuencias	234
4.6.11 Capacidad de adaptación al cambio climático	237
4.6.12 Criterios, variables e indicadores para evaluar la condición técnica actual de adaptación	239
4.6.13 Formas de cuantificar la vulnerabilidad	241
4.6.14 Otros factores o criterios para analizar en la capacidad de adaptación	242
4.6.15 Medidas de adaptación	245
4.6.16 Impactos residuales	245
4.6.17 Análisis del riesgo	245
4.7 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD	246
4.7.1 Priorización de las gestiones y optimización del uso del territorio	246
4.7.2 Limitaciones de la metodología y formas de interpretación de resultados	246
4.8 IMPACTOS POTENCIALES Y VULNERABILIDAD	246
4.8.1 Orobioma alto andino	247
4.8.2 Bosques naturales y plantados	250
4.8.3 Vegetación secundaria, arbustales y herbazales	252
4.8.4 Áreas naturales protegidas	254

	Página
4.8.5 Coberturas herbáceas y arbustivas costeras, lagunas costeras y manglares	258
4.8.6 Áreas agrícolas heterogéneas	259
4.8.7 Cultivos semipermanentes y permanentes	261
4.8.8 Cultivos anuales y/o transitorios	266
4.8.9 Ejercicio indicativo para algunas áreas con cultivos comerciales	268
4.8.10 Áreas en pastos	272
4.8.11 Resguardos indígenas	274
4.8.12 Minifundio campesino	276
4.8.13 Cuerpos de aguas continentales naturales	278
4.8.14 Aguas continentales artificiales	280
4.8.15 En áreas con infraestructura para generación hidroenergética	281
4.8.16 Vulnerabilidad del recurso hídrico	284
4.8.17 Vulnerabilidad de las zonas marino costeras	291
4.8.18 Asentamientos humanos	296
4.9 RESULTADOS DE INTEGRAR LA VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA	297
4.9.1 Variaciones climáticas de Lang esperadas para el periodo 2011 a 2040	297
4.9.2 Variaciones climáticas de Lang esperadas entre el periodos 2041 a 2070	299
4.9.3 Variaciones climáticas de Lang esperadas entre el periodo 2071 a 2100	300
4.9.4 Variaciones climáticas de Lang esperadas para el periodo 2071 a 2100 frente a 1971 a 2000	302
4.9.5 Variación climática de Lang sobre el total nacional	304
4.10 SENSIBILIDAD AMBIENTAL Y RELACIONES CON LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS	305
4.10.1 Relaciones entre la sensibilidad ambiental y el índice de Lang	305
4.10.2 Coincidencias del ensamble multimodelo de precipitación	306
4.10.3 Comparación entre los escenarios de precipitación y la sensibilidad ambiental	307
4.11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	308
BIBLIOGRAFÍA.....	313

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 4.1 Tendencias de la precipitación en los páramos	
Tabla 4.2 Tendencias de las temperaturas a diferentes pisos térmicos	
Tabla 4.3 Modelos globales y regionales utilizados para la generación de escenarios de cambio climático en Colombia	
Tabla 4.4 Extensiones y proporción de los glaciares tropicales	
Tabla 4.5 Evolución del área glaciar de los nevados existentes en Colombia- 2010	
Tabla 4.6 Impactos del aumento en el nivel del mar en las zonas costeras y factores asociados	
Tabla 4.7 Índice de confort térmico	
Tabla 4.8 Variables y cambio observados en dengue y malaria	
Tabla 4.9 Consecuencias del Fenómeno El Niño 97-98	
Tabla 4.10 Clasificación de los rangos de variación de la precipitación con respecto al clima presente	
Tabla 4.11. Clasificación de los rangos de temperatura	
Tabla 4.12. Matriz de Análisis para la Decisión (MAD) del cruce de variables	
Tabla 4.13 Clasificación de la aridez	
Tabla 4.14 Distribución de los niveles de desertificación	
Tabla 4.15 Matriz para calificar el índice Relativo de Afectación (IRA)	
Tabla 4.16 Componentes del índice Sisben III	
Tabla 4.17 Criterios, variables y algunos indicadores para la adaptación planificada (condición técnica)	
Tabla 4.18 Registro de eventos con afectación a los sistemas de acueducto	
Tabla 4.19 Registro histórico de eventos por ente territorial que afectan los sistemas de acueducto	
Tabla 4.20 Escenarios climáticos para el perfil de vulnerabilidad	
Tabla 4.21 Escenarios socioeconómicos	
Tabla 4.22 Perfil de vulnerabilidad del sistema natural	
Tabla 4.23 Población a trasladar y valor en pérdida bajo los distintos escenarios.	
Tabla 4.24 Población afectada con dos niveles de inundación	
Tabla 4.25 Población afectada con dos diferentes niveles de inundación	
Tabla 4.26 Áreas urbanas en proceso de desertificación	
Tabla 4.28 Comparación de resultados de los escenarios A2 (2071-2100) con el ISA	

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 4.1 Tendencia de la temperatura del aire para el periodo 1971 a 2000	
Figura 4.2 Tendencia de la precipitación media periodo 1971 a 2000	
Figura 4.3 Diferencias de temperatura mínima y máxima entre el clima de 2011 a 2040 vs. 1971 a 2000	
Figura 4.4 Mapa con la diferencia de temperatura media del multimodelo para el periodo 2011 a 2040 vs 1971 a 2000	
Figura 4.5 Mapa con el cambio en el porcentaje de precipitación del multimodelo del periodo 2011 a 2040 vs 1971 a 2000	
Figura 4.6 Diferencias de temperatura mínima (Izq.), y máxima entre el clima de 2071 a 2100 vs 1971 a 2000	
Figura 4.7 Mapa con la diferencia de temperatura media del multimodelo para periodo 2071 a 2100 vs 1971 a 2000	
Figura 4.8 Mapa con el cambio en el porcentaje de precipitación del multimodelo del periodo 2071 a 2100 vs 1971 a 2000	
Figura 4.9 Variación de la precipitación media anual (multimodelo) para diferentes periodos, respecto a 1971 a 2000	
Figura 4.10 Variación de la precipitación (mm/año) con el multimodelo para los diferentes periodos, respecto a 1971 a 2000	
Figura 4.11 Variación de la temperatura media anual (multimodelo) para diferentes periodos, respecto a 1971 a 2000	
Figura 4.12 Evolución del área glaciar de los seis nevados existentes en Colombia	
Figura 4.13 Evolución del índice de confort térmico por periodos	
Figura 4.14 Evolución de los índices de transmisión de malaria en Colombia en el periodo 1959-2005.	
Figura 4.15 Número de reportes hidrometeorológicos registrados entre los años 1950 y 2007	
Figura 4.16 Ocurrencia de ciclones tropicales y huracanes (1851-2005) en el Caribe (9°N a 18°N y 54°W a 84°W)	
Figura 4.17 Ocurrencia de huracanes, según la escala Saffir-Simpson 3, 4 y 5 (1851-2005) en el Caribe (9°N a 18°N y 54°W a 84°W)	
Figura 4.18 Serie temporal y tendencia lineal de ciclones tropicales entre 1951 y 2005, en el Caribe (9°N a 18°N y 54°W a 84°W)	
Figura 4.19 Serie temporal y tendencia de ciclones tropicales entre 1979 y 2005, en el Caribe (9°N a 18°N y 54°W a 84°W)	

Figura 4.20 Serie temporal del índice de temperatura media global océano/tierra y de frecuencia de ciclones tropicales para los periodos 1951-2005 y 1979-2005 en el Mar Caribe, entre 9°N y 18°N, y 54°W a 84°W.

Página

Figura 4.21 Metodología general para el análisis de la vulnerabilidad	
Figura 4.22 Estructura metodológica para evaluar la vulnerabilidad	
Figura 4.23 Variables empleadas para obtener el índice de sensibilidad ambiental o biofísica (ISA)	
Figura 4.24 Distribución porcentual de la desertificación en Colombia % 2008.	
Figura 4.25 Mapa degradación de suelos y tierras por desertificación	
Figura 4.26 Mapa con el índice de sensibilidad ambiental	
Figura 4.27 Variación de lluvias según multimodelo (2071-2100)	
Figura 4.28 Mapa con los impactos potenciales	
Figura 4.29 Mapa con el índice relativo de afectación	
Figura 4.30 Mapa de impactos potenciales (ISA/IRA/Escenario multimodelo 2011 a 2040)	
Figura 4.31 Mapa con la capacidad socioeconómica (Sisben)	
Figura 4.32 Mapa con la capacidad de adaptación	
Figura 4.33 Mapa con la vulnerabilidad ambiental del territorio 2011 a 2040	
Figura 4.34 Mapa con la vulnerabilidad ambiental del territorio 2071 a 2100	
Figura 4.35 Mapa con la vulnerabilidad conjunta (Ambiental + Poblacional) del territorio 2011 a 2040	
Figura 4.36 Mapa con la vulnerabilidad conjunta (Ambiental + Poblacional) del territorio 2071 a 2100	
Figura 4.37 PIB departamental (M\$ año 2000)	
Figura 4.38 NBI departamental 2005	
Figura 4.39 Mapa de índice de gestión municipal	
Figura 4.40 Mapa Índice de NBI municipal, 2005	
Figura 4.41 Impacto potencial en el Orobioma Alto Andino 2011 a 2040	
Figura 4.42 Impacto potencial en el Orobioma Alto Andino 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.43 Impacto potencial en los ecosistemas del Orobioma Alto Andino 2011 a 2040	
Figura 4.44 Impacto potencial en los ecosistemas del Orobioma Alto Andino 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.45 Vulnerabilidad en ecosistemas del Orobioma Alto Andino 2011 a 2040	
Figura 4.46 Vulnerabilidad en ecosistemas del Orobioma Alto Andino 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.47 Impactos potenciales en ecosistemas del Orobioma Alto Andino 2071 a 2100	
Figura 4.48 Impactos potenciales en ecosistemas del Orobioma Alto Andino 2071 a 2100 (%)	
Figura 4.49 Impacto potencial en las áreas de bosques naturales y plantados 2011 a 2040	
Figura 4.50 Impacto potencial en las áreas de bosques naturales y plantados 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.51 Vulnerabilidad en bosques naturales y plantados 2011 a 2040	
Figura 4.52 Vulnerabilidad en bosques naturales y plantados 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.53 Impacto potencial en las áreas de bosques naturales y plantados 2071 a 2100	
Figura 4.54 Impacto potencial en las áreas de bosques naturales y plantados 2071 a 2100 (%)	
Figura 4.55 Impacto potencial en áreas con vegetación secundaria, arbustales y herbazales 2011 a 2040	
Figura 4.56 Impacto potencial en áreas con vegetación secundaria, arbustales y herbazales 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.57 Vulnerabilidad estimada en áreas con vegetación secundaria, arbustales y herbazales 2011 a 2040	
Figura 4.58 Vulnerabilidad estimada en áreas con vegetación secundaria, arbustales y herbazales 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.59 Impacto potencial en áreas con vegetación secundaria, arbustales y herbazales 2071 a 2100	
Figura 4.60 Impacto potencial en áreas con vegetación secundaria, arbustales y herbazales 2071 a 2100 (%)	
Figura 4.61 Impacto potencial en las áreas nacionales naturales protegidas 2011 a 2040	
Figura 4.62 Impacto potencial en las áreas nacionales naturales protegidas 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.63 Impacto potencial sobre las áreas naturales protegidas (sin las RFP y RFPP) 2011 a 2040	
Figura 4.64 Impacto potencial sobre las áreas naturales protegidas (sin las RFP y RFPP) 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.65 Impacto potencial sobre las áreas de RFP y RFPP 2011 a 2040	
Figura 4.66 Impacto potencial sobre las áreas de RFP y RFPP 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.67 Vulnerabilidad en las áreas nacionales naturales protegidas 2011 a 2040	
Figura 4.68 Vulnerabilidad en las áreas nacionales naturales protegidas 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.69 Impacto potencial en las áreas nacionales naturales protegidas 2071 a 2100	
Figura 4.70 Impacto potencial en las áreas nacionales naturales protegidas 2071 a 2100 (%)	
Figura 4.71 Impacto potencial sobre las áreas naturales protegidas, sin RFP y RFPP 2071 a 2100	
Figura 4.72 Mapa con el impacto potencial sobre las áreas naturales protegidas (sin RFP y RFPP) 2011 a 2040	
Figura 4.73 Mapa con el impacto potencial sobre las áreas naturales protegidas (sin RFP y RFPP) 2071 a 2100	
Figura 4.74 Impacto potencial en áreas de manglar, herbáceas, arbustivas y lagunas costeras 2011 a 2040	
Figura 4.75 Impacto potencial en áreas de manglar, herbáceas, arbustivas y lagunas costeras 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.76 Vulnerabilidad en áreas de manglar, herbáceas, arbustivas y lagunas costeras 2011 a 2040	
Figura 4.77 Vulnerabilidad en áreas de manglar, herbáceas, arbustivas y lagunas costeras 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.78 Impacto potencial en áreas de manglar, herbáceas, arbustivas y lagunas costeras 2071 a 2100	
Figura 4.79 Impacto potencial en áreas de manglar, herbáceas, arbustivas y lagunas costeras 2071 a 2100 (%)	

Figura 4.80 Impactos potenciales en áreas agrícolas heterogéneas 2011 a 2040	
Figura 4.81 Impacto potencial en áreas agrícolas heterogéneas 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.82 Vulnerabilidad en áreas agrícolas heterogéneas 2011 a 2040	
Figura 4.83 Vulnerabilidad en áreas agrícolas heterogéneas 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.84 Impactos potenciales en áreas agrícolas heterogéneas 2071 a 2100	
Figura 4.85 Impacto potencial en áreas agrícolas heterogéneas 2071 a 2100 (%)	
Figura 4.86 Impactos potenciales en cultivos semipermanentes y permanentes 2011 a 2040	
Figura 4.87 Impactos potenciales en cultivos semipermanentes y permanentes 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.88 Vulnerabilidad en áreas de cultivos permanentes y semipermanentes 2011 a 2040	
Figura 4.89 Vulnerabilidad en áreas de cultivos permanentes y semipermanentes 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.90 Impacto potencial en áreas de cultivos permanentes y semipermanentes 2071 a 2100	
Figura 4.91 Impacto potencial en áreas de cultivos permanentes y semipermanentes 2071 a 2100 (%)	
Figura 4.92 Impacto potencial en áreas con cultivo de café variedad Caturra, periodos 2011 a 2040	
Figura 4.93 Impacto potencial en áreas con cultivo de café variedad Caturra, periodos 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.94 Impacto potencial en sitios con cultivo de café Caturra, periodo 2011 a 2040	
Figura 4.95 Impacto potencial en sitios con cultivo de café Caturra, periodo 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.96 Impacto potencial en sitios con cultivo de Café Típica periodo: 2011 a 2040	
Figura 4.97 Impacto potencial en sitios con cultivo de Café Típica periodo: 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.98 Impacto potencial en sitios con cultivo de Café Colombia periodo: 2011 a 2040	
Figura 4.99 Impacto potencial en sitios con cultivo de Café Colombia periodo: 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.100 Vulnerabilidad en las áreas de cultivo de café Caturra 2011 a 2040	
Figura 4.101 Vulnerabilidad en las áreas de cultivo de café Caturra 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.102 Impactos potenciales (ha) en el cultivo el cultivo del Café Caturra 2071 a 2100	
Figura 4.103 Impactos potenciales (%) en el cultivo el cultivo del Café Caturra: 2071 a 2100	
Figura 4.104 Impactos potenciales en las áreas de los cultivos anuales y/o transitorios 2011 a 2040	
Figura 4.105 Impactos potenciales en las áreas de los cultivos anuales y/o transitorios 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.106 Vulnerabilidad en las áreas de los cultivos anuales y/o transitorios 2011 a 2040	
Figura 4.107 Vulnerabilidad en las áreas de los cultivos anuales y/o transitorios 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.108 Impactos potenciales en las áreas de los cultivos anuales y/o transitorios 2071 a 2100	
Figura 4.109 Impactos potenciales en las áreas de los cultivos anuales y/o transitorios 2071 a 2100 (%)	
Figura 4.110 Impacto potencial en los cultivos de arroz con riego (ha) 2011 a 2040	
Figura 4.111 Impacto potencial en áreas de cultivos de arroz con riego (%) 2011 a 2040	
Figura 4.112 Vulnerabilidad relativa en los cultivos de arroz con riego (ha) 2011 a 2040	
Figura 4.113 Vulnerabilidad relativa en áreas de cultivos de arroz con riego (%) 2011 a 2040	
Figura 4.114 Impacto potencial en los cultivos de arroz con riego (ha) 2071 a 2100	
Figura 4.115 Impacto potencial en los cultivos de arroz con riego (ha) 2071 a 2100 (%)	
Figura 4.116 Impactos potenciales en las áreas de cultivos de palma de aceite (ha) 2011 a 2040	
Figura 4.117 Impactos potenciales en las áreas de cultivos de palma de aceite (%) 2011 a 2040	
Figura 4.118 Vulnerabilidad relativa en las áreas de cultivo de palma de aceite (ha) 2011 a 2040	
Figura 4.119 Vulnerabilidad relativa en las áreas de cultivo de palma de aceite (%) 2011 a 2040	
Figura 4.120 Impactos potenciales en las áreas de cultivos de palma de aceite (ha) 2071 a 2100	
Figura 4.121 Impactos potenciales en las áreas de cultivos de palma de aceite (%) 2071 a 2100	
Figura 4.122 Impactos potenciales en el cultivo de caña de azúcar 2011 a 2040	
Figura 4.123 Impactos potenciales en el cultivo de caña de azúcar (%) 2011 a 2040	
Figura 4.124 Vulnerabilidad estimada (ha) en las áreas de cultivo de caña de azúcar 2011 a 2040	
Figura 4.125 Vulnerabilidad estimada (%) en las áreas de cultivo de caña de azúcar 2011 a 2040	
Figura 4.126 Impactos potenciales en el cultivo de caña de azúcar 2071 a 2100	
Figura 4.127 Impactos potenciales en el cultivo de caña de azúcar (%) 2071 a 2100	
Figura 4.128 Vulnerabilidad estimada y áreas de cultivo de café 2011 a 2040	
Figura 4.129 Vulnerabilidad estimada y áreas de cultivo de arroz, caña de azúcar y palma de aceite 2011 a 2040	
Figura 4.130 Impacto potencial en áreas con pasturas 2011 a 2040	
Figura 4.131 Impacto potencial en áreas con pasturas 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.132 Vulnerabilidad en áreas con pasturas 2011 a 2040	
Figura 4.133 Vulnerabilidad en áreas con pasturas 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.134 Impactos potenciales en áreas con pasturas 2071 a 2100	
Figura 4.135 Impactos potenciales en áreas con pasturas 2071 a 2100 (%)	
Figura 4.136 Impacto potencial en las áreas de resguardos indígenas 2011 a 2040	
Figura 4.137 Impacto potencial en las áreas de resguardos indígenas 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.138 Vulnerabilidad en las áreas de resguardos indígenas 2011 a 2040	
Figura 4.139 Vulnerabilidad en las áreas de resguardos indígenas 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.140 Impacto potencial en las áreas de resguardos indígenas 2071 a 2100	
Figura 4.141 Impacto potencial en las áreas de resguardos indígenas 2071 a 2100 (%)	
Figura 4.142 Impacto potencial en los minifundios campesinos (ha) 2011 a 2040	
Figura 4.143 Impacto potencial en los minifundios campesinos (%) 2011 a 2040	
Figura 4.144 Vulnerabilidad en los minifundios campesinos (ha) 2011 a 2040	
Figura 4.145 Vulnerabilidad en los minifundios campesinos (%) 2011 a 2040	
Figura 4.146 Impactos potenciales en los minifundios campesinos 2071 a 2100	
Figura 4.147 Impactos potenciales en los minifundios campesinos 2071 a 2100 (%)	

Figura 4.148 Impacto potencial en áreas de aguas continentales naturales 2011 a 2040	
Figura 4.149 Impacto potencial en áreas de aguas continentales naturales 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.150 Vulnerabilidad en áreas de aguas continentales naturales 2011 a 2040	
	Página
Figura 4.151 Vulnerabilidad en áreas de aguas continentales naturales 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.152 Impacto potencial en áreas de aguas continentales naturales 2071 a 2100	
Figura 4.153 Impacto potencial en áreas de aguas continentales naturales 2071 a 2100 (%)	
Figura 4.154 Impacto potencial en las aguas continentales artificiales 2011 a 2040	
Figura 4.155 Impacto potencial en las aguas continentales artificiales 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.156 Vulnerabilidad en áreas de aguas continentales naturales 2071 a 2100	
Figura 4.157 Vulnerabilidad en áreas de aguas continentales naturales 2071 a 2100 (%)	
Figura 4.158 Impacto potencial en las aguas continentales artificiales 2071 a 2100	
Figura 4.159 Impacto potencial en las aguas continentales artificiales 2071 a 2100 (%)	
Figura 4.160 Impacto potencial en el número de unidades para generación hidroeléctrica 2011 a 2040	
Figura 4.161 Impacto potencial en la capacidad de generación hidroeléctrica 2011 a 2040	
Figura 4.162 Impacto potencial en los nuevos proyectos de generación hidroeléctrica para el periodo 2011 a 2040	
Figura 4.163 Impacto potencial (Ener-Med.) en los nuevos proyectos de generación hidroeléctrica para el periodo 2011 a 2040	
Figura 4.164 Impacto potencial en el número de unidades para generación hidroeléctrica 2071 a 2100	
Figura 4.165 Impacto potencial en la capacidad de generación hidroeléctrica 2071 a 2100	
Figura 4.166 Alteración de la escorrentía fase Cálida ENSO.	
Figura 4.167 Alteración escorrentía fase Fría ENSO	
Figura 4.168 Cambios potenciales en el rendimiento hídrico por zonas hidrológicas 2011 a 2040.	
Figura 4.169 Cambios potenciales en el rendimiento hídrico por zonas hidrológicas 2071 a 2100	
Figura 4.170 Mapa de áreas inundables de la zonificación de zonas morfológicas	
Figura 4.171 Mapa de susceptibilidad por remoción en masa	
Figura 4.172 Precipitación y ocurrencia de deslizamientos en departamentos grupo 1	
Figura 4.173 Número de deslizamientos registrados en los periodos Niño y Niña analizados	
Figura 4.174. Áreas de inundación para las costas Caribe, Pacífica y Caribe insular ante ascenso del nivel del mar de 1 m.	
Figura 4.175 Impacto potencial en áreas urbanas 2011 a 2040	
Figura 4.176 Impacto potencial en áreas urbanas 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.177 Vulnerabilidad en áreas urbanas 2011 a 2040	
Figura 4.178 Vulnerabilidad en áreas urbanas 2011 a 2040 (%)	
Figura 4.179 Clasificación climática de Lang a partir clima presente (1971 a 2000)	
Figura 4.180 Diferencia de la clasificación climática de Lang entre el clima presente y el periodo 2011 a 2040	
Figura 4.181 Variación (ha) por ente territorial de la clasificación climática de Lang (2011 a 2040) - (1971 a 2000)	
Figura 4.182 Variación (%) por ente territorial de la clasificación climática de Lang (2011 a 2040) - (1971 a 2000)	
Figura 4.183 Clasificación climática de Lang para el periodo 2011 a 2040	
Figura 4.184 Diferencia de la clasificación climática de Lang entre 2011 a 2040 y 2041 a 2070	
Figura 4.185 Clasificación climática de Lang para el periodo 2041 a 2070	
Figura 4.186 Diferencia de la clasificación climática de Lang entre 2041 a 2070 y 2071 a 2100	
Figura 4.187 Variación por ente territorial de la clasificación climática de Lang (2041 a 2070) - (1971 a 2000)	
Figura 4.188 Variación (%) por ente territorial de la clasificación climática de Lang (2041 a 2070) - (1971 a 2000)	
Figura 4.189 Clasificación climática de Lang para el periodo 2071 a 2100	
Figura 4.190 Diferencia de la clasificación climática de Lang entre 2041 a 2070 y 2071 a 2100	
Figura 4.191 Diferencias de la variación de la clasificación climática de Lang entre 2071 a 2100 y 1971 a 2000	
Figura 4.192 Diferencias (%) de la variación de la clasificación climática de Lang entre el 2071 a 2100 y 1971 a 2000	
Figura 4.193 Condición de referencia y variación de la clasificación climática de Lang	
Figura 4.194 Variación porcentual de la clasificación climática respecto a los diferentes periodos de análisis	
Figura 4.195 Mapas de frecuencias de la variación de lluvia (80 a 120%) por periodo (2011 a 2040 Izq. y 2071 a 2100 Der.)	
Figura 4.196 Cambio (%) de la precipitación escenario A2 (2071 a 2100)	
Figura 4.197 Mapa del ensamble multimodelo de precipitación (2071 a 2100))	
Figura 4.198 Mapa de sensibilidad ambiental (ISA)	

CONTENIDO DE CUADROS

Cuadro 4.1 Escenarios de emisiones del informe especial de IPCC sobre escenarios de emisiones (IE-EE)	
Cuadro 4.2 Resumen de las características líneas argumentales de los cuatro IE-EE	
Cuadro 4.3 La desertificación	
Cuadro 4.4 Proceso de salinización	
Cuadro 4.5 Grados de erosión	
Cuadro 4.6 Definiciones: Capacidad de adaptación	

CONTENIDO DE FOTOS

Foto 4.1 Portada capítulo 4. Mujer indígena Nasa, resguardo de Pitayó. Silvia (Cauca). 2008. Mario G. González G.	
---	--

INTRODUCCIÓN

Los diferentes procesos relacionados con los eventos derivados del clima son un desafío que superan las disciplinas, sectores y condiciones político-administrativas de cualquier organización, región o interés. Se requiere, por consiguiente, la integración y voluntad para trabajar y compartir información, capacidades, estrategias y recursos para generar sinergias que permitan optimizar el manejo para hacerle frente a problemas identificados y asociados con temas de la mayor relevancia. En términos generales, los temas a destacar son, entre otros: la conservación de los bienes y servicios ambientales, la sostenibilidad de los procesos productivos, la calidad de vida, la seguridad alimentaria, la protección de las poblaciones más vulnerables, que en suma son decisivos para la gestión del riesgo derivado por la variabilidad y el cambio climático.

En efecto, la temática que se presenta en este capítulo se relaciona en líneas generales con los programas que comprenden medidas para facilitar una adecuada adaptación al cambio climático. Por consiguiente, se presenta información y aspectos relevantes para:

- Entender y evaluar la vulnerabilidad e impactos del cambio climático y la adaptación al mismo.
- Una presentación resumida de los sistemas humanos, los sectores y las áreas o ecosistemas que son más vulnerables.
- Problemas ambientales (p. ej.: erosión, conservación, deforestación, desertificación, servicios ambientales, inundaciones, etc.) y sus relaciones con el clima y las condiciones socioeconómicas.
- Limitaciones de las evaluaciones de vulnerabilidad, respecto a las metodologías, capacidades técnicas, institucionales y financieras.

Lo anterior sin olvidar que la vulnerabilidad de un país frente a las condiciones extremas por factores y elementos del clima está relacionada principalmente con:

- La difusión y comprensión de la información climática, socioeconómica y cultural.
- La capacidad técnica para aplicar instrumentos, estrategias y medidas preventivas.
- La disponibilidad de recursos financieros para aplicar esas medidas.

El contenido del capítulo se orientó a mostrar el análisis realizado sobre diferentes componentes de las evidencias del cambio climático, el cual posteriormente se relaciona con el análisis de la vulnerabilidad de manera individual para ciertos sectores y áreas. Para evaluar la vulnerabilidad, se muestra una metodología que aborda el análisis sistémico y conjunto de la evaluación de la vulnerabilidad para todo el país.

Para la evaluación de la vulnerabilidad con un enfoque nacional, se tomó como referencia el marco esquemático que relaciona causas, impactos y respuestas al cambio climático presentado tanto por el IPCC en el Cuarto Informe de Evaluación (2007), como el modelo conceptual presentado por la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA¹, 2008).

Al final, se genera una visión preliminar de la evaluación de la vulnerabilidad, con base en los resultados obtenidos para diferentes sectores y ecosistemas en todo el territorio nacional.

4.1 EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Algunos de los aspectos fundamentales para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático se basa en conocer las evidencias del cambio climático junto con los impactos de los escenarios futuros de dicho cambio o variabilidad

¹ European Environment Agency.

climática. Al respecto se destacan los análisis relacionados con los eventos derivados de los cambios de precipitación y la temperatura, así como los fenómenos asociados con las amenazas hidrometeorológicas como son los ciclones, deslizamientos, incendios de coberturas vegetales, entre otros.

En el Cuarto Informe de Evaluación (CIE) del panel intergubernamental de expertos sobre cambio climático (IPCC, 2007) se presentan los efectos del calentamiento global, los cuales traen fenómenos asociados con el ascenso del nivel del mar y cambios en la precipitación que en diversa forma y grado afectarán los ecosistemas y los sistemas socioeconómicos de las diferentes regiones del planeta. Todos los países serán impactados por tales fenómenos y Colombia no es la excepción.

De cara a tales efectos, el Ideam ha venido desarrollando diversas investigaciones para detectar las evidencias del cambio climático en Colombia y para elaborar los escenarios climáticos que con mayor posibilidad se podrían presentar en los próximos decenios. En la actualidad, con base en los estudios adelantados y la participación de diversas entidades y sectores productivos, se dispone del conocimiento sobre el cambio climático en Colombia, el cual se resume a continuación.

4.1.1 En el mundo

El calentamiento del sistema climático es una realidad, evidenciado principalmente en los incrementos en la temperatura promedio global del aire y el océano, en el derretimiento de la nieve glacial y el hielo en los polos y en el aumento en el nivel del mar. Según el Cuarto Informe del IPCC (2007) se tiene las siguientes evidencias al respecto:

- Once de los últimos doce años (1995 a 2006) se encuentran entre los doce años más calurosos en los registros instrumentales de la temperatura superficial mundial (desde 1850). La tendencia lineal de 100 años actualizada (1906 a 2005) de 0,74°C [0,56°C a 0,92°C] es, por lo tanto, mayor que la tendencia correspondiente de 1901 a 2000 de 0,6°C [0,4°C a 0,8°C] presentada en el Tercer Informe de Evaluación (TIE). La tendencia lineal del calentamiento de los últimos 50 años [0,13°C [0,10°C a 0,16°C] por decenio) casi duplica la de los últimos 100 años. Además, los efectos de islas de calor urbanas son reales pero locales, y ejercen una influencia no significativa (menos de 0,006°C por decenio en la tierra y cero en los océanos) en estos valores. Otra señal importante de cambio en el clima global es que el decenio de 1990 ha sido considerado como el periodo más cálido y 1998 el año más caluroso, de acuerdo con los registros instrumentales (1850 a 2005).
- Varios de los incrementos observados en la temperatura promedio global desde la mitad del siglo XX, son debidos muy probablemente, al incremento observado en las concentraciones de los gases de efecto invernadero. La influencia humana ahora se extiende a otros aspectos del clima, como en las temperaturas extremas (máxima y mínima), regímenes de vientos y en el calentamiento mayor en los continentes que sobre el océano.
- Se estima que se podrían presentar aumentos entre 89 y 879 mm, con un valor central de 480 mm, para el periodo 1990 a 2100 (IPCC, 2001). Dentro del documento resumen para responsables de políticas (IPCC, 2007), se enuncia que el nivel medio del mar en el mundo se elevó a un ritmo medio de 1,8 (1,3 a 2,3) mm anuales desde 1961 a 2003. El ritmo fue más acelerado entre 1993-2003, aproximadamente 3.1 mm (2,4 a 3,8) por año.
- Tales aumentos se asocian principalmente en la expansión térmica del océano (con un aporte de 1,6 mm por año) y, en segunda medida, con el derretimiento de capas de hielo y glaciares (con el 0,77 mm por año). El aumento total en el nivel del mar observado en el siglo XX fue de 17 cm.
- La disminución observada de las extensiones de nieve y de hielo concuerda también con el calentamiento. Datos satelitales obtenidos desde 1978, indican que el promedio anual de la extensión de los hielos marinos árticos ha disminuido en un 2,7% (entre 2,1 y 3,3%) por decenio, con disminuciones estivales aún más acentuadas, de 7,4% (entre 5,0 y 9,8) por decenio. En promedio, los glaciares de montaña y la cubierta de nieve han disminuido en ambos hemisferios.
- Las observaciones evidencian un aumento de la actividad ciclónica tropical intensa en el Atlántico Norte aproximadamente desde 1970, con escasa evidencia de aumentos en otras regiones. No se aprecia una tendencia clara del número anual de ciclones tropicales. Es difícil identificar tendencias a más largo plazo de la actividad ciclónica, particularmente antes de 1970.

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

4.1.2 En Colombia

4.1.2.1 Temperatura y precipitación

Para realizar una evaluación complementaria del comportamiento de la lluvia y de la temperatura, el Ideam ha generado indicadores sobre algunas evidencias del cambio climático en Colombia, basados en el análisis de las series históricas de la precipitación acumulada diaria y de los extremos diarios de temperatura (mínima y máxima), utilizando el *Rclimdex*. Dicha herramienta es un programa estadístico desarrollado por el Centro Nacional de Datos Climáticos de la NOAA de los Estados Unidos que calcula índices de extremos climáticos para monitorear y detectar el cambio climático. También se analizaron las series de la temperatura media a través del cálculo de las tendencias.

De tales estudios, realizados en el territorio nacional por el Ideam, se ha identificado un comportamiento uniforme del incremento de la temperatura, mientras que las lluvias muestran disminuciones en unos sitios y aumentos en otros, lo cual está ligado en gran parte a la variabilidad topográfica del país y a la exposición que tienen las diferentes regiones a las corrientes de aire cargadas de humedad.

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

Al examinar la información del indicador Prctot (precipitación total anual), generado por dicho programa, se encontró que en las estaciones de páramo (entre los 3000 y 4200 m) y cercanas a este piso térmico, hay una tendencia hacia la disminución de las precipitaciones anuales (Ideam-Benavides, 2009), véase la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Tendencias de la precipitación en los páramos

Piso Térmico Páramo		
Nombre Estación	Elevación	Tendencia (mm/año)
Las Brisas (Villamaría, Caldas)	4.141	-2,8
Sierra Nevada El Cocuy (Guicán, Boyacá)	3.716	-13,6
El Cardón (Socotá, Boyacá)	3.590	-10,6
El Paraíso (Túquerres, Nariño)	3.120	-0,6
Cusagui (La Uvita, Boyacá)	2.950	-3,9
Granja San Jorge (Soacha, Cundinamarca)	2.900	-1,5

Fuente: Ideam-Benavides, 2009

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

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

En las estaciones de páramo alto, se presentan fuertes incrementos en la temperatura máxima (asociada con el día), cercanos a un grado Celsius por década, mientras que, en las zonas de subpáramo y bosque Alto Andino, los incrementos están entre 0,3°C y 0,6 °C por década. Estos incrementos tan altos en estas zonas, pueden estar asociados con el aire más limpio y con la delgada la capa atmosférica que deben recorrer los rayos solares (especialmente la radiación UV que tiene un alto contenido energético). En la temperatura mínima (asociada con las horas de la noche y la madrugada), los incrementos en las estaciones de páramo son muy bajos. Incluso, cabe resaltar el hecho de que en las estaciones El Cocuy, El Cardón, El Paraíso y El Túnel se presentan leves tendencias negativas (disminuciones), tal como se muestra en la Tabla 4.2.

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

Tabla 4.2 Tendencias de las temperaturas a diferentes pisos térmicos

Nombre Estación	Elevación	Tendencia en °C/10 años		
		Temperatura máxima	Temperatura media	Temperatura mínima
PISO TÉRMICO PÁRAMO ALTO (entre 3701 y 4200 metros)				
Las Brisas (Villamaría, Caldas)	4141	(+) 1,17	(+) 0,29	(+) 0,24
Sierra Nevada El Cocuy (Guicán, Boyacá)	3716	(+) 0,97	(+) 0,52	(-) 0,36
PISO TÉRMICO PÁRAMO BAJO (entre 3001 y 3700 metros)				
El Cardón (Socotá, Boyacá)	3590	(+) 0,40	(+) 0,20	(-) 0,23
Berlín (Tona, Santander)	3214	(+) 0,37	(+) 0,07	(+) 0,04
El Paraíso (Túquerres, Nariño)	3120	(+) 0,54	(+) 0,05	(-) 0,04
El Túnel (Cuitiva, Boyacá)	3002	(+) 0,46	(+) 0,28	(-) 0,06
Cusagui (La Uvita, Boyacá)	2950	(+) 0,36	(+) 0,12	(+) 0,06
PISO TÉRMICO FRIO (entre 2001 y 3000 metros)				
Aeropuerto Eldorado, Bogotá	2547	(+) 0,12	(+) 0,12	(+) 0,42
Tibaitatá, Cundinamarca	2543	(+) 0,30	(+) 0,35	(+) 0,34
PISO TÉRMICO TEMPLADO (entre 1001 y 2000 metros)				
Aeropuerto Antonio Nariño, Pasto	1796	(-) 0,04	(-) 0,07	(-) 0,01
Aeropuerto Olaya Herrera, Medellín	1490	(+) 0,04	(+) 0,33	(+) 0,38
Aeropuerto El Edén, Armenia	1204	(-) 0,06	(-) 0,11	(+) 0,07
PISO TÉRMICO CALIDO (entre 0 y 1000 metros)				
Aeropuerto Sesquicentena, San Andrés	1	(+) 0,38	(+) 0,095	(-) 0,07
Aeropuerto Simón Bolívar, Santa Marta	4	(+) 0,41	(+) 0,14	(+) 0,23
Aeropuerto El Caraño, Quibdó	53	(+) 0,099	(+) 0,12	(+) 0,16
Aeropuerto Vásquez Cobo, Leticia	84	(+) 0,16	(+) 0,22	(+) 0,26

Fuente: Ideam-Benavides, 2009

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

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

4.1.2.2 Evidencias con el uso de modelos de alta resolución

Con base en los estudios realizados por el Ideam-Ruiz (2010), mediante el análisis comparativo de la evidencia de cambio climático entre las observaciones y los resultados de los modelos regionales, se pudo verificar los beneficios de los modelos *Precis* (*Providing Regional Climates for Impacts Studies*, del Reino Unido) y *GSM-MRI* (*Global Spectral Model - Meteorological Research Institute* del Japón) en la representación de la evolución temporal de los patrones meteorológicos locales.

A continuación se presenta una reseña donde se muestran los resultados principales de los cambios y tendencias de la precipitación y temperatura para diferentes periodos (entre el 2011 y 2100), tomando como referencia el periodo 1971 a 2000, denominado como normal climatológica², con base en las observaciones del Ideam (más de 3.840 estaciones de precipitación, 680 temperatura y 610 de humedad relativa), y la aplicación de las metodologías sugeridas por Jones *et al.*, (2004). Para generar los escenarios de cambio climático se utilizaron tres modelos regionales (el modelo global de alta resolución del Japón GSM-MRI con resolución horizontal de 20 km * 20 km; *Precis* de Reino Unido con resolución horizontal de 25 km * 25 km y el modelo WRF con el cual se generaron resultados a 4 km * 4 km para la región Andina). El clima presente en alta resolución fue obtenido con las condiciones iniciales que suministró el Reanálisis³ ERA40; mientras con el periodo de referencia 1979-1998, se adelantó el análisis entre las observaciones del Ideam y el modelo global de alta resolución desarrollado en el Japón.

2 La normal climatológica o línea base climatológica es la información (promedios multianuales, amplitud, valores máximo y mínimo, varianza) de las variables climatológicas para el periodo que se tomará como referencia. Este es el periodo que representaría el clima presente. Sobre éste se cuantifican los cambios al compararlo con las variables en otro periodo.

3 ERA-40 (del ECMWF: Centro Europeo de Predicción a Mediano Plazo, por sus siglas en inglés. Utilizado para el Reanálisis).

- Evidencias y tendencias con el ensamble multimodelo

Si bien todos los escenarios deben ser considerados posibles, pues por ahora no se cuenta con los medios para determinar sus probabilidades a través de método formal, para efecto de tener una idea del cambio climático se determinaron tres normales climatológicas considerando los promedios de los escenarios analizados: 2011 a 2040, 2041 a 2070 y 2071 a 2100, usando los resultados arrojados por el modelos *Precis*. Para el último periodo se incluyó dentro del promedio el resultado del escenario A1B sin sulfatos, simulado por el modelo global de alta resolución japonés para la serie de tiempo 2080-2099, basado en el hecho de que con las corridas de 20-30 años, los modelos pueden capturar el 75% de la varianza de la señal producida por las observaciones (Huntingford *et al.*, 2004).

El análisis para el caso de CCSM-WRF (*Community Climate System Model - Weather Research and Forecast* de los Estados Unidos); se considera por separado debido a que el método de la corrida no se realizó para series largas de tiempo sino para cada 10 años, debido a su consumo de proceso y almacenamiento, pero sus resultados sirvieron para tener un enfoque comparativo del cambio climático simulado con *Precis* y GSM-MRI. Los modelos globales y regionales utilizados para la generación de escenarios se presentan en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Modelos globales y regionales utilizados para la generación de escenarios de cambio climático en Colombia

Condiciones iniciales Modelos de Baja Resolución	Modelo para Downscaling Dinámico	Resolución (km)	Escenario	Periodo Analizado
Clima Presente				
ERA40 (UK)	Precis (UK)	25*25	Clima presente	1971 a 2000
CCM3 (USA)	GSM-MRI (Japón)	20*20	Clima presente	1979 a 1998
CAM (USA)	WRF	4*4	Año de referencia	1990
Clima Futuro				
HadAM3P (UK)	Precis (UK)	25*25	A2	2011 a 2100
HadAM3P (UK)	Precis (UK)	25*25	B2	2011 a 2100
ECHAM4 (Alemania)	Precis (UK)	25*25	A2 (Sulfato: S)	2071 a 2100
ECHAM4 (Alemania)	Precis (UK)	25*25	B2 (Sulfato)	2071 a 2100
HadAM3Q (UK)	Precis (UK)	25*25	A1B (S)	2071 a 2100
CAM (USA)	WFR (Andina) - USA	4*4	A2	C/10 años: 2020 a 2100
CCM3 (USA)	GSM-MRI (Japón)	20*20	A1B	2080 a 2090

Fuente: Ideam-Ruiz, 2010

Con el fin de reducir la incertidumbre⁴ del clima futuro (2011-2100) para la temperatura y la precipitación en Colombia⁵, se corrieron varios escenarios con diferentes modelos y condiciones iniciales. En particular, para el periodo 2011-2040, se obtuvieron salidas para los escenarios de emisión A2 y B2 sin sulfatos, junto con el escenario A1B(S) con sulfatos, mientras que para 2071-2100, además de los mencionados, se tienen resultados de los escenarios A2 y B2 con sulfatos.

- Posibles cambios de precipitación, temperatura y humedad relativa

Con base en los resultados de la corrida de los modelos de alta resolución elaborado por el Ideam-Ruiz (2010) en términos generales se tiene que, en promedio, la temperatura media aumentaría 1,4°C para el periodo 2011-2040; 2,4°C para el lapso de 2041-2070 y 3,2°C para el periodo comprendido entre los años 2071 a 2100.

Con respecto a los cambios observados se destaca lo siguiente:

En el caso de las temperaturas máximas, la media observada para el territorio nacional alcanzó una tasa de cambio de 0,11 °C/década, mientras que el modelo ERA40 arrojó 0,16°C/década.

Para la temperatura media mínima tanto las observaciones como el modelo ERA40 presentaron una tasa promedio de aumento para el país de 0,10°C/década. Con el modelo japonés no se encontraron mayores cambios para estos valores extremos. Los resultados gráficos se muestran en la Figura 4.1.

4 No existe, por ahora, claridad respecto a cuál escenario tiene mayor certidumbre de la forma cómo evolucionará nuestro desarrollo socioeconómico (Morita *et al.*, 2001), razón por la cual el IPCC ha generado varios escenarios de emisión de GEI.

5 El estudio incluyó humedad relativa.

Figura 4.1 Tendencia de la temperatura del aire para el periodo 1971 a 2000



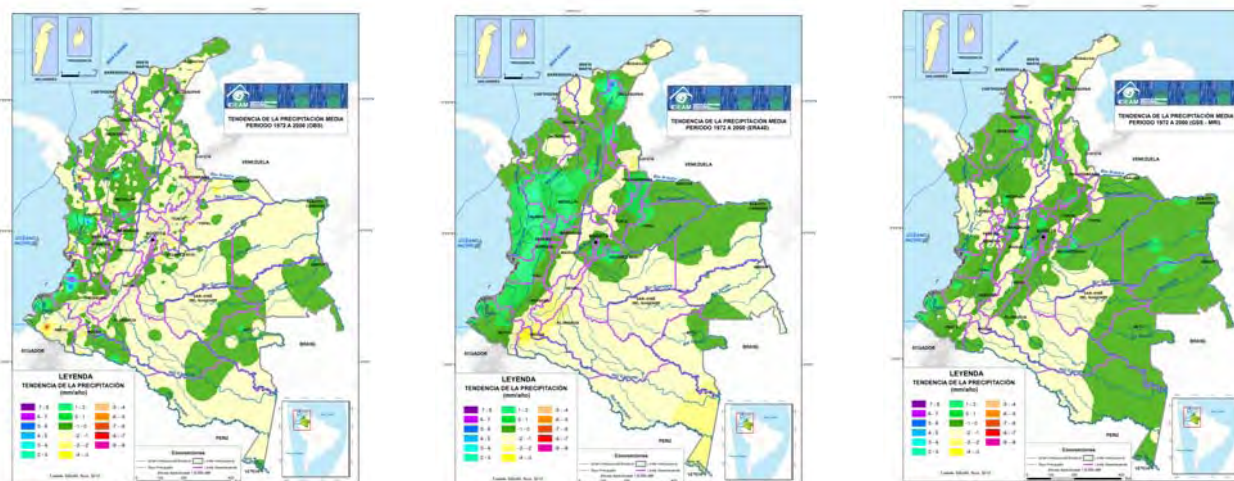
Fuente: Ideam – Ruiz, 2010

Los departamentos en los que se están presentando los mayores aumentos de temperatura (en el periodo de referencia) son: Córdoba, Valle del Cauca, Sucre, Antioquia, La Guajira, Bolívar, Chocó, Santander, Norte de Santander, Cauca, San Andrés, Tolima y Caquetá; indicando de alguna manera que son lugares que han sentido mayormente el calentamiento sobre el territorio nacional.

En resumen, a través de diferentes estudios realizados por el Ideam, se encontró en los análisis una tendencia lineal en la temperatura media del aire, la cual está aumentando a una tasa de cambio promedio para el país de $0,13\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$; valores que son consistentes con los obtenidos con el modelo ERA40 (*Precis*), con el cual se obtuvo un valor similar de $0,12\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$; mientras que el modelo MRI arrojó un resultado de $0,32\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ para la serie 1978-1998. Esto explica, además, que los resultados finales son sensibles al periodo de referencia que se tome.

Teniendo en cuenta los resultados de los modelos ERA40 y GSM-MRI, se localizaron aumentos de precipitación en algunos sectores de las regiones Caribe, y Andina, particularmente hacia Antioquia, Valle del Cauca y Eje Cafetero, mientras que se observan reducciones en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Tolima y Huila. El modelo GSM-MRI también consideró aumentos de lluvia en una amplia porción de la Amazonia como lo hicieron las observaciones.

Figura 4.2 Tendencia de la precipitación media periodo 1971 a 2000



Fuente: Ideam – Ruiz, 2010

Las tendencias para el periodo 1971-2000 de la precipitación total anual, han mostrado disminución en unos sectores y aumentos en otros. En particular, las disminuciones más significativas en la lluvia total anual se registraron en los departamentos de Atlántico, Arauca, Guaviare, Boyacá y Cundinamarca; mientras que las mayores tasas de aumento se registraron a nivel regional en áreas de Quindío, San Andrés, Cesar, Cauca, Vaupés, Guainía, Antioquia, Chocó y Caldas.

En el caso de la humedad relativa, las observaciones realizadas por el Ideam mostraron en promedio para Colombia una tasa de cambio de $\pm 0,1\%/año$ ($\pm 1\%/década$); en cambio, los modelos ERA40 y GSM-MRI no presentaron cambios representativos al menos en la primera décima de humedad relativa ($\pm 0,0\%/año$).

Con referencia a los posibles cambios que se presentarían para el futuro en la humedad relativa, se encontró un comportamiento similar al obtenido con la temperatura. Los promedios arrojados por el ensamble multimodelo para la humedad relativa, muestran que la señal de cambio climático es mayor hacia finales de siglo XXI (2071-2100). Las disminuciones más significativas de esta variable meteorológica, de acuerdo con los modelos, se obtuvieron en Tolima, Quindío y Huila a lo largo del siglo XXI; no obstante, la pérdida de humedad más significativa, se calculó para el periodo 2071-2100, en especial para sectores de los departamentos de Tolima, Norte de Santander, Huila, Quindío, Cauca, Cesar, Cundinamarca, Sucre, Bolívar, Santander, Nariño, La Guajira y Risaralda. La humedad relativa no ha presentado cambios significativos para el periodo 1971 a 2000, es decir, sus valores han permanecido estables.

4.2 POSIBLES ESCENARIOS FUTUROS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

Las actuales evidencias de incremento de la temperatura media global y de sus efectos asociados con otras variables climáticas, hacen necesario preparar y explorar vías para una adaptación a los cambios; para ello, se requieren proyectar las posibles condiciones futuras y evaluar los impactos potenciales asociados con el calentamiento global. Sin embargo, proyectar en el futuro las variables climáticas no es tarea fácil, debido al grado elevado de incertidumbre asociada con los diferentes factores, tanto físicos como socioeconómicos, que pueden estar generando el calentamiento global.

Para generar escenarios del clima futuro, el IPCC considera modelos integrados que contemplen tanto la generación futura de gases de efecto invernadero producto del desarrollo socioeconómico global, como la respuesta del clima del planeta al forzamiento radiativo resultante (ver Cuadro 4.1). El IPCC ha proyectado diversos escenarios de emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero para estimar los cambios en el clima del planeta, para ello utiliza diferentes hipótesis sobre el desarrollo socioeconómico del planeta. De manera resumida, los escenarios de emisiones se muestran en el Cuadro 4.2.

Cuadro 4.1 Escenarios de emisiones del informe especial de IPCC sobre escenarios de emisiones (IE-EE)

Los escenarios son descripciones plausibles, sin atribución de probabilidades de posibles estados futuros del mundo.

Las líneas argumentales son narraciones cualitativas de un escenario (o familia de escenarios) que exponen sus principales características, las relaciones entre las principales fuerzas dinamizantes y la dinámica de su evolución.

El informe Especial del IPCC sobre Escenarios de Emisiones (IE-EE), publicado en el año 2000, describe escenarios de emisiones futuras de GEI acompañados por líneas argumentales de desarrollo económico, social y tecnológico que se pueden utilizar en los estudios de los impactos del cambio climático, la adaptación y la vulnerabilidad (CCIAV). Aunque pueden existir problemas metodológicos al aplicar tales escenarios (p. ej.: al reducir las escalas de las proyecciones de la población y el PIB de los cuatro IE-EE de las regiones más grandes del mundo a escalas nacionales o entre naciones), estos, no obstante, suministran un cálculo congruente del desarrollo socioeconómico, de las emisiones de GEI y del clima.

Es decir, mientras que el objetivo de la investigación científica es reducir la incertidumbre, el objetivo de la toma de decisiones es tratar la incertidumbre mediante el mejor uso del conocimiento disponible, razón por la cual la gestión de riesgos se diseñó para toma de decisiones ante la incertidumbre.

Fuente: Adaptado de: IPCC, 2007a. p. 32 y 33.

Teniendo en cuenta lo expuesto en el Cuadro 4.2, en donde se presentan las características argumentales para los escenarios de emisiones definidos por el IPCC, el escenario A2, supone un mundo heterogéneo con aumento continuo de la población mundial y un crecimiento económico orientado regionalmente y más fragmentado, mientras que el escenario B2, supone un mundo en el cual hay un énfasis a soluciones locales para la sostenibilidad económica, social y ambiental, con crecimiento continuo de la población (inferior a A2) y desarrollo económico intermedio.

El escenario B2, por ser un escenario “más optimista” que el A2, muestra las variaciones climáticas menos intensas. Sin embargo, la distribución del comportamiento de la lluvia y la temperatura muestran tendencias similares para los dos modelos.

En el glosario se incluyen explicaciones adicionales respecto a los escenarios y modelos, los cuales permiten relacionarlos con otros temas.

4.2.1 ESCENARIOS CLIMÁTICOS PARA COLOMBIA EN EL PERIODO 2011 A 2040

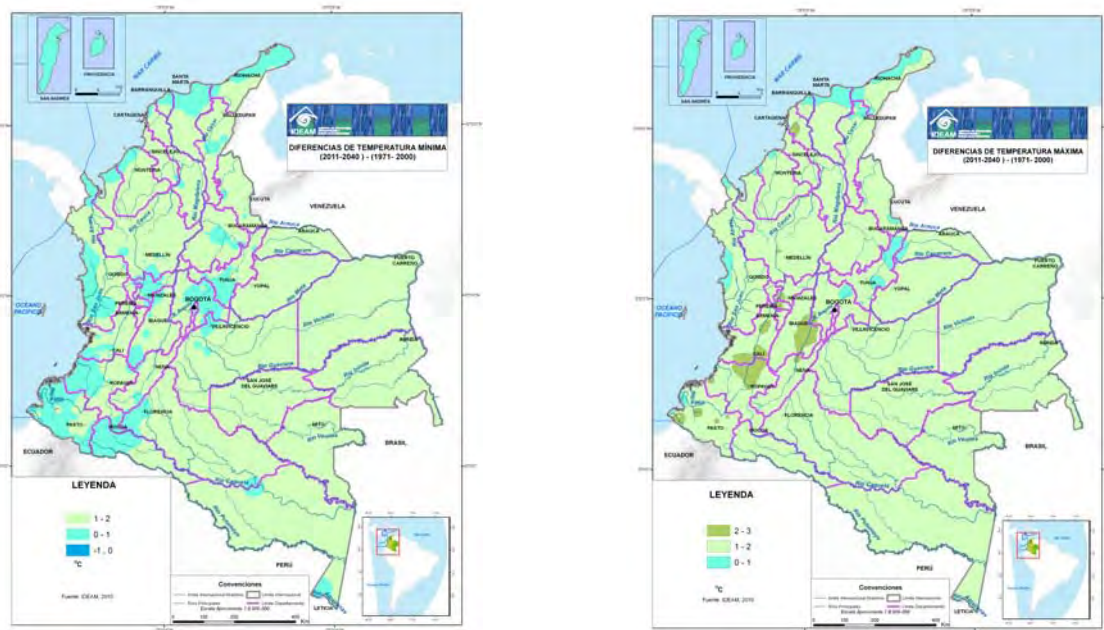
Si bien se mostraron las evidencias y tendencias del cambio climático observadas, a continuación se muestran las condiciones y características más sobresalientes de los escenarios esperados, con base en los resultados de los modelos corridos por el Ideam-Ruiz (2010) para el periodo 2011 a 2040.

Cuadro 4.2 Resumen de las características líneas argumentales de los cuatro IE-EE	
Énfasis económico →	
↑ Integración mundial	<p>Línea argumental A1 Mundo: orientado hacia el mercado. Economía: crecimiento per cápita acelerado. Población: nivel máximo en 2050, después declive. Gobierno: Interacciones regionales fuertes, convergencia de ingresos. Tecnología: tres grupos de escenarios: A1FI: fósil intensivo. A1T: fuentes de energía no fósiles. A1B: equilibrado en todas las fuentes.</p>
	<p>Línea argumental A2 Mundo: diferenciado. Economía: orientada hacia las regiones; crecimiento per cápita lento. Población: aumento continuo. Gobierno: autoconfianza en la conservación de la identidad local. Tecnología: desarrollo más lento y fragmentado.</p>
	← Énfasis medioambiental
	← Énfasis regional →
Fuente: IPCC, 2007 ^a	

4.2.1.1 Temperatura

Los mayores cambios en la temperatura del aire para el periodo 2011 a 2040, se tendrían principalmente en las temperaturas máximas en diferentes áreas de los departamentos de Tolima, Cauca y Valle del Cauca. Ver la Figura 4.3.

Figura 4.3 Diferencias de temperatura mínima (Izq.) y máxima (Der.) entre el clima de 2011 a 2040 vs. 1971 a 2000



Fuente: Ideam-Ruiz, 2010

En términos generales, se tendrían para gran parte del territorio nacional un incremento superior a un grado Celsius de la temperatura media. Ver la Figura 4.4.

4.2.2.2 Precipitación

A partir de los resultados promedio de los escenarios en el periodo 2011 a 2040, los departamentos que tendrían una reducción de precipitación mayor o igual al 10% serían: Antioquia, Caldas, Cauca, Córdoba, Huila, Nariño, Putumayo, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca.

Figura 4.4 Mapa con la diferencia de temperatura media del multimodelo para el periodo 2011 a 2040 vs 1971 a 2000

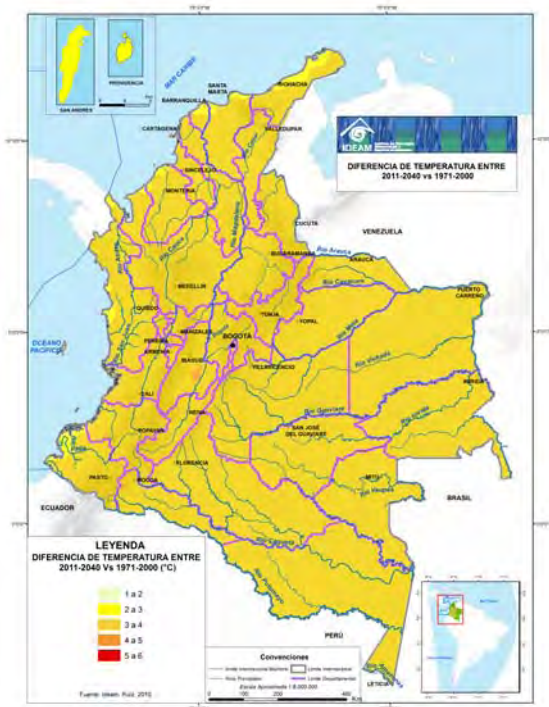
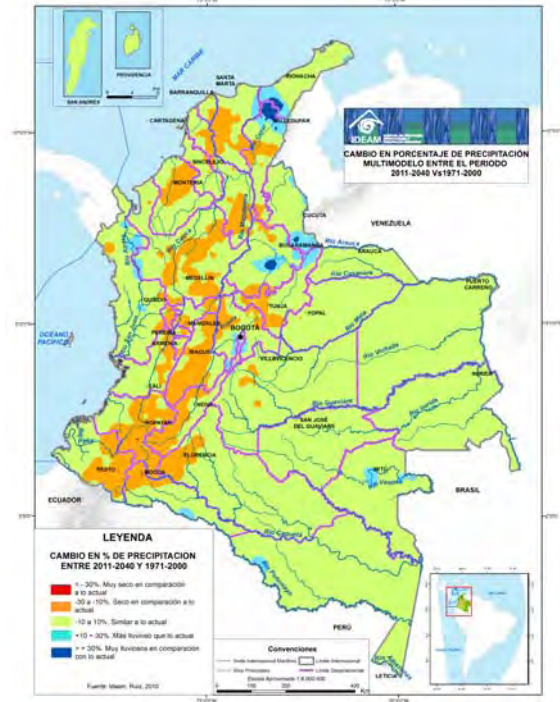


Figura 4.5 Mapa con el cambio en el porcentaje de precipitación del multimodelo del periodo 2011 a 2040 vs 1971 a 2000



Fuente: Ideam - Ruiz, 2010

4.2.2 ESCENARIOS CLIMÁTICOS PARA COLOMBIA EN EL PERIODO 2071 A 2100

Teniendo en cuenta el Cuarto Informe de Evaluación (CIE) se llegó a la conclusión de la existencia de un riesgo por el aumento en las temperaturas extremas con más episodios de calor extremo en un clima futuro. Se proyectan aumentos futuros en las temperaturas extremas que seguirán a los aumentos en la temperatura media en la mayoría de regiones del mundo, excepto donde cambian las propiedades de la superficie (por ejemplo, capa de nieve o humedad de la tierra). A finales del siglo XXI, la probabilidad proyectada de estaciones calurosas extremas sobrepasa el 90% en muchas zonas tropicales y alcanza cerca del 40% en otras zonas (IPCC, 2007, p. 76).

4.2.2.1 Temperatura

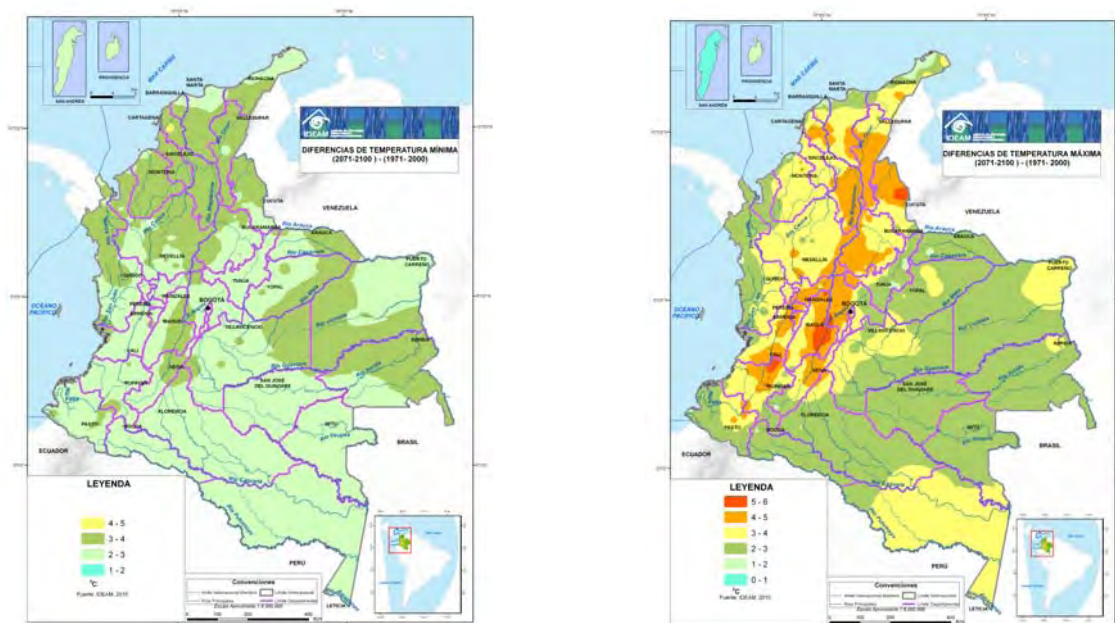
En el mapa del ensamble multimodelo (Figura 4.6), se observa cómo es la distribución del incremento de las temperaturas: mínima y máxima para finales de siglo. En la Figura 4.7 se muestra la variación de la temperatura media.

Los aumentos más significativos de la temperatura media se observan en gran parte de la región Caribe y Andina con valores que oscilan entre 3°C y 4°C, e incluso valores superiores en zonas del Tolima y Norte de Santander; influenciado por la manifestación de que los días, según los modelos, serán más cálidos, ya que la media de las temperaturas máximas en gran parte de las regiones mencionadas aumentaría sus valores entre 4 y 5°C para finales del siglo XXI con respecto a la normal climatológica 1971-2000.

En el ámbito regional, las zonas más sensibles al incremento de la temperatura corresponden al alto Magdalena, medio Magdalena y Catatumbo, en donde los incrementos de la temperatura pueden alcanzar más de 4°C. Además, regiones que actualmente presentan limitantes de humedad, con índices de aridez bajos y limitantes para el abastecimiento del agua para la sociedad, presentan un alto cubrimiento con el incremento de la temperatura entre 2°C y 4°C; las regiones corresponden al río Sogamoso, sabana de Bogotá, noroeste de la Sierra Nevada de Santa Marta, cuenca del Cesar y cuenca del río Patía.

La situación puede ser especialmente crítica para la sabana de Bogotá y la cuenca del río Sogamoso, pues al parecer el modelo puede estar subvalorando el incremento de temperatura para estas regiones, en las cuales se podrían esperar mayores incrementos si se basan en las tendencias actuales, las cuales muestran que las zonas altas localizadas en vertientes de baja humedad (sotavento) presentarán mayores incrementos de la temperatura.

Figura 4.6 Diferencias de temperatura mínima (Izq.), y máxima (Der.) entre el clima de 2071 a 2100 vs 1971 a 2000



Fuente: Ideam-Ruiz, 2010

De la comparación de los promedios arrojados por el ensamble multimodelo para temperatura del aire entre el periodo de 2011 a 2040, frente al de finales de siglo, se encuentra que la señal de cambio climático es mayor hacia este último (2071-2100). Véanse las figuras anteriores.

4.2.2.2 Precipitación

Las zonas que en promedio, para el fin de siglo XXI, presentarían las mayores reducciones de precipitación estarían ubicadas en los departamentos de Huila, Putumayo, Nariño, Cauca, Tolima, Córdoba, Bolívar y Risaralda donde las lluvias se reducirían cerca al 15% con respecto a la climatología 1971-2000. Asimismo, es posible que se presenten aumentos de la precipitación cercanos al 10%, los cuales se ubicarían en amplias zonas de Chocó. Desde el punto de vista de los escenarios más pesimistas (A2, por ejemplo), las reducciones más significativas de lluvia a lo largo del siglo XXI, se presentarían en Córdoba, Cauca, Bolívar, Caldas, Sucre, Valle, Antioquia, Nariño y Risaralda, donde llovería entre 70 y 80% de las precipitaciones registradas durante el periodo 1971-2000 (o sea, reducciones entre 20% y 30%).

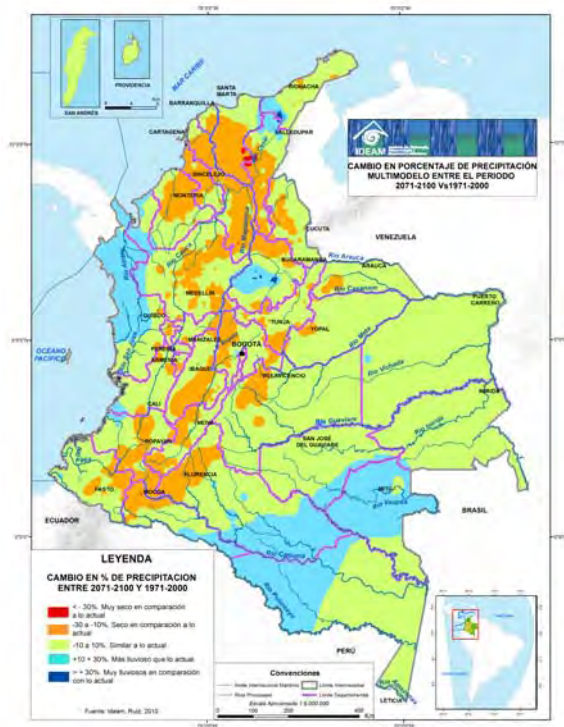
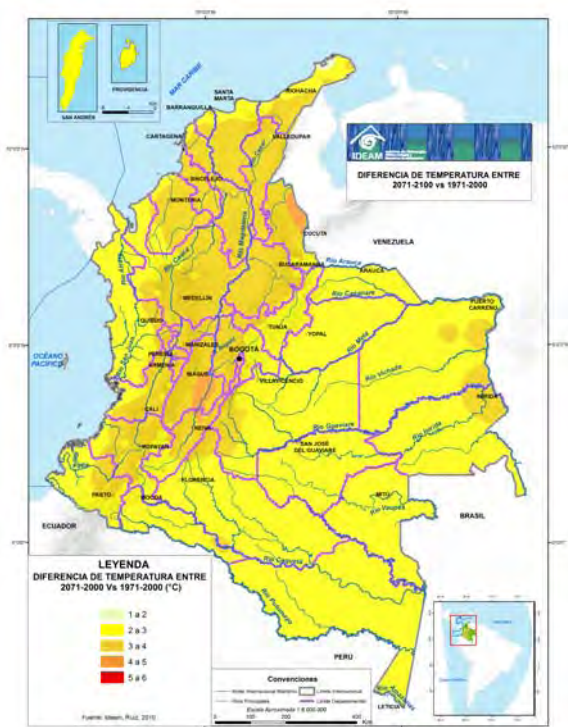
Si a las condiciones anteriores de temperatura se le agregan las variaciones de precipitación, las cuales tienden a reducirse en las zonas montañosas colombianas, además de los cambios de cobertura vegetal, es de esperar repercusiones en las características estadísticas del régimen hidrológico de alta montaña, con aumento de la variabilidad natural de las series hidrológicas. Lo expuesto se puede traducir en sobrecostos en el diseño y operación de las estructuras y dispositivos hidráulicos de gestión del agua para el soporte de la sociedad y sus sectores productivos. Es decir, los cambios en las variables climáticas, sumados a la transformación de las coberturas vegetales, afectarán el régimen hidrológico de las cuencas de montaña, las cuales tendrán caudales más variables y extremos (caudales máximos más severos y sequías hidrológicas más extremas). Esta situación puede ser particularmente crítica, si se tiene en cuenta que gran parte de la población de Colombia habita en las montañas de la región Andina y, además, su abastecimiento para el consumo depende de microcuencas que en su gran mayoría nacen en la alta montaña colombiana (Figuras 4.7 y 4.8).

No obstante los resultados obtenidos, es necesario tener en cuenta el análisis compilado por Mesa (2007), quien indica, como conclusión general, que los resultados de los modelos evaluados son creíbles para las condiciones medias actuales, así como para el ciclo estacional, para la mayoría de las regiones continentales y para la gran mayoría de las variables (McAvaney *et al.*, 2001). Agrega Mesa, la nubosidad y la humedad atmosférica siguen siendo fuente significativa de incertidumbre a pesar de los avances. Ninguno de los modelos supera definitivamente a los demás, es conveniente utilizar los resultados de un rango de ellos. Aunque ha habido importantes mejoras, los procesos en la superficie están todavía relativamente mal representados. Algunas de las variables asociadas contribuyen significativamente con la incertidumbre de los modelos, en particular la evaporación. En general, la sensibilidad de los procesos de superficie es alta y tiene importante variabilidad geográfica. La dificultad es mayor en vista de la falta

de observaciones para calibrar y verificar los modelos, por ejemplo, la temperatura superficial es fuertemente dependiente de los procesos superficiales en los trópicos, mientras en la altas latitudes está controlada por procesos atmosféricos (p. 113).

Figura 4.7 Mapa con la diferencia de temperatura media del multimodelo para periodo 2071 a 2100 vs 1971 a 2000

Figura 4.8 Mapa con el cambio en el porcentaje de precipitación del multimodelo del periodo 2071 a 2100 vs 1971 a 2000



Fuente: Ideam, 2008

4.2.3 COMPARACIÓN DE LOS CAMBIOS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA ENTRE PERIODOS

Si bien se presentaron los escenarios para los dos periodos, de principio y finales de siglo, sobre los cuales se realizan los diferentes análisis de la vulnerabilidad más adelante, a manera de resumen comparativo, se muestra el comportamiento esperado entre los diferentes periodos.

4.2.3.1 Precipitación

De forma resumida, los cambios de la precipitación que se podrían presentar para los distintos periodos analizados se presentan en las siguientes figuras (4.9 y 4.10)

El 78% del territorio nacional tendría para el primer periodo (2011 - 2040) una variación entre más o menos 10%, lo cual se puede considerar dentro del rango normal de variabilidad. Adicionalmente, se puede destacar que la mayor reducción de la precipitación (-30 a -10%) se presentaría en un 20% del territorio colombiano para el 2011 - 2040.

En la figura 4.10 se puede observar cómo la tasa de variación de la precipitación media anual que se presentaría posiblemente para los diferentes periodos, disminuirá en mayor proporción del territorio (74% a 56%) dentro del rango de -3,1 a 4,0 mm/año. Tal comportamiento deficitario se vería agravado, si se toma en cuenta que para finales de siglo, que se podrían presentar disminuciones mayores a -4,0 mm/año, en aproximadamente un 20% del país.

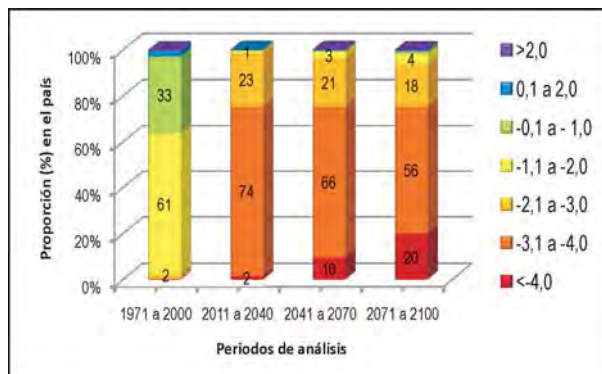
4.2.3.2 Temperatura

El comportamiento de la temperatura media anual del aire con base en el ensamble multimodelo para los diferentes periodos se presenta en la Figura 4.11.

Figura 4.9 Variación porcentual de la precipitación media anual (%)

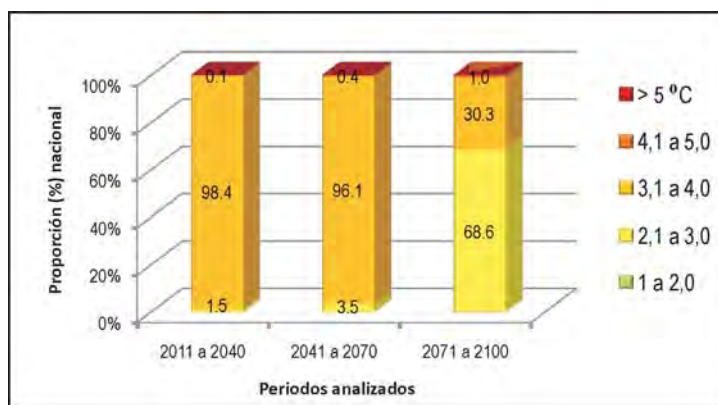


Figura 4.10 Tasa de variación de la precipitación media anual (mm/año)



Fuente: Ideam-autores

Figura 4.11 Variación de la temperatura media anual (multimodelo) para diferentes periodos, respecto a 1971 a 2000



Fuente: Ideam-autores

De la figura anterior (4.1), prácticamente todo el territorio colombiano (99,9%) estaría presentando un aumento de la temperatura por encima de los 2 °C, principalmente para finales de siglo. La cartografía de tal comportamiento se puede observar en la figura 4.7.

En los dos periodos de inicio de siglo (2011 a 2040 y 2041 a 2070) se podrían estar afectando la mayor proporción (>96%) del país con incrementos superiores a 3,0 °C. En la figura 4.4 se muestra el cubrimiento de cada rango de temperatura para el periodo 2011 a 2040.

4.3 OTRAS EVIDENCIAS Y TENDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

4.3.1 Evidencia y tendencia de ablación de los glaciares

Por su ubicación latitudinal, los glaciares de la zona ecuatorial han sido considerados como un excelente laboratorio para estudiar el calentamiento de la baja atmósfera, debido a la variabilidad climática de esta franja y a la consecuente sensibilidad de estas masas de hielo ante las variaciones.

Los glaciares colombianos son sensibles y vulnerables a pequeñas variaciones en el clima y un reflejo de ello se ha observado durante los periodos de El Niño y La Niña. Durante El Niño, donde las temperaturas son mayores y la precipitación disminuye notoriamente en la región Andina colombiana, se han encontrado pérdidas casi del doble de lo normal, mientras que en periodos La Niña, con condiciones contrarias, se ha observado una disminución en la tasa de pérdida y, en algunos casos, pequeñas ganancias. Por lo anterior, el sistema glaciar no sólo refleja su dinámica como un producto del cambio climático, sino también de la misma variabilidad climática, convirtiéndose así en uno de los mejores indicadores planetarios para comprender las transformaciones biosféricas.

Actualmente, el límite inferior glaciar se encuentra desde los 4.700 a 4.800 m de altitud, dependiendo de las características topográficas y climáticas locales. El retroceso e incluso la extinción de glaciares en la Tierra han sido con frecuencia utilizados como un indicador del aumento de temperatura del pasado (Blair *et al.*, 1996). Los modelos climáticos desarrollados a nivel mundial han sugerido que el control de la evolución de las masas glaciares está dado más por las temperaturas que por las precipitaciones. El IPCC presume que las

temperaturas más cálidas asociadas con cambio climático son la causa del derretimiento glaciar a nivel mundial (Watson *et al.*, 1996).

Los nevados constituyen una reserva de agua, de donde surgen por fusión los nacimientos de algunos ríos. Los glaciares aportan agua para las cuencas hidrográficas deficitarias climáticamente: drenajes del flanco occidental de la Sierra Nevada del Cocuy (hacia la cuenca del río Chicamocha) y de los flancos sur y oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta. También constituyen una fuente de aportes hídricos para cuencas de la vertiente occidental y oriental de la cordillera Central entre las cuales se encuentran los ríos Otún y Combeima, respectivamente.

Sin embargo, debido al bajo cubrimiento existente de los glaciares en Colombia, actualmente 47,1 km² aproximadamente, y tomando como referencia el proceso de retroceso acelerado que vienen presentando, se puede inferir que los aportes de caudal a las cuencas no es alto y que cada vez aportan menos caudal a las corrientes de agua que alimentan. En la Tabla 4.4 se resumen las principales cifras relacionadas con la extensión de los glaciares tropicales.

Tabla 4.4 Extensiones y proporción de los glaciares tropicales

Región	Área (km ²)	% de los glaciares tropicales	Año de estimación
Perú	1.958 (1.370)	71,1	1970 (2006)
Bolivia	562 (393)	20,4	1975 (2006)
Ecuador	112,8 (79)	4,1	1976 (2006)
Colombia	108,5 (76)	3,9	1950 (2006)
Venezuela	2,7 (1,8)	0,09	1950 (2006)
Total de América del Sur	2.744 (1.920)	99,68	1950 (2006)
Kilimanjaro	2,2	-	2000
Ruwenzori	0,96	-	2003
Mt. Kenia	0,3	-	2004
Total África	3,46	0,18	~ 2000
	2,3	0,12	2000
Total probable para los glaciares del trópico	~ 1.926	100	

Las cifras entre paréntesis representan estimaciones de Bernard Francou y G. Kaser, más conservadoras que las originales, basadas en extrapolaciones de mediciones efectuadas sobre algunos glaciares de las zonas indicadas

Fuentes: Kaser, 2008; Jordan, 1991; Hastenrath, 1981 y 2005; Kaser & Osmaston, 2002; Thompson *et al.*, 2002; Taylor *et al.*, 2006; Klein & Kincaid, 2006; y Francou y Vincent, 2007. Citado por: CAN, 2007

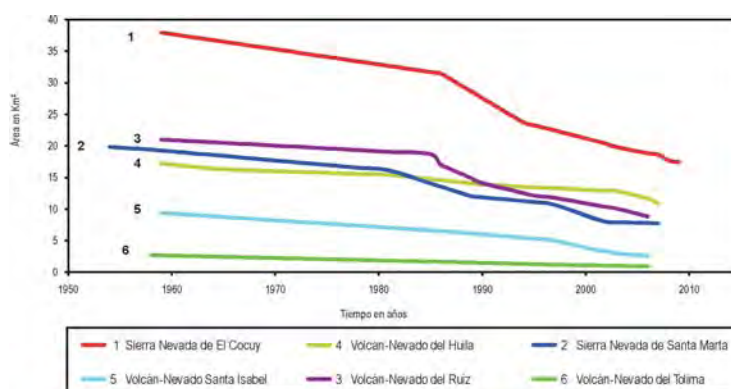
Adicionalmente, al considerar la coincidencia de que la mayor parte de las masas glaciares se desarrollan sobre estructuras volcánicas, en el país se han generado eventos catastróficos ampliamente conocidos. De los seis nevados actuales, cuatro presentan esta característica: Volcán Nevado del Ruiz, Volcán Nevado de Santa Isabel, Volcán Nevado del Tolima y Volcán Nevado del Huila. Las erupciones volcánicas y los sismos asociados con éstas, coadyuvan a generar la fundición del hielo y generación de flujos de tipo *lahar*; sus efectos como fusión violenta con disminución de la reserva hídrica y generación de flujos volcano-glaciares, afectan los valles de los ríos al dispersar su energía sobre los conos de piedemonte. Las avalanchas relacionadas con glaciares de montaña han generado grandes catástrofes sobre poblaciones; entre los episodios más nefastos se encuentra la destrucción de la ciudad de Armero en el año 1987, la cual dejó más de 20.000 muertos, y la avalancha del río Páez en el año 1994, la cual borró varias poblaciones, con un saldo de 1.600 muertos.

No obstante, a medida que avanza el proceso de ablación (fusión - retroceso) de los glaciares disminuye su amenaza frente a eventuales explosiones volcánicas por la menor disponibilidad de agua para generar flujos. Sin embargo, también disminuye la capacidad de regulación hídrica de las cuencas alimentadas por glaciares, en especial durante las temporadas de bajas lluvias.

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

Los nevados o glaciares colombianos presentan una acelerada pérdida de área desde finales de la Pequeña Edad de Glaciar (1850). Los datos de cambio de área glaciar en Colombia indican una rápida deglaciación, especialmente en las tres últimas décadas (ver la Figura 4.12) con pérdidas de 3 a 5% de cobertura glaciar por año y retroceso del frente glaciar de 20 a 25 m por año. De esta forma, para el periodo 2002 a 2003, el área total de los glaciares era de 55,4 km², mientras que para el lapso 2006 a 2007 la superficie apenas alcanzó 47,1 km².

Figura 4.12 Evolución del área glaciar de los seis nevados existentes en Colombia



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

En la Tabla (4.5) se muestra la evolución del área glaciar de los nevados en Colombia.

Tabla 4.5 Evolución del área glaciar de los nevados existentes en Colombia- 2010

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

Fuente: Ideam-Ceballos *et al.*, 2005

De persistir el calentamiento atmosférico, y con las tendencias actuales de derretimiento, es probable que en tres o cuatro décadas estén extintos los nevados colombianos o exista una muy pequeña masa glaciar en los picos más altos.

4.3.2 Áreas marino costeras frente al cambio climático

La siguiente información recopilada por el Invemar, presenta los principales aspectos de las áreas marinas y costeras del país.

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

Tanto su línea de costa alta, como las planicies litorales y los ecosistemas costeros e insulares serán afectados por el actual cambio climático y, en especial, por el ascenso acelerado del nivel del mar. Evidencia de este ascenso es el retroceso generalizado de la línea de costa colombiana (Martínez, Robertson & Jaramillo, 2005; Robertson, Martínez & Jaramillo, 2003; Flórez & Robertson, 2001; Ideam & Universidad Nacional, 1998), el cual ya está causando la erosión de playas, acantilados y terrazas, con la consecuente destrucción de poblados y pérdida de ecosistemas. En el largo plazo, las potenciales variaciones físicas de las zonas costeras e insulares asociadas con el ascenso acelerado del nivel medio del mar están dadas por la pérdida de tierra a causa de la erosión y la inundación del litoral, lo cual generará impactos socioeconómicos y ecológicos sobre los sistemas y las actividades de la zona.

4.3.2.1 Situación actual de la biodiversidad marina y costera y efectos del cambio climático

Se estima que en Colombia existen 2.500 especies de moluscos, 2.000 de peces (176 de elasmobranquios), 35 de mamíferos que habitan aguas marinas o estuarinas y 82 de aves marinas (Díaz y Acero, 2003; Flórez *et al.*, 2006) lo que hace que Colombia sea probablemente el país más rico en biodiversidad marina en Suramérica y uno de los mayores en el mundo. Por otro lado, en términos de ecosistemas, Colombia es también un país privilegiado ya que por las condiciones climáticas, oceanográficas, geológicas, ecológicas y biológicas y por el hecho de tener dos océanos, se hallan bien representados la mayoría de los hábitats marinos tropicales.

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

4.3.2.2 Situación de los recursos sometidos a explotación pesquera y efectos del cambio climático

En Colombia, la mayor cantidad del recurso pesquero se extrae de la costa Pacífica, con una cifra cercana a las 73.388t, para el año 2007, de las cuales la pesca industrial comprendió el 94,3%, el 5,7% restante lo produjo la pesca artesanal; mientras que en el Caribe, para el mismo año, se estimó en 1.694 t, distribuidas en 50,9% para el reglón industrial y 49,1% restante en el artesanal. Alteraciones en el régimen climático causarían cambios drásticos en la salinidad de sus aguas, inhabilitándolas como guarderías de peces de río o peces anádromos, lo cual redundaría en una disminución del reclutamiento con serios desbalances en la dinámica de poblaciones de peces que sustentan pesquerías importantes (Blanco, 2006). Un ascenso del nivel del mar (ANM) afectaría a las poblaciones de estos recursos, tanto en su distribución, como en su abundancia. Los cambios en la salinidad llevarían a un régimen más marino que estuarino, impactando previsiblemente las poblaciones de almejas, ostras y caracoles. Los recursos que se encuentran asociados con los arrecifes de coral y praderas de pastos marinos, seguramente se verán impactados por el aporte de sedimentos continentales.

Debido al ascenso rápido en el nivel del mar (ARNM) se podrían abrir nuevos canales de acceso a áreas de laguna o estuarios, condición que incrementaría en primera instancia la producción de especies comerciales, sin embargo, en la medida en que el nivel del mar aumente, la mayoría o todas las áreas serán reemplazadas por cuerpos de agua abiertos y la producción de estas especies disminuirá paulatinamente.

Por otro lado, no es previsible que las pesquerías de altura de estos recursos se vean afectadas por un incremento de 50 cm en el nivel del mar (NM); sin embargo, pueden ser vulnerables a otros factores inherentes al cambio climático como aumento de la temperatura del mar, disminución de la salinidad y del oxígeno disuelto e incremento de nutrientes (Blanco, 2006).

4.3.2.3 Tendencia del nivel medio del mar en Colombia

En Colombia la estación mareográfica de Cartagena (Bolívar) cuenta con una serie de registros históricos horarios de la marea de más de cuarenta años, pertinentes para los análisis de tendencias, en ellos se evidencia un ascenso del nivel del mar en el Caribe de aproximadamente 3,5 mm/año, atribuibles posiblemente al cambio climático global, entre otros factores. Las mediciones realizadas en el puerto de Cristóbal (Colón) en Panamá, muestran resultados similares de ascenso del nivel, aunque de menor magnitud. La tendencia calculada sobre la serie de datos tomado en el puerto de Cristóbal arroja un valor de 2,3 mm/año.

Para la costa Pacífica, la evaluación de los datos históricos de las mediciones del nivel en la estación mareográfica de Buenaventura (Valle del Cauca) y de otras estaciones comparables, muestran valores similares de ascenso del nivel del mar (aunque mayores en Buenaventura). La tendencia calculada sobre las series de datos en puntos costeros de Panamá y Ecuador, muestran incrementos entre 0,9 mm y 1,4 mm por año, mientras en Buenaventura el aumento es de 2,2 mm por año.

4.3.2.4 Impactos del aumento en el nivel del mar en las zonas costeras

Los efectos biofísicos más importantes por el aumento del nivel del mar en las zonas costeras, se resumen en la Tabla 4.6, incluidos los factores más relevantes asociados directa o indirectamente con clima. La mayoría de estos impactos son, en general, funciones lineales de elevación del nivel del mar (Nichols y Lowe, 2004).

Asimismo, se advierten impactos sobre el sistema socioeconómico tales como: la pérdida de propiedades y hábitats costeros, aumento del riesgo de inundación y posible pérdida de vidas, daños a obras de protección costera y otras infraestructuras, pérdida de energías renovables y recursos de subsistencia, pérdida en las actividades de turismo, recreación y transporte, pérdida de bienes y servicios ambientales y los valores de los recursos culturales, impactos en la agricultura y la acuicultura a través de la disminución de la calidad del agua y del suelo (Nichols y Lowe, 2004).

Adicionalmente, con el ascenso del nivel del mar, los efectos de las tormentas tropicales, el mar de leva y los huracanes serán cada vez más severos. Lo anterior debido a que el nivel de base del mar aumenta y, por consiguiente, las repercusiones del oleaje serán mayores, al incrementarse la extensión de las zonas afectadas por la inundación marina (IPCC, 2001).

Tabla 4.6 Impactos del aumento en el nivel del mar en las zonas costeras y factores asociados

Efecto biofísico		Factores relevantes	
		Climáticos	No climáticos
Inundaciones y daños por tormentas	Marejadas	Tormentas, cambios morfológicos, aporte de sedimentos	Aporte de sedimentos, manejo de inundaciones, cambios morfológicos, pérdidas de tierra
Pérdida de humedales		Fertilización por CO ₂	Aporte de sedimentos, migración, destrucción directa
Erosión		Aporte de sedimentos	Aporte de sedimentos
Intrusión salina	Aguas superficiales	Escorrentía	Ordenación de cuencas, uso del suelo, uso de los acuíferos
Impedimentos de drenajes	Aguas subterráneas	Precipitación	Uso de acuíferos

Fuente: Inveemar, 2010. Adaptado de Nichols y Lowe, 2004

4.4 POSIBLES EFECTOS ADICIONALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

4.4.1 Sensación térmica

Con base en los resultados obtenidos de temperatura y humedad relativa promedio para las tres medias climatológicas de clima futuro (2011-2040; 2041-2070 y 2071-2100), sobre el territorio colombiano se calculó el índice de confort térmico⁶. Para calcular el confort térmico se utilizó la ecuación ajustada de Poder de Refrigeración de Leonardo Hill y Morikofer-Davos (Ideam, 2005), la cual considera el parámetro de humedad junto con la variación de la temperatura con la altura, para así, catalogar la sensación térmica en siete clases, de acuerdo con la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Índice de confort térmico

Índice de confort	Sensación térmica
0 a 3	Muy caluroso
3,1 a 5	Caluroso
5,1 a 7	Cálido
7,1 a 11	Agradable
11,1 a 13	Algo frío
13,1 a 15	Frío
Mayor a 15	Muy frío

Fuente: Ideam-Ruiz. 2010

La característica más visible ante el cambio climático es la alteración de sensación térmica que se percibiría de caluroso a muy caluroso en gran parte de las regiones Caribe, Orinoquia y Amazonia, así como a lo largo de los valles del Magdalena y Cauca en la región Andina, especialmente desde el periodo 2041 a 2070. En las zonas de alta montaña de las cordilleras Oriental y Central existiría un cambio paulatino de muy frío a frío y a algo frío. No predominan climas clasificados como agradables al ser humano. En la Figura 4.13 se muestra la representación cartográfica del índice de confort térmico observado y esperado para los diferentes periodos de análisis.

4.4.2 En la salud humana

De acuerdo con los datos del Departamento Nacional de Planeación (DNP), el comportamiento de los cambios observados en las últimas décadas muestra las diferentes tendencias para los sistemas sociales, tal como se ilustra en la Tabla 4.8

Con base en la información asociada con el fenómeno El Niño 1997-1998, se tienen los siguientes registros:

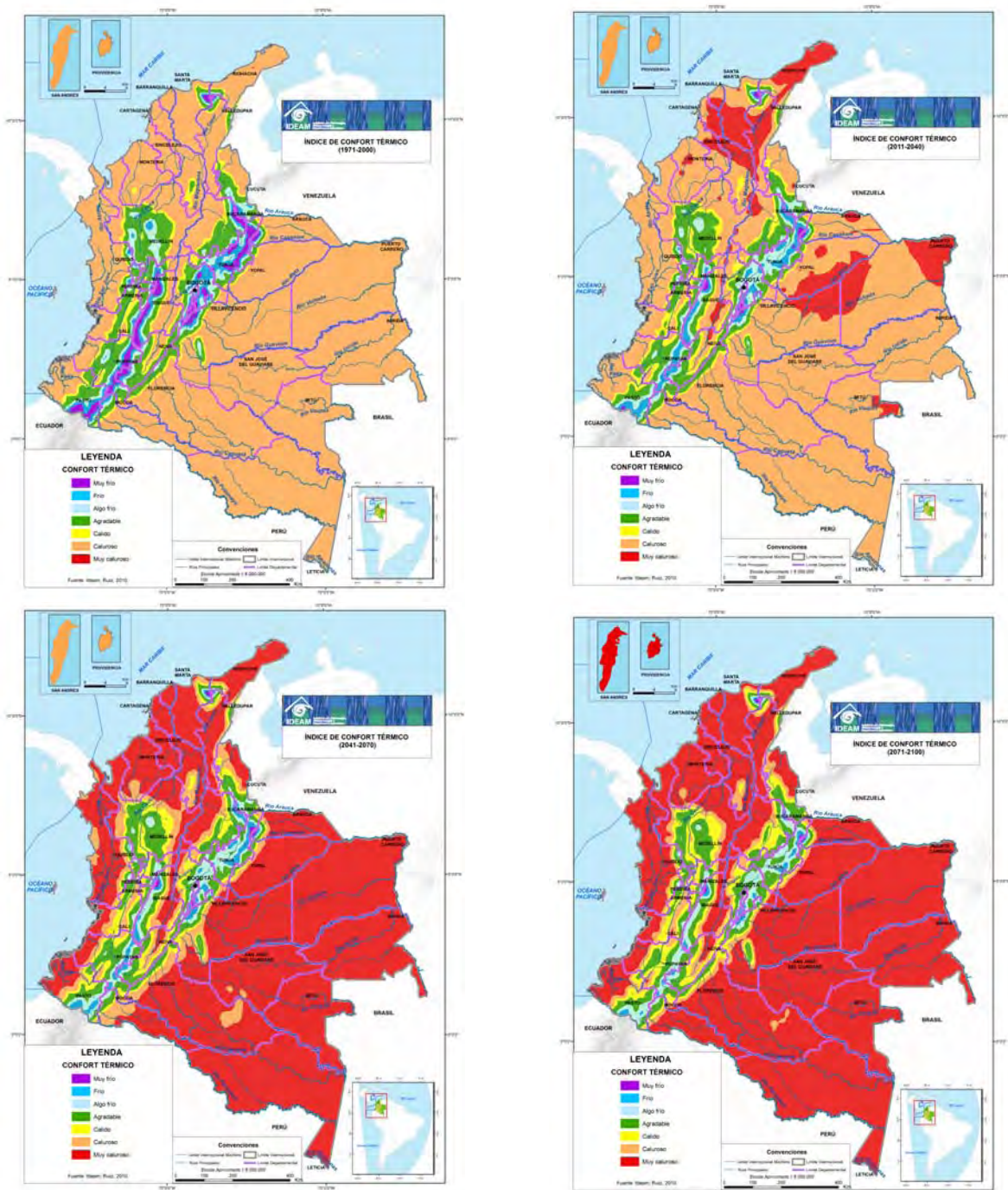
Dengue: 73% de casos de dengue clásico se registraron en los departamentos de Antioquia, Valle, Santanderes, Quindío y Huila. 62% de casos de dengue hemorrágico se presentaron en los dos Santanderes, Antioquia y Valle del Cauca.

Malaria: En los departamentos de Chocó, Antioquia y Córdoba, los casos de malaria de 1997 fueron superiores a los registrados en 1996, alcanzando 72,1% del total de los casos informados. En el departamento del Chocó, 200 de cada 1.000 habitantes se infectaron con malaria en dicho periodo.

Se pueden encontrar diferencias en la distribución de las enfermedades y muertes por el deterioro ambiental por grupos etarios, para lo cual se ha encontrado que los menores de 5 años (4.282.000, proyección a 2009, con base

⁶ $IC = (36.5 - t)(0.05 + \frac{h}{250})$ para elevaciones inferiores a 1000 m.; $IC = (36.5 - t)(0.05 + \frac{h}{180})$ para elevaciones entre 1000 a 2000 m.; $IC = (36.5 - t)(0.05 + \frac{h}{160})$ para elevaciones superiores a 2000 m. Donde IC es el índice de confort; t es la temperatura del aire en grados Celsius y h la humedad relativa, en porcentaje.

Figura 4.13 Evolución del índice de confort térmico por periodos



Fuente: Ideam-Ruíz. 2010

en el censo 2005) y las personas de la tercera edad (1.351.000 proyección a 2009, con base en el censo 2005) pueden ser los más afectados.

En la Tabla 4.9, se presenta un resumen de las consecuencias del fenómeno El Niño presentadas por el Ideam, de acuerdo con las experiencias y el conocimiento adquirido en el evento del fenómeno El Niño 1997-1998.

Adicionalmente, teniendo en cuenta los impactos que el cambio climático produce en la salud humana tanto por efectos directos como por efecto en sus determinantes, se convierte en un factor adicional a tener en cuenta al definir políticas de salud pública. En los últimos años, se ha venido acumulado evidencia sobre el cambio el cambio climático y su relación con la salud de las poblaciones. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático agrupa los efectos del cambio climático en diez categorías: 1) efectos del calor y el frío; 2) inundaciones tormentas y vientos; 3)

Tabla 4.8 Variables y cambio observados en dengue y malaria

Variable de cambio	Cambio observado
Enfermedades transmitidas por vectores y otras enfermedades infecciosas	Malaria: Los análisis estadísticos detallados de la relación entre el clima y la malaria en Colombia, indican que la malaria presenta un ciclo anual fuertemente relacionado con los ciclos hidroclimáticos ⁷ . Adicionalmente, ejercicios de modelación sugieren que los ciclos intranuales de temperatura media son lo suficientemente buenos para representar la oscilación estacional de la incidencia mensual de malaria. Sin embargo, también mostraron que la estacionalidad de la densidad de vectores es un factor importante a tener en cuenta para entender la transmisión, sugiriendo que la variabilidad interanual y estacional de la temperatura y la precipitación se requieren para evaluar el impacto del clima en la dinámica de la malaria ⁸ . También se logró establecer picos de malaria coincidentes con épocas del fenómeno El Niño y asociar estas epidemias de malaria con aumentos de temperatura y disminución de la precipitación durante este fenómeno ⁹ .
	Dengue: Los resultados preliminares del componente salud del proyecto INAP han sugerido que el calentamiento global y ciclos de ENSO más intensos pueden aumentar la producción y abundancia del vector transmisor del dengue en ciudades de la región Andina ubicadas entre 750 y 1.500 msnm, principalmente a través del aumento de la tasa de desarrollo larvario. Sin embargo, en la costa Caribe norte, el escenario más común de cambio climático puede disminuir las poblaciones de vectores a través del aumento de la mortalidad larvaria. Estas predicciones preliminares serán refinadas con la integración de parámetros dependientes de la temperatura en los modelos ecosociales de simulación de la producción de vectores y subsecuentemente probadas con datos de campo multianuales. ¹⁰

Fuente: Ideam, 2009 con información del DNP

Tabla 4.9 Consecuencias del Fenómeno El Niño 97-98

Variable	Consecuencias del fenómeno El Niño 1997-1998
Abastecimiento de agua para consumo humano	En el 50% de la superficie de la Guajira y Cesar, con índices de reducción en caudales para las principales fuentes de agua superficial cercanos al 30%. Las zonas del altiplano Cundiboyacense, los dos Santanderes y el centro oriente de Nariño, también evidencian reducciones severas y, en particular los departamentos de Boyacá y Cundinamarca en aproximadamente 25% de su territorio.
Salud	El número de municipios que registraron casos de dengue hemorrágico aumentó de 168 en 1997 a 302 en 1998. Los municipios con tasas de incidencia superiores a 100 por 10.000 habitantes urbanos fueron Bucaramanga, Floridablanca, Barrancabermeja, Girardot, Ibagué entre otras. Tendencia a que durante los años considerados como eventos fuertes y moderados de El Niño, ocurran incrementos importantes en el número de casos de malaria.
Población y asentamientos humanos	Consecuencias sociales debido a la intensidad y magnitud los eventos aislados de inundaciones y deslizamientos. 1.160 municipios, 100 presentaron déficit extremo, 861 déficit, 67 ligeramente deficitario y 42 condiciones normales.

Fuente: Ideam-Pava, 2009. Con base en información compilada sobre ENSO 97-98

sequías, nutrición y seguridad alimentaria; 4) inocuidad/higiene de alimentos; 5) agua y enfermedad; 6) calidad del aire y enfermedades; 7) alérgenos¹¹ aéreos y enfermedad; 8) enfermedades transmitidas por vectores (ETV) y otras infecciosas; 9) salud ocupacional; 10) radiación ultravioleta y salud. Este impacto se puede dar por múltiples mecanismo que interactúan entre sí.

Por ejemplo, es así como el cambio climático produce efectos en los diferentes ecosistemas, tiene igualmente, repercusiones en las poblaciones de vectores lo cual, a su vez, puede aumentar o disminuir la transmisión de ciertas enfermedades como malaria, dengue o leishmaniasis. Por otro lado, dado el impacto en el acceso al agua, se puede observar un cambio en las conductas en las comunidades respecto al almacenamiento de este recurso, pudiendo por ende favorecer la transmisión de ciertas enfermedades (Osorio, 2010).

Los análisis de la vulnerabilidad de la salud humana al cambio climático involucran diferentes interacciones complejas con diversos mecanismos por los cuales se puede producir un impacto en la salud, por lo cual se convierten en desafíos transdisciplinarios. Al evaluar la vulnerabilidad, se debe tener en cuenta tanto la vulnerabilidad basada en las condiciones de vida (pobreza, salud, acceso a servicios) como por la capacidad de adaptación. En consecuencia la vulnerabilidad de la salud humana al cambio climático, si bien depende de condiciones climáticas medidas generalmente sobre grandes extensiones, su impacto es muy local. El caso colombiano se ve afectado por la incertidumbre respecto a los impactos y, por ende, también se afecta la capacidad de adaptación¹².

7 Environmental Health Perspectives (2001). 109, Number 5. Coupling between Annual and ENSO. Time scales in the Malaria, Climate Association in Colombia. Poveda, G., Rojas, W., Quinones, M., Iván D. Vélez, I., Mantilla, R., Ruiz, D., Juan S. Zuluaga, J & Rua, G.

8 Malaria Journal (2006), 5:66. Modelling entomological-climatic interactions of Plasmodium falciparum malaria transmission in two Colombian endemic-regions: contributions to a National Malaria Early Warning System. Ruiz, D., Poveda, G., Vélez, I., Quinones, M., Rúa, G., Velásquez, L., & Zuluaga, J.

9 Climate and ENSO variability associated with vector-borne diseases in Colombia. Poveda, G., Nicholas E. Gram, Epstein, P., Rojas, W., Quinones, M., Vélez, I., Willem J. M. Martens

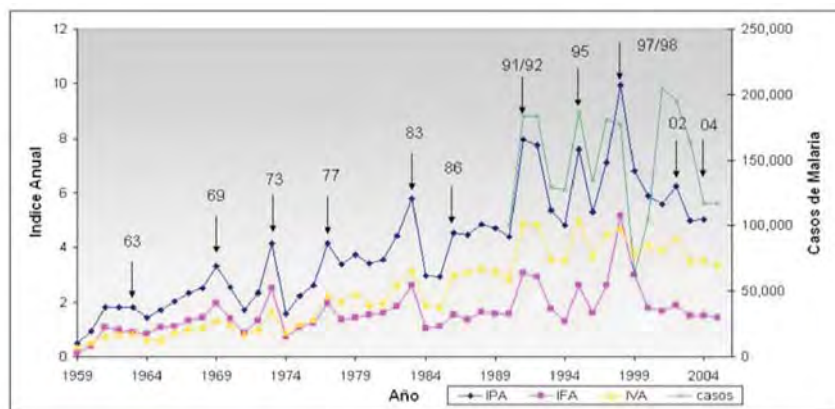
10 Padmanbha, H. - Instituto Nacional de Salud de Colombia (2008). Informe Anual Componente dengue proyecto INAP.

11 Sustancia que, al introducirse en el organismo, lo sensibiliza para la aparición de los fenómenos de la alergia.

12 Véase el glosario para ver la definición.

A pesar de la falta de información detallada respecto al impacto climático en la salud, eventos como el fenómeno de El Niño pueden poner en evidencia para algunas enfermedades la influencia del clima en la salud, la cual si bien puede enmarcarse dentro de los efectos de la variabilidad climática, es posible ver la relación del impacto con dicho fenómeno climático. En la Figura 4.14, se puede observar un aumento de casos en los años que cursaron con el fenómeno de El Niño, según las flechas que los resaltan.

Figura 4.14 Evolución de los índices de transmisión de malaria en Colombia en el periodo 1959-2005.



P. falciparum (IFA), y *P. vivax* (IVA), y casos totales (IPA). Fuente: Estrada y Poveda 2008

El incremento importante en la incidencia del dengue clásico y hemorrágico se focaliza en aquellos municipios más pobres, localizados por debajo de los 1.800 msnm, ubicados en las riberas de los principales ríos, donde existen condiciones previas de endemia y que fueron afectados por disminución en el abastecimiento de agua¹³. No obstante lo anterior, se podría esperar que con el calentamiento, el dengue y la malaria pueden expandirse a zonas más altas del país y, por ende, pisos térmicos más altos podrían estar más impactados en el futuro por estas enfermedades.

Así las cosas, el cambio climático pone en evidencia, respecto a la salud pública, la importancia del trabajo multi y transdisciplinario, con el fin de entender las interdependencias entre diferentes sistemas (humano, climático, etc.) para abordar el tema de forma completa y así obtener medidas de adaptación integrales, más efectivas y apropiadas.

4.5 VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS

Según el informe realizado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2009) en cooperación con la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (EIRD) y otros asociados internacionales, en los últimos 50 años, el 90% de los desastres naturales se han debido a fenómenos hidrometeorológicos (Cred: Centro de investigación de la epidemiología de los desastres). Entre 1956 y 2005, el número de desastres relacionados con condiciones meteorológicas, climáticas e hidrológicas fue casi 10 veces mayor, mientras que los costos económicos casi se multiplicaron por 50. Sin embargo, las pérdidas de vidas humanas descendieron de 2,66 millones (durante el decenio 1956-1965) a 0,22 millones, gracias, en particular, a los progresos en materia de gestión de riesgos de desastres y a las alertas meteorológicas tempranas cada vez más precisas (OMM). Entre 1991 y 2005 los desastres naturales afectaron a 3.470 millones de personas; en ese periodo se contaron 960.000 víctimas mortales y pérdidas económicas por un total de 1.193 billones de dólares estadounidenses (EIRD/ONU, citado por OMM, 2009).

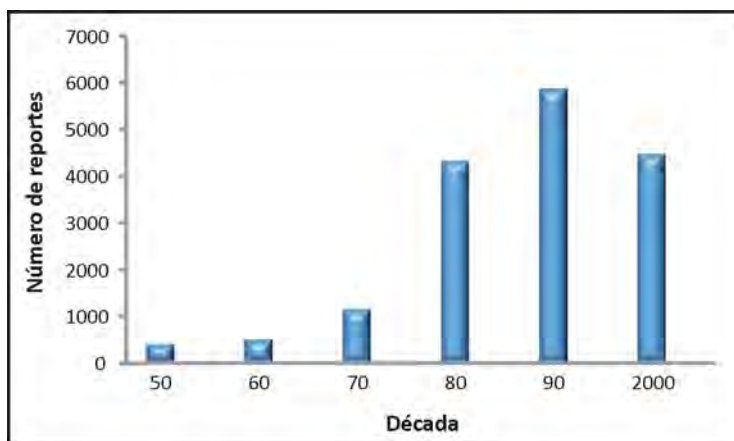
Dicha organización destaca, además, cómo la reducción de desastres basada en disciplinas científicas ofrece un alto rendimiento sobre la inversión: un dólar invertido en prevención de desastres puede representar siete dólares de ahorro en términos de pérdidas económicas relacionadas con desastres naturales. Unas predicciones y alertas meteorológicas y climáticas de mayor precisión son un factor clave para anticiparse a los peligros que acechan a vidas y bienes.

En Colombia, el registro de eventos se ha incrementado significativamente en las últimas dos décadas (ver la Figura 4.15). Este patrón si bien está relacionado en parte con el incremento de los fenómenos con que los sistemas nacional, regional y local de emergencias ha mejorado sus reportes, también influye que la población y los medios de comunicación a nivel local y regional se han concientizado de estos problemas, además de existir una mejor difusión de los desastres.

¹³ En el capítulo de Adaptación, se encuentran los resultados de las medidas de adaptación del componente de Salud del Proyecto Nacional Piloto de Adaptación, INAP.

Teniendo en cuenta lo analizado por Velásquez y Rosales (2003), los reportes de desastres más frecuentes en Colombia están asociados con dinámicas hídricas (inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales). Entre 1930 y 2002, los registros suman 11.561 eventos que representan 70 % de los casos registrados en la base de datos del OSSO, cuya principal fuente de información son la Dirección General para la Prevención y Atención de Desastres (DGPAD) y el periódico El Tiempo.

Figura 4.15 Número de reportes hidrometeorológicos registrados entre los años 1950 y 2007



Fuente: Autores, 2009. Análisis realizado con base en los reportes de desastres del OSSO y de la DGPAD.
Nota: La década del 2000 incluye hasta el año 2007.

Es importante destacar que el territorio colombiano se caracteriza por una gran diversidad de paisajes, debido entre otros, a los procesos de formación de las cordilleras y la variabilidad de climas. Esta situación junto con las diversas formas de ocupación del territorio, conlleva que al país a estar sometido a diferentes amenazas naturales de origen climático, hidrológico, sísmico, volcánico, geomorfológico y antrópico.

En términos generales, en las tres últimas décadas, más de 15 millones y medio de colombianos se han visto afectados por los desastres de origen natural, más de 38.000 personas han muerto a consecuencia de este tipo de eventos y, en la actualidad, cerca de 15 millones de personas, 35% de la población, está expuesta a un alto nivel de riesgo y otros 20 millones, 47%, a un riesgo intermedio¹⁴.

La inversión del Estado colombiano en prevención y atención de desastres entre 2005 y 2009, supera los US\$ 1,8 billones¹⁵; de estos, 51,5% ha sido destinado a reducir las condiciones de riesgo; 45,4% al manejo de desastres; 2,7% a la identificación del riesgo y 0,4% a la gobernabilidad y protección financiera. La inversión del Estado en su conjunto como porcentaje del PIB durante el periodo 2005-2007, oscila entre 0,15 y 0,24%.

De acuerdo con el DNP, los eventos relacionados con el clima, como son los deslizamientos e inundaciones para los años 1970 a 2000, alcanzaron daños estimados en US\$ 2.227 millones, los cuales representaron alrededor del 2,66% del PIB del año 2000. Esto sin tener en cuenta, que en la última década 2000 - 2010, el país ha superado los niveles históricos de inundaciones en los principales ríos, y que algunas regiones del país han sufrido los periodos más secos de los últimos 30 años.

Las anteriores cifras reflejan la importancia que tiene la temática de los desastres en el país y la necesidad de mejorar el conocimiento de los eventos y las dinámicas naturales que los provocan.

4.5.1 Fenómeno El Niño – La Niña (ENOS)

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

¹⁴ Cifras citadas por la Contraloría General de la República. Boletín de prensa 21 de julio de 2008: "En Quetame, anuncia el Contralor General: La CGR hará seguimiento sobre acciones de prevención y desastres". Recuperado el 01/08/2008, de http://www.contraloriagen.gov.co/html/contralor/contralor_inicio.asp.

¹⁵ Las cifras se basan en la información consolidada por el DNP, Sistema Integrado de Información Financiera (SIIF), inversión nacional 2005-2009 (apropiación inicial) y los reportes realizados por los departamentos y municipios del país (2005-2007). Los montos fueron calculados a precios constantes de 2009, empleando como TRM, \$2.091 COP por USD.

Los periodos El Niño corresponden a fases cuando la temperatura del océano Pacífico Oriental se incrementa respecto al promedio. Esto afecta la distribución de la precipitación con mayores lluvias en la parte sur del Pacífico colombiano y el piedemonte oriental de la cordillera Oriental y menores en la región Andina y el Caribe, mientras La Niña corresponde a un enfriamiento severo teniendo en cuenta la misma media, que se refleja en condiciones contrarias a las de El Niño.

Con base en los reportes de desastres del OSSO¹⁶, y de la Dirección General para la Prevención y Atención de Desastres (DGPAD), entre los años 1950 y 2007 se estableció que los desastres asociados con las lluvias tienen un incremento del 16,1% en relación con las condiciones normales durante los meses en los cuales se presenta el fenómeno de la Niña, mientras que durante el fenómeno El Niño presentan en promedio una disminución de 33,5%.

De igual forma, los reportes de desastres asociados con la sequía presentan un incremento del 216% durante los periodos El Niño y una reducción de 99,6% durante los periodos La Niña. En general, se puede concluir que históricamente un alto porcentaje de episodios relacionados con bajas precipitaciones, en especial en las regiones Andina, Caribe y Orinoquía, están asociadas con el fenómeno cálido del Pacífico (El Niño), y han impactado de diversas formas la producción agrícola, ganadera, la generación de energía eléctrica, la salud y el abasto de agua a ciudades y comunidades rurales. Obviamente, cada evento tiene sus particularidades, efectos e impactos, y un evento específico presenta características específicas y diferentes con respecto a otros. También se ha identificado que durante años La Niña se incrementa las precipitaciones en estas mismas regiones, trayendo como consecuencia un aumento en los reportes de procesos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundaciones.

4.5.2 Eventos climáticos extremos de precipitación y temperatura

Con base en los estudios realizados por el Ideam-Dorado (2008), para 393 estaciones en los que se seleccionaron y clasificaron en rangos los eventos de lluvias mayores a 20 mm y a 50 mm en el periodo 1971 a 2006, presentados en cada mes, se encontró lo siguiente:

- Las precipitaciones mayores a 20 mm (y menores a 50 mm) se distribuyen en su mayoría en el occidente del país (Nariño y Cauca), para los meses enero, febrero y marzo; las precipitaciones mínimas se localizaron en la región Andina, norte del país y piedemonte Llanero con valores medios en la Amazonia en los meses de abril, mayo, junio y julio. Para noviembre y diciembre se minimiza esta intensidad de eventos llegando a ser este último el más bajo de los casos, con un cubrimiento significativo para el país
- Los eventos con precipitaciones mayores a 50 mm son más reducidos, siendo enero, febrero y marzo los que registran menores casos. Desde abril hasta octubre se presentan comportamientos más amplios en el rango no significativos pero con mejor distribución de eventos. En noviembre y diciembre nuevamente se reduce el número de casos de las precipitaciones mayores a 50 mm. En todos los meses se conserva la zona occidental como la más amplia en el número de eventos.

Con respecto a la temperatura, en el estudio anterior se realizó el análisis de la distribución espacial de los valores máximos, a partir del análisis de los registros de 558 estaciones distribuidas por todo el país en el periodo de 1970 a 2006, con la selección de las temperaturas máximas y las mínimas mensuales para identificar los extremos en esta variable para cada uno de los meses. Las temperaturas se distribuyeron en ocho rangos, siendo 5°C el mínimo y 46,6°C el máximo. De los resultados obtenidos se destaca lo siguiente:

- En el norte del país se encontraron temperaturas elevadas, presentando un comportamiento entre los 31,1 °C y los 41,4 °C para los meses enero, febrero y marzo; estos dos últimos meses mostraron la mayor intensidad para las regiones de la alta Guajira, Sierra Nevada de Santa Marta, cuenca del Cesar, bajo Magdalena, litoral central, Sinú, San Jorge, bajo Nechí y Urabá. Los valores se minimizan en abril y mayo para luego incrementarse nuevamente para el periodo de junio a septiembre. Los meses de octubre a diciembre presentaron una disminución en la temperatura.
- La zona occidental presenta temperaturas máximas entre los 31 y 36°C con ligeros acompañamientos de núcleos en el norte y sur del Pacífico con temperaturas comprendidas entre 25 y 31°C. Esto se encuentra para las regiones del Pacífico norte y central, Pacífico sur y el oriente del Magdalena medio.
- En la región Andina se observan temperaturas más bajas en comparación con otras regiones. Para las regiones del alto Cauca y alto Magdalena se presentan tendencias mínimas a lo largo de las tres cordilleras, siendo la Cordillera Oriental la de mayor variación de temperatura.

16 Osso: Observatorio Sismológico y Geofísico del SurOriente colombiano.

- En los llanos Orientales se observan altas temperaturas, siendo la región más cálida frente al resto del país; esto se observa en forma más clara para los primeros meses, comportamiento que luego disminuye.

Con los datos obtenidos de las anomalías de temperatura se seleccionaron dos rangos (menor a -0,5 y mayor a 0,5) para poder ver la existencia en mayor proporción de los cambios de temperatura para los próximos 20 años. En términos generales, se encontró una tendencia al incremento de la temperatura para los próximos 20 años.

De otra parte, con base en otros análisis realizados por el Ideam-Ruiz (2009) en términos generales, los valores de las temperaturas extremas (mínima y máxima) están tomando valores mayores con respecto a sus valores medios normales.

4.5.3 Ciclonés tropicales en el Caribe

El litoral Caribe colombiano se ve afectado esporádicamente por el paso de huracanes (máxima expresión de los ciclones tropicales), debido a que está ubicado en una de las zonas ciclo-genéticas o formadoras de huracanes del mundo.

Los ciclones que potencialmente influyen en el país se forman al occidente del continente africano, donde se generan en promedio 11 ciclones tropicales por temporada (por año); estos avanzan hacia el occidente y pueden afectar de forma directa la península de La Guajira y el archipiélago de San Andrés y Providencia. Por su localización, el archipiélago insular colombiano es más propenso al paso y efectos de las categorías de huracanes más fuertes.

La temporada de huracanes normalmente ocurre desde comienzos del verano hasta finales del otoño del hemisferio norte (aproximadamente de junio a noviembre). De forma indirecta, los ciclones tropicales que se presentan en el mar Caribe, generan la activación de las precipitaciones en el interior del país. Con las lluvias se puede inducir una serie de eventos como los procesos de remoción en masa e inundaciones.

Algunos de los huracanes más destacados por su afectación sobre el territorio nacional han sido reportados en los años: 1818, 1876, 1877, 1906, 1932, 1935, 1940, 1961 con el Hattie, 1971 con Irene, 1972, 1984 y 1986, Parsons. Recientemente se destacan: en 1988 el huracán Joan, en 1993 la tormenta Bret, en 1996 el huracán César y en el año 2006 el huracán Beta. Gran parte de ellos tuvieron mayor incidencia especialmente el archipiélago de San Andrés y Providencia.

De acuerdo con las investigaciones realizadas por el Ideam-León (2007), de los ciclones presentados en el mar Caribe para el periodo comprendido entre los años 1851 y 2005, 10% corresponde a depresiones tropicales, 48% a tormentas tropicales y 42% son huracanes (NHC¹⁷). Véanse las Figuras 4.16 y 4.17.

Figura 4.16 Ocurrencia de ciclones tropicales y huracanes (1851-2005) en el Caribe (9°N a 18°N y 54°W a 84°W)

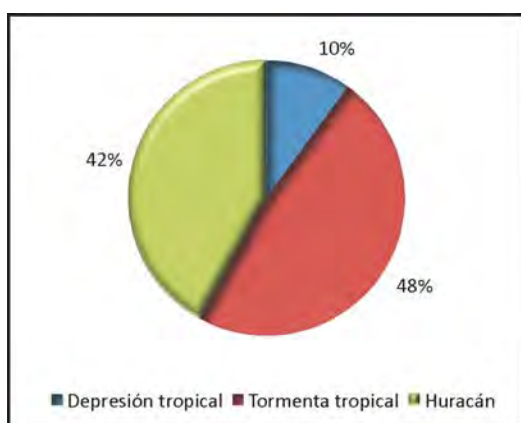
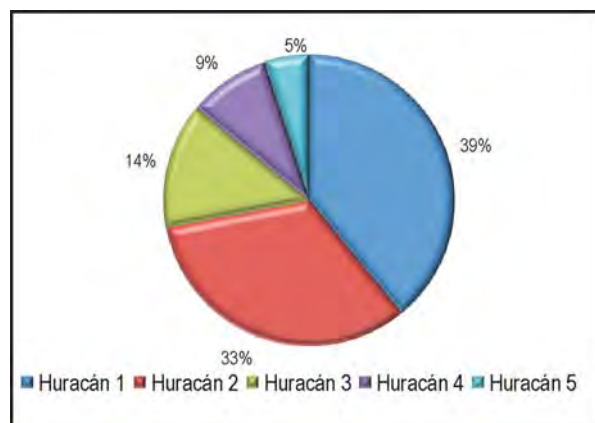


Figura 4.17 Ocurrencia de huracanes, según la escala Saffir-Simpson 3, 4 y 5 (1851-2005) en el Caribe (9°N a 18°N y 54°W a 84°W)



Fuente: Elaborado por Ideam-León 2007, con datos de NHC

De los huracanes que han transitado por el Caribe (Figura 4.17), 5% fueron de categoría 5, 9% categoría 4, 14% categoría 3, 33% categoría 2 y 39% de categoría 1.

Entre los años 1951 y 2005 se observa tendencia positiva al incremento de las tormentas tropicales y huracanes en el mar Caribe. Entre los años 1979 y 2005, los tres tipos de ciclones tropicales (depresiones, tormenta y huracanes), exhiben una tendencia creciente; resultados que son coherentes con los encontrados para toda la cuenca del Atlántico en los trabajos del IPCC (2007) y Landsea (2007).

En las Figuras 4.18 y 4.19 se presentan las series temporales de ciclones tropicales para los periodos 1951-2005 y 1979-2005.

Figura 4.18 Serie temporal y tendencia lineal de ciclones tropicales entre 1951 y 2005, en el Caribe (9°N a 18°N y 54°W a 84°W)

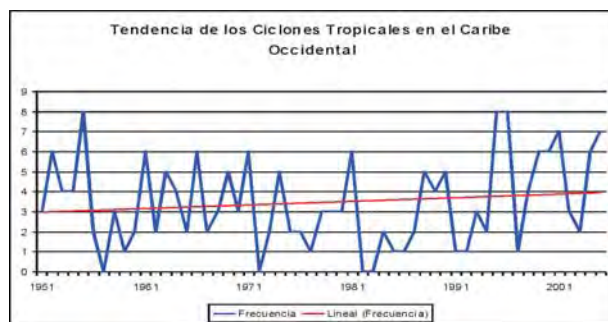
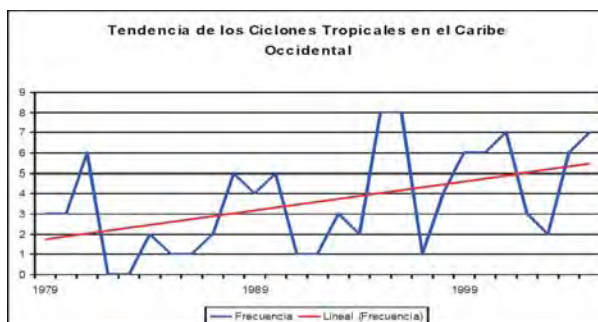


Figura 4.19 Serie temporal y tendencia de ciclones tropicales entre 1979 y 2005, en el Caribe (9°N a 18°N y 54°W a 84°W)

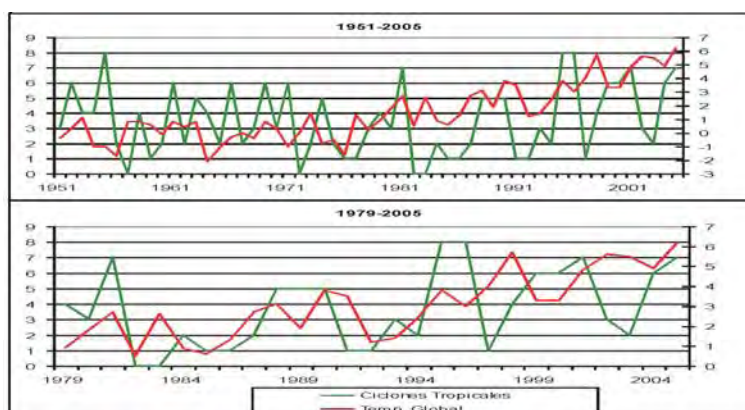


Fuente: Elaborado por Ideam-León 2007, con datos de NHC

Esta tendencia creciente en la frecuencia de ciclones tropicales en el área del Caribe está relacionada con la aparición y mayor frecuencia de estos sistemas que cruzan por latitudes más bajas en la región del mar Caribe y más cercanas a la zona continental colombiana.

Es probable que el calentamiento global esté contribuyendo para que los huracanes sean más destructivos y más frecuentes como lo muestran los registros analizados (Figura 4.20). Emanuel (2005) ha aportado pruebas de un aumento sustancial en el poder de los ciclones tropicales, señalados por la integral del cubo de los vientos máximos en el tiempo para las cuencas del Atlántico y del Pacífico occidental durante los últimos 50 años. Este resultado está apoyado por otros estudios (Webster & Hoyos), que revelan que se ha producido un aumento sustancial mundial de casi el 100% en la proporción de los ciclones tropicales más intensos (categoría 4 y 5 en la escala Saffir-Simpson), desde el periodo comprendido entre 1975 y 2004, y que ha ido acompañado de una disminución similar en los sistemas más débiles.

Figura 4.20 Serie temporal del índice de temperatura media global océano/tierra y de frecuencia de ciclones tropicales para los periodos 1951-2005 y 1979-2005 en el Mar Caribe, entre 9°N y 18°N, y 54°W a 84°W.



Fuente: Ideam-León, 2007, con datos de NHC

De los análisis adelantados por el Ideam, en términos generales, durante los eventos El Niño se presenta reducción en el número de casos de ciclones tropicales, mientras durante eventos La Niña aumentan.

Con la actual tendencia de incremento de la temperatura a nivel global se espera que en el océano Atlántico y particularmente en el mar Caribe, sea más propenso a la formación de huracanes, en especial de categorías fuertes, debido a que una de las condiciones para la generación de estos fenómenos corresponde con

temperaturas altas en la superficie del mar (por encima de 27,8°C). En términos generales, se puede prever que la intensidad de los huracanes aumente, sin embargo, es poco claro si las trayectorias dominantes o el número de eventos cambiará.

4.5.4 Incendios de coberturas vegetales

Los incendios forestales incontrolados afectan todos los componentes del medio ambiente, además de ser un serio problema económico debido a las grandes pérdidas que producen. Generan la destrucción de importantes extensiones vegetales, degradación y erosión de suelos, pérdida de hábitats y fauna, cambios en la calidad del agua y el aire, entre otros (Neary *et al.*, 2005; Brown *et al.*, 2000; Smith *et al.*, 2000 y Sandberg *et al.*, 2002 en: MAVDT-Fonade, 2009). Además, en el ámbito social pueden generar problemas por interrupción en el tránsito de las carreteras o líneas férreas, interrupción de servicios eléctricos o telefónicos, destrucción de viviendas, desplazamiento y hasta muertos y heridos. Muchas zonas pueden verse afectadas de forma reiterada por los incendios, acumulándose así los efectos negativos en el tiempo con la posibilidad de volverse un problema crónico.

En Colombia se realizó (MAVDT-Fonade, 2009), un mapa de susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios, con el fin de analizar la vulnerabilidad de nuestros ecosistemas ante dicha problemática. Este mapa surgió de la caracterización de la condición pirogénica de la vegetación con base en un modelo de combustibilidad vegetal aplicado a los datos obtenidos en el inventario de incendios en los diferentes ecosistemas (1986-2005). La susceptibilidad de las coberturas vegetales a los incendios está determinada por la cantidad de combustible disponible, la disposición de estos y el grado de combustibilidad que poseen, las cuales le brindan cierto grado de vulnerabilidad tanto de sufrir daños como de resistir y de recuperarse.

Excluyendo las coberturas clasificadas como no combustibles y las áreas urbanas, las cuales tienen una extensión aproximada de 22.472 km² (1,97% de la superficie del país), las áreas con susceptibilidad baja son las de mayor extensión con un área de 668.938 km² (58,99%), seguidas por las áreas de susceptibilidad alta con 21.0494 km² (18,44%). Las categorías de muy alta, moderada y muy baja susceptibilidad alcanzaron áreas de 57.625; 79.676 y 75.582 km², respectivamente, totalizando una menor extensión a nivel nacional.

Todos los biomas existentes presentan en algunas zonas una susceptibilidad baja, razón por la cual esta categoría abarca la mayor extensión a nivel nacional. Por otra parte, las áreas agrupadas dentro del rango de susceptibilidad alta, ocupan el segundo lugar en cuanto a superficie ocupada en el país, donde sobresalen los ecosistemas herbáceos y de pastizales en los biomas de la Orinoquia y Amazonia, y los agroecosistemas dentro del bioma Andino Bajo¹⁸.

Las áreas con muy altas y altas susceptibilidades corresponden a las áreas de pastizales y herbazales de los biomas de la Orinoquia y la Amazonia, como era de esperarse, ya que en esta área se presentan los ecosistemas naturalmente influidos por el fuego. Sin embargo, por el alto grado de susceptibilidad se hace necesario el control y prevención constante de estas biocenosis, debido a que es una zona importante de producción agropecuaria del país, donde culturalmente se usan prácticas de roza y quema, lo cual aumenta su vulnerabilidad a los incendios descontrolados.

Otros biomas categorizados en el rango de muy alta susceptibilidad, son los orobiomas bajo y alto de los Andes, donde se ubican diferentes agroecosistemas, herbazales, pajonales, pastizales y bosques bajos de zonas altoandinas y de páramo. Durante las épocas en las cuales se presenta el fenómeno de El Niño, la susceptibilidad de la vegetación a los incendios, en esta área del país, aumenta considerablemente por efecto de las sequías prolongadas y por el incremento de la temperatura y la insolación.

4.6 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL

La metodología utilizada para evaluar la vulnerabilidad y definir las estrategias de adaptación, parte del análisis de las condiciones actuales de desarrollo del país agrupados en sistemas naturales y sociales. En los sistemas sociales se incluyen los asentamientos humanos, la infraestructura, los sectores productivos y las relaciones sociales y económicas generadas.

4.6.1 El enfoque y propósito del método

Si bien la vulnerabilidad varía mucho entre las comunidades, los sectores, y las regiones, se debe partir de la dificultad misma de separar causas y efectos de la misma variabilidad climática y del cambio climático. Por lo anterior se

desarrolló una forma y método que le permita al país la comparación de los análisis y evaluaciones que se realicen por los diferentes sectores e involucrados.

El ejercicio se basa en la discusión con expertos de los sectores directamente relacionados con la afectación de las emisiones a nivel global, los cuales se identifican tanto por los efectos en el clima y la productividad como las relaciones entre el ambiente, los recursos naturales y las comunidades (sectores, población o sociedad). En consecuencia, el método además de ser un desarrollo conceptual y procedimental, facilita ver los resultados secuenciales de un tipo de investigación comprensiva y explícita.

Para tales fines, se requiere de manera previa, aclarar algunos conceptos claves de la metodología y estado del marco de referencia.

4.6.2 Marco de referencia

Como referencia general, se parte de la definición dada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007, p. 113) quien define la vulnerabilidad "como el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos..."

En la siguiente figura se muestra el esquema básico con el cual se soportó el proceso, teniendo en cuenta la revisión de los enfoques y métodos de diferentes lugares. Uno de los referentes principales se tomó de la documentación del Cuarto Informe de Evaluación CIE (IPCC, 2007) el cual se muestra en la Figura 4.21. Tal esquema, si bien identifica las variables o insumos que se valoraron, muestra la interrelación y dificultad al momento de generar la secuencia de procedimientos.

Figura 4.21 Metodología general para el análisis de la vulnerabilidad



Fuente: IPCC, 2007. Cuarto Informe de Evaluación, CIE

4.6.3 Estructura general

De los conocimientos logrados con el análisis de amenazas, la vulnerabilidad y el riesgo, diferentes referencias de la literatura sobre tal ámbito han relacionado tales factores o variables con la siguiente expresión:

Riesgo = Amenaza (Peligro o Evento climático Adverso) * Vulnerabilidad. Ecuación 1

En el proceso desarrollado se ha mantenido tal enfoque (ecuación 1), con el fin de facilitar los respectivos análisis y valoración del riesgo. Lo anterior permite, además de lograr una mayor integración con los especialistas en el área de los riesgos, optar por las opciones más apropiadas en la aplicación de los recursos por los tomadores de decisiones.

Es por ello que se ha tomado la amenaza natural como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado periodo de tiempo. Es decir, la probabilidad de ocurrencia (amenaza) del evento adverso, operada en forma multiplicativa por las pérdidas (impacto) o vulnerabilidad, determina el riesgo de pérdida de bienes, servicios o funcionalidad.

La vulnerabilidad, según Varnes (1984, en Suárez, 1998, p. 362 y 368) es el grado de pérdida de un determinado elemento o grupo de elementos en riesgo, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud dada. Es decir, las pérdidas potenciales son el referente del impacto potencial.

En complemento con el concepto expuesto en los deslizamientos (enfoque anterior), vale citar a Chow, Maidment y Mays (1994, p. 433), quienes definen el riesgo hidrológico natural o inherente de falla a través de la siguiente expresión:

$$R = 1 - [P(X > x_T)]^n. \text{ Ecuación 2}$$

Donde: $P(X \geq x_T) = 1/T$; n : es la vida útil de la estructura; R : representa la probabilidad de que un evento X e " x_T " ocurra por lo menos en n años. Al reexpresar la ecuación anterior del riesgo se tiene la siguiente ecuación:

$$R = 1 - [(1-1/T)]^n. \text{ Ecuación 3}$$

Se colige con base en lo anterior, que en las ecuaciones anteriores de Chow *et al.*, (1994) se hace referencia a la amenaza, según la metodología del presente documento.

Por su parte, si bien el IPCC ajustó su definición de vulnerabilidad, la cual se sigue igualmente para la presente metodología, es necesario resaltar que la vulnerabilidad se considera como los impactos residuales del cambio climático, luego que han sido implementadas las medidas de adaptación. La expresión adoptada en la presente metodología se basa en la siguiente expresión:

$$\text{Vulnerabilidad} = [\text{Impactos potenciales negativos}] - [(\text{Impactos pot. negativos}) * \text{Capacidad de adaptación}].$$

Ecuación 4

Es importante tener en cuenta que la vulnerabilidad puede corresponder a las condiciones actuales (es decir, la línea de base de vulnerabilidad definida por condiciones socioeconómicas). Sin embargo, puede extenderse al futuro como un escenario de referencia de la vulnerabilidad socioeconómica. Asimismo, diferentes autores se refieren a la vulnerabilidad futura en relación con el cambio climático, para lo cual se usa el término vulnerabilidad al cambio climático, según la definición del IPCC (Pnud, 2005).

Con tales definiciones, el marco conceptual que integra tanto la mitigación como la vulnerabilidad, tomó en cuenta el modelo de las variables mostradas, tanto por el IPCC (2007, en el CIE), como una parte de la estructura planteada por Isoard, G. & Zebisch¹⁹ (2008).

En las definiciones es necesario advertir la diferencia entre la mitigación que se realiza en los procesos o medidas de manejo ambiental de proyectos, obras o actividades con la acepción o significado establecido por el IPCC²⁰.

Con tales referentes, el proceso de construcción metodológica se fundamentó en la discusión al interior del Ideam, tanto con los profesionales de la Subdirección de Estudios Ambientales como con los expertos de las Subdirecciones de: Hidrología, Meteorología y Ecosistemas, y la Dirección General. Adicional al debate interno en el Ideam se planearon y estructuraron más de diez talleres con expertos de los sectores²¹ agrícola, ganadero, energético, social, ecológico y ambiental; además de las relacionadas directamente con las herramientas de apoyo metodológico y SIG²².

19 Isoard, G. & Zebisch, 2008. En: EEA Report No. 4/2008. Impacts of Europe's changing climate (2008 indicator) based assesment.

20 Mitigación: Intervención humana destinada a reducir las fuentes o intensificar los sumideros de gases de efecto invernadero (GEI). En otras palabras: Medidas relacionadas con la reducción de emisiones de GEI y/o captura o almacenamiento de GEI.

21 La estructuración y temas discutidos se pueden encontrar en Ideam-Lamprea (2010), referente al documento interno del Ideam del proceso metodológico.

22 Acrónimo para los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

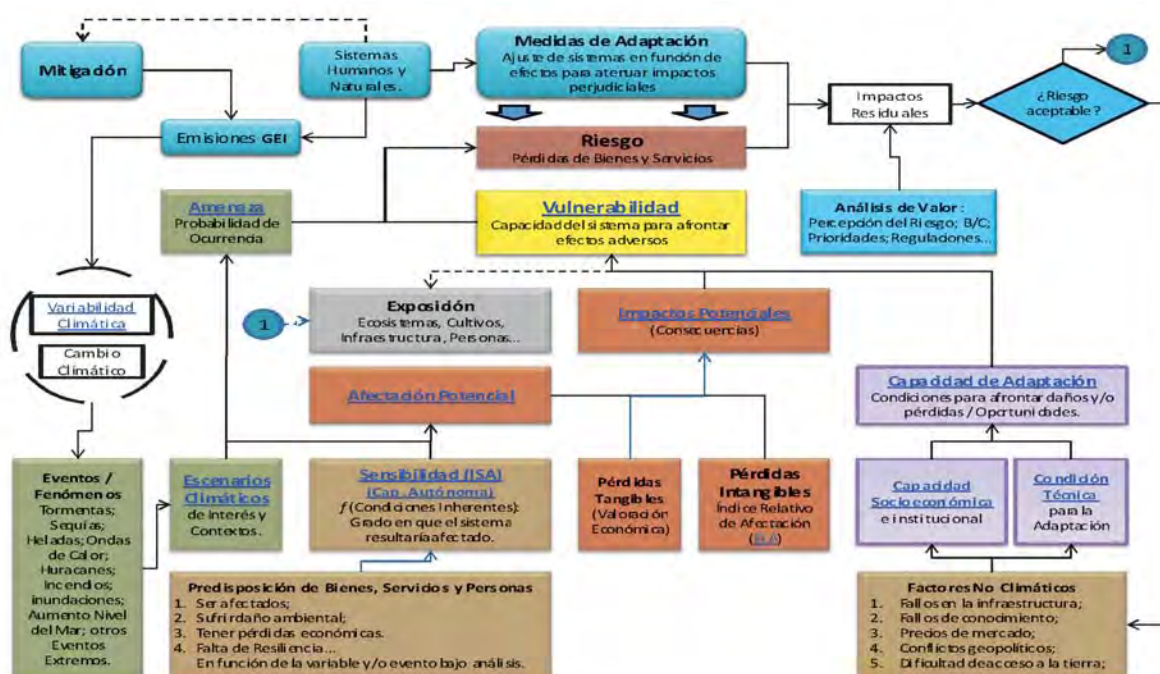
4.6.4 Marco metodológico

La metodología utilizada para la evaluación de la vulnerabilidad permite identificar regiones, coberturas y/o sectores más vulnerables y/o zonas críticas, previa la obtención de los resultados intermedios.

Como se indicó, el fin principal es servir de soporte para el diseño y la evaluación de medidas de adaptación, con la posibilidad de incluir criterios de manejo con la optimización de metas que permitan reducir la vulnerabilidad. Con base en las discusiones realizadas dentro del proceso (talleres y reuniones previas), junto con los productos obtenidos de los talleres realizados con los diferentes sectores y el proceso de sistematización con el SIG, se logró obtener la estructura metodológica o modelo para evaluar la vulnerabilidad. Véase la Figura 4.22.

Es necesario tener en cuenta que la probabilidad de que se presente un nivel o categoría de pérdidas se considera bajo la ocurrencia del escenario bajo examen. Es decir, la dimensión o determinación de la vulnerabilidad resulta tanto de la condición de ocurrencia de un evento de determinada magnitud, en un área y tiempo específicos, y en función de las pérdidas, daño o afectación del sistema (natural o antrópico). En el apartado donde se explica la amenaza se amplía el criterio del riesgo como la probabilidad de ocurrencia de un efecto adverso y sus consecuencias o impactos en un contexto y bajo unas condiciones determinadas.

Figura 4.22 Estructura metodológica para evaluar la vulnerabilidad



Fuente: Ideam-Cabrera & Lamprea, 2010. Con insumos de diferentes modelos

4.6.5 Amenaza

La amenaza se definen como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por el hombre, con capacidad de generar daños o pérdidas en un lugar y momento determinado. (MAVDT-Millán, 2005, p. 16). Asimismo, la amenaza hace referencia a la probable ocurrencia de un fenómeno, sea natural o generado por el hombre de forma no intencional, que tenga la potencialidad de generar daños y pérdidas en un contexto social, temporal y espacial determinado. (MAVDT, 2005, p. 19).

En términos más técnicos, la definición de amenaza puede expresarse como la probabilidad de excedencia de cierto parámetro del fenómeno bajo consideración en un periodo de tiempo determinado, según la siguiente expresión:

$$H(\vec{a}, t) = P(A > a | t_1 < t < t_2)$$

Donde, \vec{a} es el vector de parámetros utilizado para describir la amenaza; y el intervalo $[t_1, t_2]$ es el periodo de tiempo para el cual se hace el análisis. La intensidad del evento puede representarse por un parámetro específico del fenómeno; tal como la aceleración pico esperada del sismo, la precipitación máxima probable, etc., o simplemente por su severidad (Sánchez, 2005, p. 58).

La probabilidad de ocurrencia de un determinado evento varía desde imposibilidad de ocurrencia del suceso (0), la frecuente presencia (plausible o posible) hasta la seguridad misma de que éste ocurra (1). Así, un evento con alta probabilidad de ocurrencia tendrá un valor cercano a la unidad (1) y para el evento de ocurrencia nula se le asignará una probabilidad de cero (0), o excepcionalmente improbable tendría una cifra cercana a cero.

4.6.6 Escenarios climáticos

Para el ejercicio realizado se optó por utilizar el resultado del multimodelo de precipitación media para los periodos 2011 a 2040²³ y 2071 a 2100 (Ideam-Ruiz, 2010), el cual se muestra en la Figura 4.22. Dicho escenario de lluvias se adoptó por representar condiciones más “esperadas” con respecto a la emisión de gases de efecto invernadero. Además, dicha variable permite diferenciar con mayor claridad y correspondencia directa, los efectos de reducción o aumento de la cantidad sobre diferentes sectores y ecosistemas en todo el territorio nacional. Asimismo, vale tener en cuenta que cuando se evalúa la incertidumbre respecto al impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos (por ejemplo), un planteamiento probabilístico multimodelo es preferible que utilizar los resultados de un solo modelo climático (IPCC, 2008, p. 49).

4.6.7 Áreas de exposición

El grupo o áreas de exposición lo constituyen principalmente: personas (asentamientos humanos), recursos (agua, vegetación, suelo), actividades económicas (sectores) o regiones. Por ejemplo, un enfoque en los sectores seleccionados tendrá que ver con los alimentos básicos, además del análisis general de las personas, los ecosistemas y servicios prestados. Es decir, la exposición determina uno de los factores de riesgo establecidos por los límites de un espacio territorial, cantidad de recursos específicos o actividades realizadas por un grupo que se pueden ver afectados por las variaciones o cambios climáticos.

La exposición para el ejercicio desarrollado se presenta en términos de áreas de cobertura, porcentajes, personas, etc., basados en el análisis de los escenarios de cambio climático por aumento de temperatura y/o variación de la precipitación, frente a los mapas temáticos (infraestructura, población, recurso, etc.). En nuestro caso corresponde a los polígonos donde se esperan variaciones de precipitación y temperatura, según las Tablas 4.10 y 4.11. El modelo adoptado establece una condición previa para que se genere una pérdida o afectación sobre determinado recurso o actividad por ejemplo, de ahí que se incluya el escenario y/o evento amenazante según la ubicación de la Figura 4.22.

Para facilitar la lectura e interpretación de los mapas y cuadros, se utilizó la identificación de los colores, símbolos y significado que muestran en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10 Clasificación de los rangos de variación de la precipitación con respecto al clima presente

Descripción	Variación de la precipitación en el ensamble multimodelo y calificación establecida				
Rangos de variación	Reducción mayor a 30%	Reducción de 10 a 30%	Reducción y/o Incremento de 10%	Incremento del 10 a 30%	Incremento mayor a 30%
Calificación	5	4	1	2	3
Color	Rojo	Naranja	Verde oscuro	Verde claro	Amarillo
Interpretación	Muy bajo (Mb)	Alto (A)	Muy bajo (Mb)	Bajo (B)	Moderado o medio (M)

Fuente: Ideam-autores, en el proceso

Con respecto a los escenarios de temperatura se tiene la siguiente clasificación presentada en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11. Clasificación de los rangos de temperatura

Descripción	Variación de la temperatura para el escenario				
Rangos de variación	De 1,1 a 2 °C	De 2,1 a 3 °C	De 3,1 a 4 °C	De 4,1 a 5 °C	Mayor de 5 °C
Calificación	1	2	3	4	5

Fuente: Ideam-autores, en el proceso

²³ La estimación más idónea de las proyecciones obtenidas de los modelos indica que, de aquí al año 2030, el calentamiento medio decenal en cada continente habitado no depende del escenario IE-EE escogido, y que es *muy probable* que duplique como mínimo (en torno a 0,2°C por decenio) la variabilidad natural correspondiente, estimada mediante modelos, durante el siglo XX. Según los escenarios del IEE, si en ausencia de mitigación prosiguieran las emisiones de gases invernadero a un ritmo igual o superior al actual, se produciría un calentamiento adicional, y el sistema climático mundial experimentaría durante el siglo XXI numerosos cambios, *muy probablemente* mayores que los observados en el siglo XX (IPCC, 2008, p. 25).

Para efectos de analizar el comportamiento conjunto de las dos variables anteriores, se optó por el índice de clasificación climática de Lang, el cual se analiza al final del documento.

4.6.8 Decisión de la valoración

En la Tabla 4.12 se presenta un ejemplo de matriz de decisión utilizada, según los rangos (0,0 a 1,0) del cruce de condiciones, bien sea de las variables de sensibilidad o del nivel de afectación.

Tabla 4.12. Matriz de Análisis para la Decisión (MAD) del cruce de variables

Poblacional	Económico	Componente Ecológico / Ambiental	Nivel Consecuencias	Probabilidad de Ocurrencia / Sensibilidad					Valores del Cruce / Calificación			
				1	2	3	4	5	Cal.	Nivel	Rango	
				0,0 a 0,2	0,2 a 0,4	0,4 a 0,6	0,6 a 0,8	0,8 a 1,0				
Municipios (7) con > 500.000 habitantes (33%)	>\$100M USD	1) Impacto Internacional. 2) (Afectación negativa a 5 ó más bienes y/o spp. endémicas; servicios ambientales) 3) Índice de aridez: < 0,65. 4) Áreas con pendientes > 75% 5) Vegetación de bosques de alta montaña y superiores, bosques xerofíticos, áreas de humedales, litorales costeros, marismas y ciénagas 6) Parches < 12,5 km2. 7) Profundidad efectiva < 0,25 m.	5	4	4	3	3	3	Muy alta	5	0,80	1,00
Municipios (19) de 200.000 a 500.000 habitantes (16%)	\$10M a 100M USD	1) Impacto Nacional. 2) (Afectación negativa hasta 4 bienes y/o spp. endémicas; servicios ambientales). 3) Índice de aridez: 0,65 – 0,75. 4) Áreas con pendientes > 75%. 5) Bosque secundario (con 2 ó más estratos), bosques espinoso o muy seco, matorral desértico y similares. 6) Parches. 7) Profundidad efectiva.	4	3	4	3	3	Alta	4	0,60	0,79	
Municipios (87) de 50.000 a 199.999 habitantes (18%)	\$1M a 10M USD	1) Impacto Regional. 2) (Afectación negativa hasta 3 bienes y/o spp. endémicas; servicios ambientales). 3) Índice de aridez: 0,75 – 0,85. 4) Áreas con pendientes > 50% y < 75%. 5) Arbustales o misceláneos de vegetación (exceptuando Veg. de páramo y zonas o formaciones del tipo 4 anterior). 6) Parches 25 – 50 km2.	3	3	3	4	3	Media	3	0,40	0,59	
Municipios (235) de 20.000 a 49.999 habitantes (16%)	\$100K a 1M USD	1) Impacto Municipal. 2) (Afectación negativa hasta 2 bienes y/o spp. Endémicas; servicios ambientales). 3) Índice de aridez: 0,85 – 1,0. 4) Áreas con pendientes > 25% y < 50%. 5) Herbazales con árboles o arbustos aislados, sabanas arboladas de los bosques secos (exceptuando Veg. de páramo). 6) Parches 50-100 km2. 7) Profundidad efectiva 0,50 a 1,0 m.	2	2	3	3	4	Baja	2	0,21	0,39	
Municipios (757) de < 20.000 habitantes (17%)	< \$100K USD	1) Impacto Local. 2) (Afectación negativa hasta 1 bien y/o spp. endémica, servicios ambientales). 3) Índice de aridez: > 1,0. 4) Áreas con pendientes > 12% y < 25%. 5) Agro ecosistemas (Mezclas de árboles con cultivos o pasturas). 6) 7) Profundidad efectiva > 1,0 m.	1	2	3	3	4	Muy baja	1	0,00	0,20	
Clasificación para la Vulnerabilidad Conjunta	Cifras hipotéticas	Sin Impacto notorio.	0	1	2	3	4	5				
Consecuencias / Impactos				Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta				
				Interpretación de la Clasificación								

Fuente: Ideam-autores. Desarrollada en el proceso adaptado de varias fuentes

Con dicha matriz como ejemplo, se busca calificar y definir los rangos y niveles de interpretación para el cruce de variables. Es procedente mencionar que dependiendo del operador matemático entre las variables, algunos niveles se estarían desplazando y/o reduciendo en las frecuencias de ocurrencia de los rangos de clasificación.

4.6.9 Evaluación de la sensibilidad ambiental

La sensibilidad está definida como el grado en que un sistema puede ser afectado positiva o negativamente, por los estímulos relacionados con el clima²⁴. La sensibilidad también puede ser determinada como el grado con el cual un sistema es afectado o reactivo a los estímulos del clima (Aerts & Droogers, 2004).

La sensibilidad, además de variar en función del tipo de intervención a que será sometido el elemento o grupo analizado por los agentes climáticos, responde en función de las condiciones inherentes bien sea por la estructura, arreglo, composición y relaciones para hacer frente al agente adverso. Como ejemplo, se asocia la elevada sensibilidad de la materia orgánica en la alta montaña con el incremento de temperatura, la cual al degradarse modificará los

24 Climate change vulnerability and adaptation indicators. Mike Harley, Lisa Horrocks and Nikki Hodgson (AEA), Jelle van Minnen (PBL). European Topic Centre on Air and Climate Change.

procesos de regulación hídrica de las cuencas allí presentes y, por lo tanto, los regímenes de caudales; es decir, dicho ecosistema sería más sensible que la selva tropical húmeda (para las condiciones mencionadas). Adicionalmente, se puede comparar un suelo con alta capacidad de almacenamiento hídrico (profundidad efectiva, y/o materia orgánica, p. ej.) para soportar mayores exigencias en los periodos de sequía, convirtiéndose así en una menor sensibilidad ante eventos más severos provocados por una mayor variabilidad o cambio climático.

Un enfoque importante en el análisis de la sensibilidad para reducir la vulnerabilidad es la identificación de factores o variables de intervención con opciones de respuesta favorables²⁵. Se puede dar el caso de condiciones relacionadas con prácticas de manejo agrícolas que podrían empeorar la estructura y consistencia de los suelos, haciéndolos menos eficientes en la retención de humedad disponible para las plantas o en la generación de mayores escurrimientos si se afecta el coeficiente de escorrentía cuando aparece la destrucción de las características deseables de una buena infiltración.

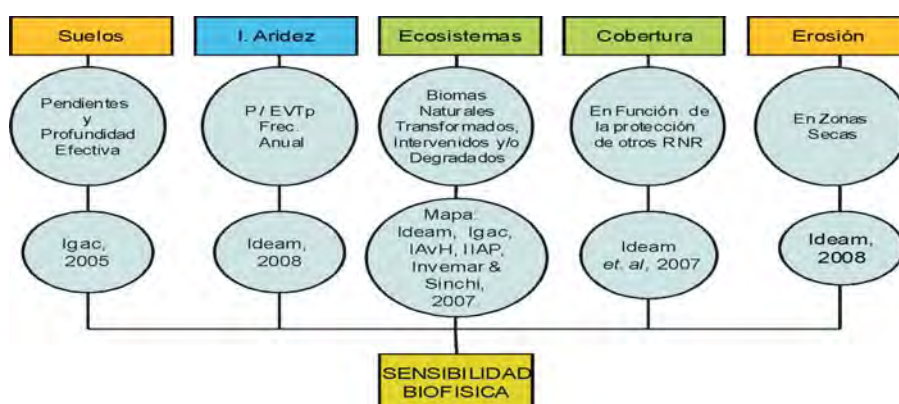
Vale mencionar, por consiguiente, que el análisis del recurso tendría que ser evaluado en función de dos comportamientos para los diferentes periodos (secos y húmedos) frente a la respuesta del medio, pues a pesar de identificarse un posible aumento en el rendimiento futuro, por ejemplo, se podría estar ingresando al manejo de procesos de degradación y/o pérdida de suelo por el potencial arrastre del mismo por la mayor escorrentía; una menor cantidad significaría posiblemente un detrimento de la disponibilidad de agua superficial. Por ello, la vulnerabilidad del recurso hídrico superficial resulta más compleja de evaluar y de involucrar en las características para analizar la sensibilidad.

Además, es necesario tener en cuenta la evolución de la vulnerabilidad socioeconómica (que podría ser relacionada con la capacidad autónoma), la cual puede influir en la sensibilidad del medio natural al estar ligada fundamentalmente con factores no climáticos como son: fallos en la infraestructura, factores o relaciones de mercado negativas para la comercialización de productos o servicios, fallos en el conocimiento del problema a resolver, conflictos geopolíticos que desmejoren las relaciones para una buena producción o rentabilidad, desequilibrios o inequidades en el acceso a las tierras aptas para la producción y, por qué no, la falta de resiliencia vista como un todo y no solamente basada en el concepto biofísico. Estos factores fueron involucrados en el análisis de la condición actual o voluntad de adaptación, los cuales son analizados más adelante. Tales variables o factores afectan el comportamiento presente y futuro de la adaptación endógena, ya sea planificada o autónoma. En resumen, las condiciones inherentes o predisposición a sufrir la afectación, daño o pérdida de un grupo, área, ambiente o territorio en relación con otras, caracteriza la sensibilidad.

En los talleres se encontró la oportunidad para discutir el entorno para analizar cómo interactúan los factores no climáticos con las actividades específicas y temas de desarrollo sostenible. En el Anexo 4.1 se encuentra un resumen de los resultados obtenidos en los talleres realizados con los diferentes sectores que colaboraron con el desarrollo metodológico.

Para la simulación y obtención de los productos intermedios se involucraron las siguientes variables biofísicas que se muestran en la Figura 4.23.

Figura 4.23 Variables empleadas para obtener el índice de sensibilidad ambiental o biofísica (ISA)



Fuente: Ideam-Carrillo & Lamprea, 2010. Desarrollado en el proceso

Teniendo en cuenta las variables empleadas, es necesario advertir que en la medida que se incluyan otras variables, seguramente se mejora la captura de información que explica ciertas condiciones propias de los diferentes territorios o ambientes; no obstante, no se debe perder de vista los efectos de tener factores redundantes que pueden enmascarar variables clave que explican de manera eficiente el comportamiento ante un evento adverso, o también una mayor ponderación o ampliación de la expresión misma dentro del territorio.

Un estudio que se utilizó como insumo para obtener información es referido al análisis del proceso de desertificación adelantado por el Ideam-Carrillo (2008), el cual está relacionado con los fenómenos climáticos, tal como se puede observar más adelante en la Figura 4.25.

4.6.9.1 Ecosistemas secos y desertificación

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) reconoce en su preámbulo que “los países de baja altitud y otros países insulares pequeños, los países con zonas costeras bajas, zonas áridas y semiáridas, o zonas expuestas a inundaciones, sequía y desertificación, y los países en desarrollo con ecosistemas montañosos frágiles, son particularmente vulnerables a los efectos adversos del cambio climático”. Colombia posee diferentes regiones con las características antes mencionadas, las cuales son analizadas en el presente aparte. Ver el Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3 La desertificación

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

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

Fuente: tomado de las referencias citadas.

- Índice de aridez

Es necesario tener presente la diferencia entre la aridez y la sequía. En ambos casos el problema fundamental es la carencia de agua, pero mientras que la aridez es un fenómeno climatológico ligado a la circulación de las masas de aire alrededor de la Tierra y, por lo tanto, permanente y continuo, la sequía es un hecho ligado a la distribución estacional de la precipitación anual, que pasa por una serie de valles y picos con un periodo de repetición semialeatorio.

La Unep (United National Environment Programm) define la clasificación de índices hasta el rango de 0,65; la cual, al compararla con la clasificación de la Unesco, fue necesario ampliar el rango a) hasta 0,75 (seco subhúmedo), con base en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13 Clasificación de la aridez

Clasificación	Descripción	Rango
A	Seco subhúmedo	0,50 a < 0,65
B	Semiárido	0,20 a < 0,50
C	Árido	0,02 a < 0,20
D	Hiperárido	<0,02

Fuente: Thomas, 1997 adaptada con UNEP, 1992

Con la disponibilidad de los datos de todo el país, se realizó el cálculo: $P/EVTP^{26}$, y se adelantó la representación cartográfica para cada mes. Adicionalmente, se realizó un conteo por estación de los meses que presentan un índice de aridez menor de 0,75; con lo cual se generó un mapa de la temporalidad de las zonas con escasez.

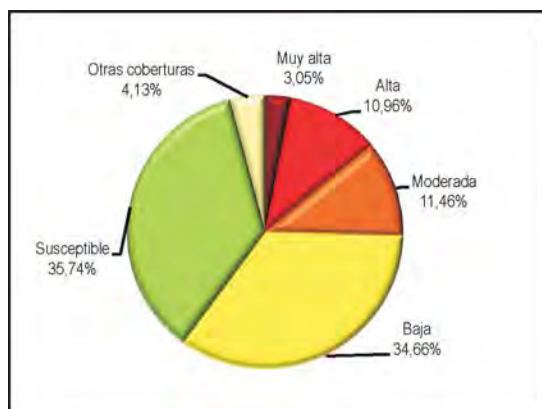
En este orden de ideas, se identificaron las zonas que por clima, suelos, cobertura de la tierra y ecosistemas, presentan características de ambientes secos y que, además, tienen evidencias de degradación por erosión y salinización. Según tales áreas al ser evaluadas y calificadas en función de la vulnerabilidad al cambio climático y su estado de degradación, se tiene que aproximadamente 24% del territorio nacional es vulnerable a desertificarse y 14% está degradado en diferente intensidad, como se puede apreciar en la Tabla 4.14.

26 Precipitación / Evapotranspiración potencial.

Tabla 4.14 Distribución de los niveles de desertificación

DESERTIFICACIÓN	AREA PAÍS	% PAÍS	% ÁREAS SUSCEPTIBLES	COLOR
Total de zonas susceptibles	27.311.651,68	23,77	100	
Total en desertificación	16.422.065,72	14,30	60	
Muy alta	832.420,32	0,72	3,06	
Alta	2.993.620,90	2,61	10,96	
Moderada	3.129.057,81	2,72	11,46	
Baja	9.466.986,68	8,24	34,66	
Susceptibles	9.760.664,34	8,90	35,74	
Otras Coberturas	1.126.901,63	0,98	4,13	
	71.045.389,10	23,77	100,00	
Estaciones meteorológicas con índice de aridez menor de 0,75				

Figura 4.24 Distribución porcentual de la desertificación en Colombia % 2008.



Fuente: Ideam-Carrillo, 2008 y 2009

En la Figura 4.24, se presenta la distribución de los diferentes grados de desertificación y en la Figura 4.25 se presenta el mapa donde se expone cartográficamente la distribución porcentual de la desertificación en Colombia.

Las zonas que tienen un impacto potencial (o en proceso) a la desertificación, se encuentran en las regiones de la Orinoquia, Caribe y Andina. En la Orinoquia se encuentra 45,06% de las zonas secas a subhúmedas del país, en la región Caribe 28,47% de las zonas secas y en la región Andina 24,73%. Véase la Figura 4.25.

Una de las regiones más afectadas por la desertificación en extensión e intensidad es la Caribe, que presenta suelos superficiales, poco evolucionados y pH neutros a básicos, resultado de un clima donde domina la evapotranspiración sobre la precipitación, lo cual favorece la acumulación de sales en los horizontes superficiales. Véase el Cuadro 4.4.

Cuadro 4.4 Proceso de salinización

Los suelos salinos son aquellos que presentan un contenido alto de sales que afectan el crecimiento vegetal y causa disminución en la productividad de los cultivos.

Se considera que en términos generales para cultivos promedios, 4 milomhos por cm (25 °C) establecen la diferencia entre suelos afectados o no por sales. Taxonómicamente 2 mmho/cm, en la parte superior del perfil se utiliza como criterio de diagnóstico. (Cortés & Malagón, p. 290)

El sodio intercambiable en concentraciones mayores al 15% ejerce su mayor efecto en el crecimiento de las plantas por la dispersión del suelo. Sólo un 10% de sodio intercambiable en suelos de textura fina (arcilloso) y 20% en suelos arenosos han sido considerados como niveles con problema (Donahue, 1981, p. 269).

Fuente: Donahue (1981) y Cortes & Malagón (1984)

La región de la Orinoquia es la más representativa en extensión por el fenómeno, además de ser calificada a la desertificación como media y baja, pues los niveles de erosión son ligeros (ver el Cuadro 4.5). Dicha región se caracteriza por una marcada estacionalidad seca entre los meses de diciembre y abril, con lluvias abundantes el resto del año que proporcionan un intenso lavado de los nutrientes de los suelos que son altamente evolucionados.

Cuadro 4.5 Grados de erosión

Erosión ligera o laminar: se refiere a la remoción más o menos uniforme del suelo en un área donde no se noten canales conspicuos. Los canales son pequeños y tortuosos, muy numerosos e inestables, y se aumentan o alargan conforme aumenta el volumen de escurrimiento superficial (Manual de levantamiento de suelos, 1965), pero son fácilmente "borrables" con las labores de labranza.

Erosión moderada: superficialmente se presentan canales de desagüe (menos de 33 cm de profundidad), son lo suficientemente pequeños como para borrarse con el uso de implementos corrientes de labranza (Villota, 1989).

Erosión severa: "Los surcos sin prácticas de manejo se transforman en cárcavas las cuales se disectan tan profundamente en el suelo que el terreno no puede nivelarse con los instrumentos de labranza ordinarios" (FAO, 1967). A esta categoría se le han sumado las llamadas zonas eriales o Bad Lands.

Fuente: Diferentes autores citados.

Otra región que se encuentra altamente afectada es la Andina. Se destacan áreas como: el valle del Chicamocha en la vertiente occidental de la cordillera Oriental, el valle del Alto Magdalena en los departamentos del Tolima y Huila, el valle del río Cauca dentro del mismo departamento, una pequeña área en el departamento de Antioquia, y un área extensa del valle Alto del río Patía con sus principales tributarios que son el río Mayo y el Juananbú, que cubre parte de los departamentos de Cauca y Nariño.

Una de las zonas con mayor importancia económica por la actividad agrícola corresponde al Triángulo del Tolima. Dicha zona si bien se encuentra clasificada en desertificación con grado medio, su productividad está basada en el distrito de riego Uso-Coello.

Al confrontar las áreas con desertificación con los resultados de la cartografía obtenida de los escenarios climáticos futuros, se encuentra que las áreas identificadas con este proceso de degradación, tienen correspondencia con zonas donde se espera en el periodo proyectado una reducción en la precipitación, junto con la posibilidad del aumento en la temperatura hasta cuatro grados Celsius. Con base en lo anterior, se esperaría un aumento de la evapotranspiración y disminución de la precipitación lo cual conlleva a inferir una disminución en el índice de aridez (más adverso) respecto al valor actual, incrementando las necesidades de agua en las regiones ya identificadas en desertificación.

Con respecto a las zonas secas, los principales impactos, tanto positivos como negativos, se asocian con fenómenos de disminución o aumento de la precipitación, con el aumento de la temperatura, con las inundaciones, con los incendios y con los huracanes; estos dos últimos eventos presentan los valores más altos de sensibilidad para las variables analizadas de afectación a la población, daños ambiental, pérdidas económicas y funcionalidad. Sin embargo, a mediano y largo plazo, la disminución de la precipitación que también se espera en gran parte de las zonas secas de Colombia presenta valores altos; se encuentra que un porcentaje importante de estas áreas tiende a la desertificación.

Lo anterior, aunado al desarrollo de actividades agrícolas que demandan un alto consumo de agua así como al desarrollo de gran minería en estos ecosistemas frágiles, conlleva al aumento de la afectación, además de ser necesario desarrollar políticas articuladas de desarrollo regional que contemplen tanto los impactos del cambio climático como otras actividades productivas, tendientes a mantener y/o aumentar la resiliencia de los ecosistemas.

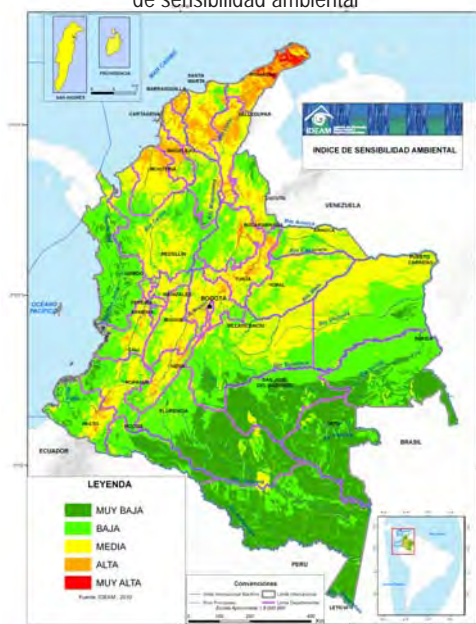
4.6.9.2 Diseño y generación del índice de sensibilidad ambiental

Para facilitar la identificación y adecuada discretización y lectura de información para todo el territorio nacional, se optó por usar una calificación cualitativa entre muy baja sensibilidad, pasando por baja, media, alta y muy alta sensibilidad, en función de las peores condiciones o escenarios: la mayor reducción de la precipitación y el mayor incremento de temperatura. Las variables utilizadas para obtener el índice de sensibilidad ambiental se tomaron con igual peso a partir del promedio simple. En la Figura 4.26 se ilustra la salida cartográfica del índice de sensibilidad ambiental (ISA).

Figura 4.25 Mapa degradación de suelos y tierras por desertificación



Figura 4.26 Mapa con el índice de sensibilidad ambiental



Fuente: Ideam, 2008 y 2010, respectivamente

4.6.10 Afectaciones potenciales, impactos o consecuencias

Según el modelo utilizado (Figura 4.22), los impactos o consecuencias se refieren a las pérdidas estimadas, mientras la afectación potencial se delimita por la concurrencia del escenario o evento sobre un área con determinada sensibilidad.

4.6.10.1 Afectación potencial

La afectación potencial se obtiene del cruce de la información de la variación de las lluvias esperadas para el periodo de análisis (2071 a 2100 por ejemplo) y del índice de sensibilidad ambiental (ISA).

La calificación establecida para los niveles de variación esperada en porcentaje de la precipitación se encuentra en la Tabla 4.10. El resultado cartográfico se ilustra en la Figura 4.27, para el periodo 2071 a 2100.

Figura 4.27 Variación de lluvias según multimodelo (2071-2100)

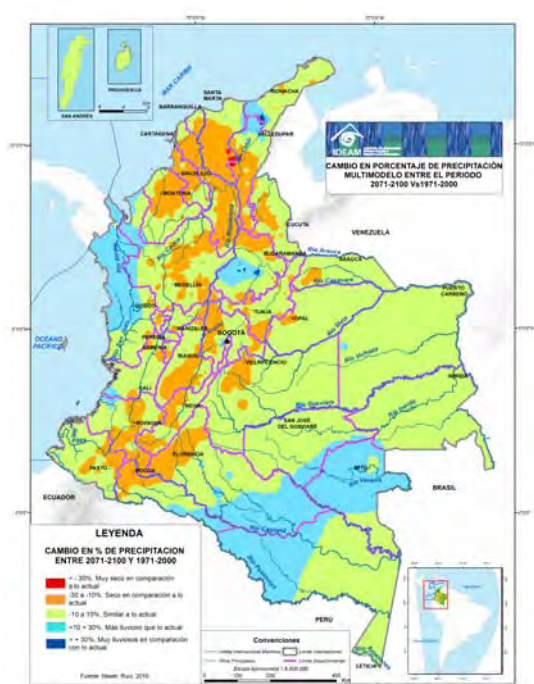
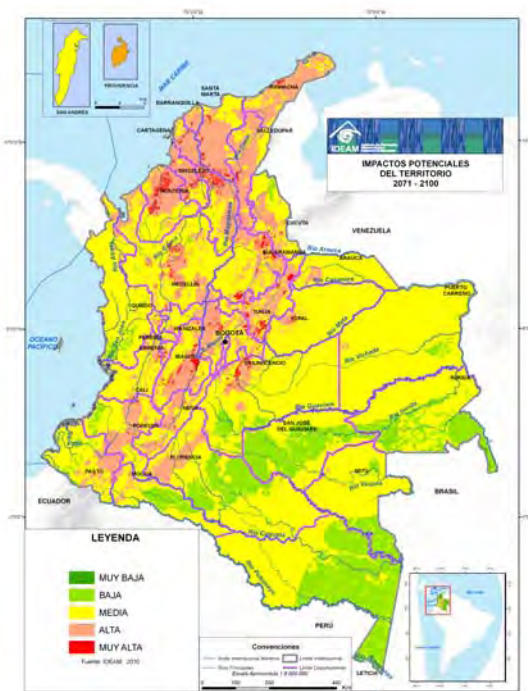


Figura 4.28 Mana con los impactos potenciales



Fuente: Ideam-autores. Desarrollado en el proceso

4.6.10.2 Pérdidas tangibles

Las pérdidas tangibles son el resultado de la cuantificación de las pérdidas monetarias sobre un determinado sector o grupo a obtener en el futuro. La cuantificación de dichas pérdidas tangibles se podrá calcular en las unidades de medida que permitan además de la comparación, contrastar la eficiencia u optimización de las respectivas medidas de adaptación.

4.6.10.3 Pérdidas intangibles a través del índice IRA

Las pérdidas intangibles se estiman con la ayuda de los resultados obtenidos del índice relativo de afectación (IRA), las cuales se encuentran en la matriz que se presenta a continuación. Con dicha matriz se sintetiza en un factor (índice) el impacto potencial de las variables relacionadas con los bienes y servicios ambientales, a través del análisis de los componentes social, económico y ambiental.

A través de la matriz se pueden visualizar las variables y ambientes con sus correspondientes pesos y representatividad para los sectores o comunidades involucradas. Es decir, los valores reflejados en el índice permiten realizar un análisis rápido con la aplicación del método, según la siguiente expresión:

$$IRA = \left(\sum_{i=1}^n Cal_i * w_i \right) / \sum_{i=1}^n w_i \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

Cal_i : es la calificación otorgada en consenso por los participantes para cada ambiente, cobertura o ecosistema, según la variable (componente social, económico o ambiental).

n: es el número de variables utilizadas.

W_j : es el peso o ponderación dado a cada variable (dentro del componente social, ambiental o económico).

La matriz que se muestra es el resultado conjunto de los dos talleres realizados (17 y 18/02/2010).

Tabla 4.15 Matriz para calificar el índice Relativo de Afectación (IRA)

Cobertura / Ecosistema	Social										Económico										Ambiental										IRA Territorio = $\sum Cal_i \cdot W_i / \sum W_i$
	Pobres	Cal. "a"	Desplazamiento de personas	Cal. "a"	Seguridad Alimentaria	Cal. "a"	Pérdida de Especies de Una Acreta	Cal. "a"	Afectación a la población vulnerable	Cal. "a"	Pérdida de Fertilidad	Cal. "a"	Afectación al Comercio Local	Cal. "a"	Afectación a la Generación de Empleo	Cal. "a"	Afectación a la Productividad	Cal. "a"	Ind. Comercial (Import/Export.)	Cal. "a"	Afectación a la Biodiversidad	Cal. "a"	Afectación al Recurso Hídrico	Cal. "a"	Afectación al Suelo	Cal. "a"	Calidad Servicios del Ecosistema	Cal. "a"	Distribución de la Capacidad Adaptativa	Cal. "a"	
Ponderación (w)	10	Vr.	10	Vr.	10	Vr.	9	Vr.	10	Vr.	9	Vr.	10	Vr.	10	Vr.	9	Vr.	10	Vr.	10	Vr.	10	Vr.	10	Vr.	10	Vr.	10	Vr.	147
Cultivos Anuales y Transitorios	5,0	5,0	5,0	5,0	4,3	4,3	5,0	4,5	5,0	4,5	5,0	4,5	5,0	5,0	5,0	5,0	4,5	5,0	5,0	3,7	3,7	4,5	4,5	5,0	5,0	4,0	4,0	1,0	1,0	4,45	
Áreas Agrícolas Melao	2,5	3,5	5,0	6,0	3,0	3,0	3,0	2,7	5,0	4,5	3,5	3,2	5,0	5,0	3,0	3,0	3,0	2,7	3,0	3,0	4,5	4,5	5,0	5,0	4,5	4,5	3,0	3,0	4,0	4,0	3,78
Agricultura	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,3	3,0	2,7	2,5	2,3	3,0	3,0	5,0	5,0	3,0	2,7	4,0	4,0	3,3	3,3	2,5	2,5	1,0	1,0	3,5	3,5	2,0	2,0	2,87
Cultivos Perennes	2,0	2,0	3,5	3,5	3,5	3,5	5,0	4,5	2,0	1,6	4,5	4,1	5,0	5,0	5,0	5,0	3,0	2,7	5,0	5,0	3,0	3,0	4,0	4,0	5,0	5,0	3,5	3,5	5,0	5,0	3,90
Cultivos Despermanentes	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0	5,0	4,5	3,0	2,7	5,0	4,5	5,0	5,0	2,0	3,0	3,0	2,7	5,0	5,0	4,0	4,0	4,5	4,5	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,94
Pastos / Ganadería	4,0	4,0	5,0	5,0	4,3	4,3	5,0	4,5	4,0	3,6	3,3	3,0	3,6	3,6	3,0	3,0	5,0	4,5	5,0	5,0	2,0	2,0	3,7	3,7	4,3	4,3	3,0	3,0	4,0	4,0	3,91
Hortalizas (habanos) y Arboles	4,0	4,0	4,0	4,0	2,0	2,0	4,0	3,6	4,5	4,1	4,5	4,1	2,0	2,0	2,0	2,0	5,0	4,5	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,69	
Bosques Naturales	3,0	3,0	2,5	2,5	2,7	2,7	5,0	4,5	3,0	2,7	1,7	1,5	2,0	2,0	5,0	5,0	5,0	4,5	1,0	1,0	3,0	3,0	2,7	2,7	2,5	2,5	5,0	5,0	2,0	2,0	3,03
Distintas Plantas	2,0	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0	5,0	4,5	2,0	1,6	3,0	2,7	2,3	2,3	2,5	2,5	2,0	1,6	4,0	4,0	2,3	2,3	2,7	2,7	2,0	2,0	3,0	3,0	3,5	3,5	2,70
Parques	5,0	5,0	5,0	5,0	3,3	3,3	5,0	4,5	5,0	4,5	2,5	2,2	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0	4,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,56
Manglares	5,0	5,0	3,0	3,0	4,0	4,0	5,0	4,5	5,0	4,5	5,0	4,5	2,0	2,0	0	3,5	3,0	1,0	1,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	2,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	3,45
Ecosistemas Marinos	5,0	5,0	5,0	5,0	4,5	4,5	5,0	4,5	5,0	4,5	5,0	4,5	4,0	4,0	3,0	3,0	4,0	3,6	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	2,0	2,0	4,28
Ecosistemas Costeros e Litorales	4,5	4,5	4,0	4,0	4,0	4,0	3,5	3,2	4,0	3,6	4,0	3,6	4,0	4,0	3,0	3,0	5,0	4,5	1,0	1,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,11
Embalses	3,0	3,0	3,0	3,0	1,0	1,0	3,0	2,7	3,0	2,7	5,0	4,5	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0	4,5	2,0	2,0	2,5	2,5	5,0	5,0	5,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	3,46
Humedales	4,0	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0	3,5	3,2	3,5	3,2	5,0	4,5	4,0	4,0	1,0	1,0	5,0	4,5	1,0	1,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,5	3,5	5,0	5,0	4,0	4,0	3,80
Conos Urbanos	5,0	5,0	5,0	5,0	1,0	1,0	3,0	2,7	5,0	4,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,6	1,0	1,0	1,1	1,1	4,0	4,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,0	1,0	2,21
Ríos y cuerpos de agua	5,0	5,0	4,0	4,0	5,0	5,0	4,0	3,6	5,0	4,5	4,5	4,1	3,5	3,5	5,0	5,0	5,0	4,5	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0	2,0	2,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,36
Glaciares	2,0	2,0	5,0	5,0	1,0	1,0	5,0	4,5	5,0	4,5	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,0	5,0	1,0	1,0	5,0	5,0	5,0	5,0	2,71
IRA - Variable	3,7		3,9		3,1		4,3		3,6		3,7		3,3		3,2		3,3		3,3		3,0		3,6		4,2		3,5		4,1		3,3

Fuente: Ideam-Lampra, 2010. Desarrollado con base en los talleres de expertos

Las celdas en color púrpura fueron calificadas por el Ideam; no obstante, bien se hubiesen podido excluir, pero con el fin de mantener un equilibrio en el número de variables entre los tres componentes (social, económico y ambiental) se procedió con su valoración. En la Figura 4.29 se muestra la representación cartográfica.

Es necesario tener en cuenta que en la medida que tales variables sean cuantificadas o valoradas en unidades monetarias (pérdidas tangibles) tendrán que excluirse de las pérdidas intangibles para hacer parte de aquellas.

El proceso de estructuración de la matriz y la calificación realizada con los expertos se encuentra en el Anexo 4.1, que contiene los resultados del taller. En el ejercicio de sistematización a través del SIG se incorporaron tales valores para obtener la salida o representación gráfica correspondiente para las diferentes coberturas incluidas en el mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia (Ideam et al., 2007).

Se debe tener en cuenta que aquellos ambientes, coberturas o territorios que obtengan la calificación más alta son el reflejo de la importancia relativa adoptada por los expertos, donde más allá de obtener una cifra fría, permite analizar de manera consistente, la intención o gestión consensuada de los territorios que resultarían más afectados y que a la postre representan mayor relevancia para los evaluadores o calificadores.

De los valores obtenidos en los índices, a partir de las variables determinadas, se destaca: a) La muy alta percepción de una mayor afectación sobre las coberturas de páramos, cultivos anuales y transitorios, ecosistemas marinos y costeros, junto con los ríos y cuerpos de agua; b) El relativo nivel medio de afectación por el cambio climático y/o variabilidad climática que se tendrá sobre coberturas o territorios de zonas urbanas, bosques plantados, glaciares,

sistemas agroforestales y bosques. Estas áreas o ambientes serían los que a juicio de los expertos tendrían menor repercusión para la sociedad por el cambio climático, con base en las variables que se analizaron en los talleres.

Con base en las anteriores variables (columnas), las coberturas y/o ecosistemas son calificadas cualitativamente a través del IRA, de tal manera que con el índice obtenido se logra realizar una primera aproximación de las áreas que recibirían un mayor impacto derivado de la variabilidad climática y/o el cambio climático (>IRA).

Figura 4.29 Mapa con el índice relativo de afectación

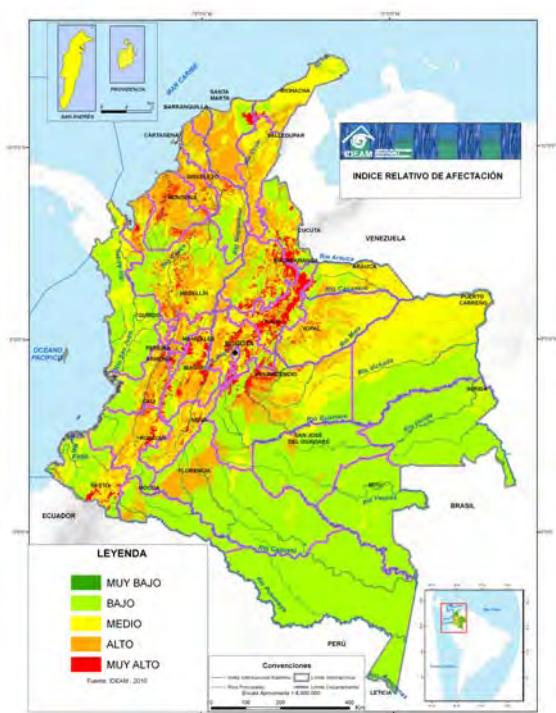
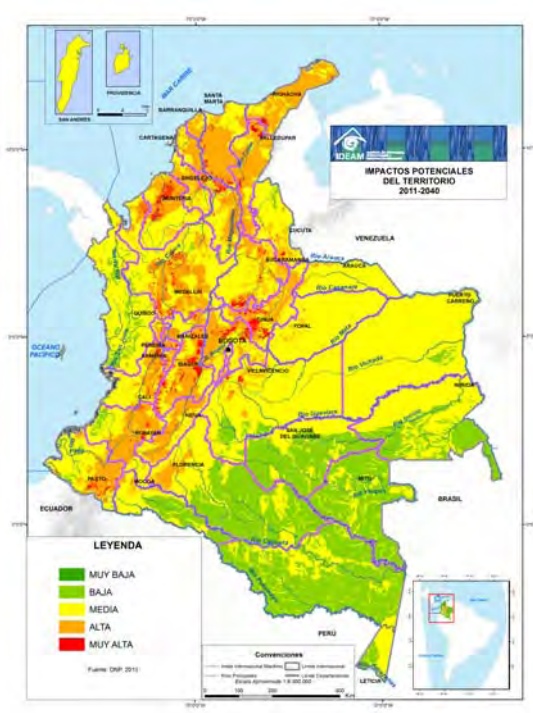


Figura 4.30 Mapa de impactos potenciales (ISA/IRA/Escenario multimodelo 2011 a 2040)



Fuente: Ideam-autores. Desarrollados en el proceso metodológico

4.6.10.4 Posibles pérdidas esperadas e impactos

Una forma habitual de obtener una interpretación del riesgo, según Sánchez (2005), se expresa en función del valor esperado de las pérdidas (L) en el nivel i , como:

$$Riesgo = E[L] = \sum_{i=1}^n P(L_i)L_i \text{ . Ecuación 6}$$

Donde, $P(L_i)$: es la probabilidad de ocurrencia de dichas pérdidas; con i : variando de 1 a n (niveles).

Tal definición es similar a la determinada por el Transportation Research Board (1998, p. 110) con la siguiente expresión:

$$Riesgo = P_f * C_f \text{ . Ecuación 7}$$

Donde: P_f = es la amenaza o probabilidad de falla y; C_f = son las consecuencias de las fallas.

De manera práctica, el riesgo es la probabilidad por el impacto potencial (consecuencias), bien sea como la vulnerabilidad inherente o después de haber encontrado la disminución de dicha vulnerabilidad al ser reducida por la capacidad de adaptación. Véase la Ecuación 4.

Las consecuencias (impacto) se obtendrán de multiplicar la probabilidad por las pérdidas (consecuencias) esperadas para un sector (grupo), en un lugar (exposición) delimitado, sujeto a un fenómeno con determinada condición derivada del aumento (o disminución) del evento o agente amenazante. Sin duda, para la evaluación de las posibles pérdidas esperadas en los cultivos se tendría que analizar tanto el área que deja de producir como las posibles pérdidas por efectos directos del clima sobre el área productiva.

Una forma general de expresar el riesgo (Sánchez, 2005), es a través de la siguiente expresión:

$$Riesgo = E[L] = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m p(L_i | A_j) p(A_j) \right] L_i . \text{ Ecuación 8}$$

Los eventos A_j están determinados por el contexto del problema y pueden describir diferentes intensidades o magnitudes de la variación de la precipitación, temperatura o situaciones diferentes. Es decir, $p(A_j)$ es la probabilidad de que se presente dicho evento; $p(L_i | A_j)$ es la probabilidad de que se presente un nivel de pérdidas L_i , dado que se presentó el escenario A_j .

4.6.11 Capacidad de adaptación al cambio climático

La capacidad de adaptación se determina con base en las condiciones de los involucrados para afrontar los potenciales daños, afectaciones o pérdidas, junto con las oportunidades que se deriven del cambio climático y/o variabilidad climática.

Para la evaluación de la capacidad de adaptación se partió del análisis de las condiciones y capacidades técnicas, junto con los aspectos socioeconómicos actuales que pueden actuar como barreras u oportunidades. (Lim, B., Spanger, E., Burton, I., Malone, I., & Hug, S., 2005). En el Cuadro 4.6, se presentan diferentes definiciones sobre la temática.

Cuadro 4.6 Definiciones: Capacidad de adaptación

Capacidad adaptativa: "Capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático, incluidas la variabilidad climática y los fenómenos extremos, con el fin de moderar los daños potenciales, de beneficiarse de las oportunidades o de afrontar las consecuencias." (IPCCa, 2007, p. 101).

Adaptación autónoma: "Adaptación que no constituye una respuesta consciente a estímulos climáticos, sino que es desencadenada por cambios ecológicos de los ecosistemas naturales o por alteraciones del mercado o bienestar de los sistemas humanos. Se denomina también, adaptación espontánea" (IPCCa, 2007)

Adaptación planificada: "Adaptación resultante de una decisión expresa en un marco de políticas, basada en el reconocimiento de que las condiciones han cambiado o están próximas a cambiar y de que es necesario adoptar medidas para retornar a un estado deseado, para mantenerlo o alcanzarlo" (IPCCa, 2007). En el presente documento se asimila a la disposición o voluntad de adaptación planificada.

Vulnerabilidad prevalente: Es un término utilizado para la estimación de índices de desastres locales y se refiere a las problemáticas del desarrollo que favorecen los fenómenos peligrosos y están asociados con deficiencias, inseguridad y fragilidades preexistentes. Está relacionada con el conjunto de condiciones desfavorables que prevalecen. Incluye la fragilidad socioeconómica de la población, representada en el nivel de disparidad social e inequidad económica, la falta de educación, salud y otros servicios básicos, los desequilibrios regionales y locales, el desplazamiento de población y la diferenciación de la capacidad agropecuaria.

Capacidad de adaptación: El presente documento se constituye conforme al modelo conceptual presentado en la Figura 4.22. Es decir, resulta de la unión de la condición técnica o disposición planificada al cambio climático y la capacidad socioeconómica e institucional). Isoard, Grothmann & Zebisch, 2008, en: European Topic Centre on air and climate change. ETC/AAC Technical paper 2008/9. Dec. 2008. p. 4.

Vulnerabilidad inherente: Se constituye como el grado de susceptibilidad o de capacidad natural de un sistema o territorio para afrontar los efectos adversos del cambio climático, sin tener en cuenta la capacidad de adaptación (capacidad socioeconómica e institucional ni la disposición o Voluntad de adaptación planificada al cambio climático)

Fuente: Adaptado por Ideam de diferentes fuentes.

En el modelo utilizado, la capacidad de adaptación se construye con la capacidad socioeconómica e institucional y, la condición técnica o disposición para adaptarse al cambio climático.

4.6.11.1 Capacidad socioeconómica e institucional

Las condiciones socioeconómicas son tomadas como aquellas fortalezas institucionales y capacidades instaladas que cada sector puede operar como factores potenciadores o facilitadores de la adaptación. Es decir, se toman referentes asociados o aproximados que involucran factores de gestión. Con ello, se pretende tener una visualización de la capacidad de llevar a cabo los propósitos de una entidad, bien sea a través del cumplimiento de los planes de desarrollo, planes de inversión, estado de unas condiciones asociadas con la calidad de vida, desarrollo humano, gestión de la entidad, necesidades básicas insatisfechas o similares.

Se debe tener en cuenta que tales índices no fueron elaborados para identificar la capacidad de adaptación al cambio climático y/o variabilidad climática; un proceso más directo podría estar con elementos o factores de la inversión e impacto o resultado para la atención de gestiones relacionadas directamente con el objeto bajo análisis, por ejemplo.

Asimismo, dependiendo de la responsabilidad misional de cada entidad y/o sector bajo análisis, se tendrían que establecer las condiciones o límites de las variables, dada la diferencia entre una autoridad ambiental, gremio o sector versus un ente territorial.

Para facilitar la valoración de la capacidad socioeconómica e institucional se hizo uso del índice Sisben III, el cual fue suministrado por la Dirección de Desarrollo Social (Grupo de Calidad de Vida) del Departamento Nacional de Planeación (DNP) para cada municipio²⁷. Dicho índice, en términos generales, incluye las variables relacionadas en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16 Componentes del índice Sisben III

Salud	Educación	Vivienda	Vulnerabilidad
Discapacidad permanente. Adolescente con hijo.	% con analfabetismo funcional. % de inasistencia escolar. Atraso escolar. % de niños trabajando. Adultos con secundaria incompleta o menos.	Tipo de unidad de vivienda. Fuente de agua para consumo. Tipo de conexión sanitaria. Exclusividad de los servicios sanitarios. Material de los pisos. Material de las paredes. Eliminación de basuras. Tipo de combustible para cocinar. Hacinamiento.	Individual: Número de personas en el hogar. Tipo de jefatura. Tasa de dependencia demográfica. Tenencia de activos Contextual % tasa de mortalidad infantil (municipal). % Tasa de homicidios (municipal). % Tasa de cobertura neta por nivel educativo municipal. % Uso de servicios de salud general dada una necesidad (municipal).

Fuente: DNP, 2008. Diseño del índice Sisben III.

Otro índice que es factible utilizar, se relaciona con el desempeño de la gestión municipal, la cual se entiende en función de los resultados alcanzados en la producción de bienes y servicios, con el uso de los insumos disponibles y la capacidad administrativa instalada. Este índice se relaciona con las metas del Plan de Desarrollo, acorde con la normativa vigente. El desempeño será mayor si se cumplen las metas en la producción de bienes y servicios, se usan racionalmente los insumos y la organización responde a las exigencias administrativas y legales en los procesos misionales y de gestión.

El desempeño municipal (en el índice de gestión municipal, Indemun), según el DNP (2005; p. 18), es una resultante de integrar la evaluación de los siguientes factores: a) eficacia (metas en productos del plan de desarrollo); b) eficiencia (mejoras en productos e insumos); c) requisitos legales (incorporación y uso de recursos transferidos); d) gestión (capacidad administrativa, desempeño fiscal); y e) contexto o entorno (orden público y relaciones).

Se debe tener en cuenta que cada sector, grupo o territorio puede diseñar su índice respectivo de tal manera que involucre aquellas variables no climáticas y que a la vez le permitan establecer rutas o formas para reducir su vulnerabilidad con respecto a la condición adversa del escenario y/o evento del cambio y/o variabilidad climática.

En el ejercicio metodológico se le dio un peso o ponderación del 60% al valor reportado (en tanto por uno) por la Dirección Social del DNP para el puntaje total promedio rural transformado²⁸, el cual se distribuye en un rango de 0,222 a 0,555; en la Figura 4.31 se presenta dicho índice Sisben III rural transformado, el cual se adoptó como el valor que refleja la capacidad socioeconómica e institucional para los municipios.

El índice Sisben III se seleccionó después de analizar conjuntamente con los profesionales del Departamento Nacional de Planeación (DNP) las ventajas y aplicabilidad de otros índices como necesidades básicas insatisfechas; índice de gestión municipal (Indemun) que refleja más la capacidad de ejecución de los planes y presupuestos municipales; Índice de Desarrollo Humano (IDH), el cual no se dispuso para los municipios, entre otros. Más adelante se retoma el tema de los indicadores que se podrían tener en cuenta para diseñar los indicadores de la capacidad de institucional. La representación cartográfica del NBI e Indemun, se presentan más adelante.

4.6.11.2 Condición técnica o disposición a adaptarse

La condición técnica actual de la adaptación (también asociada con la disposición a adaptarse hacia el futuro) se encuentra en función de la planeación apoyada con una adecuada estrategia, metodología y herramientas que le permitan adelantar el seguimiento objetivo de la implementación de obras y acciones para reducir la vulnerabilidad

27 Información suministrada por la Dirección Social (DNP), a través de Roberto C. Angulo S., en febrero de 2010.

28 El proceso de transformación se realiza con base en la ponderación del método propio desarrollado por el DNP.

al cambio climático y/o variabilidad climática. Es una valoración de la condición encontrada, la cual puede reflejar de alguna forma, la variación o avance a través del tiempo, en la medida que se revisen los criterios aplicables.

Es necesario incluir en este índice aquellas variables que no están identificadas en la capacidad institucional, teniendo especial referencia sobre las variables que se encuentran en el objetivo misional de la entidad y de acuerdo con las necesidades específicas del sector, grupo o territorio.

Del análisis realizado en el taller se obtuvo una visión general de las condiciones técnicas actuales o disposición (voluntad o conciencia) para adaptarse, con base en la calificación de más de 50 criterios (52 en el día 18/02/2010). Véase el Anexo 4.1 donde se presentan los resultados de los talleres.

El peso o ponderación asumida para la condición o estado para adaptarse fue de 0,40 operado sobre el valor de 0,41 (2,06 en la calificación de 0 a 5; valor superior como óptimo). Dicho valor fue asumido de manera homogénea para todo el país para el ejercicio metodológico. El resultado de la capacidad de adaptación construido en el ejercicio, involucra condiciones uniformes con respecto al estado de preparación técnica o condición actual de adaptación (expresada a través de los criterios identificados en el taller), lo cual deberá ser objeto de preparación particular y ajuste para el ámbito o sector correspondiente. En el siguiente numeral se presentan algunos criterios y variables.

Dichos criterios cuantificados en función de la condición óptima le permitirán a futuro revisar el avance, con base en las metas o hitos que se determinen en los plazos de un plan de adaptación.

Se debe tener en cuenta que dicho índice deberá ser ajustado y calculado para las diferentes regiones, sectores, entes territoriales o jurisdicciones donde se pretenda realizar el análisis de la condición técnica y disposición para adaptarse.

Figura 4.31 Mapa con la capacidad socioeconómica (Sisben)

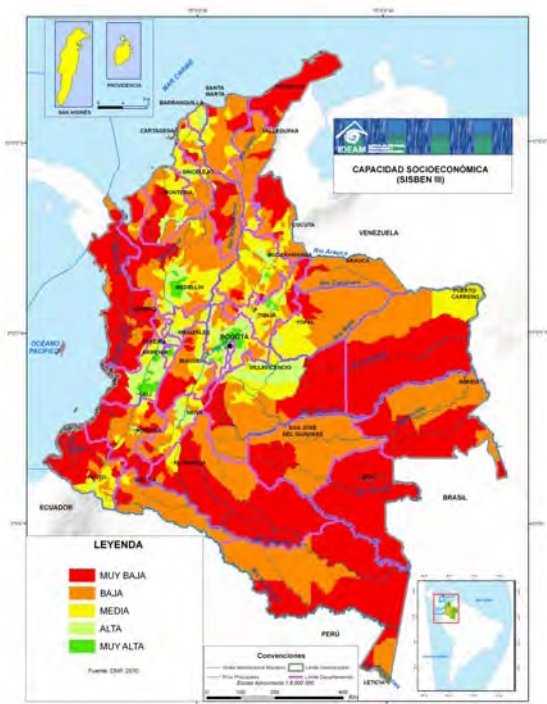
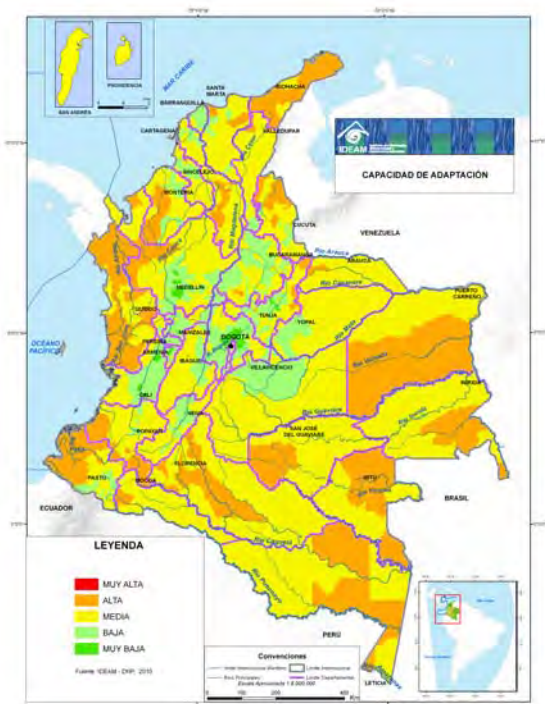


Figura 4.32 Mapa con la capacidad de adaptación



Fuente: (Izq.) DNP, 2010. (Der.) Ideam-autores. Construido con la información del DNP y talleres

Mediante el cruce del índice Sisben III con la condición técnica de adaptación se obtiene la capacidad de adaptación, la cual se muestra gráficamente en la Figura 4.32.

4.6.12 Criterios, variables e indicadores para evaluar la condición técnica actual de adaptación

Con el fin de establecer la condición técnica actual de adaptación al cambio climático, se obtuvo en los talleres con expertos en diferentes temáticas (agrícola, académicos, investigadores rurales, meteorólogos, energía, transporte), las

diferentes variables que desde su visión le permitirían a las entidades tener una condición o disposición más apropiada para hacerle frente a los efectos adversos (considerando el peor escenario) al cambio climático. En el Anexo 4.1 se relacionan todas variables, de las cuales, a partir de su calificación concertada para el nivel nacional se obtuvo el valor medio. De forma resumida se presenta en la Tabla 4.17 una relación de los principales factores o elementos que pueden servir como ejes o criterios para evaluar la disposición o condición técnica de adaptación calificados a partir del taller con expertos.

Tabla 4.17 Criterios, variables y algunos indicadores para la adaptación planificada (condición técnica)

Criterios	Variables	Algunos indicadores	Calificación	Observaciones
Conocimiento de los impactos y pérdidas frente al cambio climático / Análisis y prospectiva de los impactos y pérdidas frente al cambio climático	Funcionamiento de sistemas de monitoreo y alerta temprana ante eventos con alto impacto.	¿Se tienen estudiadas las variables no climáticas que intervienen en los análisis de vulnerabilidad al cambio climático?	1,0	No se evalúan otras variables (no climáticas)
	Existencia y funcionamiento de sistemas de monitoreo de variables climáticas	¿Se cuenta con estudios de probabilidad de ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos?	1,0	Falta de fortalecimiento institucional para estos estudios. Falta de investigación y presupuesto. / Se requiere una línea base para saber a qué se hace seguimiento
	Capacidad técnica recurso humano	¿Hay suficientes profesionales especializados?	1,0	
	Sistematización de eventos y análisis de pérdidas	¿Existe la información suficiente y confiable de las pérdidas, afectación o daños por eventos climáticos?	2,5	
	Protección y conservación de recursos naturales renovables. Línea base y valoración del estado actual de RN.	¿Existen monitoreos sistemáticos sobre el estado actual de los recursos naturales	2,0	
	Estrategias de comunicación y educación	¿Existe suficiente divulgación y distribución de materiales sobre impactos, vulnerabilidad y/o riesgo climático?	3,0	No es suficiente
	Instrumentos y métodos	¿Se cuenta con instrumentos de política y gestión adecuados que incorporan estrategias de adaptación en la planeación del territorio por sectores?	1,0	
	Protección de asentamientos humanos e infraestructura.	¿Existen líneas de investigación que relacionen dinámica, población y cambio climático? ej. desplazados por cambio climático	1,0	
Manejo de efectos por eventos extremos	Planes de emergencia y contingencia dinámicos	Coordinación interinstitucional	2,0	
	Planes de rehabilitación y recuperación de áreas afectadas	¿Se cuenta con planes e indicadores apropiados?	1,0	
Organización de las instituciones y participación de la sociedad	Participación social	¿Las organizaciones cuentan con el apoyo para la gestión de proyectos de adaptación al cambio climático?	2,0	
	Institucional (público y privado)	La coordinación entre los centros de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías o conocimiento es suficiente?	3,0	
	Cooperación internacional	¿Los recursos aportados por la cooperación internacional están llegando adecuadamente a los sectores o zonas que los requieren?	2,0	
Transferencia del riesgo y/o estrategias financieras y económicas	Cobertura de seguros y estrategias de transferencia por pérdida de bienes públicos	¿Se cuenta con estudios que faciliten el aseguramiento de patrimonio público?	3,0	Existe subsidio del Estado. Se están desarrollando seguros para cosechas
	Fondos de reserva para el fortalecimiento institucional en adaptación al cambio climático	¿Existen disposiciones normativas que establecen la destinación de presupuesto para la gestión de riesgo, manejo de recursos naturales y cambio climático?	4,0	La normativa no es específica respecto al cambio climático
	Estrategia financiera frente a cambio climático	¿Existe estrategia financiera nacional para prevención y adaptación? (Conpes)	3,0	
Oportunidades y beneficios frente al cambio climático	Nuevos desarrollos productivos	Desarrollo de nuevas tecnologías	3,0	
	Oportunidad para cambiar (cambio de actitud)	Desarrollo de nuevos productos y cultivos	3,0	

Fuente: Ideam-autores. Con base en el análisis de expertos realizado en los talleres
Notas. 1: Muy baja; 2: Baja; 3: Media; 4: Alta; 5: Muy alta

En razón a la diversidad de ecosistemas, la variedad de fisiografía y climas, la extensión territorial, el grado de dependencia de la población humana a los recursos naturales para la producción y la complejidad sociocultural que posee el país, sumado a los potenciales impactos negativos del cambio climático, se genera la necesidad de múltiples y complejos procesos de adaptación.

En tal contexto y puesto que en Colombia existen diferentes y grandes retos que requieren inversiones de capital para mejorar las condiciones actuales desfavorables, asociadas con la persistencia de las desigualdades socioeconómicas y los desequilibrios regionales y locales, hace que el Estado colombiano se enfrente a un gran desafío. En este sentido, se plantea la necesidad de potenciar las capacidades y recursos para hacerle frente a los problemas socioeconómicos del cambio climático para reducir las pérdidas esperadas.

4.6.13 Formas de cuantificar la vulnerabilidad

La vulnerabilidad puede considerarse como una propiedad o característica de grupos, sociedades y sistemas claves, pero también como el resultado de procesos climáticos o de amenazas (Pnud, 2005). Por esto, a continuación se presenta una de las diferentes formas de abordar su dimensionamiento, lo cual debe estar concordante con los intereses de cada sector o institución.

4.6.13.1 Vulnerabilidad inherente

Según el IPCC (2007, p. 113): "(...) La vulnerabilidad depende del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema y de su sensibilidad y capacidad de adaptación." Al respecto, si no se tiene información, índices o formas de establecer la capacidad de adaptación, se entendería que tales impactos potenciales reflejarían la vulnerabilidad inherente o propia del sistema, territorio o grupo; es decir no se aplicaría una capacidad de adaptación planeada, lo cual en la Ecuación 4, sería como tener una vulnerabilidad equivalente a los impactos potenciales o consecuencias. Estos pueden ser referidos a las pérdidas, daños, perjuicios o afectaciones a la funcionalidad del ecosistema, territorio, infraestructura o ambiente bajo examen.

En el ejercicio realizado se estableció la vulnerabilidad con base en la sustracción derivada del producto de los impactos potenciales negativos por la capacidad de adaptación.

4.6.13.2 Vulnerabilidad actual, planeada o gestada

Con la metodología desarrollada, la vulnerabilidad que se obtiene se refiere a la vulnerabilidad actual conforme con la Ecuación 4. Los resultados cartográficos de la vulnerabilidad actual del territorio (el cual involucra en el IRA factores productivos) se muestran en las Figura 4.33 y 4.34, para los dos periodos evaluados.

Figura 4.33 Mapa con la vulnerabilidad ambiental del territorio 2011 a 2040

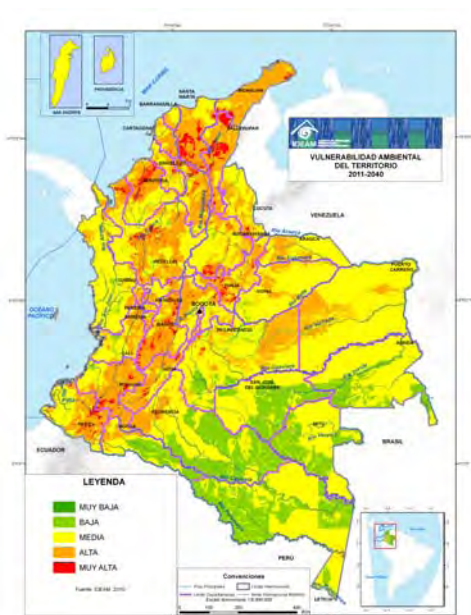
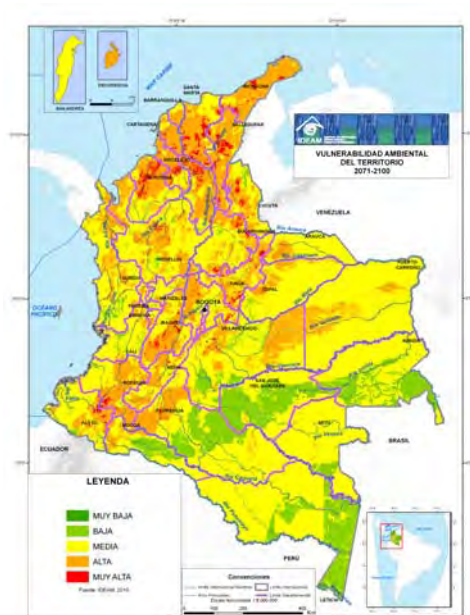


Figura 4.34 Mapa con la vulnerabilidad ambiental del territorio 2071 a 2100



Fuente: Ideam-autores

A futuro, teniendo en cuenta los diferentes procesos de evaluación de la vulnerabilidad, se podrá gestar o planear las actividades necesarias para mejorar la capacidad de adaptación y, por ende, reducir la vulnerabilidad, la cual se podría sumir como una vulnerabilidad planeada o gestada. Vale mencionar que en la vulnerabilidad estimada para finales de siglo solo se modifican los escenarios climáticos.

4.6.13.3 Vulnerabilidad conjunta o compuesta

Se puede obtener una vulnerabilidad compuesta o conjunta, calculada fundamentalmente de las pérdidas económicas (Ve); la población expuesta y/o afectada (Vp); además de la identificación de bienes y servicios ambientales (Va); los cuales se podrán expresar y evaluar tanto de manera individual como agrupada. La expresión de la vulnerabilidad conjunta se muestra en la Ecuación 8, previa la normalización de los valores para luego ser ponderada y sumada.

$$\text{Vulnerabilidad conjunta} = \sum [(Ve \cdot \text{peso}) + (Vp \cdot \text{peso}) + (Va \cdot \text{peso})] \quad \text{Ecuación 9}$$

En el ejercicio realizado se obtuvo una vulnerabilidad conjunta del componente ambiental y del poblacional, para ello se estableció una ponderación equilibrada en sus pesos, a partir de la siguiente expresión.

$$\text{Vulnerabilidad conjunta} = \sum [(Vp) + (Va)]/2 \quad \text{Ecuación 10}$$

Los resultados gráficos se ilustran en las figuras 4.35 y 4.36.

Figura 4.35 Mapa con la vulnerabilidad conjunta (Ambiental + Poblacional) del territorio 2011 a 2040

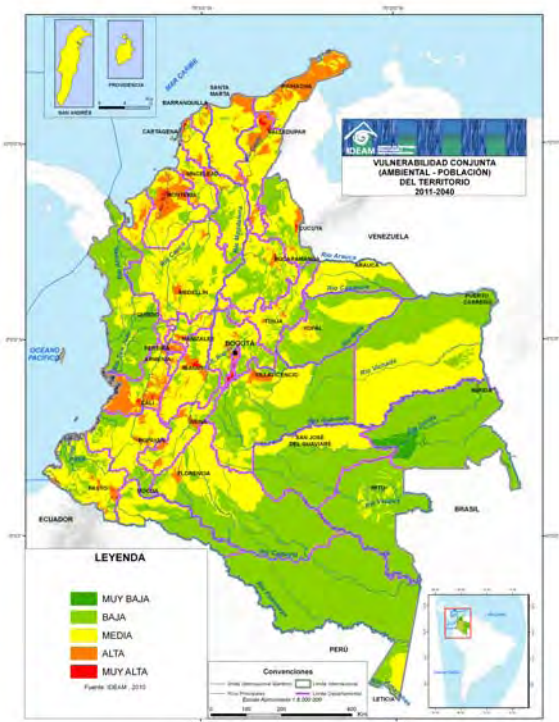
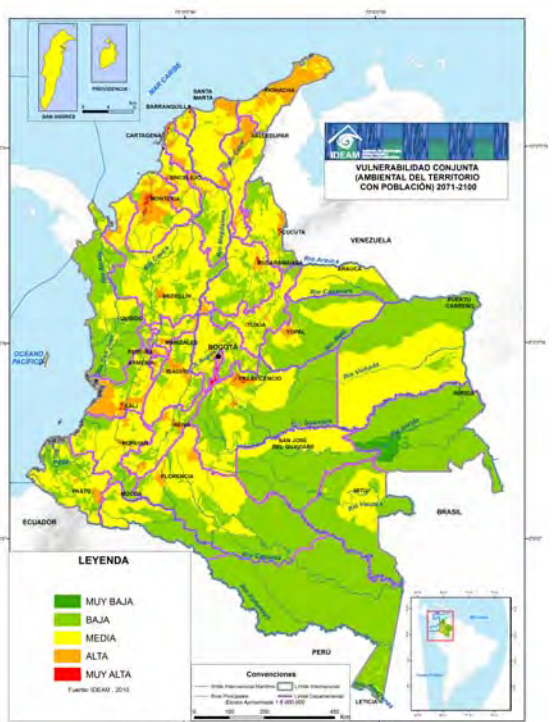


Figura 4.36 Mapa con la vulnerabilidad conjunta (Ambiental + Poblacional) del territorio 2071 a 2100



Fuente: Ideam, autores

La vulnerabilidad conjunta si bien no se utilizó posteriormente para los diferentes análisis de sectores y ecosistemas, permite apreciar la prioridad que se tendría si se involucra en la evaluación la cantidad de personas presentes (censadas) en cada municipio. Es decir, recibieron un mayor peso los territorios donde se encuentra mayor cantidad de personas. En la tabla 4.12 se relacionan los niveles y agrupación de los municipios en función de la población.

4.6.14 Otros factores o criterios para analizar en la capacidad de adaptación

De acuerdo con el modelo conceptual expuesto en la Figura 4.22, la capacidad de adaptación puede obtenerse mediante el análisis de dos temas: la capacidad socioeconómica e institucional y la condición técnica actual de adaptación. A continuación se tratan algunos referentes que pueden ser útiles para seleccionar los criterios y, o variables a tener en cuenta para determinar la capacidad socioeconómica e institucional.

4.6.14.1 Desequilibrios regionales y locales

De acuerdo con la caracterización del desarrollo territorial departamental realizado por DNP (2008), la magnitud y la tendencia de las disparidades económicas y sociales entre los departamentos del país hace que la capacidad adaptativa sea igualmente diferencial y que haya departamentos con mayores ventajas.

La producción económica nacional está concentrada en unos pocos departamentos y en la capital del país. La mitad del PIB, en el año 2005, provino de: Bogotá (22,6%), Antioquia (15,2%) y Valle del Cauca (11,2%). Estas tres entidades territoriales, según el censo de 2005, albergan 38,8% de la población del país. Si, además, se agregan los siguientes tres departamentos con mayor contribución al PIB (Santander, Cundinamarca y Atlántico, que producen cada uno en promedio 5% del PIB nacional), se observa que cinco de los 32 departamentos del país más el Distrito Capital concentran 66% del producto y 54% de la población (ver la Figura 4.37). Al considerar los años 2000 y 2005 se encuentra que subsiste una elevada concentración de la producción en pocas entidades territoriales²⁹.

Según los resultados del censo general de población (2005), se encuentra que las entidades de mayor nivel relativo de desarrollo son: Bogotá, Antioquia, Valle del Cauca, Caldas, Quindío y Risaralda que tienen en promedio 17% de la población con NBI, mientras que los nueve departamentos con el menor PIB per cápita (Chocó, Vichada, Guainía, La Guajira, Córdoba, Sucre, Bolívar, Magdalena, Cauca) tienen en promedio 55% de su población con NBI; es decir, estos últimos departamentos tienen una proporción de pobreza tres veces mayor que la de los departamentos de mayor desarrollo relativo.

Figura 4.37 PIB departamental (M\$ año 2000)

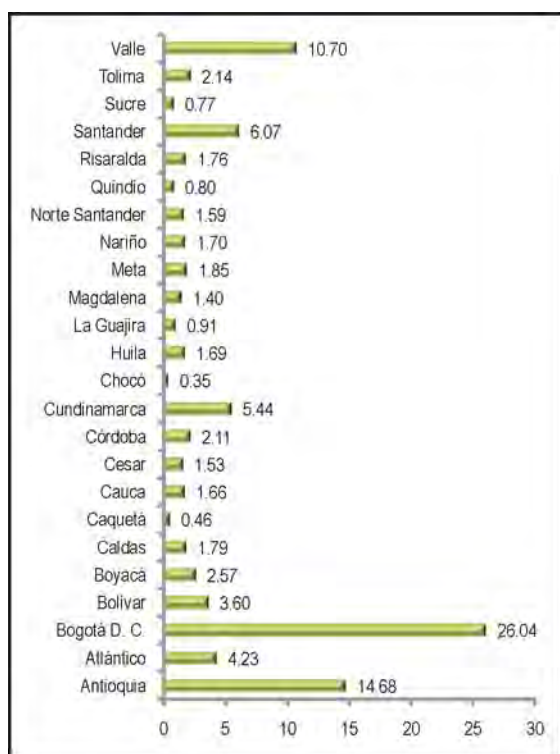
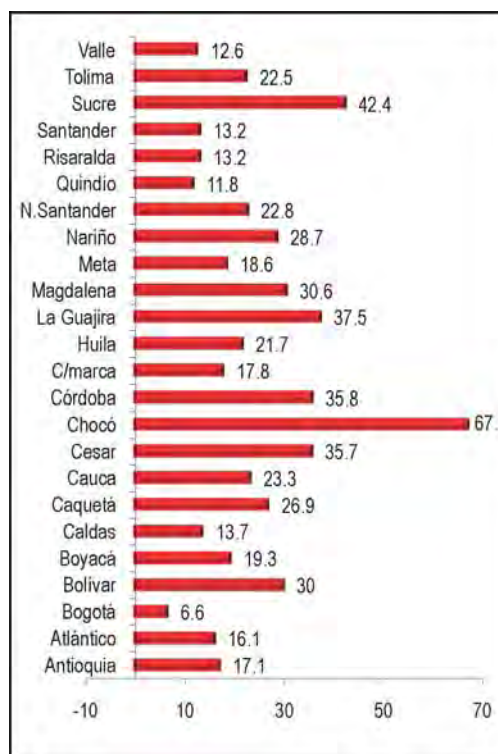


Figura 4.38 NBI departamental 2005



Fuente: Dane (2008). Dirección de síntesis y cuentas nacionales, cuentas regionales

En relación con el promedio nacional de NBI del 2005 (27,6%), diez departamentos lo superan, cifra que indica la existencia de una distribución asimétrica, donde la mayoría de departamentos (23) poseen proporciones de población con necesidades básicas insatisfechas superiores a la media. De éstos, siete tienen más de la mitad de su población con elevados valores de NBI (Chocó, Sucre, Vichada, Guainía, Vaupés, Córdoba, La Guajira). Véase la Figura 4.38.

De forma similar, el Idemun es otro indicador de los desequilibrios regionales, en el cual se refleja la capacidad institucional de los municipios, mediante los resultados de la medición y análisis de desempeño integral de los mismos (vigencia 2006) que presenta el DNP³⁰, en razón a que más de la mitad del gasto público se ejecuta en los niveles territoriales.

29 Caracterización del desarrollo territorial departamental, DNP. 2008.

30 DNP (2006). Medición y análisis del desempeño integral de los municipios.

La metodología del ranking municipal mide la eficiencia en términos de rendimiento del gasto público, eficacia en el cumplimiento del plan de desarrollo, cumplimiento de requisitos legales, gestión (capacidad administrativa y desempeño fiscal) y entorno (relaciones con el consejo y orden público). Sólo 63,2% de los municipios alcanzó una calificación entre satisfactoria y sobresaliente; la eficiencia fue de regular a baja en términos de inversión del gasto público y un bajo desempeño administrativo. Véase la Figura 4.39.

En similar condición a las asimetrías ya vistas de la relación entre el PIB departamental y el índice de necesidades básicas insatisfechas en donde los departamentos con mayor PIB presentan menores NBI, a nivel de los municipios, se encuentra que aquellos municipios clasificados en rangos de bajo, muy bajo o moderado en el índice de gestión municipal también presentan un alto NBI. Es decir, la gestión municipal puede estar ligada a mejores condiciones en los hogares de los municipios. Véase la Figura 4.40.

Figura 4.39 Mapa de índice de gestión municipal

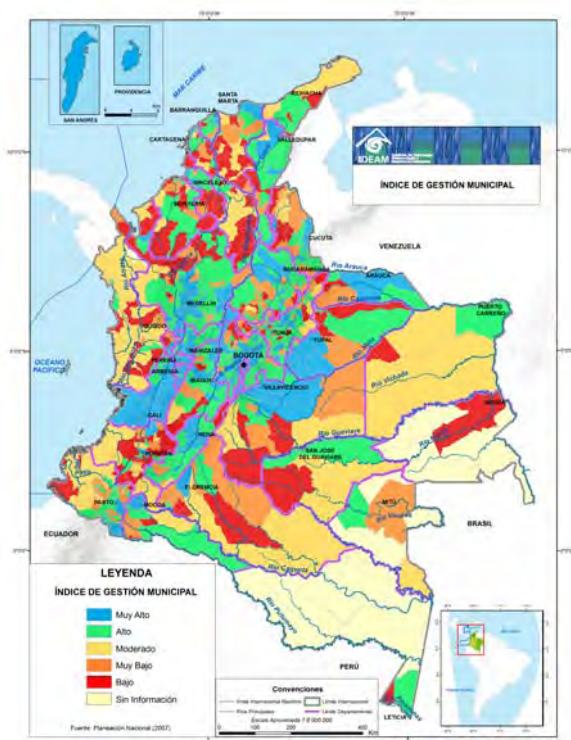
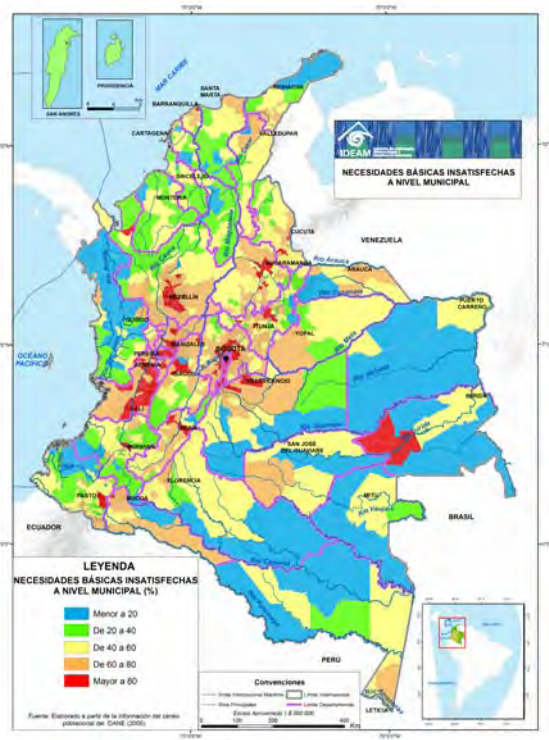


Figura 4.40 Mapa Índice de NBI municipal, 2005



Fuente: Ideam, 2009. Con base en las cifras de: (Izq.) Dirección de Desarrollo Territorial Sostenible, DNP, 2006. (Der.) DNP, 2005

Al comparar la distribución por categorías de los dos índices anteriores con el índice Sisben III, se puede encontrar, de manera visual, la correlación entre los territorios con mayores o mejores índices y el Sisben III. Debe tenerse en cuenta los colores, dado que a mayor NBI es menos favorable.

4.6.14.2 Capacidad nacional en gestión ambiental

Como parte de la capacidad instalada a nivel nacional, Colombia cuenta con el Sistema Nacional Ambiental (SINA), que facilita la consolidación de una gestión ambiental que promueve el desarrollo sostenible³¹, creado mediante la Ley 99 de 1993, y que está conformado por un conjunto de orientaciones, normas, actividades, recursos, programas e instituciones que permiten la puesta en marcha de los principios ambientales contenidos en dicha Ley. Los componentes que la integran son: a) Los principios y orientaciones generales contenidos en la Constitución Política, en la Ley 99/93 y en la normatividad que la desarrolle; b) Las entidades del Estado responsables de la política y de la acción ambiental señaladas en la Ley 99/93; c) Las organizaciones comunitarias y ONG relacionadas; d) Las fuentes y recursos económicos para el manejo y recuperación del ambiente; e) Las entidades públicas, privadas o mixtas que realizan actividades de producción de información, investigación científica y desarrollo tecnológico en el campo ambiental. La jerarquía del SINA sigue el orden: ministerio, corporaciones autónomas regionales, departamentos y distritos o municipios (Artículo 4º Ley 99/93).

Uno de los avances importantes del SINA ha sido la identificación de indicadores de línea base sobre el estado de los recursos naturales y el medio ambiente a través del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) y consolidación de una estrategia de información a nivel nacional y regional.

- Solidez y coordinación interinstitucional

Los resultados presentados por el Banco Mundial sobre el análisis del desarrollo institucional³² indican que la fortaleza institucional está asociada con la estabilidad política del país, sin embargo, existe un complejo arreglo institucional que dificulta la relación entre ciudadanos, empresarios y gobierno con lo que se muestran las dificultades para alcanzar los resultados e impactos sectoriales y sociales esperados en relación con el aumento de la inversión. Tales referentes, si bien pasan inadvertidos en la mayoría de los análisis, resultan de gran prioridad, especialmente para los territorios donde confluye la participación funcional y política al momento de coordinar acciones entre las diferentes entidades involucradas.

Paradójicamente, puede resultar contraproducente una mayor cantidad de entidades del Estado y gremios que difícilmente participan y aumentan la sinergia de capacidades, resultando muchas veces en un desgaste o multiplicación de aciertos y desaciertos por la falta de coordinación y planificación concertada. Del ejercicio adelantado en los talleres, esta variable resultó con baja calificación.

4.6.15 Medidas de adaptación

Las medidas de adaptación corresponden al ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a los estímulos climáticos reales o esperados, o a sus efectos, que atenúa los efectos perjudiciales o explota las oportunidades beneficiosas. Cabe distinguir varios tipos de adaptación: anticipatoria, autónoma y planificada (IPCC, 2007).

Se espera que las medidas de adaptación resulten de la evaluación de la vulnerabilidad, con el fin de gestionar las variables o factores manejables, tanto del análisis de la sensibilidad como de la capacidad misma de adaptación.

4.6.16 Impactos residuales

Como se mencionó, las medidas de adaptación deberán ser diseñadas a partir de las variables de sensibilidad que son manejables o controlables por la tecnología y capacidad económica disponible. Asimismo, se debe analizar el valor agregado de las medidas de adaptación en función de la mejora, tanto en la capacidad socioeconómica e institucional como la disposición de adaptarse.

Es decir, tales medidas deben permitir valorar la reducción de los impactos perjudiciales; razón por la cual resulta importante conocer las consecuencias en función de las pérdidas (impactos), para luego obtener la eficiencia de las mismas.

4.6.17 Análisis del riesgo

Con base en las regulaciones aplicables, análisis de beneficios y costos, junto con la percepción o cultura organizacional para asumir los riesgos, se podrá valorar la condición de aceptación o revisión adicional para mejorar nuevamente la capacidad de adaptación. Al respecto es procedente resaltar que el argumento principal de aceptación del riesgo, desde la perspectiva del interés público, es un asunto de eficiencia de la inversión (Sánchez, 2005).

Para los análisis de aceptación (riesgo tolerable, Alarp³³) existen diferentes enfoques, los cuales no deben desconocer los aspectos subjetivos.

En resumen, con la metodología empleada, el riesgo es un concepto que se deriva de la existencia de un interés antrópico bajo unas relaciones ecológicas que se sustentan en el deficiente manejo del hombre frente a los fenómenos y factores de la naturaleza. Por consiguiente, el dimensionamiento o aceptación del riesgo no deja de ser un aspecto cognitivo de la interpretación de la sociedad dentro del hábitat definido bajo unos estándares de calidad centrada en la personas, comunidades y sociedad.

32 El análisis del desarrollo institucional se presenta de acuerdo con la gobernabilidad y estabilidad política, imperio de la ley, derechos de propiedad y cumplimiento de contratos, estabilidad normativa y marco regulatorio, transparencia y corrupción, y eficiencia de la administración y el gasto público.

33 Alarp: *As low as reasonably practicable*.

4.7 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD

Si bien se expuso la metodología con sus diferentes resultados intermedios, es necesario tener en cuenta las ventajas o facilidades junto las limitaciones o debilidades de la misma.

4.7.1 Priorización de las gestiones y optimización del uso del territorio

La metodología utilizada permite la identificación de prioridades con base en las pérdidas, daños, afectaciones o población expuesta, y la comparación de costos de las pérdidas con los costos de adaptación. Estos costos serán insumo para la respectiva planificación e implementación de las medidas de adaptación correspondiente. Puesto que los costos estimados serán inicialmente una cifra indicativa, la tarea a desarrollar por cada responsable de la gestión será precisar y estudiar las formas de evaluar, de crear o mejorar las capacidades de adaptación correspondientes.

Bien podría estar priorizada la ruta de evitar o no favorecer la exposición del objeto o sector bajo análisis, en la medida que resulte más favorable económicamente. Es decir, trasladar la población, no cultivar o emplazar determinada actividad en un territorio vulnerable, puede resultar la decisión más apropiada, esto sin incluir costos políticos.

Adicionalmente, si se tiene en cuenta la complejidad y costos que involucra el manejo de factores o variables sobre las cuales reside la sensibilidad o susceptibilidad, la vulnerabilidad inherente podría estar en el ámbito de las últimas opciones o prioridades.

En resumen, la priorización de las gestiones se puede utilizar para determinar el grado de conformidad o riesgo en que el territorio se encuentra utilizado. De esta forma, al momento de estructurar las preferencias del decisor, se aplicarían las diferentes metodologías para la solución de los problemas con objetivos y criterios múltiples. En tal sentido, se tendría así una forma de buscar el uso más óptimo o apropiado del territorio.

4.7.2 Limitaciones de la metodología y formas de interpretación de resultados

Se debe tener presente el manejo de la temporalidad dentro de la metodología, donde se asumen unos escenarios futuros que son posibles con respecto a las variables de precipitación y temperatura, las cuales son tratadas con el ensamble multimodelo y con base en las condiciones naturales actuales.

Los resultados obtenidos con el modelo propuesto, a pesar de ser un avance significativo para evaluar la vulnerabilidad frente a la cambio climático, deben ser tomados como un referente relativo que cambiará y mejorará constantemente, tanto por el avance en los modelos de alta resolución, como por la optimización de la cantidad de información y la reducción de la incertidumbre. Por ello, si bien no se introduce una alteración o variación en el comportamiento de tales condiciones o variables naturales con las que se obtienen los niveles de sensibilidad, se parte del supuesto de unas condiciones inherentes del ecosistema que permanecen en el tiempo.

Así las cosas, en el caso de generarse procesos degradacionales o la alteración del medio o territorio por factores antrópicos, estos podrían actuar en el sentido de incrementar la vulnerabilidad (sinergismo), para lo cual se esperaría una mayor alteración. En sentido antagónico, según el modelo, la capacidad de adaptación no se mejora para reducir la vulnerabilidad; es decir, se asume una condición en cierta forma equilibrada, entre la forma de incrementar y contrarrestar los efectos adversos.

Con respecto a la interpretación de resultados, es necesario destacar la utilización de variables proxy, especialmente para la capacidad institucional del ente territorial, tal como se explicó. Por consiguiente dicho índice utilizado, deberá ser ajustado y precisado en la medida que se avanza con mejores indicadores o variables que involucren el análisis de la vulnerabilidad frente al cambio climático y/o variabilidad climática, especialmente en los factores no climáticos.

4.8 IMPACTOS POTENCIALES Y VULNERABILIDAD

La afectación potencial sobre las coberturas y/o sectores se analiza con base en el resultado obtenido del cruce del índice de sensibilidad (ISA), el índice relativo de afectación (IRA) y el ensamble multimodelo de lluvias generado por el Ideam (2010) para las variaciones de precipitación (2011 a 2040 y 2071 a 2100). Las coberturas son capturadas de la cartografía generada por el Ideam *et al.*³⁴ (2007), en el documento Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia.

Para efectos de interpretar adecuadamente los resultados del análisis de vulnerabilidad es importante indicar que las categorías no se deben identificar como variación real e inmediata de la vulnerabilidad. El enfoque se refiere a una comparación con base en la "reducción" relativa al incluir la capacidad de adaptación (y luego reclasificada) de un

municipio respecto a otro. Esto se basa en el supuesto de que el ente territorial aplique todas sus capacidades institucionales y condición actual de adaptación para promover las medidas necesarias y suficientes para hacerle frente a los impactos potenciales esperados.

Con tal presunción, la ubicación en un rango o categoría sirve, por ahora, para agrupar las coberturas o ambientes que irían en un futuro a ser más vulnerables que otras. Esto, según los resultados utilizados del multimodelo, tanto en superficie como en porcentaje (respecto al área analizada), con base en unos criterios de sensibilidad y capacidad de adaptación previamente ponderados y asumidos para el ejercicio. Es decir, si se cambia el escenario y se modifica su cubrimiento, o se dan otros valores de ponderación a las condiciones inherentes de sensibilidad o se varía la capacidad de adaptación y se acoge otro índice (capacidad de adaptación, por ejemplo) se tendrán igualmente otros resultados.

En tal contexto, los resultados de la vulnerabilidad no son estáticos, exactos ni únicos; son un referente relativo con respecto a otro valorado a nivel nacional. Por consiguiente, es necesario señalar la ventaja de tener la posibilidad de realizar los diferentes cruces de la información obtenida y/o suministrada por cada sector, en función de la estructuración, cubrimiento y georreferenciación para todo el territorio nacional, los cuales merecen ser complementados y ajustados con la información más actualizada y exacta en la medida que cada sector o interesado pueda avanzar.

Con los elementos expuestos, la vulnerabilidad aquí representada es un valor indicativo que sirve de comparación entre la gravedad existente versus su capacidad de adaptación en relación con los factores y variables utilizados a escala nacional. Por lo tanto, la vulnerabilidad del territorio, sector o ecosistema no desaparece automáticamente, pero sí permite tomar en cuenta las variables, criterios, acciones prioritarias y recursos humanos y financieros que serían necesarios bien sea para: a) reducir la exposición; b) disminuir la sensibilidad o sea las condiciones inherentes (ISA); c) aumentar la capacidad de adaptación (socioeconómica e institucional o gestar las acciones directa y funcionalmente aplicables a cada interesado o ambiente) y, d) investigar las probabilidades de ocurrencia de los diferentes niveles de pérdidas para determinar la amenaza y analizar los riesgos derivados de determinadas condiciones o estados asumidos. Tales criterios deberían, por consiguiente, estar enmarcados dentro del proceso metodológico presentado en la Figura 4.22.

Los ecosistemas, coberturas, sectores productivos, infraestructura y demás variables analizadas en este capítulo fueron: a) Orobioma alto andino, b) Bosques naturales y plantados, c) Vegetación secundaria, arbustales y herbazales, d) Áreas naturales protegidas, e) Coberturas herbáceas y arbustivas costeras, lagunas costeras y manglares, f) Áreas agrícolas heterogéneas, g) Cultivos semipermanentes y permanentes (café), h) Cultivos anuales y/o transitorios, i) Análisis de algunos cultivos comerciales (arroz con riego, palma de aceite, caña de azúcar), j) Áreas en pastos, k) Resguardos indígenas, l) Minifundio campesino, m) Cuerpos de agua continentales naturales, n) Aguas continentales artificiales, ñ) Áreas con infraestructura para generación hidroenergética, o) Recurso hídrico, p) Zonas marino costeras e insular, q) Salud y r) asentamientos humanos.

Es procedente indicar que el análisis de impactos para el periodo 2071 a 2100, parte del supuesto de realizar el análisis para las mismas áreas identificadas en el periodo inicial (2011 a 2040), es decir, se valoran solamente con el cambio de condiciones o escenarios climáticos.

4.8.1 Orobioma alto andino

Según Ideam *et al* (2007, p. 34) el Orobioma Alto Andino se localiza por encima del límite superior del piso andino (>2.800 msnm) hasta el nivel de las nieves perpetuas o glaciares (>4.500 msnm). Los detalles de los criterios de clasificación y delimitación de los orobiotomas, ecosistemas y coberturas se encuentran en el Anexo 4.2.

4.8.1.1 Impactos potenciales y vulnerabilidad 2011 a 2040

- Impactos potenciales

Con base en el ejercicio obtenido a través del índice de sensibilidad ambiental (ISA), según los atributos y características referidas en el marco metodológico, el cruce con el escenario derivado del multimodelo y el estudio de los ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia (Ideam *et al.*, 2007), se encontraron los siguientes impactos en el Orobioma Alto³⁵ Andino.

Las áreas actuales que resultarían muy altamente impactadas se ubican en: Boyacá (78.400 ha / 8%), Tolima (63.300 ha / 14%), Nariño (60.600 ha / 14%), Cauca (51.700 ha / 12%) y Cundinamarca (50.200 ha / 8%). Altamente impactados estarían los orobiotomas de los departamentos de Boyacá (576.300 ha / 75%), Cundinamarca (355.700 ha / 59%) Nariño (329.200 ha / 74%), Cauca (278.500 ha / 66%) y Tolima (218.700 ha / 42%). Ver las figuras 4.41 y 4.42.

35 El Orobioma Alto Andino se ubica por encima de los 2.800 msnm, arriba del límite superior del piso andino hasta inicio de los glaciares y nieves perpetuas, (>4.500 m).

Figura 4.41 Impacto potencial en el Orobioma Alto Andino 2011 a 2040

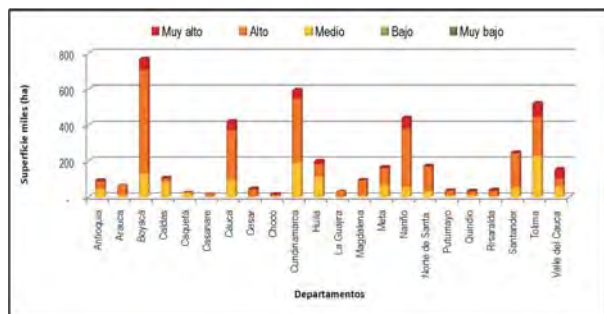
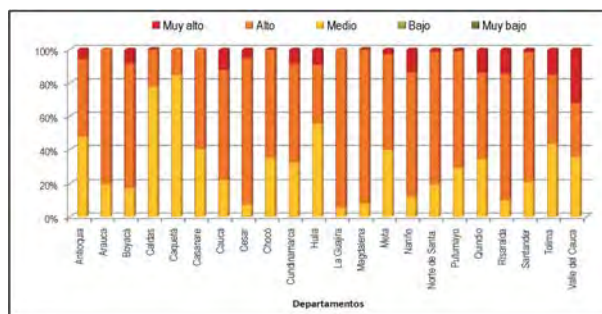


Figura 4.42 Impacto potencial en el Orobioma Alto Andino 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Si bien en las cifras anteriores se mostró tanto el área comprometida como el porcentaje del Orobioma Alto Andino respecto al total en cada departamento, vale destacar por su alta proporción en su orden: La Guajira, Magdalena y Cesar, los cuales, además de exponer una gran extensión, son muy representativos por la alta participación en cada departamento. Véase la Figura 4.42.

Con respecto a la superficie de afectación potencial sobre las coberturas de arbustales (260.000 ha / 42,8%) y herbazales (916.800 ha / 86,5%), en los Andes colombianos se encuentran extensiones considerables que resultarían en una alta afectación. Ver la Figura 4.43.

Figura 4.43 Impacto potencial en los ecosistemas del Orobioma Alto Andino 2011 a 2040

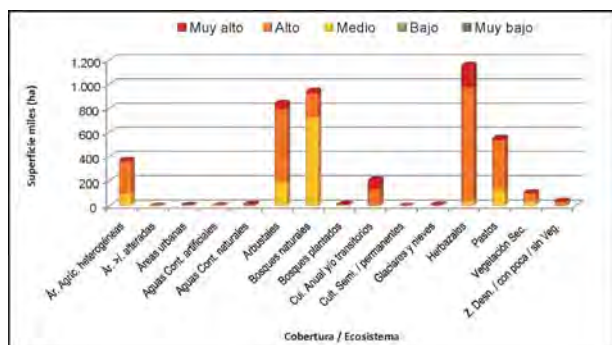
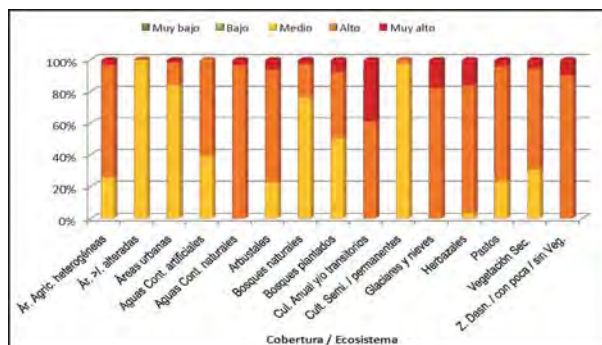


Figura 4.44 Impacto potencial en los ecosistemas del Orobioma Alto Andino 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Adicionalmente, si se considera la proporción y la superficie de coberturas con arbustales (45,6% / 6.800 ha) y herbazales (94,7% / 110.400 ha) dentro de dicho Orobioma en la Sierra Nevada de Santa Marta, la alta afectación se ve claramente reflejada para las comunidades presentes en los herbazales.

De la Figura 4.43 se puede resaltar el muy alto y alto impacto potencial sobre los cultivos anuales y/o transitorios dentro del Orobioma Alto Andino.

- Vulnerabilidad

La vulnerabilidad muy alta, estimada para el Orobioma Alto Andino en el periodo 2011 a 2040 se encontraría principalmente en los departamentos de Tolima, Cauca, Nariño y Boyacá. Ver la Figura 4.45. Proporcionalmente se tendrían: La Guajira, Magdalena, Cesar y Cauca, lo cual se puede observar en la figura 4.46.

Con referencia a los potenciales efectos sobre el bosque nublado, vale mencionar los resultados a largo plazo encontrados de los estudios realizados en Monteverde, Costa Rica para inferir la relación entre los cambios en la precipitación y su efecto sobre la biota (Pounds *et al.*, 1999, citado por Cavalier & Vargas, 2002). En esa localidad se detectaron cambios demográficos sustanciales e incluso extinciones locales en las poblaciones de anfibios y aves. Los autores sugieren que tales cambios han estado regidos por el calentamiento superficial del océano Pacífico Ecuatorial desde la década de 1970. Se cree que el calentamiento ha generado en Monteverde una disminución en la cantidad anual de lluvia orográfica y, en particular, aquella en forma de niebla, la cual normalmente es retenida por la vegetación. Aparentemente, el calentamiento ha hecho que la altura promedio de la base de las nubes que causa lluvia orográfica

Figura 4.45 Vulnerabilidad en ecosistemas del Orobioma Alto Andino 2011 a 2040

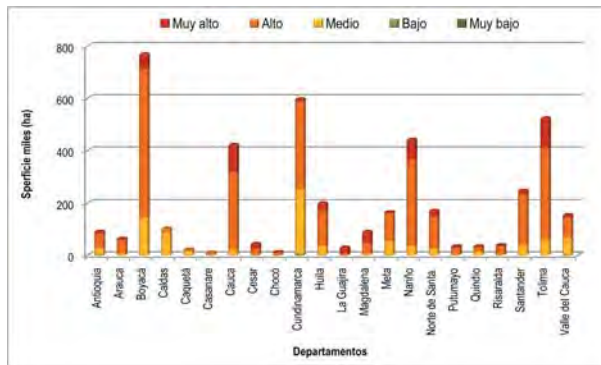
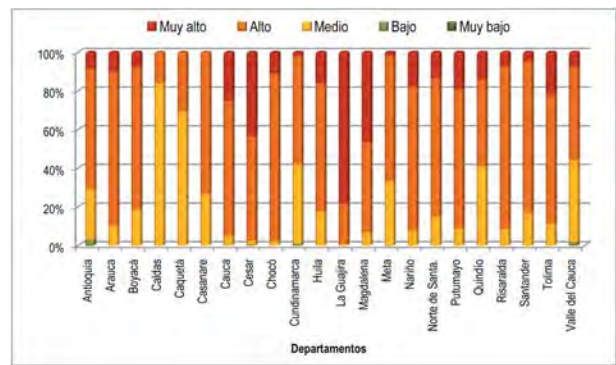


Figura 4.46 Vulnerabilidad en ecosistemas del Orobioma Alto Andino 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

haya aumentado y, por lo tanto, éstas han dejado poco a poco de interceptar la humedad en el macizo montañoso donde se encuentra asentado el bosque de Monteverde (Cavelier & Vargas, 2002, p. 160).

Los anteriores referentes se coligen con la experiencia de los pobladores de San Juanito y El Calvario (1.500 a 2.600 msnm), en la cuenca alta del río Guatiquía (afluente del río Meta que pasa por Villavicencio), quienes relacionan la deforestación con los aumentos de altura de la base de las nubes y, por ende, en la disminución de la humedad (menor neblina), aumento de la temperatura (>4 °C pues antes se necesita saco y caucho para el frío y el agua) además de la facilidad de manejo de los cultivos que no soportan alta humedad relativa (frijol, hortalizas, entre otros³⁶).

Es decir, si se tiene en cuenta que el intercambio de agua desde el dosel a la atmósfera puede alcanzar valores de 55% de la precipitación por medio de la evapotranspiración (15% intercepción) de los bosques lluviosos neotropicales (siendo un poco menor en los bosques montano bajos, Bruijnzeel, 1990, citado por Cavelier & Vargas, 2002), se estarían modificando drásticamente los regímenes hídricos por la deforestación y los cambios en las condiciones físicas e hidráulicas de los suelos (> densidad aparente; Lal, 1996), ocasionando en últimas: menores tasas de infiltración, menor intercepción y evaporación, y salidas más rápidas en la escorrentía con mayores caudales pico (Millet et al., 1998, citado por Cavelier & Vargas, 2002, p. 158). Lo anterior sumado a los cambios en la precipitación y temperatura, según los modelos con los escenarios analizados por el Ideam, traería diferentes modificaciones negativas para el ciclo hidrológico, especialmente en los bosques nublados (montanos), donde la precipitación horizontal reorientada por el dosel hacia la atmósfera (2 a 5 mm, Veneklaas & van Ek, en Cavelier y Vargas, 2002, p. 152) cumple un papel fundamental en la economía hídrica de tales ecosistemas.

De otra parte, la complejidad de la zona andina (con altos y muy altos impactos), se vería aún más comprometida, si se tienen en cuenta los cambios en las catenas³⁷ y/o gradientes que controlan los factores ecológicos, los cuales podrían generar realimentaciones positivas en las perturbaciones³⁸ derivadas de las variables climáticas con cambios drásticos en las relaciones agua - suelo - planta - animal. Un caso poco conocido pero con alto impacto en los sectores productivos (como ejemplo) se podría dar en la sincronía de las especies vegetales y la dinámica de polinizadores, los cuales se podrían ver afectados por las modificación de los ritmos intra o interanuales de precipitación y temperatura con la fisiología de las plantas y/o facilidad de acceso por confort o incomodidad en el ambiente. Todo lo anterior, desde luego, tiene que ver con los patrones de alteración antrópica en los procesos de fragmentación, lo cual promueve otra necesidad de conocimiento relacionado con la susceptibilidad de las especies frente a la reducción de su población y cuáles dominarían frente a los cambios esperados.

Al agrupar los impactos altos y muy altos, el Orobioma Alto Andino del territorio colombiano se vería comprometido en más de 70%, lo cual tendría graves repercusiones, máxime si se tiene en cuenta que el aumento de temperatura en los ecosistemas presentes en dicho orobioma se interrelaciona con diferentes bienes y servicios importantes para la mayor población del país. Tales factores, sumados a la presencia de cultivos anuales o transitorios (alrededor de 5%) y áreas agrícolas heterogéneas (8%) promoverían condiciones más adversas para las delicadas funciones de regulación hídrica que cumplen tales ecosistemas.

36 PRG (1999, p. 22). Bases para la ordenación y manejo ambiental de la microcuenca quebrada Honda. Proyecto río Guatiquía, convenio colombo- alemán.

37 Catena: Secuencia de suelos adyacentes casi siempre a lo largo de una pendiente (Foth, 1990, citado por Clark, 2002, p. 207).

38 Perturbación se entiende como un evento relativamente discreto en el tiempo, que produce un cambio en la estructura física del ecosistema (Clark, 1990; citado en Clark, 2002, p. 200)

4.8.1.2 Impactos potenciales 2071 a 2100

Para finales de siglo, se estima que en el Orobioma Alto Andino el impacto se amplíe en extensión en la categoría de muy alto impacto con respecto al periodo inicial (2011 a 2040), en los departamentos de Norte de Santander y Santander. En sentido contrario, departamentos como Tolima, Cundinamarca, Cauca, Nariño y Huila, tenderían a reducir la extensión con muy alto impacto para finales de siglo. Los aumentos de "alto impacto" se localizarían en el Meta y Valle del Cauca. Ver las figuras 4.47 y 4.48. No obstante la identificación de posibles reducciones en la superficie con respecto al periodo inicial, se debe tener en cuenta la severidad de dicho impacto potencial en este orobioma que es muy sensible, lo cual le ocasionaría serías alteraciones de difícil y muy lenta recuperación.

Figura 4.47 Impactos potenciales en ecosistemas del Orobioma Alto Andino 2071 a 2100

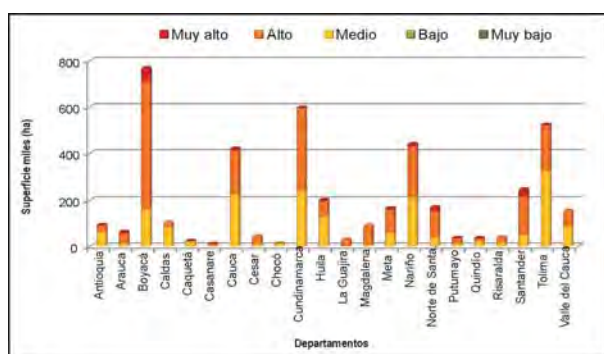
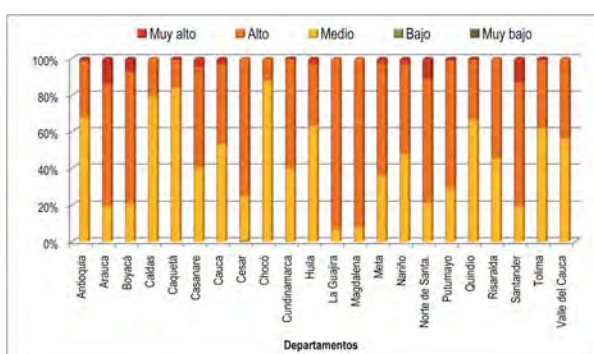


Figura 4.48 Impactos potenciales en ecosistemas del Orobioma Alto Andino 2071 a 2100 (%)



Fuente: Ideam-autores

Adicionalmente, es necesario destacar la alta presión antrópica de actividades que demandan o afectan los recursos presentes en el Orobioma Alto Andino, por las actividades agropecuarias o mineras. Con las actuales tendencias de incremento de temperatura y reducción de las precipitaciones en tales ambientes, se advierte que estos espacios se consideran muy alta y altamente vulnerables al cambio climático. Por lo tanto, sería prioritario tomar las medidas necesarias para su preservación natural, en aras de proteger los bienes y servicios ambientales para la sociedad que se sirve de ellos, principalmente para la región andina donde se concentra la mayor población del país.

4.8.2 Bosques naturales y plantados

4.8.2.1 Impactos potenciales y vulnerabilidad 2011 a 2040

- Impactos potenciales

Se encuentra que los bosques naturales y plantados serían muy altamente impactados en los departamentos de Boyacá (6.600 ha) y Valle del Cauca (6.300 ha). En la categoría de alto impacto se tendría la mayor superficie en los departamentos de Bolívar (120.600 ha), Magdalena (57.200 ha) y Antioquia (55.000 ha). Véase la Figura 4.49.

Figura 4.49 Impacto potencial en las áreas de bosques naturales y plantados 2011 a 2040

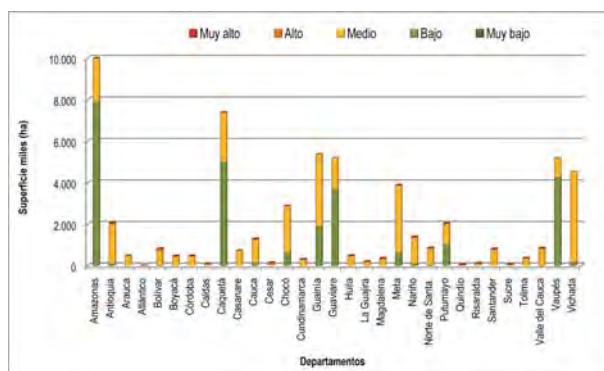
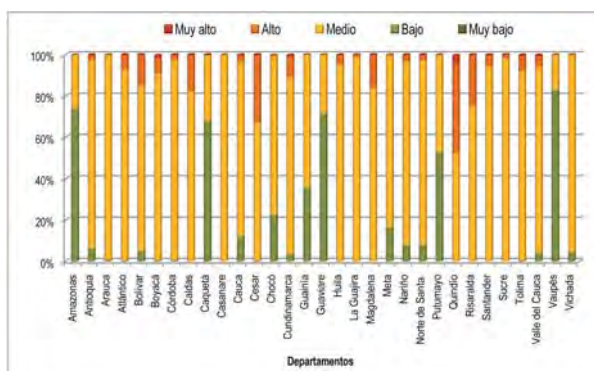


Figura 4.50 Impacto potencial en las áreas de bosques naturales y plantados 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Al tener en cuenta el porcentaje por categoría con respecto al departamento, el impacto potencial muy alto de los bosques naturales y plantados se encuentra en los territorios de Quindío (4%) y Boyacá (1%); mientras el impacto alto se ubica en Quindío (44%), Cesar (32%) y Risaralda (25%). Ver la Figura 4.50. El impacto potencial moderado para todo el país alcanza un valor cercano a 55%.

- Vulnerabilidad

Es notoria la alta vulnerabilidad, por la superficie de los bosques naturales y plantados, ubicados en los departamentos de Cauca (672.200 ha / 51%), Antioquia (616.000 ha / 30%), Bolívar (493.800 ha / 60%), Nariño (573.200 ha / 41%), Chocó (361.300 ha / 12%), Huila (340.700 ha / 70%) y Putumayo (324.000 ha / 15%). Al tomar la proporción de superficie boscosa en cada ente territorial con alta vulnerabilidad, adicionalmente cobran relevancia los departamentos de Tolima (72%) y Risaralda (76%). Véanse las figuras 4.51 y 4.52.

Figura 4.51 Vulnerabilidad en bosques naturales y plantados 2011 a 2040

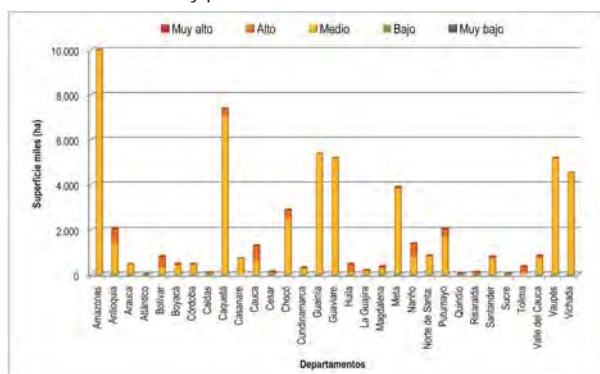
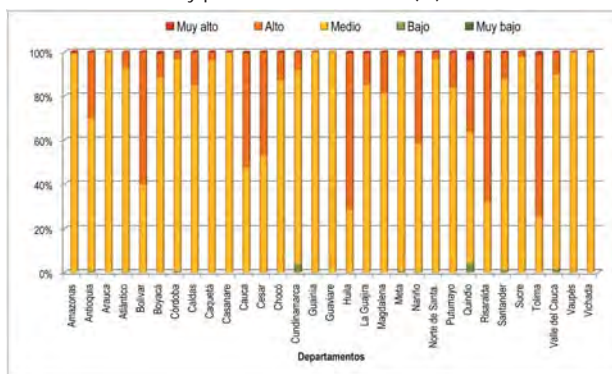


Figura 4.52 Vulnerabilidad en bosques naturales y plantados 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

No obstante encontrarse grandes extensiones en niveles de vulnerabilidad moderada, resulta prioritario tener en cuenta que uno de los mayores retos del país frente a los efectos del cambio climático se refiere al conocimiento y predicción de las variaciones esperadas sobre las especies de los bosques húmedos. Lo anterior cobra gran relevancia, tanto por la extensión, como por el poco conocimiento de los factores que contribuyen a la coexistencia de diferentes gremios o niveles tróficos, la cantidad de especies y la respuesta de las comunidades por efectos de fragmentación, la cual se incrementa significativamente, aumentando progresivamente el riesgo de pérdida de la biodiversidad allí presente.

Por lo anterior, se encuentra procedente desarrollar modelos a diferentes escalas que permitan simular los diferentes efectos en dimensiones espacio-temporales, para evaluar los resultados esperados de las medidas de adaptación que se diseñen. En otras palabras, los bienes y servicios que estarían bajo un riesgo desconocido son significativos en el evento de concretarse los efectos adversos sobre dichas áreas tan extensas y ricas en biodiversidad.

4.8.2.2 Impactos potenciales 2071 a 2100

Hacia finales de siglo y con referencia al primer periodo de análisis (2011 a 2040), los bosques naturales ubicados principalmente en la Amazonia y Chocó recibirían la mayor alteración al incrementarse las áreas significativamente para el periodo 2071 a 2100, pasando de la categoría de impactos potenciales bajos a la de impactos moderados. Véanse las figuras 4.53 y 4.54.

Figura 4.53 Impacto potencial en las áreas de bosques naturales y plantados 2071 a 2100

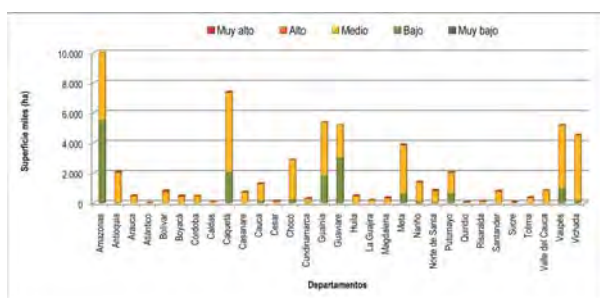
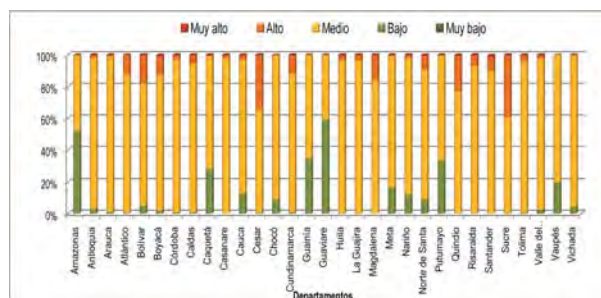


Figura 4.54 Impacto potencial en las áreas de bosques naturales y plantados 2071 a 2100 (%)



Fuente: Ideam-autores

Adicionalmente, si se comparan las figuras 4.50 y 4.54, se identifica el incremento relativo del impacto potencial muy alto hacia finales de siglo (con respecto a cada territorio) en los departamentos de Atlántico, Bolívar y Sucre, principalmente, a pesar de que en otros departamentos se tendría una reducción, como Quindío y Risaralda.

El incremento en la categoría de impacto moderado para finales de siglo estaría por encima de 16%, mientras los impactos altos y muy altos en conjunto se mantendría sobre la cifra de 1,3%.

Al tener en cuenta estudios globales, se ha estimado que hasta 40% de la selva amazónica podría resultar afectada por una disminución incluso pequeña de la precipitación (Rowell and Moore, 2000, en IPCC, 2008c, p. 61). Las simulaciones mediante multimodelos de MCG³⁹ de los cambios de precipitación en América del Sur, durante los próximos 100 años, apuntan a una disminución sustancial (20% o más) de la precipitación en la cuenca amazónica durante los meses de junio, julio y agosto, frente a un ligero aumento (5%, aproximadamente) durante diciembre, enero y febrero. Estos cambios de precipitación, acoplados a un aumento de la temperatura, denotan la sustitución de algunas selvas amazónicas por ecosistemas más resistentes a los múltiples estreses producidos por el aumento de la temperatura, las sequías y los incendios. Tales resultados son concordantes con lo identificado por el Ideam (2010), en el sentido de presentarse una retracción del bosque húmedo de la Amazonia, para dar paso a zonas con climas semihúmedos (clima de la Orinoquia), tal como se detalla en el análisis de la variación del índice de Lang, presentado más adelante en el presente documento.

4.8.3 Vegetación secundaria, arbustales y herbazales

4.8.3.1 Impactos potenciales y vulnerabilidad 2011 a 2040

- Impactos potenciales

Los impactos potenciales para el periodo 2011 a 2040 sobre la vegetación secundaria⁴⁰, arbustales⁴¹ y herbazales⁴², tanto en porcentaje respecto al ente territorial como en la superficie involucrada del cruce de variables para las diferentes categorías media, alta y muy alta, se muestran en las figuras 4.55 y 4.57.

Los departamentos que resultarían con superficies comprometidas en muy alto impacto potencial serían: Tolima (74.000 ha / 16%), Cauca (39.000 ha / 5%), Nariño (38.000 ha / 5%) y Valle del Cauca (36.000 ha / 36%).

En la categoría de alto impacto potencial, sobresalen los departamentos de La Guajira (1.148.000 ha / 85%), Antioquia (1.011.000 ha / 63%), Cauca (600.000 ha / 82%), Nariño (456.000 ha / 59%), Huila (452.000 ha / 73%) y Cesar (421.000 ha / 61%).

Figura 4.55 Impacto potencial en áreas con vegetación secundaria, arbustales y herbazales 2011 a 2040

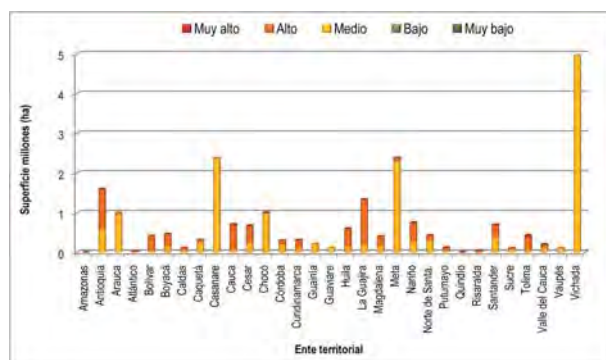
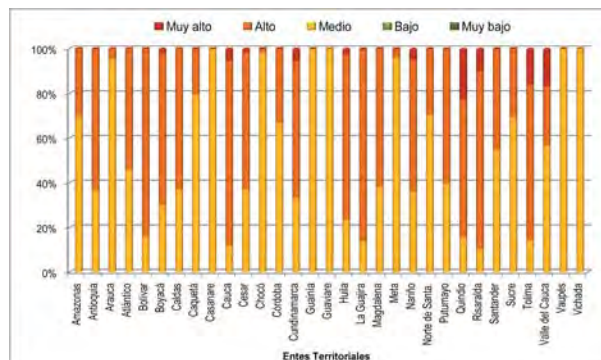


Figura 4.56 Impacto potencial en áreas con vegetación secundaria, arbustales y herbazales 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Debido a elevada proporción dentro del territorio se destacan por su muy alto impacto potencial: Quindío (22%), Valle del Cauca (16%), Tolima (16%) y Risaralda (10%); en la categoría de alto impacto se tendrían: La Guajira (85%), Bolívar (83%), Cauca (82%), Huila (73%) y Antioquia (63%). Véase la Figura 4.56.

- Vulnerabilidad

La vulnerabilidad porcentual y superficial de la vegetación secundaria, los arbustales y herbazales por departamento y categoría para el periodo 2011 a 2040 se muestra en las figuras 4.57 y 4.58.

³⁹ Modelos de circulación global.

⁴⁰ Vegetación de baja altura que generalmente es producto del proceso de sucesión de pastos o cultivos hacia coberturas arbóreas. Ver del Anexo 4.2.

⁴¹ En los arbustales predominan elementos leñosos (arbustos), localizados sobre páramos, sabanas y ambientes xerofíticos.

⁴² En los herbazales predominan las hierbas y gramíneas, pudiéndose encontrar árboles y arbustos dispersos. Se localizan en páramos, sabanas y ambientes xerofíticos.

De los resultados estimados sobresale una muy alta vulnerabilidad de dicha vegetación en los departamentos de Cesar, Nariño, Cauca y Tolima. Alta vulnerabilidad se tendría en los departamentos de Vichada, Meta, La Guajira, Antioquia, Casanare y Arauca.

Figura 4.57 Vulnerabilidad estimada en áreas con vegetación secundaria, arbustales y herbazales 2011 a 2040

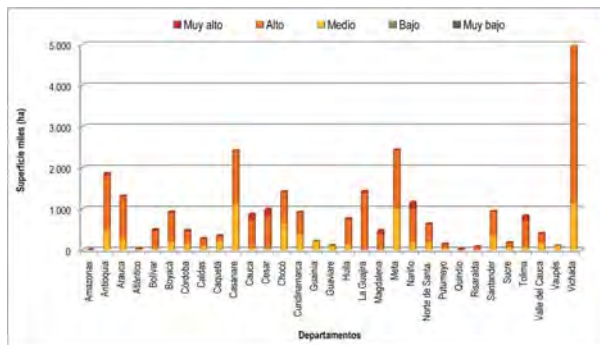
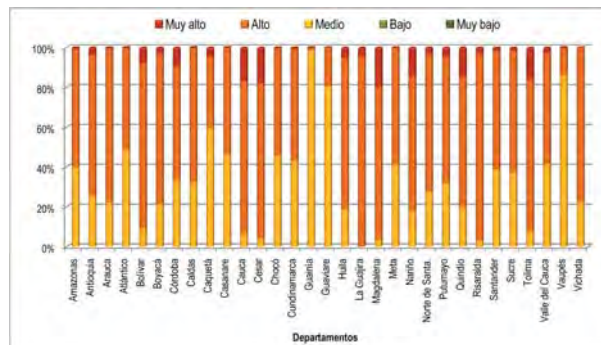


Figura 4.58 Vulnerabilidad estimada en áreas con vegetación secundaria, arbustales y herbazales 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Proporcionalmente, los departamentos que tendrían muy alta vulnerabilidad en las áreas con vegetación secundaria son: Cesar, Magdalena, Tolima y Cauca.

El Vichada se distingue por registrar la mayor extensión con alta vulnerabilidad, equivalente a 77% de la superficie de dicha cobertura en el departamento. Le siguen en extensión de tal agrupación (vegetal) los departamentos de Meta, La Guajira, Magdalena, Antioquia, Casanare, Arauca, Cesar y Cauca.

Vale mencionar, que si bien en algunas regiones a la vegetación secundaria, achaparrada o con porte bajo se le denomina como rastrojo, la agrupación de la vegetación secundaria, los arbustales y herbazales permite revisar de manera conjunta, áreas que sufren gran presión, en el sentido de ser objeto de transformación para usarlas en pastoreo. Lo anterior cobra importancia, dado que estas coberturas generalmente se ubican en zonas que exigen manejo restringido, por los regímenes de humedad y propensión a la degradación. Tal manejo específico se agrava porque históricamente los terrenos han sido utilizados con fines exclusivamente extractivos o con presiones de carga animal elevadas que no son propicias para ecosistemas generalmente secos.

4.8.3.2 Impactos potenciales 2071 a 2100

En el periodo 2071 a 2100, las mayores áreas que actualmente se encuentran con vegetación secundaria, arbustales y herbazales y que tendrían muy alto impacto, estarían ubicadas en los departamentos de Boyacá (23.800 ha), La Guajira (16.400 ha), Norte de Santander (12.100 ha), Santander (11.700 ha) y Nariño (11.200 ha). Con alto impacto potencial, dichas coberturas se localizarían en La Guajira (1.132 ha), Antioquia (495.000 ha), Cauca (408.000 ha) y Cesar (403.000 ha). Ver la Figura 4.59.

Figura 4.59 Impacto potencial en áreas con vegetación secundaria, arbustales y herbazales 2071 a 2100

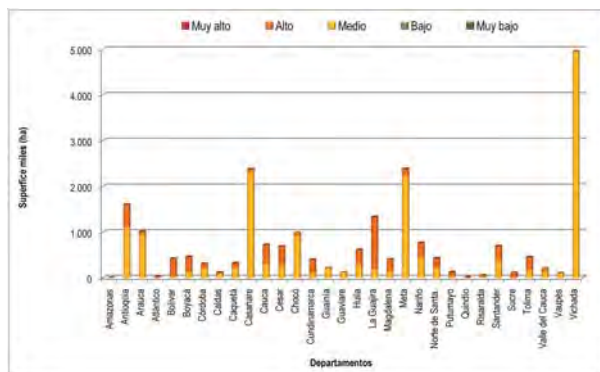
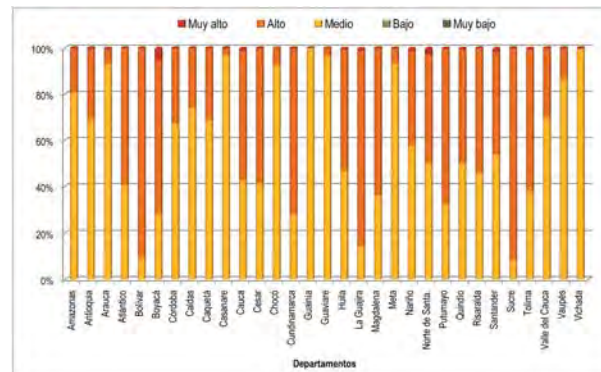


Figura 4.60 Impacto potencial en áreas con vegetación secundaria, arbustales y herbazales 2071 a 2100 (%)



Fuente: Ideam-autores

Proporcionalmente, los departamentos que tendrían impactos muy altos en las áreas que actualmente se encuentran en vegetación secundaria, arbustales y herbazales son Boyacá (5%) y Norte de Santander (3%). El impacto alto se esperaría en Sucre (91%), Bolívar (90%), La Guajira (84%) y Cundinamarca (71%). Ver la Figura 4.60.

4.8.4 Áreas naturales protegidas

Las áreas para las cuales se realizó el análisis del potencial corresponden a las categorías pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Protegidas Nacionales (Sinap).

4.8.4.1 Impactos potenciales y vulnerabilidad 2011 a 2040

- Impactos potenciales

Si se tiene en cuenta la superficie total de las áreas nacionales protegidas que se presentan en la Figura 4.61, se tendría un alto impacto potencial, dada la extensión que se encuentra en la categoría de Parques Nacionales Naturales, mayor a 770.000 ha.

Figura 4.61 Impacto potencial en las áreas nacionales naturales protegidas 2011 a 2040

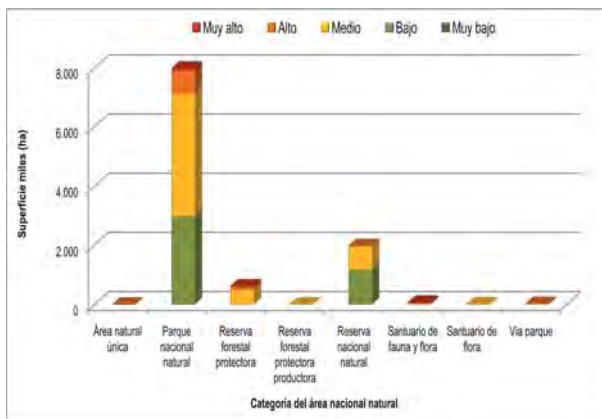
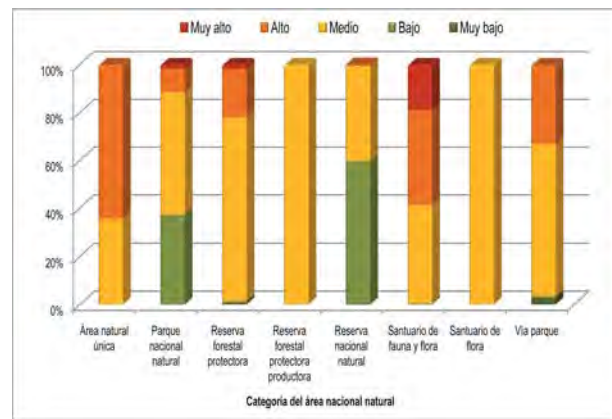


Figura 4.62 Impacto potencial en las áreas nacionales naturales protegidas 2011 a 2040 (%)

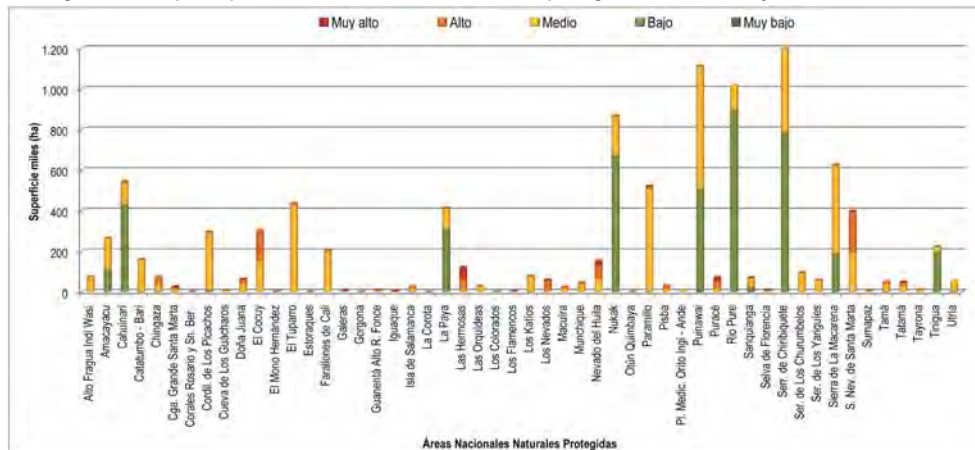


Fuente: Ideam-autores

No obstante la superficie total estimada en impacto potencial alto en los Parques Nacionales Naturales (PNN), cuando se toma como referente la proporción del área total en la categoría de protección, las áreas ubicadas en los Santuarios de Fauna y Flora se encontrarían con muy alto impacto potencial, equivalentes a más de 18%. Las Áreas Naturales Únicas (64%), los Santuarios de Fauna y Flora (39%), la Vía Parque (32%), junto con las Reservas Forestales Protectoras (20%), tendría impactos potenciales altos para el periodo 2011 a 2040. Véase la Figura 4.62.

Una mirada de manera individual del impacto potencial sobre las áreas protegidas, sin incluir las Reservas Forestales Protectoras (RFP) ni las Reservas Forestales Protectoras Productoras (RFPP) se encuentra en la Figura 4.63. Los impactos potenciales muy altos con mayor extensión se tendrían en el PNN Las Hermosas, el PNN Nevado del Huila y el PNN Puracé, donde se estiman más de 21.000 ha para cada uno de ellos.

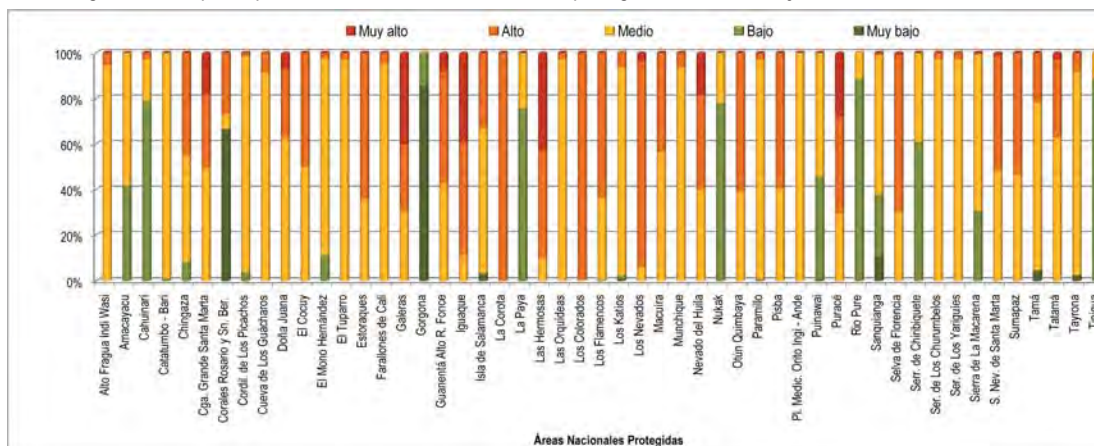
Figura 4.63 Impacto potencial sobre las áreas naturales protegidas (sin las RFP y RFPP) 2011 a 2040



Fuente: Ideam-autores

Proporcionalmente, con respecto al área que resultaría involucrada con muy alto impacto potencial, se encuentran: el PNN Las Herosas, el PNN Galeras, el Santuario de Fauna y Flora de Iguaque, y el PNN Puracé con más de 28% cada uno. Véase la Figura 4.64.

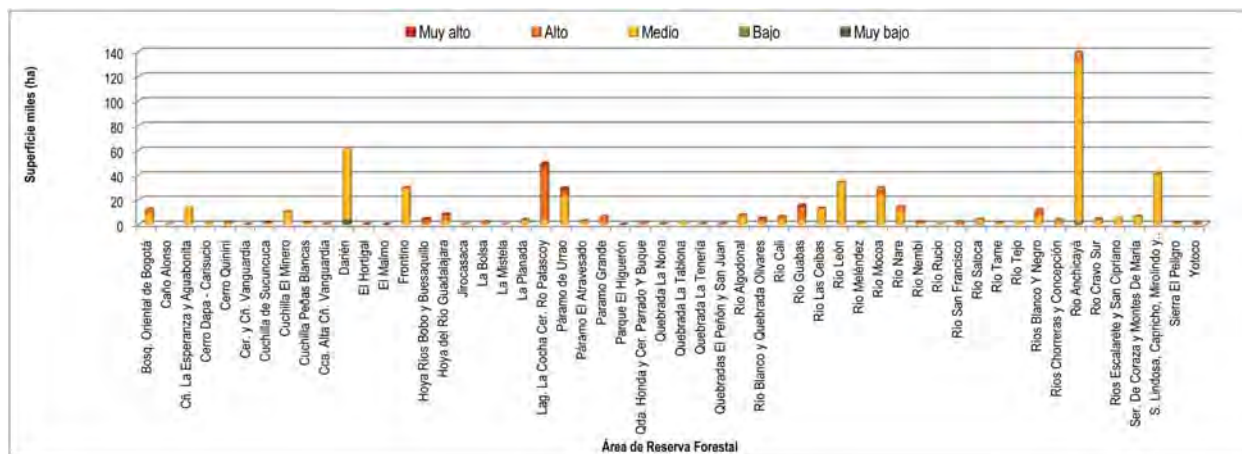
Figura 4.64 Impacto potencial sobre las áreas naturales protegidas (sin las RFP y RFPP) 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

El impacto potencial alto en las Reservas Forestales Protectoras (RFP) y las Reservas Forestales Protectoras Productoras (RFPP) se tendría en la Laguna de La Cocha y Cerro de Patascayo, Anchicayá y Guabas, con superficies que van desde las 9.200 ha en las dos últimas hasta las 42.500 ha para la primera. Véase la Figura 4.65.

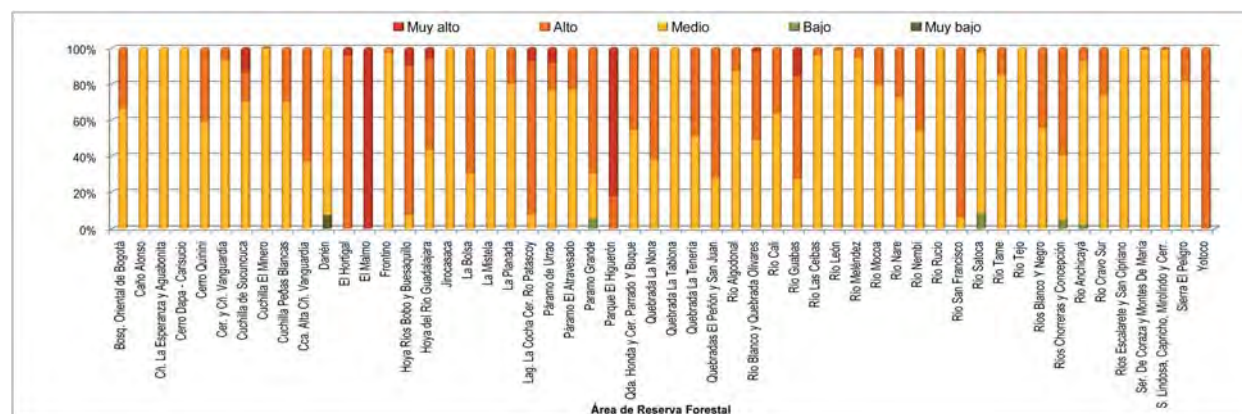
Figura 4.65 Impacto potencial sobre las áreas de RFP y RFPP 2011 a 2040



Fuente: Ideam-autores

Proporcionalmente, las RFP de El Malmo y El Higerón, estarían con más de 80% de su territorio con muy alto impacto potencial para el periodo 2011 a 2040.

Figura 4.66 Impacto potencial sobre las áreas de RFP y RFPP 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

De forma consolidada, alrededor de 10% de las áreas nacionales naturales protegidas estarían con alto (8,8%) y muy alto impacto potencial (1,3%) para el primer periodo de análisis (2011 a 2040).

- Vulnerabilidad

El análisis de la vulnerabilidad de las áreas protegidas se vería afectado negativamente con base en la capacidad de adaptación estimada de los municipios donde se encuentran dichas áreas de protección.

Figura 4.67 Vulnerabilidad en las áreas nacionales naturales protegidas 2011 a 2040

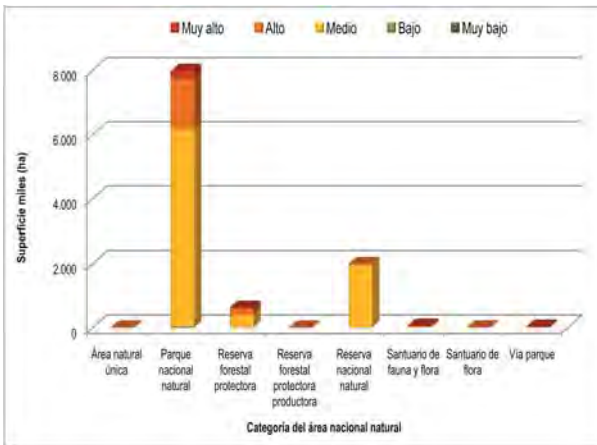
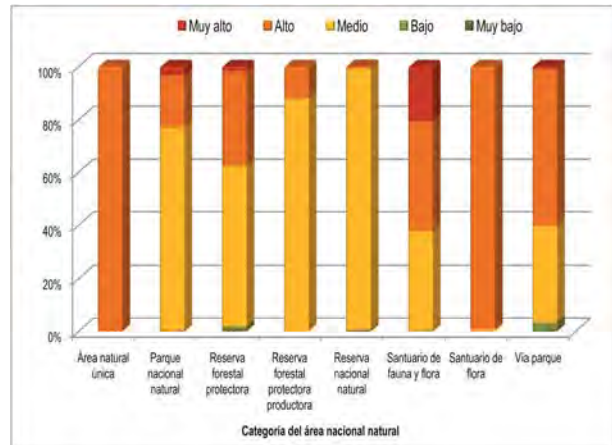


Figura 4.68 Vulnerabilidad en las áreas nacionales naturales protegidas 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

En términos relativos, los Santuarios de Fauna y Flora, el Santuario de Flora y el Área Natural Única, tendrían proporcionalmente una mayor vulnerabilidad que las demás categorías de protección. Véase la Figura 4.71.

4.8.4.2 Impactos potenciales 2071 a 2100

El cambio proporcional más evidente con respecto al primer periodo de análisis (2011 a 2040) se tendría en el Área Natural Única, la cual pasa de 64% a cubrir 100% con un alto impacto. Véanse las figuras 4.62 y 4.70.

Figura 4.69 Impacto potencial en las áreas nacionales naturales protegidas 2071 a 2100

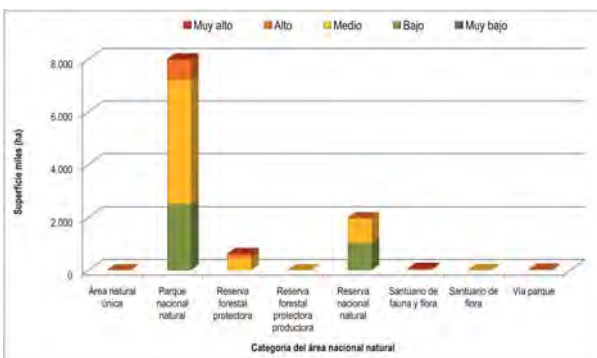
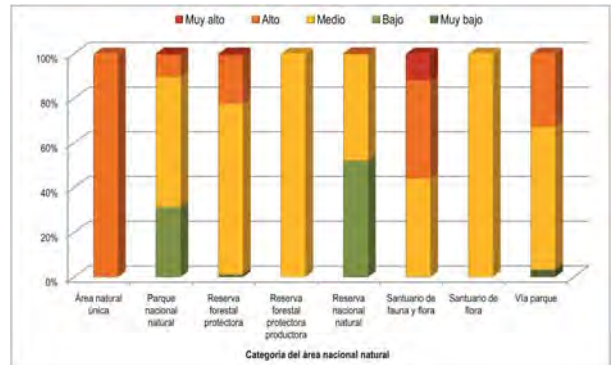


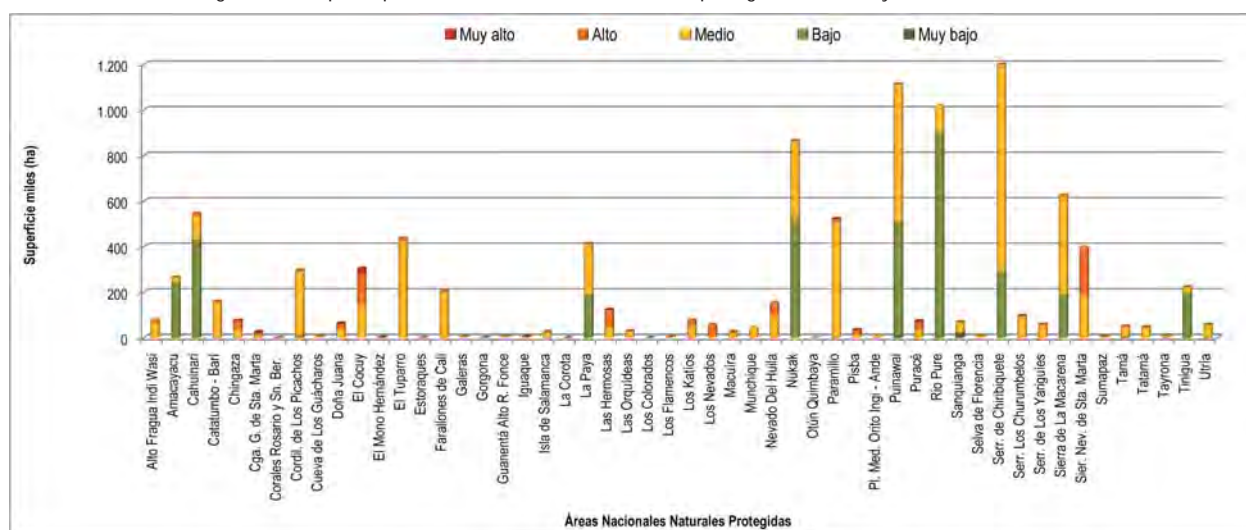
Figura 4.70 Impacto potencial en las áreas nacionales naturales protegidas 2071 a 2100 (%)



Fuente: Ideam-autores

En relación con el impacto potencial en las diferentes áreas protegidas, con excepción de las RFP y las RFPP, el cambio más significativo se encuentra en el aumento de las áreas con moderado impacto potencial en los PNN: Serranía de Chiribiquete, La Paya y Nukak. Compárese la Figura 4.71 con la presentada para el periodo 2011 a 2040.

Figura 4.71 Impacto potencial sobre las áreas naturales protegidas, sin RFP y RFPP 2071 a 2100



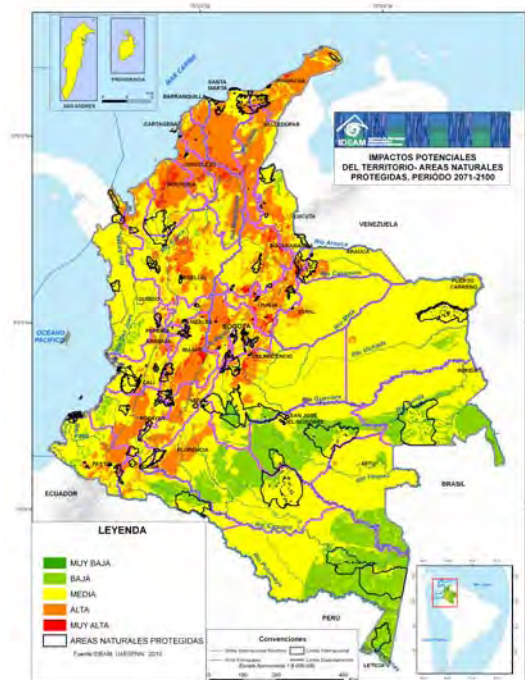
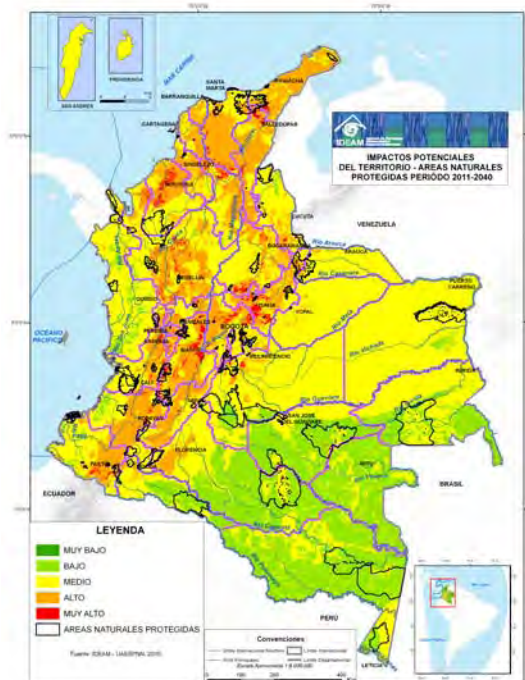
Fuente: Ideam-autores

Si bien en las áreas protegidas (sin RFP ni RFPP) no se tendría una variación significativa, en el total acumulado por categoría de protección para finales del siglo XXI, es necesario tener en cuenta el gran tamaño de las áreas ubicadas en la Orinoquia y Amazonia, sobre las cuales se encontrarían las grandes áreas con variaciones en el clima a finales de siglo, lo cual se analiza a través del índice de Lang.

En las figuras 4.72 y 4.73 se muestra el cruce del impacto potencial con las áreas protegidas para los dos periodos de análisis.

Figura 4.72 Mapa con el impacto potencial sobre las áreas naturales protegidas (sin RFP y RFPP) 2011 a 2040

Figura 4.73 Mapa con el impacto potencial sobre las áreas naturales protegidas (sin RFP y RFPP) 2071 a 2100



Fuente: Ideam-autores

De forma similar, las Reservas Forestales Protectoras (RFP) y las Reservas Forestales Protectoras Productoras (RFPP), no tendrían mayores diferencias significativas en los dos periodos de análisis. No obstante, a pesar de tener una superficie mucho menor (5,8%) que el resto del total de áreas protegidas, por su similar número de reservas, hace que el muy alto impacto (1,6%) y alto impacto esperado (20,2%), en más de 21,8% de los dos niveles más significativos, generaría un mayor esfuerzo y gestión, dada la distribución, extensiones menores y mayores de efectos negativos de fragmentación.

Es apropiado mencionar que las áreas con coberturas boscosas fueron calificadas con menor sensibilidad ambiental a los efectos adversos del cambio climático, lo cual se traduce en un menor impacto potencial estimado, con respecto a las áreas alteradas o con condiciones más degradadas o secas.

4.8.5 Coberturas herbáceas y arbustivas costeras, lagunas costeras y manglares

La presente agrupación cubre las superficies de aguas costeras junto con las áreas húmedas costeras cubiertas con especies herbáceas y arbustivas, dada la importancia para los ecosistemas del litoral marino.

4.8.5.1 Impactos potenciales y vulnerabilidad 2011 a 2040

- Impactos potenciales

Los impactos potenciales muy altos que se tendrían en las coberturas o ecosistemas de litoral (herbáceas y arbustivas costeras, lagunas costeras y manglares) se ubican en el departamento de Magdalena, cubriendo una extensión mayor a 10.000 ha. Las mayores superficies con impactos altos estarían en Magdalena, Antioquia, Chocó, Nariño y Bolívar, con extensiones desde 14.000 ha hasta más de 85.000 ha. Véase la Figura 4.74.

Figura 4.74 Impacto potencial en áreas de manglar, herbáceas, arbustivas y lagunas costeras 2011 a 2040

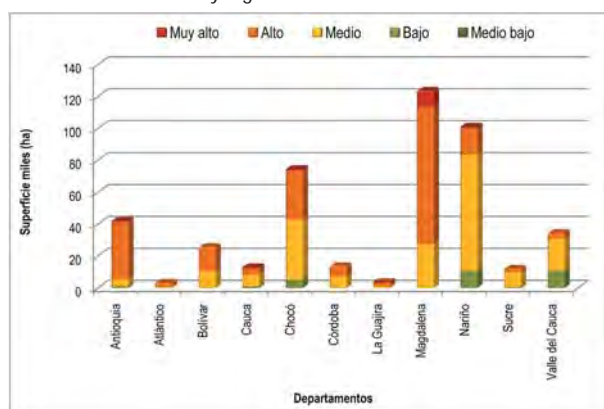
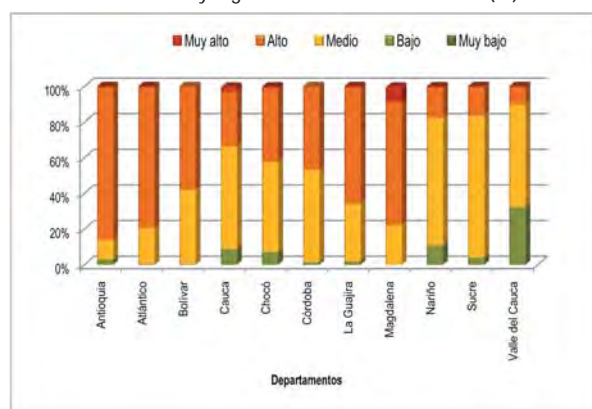


Figura 4.75 Impacto potencial en áreas de manglar, herbáceas, arbustivas y lagunas costeras 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

En la Figura 4.75 se puede advertir la proporción en el territorio departamental que estaría en muy alto impacto potencial en Magdalena (8%) y Cauca (3%). En los departamentos de Antioquia (85%), Atlántico (79%), Magdalena (69%) y La Guajira (69%) se tendría alto impacto potencial, respecto al área de ecosistemas de litoral marino que se vería involucrado en cada departamento. Al tener en cuenta las dos categorías con mayor impacto potencial (muy alto y alto), el área nacional de dichos ecosistemas de litoral marino que estaría comprometida se encuentra alrededor de 49%.

- Vulnerabilidad

Las mayores áreas con muy alta vulnerabilidad se localizan principalmente en los departamentos de Magdalena, Nariño y La Guajira. Véase la Figura 4.76.

Figura 4.76 Vulnerabilidad en áreas de manglar, herbáceas, arbustivas y lagunas costeras 2011 a 2040

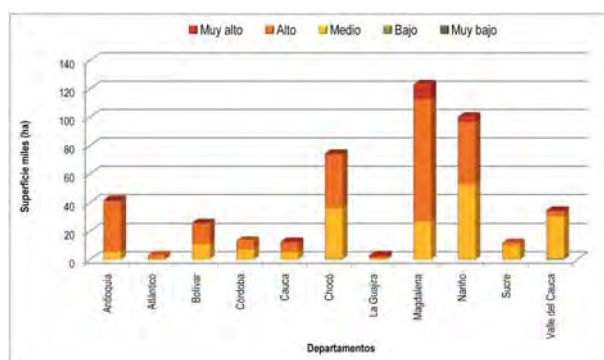
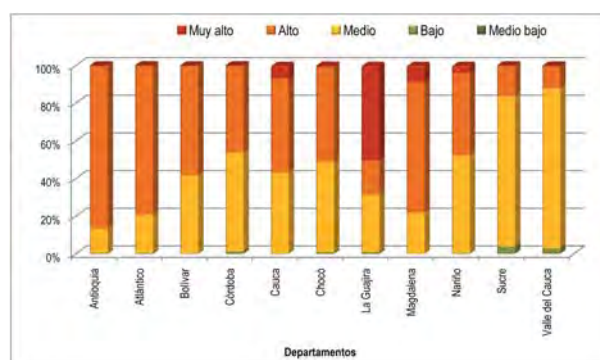


Figura 4.77 Vulnerabilidad en áreas de manglar, herbáceas, arbustivas y lagunas costeras 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Con respecto a la proporción de los ecosistemas del litoral marino por cada departamento, la vulnerabilidad muy alta se ubica en los departamentos de La Guajira, Magdalena, Cauca y Nariño, principalmente. La mayor participación para dichos ecosistemas con vulnerabilidad alta se tendría en Antioquia, Atlántico y Magdalena. Véase la Figura 4.77.

Por lo expuesto, es necesario anotar que las coberturas vegetales asociadas con el comportamiento micromareal localizadas en el litoral Caribe, presentarán disminución en las precipitaciones, lo cual sumado al ascenso del nivel medio del mar, repercutirá en la salinización de los pantanos litorales, mientras que los manglares asociados con el régimen macromareal, localizados en el litoral Pacífico, presentarán condiciones más húmedas.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que el principal problema que tendrán que afrontar los manglares colombianos es el retroceso de la línea de costa asociado con el ascenso del nivel medio del mar. Las tasas de retroceso de la línea de costa variarán de acuerdo con las condiciones topográficas de la misma, el aporte de sedimentos por parte de los ríos y el estado de conservación en el cual se encuentran, además de otros factores no climáticos que no fueron considerados en el análisis.

4.8.5.2 Impacto potencial 2071 a 2100

El impacto potencial que se tendría hacia finales de siglo en las actuales áreas de ecosistemas del litoral marino se circunscribiría en la categoría muy alta para los departamentos de Magdalena, Bolívar y Sucre. El impacto alto se esperaría para los departamentos de Magdalena, Antioquia y Chocó, principalmente. Ver la Figura 4.78.

Figura 4.78 Impacto potencial en áreas de manglar, herbáceas, arbustivas y lagunas costeras 2071 a 2100

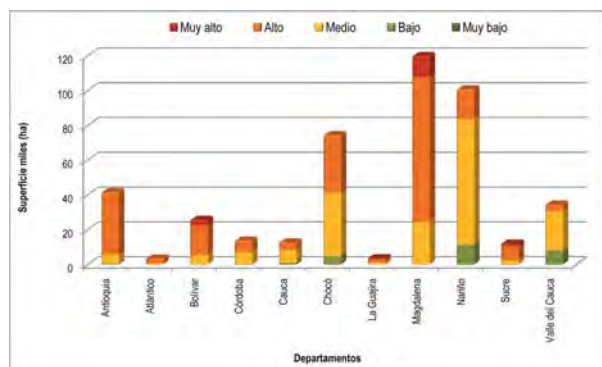
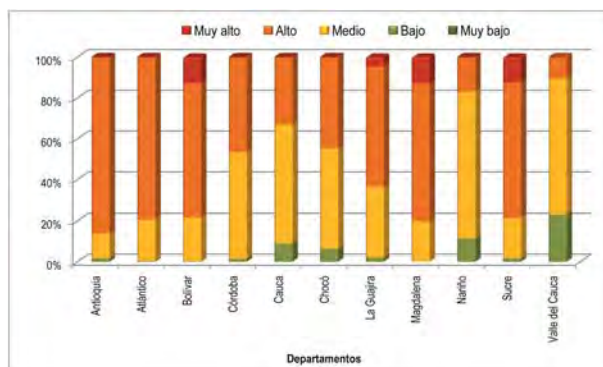


Figura 4.79 Impacto potencial en áreas de manglar, herbáceas, arbustivas y lagunas costeras 2071 a 2100 (%)



Fuente: Ideam-autores

Los incrementos más significativos en superficie de este periodo para el impacto muy alto con respecto al primer periodo (2011 a 2040) se localizan en los departamentos de Magdalena, Bolívar y Sucre. Véanse las figuras 4.76 y 4.78. Con respecto al total nacional de las categorías de muy alto y alto impacto, hacia finales de siglo se tendría un incremento alrededor de 3% adicional, a la proporción inicialmente identificada para el periodo 2011 a 2040 (49%).

4.8.6 Áreas agrícolas heterogéneas

Para tener en cuenta el contexto del sector agrícola en el análisis de la vulnerabilidad, especialmente en los factores no climáticos, es necesario tener presente que el territorio colombiano presenta una gran capacidad para abastecer el mercado nacional y ha alcanzado una reconocida posición en productos de exportación en los últimas décadas; el PIB agropecuario ha contribuido con 8% del PIB total durante el año 2007 (Dane, 2008). De la misma manera, dicho sector ha sido una fuente importante de empleo entre el 2001 y 2008; en promedio generó 21% de los empleos de todo el país (DNP, Plan 2019).

En años recientes, cerca de 5,9 millones de hectáreas del territorio continental está siendo utilizado para la actividad agrícola lícita, de la cual 58,1% está representado por un misceláneo de áreas agrícolas, rastrojos, relictos de bosque, pastos y matorrales. Lo anterior indica que alrededor de 2.458.100 ha, es decir, cerca de 2,1% en la superficie nacional se puede considerar como tierras dedicadas plenamente a la agricultura.

Ahora bien, de acuerdo con la zonificación agroecológica del país, realizada por el Igac (2003), de los 114 millones de hectáreas del territorio nacional continental, cerca de 9% (10.396.650 ha) son aptas para la agricultura, sin

embargo, sólo se utilizó cerca de 2,1%; en el porcentaje restante se han implementado otras actividades, especialmente ganaderías bovinas extensivas, que por su carácter latifundista propician cambios en la estructura de la propiedad.

Con respecto al comportamiento del sector agrícola frente al fenómeno de El Niño 1997-1998, es procedente tener en cuenta que los registros de mayor afectación se dieron en el segundo año, donde los rendimientos de los 17 principales cultivos del país, excluyendo el café, presentaron una reducción en un promedio de 5% atribuible a cada evento. El impacto es ligeramente mayor en los cultivos permanentes (5,5%), que en los transitorios (4,4%). Tal comportamiento podría estar reflejando la condición del manejo y toma de decisiones por los agricultores, con respecto al control de los factores que determinan mejores resultados en los cultivos transitorios.

En la región Andina, los cultivos transitorios de papa, cebada y trigo fueron los más afectados, localizados en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá; los cultivos mecanizados y de bajo riesgo como el arroz en el departamento del Tolima, fueron afectados en menor medida. El maíz tradicional fue afectado en forma generalizada en todas las zonas.

La clasificación adoptada para el presente análisis establece que las áreas agrícolas heterogéneas son consideradas como una mezcla de diferentes cultivos anuales, permanentes, pastos y espacios naturales⁴³.

4.8.6.1 Impactos potenciales y vulnerabilidad 2011 a 2040

- Impactos potenciales

Las áreas que recibirían impactos potenciales muy altos estarían en los departamentos de Cesar (13.500 ha / 4%), Nariño (6.400 ha / 2%) y Boyacá (3.100 ha / 1%). Impactos potenciales altos con mayor superficie se tendrían en Nariño (311.000 ha / 77%), Tolima (281.000 ha / 71%), Cesar (280.000 ha / 88%), Boyacá (271.000 ha / 58%) y Cundinamarca (234.000 ha / 44%). Ver la Figura 4.80.

Figura 4.80 Impactos potenciales en áreas agrícolas heterogéneas 2011 a 2040

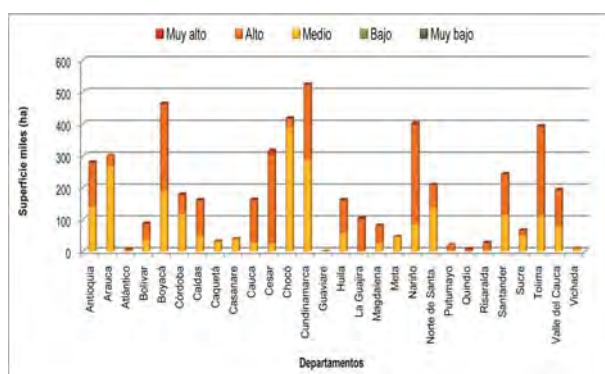
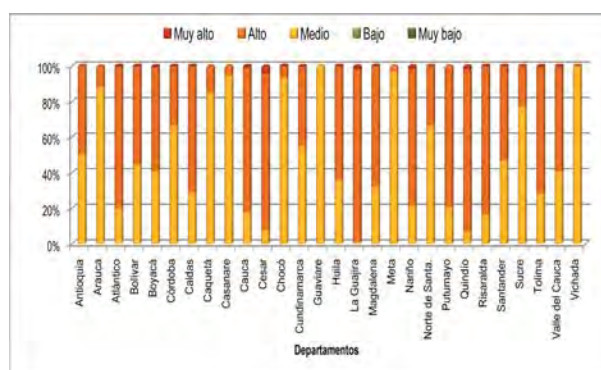


Figura 4.81 Impacto potencial en áreas agrícolas heterogéneas 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Departamentos que resultarían muy altamente impactados por la proporción territorial serían: Cesar, Quindío, La Guajira y Nariño; en la categoría de alto impacto están: La Guajira, Quindío, Cesar, Risaralda y Cauca, con una extensión mayor a 80% de la cobertura presente en cada ente territorial.

- Vulnerabilidad

Las mayores extensiones de áreas agrícolas heterogéneas con muy alta vulnerabilidad estarían localizadas en los departamentos de Cesar (109.000 ha / 34%), Nariño (52.000 ha / 13%), Cauca (27.000 ha / 16%), Tolima (26.000 ha / 7%), Magdalena (24.000 ha / 30%), Córdoba (23.000 ha / 13%) y Antioquia (22.000 ha / 8%). En alta vulnerabilidad se encontrarían los siguientes departamentos: Boyacá (364.000 ha / 78%), Tolima (337.000 ha / 85%), Nariño (317.000 ha / 78%), Arauca (291.000 ha / 96%), Chocó (291.000 ha / 96%), Cundinamarca (263.000 ha / 50%) y Cesar (206.000 ha / 65%). Véase la Figura 4.82.

Figura 4.82 Vulnerabilidad en áreas agrícolas heterogéneas 2011 a 2040

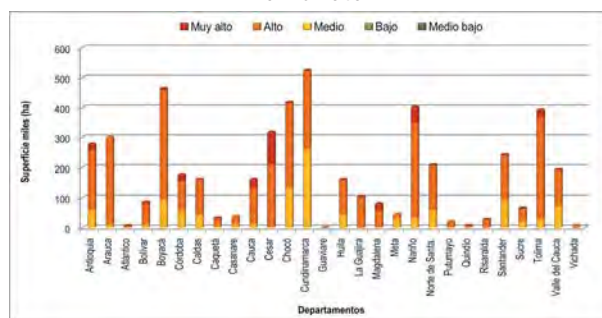
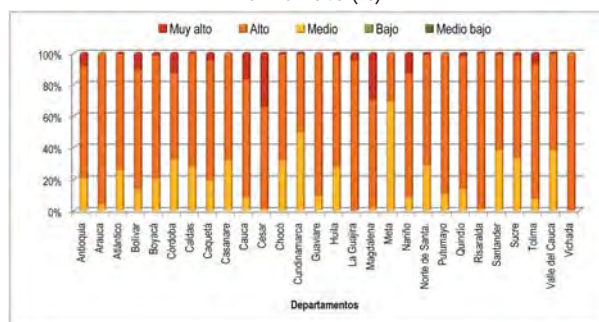


Figura 4.83 Vulnerabilidad en áreas agrícolas heterogéneas 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Proporcionalmente, los departamentos con muy alta vulnerabilidad en sus áreas agrícolas heterogéneas se muestran en la Figura 4.83, los cuales fueron reseñados en el porcentaje de los departamentos antes citados.

Es de resaltar la gran cantidad, extensión y niveles elevados de vulnerabilidad que se tendrían para las áreas agrícolas heterogéneas con respecto a las demás coberturas y uso del territorio.

4.8.6.2 Impactos potenciales 2071 a 2100

Para finales de siglo se tendría una reducción de las áreas con alto impacto en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Huila, Magdalena, Nariño, Risaralda y Tolima; mientras se aumentaría en Arauca, Bolívar, Córdoba, Caquetá, Cesar, Chocó, Cundinamarca, Meta, Putumayo y Sucre. Ver la Figura 4.84.

Figura 4.84 Impactos potenciales en áreas agrícolas heterogéneas 2071 a 2100

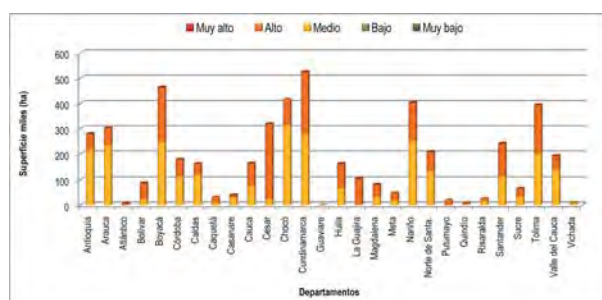
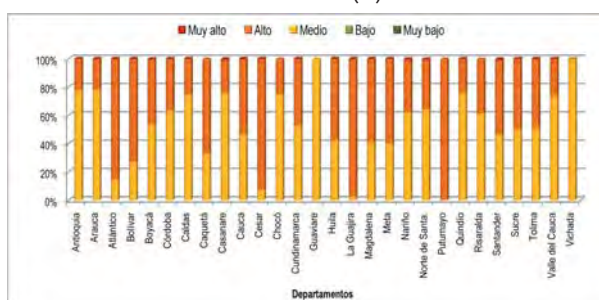


Figura 4.85 Impacto potencial en áreas agrícolas heterogéneas 2071 a 2100 (%)



Fuente: Ideam-autores

Las variaciones antes señaladas de la superficie son más notorias en las figuras (4.83 y 4.85) que muestran las proporciones con respecto a la superficie de las áreas agrícolas heterogéneas existentes en cada departamento.

4.8.7 Cultivos semipermanentes y permanentes

Las coberturas de los cultivos semipermanentes y permanentes corresponden a tierras dedicadas a cultivos con ciclo vegetativo mayor un año, donde se pueden obtener varias cosechas sin necesidad de volver a plantar (Ideam et al., 2007).

Vale mencionar que los sistemas agroindustriales se concentran geográficamente en conglomerados⁴⁴ con especialización regional en algunos productos que buscan infraestructuras consolidadas de bienes y servicios, acceden a tierras de mejor calidad y tienen ubicación privilegiada frente al mercado interno y externo. Presentan diferentes grados de integración, con especialización en la producción mediante sistemas de monocultivos, en donde se utilizan, por lo regular, paquetes tecnológicos.

44 1) Las áreas con mayor desarrollo son: Valle del Cauca (azúcar, soya, frutales, ahora etanol), zona cafetera (café y frutales, con tendencia al aumento en ganadería), Urabá Antioqueño (banano y palma africana), Alto Magdalena (arroz riego, arroz seco mecanizado, algodón, ajonjolí, maíz y soya), 2) Áreas agroindustriales con ganadería: Valle del Magdalena (palma africana, algodón, frutales), Costa Atlántica (Montería: algodón, arroz y maíz; Sincelejo: yuca y tabaco; sur de Bolívar: arroz), Meta (Villavicencio: arroz, palma africana, sorgo y soya).

4.6.7.1 Impactos potenciales y vulnerabilidad 2011 a 2040

- Impactos potenciales

Los departamentos que recibirían impactos potenciales muy altos con respecto al total de la superficie de los cultivos semipermanentes y permanentes para el periodo inicial son: Valle del Cauca, Cauca, Caldas y Risaralda, principalmente. Véase la Figura 4.86.

Figura 4.86 Impactos potenciales en cultivos semipermanentes y permanentes 2011 a 2040

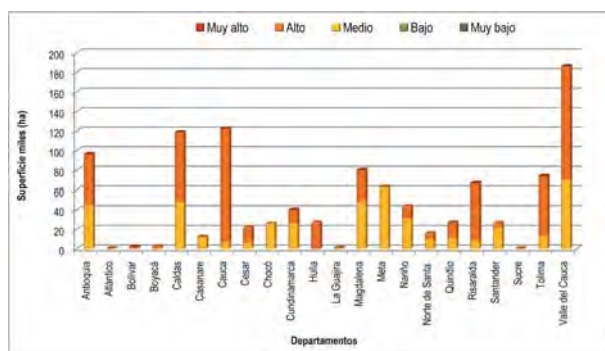
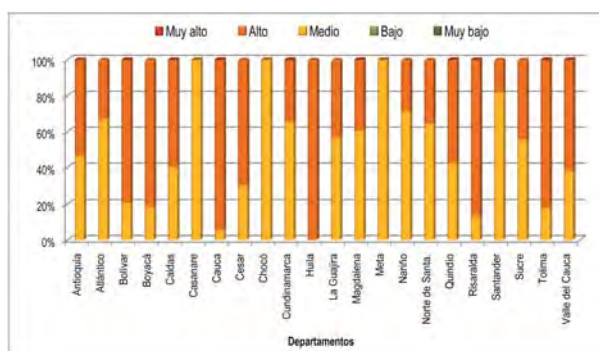


Figura 4.87 Impactos potenciales en cultivos semipermanentes y permanentes 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Proporcionalmente, los departamentos con mayor área comprometida de cultivos permanentes y semipermanentes en el periodo inicial son: Huila, Cauca, Risaralda, Boyacá y Bolívar, principalmente. Ver la Figura 4.87.

Las áreas de cultivos permanentes y semipermanentes podrían alcanzar un impacto muy alto por déficits de precipitación media anual, cercano a 57% del acumulado nacional, llegando a casi 100% si se incluye el impacto alto.

- Vulnerabilidad

El departamento con mayor superficie de cultivos permanentes y semipermanentes con vulnerabilidad muy alta que se tendría para el periodo 2011 a 2040 es Magdalena. En alta vulnerabilidad se tendría a Cauca, Valle del Cauca, Caldas y Tolima, principalmente. Ver la Figura 4.88.

Figura 4.88 Vulnerabilidad en áreas de cultivos permanentes y semipermanentes 2011 a 2040

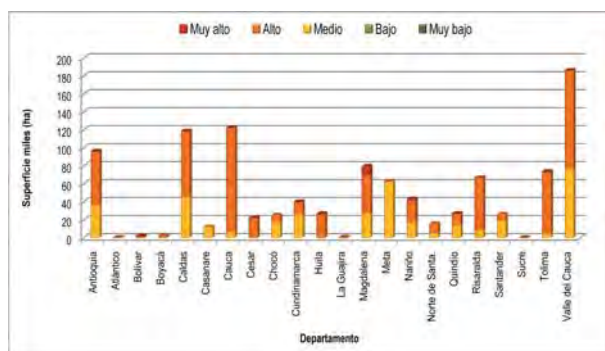
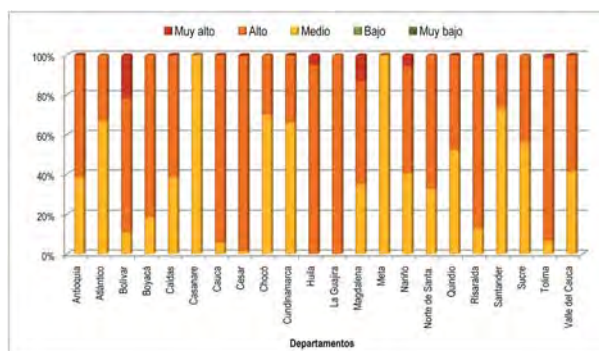


Figura 4.89 Vulnerabilidad en áreas de cultivos permanentes y semipermanentes 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Los departamentos de Bolívar, Magdalena, Nariño y Huila estarían expresando porcentajes de muy alta vulnerabilidad, superiores a los demás departamentos, con respecto a sus áreas donde se cartografiaron los cultivos permanentes y semipermanentes. Ver la Figura 4.89.

4.8.7.2 Impactos potenciales 2071 a 2100

Si bien en la mayoría de los departamentos se tendría una disminución de las áreas con impactos potenciales altos para el final de siglo en las áreas de cultivos permanentes y semipermanentes, con respecto al primer periodo, en los

departamentos de Bolívar, Cesar, Santander, Cundinamarca, Magdalena, Norte de Santander, Sucre y Meta, principalmente, se tendría un aumento para dicha categoría de impacto. Ver las figuras 4.86 y 4.90.

Figura 4.90 Impacto potencial en áreas de cultivos permanentes y semipermanentes 2071 a 2100

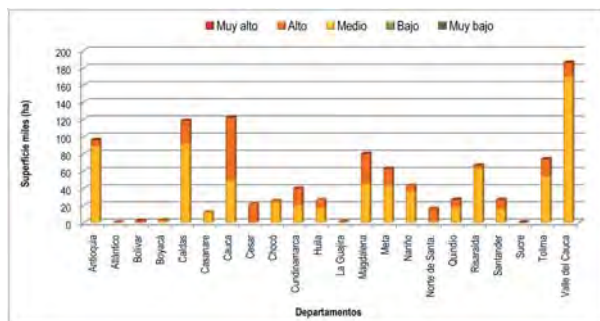
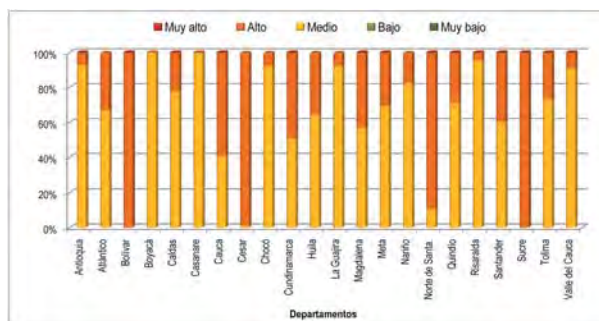


Figura 4.91 Impacto potencial en áreas de cultivos permanentes y semipermanentes 2071 a 2100 (%)



Fuente: Ideam-autores

Las variaciones incrementales al final de siglo, con respecto al periodo inicial, se muestran en los impactos potencialmente altos en los departamentos de Bolívar, Cesar, Sucre y Norte de Santander. Ver las figuras 4.87 y 4.91.

4.8.7.3 Ejercicio indicativo de los impactos potenciales y vulnerabilidad en áreas con cultivos de café 2011 a 2040

Los siguientes análisis de vulnerabilidad realizados por el Ideam se basaron en la información cartográfica digital suministrada por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Encuesta Nacional Cafetera 1993 - 1997), dentro del marco del proceso de discusión de la metodología. Tal información se dividió para cada una de las variedades cultivadas (Típica, Caturra y Colombia).

- Impactos potenciales 2011 a 2040

Café variedad Caturra

De las cerca de 375.000 ha que se identificaron para el censo cafetero (1993-1997), en el periodo 2011 a 2040, los departamentos que tendrían una mayor superficie de café variedad Caturra con impacto potencial muy alto son: Antioquia (10.200 ha / 17%), Valle del Cauca (5.000 ha / 13%), Quindío (3.100 ha / 13%) y Caldas (2.600 ha / 7%); con alto impacto potencial estarían: Antioquia (36.100 ha / 58%), Huila (35.400 ha / 77%), Tolima (32.800 ha / 67%), Cauca (27.90 ha / 95%), Risaralda (23.100 ha / 83%), Caldas (23.100 ha / 60%) y Valle del Cauca (22.800 ha / 56%). Véanse las figuras 4.92 y 4.93, donde se representa la superficie que se podría impactar en cada una de las categorías y el porcentaje con respecto a cada departamento, respectivamente.

Figura 4.92 Impacto potencial en áreas con cultivo de café variedad Caturra, periodos 2011 a 2040

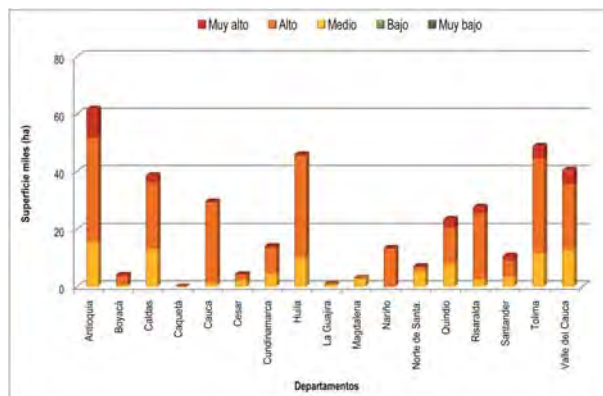
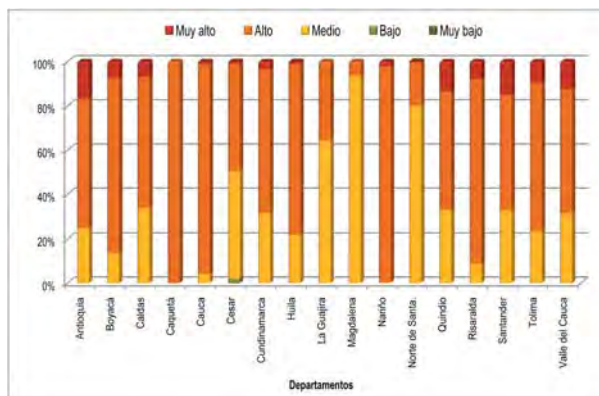


Figura 4.93 Impacto potencial en áreas con cultivo de café variedad Caturra, periodos 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Con base en el impacto muy alto que se podría presentar respecto a la superficie de café Caturra por departamento, sobresalen Antioquia, Santander y Quindío. Véase la Figura 4.93.

Al tomar en cuenta el número de sitios con cultivo de café Caturra que se podrían ver muy altamente impactados para el periodo 2011 a 2040, sobresalen los departamentos de: Antioquia (16.900) y Tolima (6.500); altamente impactados podrían resultar Antioquia (72.300); Cauca (69.500) y Huila (67.700). Ver la Figura 4.94.

Figura 4.94 Impacto potencial en sitios con cultivo de café Caturra, periodo 2011 a 2040

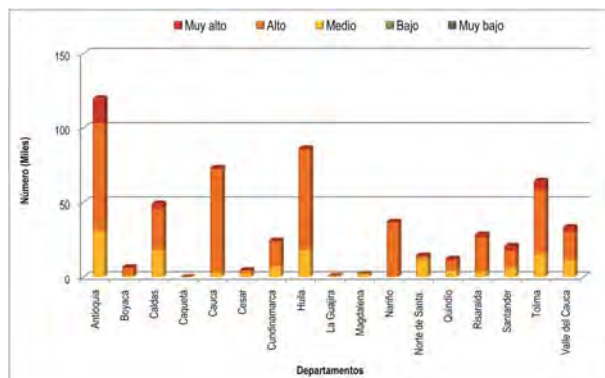
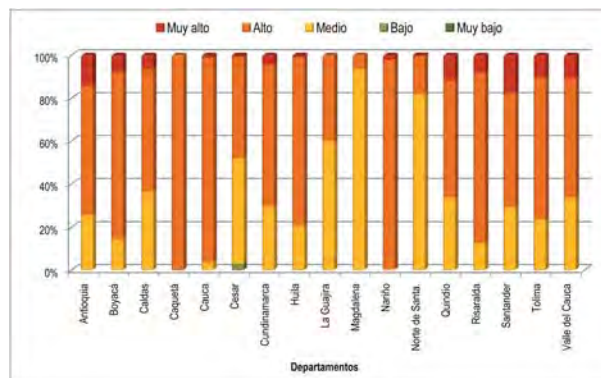


Figura 4.95 Impacto potencial en sitios con cultivo de café Caturra, periodo 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

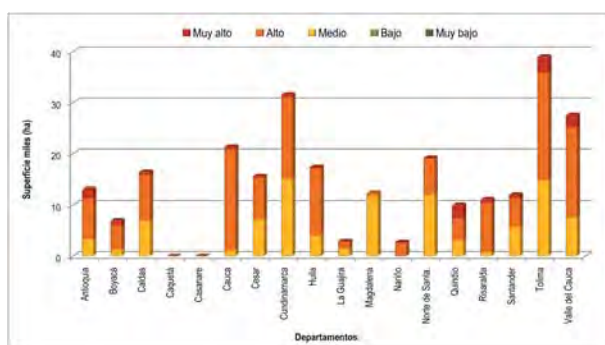
Los departamentos que podrían resultar proporcionalmente con mayores sitios con muy alto impacto potencial en café Caturra, serían: Santander y Antioquia. Ver la Figura 4.95.

Si se toma en cuenta el impacto alto y muy alto de manera conjunta para todo el país, las áreas con cultivo de café Caturra alcanzarían alrededor de un 77%.

Variedad Típica

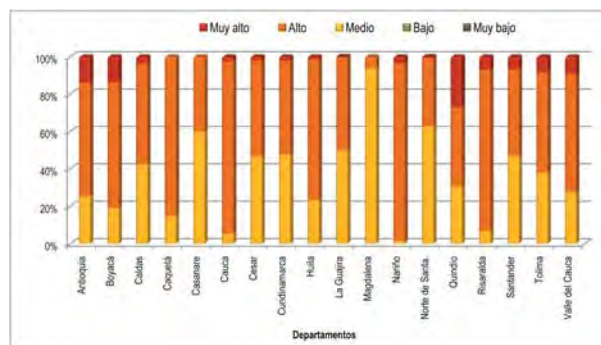
La variedad de café Típica para el periodo 2011 a 2040 podría verse muy altamente impactado en los departamentos de: Tolima (3.100 ha / 8%), Quindío (2.700 ha / 27%), Valle del Cauca (2.500 ha / 9%) y Antioquia (1.800 ha / 14%); con alto impacto estarían: Tolima (21.100 ha / 54%), Cauca (19.700 ha / 92%), Valle del Cauca (17.500 ha / 63%) y Cundinamarca (15.900 ha / 50%). Véanse las figuras 4.96 y 4.97.

Figura 4.96 Impacto potencial en sitios con cultivo de Café Típica periodo: 2011 a 2040



Fuente: Ideam-autores

Figura 4.97 Impacto potencial en sitios con cultivo de Café Típica periodo: 2011 a 2040 (%)



La mayor proporción departamental de la variedad Típica con alto impacto se podría encontrar en: Nariño y Caquetá. Véase la Figura 4.97. Los impactos potenciales alto y muy alto, acumulados, que se podrían tener en las áreas de cultivo de la variedad típica, alcanzarían alrededor del 63% (57% A; 6% Ma) para el periodo 2011 a 2040.

Variedad Colombia

Las mayores áreas de cultivo de café Colombia que potencialmente podrían resultar muy altamente impactadas para el periodo 2011 a 2040 son: Antioquia (11.900 ha / 24%) y Valle del Cauca (2.800 ha / 14%). En similar sentido, con alto impacto se tendría: Caldas (28.600 ha / 80%), Antioquia (27.600 ha / 55%), Risaralda (18.100 ha / 79%) Valle del Cauca (12.700 ha / 62%), Tolima (11.200 ha / 63%) y Quindío (10.600 ha / 57%). Véanse las figuras 4.98 y 4.99.

Figura 4.98 Impacto potencial en sitios con cultivo de Café Colombia periodo: 2011 a 2040

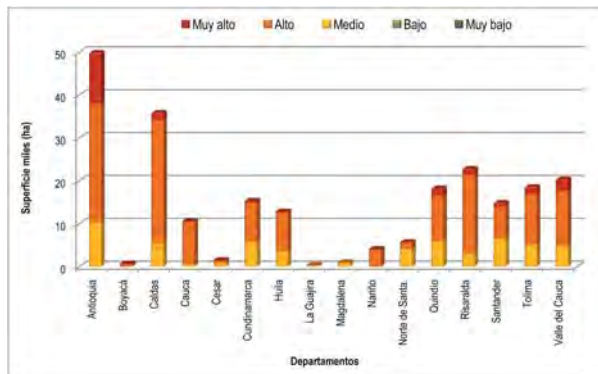
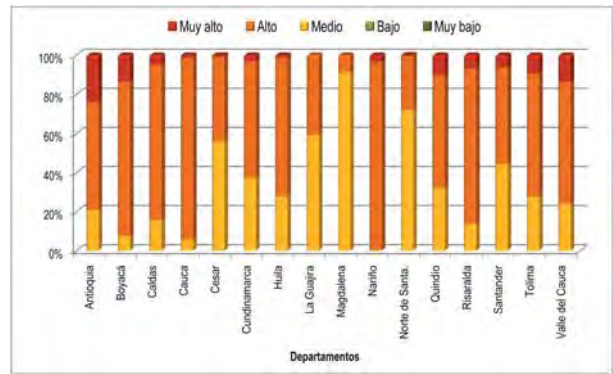


Figura 4.99 Impacto potencial en sitios con cultivo de Café Colombia periodo: 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Adicional a los territorios anteriores, Nariño y Cauca tendrían más del 93% de la superficie departamental comprometida en alto impacto para el periodo 2011 a 2040. Véase la figura 4.99.

En forma conjunta, las áreas con café Colombia, con alto (65%) y muy alto impacto (10%), podrían estar comprometidas en alrededor del 75%, respecto al territorio nacional.

- Vulnerabilidad

Las mayores superficies de café Caturra con muy alta vulnerabilidad se localizarían en los departamentos de Antioquia, Huila, Tolima, Valle del Cauca, Cauca, Caldas y Risaralda. Ver la figura 4.100.

Figura 4.100 Vulnerabilidad en las áreas de cultivo de café Caturra 2011 a 2040

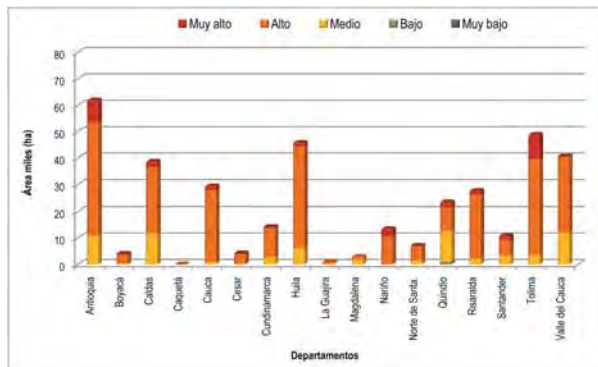
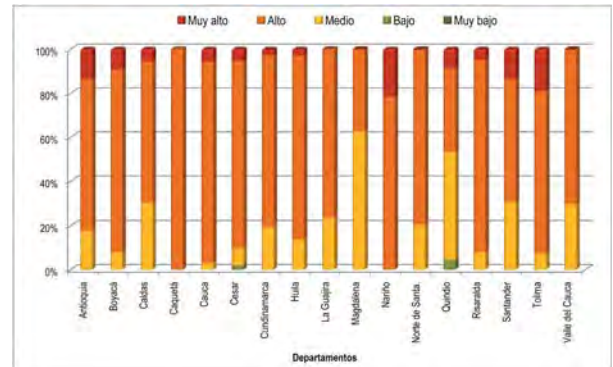


Figura 4.101 Vulnerabilidad en las áreas de cultivo de café Caturra 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Las mayores proporciones departamentales de áreas con cultivo del café Caturra que se verían con muy alta vulnerabilidad estarían localizadas en: Nariño, Tolima, Antioquia y Santander. Lo anterior teniendo en cuenta la capacidad de adaptación municipal. Ver la Figura 4.101.

De las variedades de café analizadas en el periodo 2011 a 2040, las mayores áreas con impacto potencial muy alto se tendrían para la variedad Colombia (10%), y alto para la variedad Caturra (66%). Las áreas en cultivos de café que estarían recibiendo los menores impactos potenciales, muy alto (57%) y alto (6%), se tendrían para la variedad Típica.

Se esperarían impactos potenciales, muy alto (63%) y alto (8), sobre una superficie aproximada 860.000 ha, correspondiendo alrededor del 71% de las áreas identificadas en cultivo de café del país para el periodo 2011 a 2040.

- Impactos potenciales 2071 a 2100

Para el periodo 2071 a 2100, las mayores áreas que tendrían impactos potenciales muy altos en cultivos de café Caturra, se tendrían en los departamentos de Tolima y Antioquia. Véase la figura 4.102. Lo anterior con el supuesto que las áreas de cultivo se mantengan en iguales extensiones para el periodo 2071 a 2100; es decir se tendría como variación los aspectos de la modelación climática.

Figura 4.102 Impactos potenciales (ha) en el cultivo el cultivo del Café Caturra 2071 a 2100

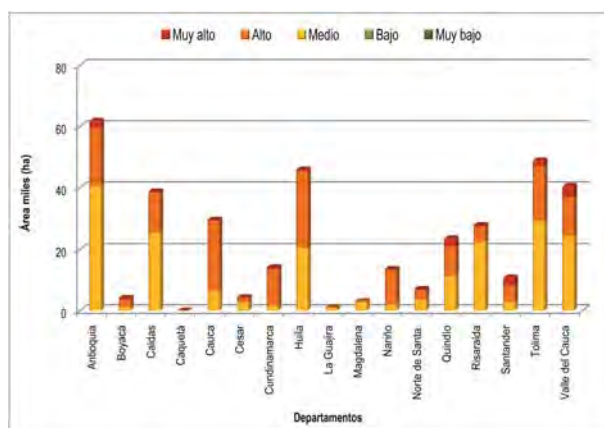
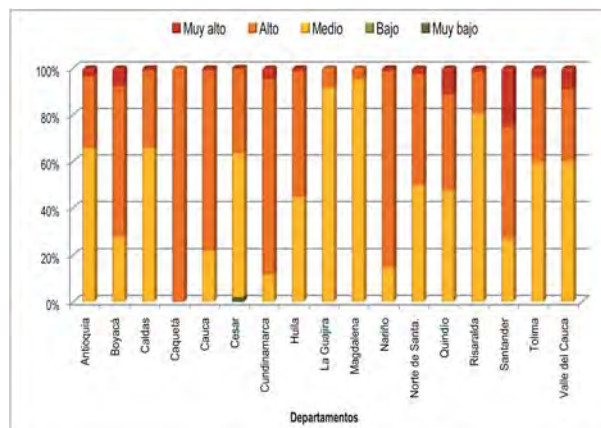


Figura 4.103 Impactos potenciales (%) en el cultivo el cultivo del Café Caturra: 2071 a 2100



Fuente: Ideam-autores

Al realizar una comparación relativa para los dos periodos de análisis, se esperaría la reducción en los impactos potenciales altos en las áreas de cultivo de café Caturra hacia el final de siglo en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca, Huila, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca; mientras que en Cundinamarca y Norte de Santander se obtendría un incremento. Las áreas con impacto potencial muy alto donde se esperaría reducción para finales de siglo son: Antioquia, Caldas, Risaralda y Valle del Cauca; por su parte, Cundinamarca, Huila y Santander tendría posiblemente ampliación del área en dicha categoría. Véase las figuras 4.94 y 4.102.

De las variedades de café analizadas en el periodo 2011 a 2040, las mayores áreas con impacto potencial muy alto se tendrían para la variedad Colombia (10%), y alto para la variedad Caturra (66%). Las áreas en cultivos de café que estarían recibiendo los menores impactos potenciales, muy alto (57%) y alto (6%), se tendrían para la variedad Típica.

Se esperarían impactos potenciales, muy alto (63%) y alto (8), sobre una superficie aproximada del 71% de las áreas identificadas en cultivo de café del país para el periodo 2011 a 2040.

4.8.8 Cultivos anuales y/o transitorios

Las coberturas con cultivos anuales y/o transitorios son áreas ocupadas por especies cuyo periodo vegetativo dura un año o menos, según el mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia (Ideam et al., 2007).

4.8.8.1 Impactos potenciales y vulnerabilidad 2011 a 2040

- Impactos potenciales

Las mayores superficies de los cultivos anuales y/o transitorios que recibirían muy alto impacto (Ma) estarían localizadas en los departamentos de Antioquia (247.00 ha / 49%), Tolima (205.000 ha / 78%), Boyacá (183.000 ha / 46%), Córdoba (176.000 ha / 55%), Cundinamarca (94.000 ha / 31%) y Santander (94.000 ha / 25%). En alto impacto, las mayores áreas de dicho cultivos estarían en Santander (276.000 ha / 75%), Meta (266.000 / 92%), Antioquia (253.000 ha / 51%), Cundinamarca (214.000 ha / 69%) y Boyacá (213.000 ha / 54%). Véase la Figura 4.104.

Los departamentos que proporcionalmente irían a resultar con impacto muy alto en los cultivos transitorios son Magdalena, Tolima y Nariño, que podrían resultar impactados en más de 78% de su extensión existente en cada departamento. Los departamentos que podrían verse comprometidos con mayor proporción en alto impacto son: Arauca, Caquetá, Casanare, Chocó y La Guajira con alrededor de 100%; seguidos de Norte de Santander y Sucre con más de 92% con respecto al total de las áreas cartografiadas en cultivos anuales y/o transitorios. Véase la Figura 4.105.

Figura 4.104 Impactos potenciales en las áreas de los cultivos anuales y/o transitorios 2011 a 2040

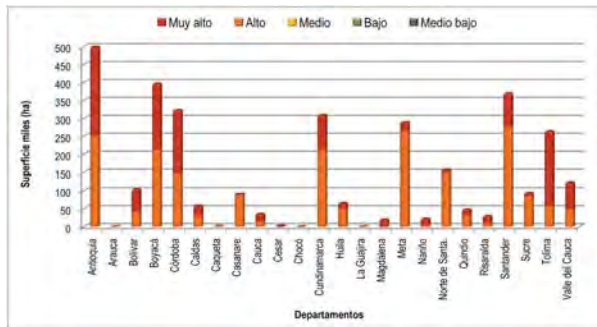
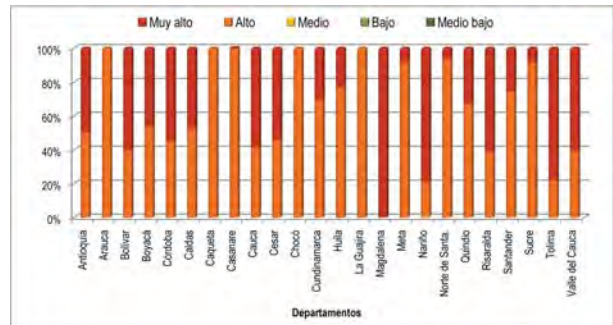


Figura 4.105 Impactos potenciales en las áreas de los cultivos anuales y/o transitorios 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

- Vulnerabilidad

La vulnerabilidad ambiental muy alta estimada para los cultivos anuales y/o transitorios, se encontraría con mayor extensión en los departamentos de Antioquia, Tolima, Córdoba y Boyacá. Ver la Figura 4.106.

Figura 4.106 Vulnerabilidad en las áreas de los cultivos anuales y/o transitorios 2011 a 2040

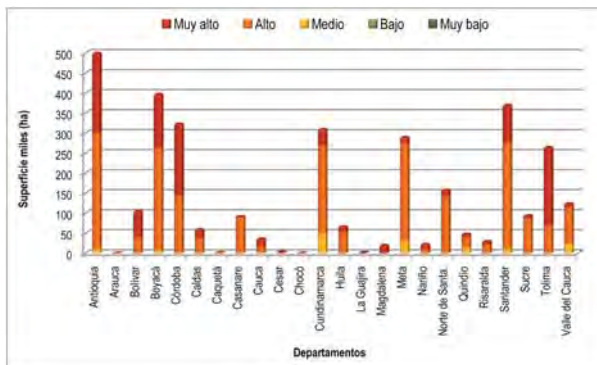
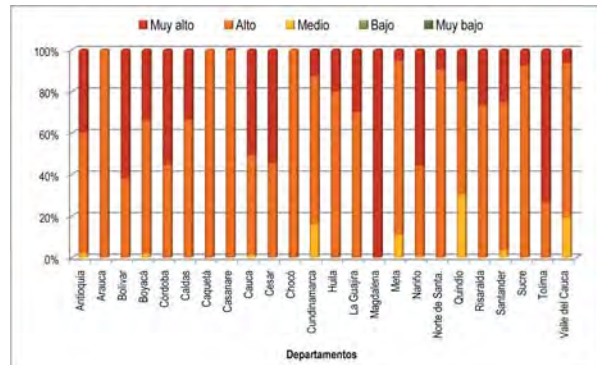


Figura 4.107 Vulnerabilidad en las áreas de los cultivos anuales y/o transitorios 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Proporcionalmente, los departamentos que tendrían muy alta vulnerabilidad para dichas áreas de cultivos serían: Magdalena, Tolima, Bolívar, Nariño, Cesar y Cauca. Véase la Figura 4.107.

4.8.8.2 Impactos potenciales 2071 a 2100

En referencia a la variación de los impactos potenciales muy altos que se tendrían para finales de siglo en las áreas que para el presente se mapearon en cultivos anuales y/o transitorios, la mayoría de los departamentos de la región Andina tendría una disminución de la superficie comprometida se destacan: Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca. En sentido contrario, se tendría un aumento del área en dicha categoría en los departamentos que tienen menos área montañosa cultivada como: Bolívar, Córdoba, Cesar, Meta, Norte de Santander, Santander y Sucre. Véanse las figuras 4.104 y 4.108.

En relación con el área presente de cultivos anuales y/o transitorios por departamento para el impacto muy alto (Ma), las reducciones más representativas estarían en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Nariño, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca; mientras los aumentos se tendrían de Arauca, Bolívar, Meta, Cesar y Sucre. Véanse las figuras 4.105 y 4.109.

Figura 4.108 Impactos potenciales en las áreas de los cultivos anuales y/o transitorios 2071 a 2100

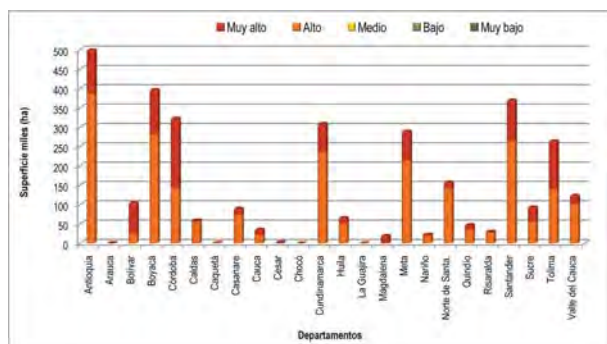
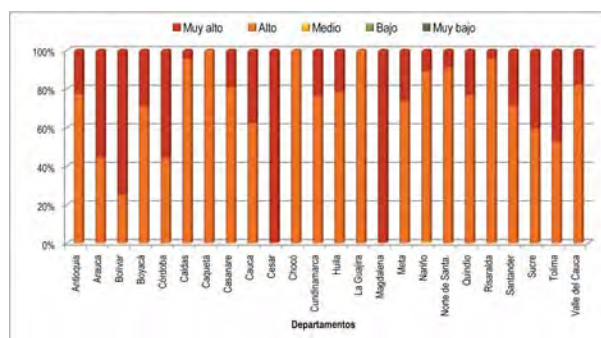


Figura 4.109 Impactos potenciales en las áreas de los cultivos anuales y/o transitorios 2071 a 2100 (%)



Fuente: Ideam-autores

4.8.9 Ejercicio indicativo para algunas áreas con cultivos comerciales

Con base en la información suministrada por CCI (2007⁴⁵) sobre las áreas cultivadas en arroz irrigado de los distritos de riego, palma de aceite y caña de azúcar, a continuación se realiza el análisis de impacto y vulnerabilidad correspondientes. Se reitera que la información de entrada debe ser considerada como un referente indicativo, la cual, en la medida de la exactitud y actualización periódica, permitirá acercarse progresivamente a los valores que se determine para cada condición, servicios o funciones en riesgo.

4.8.9.1 Impactos potenciales y vulnerabilidad arroz con riego 2011 a 2040

- Impacto potencial

Al analizar el impacto potencial que se podría presentar en las áreas donde se encuentran los sistemas de arroz con riego se puede identificar que el departamento de Tolima estaría con la mayor superficie y proporción afectada con muy alto impacto. Véanse las figuras 4.110 y 4.111.

Figura 4.110 Impacto potencial en los cultivos de arroz con riego (ha) 2011 a 2040

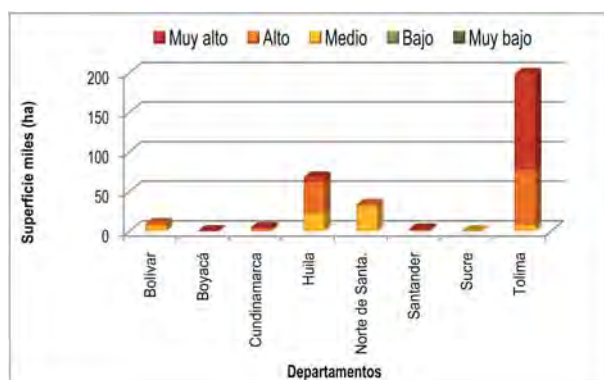
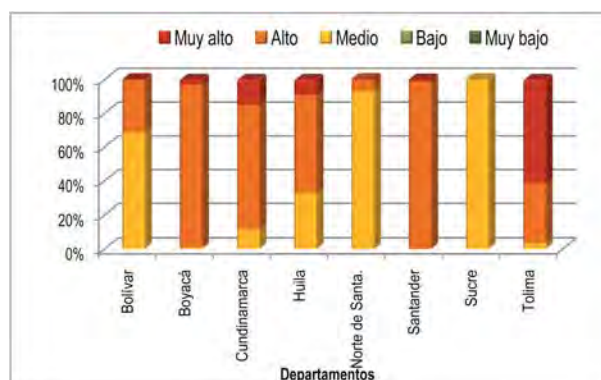


Figura 4.111 Impacto potencial en áreas de cultivos de arroz con riego (%) 2011 a 2040



Fuente: Ideam-autores

En los departamentos de Tolima y Huila se tendría impacto alto, lo cual resultaría significativo tanto en la superficie involucrada como en la proporción respecto al total existente en sus territorios.

- Vulnerabilidad

Con base en el ejercicio para estimar la vulnerabilidad ambiental relativa, se encuentra que en los departamentos de Bolívar y Sucre, a pesar de la poca extensión del cultivo, dada la menor capacidad de adaptación respecto a los demás departamentos, se esperaría una vulnerabilidad alta en gran parte sus territorios. En los departamentos de Tolima y Huila se esperaría una mejor capacidad de adaptación de los municipios donde se encuentran los cultivos, frente los demás departamentos bajo análisis.

Figura 4.112 Vulnerabilidad relativa en los cultivos de arroz con riego (ha) 2011 a 2040

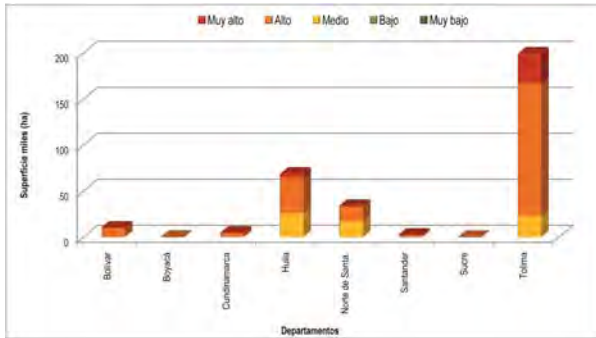
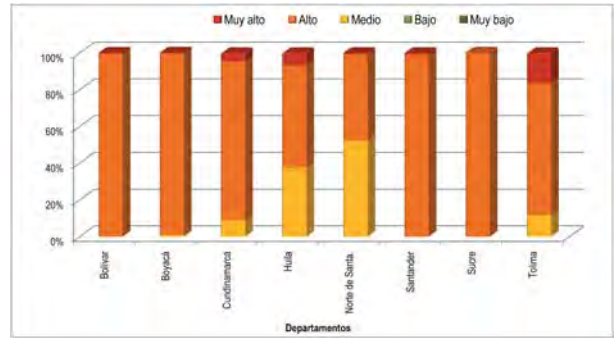


Figura 4.113 Vulnerabilidad relativa en áreas de cultivos de arroz con riego (%) 2011 a 2040



Fuente: Ideam-autores

4.8.9.2 Impactos potenciales en áreas con arroz con riego 2071 a 2100

Para el periodo 2071 a 2100, las áreas de cultivo en el Tolima que se identificaron inicialmente (2011 a 2040) en arroz con riego, tendrían para finales de siglo una menor proporción con muy alto impacto. Se esperaría una situación contraria en los departamentos de Bolívar y Sucre, donde se incrementaría el impacto alto, al igual que Cundinamarca en la categoría de muy alto impacto, a pesar de su baja extensión. Ver la Figura 4.114.

Figura 4.114 Vulnerabilidad relativa en los cultivos de arroz con riego (ha) 2071 a 2100

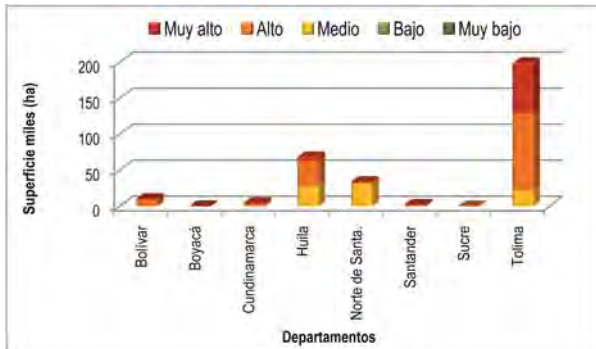
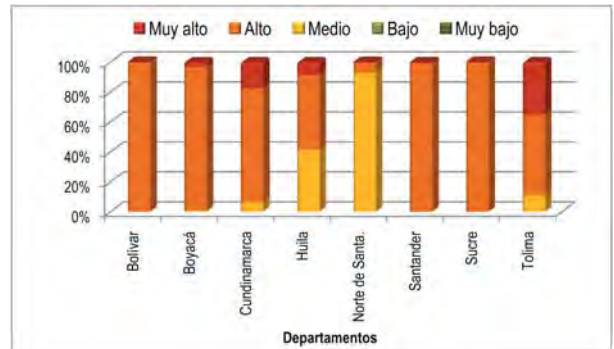


Figura 4.115 Vulnerabilidad relativa en áreas de cultivos de arroz con riego 2071 a 2100 (%)



Fuente: Ideam-autores

4.8.9.3 Impactos potenciales y vulnerabilidad en áreas con cultivo de palma de aceite 2011 a 2040

- Impactos potenciales

Las áreas dedicadas al cultivo de palma de aceite que podrían resultar con impacto alto se identifican en los departamentos de Cesar, Santander, Meta, Bolívar y Magdalena, con más de 9.000 ha en cada uno. Con respecto a la proporción del cultivo frente al total existente en cada territorio que podría resultar con alto impacto sobresalen: Córdoba, Cesar, Bolívar, Santander, al cubrir más de 39% en cada uno de ellos. Véanse las figuras 4.116 y 4.117.

Figura 4.116 Impactos potenciales en las áreas de cultivos de palma de aceite (ha) 2011 a 2040

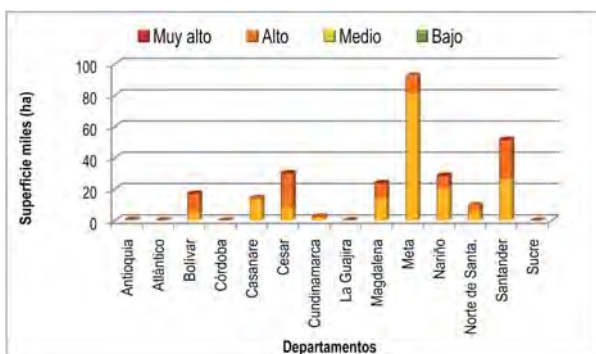
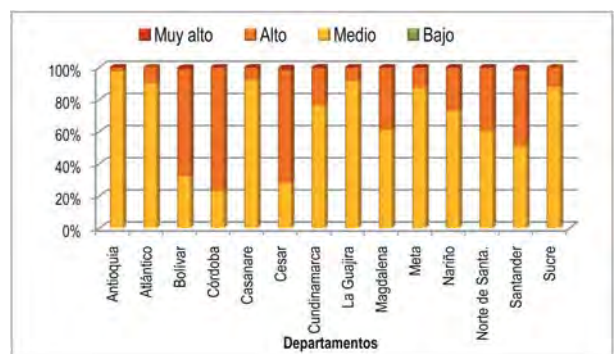


Figura 4.117 Impactos potenciales en las áreas de cultivos de palma de aceite (%) 2011 a 2040



Fuente: Ideam-autores

- Vulnerabilidad

Los departamentos con áreas de palma de aceite (>2.000 ha) en muy alta vulnerabilidad que se identifican son: Magdalena, Cesar y Nariño. Las áreas de palma de aceite en alta vulnerabilidad estarían en los departamentos de Cesar, Bolívar, Santander, Magdalena, Meta y Nariño, con más de 10.000 ha cada uno. Ver la Figura 4.118.

Figura 4.118 Vulnerabilidad relativa en las áreas de cultivo de palma de aceite (ha) 2011 a 2040

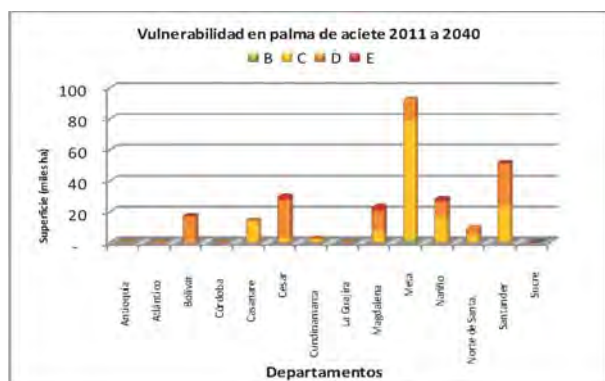
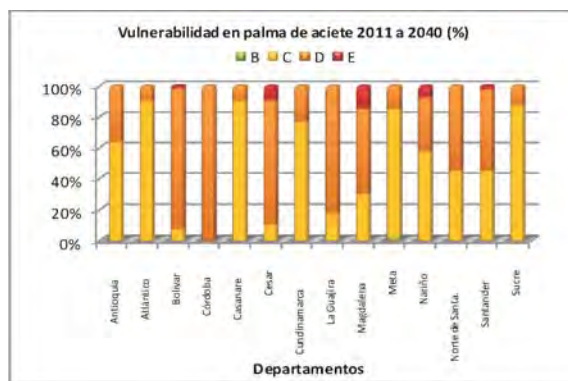


Figura 4.119 Vulnerabilidad relativa en las áreas de cultivo de palma de aceite (%) 2011 a 2040



Fuente: Ideam-autores

Con respecto a la proporción relativa del área de cultivo dentro de cada departamento, en muy alta vulnerabilidad, se destacan Magdalena, Cesar y Nariño; mientras en alta vulnerabilidad se encontrarían Córdoba, Bolívar, La Guajira, Cesar, Norte de Santander y Santander, con más de 50% del área de cultivo presente dentro de cada departamento. Ver la Figura 4.119.

4.8.9.4 Impactos potenciales palma de aceite 2071 a 2100

Las actuales áreas dedicadas al cultivo de palma de aceite, que posiblemente podrían presentar alto impacto potencial para el periodo 2071 a 2100 son: Meta, Santander y Cesar, con más de 25.000 ha en cada departamento. Ver la Figura 4.120.

Figura 4.120 Impactos potenciales en las áreas de cultivos de palma de aceite (ha) 2071 a 2100

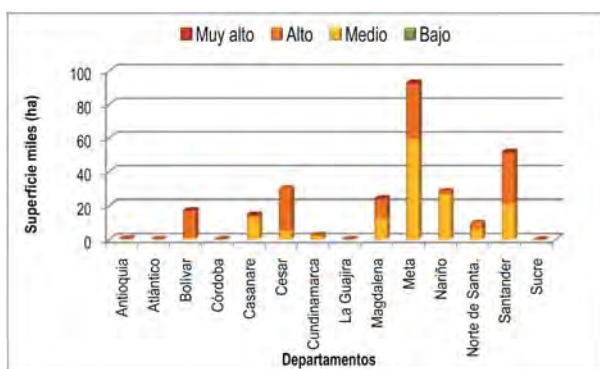
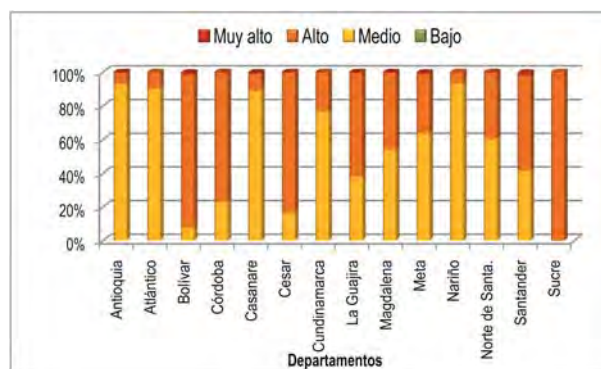


Figura 4.121 Impactos potenciales en las áreas de cultivos de palma de aceite (%) 2071 a 2100



Fuente: Ideam-autores

Sobresalen por el potencial incremento en el área con impacto alto, con respecto al periodo de inicios de siglo, los departamentos de Meta, Santander, Cesar y Bolívar. Ver la Figura 4.121.

4.8.9.5 Impactos potenciales y vulnerabilidad áreas con caña de azúcar 2011 a 2040

- Impactos potenciales

Los departamentos en los que se estima mayor superficie con impacto potencial muy alto en las áreas de cultivo de caña de azúcar son: Valle del Cauca y Cauca. Véase la Figura 4.122.

Figura 4.122 Impactos potenciales en el cultivo de caña de azúcar 2011 a 2040

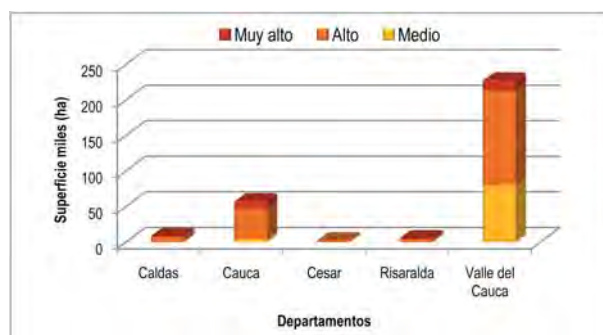
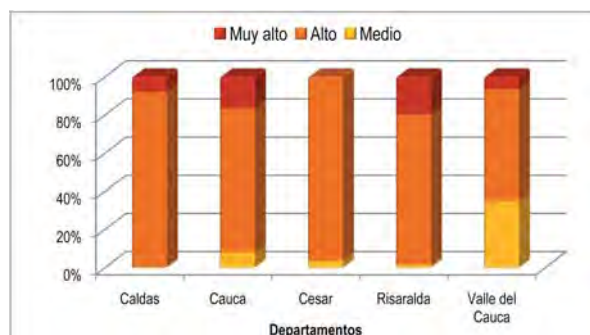


Figura 4.123 Impactos potenciales en el cultivo de caña de azúcar (%) 2011 a 2040



Fuente: Ideam-autores

Proporcionalmente, Risaralda estaría mayormente impactada en la categoría muy alta, seguido de Cauca y Caldas. Véase la Figura 4.123.

- Vulnerabilidad

La estimación de la vulnerabilidad, con base en las capacidades de adaptación territorial, indica que en el departamento de Cauca se tendría la mayor superficie con muy alta vulnerabilidad; véase la Figura 4.124.

Figura 4.124 Vulnerabilidad estimada (ha) en las áreas de cultivo de caña de azúcar 2011 a 2040

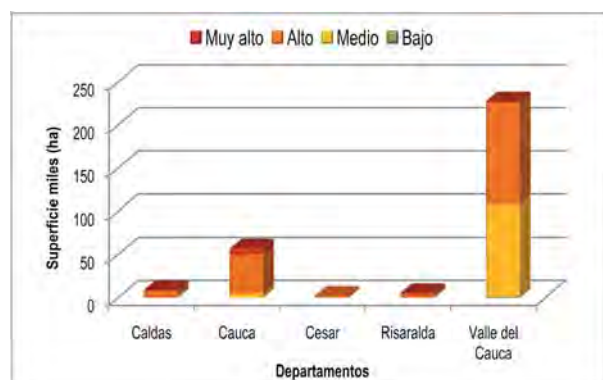
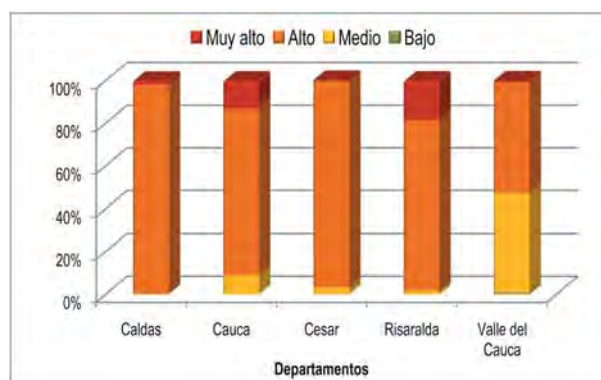


Figura 4.125 Vulnerabilidad estimada (%) en las áreas de cultivo de caña de azúcar 2011 a 2040



Fuente: Ideam-autores

Proporcionalmente, los departamentos de Risaralda y Cauca se destacarían por exponer muy alta vulnerabilidad, con respecto a los otros entes territoriales donde se cultiva la caña de azúcar. Véase la Figura 4.125.

4.8.9.6 Impactos potenciales caña de azúcar 2071 a 2100

A finales de siglo (2071 a 2100), los impactos potenciales en las áreas cultivadas hoy día con caña de azúcar en los departamentos de Valle del Cauca y Cauca, tendrían una menor superficie en la categoría del impacto potencial muy alto; véanse las figuras 4.122 y 4.126. El departamento del Cauca, a pesar de reducir su proporción en la categoría de muy alto impacto, seguiría encabezando la lista frente los demás entes territoriales donde se produce dicho cultivo. Véase la Figura 4.127.

En términos generales, con excepción del departamento de Cesar, el impacto potencial en las áreas donde hoy se cultiva caña de azúcar, hacia finales de siglo tendría menores proporciones respecto a cada departamento en la categoría de impacto potencial muy alto, teniendo en cuenta una reducción en las áreas de dicha categoría.

Figura 4.126 Impactos potenciales en el cultivo de caña de azúcar 2071 a 2100

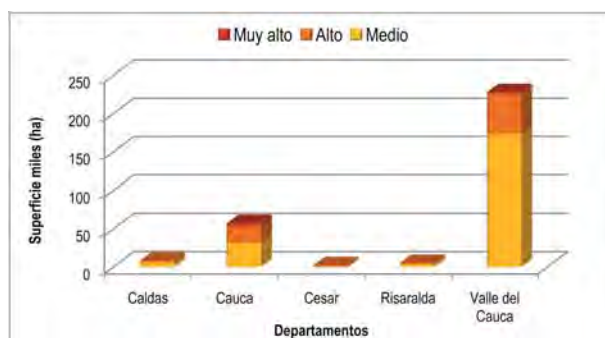
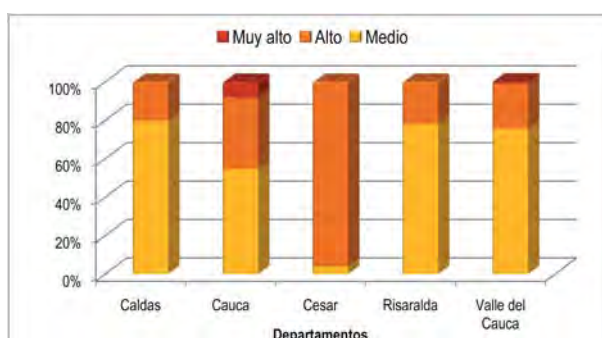


Figura 4.127 Impactos potenciales en el cultivo de caña de azúcar (%) 2071 a 2100



Fuente: Ideam-autores

En las figuras 4.128 y 4.129. Se presenta el cruce de las áreas de cultivo del ejercicio indicativo con la vulnerabilidad ambiental.

Figura 4.128 Vulnerabilidad estimada y áreas de cultivo de café 2011 a 2040

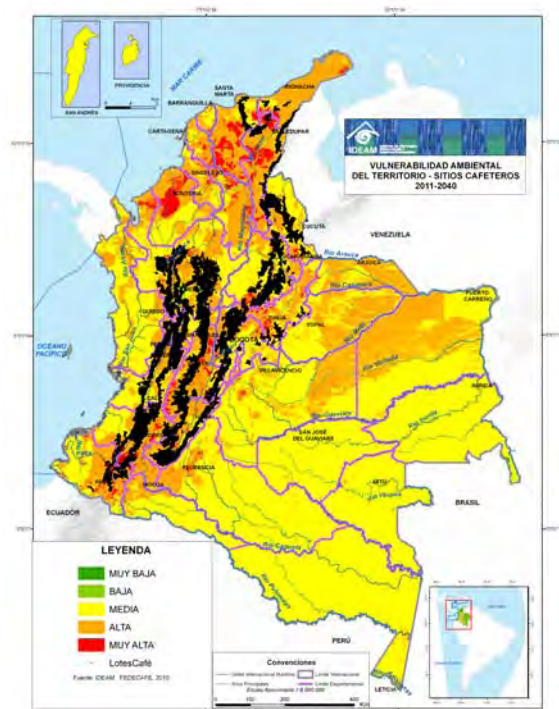
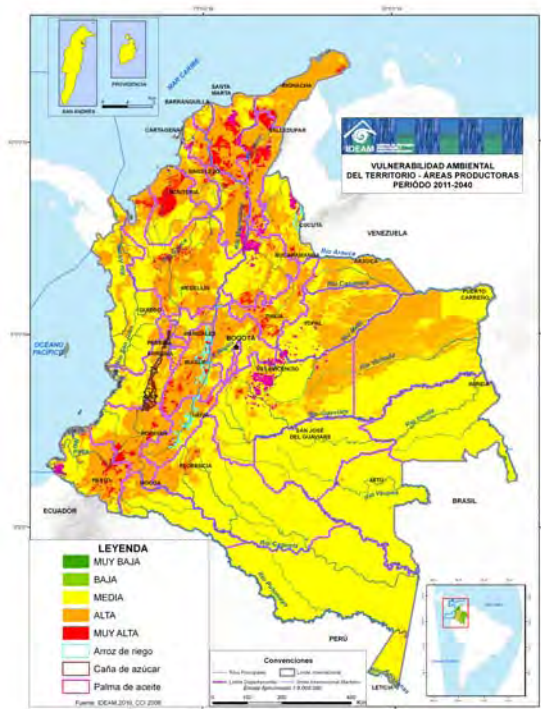


Figura 4.129 Vulnerabilidad estimada y áreas de cultivo de arroz, caña de azúcar y palma de aceite 2011 a 2040



Fuente: Ideam-autores

4.8.10 Áreas en pastos

Con base en la extensión actual de las zonas con pasto en Colombia (Igac & Corpoica, 2003), la ganadería es la actividad que tiene mayor cubrimiento en el territorio nacional, puesto que las coberturas asociadas con esta actividad ocupan alrededor de 36,6% del territorio nacional, de las cuales 25,8% están cubiertas con pastos y 10,8% con sabanas (gramíneas naturales).

Los sistemas ganaderos bovinos dominan en extensión el uso del suelo en el país. En Colombia, se está utilizando para ganadería cerca de 45% del territorio nacional; no obstante, según el estudio de Igac & Corpoica (2003), para este fin tiene vocación sólo 16% de la superficie del país. Las coberturas en pastos comprenden la asociación de pastos, rastrojos, matorrales y relictos de bosques; pastos naturales y/o naturalizados; pastos introducidos manejados; y pastos naturales y los naturalizados con árboles y arbustos.

La actividad ganadera tiene una gran relevancia en las zonas rurales de Colombia, teniendo en cuenta su participación en cerca de 3,6% del PIB Nacional (Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana 2019, en: Fedegan, 2006).

A continuación se presenta el análisis de impactos y vulnerabilidad teniendo en cuenta que las coberturas en pastos se refieren a las especies herbáceas que son usadas para el pastoreo de ganado principalmente, con la presencia o no de árboles, malezas o rastrojos.

4.8.10.1 Impactos potenciales y vulnerabilidad 2011 a 2040

- Impactos potenciales

Las mayores superficies de pastos que recibirían impactos potenciales muy altos se ubican en los departamentos de Cesar (29.000 ha / 3%), La Guajira (27.000 ha / 11%) y Cundinamarca (10.000 ha / 1%). Con alto impacto se tendría a Magdalena (1.039.000 ha / 96%), Cesar (846.000 ha / 84%), Antioquia (822.000 ha / 53%), Córdoba (652.000 ha / 57%), Cauca (579.000 ha / 96%), Bolívar (549.000 ha / 75%) y Cundinamarca (517.000 ha / 69%), principalmente. Ver la Figura 4.130.

Figura 4.130 Impacto potencial en áreas con pasturas 2011 a 2040

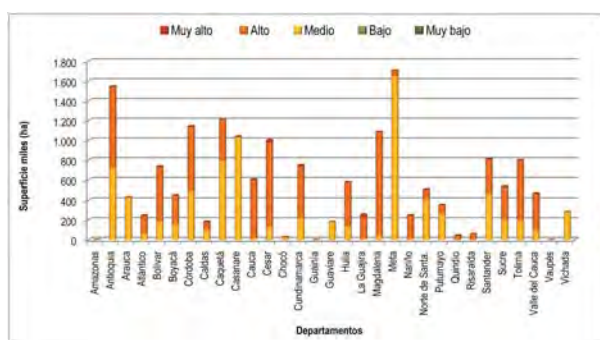
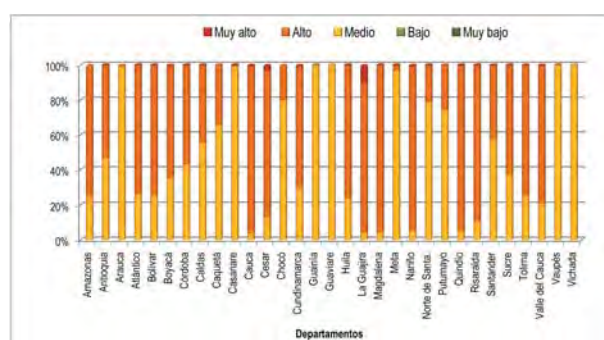


Figura 4.131 Impacto potencial en áreas con pasturas 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Adicionalmente, los departamentos que proporcionalmente resultarían con impacto potencial alto en las pasturas son: Quindío y Nariño. Ver la Figura 4.131. Al considerar de forma unificada los impactos potenciales altos y muy altos, el país se podría ver comprometido en más de 50% de la superficie cartografiada de pastos para el periodo 2011 a 2040.

- Vulnerabilidad

Muy alta (Ma) vulnerabilidad se tendría para las áreas de pasto en los departamentos de Magdalena, Nariño, Cesar, Córdoba y Cauca. La vulnerabilidad alta se presentaría con mayor extensión en Antioquia, Cesar, Magdalena, Tolima y Córdoba. Ver la Figura 4.132.

Figura 4.132 Vulnerabilidad en áreas con pasturas 2011 a 2040

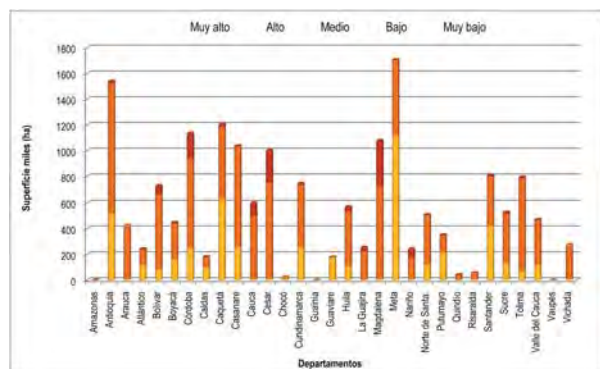
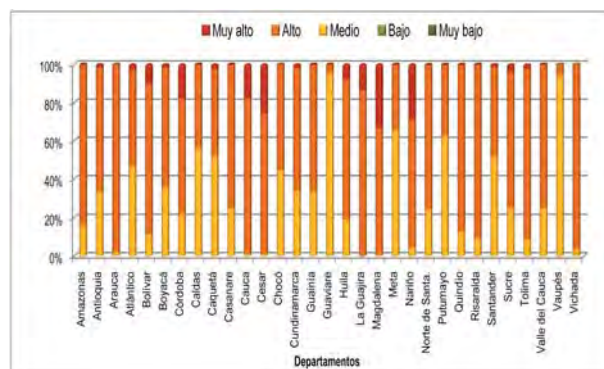


Figura 4.133 Vulnerabilidad en áreas con pasturas 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

La vulnerabilidad muy alta en mayor relación con respecto al total en cada departamento podría ocurrir en Magdalena, Nariño, Cesar, Cauca, Córdoba, La Guajira, Bolívar y Huila. En similar sentido, el porcentaje que se afectaría con vulnerabilidad alta estaría en los departamentos de Arauca, Vichada, Risaralda, Tolima, La Guajira, Quindío, Amazonas y Cauca. Véase la Figura 4.133.

4.8.10.2 Impactos potenciales 2071 a 2100

Con respecto a las áreas que en el presente se cartografiaron en pastos dentro de impacto alto, para el final de siglo se prevé posiblemente, un aumento en superficie en relación con las áreas inicialmente identificadas (2011 a 2040) en el piedemonte llanero, costa Atlántica, Santanderes y Boyacá, principalmente. Se destacan, igualmente, los departamentos de Arauca, Atlántico, Bolívar, Córdoba, Caquetá, Casanare, La Guajira, Meta, Putumayo y Sucre. En sentido contrario, las regiones que sobresalen por una posible reducción en la superficie con impactos potenciales altos hacia finales de siglo son: región Andina, alto Magdalena y alto Cauca, especialmente en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca, Huila, Nariño, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca. Los demás entes territoriales se mantienen en cifras similares de impacto potencialmente alto. Véanse las figuras 4.130 y 4.134.

Figura 4.134 Impactos potenciales en áreas con pasturas 2071 a 2100

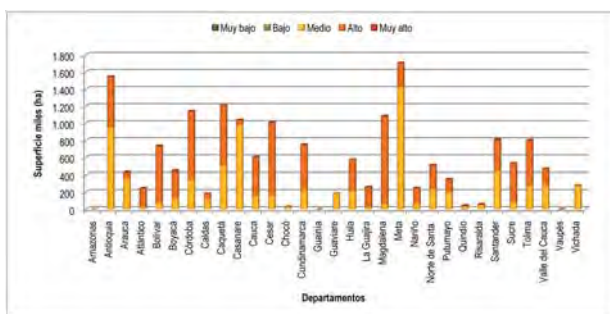
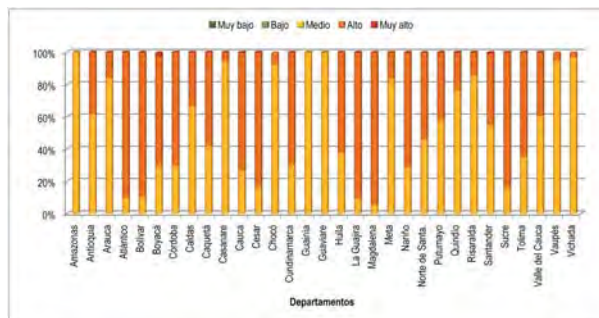


Figura 4.135 Impactos potenciales en áreas con pasturas 2071 a 2100 (%)



Fuente: Ideam-autores

Al comparar el porcentaje de pasturas existentes en cada territorio entre los dos periodos (inicio y finales de siglo) se tendría que los departamentos que muestran una mayor variación hacia el incremento del impacto alto son: Atlántico, Bolívar, Caquetá, Meta y Norte de Santander. Véanse las figuras 4.131 y 4.135.

4.8.11 Resguardos indígenas

Los grupos indígenas tienen representación en todas las regiones naturales del país; sin embargo, la mayor extensión de los resguardos indígenas se encuentra en las regiones de la Orinoquia y Amazonia.

4.8.11.1 Impactos potenciales y vulnerabilidad 2011 a 2040

- Impactos potenciales

El departamento que tendría mayor extensión con muy alto impacto potencial sobre las áreas de resguardo indígena corresponde a Cesar (27.000 ha), seguido de La Guajira (11.000 ha). Las áreas con alto impacto potencial se localizarían en La Guajira (960.000 ha), Cauca (67.000 ha) y Boyacá (65.000 ha). Véase la Figura 4.136.

Figura 4.136 Impacto potencial en las áreas de resguardos indígenas 2011 a 2040

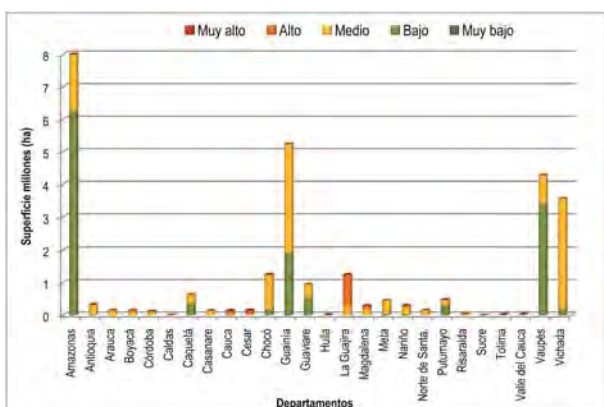
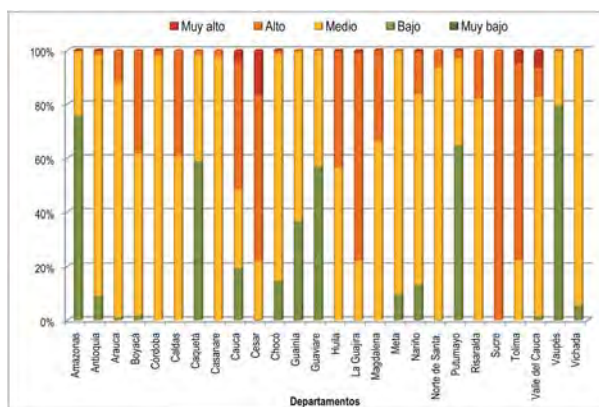


Figura 4.137 Impacto potencial en las áreas de resguardos indígenas 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Los departamentos que tendrían muy alto impacto potencial con respecto al total de territorios indígenas en cada departamento son: Cesar (16%), Valle del Cauca (6%), Tolima (4%) y Cauca (4%). El impacto potencial alto estaría con mayor proporción en los departamentos de Sucre (100%) La Guajira (77%), Tolima (73%) y Cesar (61%). Ver la Figura 4.137.

- Vulnerabilidad

La vulnerabilidad muy alta estimada para el periodo 2011 a 2040, se encuentra en mayor extensión en los departamentos de La Guajira y Magdalena. Con alta vulnerabilidad, sobresalen: La Guajira, Vichada, Chocó, Meta y Nariño. Ver figura 4.138.

Figura 4.138 Vulnerabilidad en las áreas de resguardos indígenas 2011 a 2040

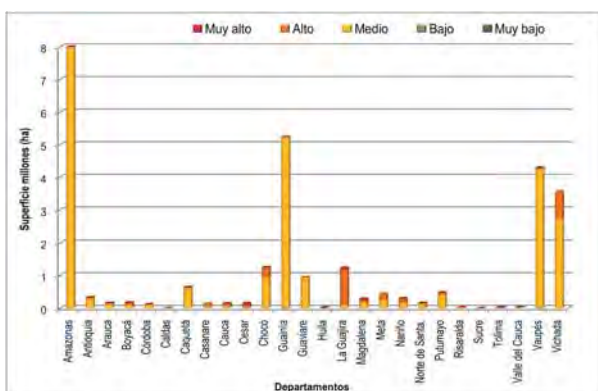
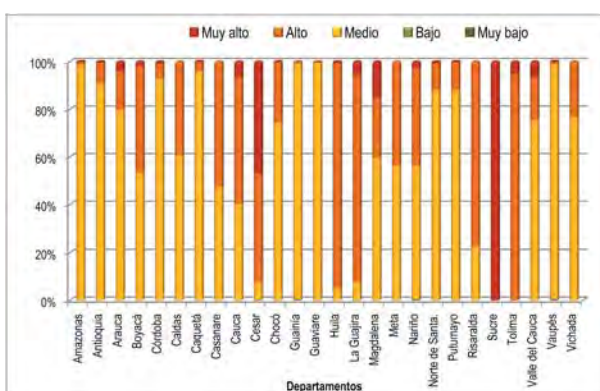


Figura 4.139 Vulnerabilidad en las áreas de resguardos indígenas 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Proporcionalmente, la vulnerabilidad ambiental muy alta en las áreas de resguardo indígena para el periodo 2011 a 2040 se tendría en los departamentos de Sucre, Cesar y Magdalena; seguirían en la categoría de alta vulnerabilidad, los departamentos de Huila, Tolima, La Guajira y Risaralda. Ver figura 4.139.

4.8.11.2 Impactos potenciales 2071 a 2100

Las áreas con impacto potencial muy alto con mayor incremento para el periodo 2071 a 2100, con respecto al identificado para el primer periodo (2011 a 2040) se localizan en los departamentos de Amazonas, Vichada, Vaupés, Caquetá y Putumayo. En el departamento del Vaupés se tendría un cambio significativo en la categoría moderada, la cual se incrementaría significativamente para finales de siglo. Véanse las figuras 4.136 y 4.140.

Figura 4.140 Impacto potencial en las áreas de resguardos indígenas 2071 a 2100

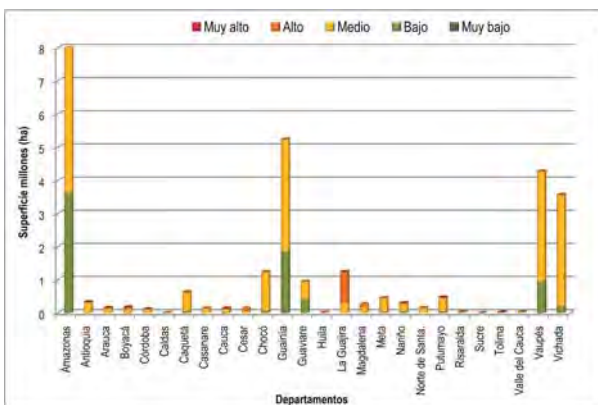
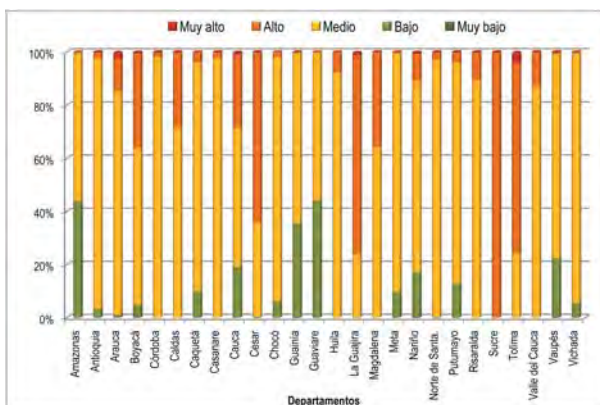


Figura 4.141 Impacto potencial en las áreas de resguardos indígenas 2071 a 2100 (%)



Fuente: Ideam-autores

Los impactos potenciales muy altos para el periodo 2071 a 2100, que se espera reduzcan en su categoría o severidad (con respecto al primer periodo) estarían en los departamentos de Cesar, Valle del Cauca y Cauca.

4.8.12 Minifundio campesino

La agricultura campesina se compone de sistemas que funcionan en condiciones difíciles para la producción como resultado del modelo de desarrollo impuesto. Implementan una variedad de estrategias con arreglos productivos de diversa índole y, en algunos casos, producen con asociación de cultivos o con rotación de cultivos uniformes y actividades pecuarias, o con sistemas mixtos y rotatorios, donde sus productos responden en distinto nivel a las exigencias de autoconsumo, quedando diferentes niveles de excedentes para atender mercados locales y regionales.

En las zonas rurales, donde se presenta el mayor coeficiente de desigualdad y la mayor cantidad de población por debajo de la línea de pobreza e indigente, la concentración de la riqueza está asociada con la tenencia de la tierra, definida como el acceso y la seguridad de derechos a la tierra y a los otros recursos naturales, junto con la disponibilidad de medios de producción y recursos económicos. Quienes hacen parte de las agriculturas campesinas son propietarios de pequeñas áreas o arrendatarios, aparceros, colonos o pequeños campesinos (Ideam-Moreno,2009).

Del total de la producción agrícola nacional, 63% es producción campesina, con alimentos a bajo costo que se incrementan en las cadenas de intermediación. Según Forero (2002), los colombianos deberían tener sembradas 17 millones de hectáreas en alimentos para seres humanos y sólo se tienen cinco millones sembradas para ese propósito⁴⁶, y más de 50% de la población colombiana se encuentra en niveles de inseguridad alimentaria.

4.8.12.1 Impacto potencial y vulnerabilidad 2011 a 2040

- Impacto potencial

Las mayores áreas que tendrían impacto potencial muy alto en los minifundios campesinos se ubicarían en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Bolívar, Nariño y Santander, cada uno de ellos con más de 28.000 ha. En la categoría de alto impacto potencial se encuentran: Boyacá, Antioquia, Nariño, Bolívar, Cauca, Santander y Cundinamarca, presentando de manera individual más de 230.000 ha. Véase la Figura 4.142.

Figura 4.142 Impacto potencial en los minifundios campesinos (ha) 2011 a 2040

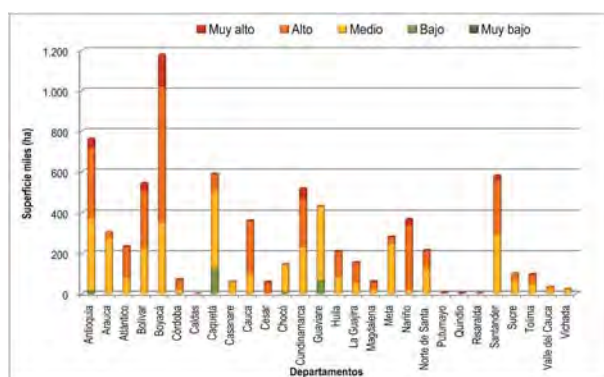
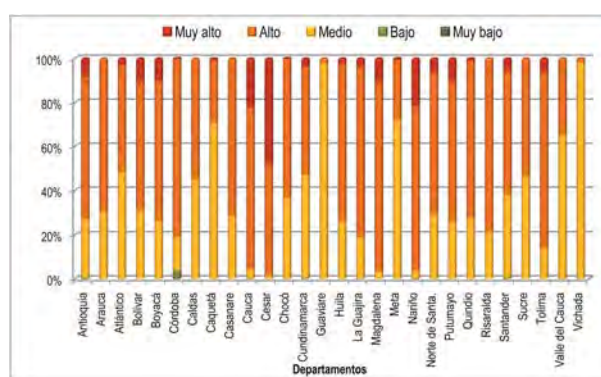


Figura 4.143 Impacto potencial en los minifundios campesinos (%) 2011 a 2040



Fuente: Ideam-autores

Los departamentos donde se encontraría la mayor relación de área de minifundio con muy alto impacto potencial son: Boyacá, Cesar, Cundinamarca, Magdalena y Nariño, con más de 7% de sus minifundios (con respecto al total departamental) afectados en esta categoría. Ver la Figura 4.143.

Asimismo, los minifundios con alto impacto potencial estarían en los departamentos de Nariño, Cesar, Risaralda, Quindío, Cauca, Atlántico y La Guajira, con un cubrimiento de más de 60% de los minifundios presentes por departamento.

- Vulnerabilidad

Al analizar los resultados obtenidos de la vulnerabilidad de la economía campesina, se puede observar el incremento en la vulnerabilidad muy alta, con respecto al impacto potencial identificado (dado que el total permanece constante), especialmente en los departamentos de Nariño, Cauca y Cesar. Véanse la figuras 4.144 y 4.145.

Figura 4.144 Vulnerabilidad en los minifundios campesinos (ha) 2011 a 2040

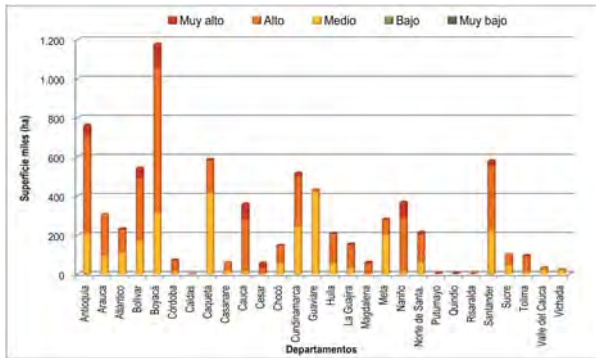
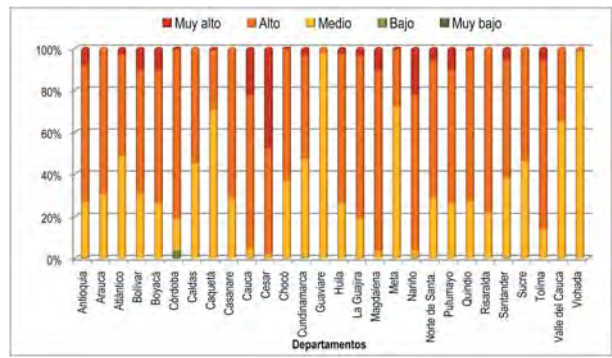


Figura 4.145 Vulnerabilidad en los minifundios campesinos (%) 2011 a 2040



Fuente: Ideam-autores

De la figura que muestra la vulnerabilidad porcentual se podría mencionar la mayor debilidad o menor capacidad de adaptación (relativa) de los municipios que se encuentran en los departamentos de Cesar, Cauca y Nariño, con respecto a los demás departamentos. Lo anterior teniendo en cuenta que la capacidad de adaptación esté fuertemente influida por el índice Sisben III, utilizado para expresar la capacidad socioeconómica e institucional. Véase la metodología expuesta en el numeral 4.7 de este documento.

Si se tienen en cuenta el desequilibrio en las formas de producción agrícola, es muy posible que se presente, hacia el futuro, un aumento de los efectos negativos por el cambio climático. Esto se desprende en parte de la competencia desigual conformada por la agricultura comercial, la agroindustria que concentra grandes propietarios y los monocultivos intensivos, frente a la agricultura campesina, la cual tiene menor capacidad de adaptación.

4.8.12.2 Impactos potenciales 2071 a 2100

En el evento de mantenerse las áreas de minifundio en las mismas condiciones hacia finales de siglo se encuentra que los departamentos de Cesar, Antioquia, Cundinamarca y Nariño reducirían sus proporciones expuestas en muy alto impacto potencial. Contrario con el comportamiento anterior, los departamentos de Bolívar, Magdalena, Boyacá y Santander tendrían posiblemente un aumento en dicha categoría. Véanse las figuras 4.146 y 4.147.

Figura 4.146 Impactos potenciales en los minifundios campesinos 2071 a 2100

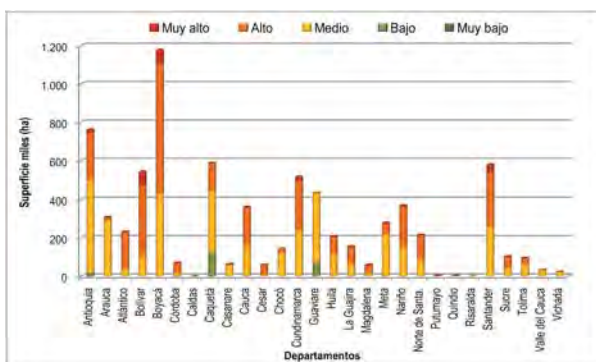
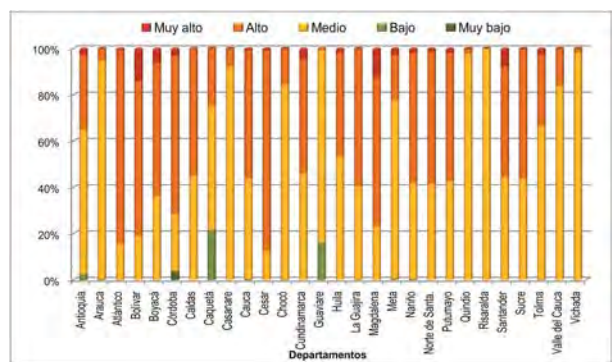


Figura 4.147 Impactos potenciales en los minifundios campesinos 2071 a 2100 (%)



Fuente: Ideam, 2010

Con respecto al impacto potencial acumulado en las categorías de muy alto impacto y alto impacto, se encuentra un cubrimiento de alrededor de 47% del total de las áreas de economía campesina del país, el cual se mantiene en similar cantidad para finales de siglo.

Es procedente mencionar que si bien se tiene una mayor confianza en los resultados en el plazo más corto (2011 a 2040), es necesario advertir del proceso de deterioro que se podría esperar en el primer periodo analizado, lo cual generaría procesos degradacionales que difícilmente se corregirían o rehabilitarían en el recurso suelo.

En términos generales, la agricultura campesina de subsistencia es y estará más vulnerable y a su vez será la más afectada por el cambio climático. Esto se sustenta en el atraso de sus capacidades, tecnologías, herramientas y

mercados que le permitan aprovechar las oportunidades, además de la poca disponibilidad de tierras y recursos de inversión. Tales condiciones no les permitirían minimizar o enfrentar con solvencia los efectos adversos del cambio climático. Caso contrario ocurre con la agricultura tecnificada, que tendrá más facilidades de adaptarse al cambio climático, porque cuenta con mejores y mayores recursos de capital, tierras y tecnología. Una de las fortalezas competitivas del pequeño agricultor estaría en el conocimiento tradicional sobre su entorno, lo cual tendría que ser aprovechado en función de sus proyectos de vida y condiciones socioeconómicas y culturales.

4.8.13 Cuerpos de aguas continentales naturales

Los cuerpos de aguas continentales incluyen cualquier área que esté cubierta por agua permanentemente o en lapsos temporales y corresponde a los ríos, lagunas, lagos o zonas inundadas. Adicionalmente, dentro de los cuerpos de aguas continentales naturales se incluye la hidrofítia continental, la cual corresponde a los ecosistemas acuáticos en la parte emergida o con cinturones de vegetación acuática, que contiene vegetación herbácea de áreas húmedas continentales, zonas pantanosas, bofedales, turberas, esteros, taruya, juncales y demás vegetación acuática asociada con cuerpos de aguas, según la clasificación cartográfica realizada por Ideam et al., (2007, p. 109).

4.8.13.1 Impactos potenciales y vulnerabilidad 2011 a 2040

- Impactos potenciales

Las áreas clasificadas como cuerpos de aguas continentales que tendrían muy alto impacto potencial para el periodo 2011 a 2040, estarían principalmente en los departamentos de Bolívar (72.000 ha / 16%), Magdalena (67.000 ha / 53%), Cesar (37.000 ha / 69%), Santander (15.000 ha / 22%), Tolima (12.000 / 64%) y Amazonas (12.000 ha / 8%). Con impacto alto, las mayores superficies estarían en Bolívar (221.000 ha / 50%), Meta (113.000 ha / 87%), Casanare (110.000 ha / 83%), Vichada (101.000 ha / 69%), Amazonas (77.000 ha / 51%) y Arauca (70.000 ha / 51%). Véase la Figura 4.148.

Figura 4.148 Impacto potencial en áreas de aguas continentales naturales 2011 a 2040

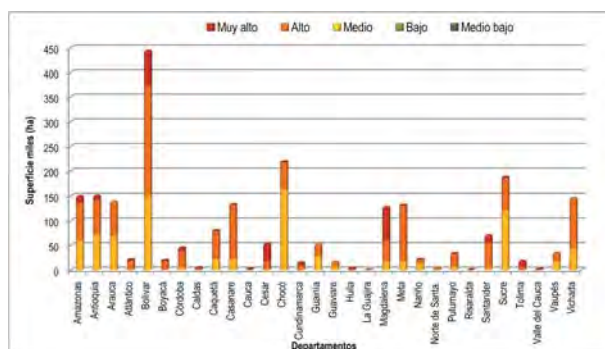
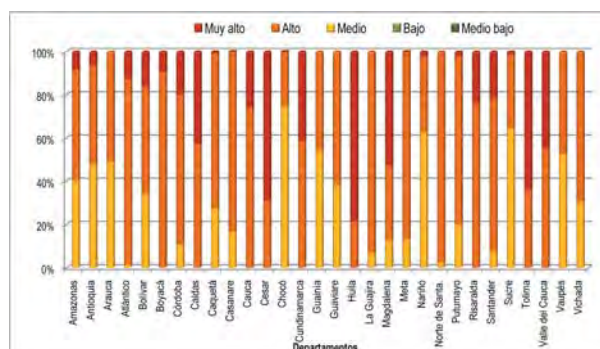


Figura 4.149 Impacto potencial en áreas de aguas continentales naturales 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Es notoria la superficie con impacto potencial muy alto que se presentaría en gran parte de los cuerpos de aguas naturales de los departamentos de Huila (79%), la cual, a pesar de no tener una gran extensión comprometida, su porcentaje es significativo, con respecto al total existente dentro del departamento. Véase la Figura 4.149. Con alto impacto potencial se encontraría una mayor participación territorial en los departamentos de Norte de Santander (98%), Boyacá (91%), Putumayo (78%), Risaralda (75%), Cauca (74%) y Santander (70%), al referirse a la cavidad superficial existente hoy día de los cuerpos de aguas en cada ente territorial.

De forma agregada, los impactos muy alto y alto en el país, que se esperarían con respecto a la superficie cartografiada, alcanzarían más de 63% para el periodo 2011 a 2040.

- Vulnerabilidad

Las mayores superficies de aguas continentales naturales con vulnerabilidad muy alta se tendrían principalmente en los departamentos de Bolívar, Magdalena, Cesar, Santander, Amazonas, Antioquia y Tolima. Alta vulnerabilidad se esperaría en Bolívar, Chocó, Vichada, Amazonas, Antioquia, Casanare, Arauca y Meta. Véanse las figuras 4.150 y 4.151.

Figura 4.150 Vulnerabilidad en áreas de aguas continentales naturales 2011 a 2040

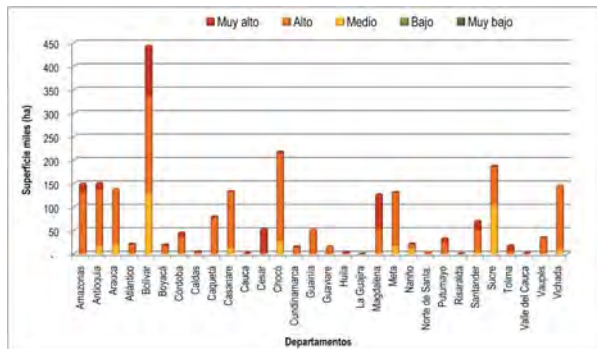
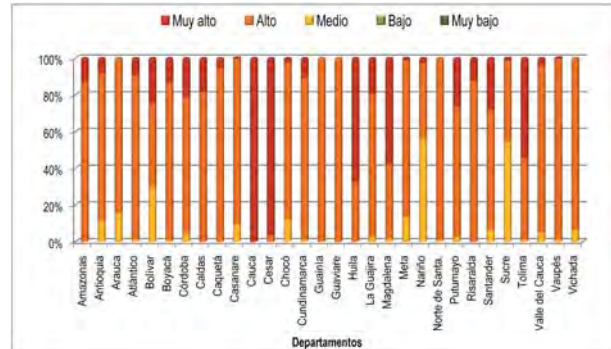


Figura 4.151 Vulnerabilidad en áreas de aguas continentales naturales 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Las aguas continentales naturales con mayor porcentaje en muy alta vulnerabilidad para el periodo inicial estarían en los departamentos de Cauca, Cesar, Huila, Magdalena y Tolima, principalmente. Ver la Figura 4.142.

- Impactos potenciales 2071 a 2100

Las superficies comprometidas con mayor incremento en los impactos potenciales muy altos (Ma) a finales de siglo en las áreas de aguas continentales naturales que se podrían tener con respecto al periodo inicial, se localizan principalmente en los departamentos de Atlántico, Bolívar, Boyacá, Córdoba, Magdalena, Meta y Sucre, principalmente. Una posible disminución se podría estar presentando en Amazonas, Antioquia y Cundinamarca. Las áreas que aumentarían con impactos altos (A) se podrían encontrar en Amazonas, Antioquia, Bolívar, Caquetá, Chocó y Vaupés. En sentido contrario, se podrían esperar reducciones en el impacto alto en Arauca y Atlántico. Véanse las figuras 4.148 y 4.152.

Figura 4.152 Impacto potencial en áreas de aguas continentales naturales 2071 a 2100

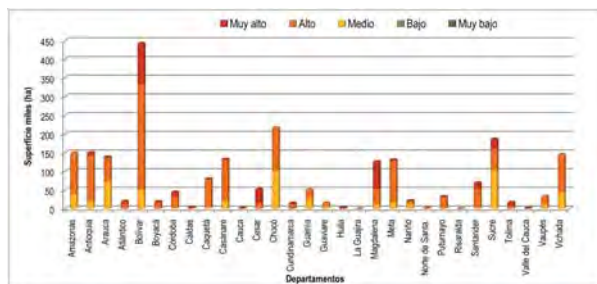
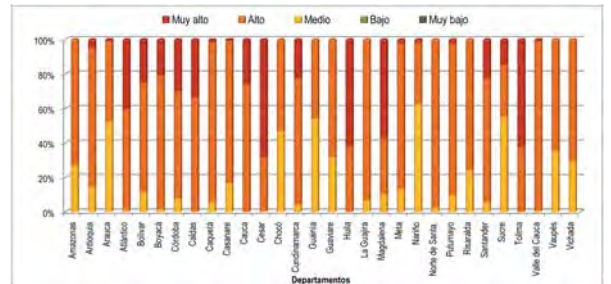


Figura 4.153 Impacto potencial en áreas de aguas continentales naturales 2071 a 2100 (%)



Fuente: Ideam-autores

Proporcionalmente, se tendría los mayores incrementos de muy alta vulnerabilidad en los departamentos de Atlántico y Bolívar, principalmente. Véase la Figura 4.153.

En términos generales, si se tiene en cuenta que la rapidez de descomposición de la materia orgánica aumenta con la temperatura, se podría ver acortando el periodo durante el cual los invertebrados acuáticos disponen de detritus. Asimismo, se inducirían cambios significativos en los ambientes hídricos (lénticos principalmente) que tendrían un incremento en la temperatura por el ascenso de las especies foráneas invasivas. Estas especies introducidas representan un gran desafío para la biodiversidad autóctona de los ecosistemas acuáticos; ello tendería a facilitar hacia las partes más altas, el ámbito geográfico de numerosas plantas acuáticas invasivas de los géneros Eichhornia o Salvinia, en forma similar con lo presentado por el IPCC (2008c, p. 58)

En resumen, los efectos del calentamiento sobre los sistemas ribereños podrían ser más intensos en las regiones húmedas, donde los caudales son menos variables y las interacciones biológicas controlan la abundancia de organismos. Adicionalmente, el cambio climático tendrá efectos más pronunciados en los humedales interiores de agua dulce, debido a la alteración de la precipitación y a perturbaciones más frecuentes o intensas (sequías, tempestades, inundaciones). Aumentos relativamente pequeños de la variabilidad de precipitación pueden afectar en gran medida a la flora y fauna de los humedales en diferentes etapas de su ciclo vital (Keddy, 2000, citado por IPCC, 2008c, p. 58).

4.8.14 Aguas continentales artificiales

Las superficies de aguas continentales artificiales se componen de los volúmenes hídricos retenidos con estructuras hidráulicas, bien sean clasificados como embalses, represas o reservorios.

4.8.14.1 Impactos potenciales y vulnerabilidad 2011 a 2040

- Impactos potenciales

La mayor superficie de reservorios de agua con alto impacto potencial estaría principalmente en los departamentos de Antioquia (15.900 ha), Huila (6.700 ha), Cauca (6.300 ha), Córdoba (3.600 ha) y Cundinamarca (2.400 ha). Ver la Figura 4.154.

Figura 4.154 Impacto potencial en las aguas continentales artificiales 2011 a 2040

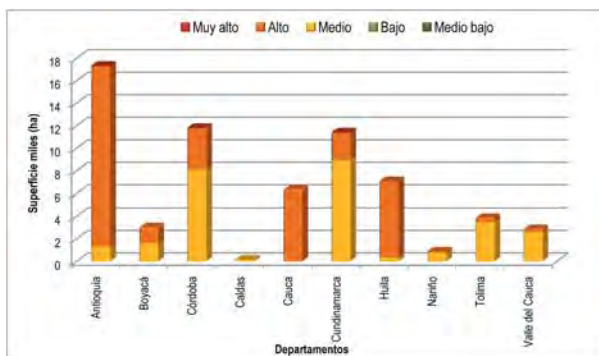
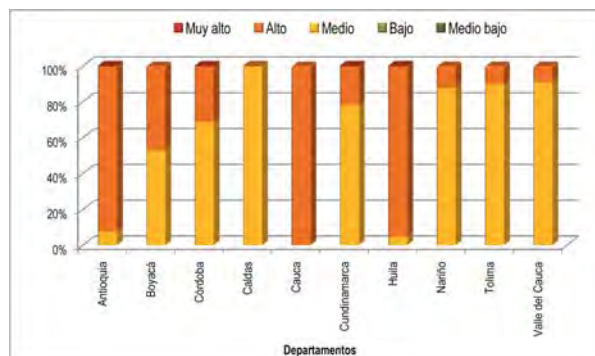


Figura 4.155 Impacto potencial en las aguas continentales artificiales 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Es evidente el alto impacto con respecto al total del área de su territorio en Cauca, Huila, Antioquia y Boyacá, tal como se observa en la Figura 4.155.

En términos generales y de forma agregada, las aguas continentales artificiales podrían estar entre alta y muy altamente impactadas en más de 95% de la superficie cartografiada para el primer periodo de análisis.

- Vulnerabilidad

La vulnerabilidad relativa estimada para las áreas donde se encuentran los cuerpos de aguas artificiales se muestra en las siguientes figuras, donde se destaca la muy alta vulnerabilidad localizada para el departamento de Córdoba. Ver la Figura 4.156.

Figura 4.156 Vulnerabilidad en áreas de aguas continentales naturales 2071 a 2100

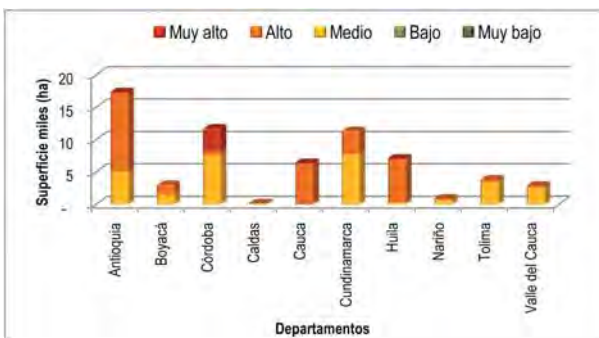
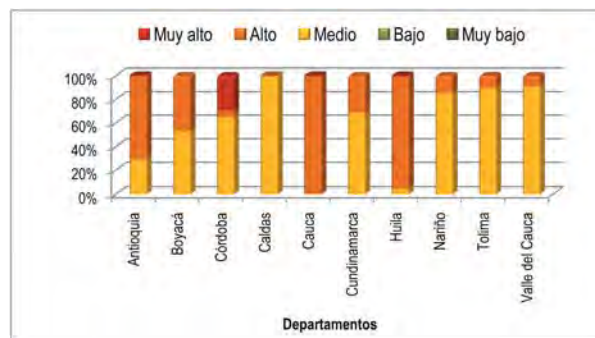


Figura 4.157 Vulnerabilidad en áreas de aguas continentales naturales 2071 a 2100 (%)



Fuente: Ideam-autores

La mayor proporción del departamento de Córdoba que estaría con muy alta vulnerabilidad, es notoria en la Figura 4.157.

4.8.14.2 Impactos potenciales 2071 a 2100

Hacia finales del siglo XXI, las superficies de los cuerpos de aguas artificiales inicialmente categorizadas con alto impacto potencial para el periodo 2011 a 2040, se podrían ver reducidas en la extensión comprometida, principalmente en los departamentos de Antioquia, Cauca, Cundinamarca y Huila; mientras se incrementarían en Boyacá y Tolima. Véanse las figuras 4.154 y 4.158.

Figura 4.158 Impacto potencial en las aguas continentales artificiales 2071 a 2100

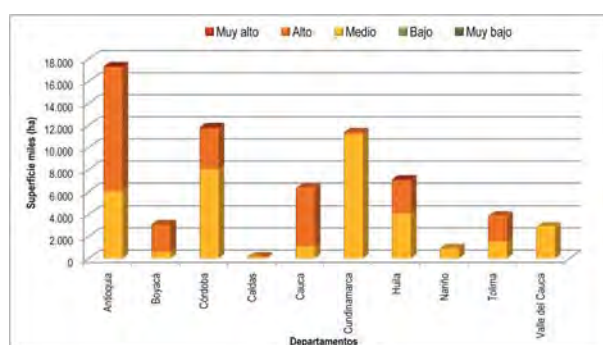
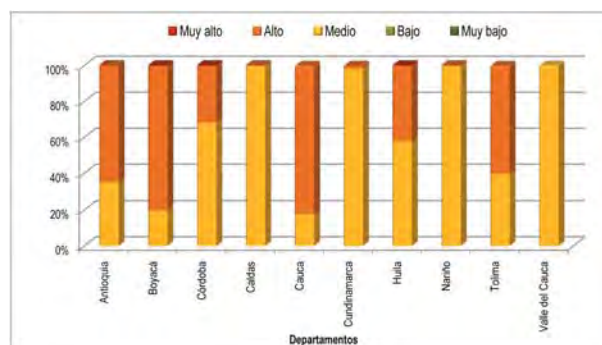


Figura 4.159 Impacto potencial en las aguas continentales artificiales 2071 a 2100 (%)



Fuente: Ideam-autores

Un comportamiento similar, tal como se destacó para la superficie, se presentaría para el área porcentual respecto a la superficie cartografiada por departamento. Véanse las figuras 4.155 y 4.159.

4.8.15 Áreas con infraestructura para generación hidroeléctrica

Con base en la información allegada por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME⁴⁷) y el cruce con los productos obtenidos por el Ideam de las áreas identificadas con la clasificación de impactos potenciales, se presenta a continuación el análisis realizado. Se reitera el enfoque indicativo del impacto potencial que se obtiene, razón por lo cual es necesario abordar de forma relativa la clasificación obtenida, la cual depende tanto de las condiciones propias del ensamble multimodelo de precipitación como de la metodología explicada para obtener los diferentes resultados.

Teniendo en cuenta que la vulnerabilidad de la infraestructura para generación hidroeléctrica estaría fuertemente controlada o dependiente de los operadores y no de la capacidad de adaptación adoptada dentro del ejercicio adelantado, se presentan los posibles impactos potenciales para los dos periodos.

Adicionalmente, la presentación del análisis involucra la condición para las unidades hidroeléctricas que se encuentra actualmente en operación y los proyectos que se tienen a futuro.

4.8.15.1 Impactos potenciales 2011 a 2040

- Proyectos en operación

El impacto potencial alto que se tendría en el número de unidades hidroeléctricas que están hoy día en operación, estaría en mayor cantidad ubicado en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Cauca y Caldas. Ver la Figura 4.160.

El impacto potencial muy alto que se podría presentar en el número de unidades para el periodo 2011 a 2040, estaría en el departamento de Huila, representado con una unidad; véase la Figura 4.160.

El impacto potencial que se podría tener en la capacidad de generación hidroeléctrica para el periodo 2011 a 2040 se muestra en la Figura 4.161. Se destaca el alto (37%) y muy alto impacto (6%) que se podría llegar a tener en la capacidad de generación hidroeléctrica (efectiva neta) en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca, Cundinamarca, Huila y Nariño, lo cual de manera relativa, alcanzaría alrededor del 43% sobre el total existente.

47 Mapa de Plantas Hidroeléctricas, a partir de la digitalización realizada por la UPME, con base en la información de los agentes.

Figura 4.160 Impacto potencial en el número de unidades para generación hidroeléctrica 2011 a 2040

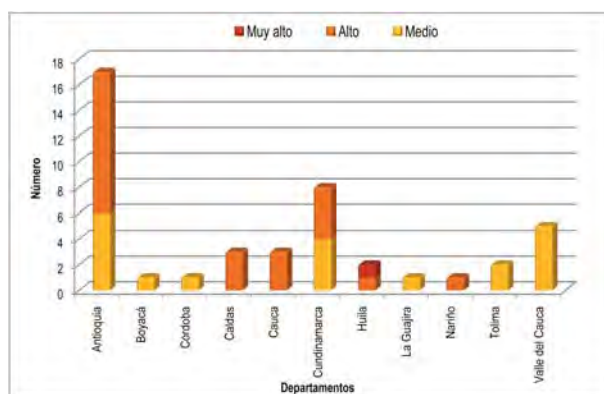
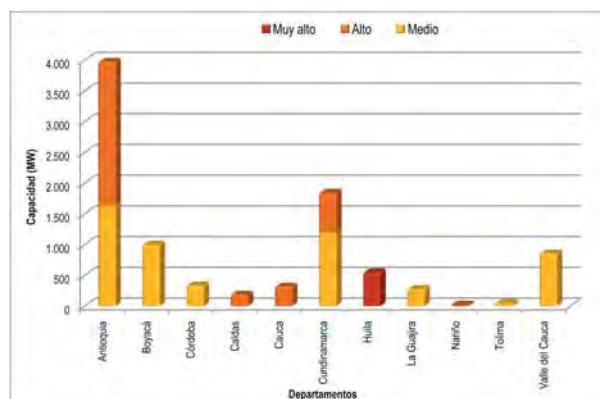


Figura 4.161 Impacto potencial en la capacidad de generación hidroeléctrica 2011 a 2040

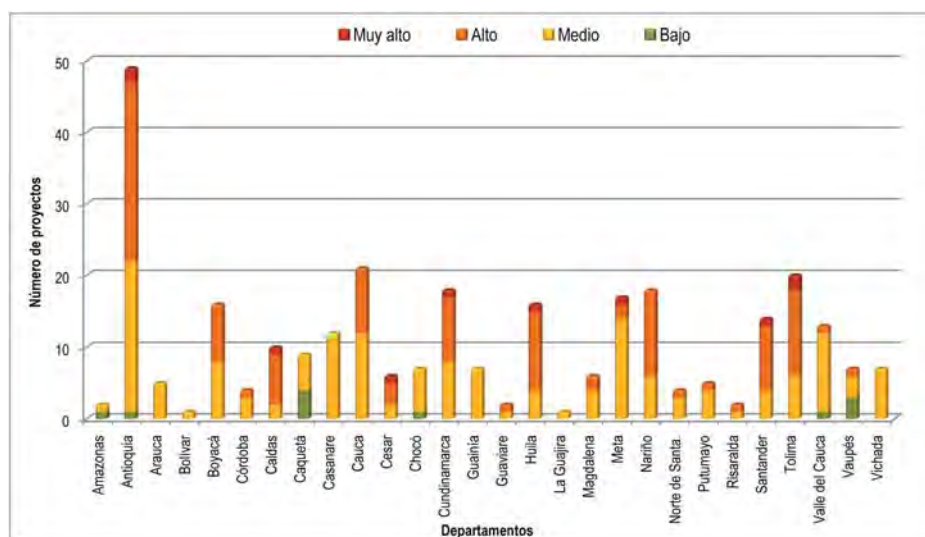


Fuente: Ideam, 2010; generado con información de la UPME, 2010

- Los proyectos de generación hidroeléctrica a futuro

Con base en el archivo suministrado por la UPME⁴⁸ dentro del proceso de discusión y desarrollo, se realizó el cruce de la información preparada por el Ideam sobre los impactos potenciales y los proyectos hidroeléctricos estudiados al futuro. La presentación se realizó por departamento, con respecto al número de proyectos (figura 4.162) y la capacidad inicialmente identificada (4.163).

Figura 4.162 Impacto potencial en los nuevos proyectos de generación hidroeléctrica para el periodo 2011 a 2040

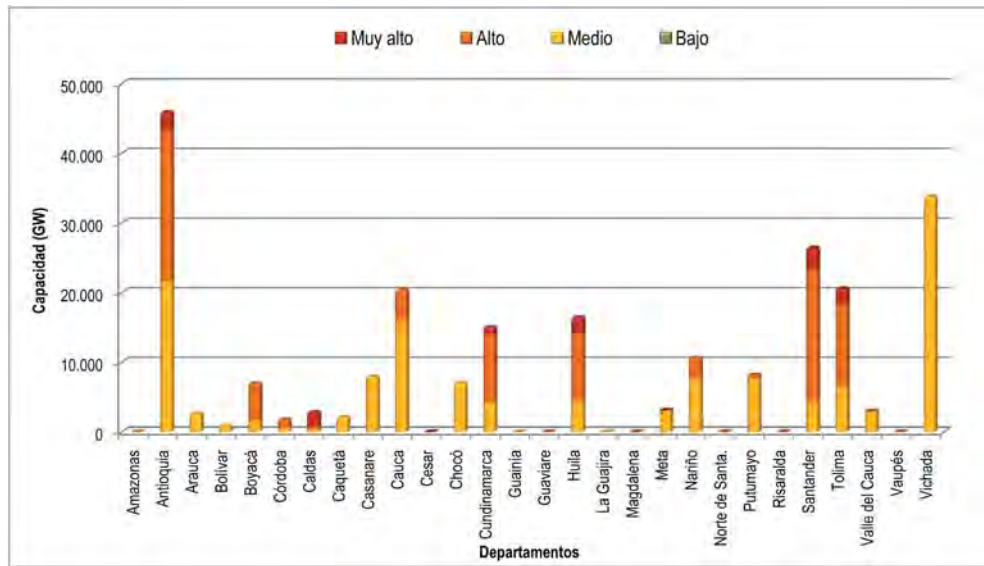


Fuente: Ideam, 2010; generado con información de la UPME, 2010

De la figura anterior (4.162), se puede identificar que de la totalidad de los proyectos que se tendrían al futuro, el mayor número de proyectos con impactos altos para el periodo 20101 a 2040, estarían en el departamento de Antioquia (9%), seguido de Tolima (5%), Huila y Nariño (4%), Santander y Cundinamarca (3%).

Tal condición comparada con la encontrada para el número de plantas de generación existentes (Antioquia 25%, Huila 5%, Nariño 2% y Cundinamarca 9%, Caldas y Cauca 7%), involucra ciertas condiciones con respecto a la precipitación, que podrían entrar a ser analizadas con mayor detalle en la planeación.

Figura 4.163 Impacto potencial (Ener-Med.) en los nuevos proyectos de generación hidroeléctrica para el periodo 2011 a 2040



Fuente: Ideam, 2010; generado con información de la UPME, 2010

De la figura de la capacidad proyectada (energía media en la figura 4.163), la cual refleja en parte la mayor capacidad de generación que se podría tener al futuro con alto y muy alto impacto se destacan los departamentos de Antioquia (10%), Santander (9%), Tolima (6%), Huila (5%) y Cundinamarca (5%). Tal identificación se debe tomar de forma relativa con respecto a los proyectos ubicados en otros departamentos.

Al acumular los impactos, alto y muy alto, en la capacidad de generación que se podrían presentar en la totalidad de los proyectos para el futuro, se encuentra una cifra similar (43%) a la encontrada en los proyectos que actualmente se encuentran en operación para el periodo 2011 a 2040; lo anterior, a pesar del cambio en la distribución de los impactos por departamento, tal como se mostró antes.

Es procedente mencionar que en las figuras anteriores no se tuvo en cuenta la fecha programa o planeada, pues se incluyó el total de los proyectos existentes en la base de datos.

4.8.15.2 Impactos potenciales 2071 a 2100

El impacto potencial que se podría tener tanto en el número de unidades como en la capacidad de generación hidroeléctrica por departamento para el periodo 2071 a 2100 se ilustra en las figuras 4.164 y 4.165, respectivamente.

Figura 4.164 Impacto potencial en el número de unidades para generación hidroeléctrica 2071 a 2100

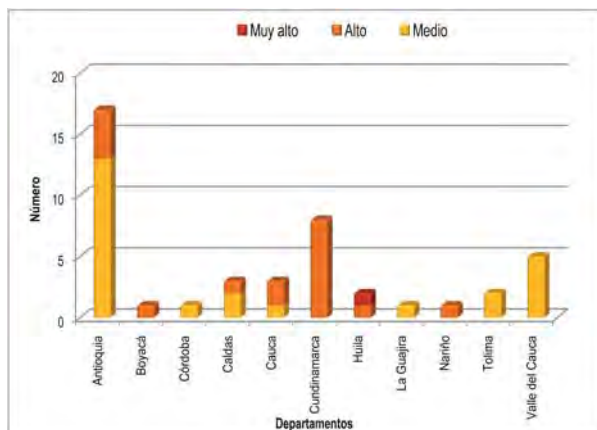
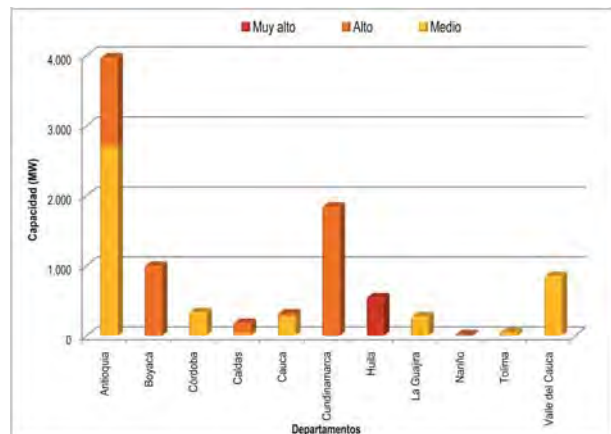


Figura 4.165 Impacto potencial en la capacidad de generación hidroeléctrica 2071 a 2100



Fuente: Ideam, 2010; generado con información de la UPME, 2010

Con base en la cartografía utilizada para analizar el impacto potencial (véase la metodología) y el cruce con los atributos de la infraestructura de generación hidroeléctrica existente, se esperaría que para finales de siglo el número de unidades de generación hidroeléctrica que podría resultar con alto impacto potencial estarían disminuyendo en: Antioquia, Caldas y Cauca, mientras ocurriría lo contrario en Boyacá y Cundinamarca. Véase las figuras 4.160 y 4.164.

De mantenerse las condiciones identificadas en el periodo inicial (2011 a 2040) para categorizar el impacto potencial, se podría tener alrededor de un 51% de la capacidad efectiva neta de generación hidroeléctrica para el periodo 2071 a 2100 en el impacto potencial muy alto (45%) y alto (6%). Es decir, con base en los resultados de la variación de la precipitación que se podría presentar a finales de siglo, principalmente, se tendría un aumento relativo en el impacto potencial con respecto al periodo inicial (43%).

4.8.16 Vulnerabilidad del recurso hídrico

Recientemente, en Colombia se consolidó el diagnóstico del recurso hídrico como parte de la Política Hídrica Nacional, la cual contempla como uno de sus objetivos específicos evaluar la influencia del cambio climático y el riesgo asociado con la oferta del agua en la medida en que éste se relaciona con el aumento en la frecuencia de eventos extremos y con la persistencia de anomalías en las variables que intervienen en el balance hídrico. Esto conlleva a la necesidad de mejorar el conocimiento de los posibles efectos del cambio climático sobre la oferta del recurso en el país y así determinar e implementar planes de adaptación y mitigación para los diferentes sectores interesados (hidroenergía, agricultura, navegación fluvial, abastecimiento de agua potable, ecosistemas, etc.). El desarrollo y seguimiento de dichos planes se constituiría en los indicadores para medir la efectividad de la prevención del riesgo asociado con la oferta.

En general, la vulnerabilidad del recurso presenta dos componentes principales: 1) la capacidad de los sistemas hídricos para conservar y mantener los rendimientos hídricos actuales ante posibles alteraciones climáticas, debidas tanto a la variabilidad climática natural como al cambio climático, y 2) la sensibilidad de los diferentes sectores de usuarios, entre ellos los sistemas de abastecimiento y distribución, frente a la reducción de la oferta y disponibilidad del agua.

Según el Ideam (2008a)⁴⁹, la oferta natural de agua se encuentra distribuida de forma muy heterogénea a través del territorio colombiano; algunas regiones hidrológicas tienen una gran abundancia de escorrentía (Pacífica en el área de influencia de los ríos Dagua, Baudó, San Juan, Micay y Atrato), desde los 4.000 hasta los 6.000 mm/año; otras regiones tienen excesivo déficit (Alta y Baja Guajira, San Andrés y Providencia, Río Cesar y la Sabana de Bogotá), presentando reducciones entre 70% y 90%, con respecto al promedio nacional (1.840 mm/año aprox.).

Teniendo en cuenta las evaluaciones realizadas a partir del coeficiente de variación de las series de caudal a escala multianual⁵⁰, se determinó que el régimen hidrológico en el territorio colombiano presenta una variabilidad temporal del orden medio a bajo, con la claridad de que existen regiones con alta variabilidad como La Guajira, el bajo Magdalena y el altiplano Cundiboyacense. Este factor es determinante para inferir la sensibilidad del recurso en estas zonas ante modificaciones climáticas. Asimismo, en Colombia se presentan dos tipos de regímenes hidrológicos opuestos, deducidos a partir del coeficiente de asimetría⁵¹ de las series que componen la red hidrológica nacional (inundaciones con coeficiente positivo y sequía con coeficiente negativo): la región Pacífica, región Caribe, cuenca Magdalena Cauca, suroccidente de Colombia, y sector de los Llanos Orientales presentan regímenes hidrológicos de inundación, mientras que la región sur del Pacífico y Amazonia presentan regímenes hidrológicos de sequía (Ideam, 2008b).

4.8.16.1 Vulnerabilidad del recurso hídrico frente a la variabilidad climática

Es necesario tener en cuenta la dificultad actual de establecer la frontera entre los conceptos variabilidad climática y cambio climático, especialmente en regiones del mundo donde se presenta una fuerte influencia de la primera en las condiciones generales del clima. Según la OMM (2009a)⁵²: *"Se entiende por cambio climático la modificación a largo plazo de las condiciones meteorológicas medias a escala del planeta. Por otra parte, las condiciones meteorológicas pueden experimentar variaciones en diversas escalas temporales (un día, mes o año) y espaciales (regional o local). Esta variabilidad del clima puede revestir la forma de un peligro natural, como pueda ser una inundación, una sequía, una ola de frío o de calor, un ciclón o una tormenta. Sin embargo, los fenómenos extremos guardan relación con el cambio climático, como se desprende de las previsiones del IPCC según las cuales diversos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos se harán más frecuentes y/o intensos como consecuencia del incremento de*

49 Ideam (2008a). Estudio Nacional del Agua. Relaciones de demanda de agua y oferta hídrica. Bogotá, 160 p.

50 El coeficiente de variación se define como la variabilidad de una magnitud aleatoria, en este caso el caudal a escala mensual en las diferentes estaciones de la red de monitoreo en Colombia, con respecto a su promedio ($Cv = Q \text{ medio} / \text{Desviación estándar } (Q)$).

51 El coeficiente de asimetría refleja el nivel de asimetría de una curva de distribución probabilística. Tercer momento estadístico de la serie de caudales multianual.

52 Organización Meteorológica Mundial (2009), Tercera Conferencia Mundial sobre el Clima: Preguntas más frecuentes. Centro Internacional de Conferencias de Ginebra.

las temperaturas de la superficie del globo. Aunque ningún fenómeno meteorológico extremo es indicio por sí solo del cambio climático, con el tiempo puede pasar a formar parte de un patrón de incremento de la variabilidad del clima causada por el cambio climático". En tal sentido, si bien muchos países se han orientado a estudiar los impactos sobre posibles cambios futuros en las precipitaciones y temperaturas como consecuencia de la modificación antropogénica del clima, no se debe perder de vista que en la actualidad se pueden estar presentando problemas en la gestión del agua en términos de déficit y/o exceso de la misma, debido principalmente a la variabilidad climática natural (OMM, 2009b). Es posible que en algunas regiones los problemas relativos fundamentalmente a la variabilidad climática, dominen sobre los relacionados con el cambio climático durante un periodo considerable de tiempo.

En el caso colombiano, el fenómeno ENSO en sus fases fría (La Niña) y cálida (El Niño) es uno de los forzantes con mayor influencia en la variabilidad climática interanual, asociado con anomalías de la precipitación en diferentes meses del ciclo anual tanto por encima de lo normal, en el caso del Niño, como por debajo, en el caso de La Niña. Asimismo, se vincula al ENSO con eventos extremos de temperatura y precipitación, con los episodios más conocidos de desabastecimiento de agua para el sector energético del país e inundaciones del río Magdalena.

Al presentarse la fase cálida (El Niño) hay reducción de precipitación entre 20% y 40% para la región Caribe y la mayor parte de la región Andina, particularmente en los departamentos de Nariño, Valle, norte del Huila, occidente de Antioquia, Tolima, Cundinamarca, Boyacá, Santander y la región del Catatumbo. Estas condiciones deficitarias alcanzan el carácter severo (superiores a 40%) en la Guajira, la parte media del litoral Caribe, el norte de Córdoba, el sector central de Sucre, el altiplano Cundiboyacense y el área limítrofe entre los Santanderes.

Según Ideam (2002)⁵³ en lo atinente a la afectación de los rendimientos hídricos de cuencas con un episodio El Niño, en la mayor parte de los departamentos de La Guajira, Cesar, Atlántico y en sectores de Magdalena y Sucre, se destacan regiones con déficit muy alto. Todos los departamentos de la región Andina presentan déficit en la oferta hídrica, pero se destacan los Santanderes, el altiplano Cundiboyacense, Tolima, Cauca y Nariño, donde se tienen grandes áreas con déficit alto. Las cuencas de los arroyos intermitentes de La Guajira y del río Cesar son altamente deficitarias y las cuencas altas de los ríos Catatumbo y Tarra, bajo Magdalena, alto Cauca, río Ranchería y alto Patía son deficitarias. Estas cuencas suelen ser de rendimientos hídricos no muy altos y pueden presentar disminuciones promedio mayores de 15% en esta fase del fenómeno ENSO. Similar condición se presenta en las cuencas de los ríos Lebrija, Sogamoso y Bogotá. En la región del Pacífico, las cuencas del sur pueden tener reducciones mayores de 30% pero, por sus rendimientos relativamente altos, no se aprecian mayores afectaciones en dicha fase cálida. La mayoría de las cuencas que tributan al Orinoco, así como las de los ríos que fluyen al Amazonas, tienen reducciones promedio que no sobrepasan 5%. Véanse las Figuras 4.166 y 4.167⁵⁴.

Figura 4.166 (Izq.) Alteración de la escorrentía fase Cálida ENSO.

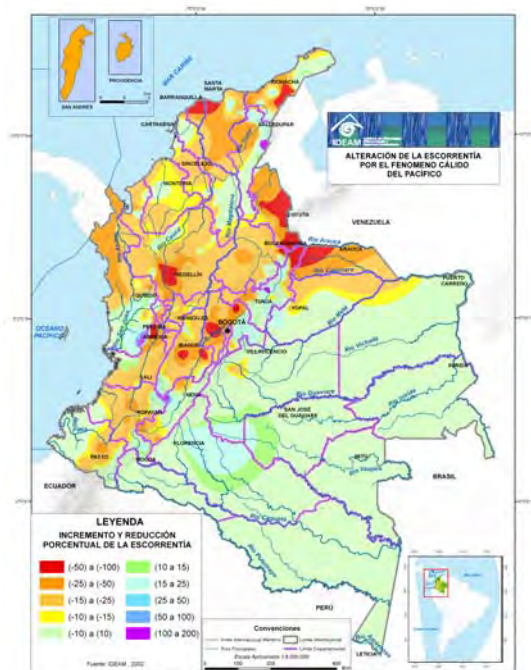
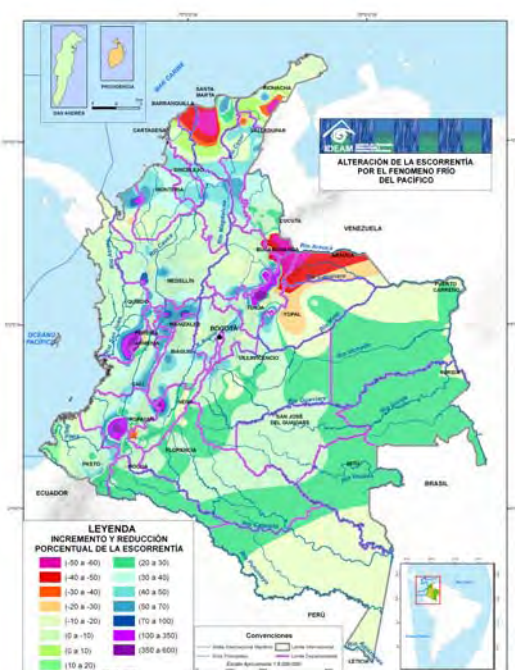


Figura 4.167 (Der.) Alteración escorrentía fase Fría ENSO



Fuente: Ideam, 2002. Primera generación de indicadores línea base de la información ambiental de Colombia. SIAC T.2

53 Ideam (1997). Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno de El Niño en el periodo 1997-1998 en Colombia.

54 Ideam (2002). Primera Generación de Indicadores de la Línea Base de la Información Ambiental de Colombia. Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). Tomo 2. 938 p.

En fase fría (La Niña) se registra una mayor influencia en el sector central y oriental del Pacífico tropical. En los meses del fenómeno se registraron excedentes de precipitación (entre 20% y 40%) de los valores normales en forma muy localizada en áreas del nororiente, centro y sur de la región Andina y el nororiente de la región Caribe. Núcleos muy puntuales de excedentes severos (mayores de 40%) se registran en los departamentos de la Guajira, Norte del Magdalena, Santander y Santander del Norte, Cundinamarca y un sector fronterizo entre Tolima y Valle. Véase la Figura 4.166.

4.8.16.2 Vulnerabilidad del recurso hídrico con base en el ensamble multimodelo

Teniendo en cuenta los resultados del ensamble multimodelo, el cual recoge el promedio de todos los escenarios corridos (A2, A2(sulfatos: s), B2, B2(s), A1B, A1B (s) y tendencial para cada uno de los modelos (Precis y MRI) y periodos (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100)⁵⁵ para la precipitación⁵⁶, se realizó el análisis de los potenciales cambios que se podrían presentar en el rendimiento hídrico de las principales zonas hidrológicas del país.

En la Figura 4.168 y Figura 4.169 se pueden observar los posibles efectos por el cambio climático sobre la escorrentía promedio multianual en las principales subzonas hidrológicas del país. Se utilizaron los cambios en precipitación (dp) y temperatura (dT) arrojados por el ensamble multimodelo para los tres intervalos de predicción en las principales subzonas hidrológicas definidas por el Ideam para el país con respecto a los valores promedio obtenidos para estos parámetros en el periodo 1970-2000 y se estimó el impacto sobre la escorrentía media anual observada. Los rangos de alteración adoptados son iguales a los tomados en la variación de la precipitación.

Según este análisis, las regiones Andina y Caribe son las más afectadas durante todos los periodos (en promedio entre -30% y -10%). Para 2070-2100 el resultado es más crítico aún para la zona Caribe y la Sabana de Bogotá (cambio mayor a -30%). En la zona Pacífico, Guajira, Orinoquia y Amazonia, las condiciones actuales persisten según el modelo (entre -10% y 10%). Obsérvese que las zonas Alto Magdalena, Cauca, Caribe - Litoral, Saldaña, Patía y Caribe- Urabá presentan la mayor afectación para los periodos evaluados. Con base en dichos estudios realizados por el Ideam-Bedoya (2010), se tendrían impactos muy altos y altos con respecto a la variación de los rendimientos hídricos para el periodo 2011 a 2040 con ampliación de su severidad hacia finales de siglo. Véanse las figuras 4.168 y 4.169.

Figura 4.168 Cambios potenciales en el rendimiento hídrico por zonas hidrológicas 2011 a 2040.

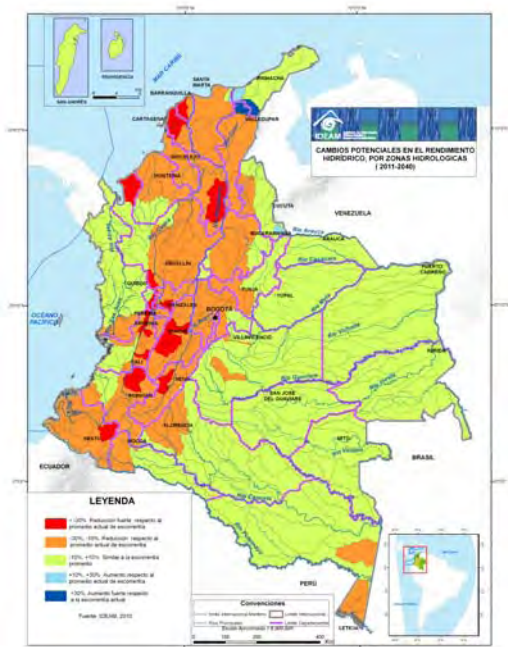
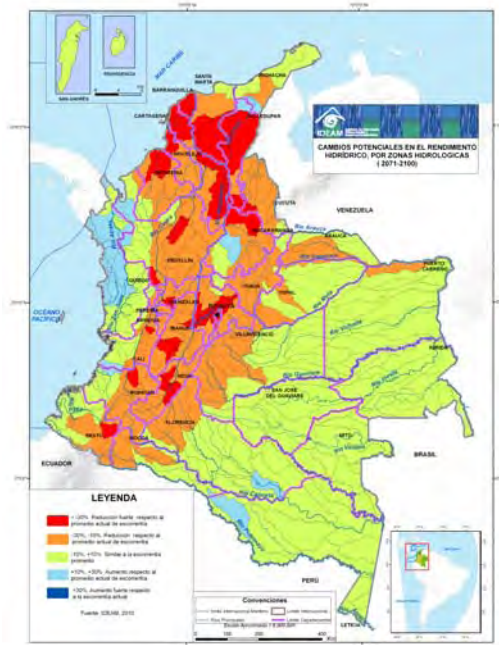


Figura 4.169 Cambios potenciales en el rendimiento hídrico por zonas hidrológicas 2071 a 2100



Fuente: Ideam-Bedoya, 2010

55 Cuando se evalúa la incertidumbre con respecto al impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos, un planteamiento probabilístico multimodelo es preferible a utilizar los resultados de un solo modelo climático. Desde las fechas del TIE, diversos estudios de impacto hidrológico han utilizado datos climáticos multimodelo (por ejemplo, Arnell (2004) a escala mundial, o Jasper *et al.*, (2004) a escala de cuenca fluvial), pero no son muchos los estudios que incorporan evaluaciones probabilísticas formales. (IPCC, 2008c, p. 49)

56 Es importante no perder de vista que en el trópico los cambios de la escorrentía dependen mucho más de los cambios que experimente la lluvia que de los exhibidos por la temperatura.

Si tiene en cuenta que la mayoría de los estudios prevén para las regiones tropicales una mayor estacionalidad y frecuencia de los caudales, con tránsitos más cuantiosos en la estación de flujo máximo y/o una disminución del caudal durante la estación de flujo bajo, con posibilidades de periodos secos más duraderos, (IPCC 2008c, p. 31), se podría establecer que los eventos extremos modificarían los regímenes hídricos, agravando las condiciones de los rendimientos presentados.

4.8.16.3 Vulnerabilidad del recurso hídrico frente a amenazas socio-naturales en las cuencas hidrográficas

Considerando el registro histórico de los desastres, la mayor concentración de eventos con frecuencia baja a moderada y consecuencias destacadas se localizan en los municipios de las cuencas de la región Andina.

Con respecto a los avances en la elaboración de estudios de susceptibilidad y amenaza por remoción en masa (deslizamientos), inundaciones y de avenidas torrenciales o avalanchas, los análisis de vulnerabilidad y riesgos se encuentran circunscritos en áreas específicas para el desarrollo de proyectos particulares.

Adicionalmente teniendo en cuenta que los estudios de amenaza por deslizamiento, inundación y avalanchas incluyen el agua como agente detonante principal, que su vez responde al comportamiento hídrico de la cuenca; es por eso que el equilibrio y/o deterioro de la cuenca hidrográfica está marcado por el grado de influencia de estos fenómenos que a su vez afectan la oferta hídrica.

De acuerdo con el mapa de zonas morfogenéticas del Ideam, en Colombia se presentan extensas áreas susceptibles a inundación asociadas con las planicies aluviales y los valles interandinos. Tales condiciones hacen necesario incluir en un futuro los análisis relacionados con eventos extremos asociados con el tránsito hidráulico. Véase la Figura 4.170. En similar sentido, con base en el estudio Zonificación de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa, realizado por el Ideam (2002), las cuencas de región Andina son las más afectadas por deslizamientos, alcanzando una superficie aproximada a los 305.000 km². Véase la Figura 4.171.

Figura 4.170 Mapa de áreas inundables de la zonificación de zonas morfogenéticas

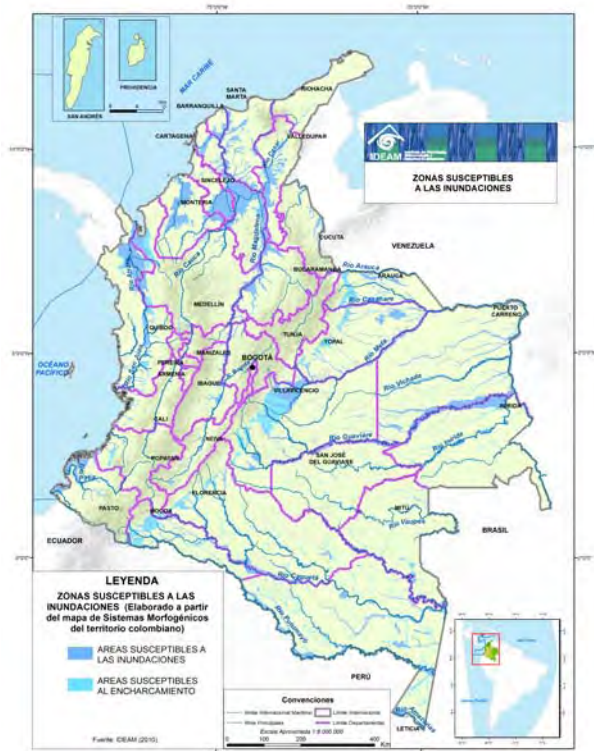
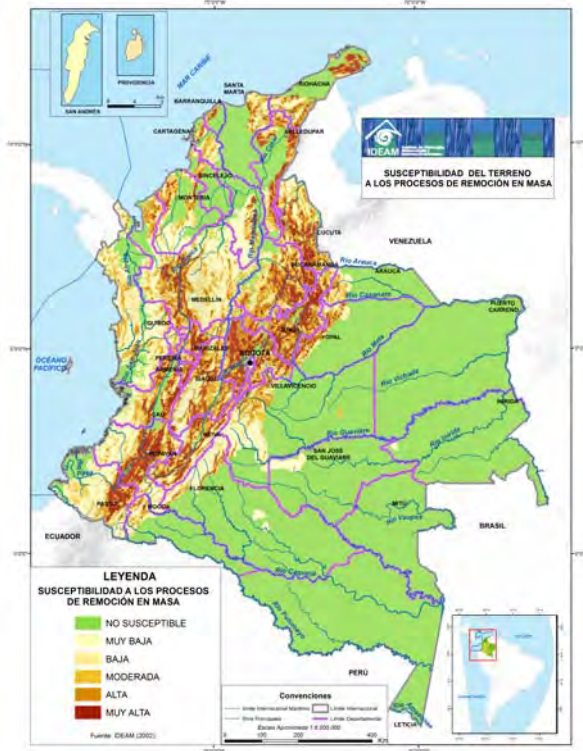


Figura 4.171 Mapa de susceptibilidad por remoción en masa



Fuente: Ideam, 2002 y 2000

Es necesario tener en cuenta las avenidas que se presentan en drenajes con comportamiento torrencial, las cuales se presentan principalmente en los ríos interandinos del piedemonte de la Cordillera Oriental. Su causa está relacionada con lluvias abundantes en la parte alta y media de las cuencas, cobertura vegetal deficiente y suelos con baja capacidad de infiltración que permiten la rápida concentración del escurrimiento superficial, produciendo grandes caudales capaces de arrastrar enormes cantidades de materiales a gran velocidad que afectan todo lo que encuentran a su paso.

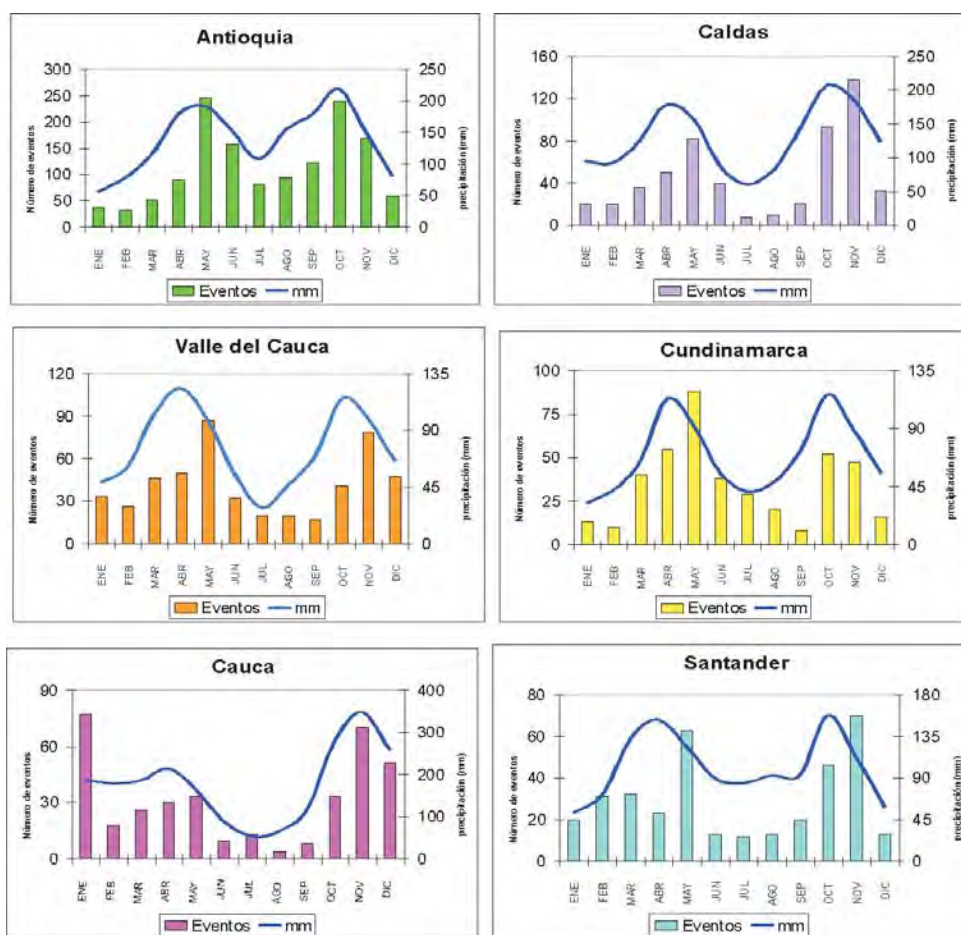
4.8.16.4 Deslizamientos de tierras

Los procesos de remoción en masa, entre ellos los deslizamientos, son comunes en las zonas montañosas colombianas, en especial por la presencia de laderas con pendientes pronunciadas, además del clima ecuatorial con lluvias torrenciales y cíclicas. En el país gran parte de las zonas urbanas y del desarrollo vial se concentran en la región Andina, donde precisamente ocurre la mayoría de los eventos por remoción en masa. El crecimiento demográfico y el desarrollo de vías de comunicación en esta región, aumenta la posibilidad de ocupar áreas potencialmente inestables.

Con base en los análisis realizados por Corrales, Martínez & Sánchez (2008), se ha encontrado una relación entre la ocurrencia mensual del número de procesos de remoción en masa y la distribución mensual de la precipitación. Para diferentes departamentos con suficiente información se encontró una relación directa entre la cantidad de lluvia mensual y el número de deslizamientos registrados de forma acumulada.

Si bien es un ejercicio preliminar, donde seguramente se deben estudiar otras variables como la intensidad, la humedad acumulada del suelo, la lluvia antecedente, las condiciones geotécnicas y propias de cada talud o ladera, se presenta la Figura 4.172.

Figura 4.172 Precipitación y ocurrencia de deslizamientos en departamentos grupo 1

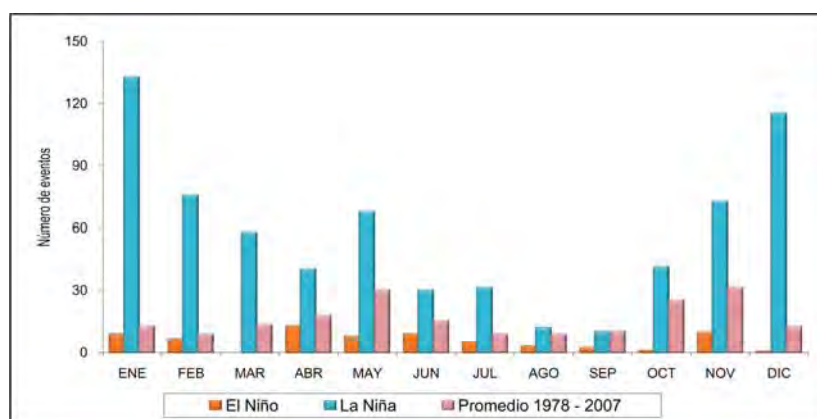


Fuente: Ideam, Corrales *et al.*, 2008

La información que se presenta en la Figura 4.172, permite apreciar de manera visual la relación directa que existe entre la cantidad de precipitación y el número de deslizamientos en los departamentos de la región Andina. En términos generales, existe una alta correspondencia entre los periodos de lluvia y los meses de mayor ocurrencia de eventos, observándose un retraso relativo entre el pico de precipitación y el mayor número de deslizamientos. Los departamentos están ordenados de mayor a menor, según el número total de deslizamientos registrados.

Los análisis realizados por el Ideam-Jaramillo (2009), señalan que existe una relación entre el número de eventos de deslizamientos reportados y los fenómenos El Niño y La Niña. En la Figura 4.173, se puede apreciar la distribución mensual en términos del número de deslizamientos en los periodos Niño y Niña, y su comparación con el promedio anual del periodo 1978-2007.

Figura 4.173 Número de deslizamientos registrados en los periodos Niño y Niña analizados



Fuente: Ideam, 2009

De la figura 4.173 se observa una incidencia significativa entre las dos fases extremas del ciclo ENOS en todos los meses, ubicándose por debajo del promedio del número de eventos en el periodo cálido (El Niño) y por encima de éste en el periodo frío (La Niña), lo cual permite inferir una menor incidencia de los procesos de remoción en masa en los periodos El Niño.

4.8.16.5 Afectación a los sistemas de abastecimiento de agua potable

En la Tabla 4.18 se presenta el registro histórico de la afectación a los sistemas de abastecimiento de agua potable entre 1987 y 2007.

Tabla 4.18 Registro de eventos con afectación a los sistemas de acueducto

Tipo de evento	Afectación acueducto	Afectación a la población y acueducto*	Afectación acueducto y pérdidas > a 10 millones
Inundación	309	245	17
Avenida torrencial	97	68	5
Deslizamiento	205	158	7
Contaminación	24	22	
Sequia	113	95	
Total	748	588	29

Fuente: Desinventar, 2009⁵⁷

En la tabla anterior se muestra que de los 748 registros que afectaron el sistema de acueducto (desabastecimiento, racionamiento y daños a la infraestructura), 78% están asociados con eventos que afectaron simultáneamente a la población, mientras 29 de los reportes (3,9%) se refieren a pérdidas superiores a 10 millones de pesos.

En la Tabla 4.19 se presenta la proporción por los departamentos y Distrito Capital, donde se han registrado eventos de inundaciones, avenidas torrenciales, deslizamientos y sequías que han afectado los sistemas de acueducto entre los años 1987 y 2007.

De otra parte, de acuerdo con la información de impactos socioeconómicos del sector de abastecimiento de agua potable compilado de lecciones del fenómeno El Niño 1997-1998; 780 de los 1.082 municipios de Colombia reportaron reducción de su abastecimiento de agua potable, de los cuales 50 correspondieron directamente a impactos del fenómeno El Niño, y los demás a impactos indirectos.

Las regiones Atlántica asociada con la cuenca baja y media del río Magdalena y Cauca, y la región Andina, fueron las más afectadas. Se estima que el número de personas afectadas por desabastecimiento crítico es de 1.170.000, equivalentes a 14% de la población de la región Atlántica; y 630.000 personas, equivalentes a 14% de la población de la región Andina (Desinventar, 2009).

57 DesInventar y DesConsultar son un producto de Software diseñado y desarrollado por investigadores de la Red Latinoamericana de Estudios Sociales en prevención de Desastres. La Coordinación General del Proyecto está a cargo del OSSO, en Univalle, Colombia y de ITDG, en Lima, Perú. Ha contado con la financiación de la ODA (U.K.), y ECO. Base de datos creada por la Corporación OSSO (Observatorio Sismológico del Sur Occidente Colombiano), con base en datos preexistentes de los reportes de la Dirección Nacional de Gestión del Riesgo del Ministerio del Interior y fuentes hemerográficas de los principales medios de comunicación del país.

Tabla 4.19 Registro histórico de eventos por ente territorial que afectan los sistemas de acueducto

Departamento	Inundaciones, deslizamientos, avenidas ⁵⁸	Departamento	Sequia ⁵⁹
Tolima	12,2%	Cauca	11,5%
Valle del Cauca	10,4%	Norte de Santander	10,6%
Cauca	8,8%	Santander	9,7%
Huila	8,3%	Tolima	9,7%
Santander	6,8%	-	8%
Boyacá	6,0%	Boyacá	8%
Cundinamarca	5,7%	Caldas	8%
Antioquia	5,3%	Antioquia	7,1%
Norte de Santander	4,9%	Magdalena	3,5%
Nariño	4,8%	Córdoba	3,5%
Risaralda	3,7%	Cundinamarca	3,5%
Caldas	3,2%	Huila	2,7%
Meta	2,8%	Valle del Cauca	2,7%
Córdoba	2,1%	Risaralda	1,8%
Magdalena	2%	Guajira	1,8%
Bolívar	2%	Otros	8%
Cesar	1,9%		
Quindío	1,6%		
Chocó	1,5%		
Bogotá D.C.	1,2%		
Sucre	1,2%		
Otros	3,2%		

Fuente: Desinventar, 2009

La estimación de los daños sobre la económica y la población ocasionados por el fenómeno El Niño corresponden al valor estimado por las empresas que dejaron de percibir como consecuencia del racionamiento: bajas de presión en los sistemas, deficiencias en la cantidad, calidad y continuidad del servicio. En total, se estima que el daño al sector de agua y saneamiento alcanzó los 2.430 millones de pesos o el equivalente a 1,8 millones de dólares.

4.8.16.6 Consideraciones adicionales sobre el recurso hídrico

Según Bates *et al.*, (2008)⁶⁰ las mayores fuentes de incertidumbre al evaluar el impacto del cambio climático sobre el recurso hídrico son: la incertidumbre asociada con los aportes por precipitación por cuenca, la incertidumbre debida a la estructura del modelo de circulación global (MCG) que es la base para el downscaling dinámico o regionalización efectuada con el modelo Precis, la incertidumbre en los escenarios de emisiones y la incertidumbre misma del modelo hidrológico aplicado. Por lo anterior, los impactos sobre el recurso hídrico cuantificados en el presente documento deben ser tomados con precaución debido a las diversas fuentes de incertidumbre mencionadas.

Adicionalmente, si bien se ha realizado la exposición de resultados sobre algunos sectores de manera específica, es válido mencionar que el proceso de análisis y evaluación del recurso hídrico involucra diferentes criterios y complejidades adicionales, tanto en los instrumentos utilizados para facilitar la evaluación integrada de las opciones de adaptación y mitigación, como en los pesos y prioridades políticas cuando se encuentran en el mismo territorio múltiples sectores que dependen del agua. Es decir, el trabajo y desafíos que se plantea con el cambio climático alrededor de los diferentes sectores y comunidades, podría tener repercusiones o resultados poco valorados desde la óptica del consenso local, regional y nacional. En otras palabras, se considera que los conflictos a futuro sobre los recursos hídricos requieren de instrumentos y métodos que tomen en cuenta de manera estratégica y técnica, la forma como se pueden optimizar las gestiones, dada la cantidad de recursos financieros y técnicos que se tendrían que aplicar para atender las múltiples situaciones y condiciones que requerirán de la atención del estado. Esto deberá incluso, tratarse a nivel internacional, pues los factores tensionantes del cambio local vendrían en buena proporción de los efectos derivados en las latitudes industrializadas.

Lo anterior concuerda con los estudios teóricos y de modelización del clima, los cuales dejan ver que en un clima cada vez más cálido por el aumento de gases invernadero, se esperaría un incremento de las precipitaciones extremas

58 Las inundaciones, avenidas torrenciales y deslizamientos causan destrucción de los sistemas de acueducto que implican la suspensión del servicio, disminución de la calidad del agua, pérdidas económicas asociadas con la operación del servicio y costos de rehabilitación.

59 La sequía genera racionamientos del servicio, afectación por sedimentos y conflictos sociales.

60 Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu, and J.P. Palutikof (Eds), 2008: *Climate change and water. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva*, 210 pp.

respecto de su valor medio⁶¹. No debe olvidarse que los valores extremos que se presentan en las latitudes bajas (cerca a la línea Ecuatorial) tienen, de lejos, mucho más energía que las registradas en los climas templados. Adicionalmente, en Colombia, donde se registran diferentes sitios con grandes alturas de precipitación que se ubican entre las más altas del mundo (>9.000 mm/año) y con intensidades que fácilmente superan los 150 mm/h. Tales características se traducen en condiciones críticas, colocando al país con muy alta vulnerabilidad a los fenómenos extremos de lluvias, con toda su cadena de efectos relacionados (erosión, degradación de suelos, inundaciones, etc.). Tales estudios en el futuro cercano deberían ser apoyados para luego diseñar y adoptar las medidas correspondientes.

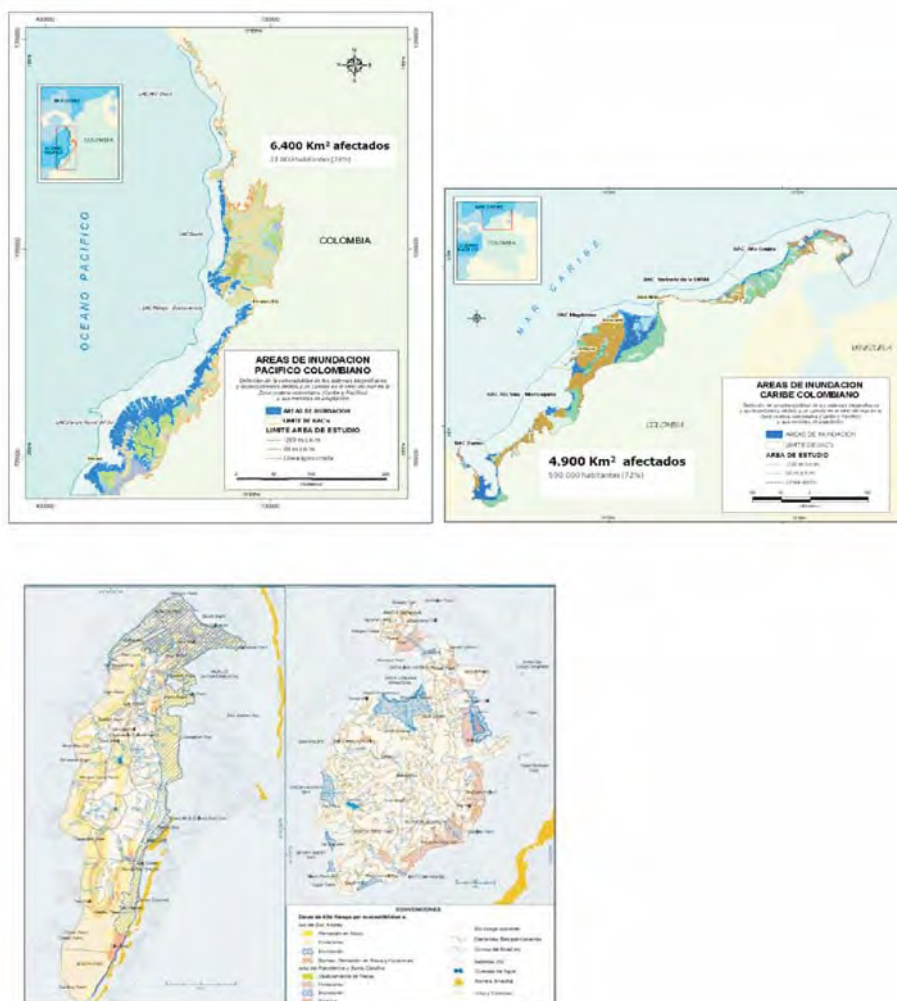
4.8.17 Vulnerabilidad de las zonas marino costeras

La evaluación de la vulnerabilidad que se presenta a continuación la realizó el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Jose Benito Vives De Andreís - Invemar) con base en la metodología desarrollada por dicho instituto.

4.8.17.1 Vulnerabilidad de las zonas costeras colombianas ante el ARNM

El perfil de vulnerabilidad se realizó según lineamientos de la metodología común (IPCC, 1991) para una región costera o nación. La primera fase consiste en definir la vulnerabilidad ante los cambios en el Ascenso Rapido del Nivel del Mar (ARNM), así como los impactos socioeconómicos y/o sociales que puedan derivarse del mismo. La segunda fase incluye la viabilidad de implementar las opciones de respuesta, lo que se traduce en la capacidad que se posee para controlar los impactos generados (medidas de adaptación). La Figura 4.174, muestra las áreas inundables de los litorales Caribe y Pacífico ante un ascenso en el nivel de mar.

Figura 4.174. Áreas de inundación para las costas Caribe, Pacífica y Caribe insular ante ascenso del nivel del mar de 1 m.



Fuente: Invemar, 2003

61 En la mayoría de las áreas tropicales y de latitudes medias y altas, la precipitación extrema aumentaría más que la precipitación media. IPCC (2008c, p. 27)

Para la evaluación de vulnerabilidad del sistema natural (Tabla 4.20), se crearon distintos escenarios del tipo: “qué pasaría si”. Se generaron dos escenarios de aumento del nivel del mar 0,30 m para el año 2030 y 1,0 m para el año 2100.

Tabla 4.20 Escenarios climáticos para el perfil de vulnerabilidad

Sin proyección: Condiciones actuales	Sin aumento del nivel del mar (ANM ₀)	
	Nivel del mar: 0,0 m.	
	Precipitación: Promedio	
	Aumento de la temperatura del aire: 0 °C	
	Anomalías de temperatura del mar: 0 °C	
Emisión de CO ₂ : niveles actuales		
Escenario: 2030	Con aumento del nivel del mar (ANM ₁)	
	Nivel del mar: 0,30 m.	
	Precipitación: Promedio	
	Aumento de la temperatura del aire: +1,6 °C	
	Anomalías de temperatura del mar: <1,5 °C	
Emisión de CO ₂ : Menos de una vez la emisión actual		
Escenario: 2100	Con aumento del nivel del mar (ANM ₂)	
	Nivel del mar: 1 m.	
	Precipitación: Moderada, 15% del promedio	
	Aumento de la temperatura del aire: +2,5 °C	
	Anomalías de temperatura del mar: <2,5 °C	
Emisión de CO ₂ : Dos veces la emisión actual		

Fuente: Invemar, 2003

Los escenarios socioeconómicos fueron formulados a partir de la información proveniente de las proyecciones realizadas por el Dane y Fedesarrollo. De igual forma, se plantearon dos posibles escenarios, uno optimista y uno pesimista, en las que el nivel de conflicto armado será el factor determinante. Véase la Tabla 4.21.

Tabla 4.21 Escenarios socioeconómicos

Conflicto armado alta intensidad				Conflicto armado intensidad decreciente			
PIB bajo		PIB alto		PIB bajo		PIB alto	
Tasa de crecimiento poblacional baja	Tasa de crecimiento poblacional constante	Tasa de crecimiento poblacional baja	Tasa de crecimiento poblacional constante	Tasa de crecimiento poblacional baja	Tasa de crecimiento poblacional constante	Tasa de crecimiento poblacional baja	Tasa de crecimiento poblacional constante
1	2	3	4	5	6	7	8

Fuente: Invemar, 2003

4.8.17.2 Vulnerabilidad en el sistema natural

Teniendo en cuenta el área que se vería afectada por un ascenso en el nivel del mar de un metro al año 2100, en relación con el área total de la cobertura nacional, la situación de salud actual del ecosistema y la adaptación autónoma, se calcularon los índices de vulnerabilidad del sistema natural. Como resultado se obtuvo que los ecosistemas coralinos, de manglar y de playas y playones son los más vulnerables ante un ARNM (Invemar, 2003). Véase la Tabla 4.22.

Tabla 4.22 Perfil de vulnerabilidad del sistema natural

Componentes del sistema natural	Vulnerabilidad			
	Baja	Media	Alta	Muy alta
Zonobioma de desierto tropical			X	
Bosques secos tropicales	X			
Bosque húmedo tropical	X			
Manglares				X
Playas y playones				X
Corales				X
Fanerógamas marinas		X		
Fondos de la plataforma continental	X			
Litorales rocosos y acantilados		X		

Fuente: Invemar, 2003

4.8.17.3 Vulnerabilidad del sistema socioeconómico

Para la evaluación socioeconómica se utilizaron factores como: ascenso del nivel del mar (30 ó 100 cm), el Producto Interno Bruto (PIB) (alto o bajo), el crecimiento demográfico (bajo o constante), y la situación del conflicto armado (intensidad alta o baja) en escenarios optimista y pesimista al 2030 y 2100, además de medidas de protección y de no protección. Los resultados obtenidos (Tabla 4.23) sugieren que en el marco de una intensificación del conflicto armado y una resultante disminución en el crecimiento económico en términos financieros, podría ser más difícil para el país implementar medidas para reducir los posibles impactos del ARNM (Invemar, 2003).

Tabla 4.23 Población a trasladar y valor en pérdida bajo los distintos escenarios.

Variables	Sin protección		Con protección	
	Escenario			
Años	2030	2100	2030	2100
Valor de capital en pérdida (% del PIB)	0,5	2,4	0,2	0,5
Población a trasladar (%)	0,5	2	0,4	0,7
Escenario	Pesimista			
Valor de capital en pérdida (% del PIB)	0,5	1,9	5	23
Población a trasladar (%)	0,5	3,1	-	-

Fuente: Invemar, 2003

Considerando un potencial ascenso de un metro del nivel medio del mar para el año 2100, el Ideam estimó los potenciales impactos de inundación del litoral colombiano (Ideam, 2001). De acuerdo con esta estimación, en las costas colombianas es posible la inundación permanente de 4.900 km² de costas baja y el anegamiento de 5.100 km².

La población localizada en la zona de estudio en el litoral Caribe es de 2.103.787 habitantes para el año 2000, de los cuales aproximadamente 55% estarán expuestos a los efectos directos de la inundación marina. De la población afectada, aproximadamente 90% se encuentra localizada en las cabeceras municipales, en tanto que la restante se distribuye en forma dispersa en las áreas rurales. Los centros urbanos que más población presentan en las zonas de amenaza corresponden a Cartagena, San Juan de Urabá, Turbo, Ponedera y Puerto Colombia, al igual que el área rural de Cartagena.

En el litoral Pacífico, la población total que ocupa la zona analizada es de aproximadamente 462.457 personas, de las cuales 41% aproximadamente será afectada por la inundación marina debida al ascenso del nivel del mar. De la población afectada por la inundación, aproximadamente 36% se encuentra localizada en cabeceras municipales, en tanto que la población restante se distribuye en forma dispersa en el sector rural. Las cabeceras municipales de Tumaco, El Charco, Nuquí, Juradó, Santa Bárbara y Olaya Herrera son las que más población urbana concentran en las zonas con alguna posibilidad de inundación.

Para el caso del sector agropecuario, se encontró que 23% del área total cultivada en los departamentos considerados está expuesta a los procesos de inundación. En el sector industrial, el análisis de vulnerabilidad mostró que 75,3% (475 ha) del área ocupada por los establecimientos manufactureros en Barranquilla y 99,7% (877 ha) en Cartagena son altamente vulnerables a la inundación por el ascenso del nivel del mar. En cuanto a la infraestructura de vías, se tiene que el respectivo análisis estableció que 44,8% de la infraestructura vial terrestre presenta alta vulnerabilidad.

El archipiélago de San Andrés y Providencia es la zona insular más importante del país y se haya rodeada por complejos arrecifales de gran importancia en el Caribe, con una riqueza ecológica y paisajística considerable, además de su atractivo para el turismo debido a la belleza de sus playas (Invemar, 1996). El desarrollo del turismo y el comercio han auspiciado el crecimiento poblacional de San Andrés, donde según Chaparro y Jaramillo (2000), la densidad poblacional en los 27 km² de área es de aproximadamente 2.000 hab/km² para el año 2000. En Providencia y Santa Catalina, con un área aproximada de 22 km², el turismo y el crecimiento poblacional han sido muy reducidos.

De acuerdo con las evaluaciones realizadas por el Ideam (Martínez, Jaramillo & Chaparro, 2007), el ascenso del nivel del mar podría causar la inundación de 10,1% de la isla de San Andrés, representado en áreas de marismas, cordones litorales, rellenos artificiales y algunas terrazas coralinas bajas cubiertas por mangle. En estas áreas se verían afectadas zonas urbanas de uso residencial y comercial, así como el puerto de la isla.

En las islas de Providencia y Santa Catalina, el área expuesta a la inundación representa 3,8% del área de las islas, donde se incluyen sectores actualmente ocupados por zonas residenciales, comerciales y públicas, entre las cuales se encuentra el puerto de Providencia. También se verían afectadas las zonas de interés turístico de las bahías de Manzanillo, Suroeste y Agua dulce, donde podría presentarse el retroceso de los cordones de playa y la inundación de las marismas.

Tanto en San Andrés como en Providencia se podrían presentar procesos de aumento del nivel freático y de saturación de los depósitos de agua superficiales que podrían causar el deterioro de las bases de las construcciones y la obstrucción de drenajes y alcantarillados por pérdida de pendiente para la evacuación de las aguas servidas. Igualmente, este efecto podría incrementar los niveles de sales en los escasos suelos presentes en estas áreas, reduciendo las posibilidades de actividades agrícolas.

La erosión de la línea de costa es un proceso que actualmente se presenta en las islas con mayor intensidad y consecuencias en San Andrés, donde ha producido la pérdida de playas, el retroceso de algunos sectores del litoral y la destrucción de algunas viviendas. Con el incremento del nivel del mar asociado con el cambio climático, es posible un aumento en la intensidad y extensión de los procesos de erosión, los cuales podrían afectar especialmente el 12,3% de la línea de costa de la isla de San Andrés que es altamente susceptible a la erosión, donde se verían afectados sectores de usos turístico y portuario de la isla. En las islas de Providencia y Santa Catalina, 18,5% de la línea de costa es altamente susceptible a la erosión y donde potencialmente se desarrollarían los más severos procesos de erosión litoral, afectando terrenos con usos turístico y residencial principalmente, como las playas.

4.8.17.4 Evaluación de vulnerabilidad

Los resultados de la evaluación de vulnerabilidad arrojan que, durante este siglo, 107 sitios a lo largo de la Costa Caribe pueden continuar perdiendo terreno por efectos de la erosión; 33% de esta pérdida puede ubicarse en el rango de los 40 a 70 metros tierra adentro, 12% más puede ser afectado más allá de los 100 metros, 75 municipios costeros con una cobertura de terreno de 9.440 km² están actualmente en riesgo de inundación por mareas extremas, además de 3,1% de la población nacional que crece bajo riesgo de inundación por altas mareas y escorrentías (Invemar, 2003).

De las áreas urbanas pertenecientes a la costa Caribe, 51% de las mismas sufrirían de alguna forma los efectos del ascenso en el nivel del mar; asimismo, para el litoral Pacífico esta cifra se eleva a 63%, reflejado en términos de pérdida de infraestructura principalmente. Según proyecciones demográficas, se estima que la población hacia el año 2030 asentada en las zonas costeras será de aproximadamente 9.000.000 de habitantes, de ellos 4% podrían ser desplazados por efectos de la inundación.

Con el supuesto de que en el año 2100 el nivel del mar habrá aumentado en un metro, entonces la población que se vería afectada estaría por el orden de 1,4 a 1,7 millones de habitantes, equivalentes a 2 y 3% de la población nacional en ese mismo año; de estos porcentajes 80% y 20% corresponden al Caribe y al Pacífico, respectivamente.

Para los sectores agrícola, ganadero, industrial, forestal y minero, las estimaciones indican que para el año 2030 el PIB total afectado por el ascenso rápido en el nivel del mar estaría entre 0,4 y 0,5 % del PIB departamental de los sectores considerados, y entre 0,06% y el 0,1% del PIB total de los departamentos costeros de Colombia. Hacia el año 2100 estos porcentajes equivalen al 0,4% y 3%, respectivamente. Además, los daños por pérdida de infraestructura hotelera podrían llegar a los 12 millones de dólares, sin contar con el valor económico de las atracciones perdidas, territorios indígenas, Parques Nacionales o zonas protegidas (Invemar, 2003).

Para identificar las áreas críticas debido al ANM, se generó una matriz que permite identificar el grado de importancia de los municipios encontrados en las áreas de estudio mediante la selección de características relevantes físicas, bióticas, socioeconómicas y de gobernabilidad. Además, se generaron una serie de criterios que representarían los objetivos del análisis; los criterios son: porcentaje de inundación del municipio en área de estudio, población afectada urbana por un ANM de 0,30 y 1 m en el año 2030 y 2100 respectivamente, porcentaje de población urbana afectada (0,30 y 1 m de ANM), infraestructura (puerto y/o aeropuerto principal), áreas de manejo especial (Áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales y áreas de protección bajo convenios internacionales). Los municipios resultantes de la matriz con una calificación de 3, son considerados de importancia alta y son calificados como áreas críticas (Invemar, 2003).

4.8.17.5 Identificación de áreas críticas

Teniendo en cuenta lo anterior, las zonas costeras e insulares de Colombia que se clasificaron como críticas fueron Cartagena de Indias, Barranquilla y Santa Marta para el Caribe, y Tumaco y Buenaventura para el Pacífico. De lo anterior, Cartagena y Tumaco son las que mayores índices de vulnerabilidad presentan para el Caribe y el Pacífico respectivamente.

- Caso de estudio Cartagena de Indias

Para el caso de Cartagena, los impactos del ascenso rápido en el nivel del mar (ARNM) más esperados son la pérdida de playas, deterioro en las vías adyacentes al mar, cambios en la dinámica del sistema de humedales costeros e

intrusión marina en el Canal del Dique. Esto traería consecuencias para el paisaje, y la calidad del agua, principalmente, lo cual se traduce en reducción del turismo y grandes pérdidas económicas para la ciudad; la pérdida de playas podría aumentar la vulnerabilidad a tormentas y huracanes, al perder la protección que éstas brindaban y aumentaría el número de personas afectadas (Tabla 4.24). Además, probablemente el mayor daño lo causaría la intrusión del agua salada en el abastecimiento de agua para la ciudad. Medidas de protección de gran envergadura deberán considerarse en sectores costeros expuestos como Castillo Grande y el Laguito (Vides, 2008).

Tabla 4.24 Población afectada con dos niveles de inundación

Localidad	UCG	Inundación moderada	Inundación fuerte	
		Personas en riesgo	Personas en riesgo	
De La Virgen y yurística	4	21.885	45.274	
	5	26.086	53.093	
	6	No inundación	40.669	
	7		12.232	
Histórica y del Caribe Norte	1	10.935	11.500	
	10	51	11.877	
	2	No inundación	8.786	
	3	5,1	11.520	
	8	No inundación	7.490	
Industrial de La Bahía	9	No inundación	9.569	
	11	No inundación	20.492	
	12	No inundación	27.471	
	13	No inundación	9.551	
	14	No inundación	23.988	
Total área urbana	15	No inundación	10.378	
			58956	303.891
	Área rural	Pasacaballos	5,1	5,1
		Bayunca	4	1.805
		La Boquilla	1.457	2.339
Tierra Bomba		288	523	
Total Área Rural		1.749	4.667	
TOTAL		60.705	308.558	

Fuente: Vides, 2008

- Caso de estudio San Andrés de Tumaco

San Andrés de Tumaco se constituye por sus condiciones geográficas como foco de crecimiento económico debido a la comunicación fluvial, además de ser el segundo puerto marítimo del Pacífico. Históricamente la ciudad ha sido afectada por varios fenómenos naturales como terremotos y tsunamis, trayendo consigo innumerables pérdidas humanas y económicas (Tabla 4.25). Teniendo en cuenta la incidencia y magnitud de estos desastres naturales se han realizado varios esfuerzos para incorporar estrategias efectivas de manejo del riesgo en las políticas del municipio, pero debido a la presencia de conflictos sociales y de inestabilidad política principalmente, no han tenido el efecto esperado. Bajo un escenario de proyección de desarrollo actual, la población urbana afectada por inundaciones debidas al aumento del nivel del mar se estima en 19% para el año 2030. En la Tabla 4.25 se presenta el número de personas que se verían afectadas ante un ascenso en el nivel del mar (Vides, 2008).

Tabla 4.25 Población afectada con dos diferentes niveles de inundación

Zona	Localidad	Inundación moderada	Inundación fuerte
		Personas en riesgo	Personas en riesgo
Zona urbana	Isla el Morro	430	1.587
	Isla Tumaco y La Victoria	9.973	12.743
	Continente	22.869	22.842
Total área urbana		33.271	37.172
Zona rural	C.C Bajo mira y frontera	2.499	4.084
	C.C Río Chagui	2.005	2.005
	C.C Tablón Salado	46	993
	C.C rescate Las Varas	No inundación	847
	Junta Prodefensa	2.583	3.729
	Sin titular	1.329	1.329
Total área rural		8.463	12.988
Total		41.734	50.159

Fuente: Vides, 2008

4.8.18 Asentamientos humanos

En Colombia, 72,6% de las zonas rurales presentan densidades de población entre 0 y 10 habitantes por Km². Las zonas menos densas se encuentran ubicadas en las regiones naturales de la Amazonia, Orinoquia y Pacífico.

4.8.18.1 Impactos potenciales y vulnerabilidad 2011 a 2040

- Impactos potenciales

Los impactos altos que se estiman para las zonas urbanas se localizarían principalmente en los departamentos de Tolima (6.700 ha), Valle (4.700 ha), Antioquia (4.400 ha), Caldas (3.600 ha) y Cesar (3.100 ha). Ver figura 4.175.

Figura 4.175 Impacto potencial en áreas urbanas 2011 a 2040

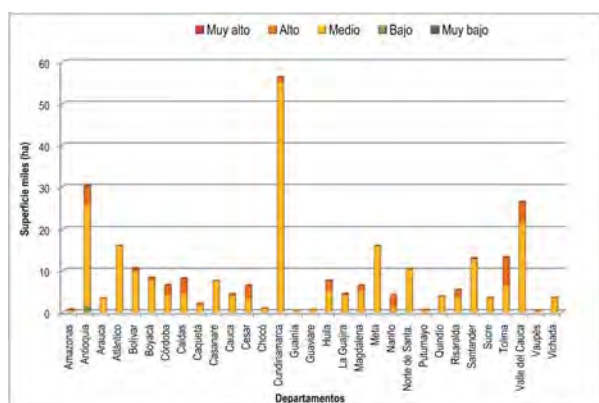
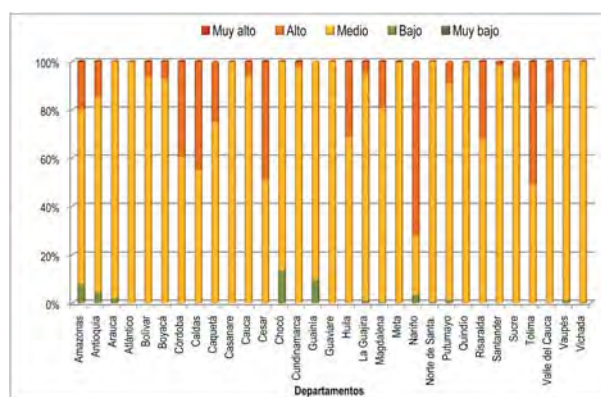


Figura 4.176 Impacto potencial en áreas urbanas 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Al analizar la proporción de las áreas urbanas frente al impacto potencial alto, se tendría que los departamentos que mayor relación tienen involucrada son: Nariño (72%), Tolima (51%), Cesar (49%) y Caldas (45%). Ver figura 4.176.

- Vulnerabilidad

La vulnerabilidad alta de las áreas urbanas para el periodo 2011 a 2040 se tendrían en los departamentos de: Tolima, Córdoba, Cesar, Huila, Nariño, con respecto a las mayores extensiones. Ver figura 4.177.

Figura 4.177 Vulnerabilidad en áreas urbanas 2011 a 2040

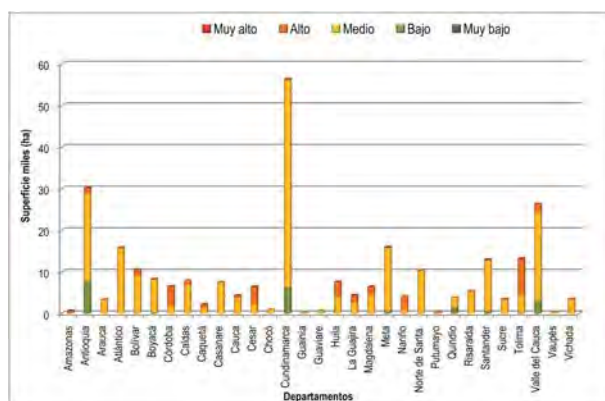
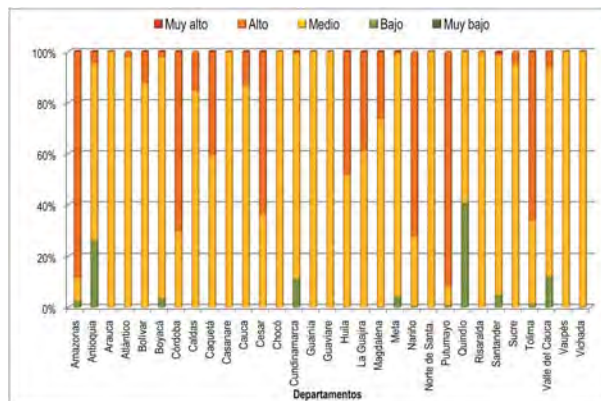


Figura 4.178 Vulnerabilidad en áreas urbanas 2011 a 2040 (%)



Fuente: Ideam-autores

Al tener en cuenta la relación del área urbana, respecto al total existente en cada departamento, sobresalen: Putumayo, Amazonas, Nariño, Córdoba y Tolima, con alta vulnerabilidad. Ver figura 4.178.

- Centros poblados y desertificación

Existen 63.540 ha en áreas urbanas que están en tierras clasificadas en desertificación, de las cuales se tiene la siguiente tabla.

Tabla 4.26 Áreas urbanas en proceso de desertificación

Cabecera municipal	Área casco urbano (ha)	%
Barranquilla	8.141	12,81
Bogotá	26.003	40,92
Bucaramanga	2.009	3,16
Cúcuta	2.607	4,10
Cali	10.151	15,98
Cartagena	2.169	3,41
Floridablanca	1059	1,67
Ibagué	4.424	6,96
Malambo	163	0,26
Montería	156	0,25
Neiva	445	0,70
Pasto	774	1,22
Sincelejo	292	0,46
Soacha	376	0,59
Soledad	2.733	4,30
Tunja	1.701	2,68
Valledupar	162	0,26
Yumbo	176	0,28
Total	63.541	100

Fuente: Ideam-Carrillo, 2008

Como se puede observar, el proceso de desertificación corresponde a capitales departamentales de gran importancia económica y concentración de la población, donde se destaca Bogotá con el 41% de su área urbana en desertificación, seguida de Cali (16%), Barranquilla (13%) e Ibagué (7%). Véase la tabla anterior (4.26).

4.9 RESULTADOS DE INTEGRAR LA VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA CON EL ÍNDICE DE LANG

A continuación se muestran los resultados obtenidos de integrar las variables de precipitación y temperatura a través del índice de clasificación climática de Lang.

En términos generales, la representación espacial de los modelos de precipitación y temperatura a través del índice de clasificación climatológica de Lang⁶², expuestos a continuación, permiten determinar en forma general que no se presentarán mayores cambios en la península de La Guajira y la región Pacífica, donde las características desérticas, en el primer caso, y súperhúmedas en el segundo, se mantendrían. De la misma forma, en la Amazonia continuarían dominando climas húmedos mientras que en los llanos Orientales persistirán climas semihúmedos, excepto en su parte sur donde paulatinamente existe un cambio de semihúmedo a húmedo. Véase la Figura 4.179 y siguientes.

4.9.1 Variaciones climáticas de Lang esperadas para el periodo 2011 a 2040

En la Figura 4.179, se muestra la clasificación climática de Lang para el periodo de referencia (1971 a 2000), también llamado normal climatológica o clima actual.

En la Figura 4.180 se encuentra la diferencia de la superposición cartográfica entre el periodo 2011 a 2040, y el periodo de referencia (1971 a 2000), donde se puede apreciar el avance de zonas que se modificarían a una condición más seca.

Las áreas identificadas en el mapa de diferencias de la clasificación climática hacia climas "más secos" según el índice de Lang se muestran en color marrón, resultado de la distinción obtenida entre el periodo futuro y el periodo de referencia (1971 a 2000), también llamado como normal climatológica o clima actual. Los valores en color verde claro, agrupan las áreas donde se tendría una clasificación similar, y así sucesivamente, tal como se muestra en la Figura 4.180. La matriz que se utilizó para la reclasificación del índice Lang, se muestra en la Tabla 4.27.

62 La clasificación de Richard Lang, establecida en 1915, utiliza la precipitación anual en mm y la temperatura media anual en °C. Los dos parámetros se relacionan mediante el cociente entre la precipitación (P) y la temperatura (T), llamado factor de Lang, y se obtienen seis clases de climas.

Tabla 4.27 Matriz para reclasificación del índice de Lang

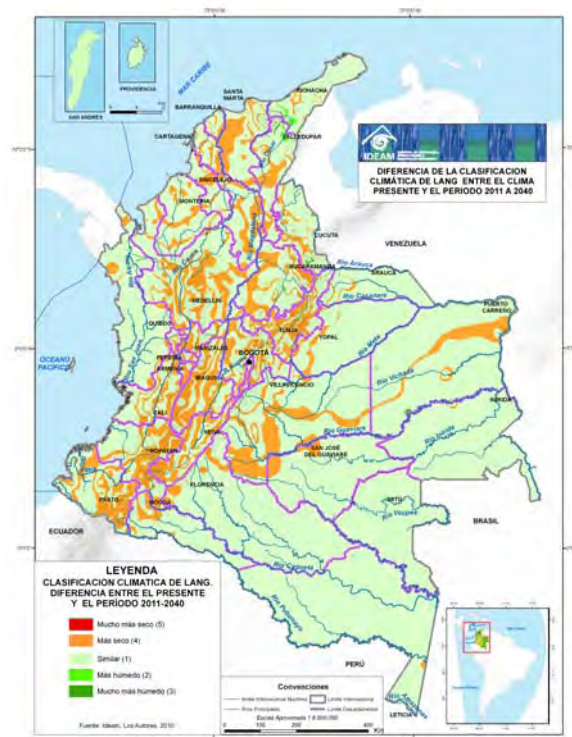
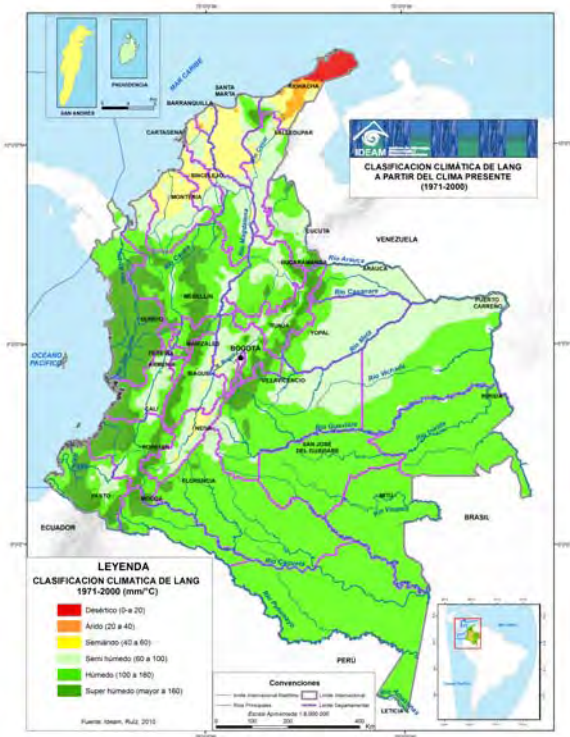
Clasificación actual (1971 a 2000) y futura (2011 a 2100)					
Superhúmedo	húmedo	Semihúmedo	Semiárido	Árido	Desértico
↑	Ms	Mms	Mms	Mms	Mms
Mh	↑	Ms	Mms	Mms	Mms
Mmh	Mh	↑	Ms	Mms	Mms
Mmh	Mmh	Mh	↑	Ms	Mms
Mmh	Mmh	Mmh	Mh	↑	Ms
Mmh	Mmh	Mmh	Mmh	Mh	↑

Fuente: Ideam-autores

Las convenciones corresponden a: Mms: Mucho más seco; Ms: Mas seco; Mh: Más húmedo; y Mmh: Mucho más húmedo. La lectura parte de la ubicación de la respectiva clasificación en la diagonal (x), con la interpretación según corresponda hacia la variación encontrada sobre la misma fila.

Figura 4.179 Clasificación climática de Lang a partir clima presente (1971 a 2000)

Figura 4.180 Diferencia de la clasificación climática de Lang entre el clima presente y el periodo 2011 a 2040

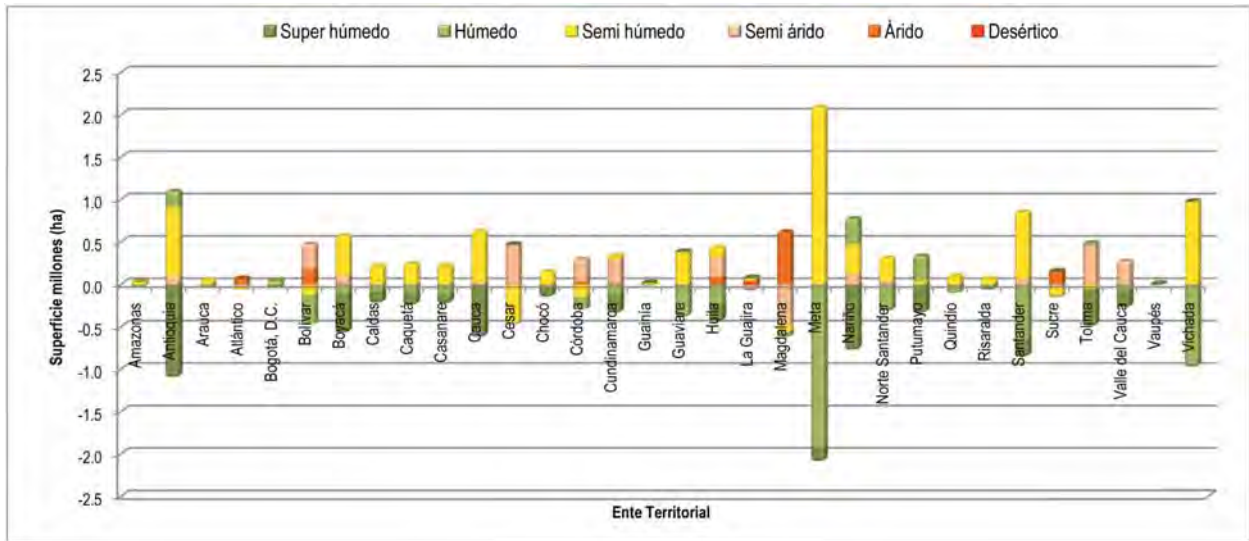


Fuente: Ideam-autores

De las figuras anteriores se puede observar la clasificación climática del periodo de referencia (1971 a 2000) y las diferencias con respecto a la clasificación climática que se tendría para el periodo 2011 a 2040. Al comparar la Figura 4.179 con la Figura 4.180, se puede observar el cambio significativo que se esperaría para el primer periodo en las áreas que se modificaría a una condición más seca, frente a los cambios totales esperados (modelados) para finales de siglo y el avance entre periodos que se ilustra a continuación.

El análisis por departamentos de la variación o diferencias en la clasificación climática de Lang para el periodo 2011 a 2040 y 1971 a 2000, con respecto al área comprometida, se presenta en la Figura 4.181.

Figura 4.181 Variación (ha) por ente territorial de la clasificación climática de Lang (2011 a 2040) - (1971 a 2000)

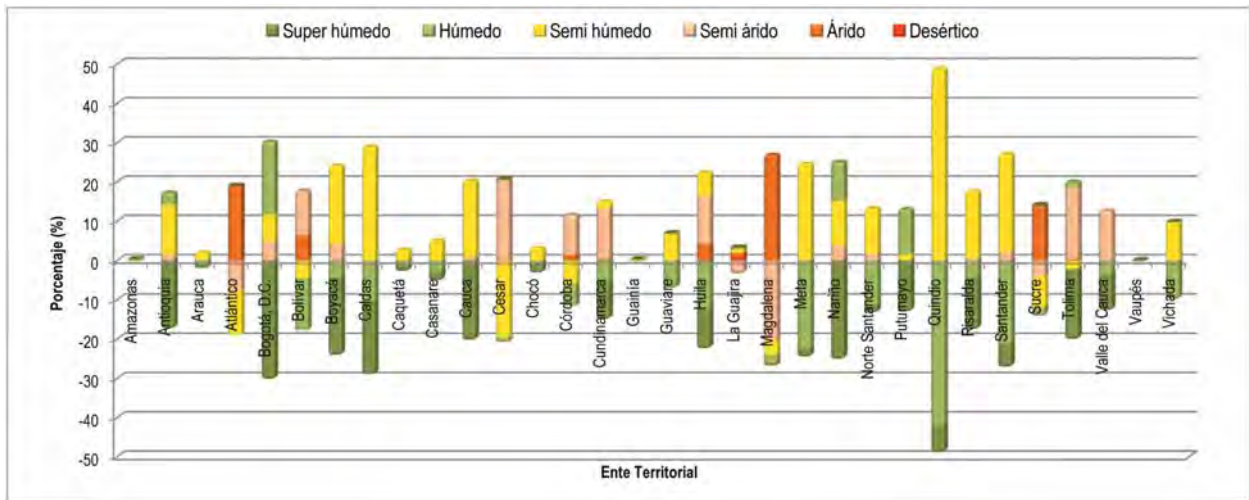


Fuente: Ideam-autores

En la región Andina, los cambios más notorios se apreciarían en sectores de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Tolima, Huila y oriente del Valle del Cauca, donde habría un cambio de clima semihúmedo a clima semiárido.

Con base en la figura anterior, los departamentos que tendrían mayor variación de área para inicios del siglo XXI, según la clasificación climática de Lang, son: Meta, Vichada, Antioquia y Santander. Dichos entes territoriales tendrían reducciones de clima superhúmedo y húmedo e incremento en climas semihúmedo.

Figura 4.182 Variación (%) por ente territorial de la clasificación climática de Lang (2011 a 2040) - (1971 a 2000)



Fuente: Ideam-autores

Al analizar la variación proporcional, con respecto a cada departamento, se encuentra que las mayores variaciones se localizan en los territorios de Quindío, Caldas, Bogotá, Santander, Boyacá y Magdalena, principalmente; con más del 25% del área de cada ente territorial. Véase la figura anterior, la cual se interpreta de forma similar a la figura que muestra la superficie comprometida. Es decir, la respectiva variación en el porcentaje que se reduce (eje inferior (-)) y el porcentaje que se ganaría (respecto al total existente en cada departamento) en el eje superior (+).

4.9.2 Variaciones climáticas de Lang esperadas entre el periodo 2041 a 2070

En la Figura 4.183 se presenta la clasificación climática de Lang para el periodo 2011 a 2040.

En la Figura 4.184 se muestra la diferencia cartográfica encontrada en la clasificación climática para el periodo 2041 a 2070 y 2011 a 2040; donde se observan las áreas que se incrementarían a una condición más seca para alcanzar la condición del siguiente periodo (2041 a 2070).

Figura 4.183 Clasificación climática de Lang para el periodo 2011 a 2040

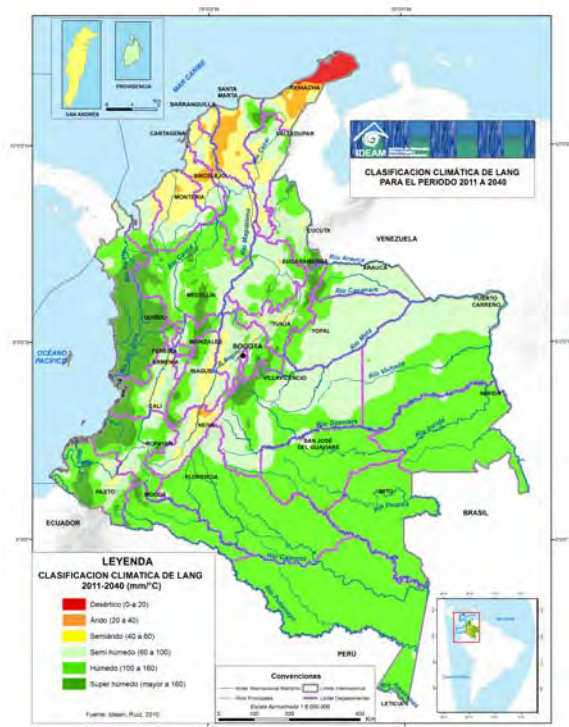


Figura 4.184 Diferencia de la clasificación climática de Lang entre 2011 a 2040 y 2041 a 2070



Fuente: Ideam-autores

De las figuras siguientes, se puede observar que el avance de las áreas que se volverían más secas se desacelera entre los periodos 2011 a 2040 y 2041 a 2070, siendo más notorio tal incremento entre los periodos de 1971 a 2000 y 2011 a 2040.

No obstante lo anterior, se mantiene el cambio significativo del avance, muy posible, del proceso de "sabanización" o cambio del bosque húmedo de la Amazonia por el clima semihúmedo que se encuentra en la Orinoquia.

4.9.3 Variaciones climáticas de Lang esperadas entre el periodo 2071 a 2100

En la Figura 4.185 se presenta la clasificación climática de Lang para el periodo 2041 a 2070.

En la Figura 4.186 se muestra la diferencia cartográfica de las superficies encontradas en la clasificación climática para el periodo 2071 a 2100 y 2041 a 2070, donde se observan las áreas que se incrementarían a una condición más seca para alcanzar la condición del siguiente periodo (finales de siglo).

De forma similar, con la variación entre los periodos 2011 a 2040 y 2041 a 2070, en la variación de la clasificación climática para los periodos 2041 a 2070 y 2071 a 2100, se encuentra un comportamiento similar, no obstante encontrarse algunos "núcleos" de incremento de áreas más húmedas en algunos sectores de Santander, Meta, Guaviare, Chocó y Nariño.

Al comparar el incremento de las áreas que se convertirían a condición más seca, se puede observar el nuevo aumento (mayor tasa) de las superficies en la llanura del Caribe, frente a la desaceleración presentada entre los periodos 2011 a 2040 y 2041 a 2070; lo cual refleja la condición cíclica de las modificaciones que se presentarían.

Figura 4.185 Clasificación climática de Lang para el periodo 2041 a 2070

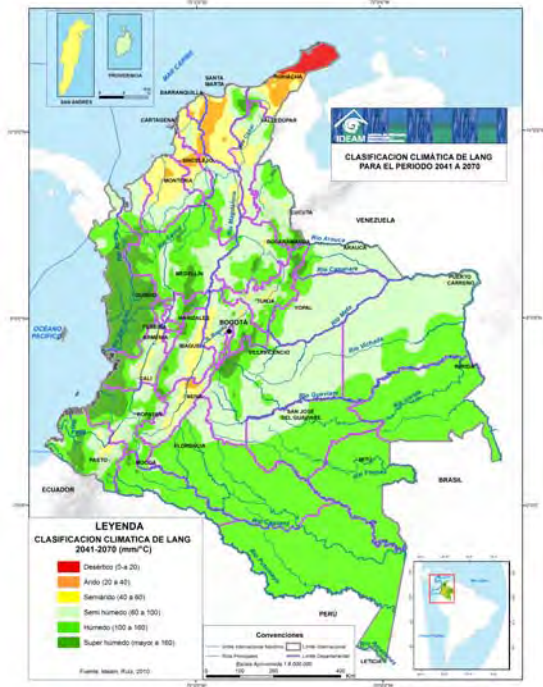
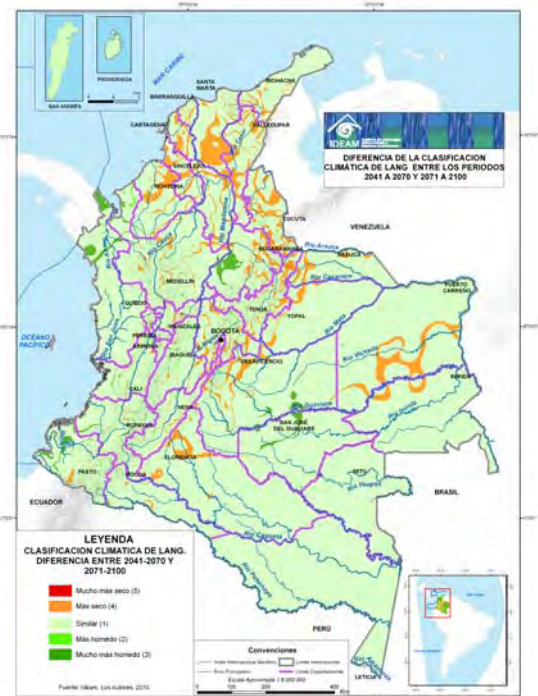


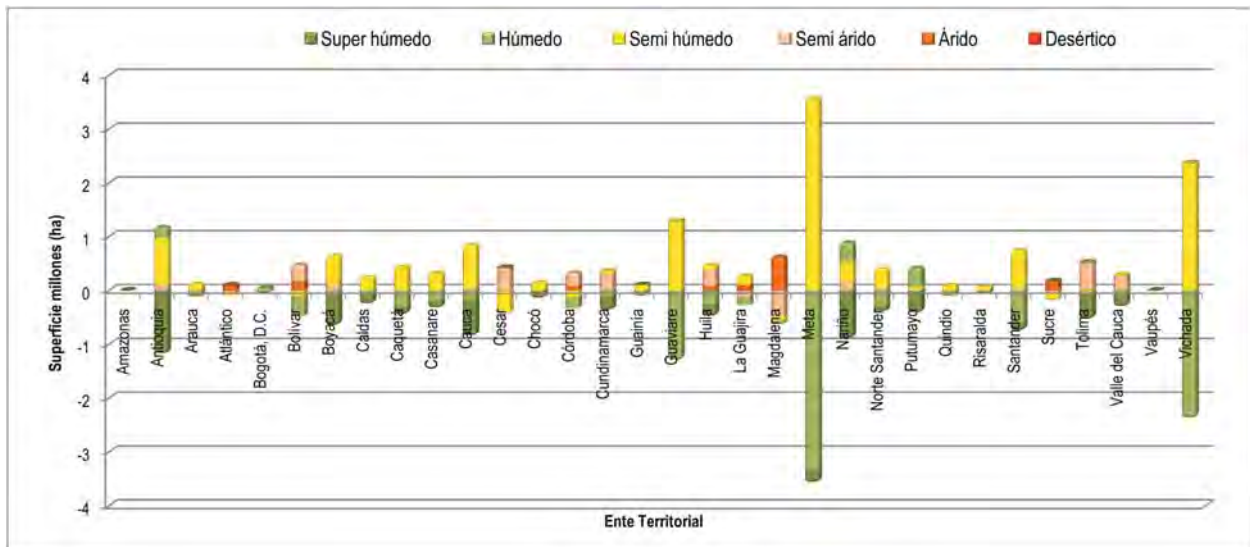
Figura 4.186 Diferencia de la clasificación climática de Lang entre 2041 a 2070 y 2071 a 2100



Fuente: Ideam, 2010

En la Figura 4.187, se tabula la diferencia de la clasificación climática entre el periodo 2041 a 2070 y el periodo de referencia o clima actual (1971 a 2000).

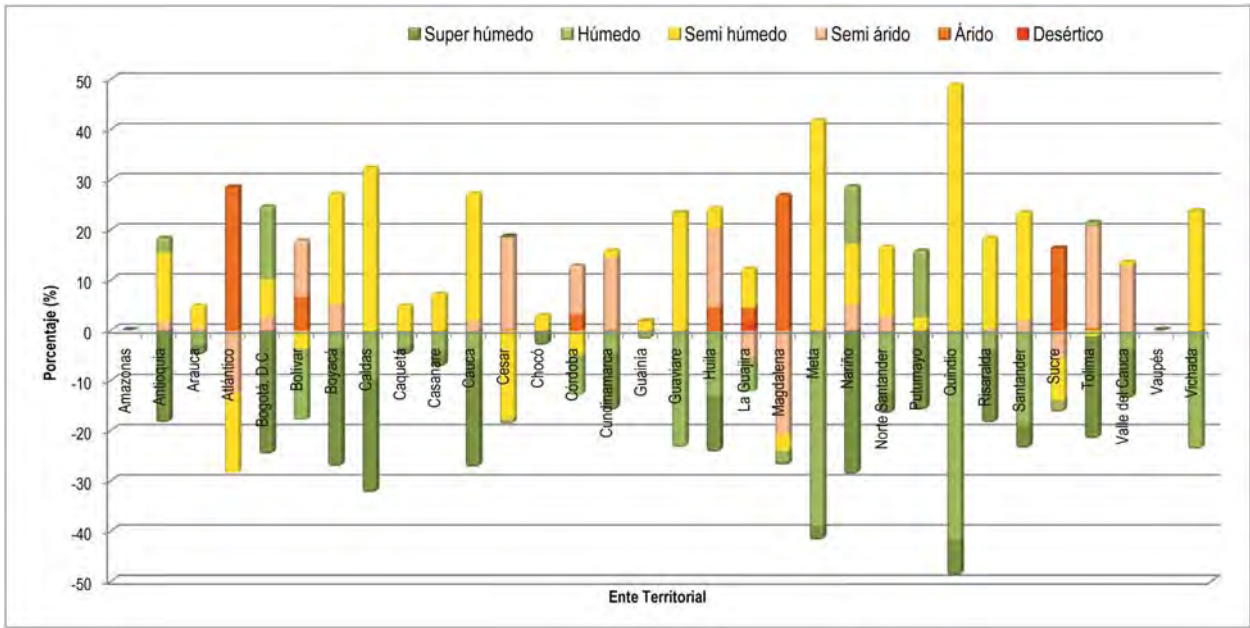
Figura 4.187 Variación por ente territorial de la clasificación climática de Lang (2041 a 2070) - (1971 a 2000)



Fuente: Ideam-autores

Los mayores cambios que se tendrían en superficie para la diferencia entre 2041 a 2070 y 1971 a 2000, se mantienen de forma similar al registrado entre los periodos anteriores.

Figura 4.188 Variación (%) por ente territorial de la clasificación climática de Lang (2041 a 2070) - (1971 a 2000)



Fuente: Ideam-autores

En términos generales, los cambios esperados en la clasificación climática para el periodo 2041 a 2070, con respecto al periodo de referencia (1971 A 2000) se tendrían en gran parte del territorio Andino, Caribe y corredor de transición Orinoquia - Amazonia, donde se encontrarían los cambios a condiciones más secas. Véase la Figura 4.188.

4.9.4 Variaciones climáticas de Lang esperadas para el periodo 2071 a 2100 frente a 1971 a 2000

La clasificación climática de Lang para el periodo final (2071 a 2100) se presenta en la Figura 4.189. En la Figura 4.190 se muestra la diferencia climática (variación) entre los periodos 1971 a 2000 y 2071 a 2100.

Figura 4.189 Clasificación climática de Lang para el periodo 2071 a 2100

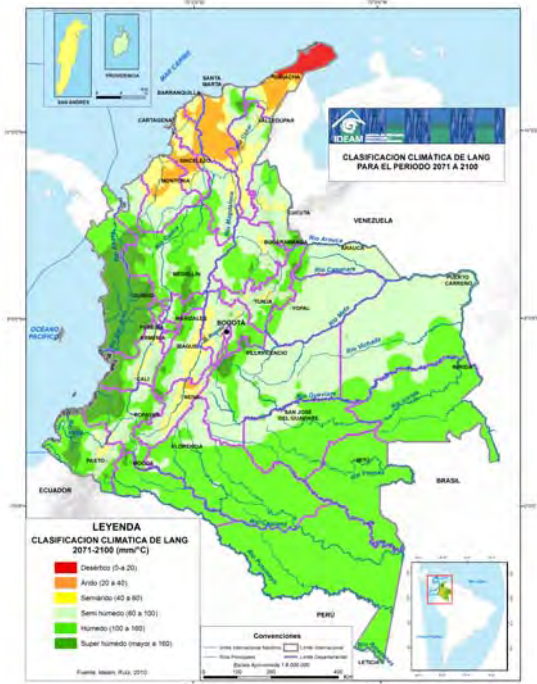
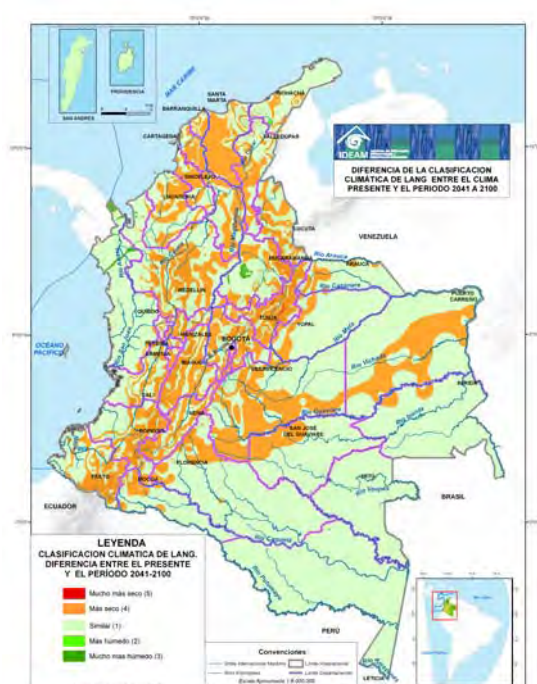


Figura 4.190 Diferencia de la clasificación climática de Lang entre 1971 a 2000 y 2071 a 2100

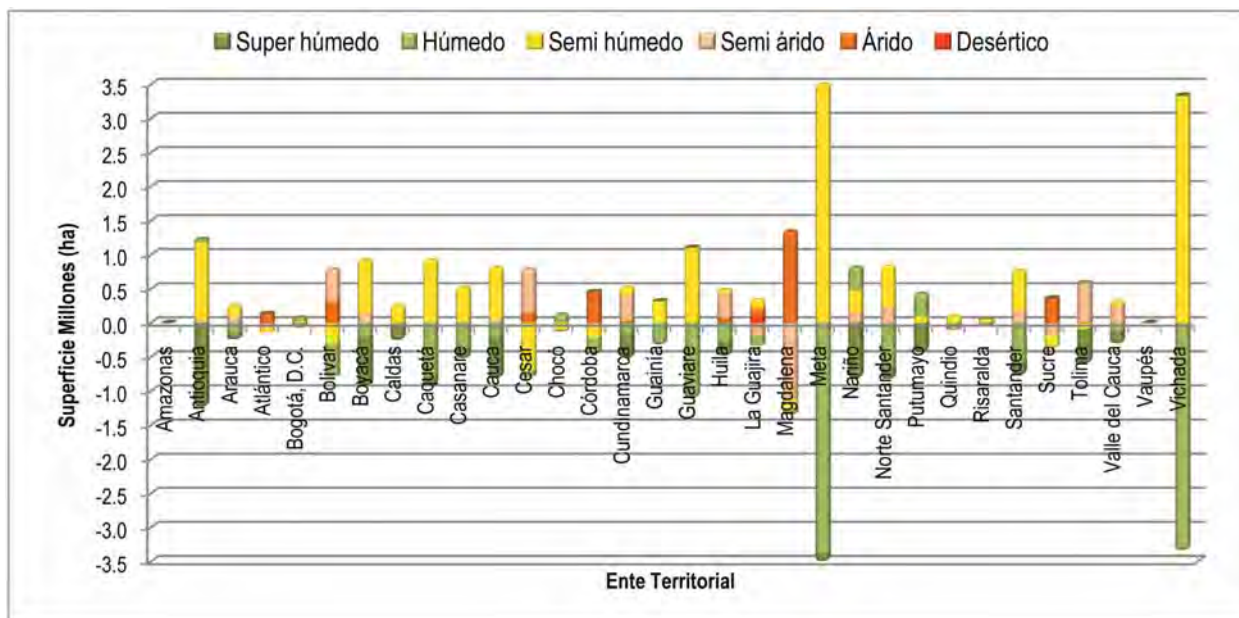


Fuente: Ideam-autores

Del mapa de diferencias climáticas se destaca la proporción de áreas que cambiarían a una condición más seca en la región Andina, llanura del Caribe y frontera entre la región de la Orinoquia con la Amazonia. Las áreas donde se incrementa la humedad son relativamente muy pequeñas comparadas con las áreas se convertirían a una condición más seca.

El comportamiento de la clasificación climática de Lang para finales de siglo, comparado con las condiciones de referencia (1971 a 2000), por ente territorial se presenta en la Figura 4.191.

Figura 4.191 Diferencias de la variación de la clasificación climática de Lang entre 2071 a 2100 y 1971 a 2000

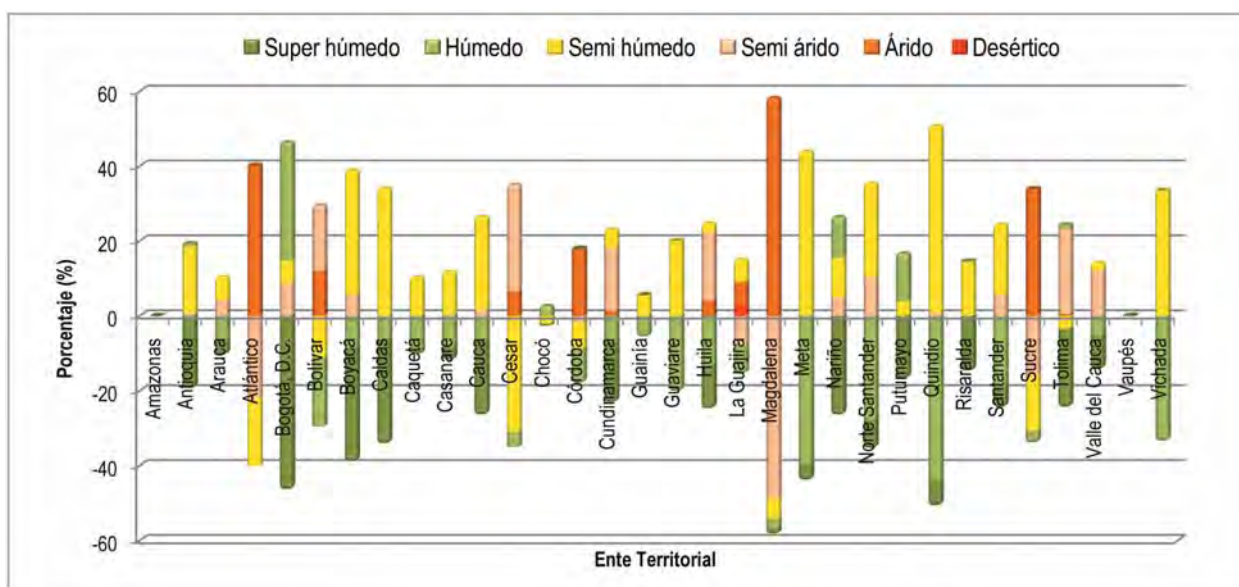


Fuente: Ideam-autores

En la Figura 4.191 se muestra la diferencia o modificación en área de la clasificación climática que se esperaría para finales de siglo, frente a los valores del periodo de referencia (1971 a 2000). En extensión, los mayores cambios por ente territorial hacia una condición más seca (en términos relativos) se tendrían en el Meta, Vichada y Antioquia.

Llama la atención por la severidad, variaciones en más de una categoría, por ejemplo de húmedo a semiárido, en los departamentos de Valle del Cauca, Tolima, Cundinamarca y Bolívar, para citar algunos casos.

Figura 4.192 Diferencias (%) de la variación de la clasificación climática de Lang entre el 2071 a 2100 y 1971 a 2000



Fuente: Ideam-autores

En términos de variación porcentual por departamento que se esperaría para finales de siglo, con respecto a las encontradas en el periodo de referencia, las mayores alteraciones se tendrían en los territorios de Magdalena, Quindío, Bogotá, Meta y Atlántico. Véase la Figura 4.192.

4.9.5 Variación climática de Lang sobre el total nacional

La cuantificación de la variación de las superficies que se podría presentar con base en la clasificación climática de Lang se muestra en las figuras 4.193 y 4.194.

Figura 4.193 Condición de referencia y variación de la clasificación climática de Lang

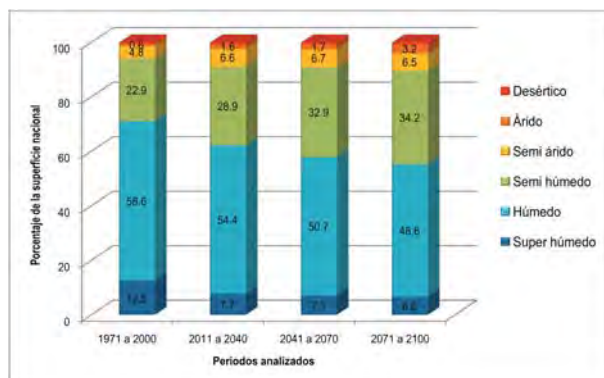
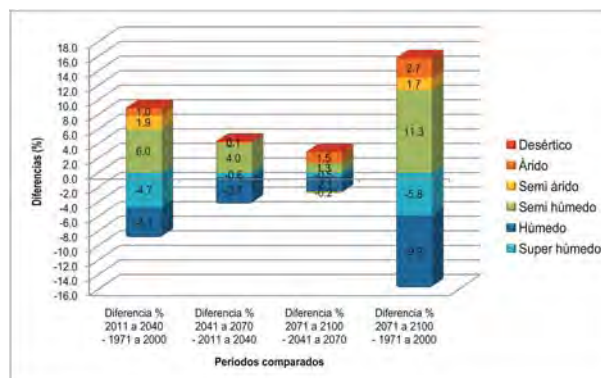


Figura 4.194 Variación porcentual de la clasificación climática respecto a los diferentes periodos de análisis



Fuente: Ideam-autores

De las figuras anteriores se destaca el aumento progresivo de los climas semihúmedos con la respectiva reducción de los climas clasificados como húmedos y superhúmedos, tanto en el total porcentual del país (Figura 4.193) que se esperaría para cada periodo, como la variación o cambio entre cada uno (Figura 4.194).

En la Figura 4.193, se puede observar la fuerte reducción progresiva, desde el periodo de referencia hasta finales de siglo (aprox. 10%) en la extensión de las áreas clasificadas como húmedas, según la transición desde el periodo inicial (59%) hasta finales de siglo (48%).

En la Figura 4.194, se muestran las diferencias entre cada uno de los periodos comparados. Se destaca el incremento esperado a finales de siglo (periodo 2071 a 2100 y 1971 a 2000) en las áreas semihúmedas, en una proporción cercana a 12% del territorio nacional, junto con aumento de las áreas semiáridas (2%) y áridas (3%), a costa de las áreas clasificadas como húmedas (10%) y superhúmedas (6%)⁶³.

En resumen, con base en el índice de clasificación climático de Lang, el cambio climático generará un aumento cercano a 16% en zonas más secas con respecto a las existentes en el clima actual, especialmente en climas semihúmedos, semiáridos y áridos, con la respectiva reducción de áreas superhúmedas y húmedas.

Los efectos e impactos que se desprenden de los análisis anteriores se pueden abordar inicialmente con las siguientes consideraciones:

Si se tiene en cuenta que la proporción de especies siempreverdes y de especies caducifolias depende de la distribución estacional de la precipitación, pues mientras más se prolongue el periodo seco, mayor será el número de especies caducifolias; asimismo, puesto que los árboles caducifolios utilizan el agua que se encuentra en los horizontes superficiales (Goldstein, Meinzer & Andrade, 2002, p. 252 ss), se podrían plantear significativas alteraciones en la composición y estructura de las coberturas que resulten afectadas por las variaciones del clima en cuanto a precipitación y temperatura reflejadas a través del índice de Lang. Tales efectos repercutirían principalmente sobre las especies que no sean capaces de lograr una relativa homeostasis en sus funciones por mayores demandas evaporativas, razones que harían pensar a su vez en desequilibrios en los regímenes de disponibilidad de recursos hídricos superficiales. Así las cosas, el riesgo a la degradación ecosistémica sería significativo sobre tales áreas de cambio en la clasificación climática.

Adicionalmente, puesto que una parte de la fijación de CO₂ está estrechamente ligada con la pérdida de agua y demás relaciones hídricas, excepto quizá en los sitios húmedos (Zotz & Andrade, 2002, p. 286) y dado que se podrían presentar cambios a climas más áridos o secos en áreas que vienen siendo intervenidas en las siguientes décadas, es importante avanzar en el conocimiento de la respuesta de las diferentes coberturas, frente a la disponibilidad de agua. Tales efectos potenciales tendrían que evaluarse en función de la fragmentación y el microclima de ecotonos respecto a los déficits hídricos, la ganancia de carbono y la pérdida de agua de biomasa (fijación de CO₂).

Debe tenerse en cuenta, además, que si bien los rangos de variación de la temperatura anual arrojados por los modelos son mucho más pequeños en las latitudes bajas que los rangos hacia las altas latitudes, gran parte de los ecosistemas del país son el producto de unas sucesiones regidas o desarrolladas con una baja variabilidad en la temperatura. Por lo anterior, es necesario evaluar los potenciales cambios e impactos que se podrían presentar por las alteraciones en los promedios, los incrementos de variabilidad en los extremos y los regímenes de los diferentes elementos meteorológicos, pues una pequeña modificación en los ritmos o secuencias de ocurrencia podría ser significativa para las cadenas tróficas y demás relaciones ecológicas dentro y alrededor de cada ecosistema.

Adicionalmente es necesario tener en cuenta que la ganancia relativa en el clima clasificado como semihúmedo se realiza a cargo de otros climas más húmedos.

Asimismo, se puede ver que la composición climática se orienta hacia finales de siglo con variaciones donde prevalecen los cambios hacia condiciones más secas, tal como se ilustró en los mapas anteriores que acumulan los cambios de la clasificación climática hacia climas más secos, a través del color marrón de la leyenda.

4.10 SENSIBILIDAD AMBIENTAL Y RELACIONES CON LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS

A continuación se efectúa una comparación entre los resultados de los escenarios climáticos y la sensibilidad ambiental, con el fin de identificar y aprovechar las ventajas de cada uno de ellos.

La situación actual de Colombia ante la variabilidad climática⁶⁴ y el cambio climático se basó en el análisis de la sensibilidad ambiental, establecido a través del índice de sensibilidad ambiental (ISA⁶⁵). Dicho proceso metodológico se explicó atrás, el cual permite abordar de manera general y entender cuáles áreas son más propensas a la degradación o deterioro por los efectos adversos de la variabilidad climática.

Tal sensibilidad ambiental se refiere a las condiciones de susceptibilidad del territorio, situación por la cual no lleva aún ningún análisis de la capacidad de adaptación y por tanto se refiere a la vulnerabilidad inherente. En tal contexto, el índice de sensibilidad ambiental incluye atributos del suelo (pendientes y profundidad efectiva), cobertura de la tierra (en función de la protección del suelo), análisis mensual del índice de aridez (precipitación/evapotranspiración), alteración de ecosistemas y erosión en zonas secas y representa por ende un análisis de la condición actual frente a cualquier evento climático adverso. Es decir, la sensibilidad ambiental determinada, refleja en gran parte a través de las condiciones y factores edáficos⁶⁶, las expresiones más recientes de las fuerzas de cambio sobre la superficie terrestre. En resumen el paisaje natural es la expresión más clara de la interacción del clima y la geología a través del tiempo sobre un territorio o ambiente.

En efecto, se puede interpretar que el índice de sensibilidad ambiental frente al cambio climático expresa de forma gráfica, los factores formadores del paisaje⁶⁷, que en suma conlleva a establecer el grado de vulnerabilidad inherente, condición que es relativamente consistente con los resultados obtenidos por Ruíz-Ideam (2010) con los modelos de alta resolución, como se discute a continuación.

4.10.1 Relaciones entre la sensibilidad ambiental y el índice de Lang

Al tener en cuenta los resultados del índice de Lang, se puede destacar la coincidencia de las características más exigentes para los ecosistemas al identificar climas más secos (semiárido, árido y desértico) con las categorías de alta

64 La Variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones observadas en el clima durante períodos de tiempo relativamente cortos. Durante un año en particular, se registran valores por encima o por debajo de lo normal. La Normal Climatológica o valor normal, se utiliza para definir y comparar el clima y generalmente representa el valor promedio de una serie continua de mediciones de una variable climatológica durante un periodo de por lo menos 30 años.

65 Documento interno de Análisis realizado por la Subdirección de Estudios Ambientales del Ideam (2010).

66 Por factores edáficos generalmente se hace alusión a la composición química y física del suelo con relación al soporte ecosistémico. En este análisis se incluyeron condiciones físicas, mientras las químicas están reflejadas indirectamente por la cobertura vegetal.

67 "Un paisaje terrestre está hecho por rocas, construido por las fuerzas internas de la tierra, que han actuado a través del tiempo geológico, en presencia de la vida." Bloom (1973), citado por Villota (1991, p. 13).

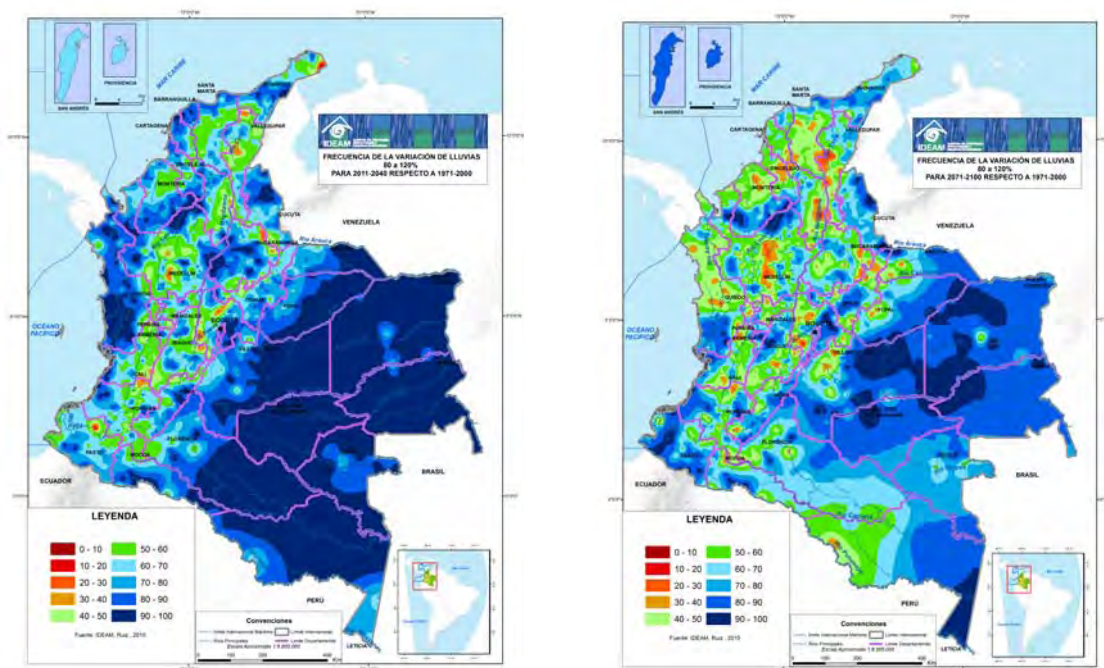
a muy alta sensibilidad ambiental, especialmente en la región Caribe. Asimismo ocurre con las condiciones semihúmedas con el índice de sensibilidad moderado en buena proporción de la región Andina y gran parte de la Orinoquia. Las clasificaciones húmedas y superhúmedas tendrían una alta correspondencia con las categorías de muy baja y baja sensibilidad ambiental, las cuales se localizan especialmente las regiones Amazonia y Pacífico. Veanse las figuras 4.179 siguiente con la 4.198.

La importancia de la sensibilidad ambiental a través del índice desarrollado (ISA) radica en la identificación de las áreas que son por su condición inherente más vulnerables, mejorando así un resultado que tiene una mayor certidumbre. Es decir, al tomar la complejidad y dificultades de alcanzar la probabilidad de ocurrencia de un determinado escenario con sus respectivos resultados a largo plazo, cobra importancia identificar las diferentes áreas que podrían resultar alta o seriamente comprometidas con sus bienes y funciones ecosistémicas. Tales resultados precisamente fueron complementados con el análisis del juicio de expertos a través del índice relativo de afectación (IRA), donde se destacan los ambientes o territorios que podrían ser más afectados por las condiciones del peor escenario de un cambio climático, el cual se asumió con la mayor disminución de precipitación y el mayor aumento de temperatura. Véase la Figura 4.29, del índice relativo de afectación (IRA).

4.10.2 Coincidencias del ensamble multimodelo de precipitación

Adicionalmente, si se toma en cuenta que todos los escenarios de emisión deben ser considerados plausibles⁶⁸ y puesto que resulta difícil conocer la probabilidad de ocurrencia de los mismos de manera formal, con el fin de realizar una aproximación de la variación esperada de la lluvia, se corrieron varios escenarios con diferentes modelos⁶⁹ y condiciones iniciales como un proceso "ad hoc" para establecer la frecuencia de ocurrencia. Los resultados para los periodos 2011 a 2040 y 2071 a 2100 con las frecuencias de ocurrencia para variaciones de más o menos 20%, con respecto al periodo de referencia (1971 a 2000) que se muestran en la Figura 4.195.

Figura 4.195 Mapas de frecuencias de la variación de lluvia (80 a 120%) por periodo (2011 a 2040 Izq. y 2071 a 2100 Der.)



Fuente: Ideam-Ruiz, 2010

Nota: La escala gráfica en % expresa la ocurrencia por rango del ensamble multi-modelo

En el mapa del lado izquierdo de la Figura 4.195, del ensamble multimodelo (2011 a 2040), el rango de matices verdes más oscuros (80 a 100% de frecuencia de ocurrencia) refleja una condición de reducción o incremento del 20% con respecto al clima presente (1971 a 2000) para gran parte de la Amazonia, Orinoquia y el departamento del Chocó. En la zona central de Antioquia, valle del Magdalena en Tolima y Cundinamarca y, sur de los departamentos de Bolívar y Magdalena, la condición refleja menor frecuencia en la coincidencia (30 a 50%) para las condiciones

68 Según Jones et al (2004), un escenario de emisión es un resultado plausible y consistente que ha sido construido para explicar las consecuencias potenciales de la influencia de las actividades humanas sobre el clima.

69 Escenarios A2, B2, A1B(S) para 2011 a 2070; y A2 B2(S) para 2071 a 2100. S: sulfatos. Con tres modelos regionales utilizados.

normales de la precipitación o clima normal; es decir, en la áreas demarcadas con los colores amarillo (30 a 50%) y rojos (<30%) se encontró una mayor posibilidad de variación (menor frecuencia en la coincidencia del ensamble multimodelo) con respecto al clima de referencia (1971 a 2000). El mapa (derecho) para el periodo (2071 a 2100) muestra una mayor posibilidad de variación (rangos con menor frecuencia) con respecto al rango normal de lluvia adoptado (80 a 120%).

Por lo tanto, los modelos utilizados en el ensamble tienen mayor coincidencia en el futuro cercano (2011 a 2040) que a finales de siglo (2071 a 2100), especialmente en la región de la Orinoquia y la Amazonia, donde hay menor complejidad introducida por las condiciones donde no hay orografía.

Es decir, tal ejercicio donde se asume la lluvia dentro de un rango normal (80 a 120%), podría ser aprovechado para establecer la posibilidad de que el valor de la lluvia tomado como referencia (1971 a 2000) varíe más allá del rango normal. Es decir, podría esperarse una mayor variación del promedio de lluvia normal (menor coincidencia en los modelos) en aquellas áreas que se representan con colores del tono amarillo a rojo.

4.10.3 Comparación entre los escenarios de precipitación y la sensibilidad ambiental

En gracia de una discusión proactiva para identificar las regiones donde se pueden presentar efectos adversos de una reducción de la precipitación (por ejemplo) y por ende reducir los impactos negativos o riesgos (sin considerar la capacidad de adaptación por ahora), resulta apropiado tomar en cuenta la sensibilidad ambiental obtenida con el mapa de la Figura 4.196. El análisis se enfoca en la identificación de coincidencias del escenario (reducción de la precipitación > 15%) con la mayor sensibilidad ambiental, tal como se muestra en la Tabla 4.28.

Tabla 4.28 Comparación de resultados de los escenarios A2 (2071-2100) con el ISA

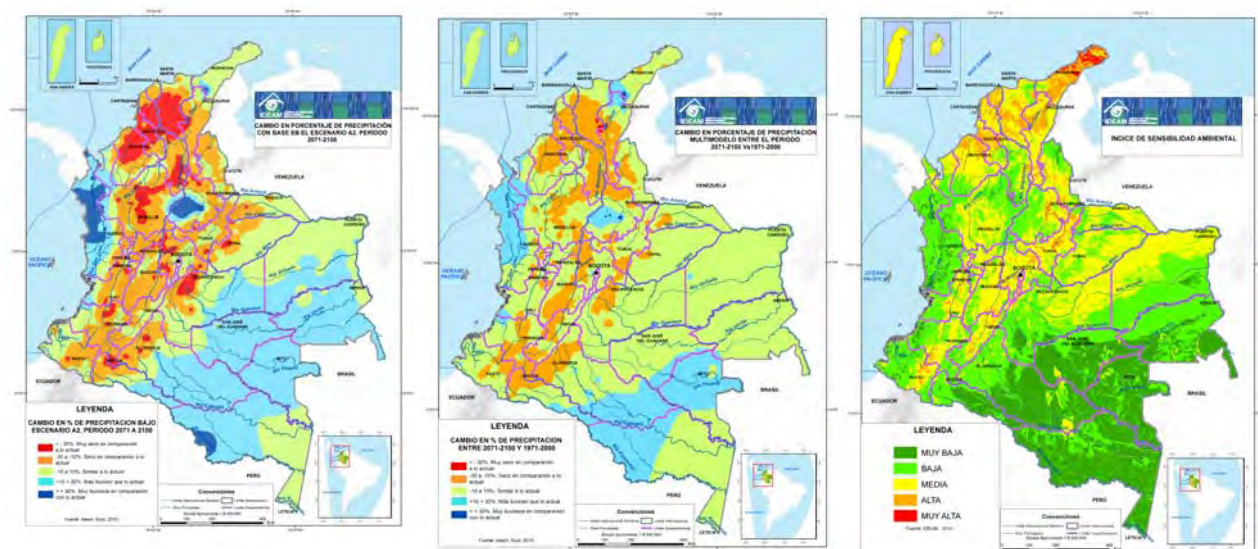
Departamentos	Ideam-Ruiz (2010) reducción >15% (*)	Ideam-Ruiz (2010) Reducción > 30% (**)	UNal.-Pabón (2005) <30%	UNal.-Pabón (2005) 10 a 30%	ISA (Alto y muy Alto)
Atlántico	x	x	x	x	x
Bolívar	x	x	x	x	x
Córdoba	x	x	x	x	x
La Guajira			x	x	x
Magdalena	x	x	x	x	x
Cesar	x	x		x	x
Sucre	x	x	x	x	x
Antioquia	x	x	x	x	
Boyacá	x	x	x	x	x
Caldas	x	x		x	
Caquetá	x	x		x	
Cauca	x	x	x	x	x
Cundinamarca	x	x	x	x	x
Huila		x	x	x	x
Meta	x	x		x	
Nariño		x	x	x	x
Norte de Santander		x	x	x	x
Putumayo		x		x	
Risaralda	x	x		x	
Santander		x		x	x
Tolima	x	x	x	x	x
Valle del Cauca	x	x	x	x	x

Fuente: Ideam-autores

Notas: *: Tomado de tabla p. 41; **: según mapa: p. 53 de la Nota técnica 005/2010.

Con base en la tabla anterior, los resultados departamento con reducción de la lluvia (> 15%) del escenario A2 en el periodo 2071 a 2100, coincidentes con las áreas de los departamentos que presentan una mayor sensibilidad (ISA muy alta y alta), se encuentran en la región Caribe: Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, Magdalena y Córdoba; además de los ubicados en la región Andina: Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Tolima y Valle del Cauca. Lo anterior corrobora en buena medida la consistencia cartográfica de las variables empleadas para obtener los índices de sensibilidad ambiental mas restrictivos con respecto a los rangos más impactantes de los escenarios de precipitación. Los mapas con los escenarios de precipitación A2 y ensamble multimodelo para el periodo 2071 a 2100, junto con el mapa del índice de sensibilidad ambiental (ISA) se presentan a continuación.

Figura 4.196 Cambio (%) de la precipitación escenario A2 (2071 a 2100)
Figura 4.197 Mapa del ensamble multimodelo de precipitación (2071 a 2100)
Figura 4.198 Mapa de sensibilidad ambiental (ISA)



Fuente: Ideam-autores.
Nota: Incluye análisis de decisión según las categorías de entrada

Por lo anterior, es procedente destacar que el trabajo climático y geológico de la naturaleza por varios cientos de años sobre un territorio, se encuentra reflejado de diversas formas a través de las expresiones fisiográficas que se incluyeron en el índice de sensibilidad ambiental. Dicho índice ayuda a "corregir o ajustar" el modelo empleado para obtener la vulnerabilidad, máxime si se tiene en cuenta frente la incertidumbre en los resultados de los modelos climáticos a largo plazo.

4.11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las siguientes conclusiones pretenden mostrar de manera sintetizada, los aspectos más relevantes o sustanciales del análisis de vulnerabilidad realizado.

Con base en la evaluación de los modelos climáticos globales que mejor representan el clima regional y con la ayuda de modelos climáticos regionales de alta resolución espacial, se simularon diversos escenarios climáticos que podrán ocurrir sobre el territorio colombiano en los próximos decenios y durante el siglo XXI. El escenario de cambio climático más probable es el siguiente:

- Teniendo en cuenta el incremento promedio de la temperatura (0,13°C/década para el país) en el periodo de referencia (1971-2000), reflejado principalmente en los departamentos de Córdoba, Valle, Sucre, Antioquia, La Guajira, Bolívar, Chocó, Santander, Norte de Santander, Cauca, San Andrés, Tolima y Caquetá; y las reducciones más significativas de la precipitación total anual (mm/década) registradas en los departamentos de Putumayo (-6,14), Atlántico (-5,88), Arauca (-3,86), Guaviare (-3,85), Boyacá (-3,60) y Cundinamarca (-3,00); se encuentran señales evidentes de cambios significativos con efectos adversos y diferenciados para el territorio colombiano, las cuales se manifestarían principalmente a finales del siglo XXI.
- En los departamentos donde se registraron mayores incrementos de precipitación total anual por década son: Quindío (0,58), San Andrés (0,67), Cesar (1,47), Cauca y Vaupés (1,64), Guainía (2,14) Antioquia (2,31), Chocó (3,34) y Caldas (3,88).
- Los valores medios proyectados de la temperatura mínima, alcanza aumentos del orden de 1,1 °C para el 2011-2040; 1,8 °C para 2041-2070 y 1,9°C para 2071-2100.
- Las proyecciones arrojan aumentos para los valores medios de temperatura máxima del orden de 1,5°C para el 2011-2040; 2,3°C para 2041-2070 y 3,6°C para 2071-2100, indicando que los días serán más cálidos respecto al período de referencia 1971-2000. Lo anterior corrobora los análisis que el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) ha venido mostrando en el contexto mundial en este sentido. Los aumentos más significativos de la temperatura media se esperarían en gran parte de las regiones Caribe y Andina especialmente en los departamentos de Sucre, Norte de Santander, Risaralda, Huila y Tolima.

- Con base en los resultados del ensamble de modelos regionales de alta resolución, se encontró que la temperatura promedio del aire en Colombia aumentará 1,4°C para los años 2011 a 2040; 2,4°C para 2041 a 2070 y 3,2°C para el periodo 2071 a 2100. Los aumentos más significativos se ubicarían en los departamentos de Norte de Santander, Risaralda, Huila, Sucre y Tolima.
- Con base en los escenarios que involucran una mayor emisión de GEI, se estima que las reducciones más significativas de lluvia se darían especialmente, en gran parte de los departamentos de la región Caribe; ellos serían: Sucre (-36,3%), Córdoba (-35,5%), Bolívar (-34,0%), Magdalena (-24,6%) y Atlántico (-22,3%). En la región Andina, los departamentos de Caldas (-21,9%) y Cauca (-20,4%) tendrían igualmente importantes reducciones en los volúmenes de precipitación media anual.
- Los aumentos de lluvia para el siglo XXI proyectados por los escenarios de cambio climático se ubicarían especialmente en gran parte de los departamentos de: Vaupés, Chocó, Guainía, Amazonas, San Andrés y Vichada. Para la sabana de Bogotá, los escenarios de cambio climático con mayor cantidad de emisiones de GEI analizados, muestran reducciones de lluvia del orden de: -11,6% para el período 2011-2040; -16,1% para el 2041-2070 y del -3,4% para 2071-2100, con respecto a la climatología del período de referencia 1971-2000.
- Los escenarios de cambio climático proyectados para el siglo XXI en el territorio nacional, muestran que la lluvia se reduciría no más de 15%; o sea, continuaría lloviendo alrededor de 85% de precipitación total anual según el periodo 1971-2000. Las mayores reducciones de lluvia para el resto del siglo XXI, se esperarían en diferentes regiones de los departamentos de Huila, Putumayo, Nariño, Cauca, Tolima, Córdoba, Bolívar y Risaralda; en algunos de estos departamentos dichas reducciones se empezarían a evidenciar desde el periodo 2011-2041, en particular en Huila, Cauca, Nariño, Risaralda y Tolima. No obstante, las proyecciones de los escenarios más “pesimistas” (A2 y A2 con sulfatos) presentan reducciones hasta de 36% en promedio, sobre algunos sectores de Colombia, especialmente para el periodo 2071-2100, es decir, la precipitación sería 64% con respecto a la media 1971-2000.
- La sensación térmica (confort) podría tener un impacto significativo en la población, teniendo en cuenta el sentido de la incomodidad térmica que se esperaría en gran parte de las regiones Caribe, Orinoquia, Amazonia y a lo largo de los valles del Magdalena y Cauca en la zona Andina. En las zonas de cordillera, las sensaciones térmicas de frío y muy frío se estarían reduciendo paulatinamente.
- Los resultados de las proyecciones de cambio climático, indican que la humedad relativa se reduciría en Colombia a lo largo del siglo XXI, con respecto a 1971-2000, en proporciones cercanas al: 1,8% para el 2011-2040; 2,5% para 2041-2070 y 5,0% para 2071-2100; las disminuciones más significativas de esta variable meteorológica a lo largo del siglo XXI, de acuerdo con los análisis generados, se manifestarían desde el periodo 2011-2040 en gran parte de los departamentos de: Tolima, Quindío y Huila; y paulatinamente, para mediados y finales de siglo, se extenderían a otros departamentos como: Sucre, Bolívar, Cesar, La Guajira, Norte de Santander, Cauca, Cundinamarca, Santander, Nariño y Risaralda. Con base en los resultados del ensamble de los modelos de alta resolución y según la clasificación climática de Lang, la Península de La Guajira mantendría sus características desérticas; en el Chocó continuaría prevaleciendo el clima superhúmedo, la Amazonia seguiría siendo húmeda, y en gran parte de los Llanos Orientales continuará el clima semihúmedo. Los cambios más significativos se esperarían en la región Caribe, que cambiaría de un clima semihúmedo (condiciones actuales) a semiárido y luego a árido para finales del siglo XXI. En la región Andina, los cambios más notorios se prevén por una transición de clima semihúmedo a clima semiárido, lo cual se presentaría en diferentes áreas de Cundinamarca, Boyacá, Tolima, Huila y oriente del Valle del Cauca, especialmente.

Con base en el escenario de precipitación y temperatura (2071 a 2100) y la estimación indirecta (balance hídrico) a partir de los resultados del modelo *Precis*, respecto a la condición promedio de referencia, se tendrían reducciones alrededor del 30% de la escorrentía promedio en las cuencas de La Guajira, Bajo Magdalena, parte del Litoral Caribe, Alto Magdalena, Napo, Saldaña, Cesar y Patía, que abarcan los departamentos de La Guajira y parte de los departamentos del Magdalena, Cesar, Atlántico, Bolívar, Huila, Tolima y Cundinamarca. De acuerdo con el modelo desarrollado para el análisis de la vulnerabilidad por el Ideam, los siguientes ecosistemas y sectores presentan mayor prioridad:

Orobioma Alto Andino

- Los impactos potenciales muy alto y alto que se podrían dar en los ecosistemas del Orobioma Alto Andino para el periodo 2011 a 2070, cubren más de 70% de dicho orobioma en el territorio nacional (4.300.000 ha). Tales impactos potenciales, si se analizan en función de los bienes y servicios ambientales para la mayor concentración de la población y sistemas productivos que dependen de él, representan importantes consecuencias, máxime si se tiene en cuenta la presión por el avance de la frontera agrícola a través de la sobre utilización y la conversión de los ecosistemas naturales en campos de cultivo y pastoreo.
- En dicho orobioma se encuentran grandes extensiones de bosque natural y arbustales (>40%), los cuales cumplen una importante función en la regulación de la escorrentía, que estarían significativamente (20%) comprometidos con altos y muy altos impactos del total identificado del Orobioma Alto Andino.

- Los resultados obtenidos muestran de alguna manera que los ecosistemas naturales o poco intervenidos son menos sensibles que los espacios transformados en el ambiente rural. No obstante lo anterior, la afectación por un cambio climático podría traer consecuencias significativas, a pesar de los pequeños cambios pero con alteración sobre grandes áreas, como sucedería con la Amazonia o el Chocó biogeográfico.
- Teniendo en cuenta el alto y muy alto impacto potencial que se espera sobre los ecosistemas en el Orobioma de Alta Montaña, junto con las demandas y deterioros conocidos por los sistemas tradicionales de explotación agropecuaria, es prioritario adelantar las medidas necesarias para su protección y restauración, descritas en el capítulo de adaptación, para evitar que se presenten deterioros significativos en dichos ecosistemas estratégicos.

Áreas protegidas

- Las áreas protegidas que registrarían muy alto impacto potencial se localizan en los Parques Nacionales Naturales de Macuira, Tayrona y Corales del Rosario y San Bernardo, todos ellos ubicados en la región Caribe. Adicionalmente, sobresalen por su proporción de alto impacto potencial (a largo plazo) en el Orobioma Alto Andino, los Parques Nacionales Naturales de: Pisba, Los Nevados, Sumapaz, Las Hermosas, El Cocuy y Chingaza.

Sector agropecuario y áreas de minifundio campesino

- Las mayores áreas con cultivos de café Caturra que tendrían alto y muy alto impacto potencial relacionado con el déficit de lluvias para el periodo 2011 a 20140, estarían ubicadas en diferentes áreas de los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca, Quindío y Caldas; adicionalmente sobresalen por alto impacto potencial: Huila, Tolima, Cauca y Risaralda, principalmente. El porcentaje de impacto acumulado para las dos categorías mencionadas, alto y muy alto, estarían por el orden del 71% del total del área (869.000 ha, aprox.) censada por la Federación de Cafeteros de Colombia en café de las variedades: Caturra (75%), Típica (63%) y Colombia (71%). La mayor superficie que podría estar comprometida con impactos potenciales muy altos se tendría en la variedad Colombia (10%).
- Los cultivos anuales o transitorios ubicados en diferentes partes de los departamentos de Antioquia, Tolima, Boyacá, Córdoba, Cundinamarca y Santander, podrían resultar con muy alto impacto potencial para el periodo 2011 a 2040.
- En el periodo 2011 a 2040, el país podría verse comprometido con impactos potenciales alto y muy alto, en más del 50% de la superficie dedicada a las pasturas.
- Las mayores áreas de minifundios campesinos que podrían llegar a tener muy alto impacto potencial por reducciones de la precipitación, estarían en parte de los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Bolívar, Nariño y Santander. Al agrupar las superficies que podrían recibir alto y muy alto impacto por reducciones de la lluvia en el periodo 2011 a 2040, se tendría alrededor de un 47% del total de las áreas de economía campesina del país.

Bosques

- Considerando el alto y muy alto impacto potencial a inicios del periodo (2011 a 2040) por reducción de la precipitación que se tendría sobre los bosques de Boyacá, Valle del Cauca, Bolívar, Magdalena y Antioquia, junto con la vegetación secundaria, arbustales y herbazales ubicados en los departamentos de Tolima, Cauca, Nariño, Valle del Cauca, La Guajira, Antioquia, Huila y Cesar, los cuales, además de las exigentes condiciones climáticas y las presiones antrópicas a las que actualmente están sometidos (agricultura, ganadería, proyectos mineros y de infraestructura), se requiere de manera prioritaria, el desarrollo e implementación de medidas de manejo acordes para salvaguardar dichas coberturas en ecosistemas que revisten condiciones ambientales especiales. Tales condiciones propias de climas semiáridos, áridos y desérticos, podrían (según los modelos) ampliarse y volverse más rigurosas y extremas. Dichas áreas requerirán, además, del monitoreo y evaluación periódica y urgente para valorar efectivamente los planes de restauración que se adelanten en dichas coberturas, dada la evolución que se prevé desde el periodo 2011 a 2040.

Cuerpos de agua

- Para el periodo 2011 a 2040 se tiene que alrededor del 80% de los cuerpos de las aguas continentales naturales (ríos, lagunas, lagos y zonas inundadas) muestran muy alta y alta vulnerabilidad en los departamentos de Bolívar, Magdalena, Cesar, Santander, Amazonas, Antioquia y Tolima, además de Chocó, Vichada, Casanare, Arauca y Meta; respecto a la hidrofítia continental (ecosistemas acuáticos en la parte emergida o con cinturones de vegetación acuática) alrededor del 50% se encuentra en muy alta y alta vulnerabilidad. Se destaca la condición, interdependencia e impactos colaterales de los ecosistemas por los bienes y servicios ambientales de los cuerpos de agua.
- Adicionalmente, si se tiene en cuenta la limitada capacidad de adaptación de los humedales, se considera que estos cuerpos de agua se encuentran entre los ecosistemas más vulnerables al cambio climático. Un pequeño aumento de la variabilidad de los regímenes de precipitación puede afectar de manera importante a la flora y fauna de los humedales (Keddy, 2000; Burkett and Kusler, 2000; citados por IPCC, 2008c).

- Tales referentes se ven corroborados con el impacto muy alto (disminuciones >30% del rendimiento hídrico) que se esperará en La Guajira, junto con la vulnerabilidad alta, adicionalmente de Chocó y Antioquia. Esto conlleva a impactos acumulativos de la zona de litoral marino, si se agrega el aumento del nivel del mar previsto para tales áreas.

Ecosistemas secos

- Si se tiene en cuenta que alrededor de 16% el territorio nacional tenderá a ser más cálido y seco, pues parte de los territorios superhúmedo (12%) y húmedo (5%) se reducirán (5% y 4%, respectivamente) para dar paso a climas semihúmedos, semiáridos y áridos (6%, 2% y 1%, respectivamente) en el periodo 2011 a 2040 se considera necesario implementar las acciones planteadas en el capítulo de adaptación, especialmente en los sistemas de manejo sostenible, asociados con la pérdida de suelo, optimización de la regulación y distribución hídrica, y su estrecha relación con los procesos de deterioro del medio natural y la pobreza.
- Hacia finales de siglo (2071 a 2100) se presentaría un incremento de las áreas semihúmedas (12%) del territorio nacional, junto con aumento de las áreas semiáridas (2%) y áridas (3%), a costa de las áreas clasificadas como húmedas (10%) y superhúmedas (6%)
- La evaluación de los procesos de desertificación y los efectos que se esperarían, más allá de la liberación a la atmósfera de una importante fracción de carbono del suelo, resultan prioritarios en el sentido de mejorar el conocimiento en la vulnerabilidad y riesgos relacionados con la pérdida de servicios ambientales que los ecosistemas secos proveen a la sociedad, incluyendo los diferentes sectores respecto al desbalance que se tendría por la aplicación de manejos o medidas de adaptación poco eficientes. Se debe tener en cuenta que la desertificación se puede incrementar tanto por los valores extremos de la precipitación y temperatura dentro de la variabilidad climática como por los efectos derivados del cambio climático, por lo que es necesario controlar y monitorear principalmente la pérdida de suelo, de vegetación y alteración de los regímenes de escorrentía.
- Al revisar los mayores cambios en superficie de la clasificación climática de Lang por departamentos, hacia climas más secos, se pueden identificar que los departamentos de Magdalena y Cesar pasarían de tener climas semiáridos y semihúmedos (principalmente) a tener condiciones áridas y semiáridas, respectivamente.
- En los departamentos de Bolívar, Tolima, Cundinamarca, Huila y Valle del Cauca, se podrían esperar cambios más drásticos, puesto que se cambiaría de climas húmedos y superhúmedos (principalmente) a climas semihúmedos, semiáridos y áridos. Además, el rango de variación es mucho más amplio del que se esperaría para el periodo 2011 a 2040.
- En el escenario que se espera que presente una variación adversa para la productividad, los ecosistemas y la población más vulnerable, es necesario identificar los agentes tensionantes que agravarían el problema que se avecina, al agregar factores de disturbio ocasionados por proyectos que alteran los regímenes hídricos de las fuentes superficiales y subterráneas, bien sea por las actividades mineras, cambios de cobertura y uso de las tierras. En resumen, sería una mezcla de difícil manejo si se piensa en que las condiciones ambientales irían a ser más exigentes que las actuales.

Zonas costeras e insulares

- Para la zona insular de San Andrés y Providencia, los escenarios llamados muchas veces “pesimistas” muestran reducciones cercanas al: -6,7%; -7,0% y -10,0% para los tres períodos de referencia de clima futuro que se estudiaron (2011-2040; 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente).
- Al considerar el ascenso del nivel del mar en un metro se presentaría una vulnerabilidad muy alta en las condiciones de salud y capacidad de adaptación autónoma de los ecosistemas coralinos, de manglar y de playas y playones. Con tal estimación en las costas colombianas se tendría la inundación permanente de 4.900 km² de costas baja y el anegamiento de 5.100 km².
- De presentarse para el año 2100, un ascenso del nivel del mar en un metro, la población que se vería afectada estaría por el orden de 1,4 a 1,7 millones de habitantes, equivalentes entre 2 y 3% de la población nacional en ese mismo año; de estos porcentajes, 80% corresponde al Caribe y 20% al Pacífico.
- Aproximadamente 55% de la población del litoral Caribe estará expuesta a los efectos directos de la inundación marina. De la población afectada, aproximadamente 90% se encuentra localizada en las cabeceras municipales, en tanto que la restante se distribuye en forma dispersa en las áreas rurales. Los centros urbanos que más población presentan en las zonas de amenaza corresponden a Cartagena, San Juan de Urabá, Turbo, Ponedera y Puerto Colombia, al igual que el área rural de Cartagena.
- En el litoral Pacífico, alrededor de 41% de la población sería afectada por la inundación marina debida al ascenso del nivel del mar. De dicha población afectada, aproximadamente 36% se encuentra localizada en cabeceras municipales, en tanto que la población restante se distribuye en forma dispersa en el sector rural. Las cabeceras

municipales de Tumaco, El Charco, Nuquí, Juradó, Santa Bárbara y Olaya Herrera son las que más población urbana concentran en las zonas con alguna posibilidad de inundación.

- Con el ascenso del nivel del mar en un metro, se podría causar una inundación mayor del 10% en la isla de San Andrés, representado en áreas de marismas, cordones litorales, rellenos artificiales y algunas terrazas coralinas bajas cubiertas por mangle. En estas áreas se verían afectadas zonas urbanas de uso residencial y comercial, así como el puerto de la isla. En las islas de Providencia y Santa Catalina, el área expuesta a la inundación representa 3,8% del área de las islas, donde se incluyen sectores actualmente ocupados por zonas residenciales, comerciales y públicas, entre las cuales se encuentra el puerto de Providencia. También se verían afectadas las zonas de interés turístico de las bahías de Manzanillo, Suroeste y Agua dulce, donde podría presentarse el retroceso de los cordones de playa y la inundación de las marismas.
- Las zonas costeras e insulares de Colombia que se clasificaron como críticas fueron: Cartagena de Indias, Barranquilla y Santa Marta para el Caribe, y Tumaco y Buenaventura para el Pacífico. De lo anterior, Cartagena y Tumaco son las que mayores índices de vulnerabilidad presentan para el Caribe y el Pacífico respectivamente.

Áreas con infraestructura para generación hidroeléctrica

- Se destaca el alto (37%) y muy alto impacto (6%) que se podría llegar a tener en la capacidad de generación hidroeléctrica (efectiva neta para el periodo 2011 a 2040) en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca, Cundinamarca, Huila y Nariño, lo cual de manera relativa, alcanzaría alrededor del 43% sobre el total existente.
- De la capacidad proyectada (energía media), la cual refleja en parte la mayor capacidad de generación que se podría tener al futuro (nuevos proyectos), se destacan los departamentos de Antioquia (10%), Santander (9%), Tolima (6%), Huila (5%) y Cundinamarca (5%), con alto y muy alto impacto potencial para el periodo 2011 a 2040. Tal identificación se debe tomar de forma relativa con respecto a los proyectos ubicados en otros departamentos.
- Al acumular los impactos, alto y muy alto, en la capacidad de generación que se podrían presentar en la totalidad de los proyectos para el futuro, se encuentra una cifra similar (43%) a la encontrada en los proyectos que actualmente se encuentran en operación, para el periodo 2011 a 2040.

BIBLIOGRAFÍA

- Academia colombiana de ciencias. (1995). Memorias del Seminario taller sobre alta montaña colombiana. Bogotá. p. 13 –15 de octubre de 1993.
- Aerts, J. & Droogers, P. (2004). Climate change in contrasting river basins. Adaptation strategies for water, food and environment. CAB International. Oxfordshire, UK: Autores. p. 264.
- Aleman, C. (1986). Diccionario de meteorología. (Autor. Ed.) Madrid: Alhambra.
- Amstrong, R. *et al.*, (2002). State of the Cryosphere. The National Snow & Ice Data Center. Disponible en: < <http://nsidc.org/sotc/intro.html>> .
- Andrade, G *et al.* (2005). Gestión adaptativa de ecosistemas de alta montaña tropical ante el cambio climático. Formulación de objetivos para el macizo Las hermosas, Colombia. Primera Conferencia Cambio Climático, Bogotá.
- Argentina. (2004). Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Buenos Aires: Autor. p. 210.
- Barón-Leguizamón, A. (2002). Modelos geoespaciales de la distribución de variables climatológicas en el territorio colombiano. Tesis de maestría en meteorología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Blanco, J. (2006). Impacto del aumento del nivel del mar sobre las pesquerías de Cartagena (Caribe colombiano) y Tumaco (Pacífico colombiano). Documento interno de trabajo en el marco del proyecto: Adaptación costera al ascenso del nivel del mar. Construyendo capacidad en dos puntos vulnerables de la zona costera colombiana. Santa Marta: Invemar. p. 16.
- Bolivia. Consejo Interinstitucional del Cambio Climático. Primera comunicación nacional de Bolivia, La Paz.
- Bonilla O. (2005). Batimetría complejo de lagunas del valle del lagunillas. Parque nacional natural El Cocuy. Proyecto "Plan de recursos hídricos del valle de lagunillas en el PNN El Cocuy para los municipios de Güicán, el Cocuy y Panqueba. Bogotá: Autor.
- Brander, K. (2009). Impacts of climate change on fisheries, *Journal of Marine Systems*, doi: 10.1016/j.jmarsys.2008.12.015
- Carrillo, H. (2008). Informe final del estudio de desertificación en Colombia. Documento interno del Ideam sin publicar. Bogotá: Ideam. p. 125.
- Cavelier, J. & Vargas, G. (2002). Procesos hidrológicos. En: Ecología y conservación de bosques neotropicales. Capítulo 7. Guariguata, M. & Kattan, G. [Eds.] Libro universitario regional - Asociación de editoriales universitarias de América Latina y el Caribe-. Cartago, Costa Rica: EULAC-GTZ. p. 692.
- Chile's First National Communication to the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (FCCC). (1999). Santiago, Chile.
- China. (2004). The People's Republic of China Initial National Communication on Climate Change. Beijing, 2004.
- Chinn, T.J. (1996). New Zealand glacier responses to climate change of the past century. *New Zealand J. Geology & Geophysics*, 39, 415-28.
- Chow, Ven T., Maidment, D & Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. Bogotá: McGraw-Hill. p. 584.

- Clark, D. (2002). Los factores edáficos y la distribución de las plantas. En: *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Cap. 9. Guariguata, M. & Kattan, G. [Eds.] Libro universitario regional - Asociación de editoriales universitarias de América Latina y el Caribe-. Cartago, Costa Rica: EULAC-GTZ. p. 692.
- Climate and ENSO variability associated with vector-borne diseases in Colombia. Poveda, G., Nicholas E. Gram, Epstein, P., Rojas, W., Quiñónez, M., Vélez, I., Willem J. M. Martens.
- COAPS. (2006). A comprehensive bibliography on the El Niño phenomena. (F. S. University. Ed.) Recuperado en diciembre de 2006, de <http://www.coaps.fsu.edu/lib/biblio/enso-bib-intro.html>
- Colombia. Biblioteca Nacional. (s.f.). *Acuarelas de la comisión corográfica*. Bogotá.
- Conam-Senamhi. (2005). Escenarios climáticos futuros y disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Santa. Perú. *Memorias del proyecto "El cambio climático en el desarrollo sostenible del Perú"*.
- Contraloría General de la República de Colombia. (2008). Boletín de prensa 21 de julio de 2008: "En Quetame, anuncia el Contralor General: La CGR hará seguimiento sobre acciones de Prevención y desastres". Recuperado el 01/08/2008, de http://www.contraloriagen.gov.co/html/contralor/contralor_inicio.asp.
- Constanza, R. (1994). La economía ecológica de la sostenibilidad. Inversión en capital natural. En: *Desarrollo económico sostenible. Avances sobre el informe Brundtland*. Bogotá: Tercer Mundo Editores – Ediciones Uniandes. p. 153 a 169.
- Corporación Autónoma Regional de Boyacá [Corpoboyacá]. (2003). *Caracterización hidrogeológica de la zona norte del departamento de Boyacá*. Tunja, Boyacá: Autor.
- Corporación Autónoma Regional de Caldas [Corpocaldas] y Aguas de Manizales, 1999. *Plan de ordenamiento ambiental del territorio de la cuenca del río Chinchiná. Síntesis del diagnóstico*. Manizales, Caldas: Autores. p. 105.
- Corporación Autónoma Regional de Caldas [Corpocaldas]. (1998). *Infraestructura social y de servicios de la cuenca del río Chinchiná, Manizales, Caldas*: Autor.
- Corporación Autónoma Regional de Caldas [Corpocaldas]. (1998). *Zonificación socioeconómica de la cuenca hidrográfica del río Chinchiná*. Manizales, Caldas: Autor.
- Corporación Autónoma Regional de Caldas [Corpocaldas]. (2004). *Información diaria de caudal para la estación Río Claro, periodo 2003 – 2004*. Manizales, Caldas: Autores.
- Cortés, A. & Malagón, D. (1984). *Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples*. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. p. 360.
- Cred (2009). Centro para la investigación sobre la epidemiología de desastres. Nota recuperada en mayo de 2010 de: http://www.eird.org/newsroom/CRED_Disaster_Figures_090122.pdf
- Delgado, H. (1999). *Estudio de los glaciares mexicanos: Herramientas para evaluar el impacto climático del fenómeno El Niño*. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México. Documento digital recuperado de <http://www.conacyt.mx/daic/proyectos/congresos/simposium_fenomeno_del_nino/archivos/HTM/DelgadoGranados.htm>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Colombia [Dane]. (2007). *Colombia: Una Nación multicultural*. (Dane. Ed.) Bogotá. Colombia.
- Departamento Nacional de Planeación, Colombia [DNP]. (2005). *Metodología para la medición y análisis del desempeño municipal*. Bogotá: DNP, CAF & PNUD. p. 78. Recuperado en enero 2010, de http://www.dnp.gov.co/archivos/documentos/DDTS_Gestion_Publica_Territorial/1aMetod_desem_mpal.pdf
- Departamento Nacional de Planeación, Colombia [DNP]. (2006). *Misión para el diseño de una estrategia para la reducción de la pobreza y la desigualdad*. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá: Autor.
- Departamento Nacional de Planeación, Colombia [DNP]. (2008). *Diseño del índice Sisben III en su tercera versión*. Dirección de Desarrollo Social, Grupo de Calidad de Vida. Documento elaborado por: Carmen Alicia Flórez (Uniandes), Francisco Espinosa (DNP) y Lina María Sánchez (DNP). Coordinador: Roberto Angulo S. Bogotá: DNP. p. 35.
- Díaz, J. M. y Acero, A. (2003). *Marine biodiversity in Colombia: achievements, status of knowledge and challenges*. En: *Invemar. 2007. Informe del Estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2007*. Serie de Publicaciones Periódicas No. 9. En prensa. Santa Marta.
- DNP (2010). *Información digital suministrada por la Dirección de Desarrollo Social, Grupo de Calidad de Vida, el 18/02/2010 de índice Sisben III para los municipios del territorio colombiano*. Bogotá: DNP. p. 87.

- Donahue, R, Miller, R. & Shickluna, J. (1981). Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Cali: Dossat & Prentice/Hall International. p. 624.
- Dorado, J. & Pabón J. (2008). Análisis de la variabilidad intraestacional (VIS) de la precipitación en el norte de Sur América y el Caribe. [Autores. Ed.] Bogotá. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Emanuel, K. (1999). The power of a hurricane: An example of reckless driving on the information superhighway. *Weather* 54. p. 107-108.
- Euscátegui, C. (2002). Estado de los glaciares en Colombia y análisis de la dinámica glaciar en el Parque Los Nevados, asociada con el cambio climático global. Tesis de maestría, Universidad Nacional. Bogotá: Ideam.
- Environmental Health Perspectives (2001). 109, Number 5. Coupling between Annual and ENSO. Time scales in the Malaria, Climate Association in Colombia. Poveda, G., Rojas, W., Quiñónez, M., Iván D. Vélez, I., Mantilla, R., Ruiz, D., Juan S. Zuluaga, J. & Rua, G.
- Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de Chile; Centro de Ciencias de la Atmósfera Universidad Autónoma de México [UNAM]; Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global [IAI]; National Science Foundation [NSF]; Núcleo de Meio Ambiente Universidad e Federal do Pará Brasil [UFPA]. (2008). Hacia la evaluación de prácticas de adaptación ante la variabilidad y el cambio climático. Aldunce, P., Neri, C. y Szlafsztein, C. [Eds.]. Belém: NUMA-UFPA. p. 105.
- Favre, A. (1922). La subsidencia de la cuenca del Cocuy durante el Cretáceo y el Terciario inferior. En: Igac, 1992. Los nevados de Colombia: glaciares y glaciaciones. Análisis geográficos No. 22, Bogotá: Igac. 1983. p. 95.
- Flórez, A. (1992). Los nevados de Colombia: glaciares y glaciaciones. En: Análisis geográficos No. 22. Bogotá: IGAC, 1992. p. 95.
- Francou, B. & Sémiond, H. (1996). Estado de la Red de monitoreo existente e impactos de los eventos ENSO sobre el balance de masa de los glaciares en Bolivia y en el Perú. En Memorias del Congreso: montañas, glaciares y cambios climáticos. Ecuador: Autores.
- Fraume R. M. (2000). Evaluación de los impactos socioculturales de los sistemas de producción en la cuenca superior del río Chinchiná, Corpocaldas contrato 287-99. Manizales. p. 79.
- Goldstein, Meinzer & Andrade, J. (2002). El flujo de agua en los árboles del dosel: Mecanismos y patrones. En: Ecología y conservación de bosques neotropicales. Cap. 11. Guariguata, M. & Kattan, G. [Eds.] Libro universitario regional - Asociación de editoriales universitarias de América Latina y el Caribe -. Cartago, Costa Rica: EULAC-GTZ. p. 692.
- González, C., Pacheco, P. & Tafur, H. (1999). Evaluación de diferentes distribuciones de probabilidad para ajustar la curva de IDF de las lluvias a la Sabana de Bogotá. En K. y Müller-Sámann [Ed.]. Conservación de suelos y aguas en la zona Andina (págs. 29-40). Cali: CIAT.
- González, E., Hammen van der, T. & Flint, R. (1965). Late Quaternary glacial and vegetational sequence in Valle de Lagunillas, sierra de El Cocuy, Colombia. *Leidse Geol. Meded.*, 32: p. 157 – 182.
- Gutiérrez, H. J. (2001). Aproximación a un modelo para la evaluación de la vulnerabilidad de las coberturas vegetales de Colombia ante un posible cambio climático utilizando SIG. Vulnerabilidad de las coberturas vegetales de Colombia. Maestría en medio ambiente y desarrollo. Instituto de estudios ambientales (IDEA), Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Gutiérrez-Zapata P. (2007). Hacia el entendimiento de las señales de cambio climático o variabilidad climática en la oferta hídrica superficial de cuencas hidrográficas en zonas de alta montaña. Estudio de caso: Río Claro, Parque Nacional Natural Los Nevados. Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- Haerberli, W. (2005). Monitoring changes of high-altitude glaciers as a key element of global climate-related observing systems. Presentación para la I Conferencia internacional de cambio climático, impacto sobre los ecosistemas de alta montaña. Bogota: Autor.
- Herd, D. (1982). Glacial and volcanic geology of the Ruiz-Tolima volcanic complex Cordillera Central, Colombia. *Public geol. esp.* 8 Bogotá. 1982.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2007). Atlas climatológico de Colombia. Primera y segunda parte. Documento digital. Recuperado en enero de 2010, de: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo =user&IFuncion =viewPublicacion&&id=55>

- Ideam y Ministerio de Ambiente de Colombia. (2002). Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición HotSpot & Global Climatic Tensor. [Castaño, C. Ed.] Bogotá: Ideam - PNUD.
- Ideam, Igac, IAvH, Invemar, Sinchi & IIAP. (2007). Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]; Instituto Geográfico Agustín Codazzi [Igac]; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt [IAvH]; Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés [Invemar]; Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas [Sinchi]; e Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico John von Neumann [IIAP]. [Ed.] Bogotá: Autores. P. 276 y 37 hojas cartográficas.
- Ideam-Bedoya-S, J. M. (2010). Informe de avance sobre la vulnerabilidad del recurso hídrico en Colombia ante el cambio climático. Documento interno sin publicar. Bogotá: Ideam, p. 13.
- Ideam-Benavides, H., Mayorga, R. & Hurtado, G. (2007). Análisis de índices de extremos climáticos para Colombia usando el *Rclimdex*. Documento digital. Nota técnica del Ideam-meteo/007-2007. Bogotá: Ideam. p. 28.
- Ideam-Carrillo, H. (2008). Informe final del estudio de desertificación en Colombia. Documento interno del Ideam sin publicar. Bogotá: Ideam. p. 125.
- Ideam-Ceballos, J. & Euscátegui, C. (1998). Informe técnico de la comisión efectuada a la Sierra nevada del Cocuy. Informe interno del Ideam sin publicar. Bogotá: Ideam. p. 22.
- Ideam-Corrales, J., Martínez, N. & Sánchez, V. (2008). Evaluación nacional de la dinámica y susceptibilidad de los procesos de remoción en masa de origen hidrometeorológico. Ideam (Ed.) Bogotá: Ideam. p. 300.
- Ideam-Dorado, J. (2008). Circunstancias nacionales, componente de eventos climáticos extremos. Informe final interno del Ideam sin publicar. Bogotá: Ideam. p. 98.
- Ideam – Martínez, N., Jaramillo, O y Chaparro, J. (2007). Geomorfología y amenazas naturales asociadas al ascenso del nivel del mar en las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Bogotá: Ideam 60 páginas y mapas.
- Ideam-Pava, J. (2009). Informe interno para el Ideam sin publicar.
- Ideam-Lamprea-O, P. S. (2010). Metodología para generar estudios que tengan como referencia los resultados de las emisiones de GEI para analizar la vulnerabilidad y los impactos en los sectores productivos con enfoque ambiental. Documento interno sin publicar dentro del proceso de análisis. Ideam. Bogotá: Ideam. p. 30.
- Ideam-Moreno, G. (2009). Vulnerabilidad y estrategias de adaptación para la agricultura en Colombia. Documento interno sin publicar en formato digital, como aportes a la SCN. Subdirección de Estudios Ambientales del Ideam. Bogotá: Ideam. p. 21.
- Ideam-Ruiz, F. (2009). Evaluación de las tendencias actuales y los escenarios futuros de cambio climático. Documento interno del Ideam, sin publicar. Bogotá: Ideam. p. 7.
- Ideam-Ruiz, F. (2010). Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución. Panorama 2011 – 2100. Nota técnica 005/2010 del Ideam. Bogotá: Ideam. p. 60.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería [Ingeominas] – Corporación Autónoma Regional de Risaralda [Carder]. (1994). Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial, complejo de domos Santa Isabel, cordillera Central de Colombia. Revista Ingeominas, 3.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería [Ingeominas] (1983). Mapa geológico de la plancha 137, Güicán. Escala 1: 100.000.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería [Ingeominas] (1998). Mapa geológico de la plancha 225, Nevado del Ruiz. Escala 1: 100.000.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería [Ingeominas]. (1985). Mapa geológico de la plancha 153, Cocuy. Escala 1: 100.000.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]; Conservación Internacional [CI] & Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. (2008). Informe final contrato Conservación internacional–Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Fac. de Ciencias Humanas, Depto. de geografía. Objeto: Elaboración de escenarios de cambio climático para la segunda mitad del siglo XXI en diferentes regiones del territorio colombiano y de un informe de evaluación del cambio climático en Colombia que incluya entre otros, las tendencias actuales y futuras y sus posibles impactos del cambio climático en los sectores socioeconómicos y regiones del país. Documento digital de octubre de 2008. Bogotá: Autores. p. 16.

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam] & Universidad Nacional de Colombia. (1997). Geosistemas de la Alta Montaña. Inédito. Bogotá: Autores.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2010). Sistemas morfogénicos del territorio colombiano. Antonio Flórez [Ed.] Bogotá: Ideam. p. 300.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (1997). Informe técnico de la comisión efectuado a la Sierra Nevada de El Cocuy, sin publicar. Bogotá: Autor.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2001). Base de datos de brillo solar, humedad relativa, precipitación, temperaturas máximas y mínimas y número de días con precipitación. Bogotá: Autor.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam] (2006). Concepto técnico sobre la deglaciación de la Sierra Nevada de El Cocuy, sin publicar. Bogotá: Autor. 2006. p. 28.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt [IAvH], Instituto amazónico de investigaciones científicas [Sinchi], Instituto de investigaciones marinas y costeras José Benito Vives de Andrés [Invemar], Instituto de investigaciones ambientales del Pacífico [IIAP], Unidad administrativa especial del Sistema de Parques Nacionales [UAESPNN], Instituto geográfico Agustín Codazzi [Igac], Asociación de Corporaciones autónomas regionales, de desarrollo sostenible y autoridades ambientales de grandes centros urbanos [Ascoars]. (2004). Informe Anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables de Colombia. [Buitrago, C. & Costa, C. Ed.]. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá: Autores. p. 256.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2005). Informe técnico de la comisión efectuado a la Sierra Nevada del Cocuy. Documento sin publicar. Bogotá. Ideam. p. 22.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]. (2004). Informe técnico de la evolución del volcán Nevado Santa Isabel. Documento sin publicar. Bogotá: Ideam. p. 15.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT]. (2001). Primera comunicación nacional de Colombia ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Ideam, MAVDT y PNUD. Bogotá: Autores. p. 307.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, José Benito Vives De Andrés. [Invemar]. (2003). Programa holandés de asistencia para estudios en cambio climático: Colombia. Definición de la vulnerabilidad de los sistemas biogeofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana (Caribe continental, Caribe insular y Pacífico) y medidas para su adaptación, En: Programa para investigación marina y costera - GEZ, Vides, M. P. [Ed]. Santa Marta, Colombia: Invemar. VII Tomos, Resumen Ejecutivo y CD del Atlas digital.
- Instituto geográfico Agustín Codazzi, Colombia [IGAC]. (1993). Pérdidas en las masas de hielo en el nevado del Ruiz, causadas por procesos climáticos y eruptivos durante los últimos 50 años.
- Instituto geográfico Agustín Codazzi, Colombia [IGAC]. (1994). Proyecto caracterización de los glaciares colombianos, informes finales. Bogotá: Autor.
- Instituto geográfico Agustín Codazzi, Colombia [IGAC]. (2003). Atlas de Colombia. Instituto Geográfico Codazzi, [Ed.] Bogotá: IGAC.
- Instituto nacional de recursos naturales, Bolivia [Inrena]. (2005). Archivo fotográfico. Presentación para el IV Taller del grupo de nieves y hielos andinos. PHI-LAC-Unesco. La Paz (Bolivia).
- Invemar. (2005). Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2005. Serie de publicaciones periódicas/Invemar; No. 8 Santa Marta. P. 360.
- Invemar. (2007). Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2007. Serie de Publicaciones Periódicas No. 8. Santa Marta: Invemar. p. 380.
- IPCC. (1991). The Seven Steps to the Assessment of the Vulnerability of Coastal Areas to Sea Level Rise. A Common methodology. Advisory Group on Assessing Vulnerability to Sea Level Rise and Coastal Zone Management.
- IPCC. (2001). Climate Change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. Chapter 7. Human Settlements, Energy, and Industry.
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007. Resumen para responsables de políticas. Base de ciencia física. Contribución del Grupo I de trabajo al cuarto informe de evaluación del IPCC. [Solomón, S.; Qin, D.; Manning, M.;

- Enhen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.; Tignor, M. & Miller, H. Ed.] Cambridge, New York, Reino Unido - USA: IPCC. p. 152.
- IPCC. (2007a). Resumen para responsables de políticas. Cambio climático 2007: Impactos y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. Parry, M. L., Canzani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, van der P. J. & Hanson, C.E. [Eds.]. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press. p. 114.
- IPCC. (2007b). Evaluación de la vulnerabilidad e impactos del cambio climático y del potencial de adaptación en América Latina.
- IPCC. (2008c). Bates, B. C.; Kundzewicz, Z. W.; Wu, S. y Palutikof, J. P. [Eds.]. El cambio climático y el agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Unidad Técnica de Apoyo al Grupo de Trabajo II, Secretaría del IPCC, Ginebra, Suiza: IPCC. 224 p. Recuperado en abril de 2010, de: <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-sp.pdf>
- Isoard, Grothmann & Zebisch (2008). In: EEA Report No. 4/2008. Impacts of Europe's changing climate (2008 indicator) based assesment. Citado por: Climate change vulnerability and adaptation indicators. p. 31. Recuperado en noviembre de 2009, de http://air-climate.eionet.europa.eu/docs/ETCACC_TP_2008_9_CCvuln_adapt_indicators.pdf
- Kraus, E. & Hammen van der, T. (1960). Las expediciones de glaciología del A.G.I. a las sierras nevadas de Santa Marta y del Cocuy. Bogotá: IGAC. 1960
- Laubier, L. (2001). Climatic changes and trends in marine invertebrates: a need for relevant observing networks and experimental ecophysiology. *Atti Associazione Italiana Oceanologia e Limnologia* 14, p. 15– 24.
- Lim, B., Spanger, E., Burton, I., Malone, I., & Hug, S. (2005). Marco de políticas de adaptación al cambio climático: Desarrollo, estrategias, políticas y medidas. Edición en español. Nueva York: Pnud. p. 274.
- Linacre, E. & Geerts, B. (1999). Shrinking glaciers worldwide. University of Wyoming. <http://www-das.uwyo.edu/~geerts/cwx/notes/chap10/nzglacier.html>. 1999.
- Linder, W. (1991). Pérdida en las masas de hielo en el volcán nevado Santa Isabel. En: *Revista Cartográfica IPGH*. No. 59. p 105-134. México.
- Llinás, A, y Meneses. I. (2004), El retroceso en el nevado Santa Isabel y su incidencia hídrica para Pereira. Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Madden R. & Julian. (1994). Observations of the 40-50-day tropical oscillation a review. *Weather Rev* . 122 (5). p. 814-837.
- Malaria Journal (2006), 5:66. Modelling entomological-climatic interactions of Plasmodium falciparum malaria transmission in two Colombian endemic-regions: contributions to a National Malaria Early Warning System. Ruíz, D., Poveda, G., Vélez, I., Quiñónez, M., Rúa, G., Velásquez, L., & Zuluaga, J.
- Marín G. J. (2008). Cuantificación de la población ubicada en las zonas de alta montaña (Nevado Cocuy) definidas para el proyecto, identificación de uso del suelo, análisis del recurso hídrico en términos de uso, abastecimiento, calidad y disponibilidad, y análisis de la vulnerabilidad de la población frente a la disponibilidad del recurso agua. Informe final Ideam – PNUD – Universidad Nacional de Colombia. Bogotá: UN-Ideam-PNUD. p. 95.
- MAVDT-Millán, J. (2005). Guía ambiental para evitar, corregir y compensar los impactos de las acciones de reducción y prevención de riesgos en el nivel municipal. [MAVDT y DNP, Ed]. Bogotá: MAVDT. p. 105.
- Mclean, R. F., Tsyban, A.; Burket, V.; Codignotto, J. O.; Forbes, D. L.; Mimura, N.; Beamish R. J. and Ittekkot, V. (2001). Coastal Zones and Marine Ecosystems. Chapter 6, in: *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. 2001. Cambridge University Press: Cambridge UK.
- Melief, A. (1985). Late quaternary paleoecology of the Parque Nacional Natural los Nevados, and Sumapaz. Thesis, Univ. Ámsterdam. p. 162.
- Mesa, O. (2007). ¿A dónde va a caer este globo? Acerca del futuro de la Tierra. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Medellín, Colombia: Universidad Nacional, Universidad Pontificia Bolivariana & Universidad de Antioquia. p. 328.
- Millán, J. (2005). Guía ambiental para evitar, corregir y compensar los impactos de las acciones de reducción y prevención de riesgos en el nivel municipal. [MAVDT y DNP, Ed]. Bogotá: MAVDT. p. 105.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial & Fedepapa. (2004). Guía ambiental para el cultivo de la papa.

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT], Colombia. (2005). Serie Ambiente y Ordenamiento Territorial. Guía metodológica 1: Incorporación de la prevención de riesgos en los procesos de ordenamiento territorial. Bogotá: MAVDT. p. 102. Recuperado en abril de 2010 de: <http://www.sigpad.gov.co/archivos/documentos/GUIAS%20METODOLÓGICAS/prevencion%20y%20reduccion%20de%20riesgos%2015-23.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente de Colombia. [MMA]. (2001). Política nacional ambiental para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras e insulares de Colombia. Panamericana Formas e Impresos S.A. Bogotá: MMA. p. 95.
- Mosley-Thompson, E. (1997). Latest evidence of global warming presented to American Assoc. of Geographers. Statement from Byrd Polar Research Center, Ohio State University.
- Murgueitio, E. (2003). Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) Cali, Colombia: Autor.
- Occhipinti, A. (2007). Global change and marine communities: Alien species and climate change. *Marine Pollution Bulletin*: 55 p. 342–352.
- OMM. (2009) Tercera conferencia mundial sobre el clima. Información sobre el clima. Un instrumento para reducir los riesgos de desastres. Documento recuperado en mayo de 2010 de: http://www.wmo.ch/wcc3/documents/WCC3_factsheet1_disaster_ES.pdf
- Ochoa, A. & Poveda, G. (2009). Distribución espacial de señales de cambio climático en Colombia. Documento digital del Poster 508: XIII Congreso Latinoamericano e Ibérico de meteorología (Climet XIII) y X Congreso Argentino de meteorología (Congremet X). Área: Variabilidad climática y cambio climático. p. 5-9 octubre de 2009, Buenos Aires. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Medellín: Autores.
- Padmanbha, H. - Instituto Nacional de Salud de Colombia (2008). Informe anual componente dengue proyecto INAP.
- Pielke, R. & Landsea, W. Normalized Atlantic hurricane damage 1925-1995. [W. Forecasting. Ed.] 13. p. 621-631. 1998.
- Poveda, G. (2009). Calentamiento climático global: Causas, efectos y retos para Colombia y el mundo. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia y Colciencias. Medellín: Autor. p. 11.
- Poveda, G. (2009a). Cambio ambiental global en Colombia: Evidencias y retos. Presentación y documentos del taller INAP: 30 de julio de 2009. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia y Colciencias.
- Prieto, A. (2008). Cuantificación de la población ubicada en la cuenca alta del Río Claro (volcán nevado Santa Isabel), identificación de uso del suelo, análisis del recurso hídrico en términos de uso, abastecimiento, calidad y disponibilidad, y análisis de la vulnerabilidad de la población frente a la disponibilidad del recurso agua. Informe final Ideam–PNUD–Universidad Nacional. Bogotá. p. 130.
- Proyecto río Guatiquía. (1999). Bases para la ordenación y manejo ambiental de la microcuenca quebrada Honda. Proyecto de cooperación colombo-alemán. Villavicencio: GTZ-Municipio de Villavicencio. p. 128.
- Pulgarín, B.; Linder, W. & Jordan, E. (1996). Nevado del Huila: Cambio glaciar entre 1961 y 1995. VII Congreso Colombiano de Geología. Bogotá.
- Raasveldt, H. C. (1957). Las glaciaciones de la sierra Nevada de Santa Marta. *Rev. Academia Colombiana Ciencias Exactas Físicas y Naturales*. 9: p. 469 – 482.
- Red Latinoamericana de estudios sociales en prevención de desastres [La Red]. (s.f.). DesInventar es un producto de Software diseñado y desarrollado por investigadores de la Red Latinoamericana de Estudios Sociales en Prevención de Desastres. La coordinación general del proyecto está a cargo del Observatorio Sismológico del Sur Occidente (OSSO), en la Universidad del Valle del Cauca, Colombia. Recuperado en diciembre de 2009, de <http://la-red.org/products/promap/DesInven.htm>
- República de Nepal. (2004). Initial National Communication to the Conference of the Parties of the United Nations Framework Convention on Climate Change Republic Nepal. July, 2004.
- República de Pakistán. (2003). Pakistan's Initial National Communication on Climate Change. Government of Islamic Republic of Pakistan Ministry of Environment, November 2003, Islamabad-Pakistan.

- Romero, M.; Cabrera, E. & Ortiz, N. (2008). Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia: 2006-2007. [IAvH. Ed.] Bogotá. Colombia: IAvH.
- Sánchez, M. (2005). Introducción a la confiabilidad y evaluación de riesgos. Teoría y aplicaciones en la ingeniería. Universidad de los Andes. Depto. Ing. Civil. [Ed]. Universidad de Los Andes. Bogotá: Uniandes. p. 467.
- Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Ingeniería de suelos Ltda. [Ed.] Bucaramanga: Instituto de investigaciones sobre suelos y deslizamientos. p. 548.
- Transportation Research Board. (1996). Landslides. Investigation and mitigation. Special Report 247. Turner, K. & Schuster, R. [Ed.] Washington: National Academic Sciences. p. 673.
- UNFCCC. (2007). Climate change: Impacts, vulnerabilities and adaptation in developing countries. UNFCCC Secretariat. Bonn, Germany, p. 68. Recuperado en noviembre de 2009 de: <<http://unfccc.int/resource/docs/publications/impacts.pdf>>
- Universidad Nacional de Colombia-Pabón, J. D., & CI-Colombia. (s.f.). Informe de evaluación del cambio climático en Colombia. Documento digital elaborado en el marco del contrato firmado entre Conservación Internacional Colombia y la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Fac. Ciencias Humanas, Depto. de Geografía, para el proyecto INAP-Ideam. Bogotá: Ideam. p. 62.
- Vides M. P. [Ed]. (2008). Sea level rise coastal adaptation. Technical Report NCAP Colombia Project. ETC Project Number 032135. Marine and Coastal Research Institute. Santa Marta, Colombia: Invemar. p. 290.
- Villota, H. (1991). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación de las tierras. Bogotá: Igac. p. 212.
- Zotz, G. & Andrade, J. (2002). La ecología y la fisiología de las epífitas y las hemiepífitas. En: Ecología y conservación de bosques neotropicales. Cap. 12. Guariguata, M. & Kattan, G. [Eds.] Libro universitario regional - Asociación de editoriales universitarias de América Latina y el Caribe -. Cartago, Costa Rica: EULAC-GTZ. p. 692.