



IMPACTOS ECONÓMICOS
DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN COLOMBIA
-SÍNTESIS-

2014



IMPACTOS ECONÓMICOS **DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA** -SÍNTESIS-

2014



Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (DNP)

Tatyana Orozco, **Directora General**
Paula Acosta, **Subdirectora Territorial y de Inversión Pública**
Jaime Torres, **Subdirector Sectorial**
Tatiana Mendoza, **Secretaria General**

Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible

Alexander Martínez, **Subdirector**
Silvia Calderón
Germán Romero
Alejandro Ordóñez
Andrés Álvarez

INVESTIGADORES SECTORIALES

Sector Ganadería

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT),
Área de Investigación en Análisis de Políticas (DAPA)

Sector Agricultura

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias

Sector Forestal

Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca (CREPIC)

Sector Pesca

Julio Herrera, investigador, Consultor

Sector Transporte

Fabio Gordillo, investigador, Consultor

Recurso hídrico y especies nativas de biocomercio y otros usos

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT),
Área de Investigación en Análisis de Políticas (DAPA)

Eventos extremos

Fernando Jaramillo, investigador, Consultor

BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID)

División de Cambio Climático y Sostenibilidad

Carlos Ludeña, Especialista
Leonardo Sánchez, Investigador

Departamento de Investigación

Sebastián Miller, Especialista

ISBN versión impresa: 978-958-8340-78-4
Número de referencia del BID: IDB-MG-221
Número de referencia de la CEPAL, Naciones Unidas: LC/L.3851
Impresión: Nuevas Ediciones S.A.
Diseño y Diagramación: Linca Publicidad Ltda.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL)

División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos

Joseluis Samaniego, Director
Carlos de Miguel, Jefe de Unidad
Mauricio Pereira, Investigador
Karina Martínez, Investigadora

OTROS COLABORADORES

Mónica Gómez (investigadora eventos extremos), Felipe Forero (investigador transporte), Alejandra Pabón (asistente de investigación transporte), Juan Pablo Forero (asistente de investigación transporte), Andrea Prada (asistente de investigación transporte), Nataly Herrera (asistente de investigación eventos extremos), Lader Giraldo (asistente de investigación eventos extremos) y Rafael Cubillos.

Este documento fue preparado por Silvia Calderón, Germán Romero, Alejandro Ordóñez y Andrés Álvarez (DNP)

Citar como:

BID-CEPAL-DNP. 2014. *Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia - Síntesis*. S. Calderón, G. Romero, A. Ordóñez, A. Álvarez, C. Ludeña, L. Sánchez, C. de Miguel, K. Martínez y M. Pereira (editores). Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 221 y Naciones Unidas, LC/L.3851, Washington D.C.

Palabras Clave: Impactos Económicos, Cambio Climático, Eventos Extremos; Adaptación

JEL Codes: Q54, C68, O54

© Departamento Nacional de Planeación, 2014
<http://www.dnp.gov.co>
Calle 26 No. 13-19
Tel: (571) 381-5000
Bogotá D.C., Colombia

© Banco Interamericano de Desarrollo, 2014
<http://www.iadb.org>
1300 New York Avenue, N.W.
Tel: (202) 623-1000
Washington, D.C., EE.UU

Este documento se ha realizado con la ayuda financiera del BID y el apoyo técnico de la CEPAL y el BID. Las opiniones expresadas en esta publicación son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista de la CEPAL o del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

Se prohíbe el uso comercial no autorizado de los documentos y tal podría castigarse de conformidad con las políticas y/o las legislaciones aplicables.

Contenido

PRESENTACIÓN	7
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO 2. EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA	13
2.1 Resultados de los escenarios de cambio climático para Colombia	16
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO DE IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	23
3.1 Metodología para analizar el impacto económico del cambio climático	25
a. Metodología para analizar el impactos económicos del cambio climático	25
b. Agregación de impactos económicos del cambio climático – MEG4C	27
c. Alcances y supuestos del análisis	32
3.2 Metodología para analizar el impacto económico de eventos extremos	33
3.3 Fortalezas y limitaciones de la Metodología General	34
CAPÍTULO 4. IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	37
4.1 Impactos económicos en sectores con representación en cuentas nacionales	38
Sector Ganadero	39
Sector Agrícola	52
Sector Forestal	61
Sector Pesca	69
Sector Transporte	78
Impactos económicos agregados del cambio climático	86
4.2 Impactos económicos en otros sectores	92
Recurso Hídrico	93
Especies nativas de Biocomercio y otros usos	105
CAPÍTULO 5. COSTOS ECONÓMICOS DE LOS EVENTOS EXTREMOS ASOCIADOS AL CLIMA	113
5.1 Efectos y determinantes de los desastres de origen climático en Colombia	114
5.2 Desarrollo de modelos de equilibrio general para proyectar impactos económicos de escenarios futuros de eventos extremos	119
CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES DE ADAPTACIÓN	127
CAPÍTULO 7. AVANCES EN MATERIA DE ADAPTACIÓN	143
CAPÍTULO 8. RECOMENDACIONES SOBRE INFORMACIÓN	147
CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES	151
REFERENCIAS	158

AGRADECIMIENTOS

Los autores están particularmente agradecidos por los aportes del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) a cargo de Omar Franco y su Subdirección de Meteorología, en cabeza de María Teresa Martínez con el apoyo y disposición de Franklyn Ruiz y Carlos Rocha.

Un reconocimiento para las personas que participaron durante todo el proceso de formulación y desarrollo del EIECC, en especial, a Giampiero Renzoni, Carolina Urrutia, Ana María Loboguerrero, Deissy Martínez, Miguel Uribe y Fabian Villalba. Se agradece el apoyo técnico de la Dirección de Estudios Económicos del DNP y en especial a Gabriel Piraquive y Gustavo Hernández.

Fue valiosa la colaboración y el apoyo, para la consecución de información, propiciado por el Ministerio de Transporte, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la Agencia Nacional de Infraestructura (ANII), la Aero-civil, la Superintendencia de Puertos y Transporte, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el Instituto Alexander von Humboldt (IAvH), las empresas del sector forestal como (La Cabaña, Prooriente y reforestadora el Caribe) y Cenicaña.

Igualmente, al equipo de trabajo del Área de Investigación en Análisis de Políticas (DAPA) del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) quien se encargó de obtener los resultados del sector ganadería, y otros impactos sobre el recurso hídrico y especies nativas de bio-comercio y otros usos.

El trabajo realizado en el sector agrícola fue coordinado y elaborado por Francisco Boshell, profesor de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), con la participación de Eliecer Díaz y Fabián Villalba, investigadores de la misma Universidad.

La investigación de los impactos económicos del sector forestal estuvo a cargo de Carlos A. León, Gerente de proyectos del Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca (CREPIC); Néstor M. Riaño, investigador de Cenicafé y Sergio A. Orrego, profesor de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín).

Fueron valiosos los aportes de las entidades y personas asistentes al taller sobre moderasiones agroclimáticas y la política del sector agropecuario a los fenómenos climáticos, realizado el 23 de mayo de 2013, a la socialización de los avances de los estudios sectoriales llevado a cabo el 25 y 26 de julio de 2013 y a los seminarios técnicos del DNP los días 10 y 24 de octubre de 2013 y el 21 de noviembre de 2013.

Se agradece a Alexander Martínez, German Romero, Juan Pablo Ortiz, Julio Cesar Herrera, Freddy Jiménez, Jesús David Martínez, Dante Manzo y Juliana Barrientos por el material fotográfico aportado.

SIGLAS Y ACRÓNIMOS USADOS

ANI	Agencia Nacional de Infraestructura	MCS	Matriz de Contabilidad Social
APSIM	Agricultural Production Systems Simulator	MD	Muertos y Desaparecidos
AUNAP	Autoridad Nacional de acuicultura y Pesca	MEG4C	Modelo de Equilibrio General Computable Colombiano para Cambio Climático
BANREP	Banco de la República	MEGDES	Modelo de Equilibrio General para Desastres
BID	Banco Interamericano de Desarrollo	MFMP	Marco Fiscal de Mediano Plazo
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca	MGR	Modelo Económico de Gestión del Riesgo
CCI	Corporación Colombia Internacional	MHAF	Muertos, desaparecidos, heridos, afectados y damnificado
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe	MHAD	Muertos, heridos y afectados
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical	MHCP	Ministerio de Hacienda y Crédito Público
CONIF	Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal	MJO	Oscilación Intraestacional de Madden y Julián
CORPOICA	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria	MMS	Modelo de Micro simulaciones
CREFT	Modelo de crecimiento y captura de carbono para especies forestales en el trópico	PIB	Producto Interno Bruto
CVC	Corporación Autónoma regional del Valle del Cauca	PIN	Producto Interno Neto
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística	PNACC	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
DNP	Departamento Nacional de Planeación	PROCAÑA	Asociación Colombiana de productores y proveedores de caña de azúcar
DSGE	Dynamic Stochastic General Equilibrium	SAAT	Sistemas de Alertas Agroclimáticas Tempranas
DSSAT	Decision Support Systems for Agro technology Transfer	SCN	Sistema de Cuentas Nacional
ENA	Encuesta Nacional Agropecuaria	SDAS	Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible del DNP
ECV	Encuesta de Calidad de Vida	SGC	Servicio Geológico Colombiano (Ingeominas)
EIECC	Estudio de impactos económicos del cambio climático	SIAC	Sistema de Información Ambiental de Colombia
ENOS	El Niño Oscilación del Sur	SRES	Special Report on Emissions Scenarios
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura	VIVAF	Viviendas afectadas y destruidas
FEDEGÁN	Federación Colombiana de Ganaderos	UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
FENOCO	Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A	ZCIT	Zona de Confluencia Inte tropical
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	A B	Los escenarios se clasifican en A o según sea el énfasis de la humanidad en el crecimiento económico o en el desarrollo sostenible, respectivamente.
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazz	A1 B1	Los escenarios1 (A1B1) son aquellos en los que hay acuerdos globales y cooperación.
IPCC	Panel Intergubernamental del Cambio Climático (por sus cifras en inglés)	A2 B2	Son los escenarios en los que cada región actúa independientemente.
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón	A1B	Este escenario hace parte de la familia A y sugiere balance en las fuentes tecnológicas del sistema energético.
MADR	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural		
MCC	Modelo de Contabilidad del Crecimiento		
MCG	Modelo de Circulación Global		



PRESENTACIÓN

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en su Quinto Informe de Evaluación, publicado en 2014, confirma una vez más que el cambio climático es una realidad, y sus impactos están siendo experimentados a lo largo y ancho del planeta. Colombia no ha sido ajena a ellos, considerando que la conjunción de factores geográficos y socio-económicos la convierten en un país altamente vulnerable a impactos futuros relacionados con fenómenos climáticos.

Las grandes pérdidas sufridas durante La Niña 2010-2011 demuestran el nivel de sensibilidad de los sistemas económicos, ambientales y poblacionales a los fenómenos asociados con el clima, especialmente cuando son extremos. Además de los impactos derivados de eventos de variabilidad climática el país enfrenta los retos del cambio climático. Los cambios graduales en la temperatura, en los patrones de distribución y magnitud de la precipitación, el aumento del nivel del mar y la posible exacerbación de eventos extremos climáticos, entre otros, imponen desafíos sobre los procesos productivos y socio-económicos que generan crecimiento y desarrollo y reducen la pobreza.

Para hacer frente a estas situaciones Colombia avanza en el proceso de adaptación al cambio climático a fin de reducir los posibles impactos en la economía, la población y los ecosistemas, y aprovechar las oportunidades que éste ofrece. La adaptación debe ser parte integral y transversal de la planeación del desarrollo enfrentando el reto de generar conocimiento, que permita tomar decisiones informadas y lograr una adaptación planificada y costo-efectiva.

El Estudio de Impactos Económicos del Cambio Climático (EIECC), liderado por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), busca hacer frente a dicho reto asumiendo la

tarea de generar información y avanzar en el conocimiento sobre los posibles impactos económicos del cambio climático en los ámbitos nacional, sectorial y regional. El Estudio es un proyecto de largo alcance que, desde 2009, inició con el diagnóstico de la información y el conocimiento disponible en el país para estimar los impactos económicos del cambio climático. La primera entrega del análisis se realizó en colaboración con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) a través de la publicación "Panorama del Cambio Climático en Colombia".

Como resultado de un esfuerzo de dos años se obtiene un trabajo inédito de análisis multisectorial sobre las implicaciones biofísicas y económicas del cambio climático en Colombia. El análisis en los sectores de ganadería, agricultura, forestal, pesca, transporte, recurso hídrico, y especies nativas de biocomercio y otros usos permitió estimar los posibles costos económicos agregados del cambio climático, que se podrían traducir en pérdidas anuales en el Producto Interno Bruto (PIB) nacional si se cumplen los escenarios en los que el país no implementa acciones planificadas de adaptación. Por otro lado, el Estudio analiza empíricamente el nivel en el que los desastres asociados a eventos hidrometeorológicos han generado impactos en el crecimiento económico del país, evaluando en detalle los factores socio-económicos que influyen en la ocurrencia de dichos desastres. Los resultados de todos estos análisis son usados en el Estudio para identificar medidas de adaptación con miras a contribuir en la formulación del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PN-ACC), en el marco del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 "Prosperidad para Todos".

De otra parte, el estudio utilizó la información existente en el país y buscó fortalecer las capacidades nacionales para la modelación económica de los efectos asociados a fenómenos climáticos. Lo anterior no podría haberse logrado sin un esfuerzo inter-institucional donde el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), líder en la generación de información sobre el estado de los recursos naturales y de las condiciones hidrometeorológicas actuales y futuras del país, jugó un rol fundamental. Así mismo, se contó con el apoyo de una lista importante de entidades públicas y privadas representantes de los sectores ambiental, agropecuario, energético y de transporte, entre otros.

Los resultados del Estudio muestran la relevancia del clima en el desarrollo del país y, al mismo tiempo hacen un llamado sobre la necesidad de tomar acciones tempranas que reduzcan la vulnerabilidad de la población, la economía y los ecosistemas, generando procesos de desarrollo económico sinérgicos con la gestión ambiental y territorial. El Estudio también hace evidente la necesidad de continuar profundizando en el conocimiento y la generación de información climática, ambiental y sectorial para una toma de decisiones efectiva y oportuna. El esfuerzo realizado con esta publicación busca presentar en un lenguaje de fácil comprensión los principales resultados de los estudios sectoriales adelantados. De igual manera, persigue sensibilizar a los tomadores de decisiones sobre las implicaciones que podría tener el cambio climático sobre la sociedad colombiana y espera ser una herramienta inspiradora para la realización de nuevas investigaciones.



1

CAPÍTULO

INTRODUCCIÓN

Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia -Síntesis-



El Estudio de Impactos Económicos del Cambio Climático (EIECC) busca mejorar la comprensión sobre las consecuencias en el nivel económico y territorial que el cambio climático puede conllevar. Con este propósito en mente se ha realizado una evaluación de los impactos económicos en una serie de sectores productivos del país, relevantes para las economías locales y particularmente dependientes de la oferta climática. Los resultados indican la importancia de tomar acciones tempranas de adaptación que reduzcan la vulnerabilidad del país y busquen propiciar procesos de desarrollo sinérgicos con la gestión ambiental y territorial.

El análisis de impactos económicos inició con la estimación de relaciones entre el clima actual y el desempeño sectorial; dichas relaciones, construidas a través de funciones de daño o modelos conceptuales, fueron posteriormente usadas para estimar impactos económicos con base en escenarios de cambio climático para el país.¹ Finalmente, para estimar impactos agregados o macroeconómicos se incorporaron los impactos sectoriales de ganadería, agricultura, sector forestal, pesca y transporte en el Modelo de Equilibrio General Computable de Cambio Climático para Colombia (MEG4C) desarrollado por el DNP.

Como resultado, el Estudio estima que el impacto agregado del cambio climático en la economía del país sería negativo, de acuerdo con los escenarios del clima futuro del IDEAM. Contando sólo con los impactos analizados en este estudio, de 2011 a 2100, en promedio habría pérdidas anuales del PIB del 0,49%. Esto significa que cada año el PIB sería 0,49% menor que en un escenario macroeconómico sin cambio climático. El escenario más pesimista es el A2, con un promedio de pérdidas anuales de 0,50%, mientras que el escenario más optimista es el A1B con pérdidas del 0,48%. Es importante tener en cuenta que el análisis solamente se realizó sobre subsectores de la economía que en conjunto suman el 4,3% del PIB total².

Al sumar las pérdidas anuales, sin descontar a valor presente, el impacto sería equivalente a perder entre 3,6 y 3,7 veces el valor del PIB de 2010. Así mismo, las pérdidas estimadas por cambio climático son equivalentes a que el país sufriera aproximadamente cada 4 años pérdidas como las de La Niña 2010-2011, lo anterior, sin tener en cuenta que dicho fenómeno podría presentarse periódicamente durante el tiempo analizado.

A pesar que el impacto agregado para el país es negativo los impactos por sectores y regiones son heterogéneos. En general, la silvicultura podría ser uno de los sectores que se beneficiaría del cambio climático, mientras que la ganadería, la agricultura, la pesca y el transporte tendrían pérdidas agregadas en su producción.

Específicamente, y con base en los escenarios de cambio climático del IDEAM, la producción potencial forestal sería cada año en promedio un 6,2% mayor que la producción en el escenario base, detallado en el capítulo sectorial, durante el periodo 2010-2100. Por otro lado, el sector ganadero tendría un promedio de pérdidas anuales en la producción de peso vivo de carne y litros leche de 1,6% para el mismo periodo, mientras que el sector agrícola una reducción promedio de los rendimientos para maíz tecnificado, arroz irrigado

1 Los escenarios de cambio climático para el país fueron construidos por el IDEAM con base en los escenarios del IPCC. Los escenarios evaluados son A2, A1B y B2.

2 Promedio 2005-2011 de la participación del PIB de transporte, ganadería, agricultura, forestal y pesca en el PIB Nacional para los subsectores considerados.

y papa del 7,4%. En lo que se refiere al sector pesquero en el nivel nacional se vería una disminución promedio de la carga desembarcada del 5,3%. Las operaciones del sector transporte serían afectadas negativamente, con énfasis en el modo de transporte carretero. En promedio las vías terrestres estarían cerradas el 5,9% del tiempo entre 2011 y 2100, por efectos de deslizamientos asociados a la precipitación.

Con respecto de los costos económicos de los eventos extremos asociados al clima existe evidencia que, en el país, los desastres de origen climático y sus consecuencias han tenido un impacto en el crecimiento del PIB de largo plazo. En efecto y como lo muestra el Estudio de 1980 a 2010 aumentos del 20% en la tasa de muertos, heridos y afectados por desastres de origen climático estuvieron asociados a caídas del PIB de largo plazo de 1,5%. El porcentaje de la población y la infraestructura en zonas de riesgo de inundación es un factor determinante de la tasa de desastres. Con base en lo anterior se puede concluir que la inversión adecuada en gestión de riesgo de desastres es costo-efectiva. Al aumentarse la inversión pública en la materia, del 0,35% al 1% del gasto público actual, se esperaría que la tasa de desastres se redujera en un 60%.

Dada la incertidumbre característica de los procesos de estimación de impactos del cambio climático es importante interpretar los resultados a la luz de los escenarios climáticos, los alcances, supuestos y limitaciones propias de este tipo de ejercicios. Así mismo, en la medida que la información, los modelos y el conocimiento en general avancen será necesario actualizar de forma periódica los resultados del Estudio para reducir la incertidumbre y mejorar la escala de análisis.

No obstante, el Estudio contribuye a fortalecer el conocimiento existente sobre las relaciones entre el clima y el desarrollo del país. Es así como sus resultados sugieren que el país debe liderar un proceso para lograr una adaptación al cambio climático de forma planificada. Por lo anterior, en el marco del PNACC y otras iniciativas se recomienda fortalecer la generación de información y el conocimiento sobre variables climáticas, ambientales y sectoriales para avanzar en la toma de decisiones informadas. Así mismo, se hace necesario fortalecer el proceso de desarrollo económico de los sectores vulnerables al clima con el fin de generar alternativas para aumentar su capacidad de adaptación. Lo anterior debe ir articulado con el fortalecimiento de los procesos de ordenamiento territorial a la luz del cambio, la variabilidad climática y la gestión ambiental, con el propósito de mantener o restaurar la capacidad de los ecosistemas de proveer servicios ecosistémicos valiosos para el proceso productivo, y relevantes para reducir la vulnerabilidad.

El Estudio Síntesis se redactó de tal forma que: el Capítulo 2 describe los escenarios de clima futuro para Colombia generados por el IDEAM, con base en los cuales se obtuvieron los resultados para el sector forestal, ganadero, pesquero, agrícola y de transporte. El Capítulo 3 detalla la metodología general seguida, mientras que los Capítulos 4 y 5 presentan los resultados del análisis de impactos económicos del cambio climático y costos económicos de eventos extremos asociados al clima. Los Capítulos 6 y 7 hacen una reflexión sobre las acciones de adaptación a seguir para reducir la vulnerabilidad y aprovechar los posibles beneficios del clima cambiante y presentan un resumen de los avances del país en la materia. El Capítulo 8 reflexiona sobre las mejoras en la información requerida para avanzar en el conocimiento del tema, y para finaliza, en el Capítulo 9 se concluye con los mensajes más relevantes del Estudio.





2

CAPÍTULO

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

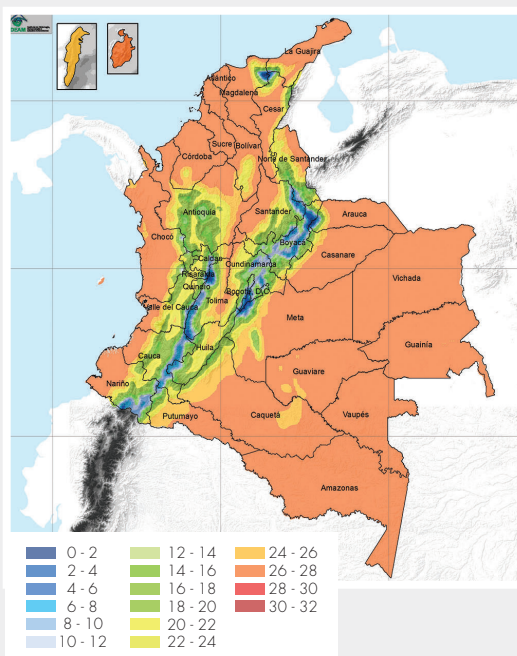
Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia -Síntesis-



Colombia se encuentra en la zona ecuatorial del planeta entre las latitudes 4°14'S y 13°21'N, posee costas tanto en el Mar Caribe como en el Océano Pacífico y su territorio es atravesado por la Cordillera de los Andes y otras formaciones montañosas con alturas de hasta 5.775 metros sobre el nivel del mar.

Colombia presenta una gran variedad de climas en su territorio con regiones frías en la parte alta de las montañas y cálidas en la parte baja. Por la ubicación del país en la zona tropical no se presentan grandes cambios de temperatura durante el año, ni estaciones tal como se darían en las latitudes medias (verano, primavera, otoño e invierno). En cambio la estacionalidad está caracterizada por temporadas secas y temporadas lluviosas, de cuyo régimen dependen los diversos sistemas climáticos que actúan en Colombia.

Figura 4. Temperatura de superficie media para Colombia.

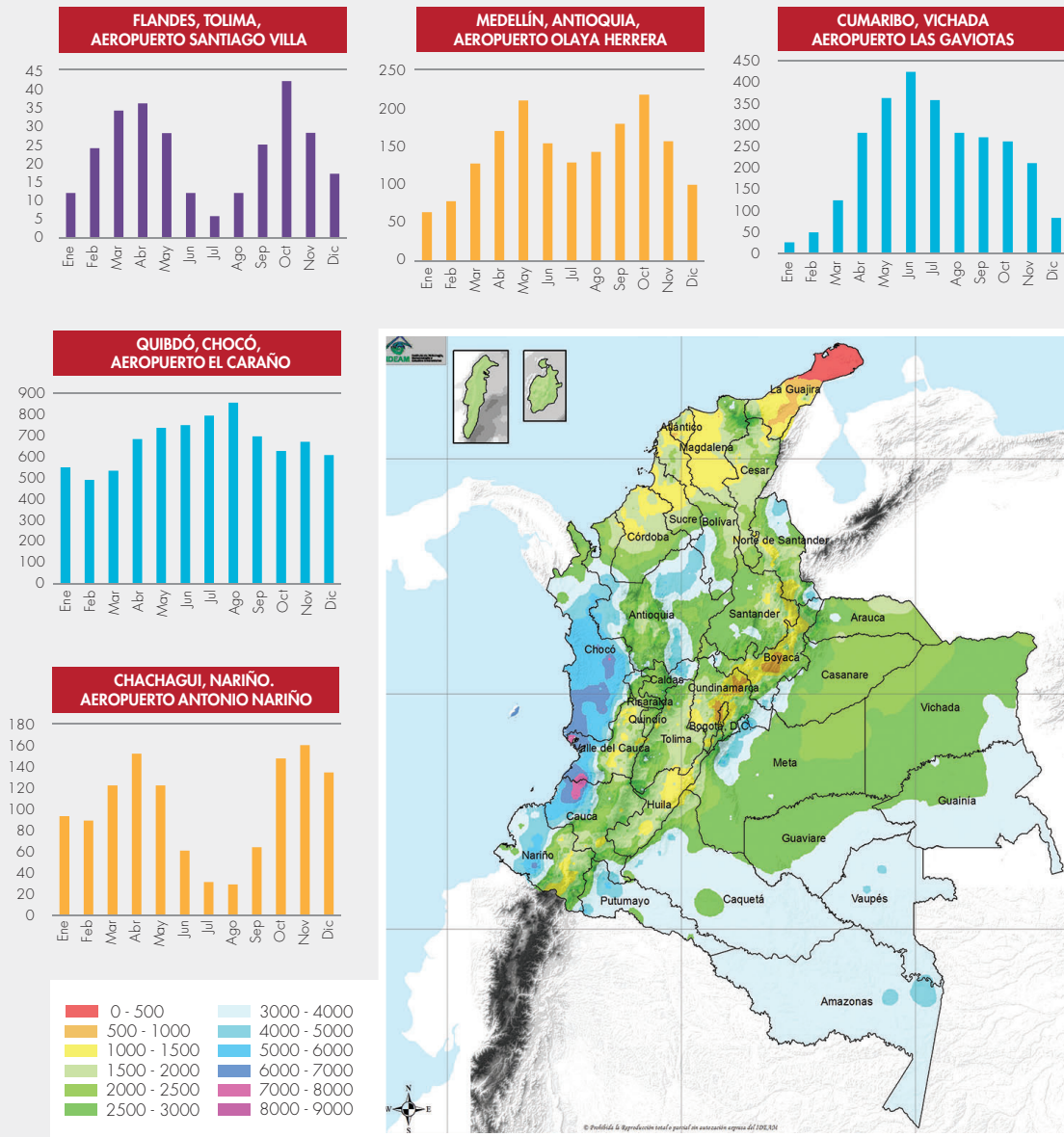


Fuente: Arango et al (2012) - Mapas Ideam.

El sistema climático más relevante es la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) caracterizada por la confluencia de los vientos alisios del noreste y sureste, que transportan humedad desde el océano Atlántico y la selva amazónica. La ZCIT transita sobre el territorio dos veces al año y determina los regímenes de precipitación de tipo bimodal presentes en gran parte del país (dos temporadas de mayores lluvias y dos temporadas de lluvias bajas durante el año). En cercanías del Litoral Pacífico colombiano los vientos alisios presentan un recurvamiento soplando desde el oeste, transportando humedad oceánica y haciendo de esta región costera una de las más lluviosas del Planeta. Otros sistemas de variabilidad climática que afectan las temporadas de lluvia son El Niño Oscilación del Sur (ENOS) y la Oscilación intraestacional de Madden y Julián (MJO). Todo esto hace que el clima en Colombia sea variado e imponga un desafío para la modelación atmosférica en el país.

La figura 4 corresponde a la temperatura media observada durante el periodo 1971-2000, evidenciando la existencia de zonas cálidas en la mayor parte del territorio nacional y zonas más frías en la zona Andina y la Sierra Nevada de Santa Marta. La figura 5 corresponde a la precipitación media en Colombia para el mismo periodo, junto con los ciclos estacionales más representativos de las regiones naturales a través de unas estaciones de referencia. Los menores volúmenes de precipitación se presentan en La Guajira y los mayores en el Litoral Pacífico colombiano. También se evidencia el régimen bimodal de lluvias para estaciones en la Región Andina y el Litoral Pacífico, y regímenes modales o sin tendencia definida en la Orinoquía y el norte del Litoral Pacífico.

Figura 5. Precipitación media y régimen de precipitación para algunas estaciones seleccionadas



Fuente: Arango et al (2012) - Mapas Ideam.

El IDEAM es la autoridad meteorológica del país, tiene a su cargo la elaboración de la climatología y la generación de los escenarios futuros de cambio climático para Colombia. El Estudio Síntesis se basa principalmente en los datos provistos por el IDEAM, garantizando que exista comparabilidad entre los estudios sectoriales que hacen parte del MEG4C. Sin embargo, en los capítulos de recurso hídrico, especies nativas y en el segundo aparte de ganadería se recurrió a información suministrada

por WorldClim y los escenarios climáticos, generados por un ensamble de Modelos de Circulación Global (MCG) por ser información más compatible con las necesidades de los modelos usados. Así mismo, en el capítulo de pesca se acudió a datos de temperatura de la superficie del mar provenientes del Met Office Hadley Centre del Reino Unido, pues los escenarios del IDEAM aún no cuentan con esta información. El cuadro 1 resume la metodología del IDEAM para elaborar escenarios de cambio climático para el país.

Cuadro 1

METODOLOGÍAS USADAS POR EL IDEAM PARA ELABORAR LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

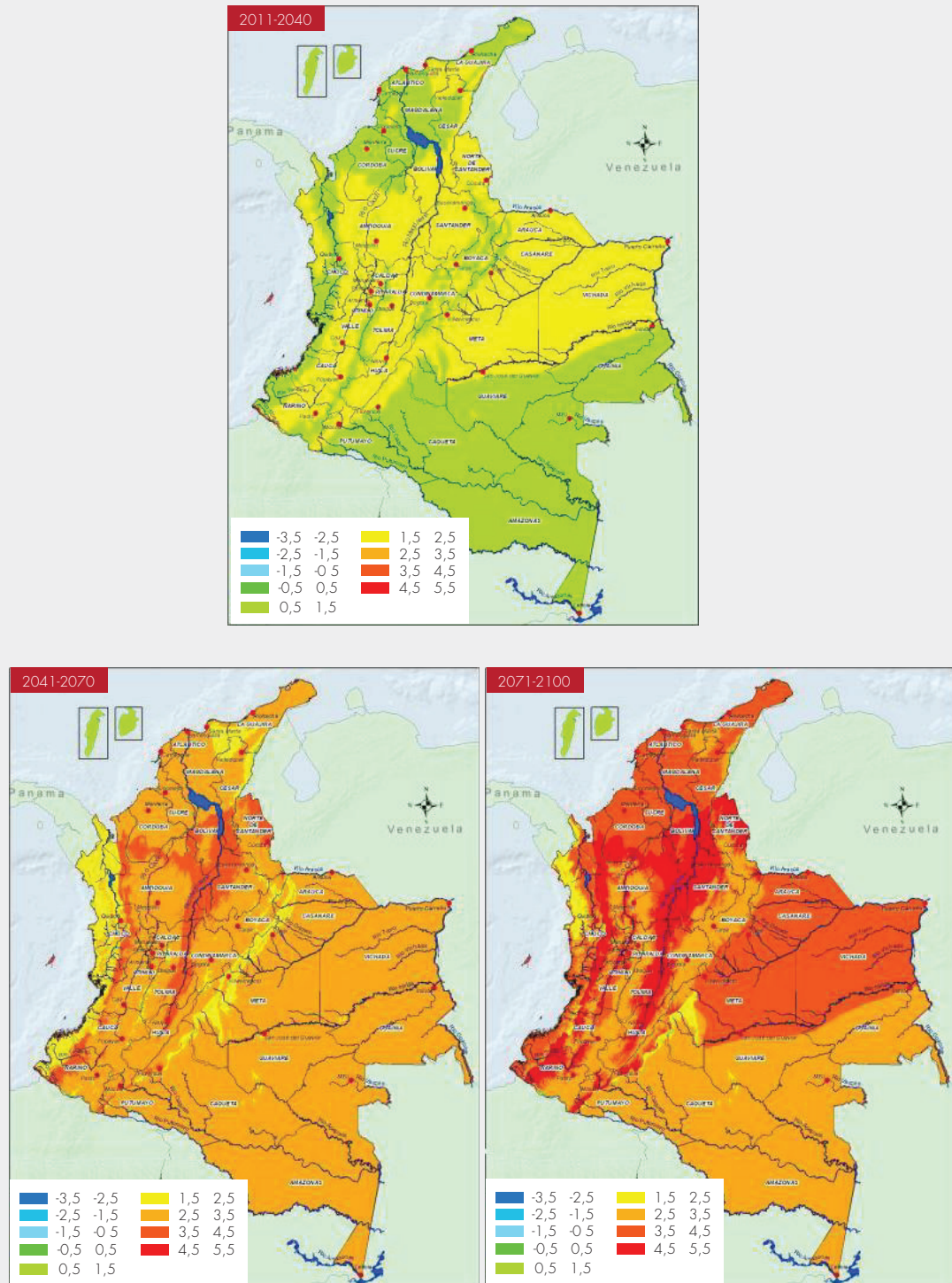
Se usaron observaciones de precipitación de 1.072 estaciones y de temperatura media de 331 estaciones entre 1971 y 2010, junto con proyecciones del IPCC de tres diferentes escenarios de cambio climático (A1B, A2 y B2). Para la climatología actual se utilizó el Reanálisis ERA40 del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Mediano Plazo, al que se le realizó un *downscaling* dinámico con el modelo PRECIS (*Providing Regional Climates for Impact Studies*); modelo desarrollado por el Hadley Centre del Reino Unido. Para la generación de escenarios de cambio climático se tomaron las condiciones de frontera de los modelos globales HadCM3 del Hadley Centre y el ECHAM5 del Max-Planck-Institut de Alemania e igualmente, se regionalizó dinámicamente con el modelo PRECIS. Estos modelos fueron escogidos entre veinte modelos referenciados en el AR4 del IPCC por ser los que mejor representaron el clima colombiano. El ajuste de la salida de los modelos con las observaciones de clima presente se realizó mediante el factor de cambio o método delta; una vez conocidas sus correcciones de orden multiplicativo en precipitación y aditivo en temperatura para el período de referencia 1971-2000 se aplicaron a los distintos escenarios escogidos. (Arango et al., 2012).

2.1

Resultados de los escenarios de cambio climático para Colombia

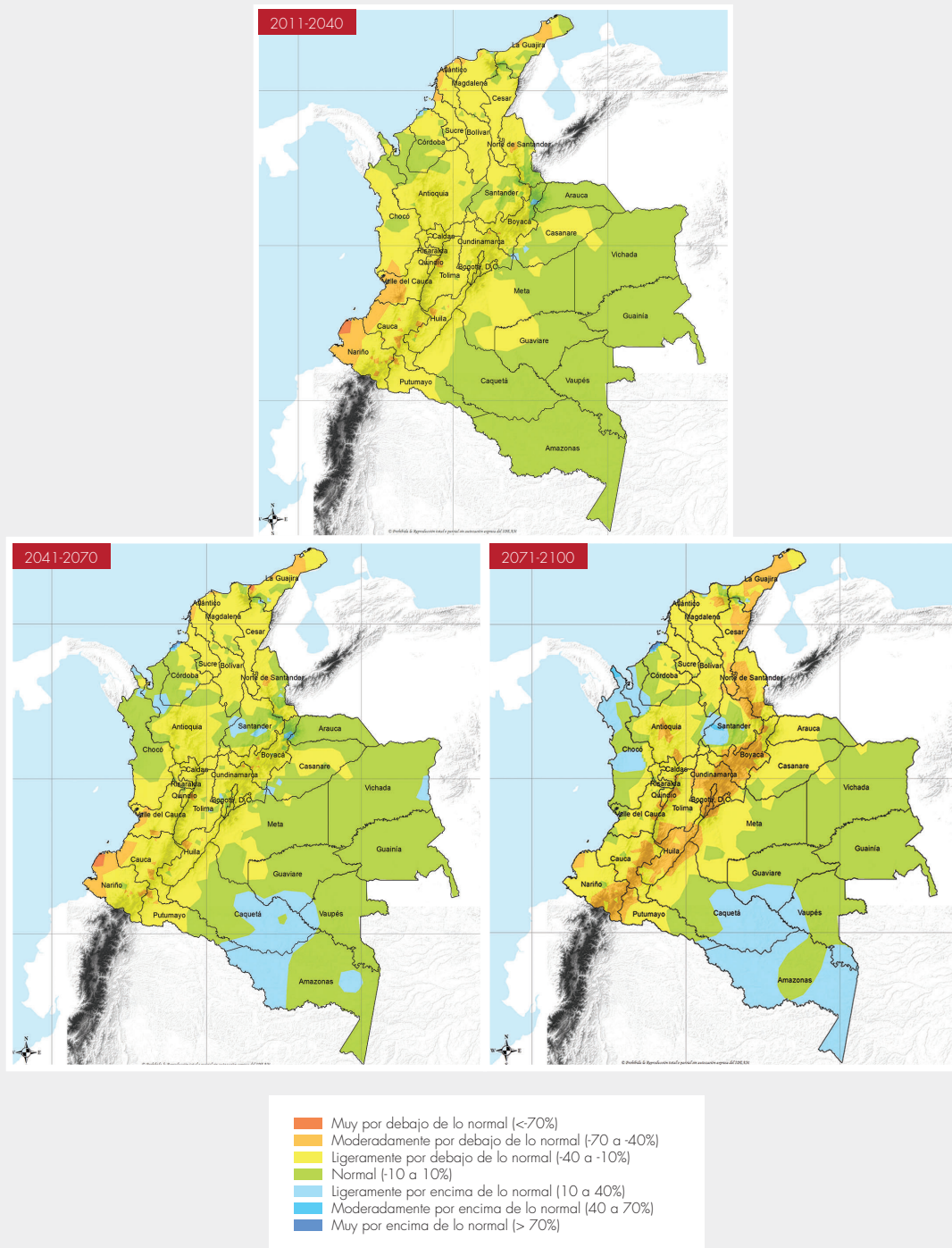
Existe evidencia que en Colombia el clima está cambiando. El análisis del clima durante el periodo 2001-2010 indica que se presentaron variaciones con respecto al periodo de referencia 1970-2000. Si bien, durante este periodo, las temperaturas no variaron significativamente para una buena parte del territorio nacional; en regiones de gran importancia económica y social como la Región Andina y la Sierra Nevada de Santa Marta, si se presentaron aumentos de la temperatura media de entre 0,5 °C y 1,5 °C.

Figura 6. Cambios en la temperatura media usando el promedio multiescenario. (°C con respecto al periodo 1971-2000)



Fuente: Arango et al (2012) - Mapas Ideam.

Figura 7. Cambio en precipitación media usando el promedio multiescenario. (Porcentaje con respecto al periodo 1971-2000)




Fuente: Arango et al (2012) - Mapas Ideam.

Por otro lado, las proyecciones indican que el clima seguirá cambiando. Las figuras 6 y 7 presentan los efectos en precipitación y temperatura del promedio de los escenarios A1B, A2 y B2 respecto del periodo 1971-2000. La temperatura media tendría una tendencia creciente y sostenida durante todo el siglo XXI. En la figura 6 se observa que para el periodo 2011-2040 el aumento sería de 0,5 °C a 1,5 °C en la región Andina y la Orinoquía. Para el periodo 2041-2070 el aumento se extiende a todo el territorio con incrementos de 2,5 °C a 4,5 °C y sería mayor en los valles interandinos. Finalmente, para el periodo 2071-2100 el aumento sería mayor en el Litoral Caribe, la Orinoquía con aumentos de 3,5 °C a 4,5 °C y en los valles interandinos con aumentos de 4,5 °C a 5,5 °C.

Referente a la precipitación, figura 7, el promedio de los escenarios sugiere una disminución sobre toda la Región Andina, el Caribe y el sur del Pacífico que se intensificaría a lo largo del siglo. Hacia el final del siglo (2071-2100) las disminuciones de precipitación en la Cordillera Oriental y la Guajira serían las más pronunciadas y podrían ser de hasta 70% menos respecto del clima actual. Por su parte, algunas partes de la región amazónica, del Litoral Pacífico y del Magdalena Medio presentarían aumentos en la precipitación de entre 10% y 40%.

El cuadro 2 presenta una comparación general entre los resultados de precipitación y temperatura para los escenarios de cambio climático del IDEAM.



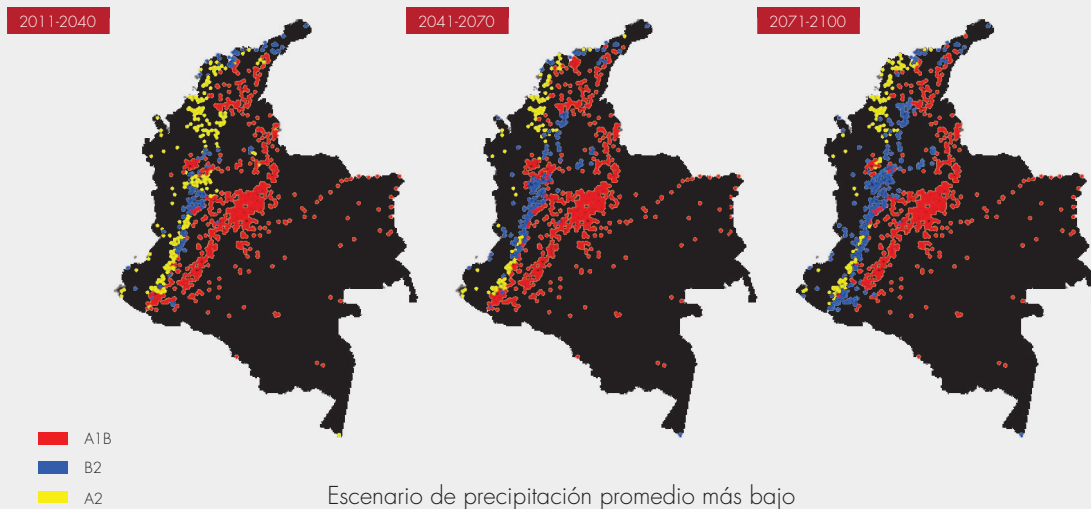
Colombia tiene un clima muy diverso que impone un desafío para la modelación atmosférica en el país.

Cuadro 2

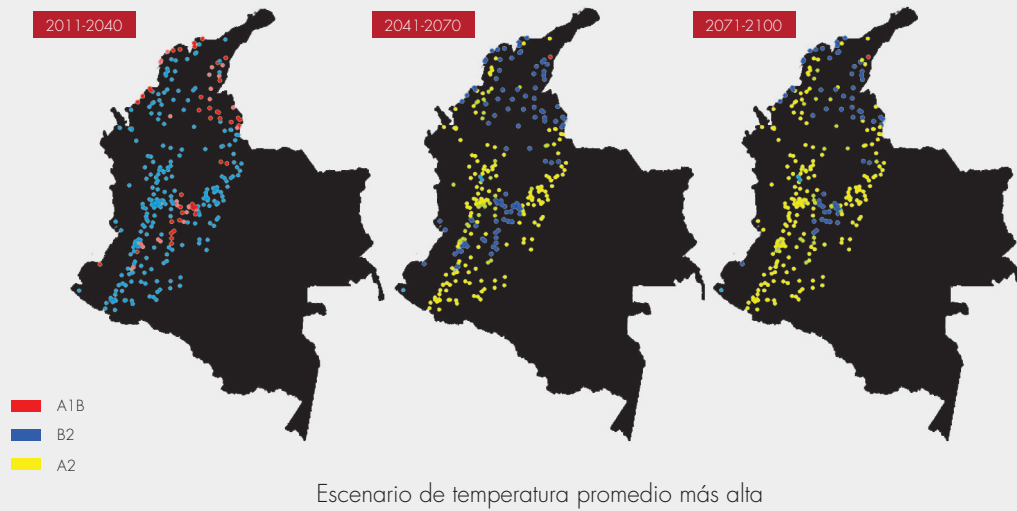
COMPARACIÓN ENTRE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Los escenarios SRES del IPCC se derivan de una serie de supuestos sobre variables socioeconómicas y demográficas futuras. Estos supuestos determinan la concentración de GEI en la atmósfera, y los modelos climáticos se encargan de determinar las consecuencias sobre el clima. En principio el IPCC no construye escenarios optimistas o pesimistas (IPCC, 2000), sin embargo, es posible hacer una comparación entre los resultados de las principales variables climáticas en cada uno de los escenarios.

En el caso de precipitación los escenarios de cambio climático para Colombia indican que la lluvia disminuiría en la mayor parte del territorio, pero esto ocurre de manera diferente en cada escenario. En los mapas siguientes los puntos representan estaciones y el color muestra en cuál de los escenarios la lluvia es relativamente menor (amarillo para el A2, azul para el B2 y rojo para el A1B). El escenario A1B es el más seco en la mayor parte del territorio, pero para numerosas estaciones en el litoral Caribe, el centro y el occidente del país hay estaciones donde los escenarios A2 o B2 son los más secos. Al observar específicamente departamentos como Nariño, Magdalena, Atlántico y los del Eje Cafetero no hay un escenario dominante.



En el caso de la temperatura se puede decir que el escenario con mayor incremento de temperatura sería el B2 para periodo 2011-2040 y el A2 para el resto del siglo. Sin embargo, para algunos puntos en el Magdalena Medio y Bajo se registrarían temperaturas mayores bajo el escenario A1B en el periodo 2011-2040 y bajo el escenario B2 durante el resto del siglo.



Por esta razón, los resultados de las proyecciones climáticas no permiten que en Colombia se pueda hablar de escenarios más lluviosos o menos lluviosos o escenarios optimistas y pesimistas. Para los ejercicios del Estudio Síntesis se corren los modelos por escenario, pero muchos de los análisis son presentados en forma de promedio entre escenarios.

El Cambio Climático en el país es bastante heterogéneo y no es posible determinar si un escenario es más optimista o pesimista que otro.





3

CAPÍTULO

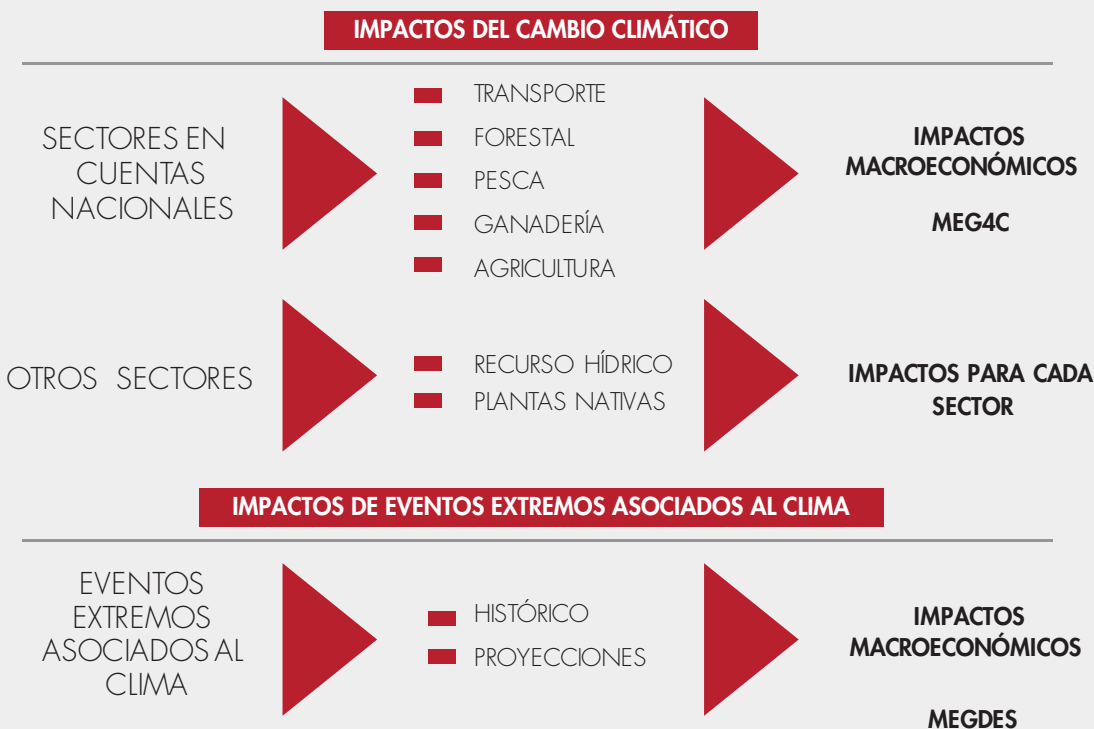
METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO DE IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia -Síntesis-

El Estudio busca mejorar la comprensión que existe en el país sobre las relaciones entre el clima y la economía, haciendo énfasis en aquellas actividades particularmente vulnerables a la oferta climática. En la figura 8 se ilustra la estructura general del Estudio, donde se observa que el análisis sectorial se realiza en dos partes, la primera relacionada con el impacto económico del cambio climático y la segunda con el impacto económico de eventos extremos asociados al clima.

Este capítulo se dividió en tres secciones. En la primera sección se describen aspectos generales de la metodología para analizar el impacto económico del cambio climático, de la metodología para agregar impactos económicos a través del MEG4C, y se examinan los alcances y supuestos principales del Estudio. Las metodologías en detalle y los resultados para cada sector son presentados en el Capítulo 4 del presente documento. En la segunda sección del capítulo se describe de forma general la metodología usada para estimar los costos económicos de eventos extremos asociados al clima y el desarrollo del MEGDES. La descripción detallada y los resultados de este componente del Estudio son presentados en el Capítulo 5 del documento. En la tercera y última sección se identifican las principales fortalezas y limitaciones de la metodología general usada.

Figura 8: Metodología General del Estudio de Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia



Fuente: Elaboración propia

3.1

Metodología para analizar el impacto económico del cambio climático

a. Metodología para analizar el impacto económico del cambio climático

El análisis del impacto económico del cambio climático se realizó en dos tipos de sectores. Los que tienen representación en Cuentas Nacionales usadas para calcular la producción nacional como transporte, sector forestal, pesca, ganadería y agricultura, y en otros sectores³ que aportan de forma indirecta a la economía del país a través de la provisión de servicios ecosistémicos, como son los sectores de recurso hídrico y especies nativas.

La figura 9 describe el proceso seguido para estimar el impacto económico del cambio climático de cada tipo de sector analizado. Para los sectores con representación en Cuentas Nacionales el análisis se realizó con base en información oficial de variables climáticas históricas del IDEAM. Para los otros sectores se hizo con datos históricos provenientes de la base de datos de WorldClim, cuya resolución facilita el análisis espacial requerido para recurso hídrico y especies nativas y otras especies⁴. Los impactos estimados en estos sectores tienen relevancia y brindan información valiosa para las regiones analizadas, sin embargo, no fueron agregados a los demás impactos.

Con los anteriores insumos el **primer paso** a dar para los análisis sectoriales es establecer relaciones entre la oferta climática actual y el desempeño biofísico y económico de los sectores a través de modelos conceptuales calibrados para Colombia y funciones de daño, construidas con base en estadísticas climáticas, ambientales y del sector⁵.

El EIECC estudia la relación actual del clima y la productividad de los sectores, para luego estimar cambios en productividad debido al cambio climático.

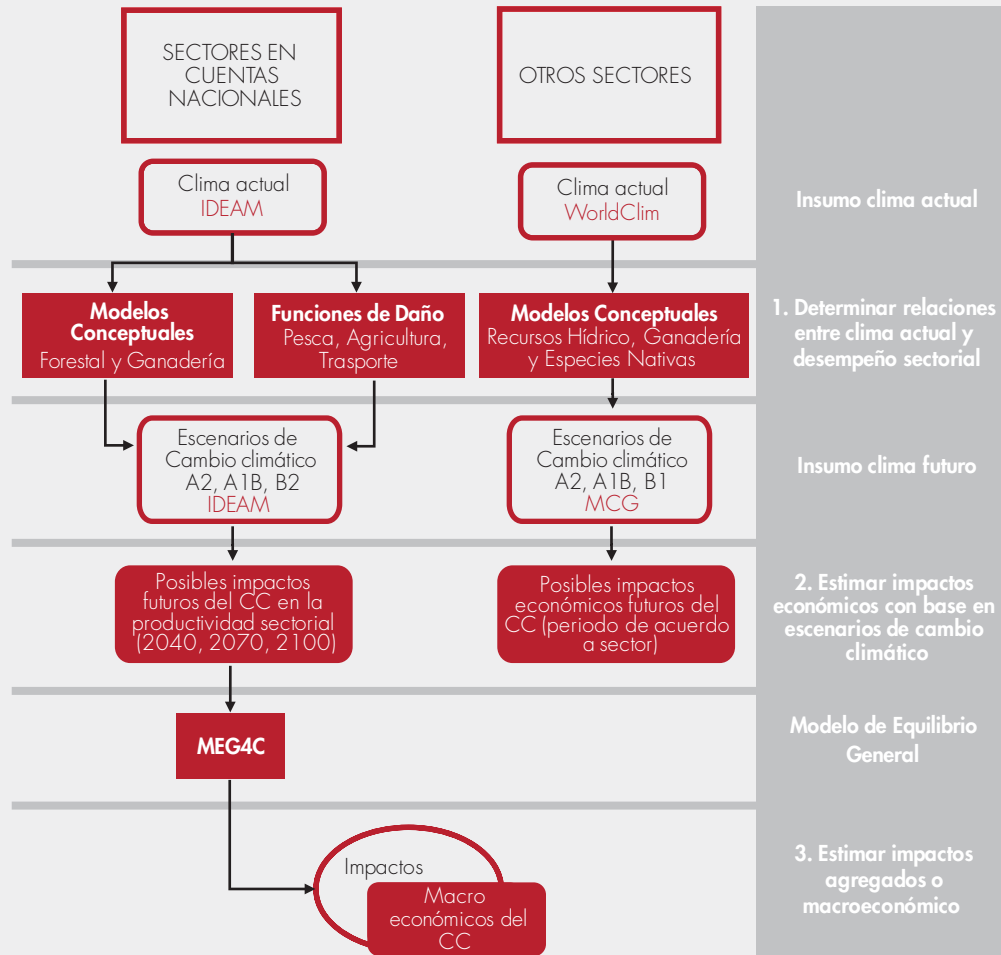
Posteriormente, combinando los datos oficiales de escenarios de cambio climático del IDEAM, junto con los modelos conceptuales y funciones de daño, se realiza el **segundo paso** de estimar los impactos económicos del cambio climático del nivel sectorial. Para los sectores representados en Cuentas Nacionales dichos impactos son estimados en términos de productividad del sector. Vale la pena destacar que a diferencia de los otros sectores con representación en Cuentas Nacionales para ganadería se realizaron análisis con datos del IDEAM y del ensamble de MCG.

3 Se reconoce que recurso hídrico y plantas nativas no son clasificados como "sectores" dentro de la contabilidad de la actividad económica de un país. No obstante, se les da este nombre dado que el análisis de interés es el del impacto del cambio climático sobre los sectores económicos, que se benefician de servicios provistos por el recurso hídrico y algunas plantas nativas de biocomercio y otros usos.

4 Si bien ganadería es un sector con representación en Cuentas Nacionales, fue analizado con datos escenarios de cambio climático del IDEAM y con datos de WorldClim y un ensamble de Modelos de Circulación Global.

5 Los modelos conceptuales hacen referencia a herramientas computacionales construidas para simular el comportamiento de variables de interés en respuesta al cambio en variables climáticas. Las funciones de daño son relaciones matemáticas construidas generalmente con métodos estadísticos, u otros métodos.

Figura 9. Metodología para Analizar el Impacto Económico del Cambio Climático



Fuente: Elaboración propia

El principal impacto del cambio climático que se busca analizar en el presente Estudio es el económico. Por tal razón, se analiza el efecto directo del clima en la producción de los sectores analizados. En esta medida se asume que el clima contribuye como un insumo en el proceso productivo del sector, y que su variación tendrá efectos en la productividad de los sectores. Por ende, para realizar la modelación de impactos se buscaron indicadores de productividad de los sectores que tuvieran relaciones cercanas con la oferta climática. Es así como la productividad es entendida en cada sector de forma diferente, aunque para todos los casos se buscaron indicadores próximos a la capacidad de producción del sector.

La proyección de impactos económicos o de productividad se realizó reconociendo la incertidumbre que existe sobre el comportamiento futuro del clima. Por esta razón, se analizan impactos en tres escenarios climáticos para Colombia, construidos por el IDEAM de acuerdo con los escenarios SRES del IPCC, los cuales definen escenarios socio-económicos

de emisiones de gases de efecto invernadero con base en supuestos sobre las características del desarrollo global y regional.

El análisis en los sectores representados en Cuentas Nacionales se hizo para los escenarios A2, A1B y B2⁶, cada uno de los cuales ilustra posibles comportamientos del clima en el país. Debido a que los impactos sobre el territorio y los sectores económicos dependen de la interacción de las variables climática y desarrollo biofísico del sector, no es posible identificar fácilmente escenarios más negativos o positivos que otros. Por tal razón, en el Estudio se presentan los resultados en forma de promedios multiescenarios por periodo de tiempo, al igual que los impactos para los tres escenarios. Para el caso de recurso hídrico y especies nativas los resultados se presentan para los escenarios A2, A1B y B1.

Se proyecta que el cambio climático altere el promedio y la distribución de las variables climáticas en el país. No obstante, estos efectos pueden ser graduales y tomar décadas en suceder. Razón por la cual los impactos para los sectores representados en Cuentas Nacionales se presentan para tres periodos específicos en el siglo XXI: 2040 (2011-2040), 2070 (2041-2070) y 2100 (2071-2100) que permite analizar la evolución de los impactos en el mediano próximo, el mediano lejano y en el largo plazo. Para el caso de recurso hídrico y especies nativas los resultados se presentan para otros periodos de tiempo en respuesta a la información disponible.

En el **tercer y último paso** los impactos sectoriales para agricultura, ganadería, pesca, forestal y transporte son agregados usando el MEG4C. Como resultado de dicha agregación y de las interacciones existentes entre los sectores analizados y otros sectores de la economía se obtienen los impactos macroeconómicos del cambio climático.

El MEG4C es una herramienta que permiten combinar los efectos en la productividad de los sectores en efectos de la economía nacional.

b. Agregación de impactos económicos del cambio climático – MEG4C

El cambio climático tiene impactos directos sobre la productividad de ciertos sectores, sin embargo, dada la relación de estos con otros sectores de la economía los impactos agregados pueden llegar a ser mayores. La metodología de agregación buscó analizar los impactos directos e indirectos del cambio climático a través del MEG4C, cuya base cuantitativa corresponde a información de las Cuentas Nacionales. Por esta razón, la agregación se hace sólo para sectores representados en dichas cuentas, que para efectos del Estudio son los sectores de agricultura, ganadería, pesca, forestal y transporte.

En esta sección: primero se describe de forma general las características y fuentes de información del MEG4C, segundo se relata el proceso para construir el escenario base macroeconómico sin cambio climático, y por último, se relata la metodología usada para introducir los impactos sectoriales en el modelo con el fin de estimar los impactos agregados del cambio climático, a través de la generación de un escenario macroeconómico con cambio climático.

⁶ Las implicaciones climáticas para Colombia de cada escenario pueden ser consultadas en el Capítulo 2.

Características del MEG4C

Para evaluar las diversas interrelaciones que se pueden dar ante choques en la productividad de los sectores económicos derivados del clima, la herramienta metodológica usada es el MEG4C, que busca simular el comportamiento de la economía colombiana a través de las acciones de un hogar representativo, dos tipos de trabajo, un gobierno y un resto del mundo. La base cuantitativa del modelo es la Matriz de Contabilidad Social (MCS) elaborada a partir del Sistema de Cuentas Nacionales (SCN) y la Encuesta de Calidad de Vida (ECV) del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). La matriz se elaboró siguiendo el esquema propuesto por Corredor y Pardo (2008) y usando como año base 2010. Adicionalmente, y con el fin de analizar efectos sobre sectores de interés se agregaron 16 sectores económicos. El cuadro 3 describe en más detalle las características del Modelo.

CUADRO 3

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL MEG4C

Las características principales del MEG4C son las siguientes:

- Para la sustitución entre el valor agregado y el insumo intermedio se usa una función Leontief de coeficientes fijo
- El trabajo y el bien compuesto capital-energía son sustitutos imperfectos representados con una función de Elasticidad de Sustitución Constante (CES).
- El destino de la producción del bien doméstico puede ser el mercado interno o el resto del mundo, esto se representa en una función de Elasticidad de Transformación Constante (CET).
- Las familias maximizan el consumo de un bien compuesto entre los bienes domésticos y aquellos importados.
- El modelo se soluciona de forma dinámica-recursiva, el cual implica que las decisiones de producción, consumo e inversión se toman con la información del mismo periodo de decisión.
- Todos los agentes son tomadores de precios, es decir, el mercado es perfecto y los precios relativos son lo suficientemente flexibles, de tal forma que la oferta es igual a la demanda.

Cierres del MEG4C

Los cierres del modelo aseguran que el número de ecuaciones puedan explicar la totalidad de variables endógenas. MEG4C permite hacer varios cierres alternativos. Sin embargo, los usados para el desarrollo de este trabajo son:

- El consumo y el ahorro fiscal son exógenos, los ingresos fiscales son endógeno
- La tasa de desempleo de cada tipo de trabajo es exógena, los salarios relativos son endógenos.
- La tasa de cambio es determina endógenamente.

Figura 10. Esquema general del MEG4C



Construcción del escenario base 2011-2100

El escenario macroeconómico de referencia o escenario base para el periodo 2011-2100 no tiene por objeto proveer un pronóstico de las variables económicas. Corresponde a una línea de referencia razonable de la economía durante el siglo XXI en la que se asume no hay cambio climático. Sobre este escenario base se cuantifican las pérdidas asociadas al cambio climático con el fin de construir un escenario económico con cambio climático

Para la construcción del escenario base 2011-2100 se toman en cuenta: (i) los resultados históricos del crecimiento del PIB para el periodo 2010-2012; (ii) las tasas de crecimiento incluidas en el Marco Fiscal de Mediano Plazo (MFMP) para 2013-2024 y (iii) los resultados de un Modelo de Contabilidad del Crecimiento (MCC) para el periodo 2024-2100. El MCC incorpora datos históricos de la economía colombiana y series exógenas que reflejarían tendencias y cambios estructurales que se podrían presentar en el largo plazo. En el cuadro 4 se presentan los valores principales usados para la construcción del escenario.

El resultado del escenario base es de un crecimiento promedio del PIB de 3,5% para el período 2011-2100⁷. Esta tasa de crecimiento es fijada de forma exógena en el MEG4C alterando las productividades del factor trabajo y del capital. Por lo tanto, en ausencia de cambio climático, el MEG4C deberá replicar la senda de crecimiento de la figura 11

CUADRO 4

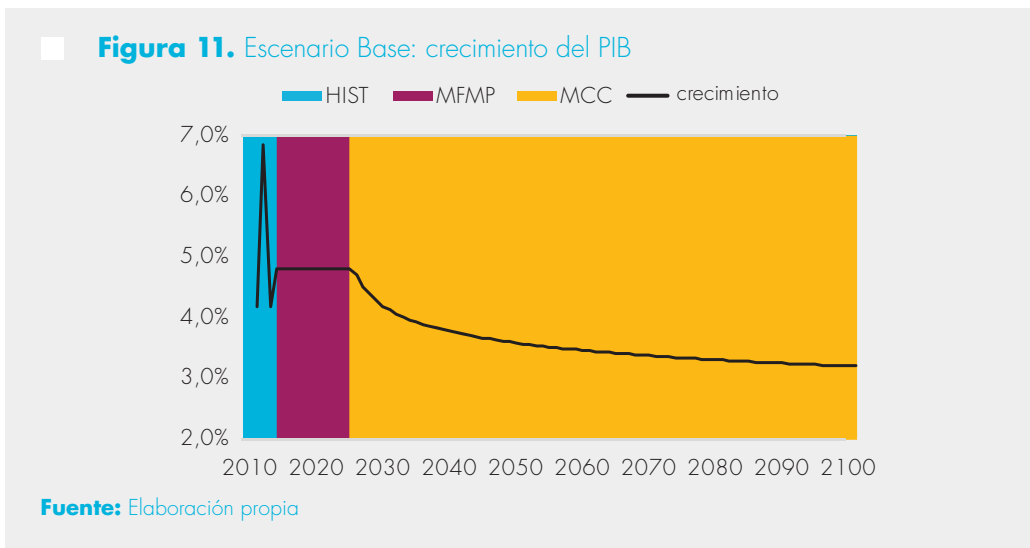
CONSTRUCCIÓN DEL ESCENARIO BASE

El MCC 2011-2100 parte de un stock de capital inicial que crece a una tasa de inversión neta constante y de la Población Económica Total la cual crece a partir de proyecciones demográficas (DNP-SDAS, 2012). La productividad total de los factores, usando una función Cobb-Douglas, se ajusta para el periodo 2005-2024 de tal forma que se replique el crecimiento histórico del periodo 2005-2012 y el crecimiento de 4,6% supuesto para el periodo 2013-2024 (MHCP, 2013).

Para el periodo 2025-2100 se fija el crecimiento de la productividad total igual al promedio obtenido de la calibración de los 20 años. A continuación se presentan los principales datos de partida para la construcción de la línea base.

Parámetro usados	Valor	Fuente
Capital Inicial (miles de millones de pesos de 2005).	753.471	Cálculo equipo EIECC basado en (Perilla, 2010)
PIB 2005 (miles de millones de pesos de 2005).	340.156	Sistema de Cuentas Nacional DANE
Tasa de depreciación	4,56%	DNP, Banrep.
Participación del capital dentro del producto (%).	45%	(Tribín, 2006)
Tasa de inversión respecto al PIB (%)	31%	(MHCP, 2013)
Crecimiento PIB 2013-2024.	4,6%	(MHCP, 2013)

⁷ Para el periodo 2010-2012 las tasas de crecimiento corresponden a datos históricos, la tasa de crecimiento que se fija para el periodo 2013-2024 es igual a 4,6% anual (MHCP, 2013), mientras que para el periodo 2025-2100 la tasa promedio de crecimiento es de 3,3% producto del modelo de contabilidad del crecimiento.



- Incorporación de cambios en productividad en el MEG4C y generación de escenario con cambio climático

Con el fin de agregar los impactos del cambio climático, estimados en los análisis sectoriales, se incorporan al MEG4C como choques a la productividad para construir un escenario con cambio climático. Cada análisis sectorial definió la productividad de forma diferente aunque con indicadores próximos a la capacidad de producción del sector, como lo muestra la tabla 1. Los choques en productividad estimados en el nivel sectorial se ponderan de acuerdo con la participación en el SCN del subsector correspondiente sobre la producción total a precios básicos del sector agregado en la MCS de 2010. Los impactos en productividad ponderados son los que finalmente entran al MEG4C

Tabla 1. Definición de productividad sectoria

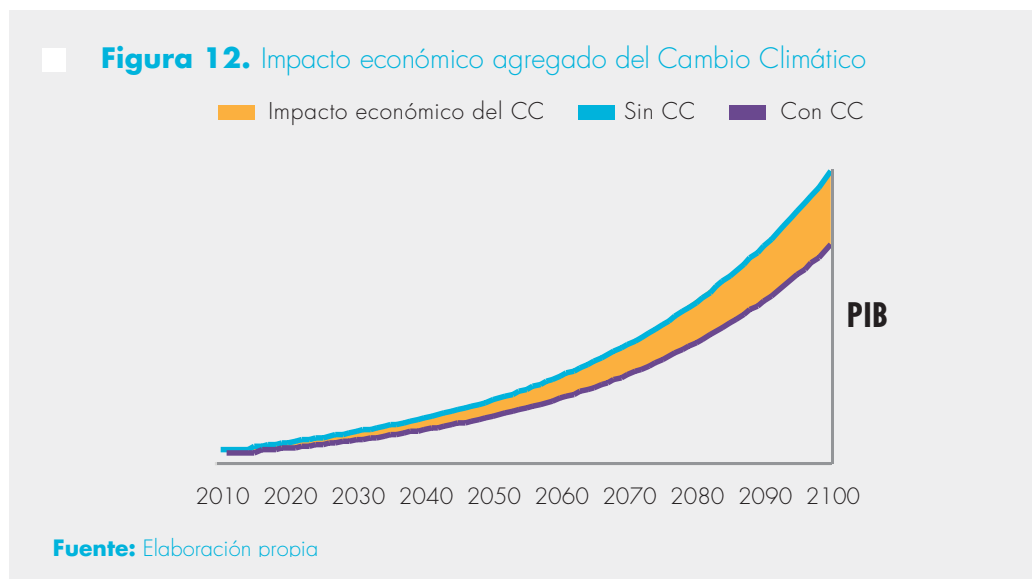
Sector económico	Definición de productividad sectorial	Ponderación choques en productividad sectorial
Agricultura	Rendimientos agrícolas (producción por unidad de área).	Los choques sobre rendimientos agrícolas son ponderados de acuerdo con la participación porcentual promedio de la producción de maíz tecnificado, arroz irrigado y papa en el valor total de la producción del sector. Esto equivale a 16,2%.
Pesca	Carga desembarcada	Los choques sobre la carga desembarcada se ponderan por el 64,3% que equivale a la participación promedio de la pesca marítima y pesca continental en el sector.
Forestal	Producción forestal potencial	Los choques sobre producción forestal se ponderan por 50,1% equivalente a la participación del subsector: plantaciones con fines comerciales y troncos de madera
Ganadería	Producción de carne y leche	Los choques sobre la producción de carne y leche se ponderan por 50,3% que representa la participación de los subsectores: ganado bovino y producción de leche.
Transporte	Disponibilidad de la red vial primaria como proxy de la capacidad de operación de las vías.	Los choques en la disponibilidad de la red vial se ponderan por el 40,4% correspondiente a la participación del subsector carretero en el total del sector transporte.

Fuente: Elaboración propia.

Estos cambios en productividad sectorial se incorporan al MEG4C modificando el coeficiente técnico asociado a la función de producción Leontief (ver cuadro 3) que representa la cantidad de insumos intermedios y de factores productivos necesarios para producir una unidad de producto. Esos nuevos coeficientes implican que ante un cambio negativo en la productividad del sector, y sí se asume que las cantidades de insumos demandados se mantienen constantes, la cantidad producida se reduce (DNP-SDAS, 2012).

El impacto económico del cambio climático del nivel agregado se definiría entonces como la diferencia entre el escenario macroeconómico base sin cambio climático y el escenario macroeconómico con cambio climático como lo muestra la figura 12

Los impactos del nivel macroeconómico son posteriormente usados para analizar el cambio en bienestar del ámbito hogar y regional. El cuadro 5 presenta la metodología general usada para realizar dicho análisis.



CUADRO 5

ANÁLISIS SOBRE EL CAMBIO EN BIENESTAR

Para evaluar la incidencia en el bienestar de las familias, incorporando la heterogeneidad sobre los patrones de consumo, el nivel de ingreso y el lugar de residencia, se usan los Modelos de Micro simulaciones (MMS) que combinan los resultados agregados que se obtienen del MEG4C con información de la ECV del DANE.

La metodología consiste en construir una canasta de bienes de consumo para los hogares usando las participaciones en el gasto de la ECV. El MEC4G genera sendas de precios al consumidor estimando el valor de la canasta en un escenario de CC respecto del escenario base. Si los precios de los bienes que consume el hogar son mayores bajo los escenarios de cambio climático, el consumo del hogar será menor y por lo tanto, el bienestar de cada hogar también.

c. Alcances y supuestos del análisis

La metodología general usada para estimar el impacto económico del cambio climático en los sectores y en el nivel agregado tiene un alcance definido y por lo tanto, la interpretación de los resultados debe darse a la luz de sus características. El cuadro 6 resume los principales alcances y supuestos del Estudio.

CUADRO 6

RESUMEN DE ALCANCES Y SUPUESTOS DE LA ESTIMACIÓN DE LOS IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

- Se modelan impactos del cambio climático no de la variabilidad climática (esta es modelada en un ejercicio aislado).
- Se modelan efectos de cambios en temperatura y precipitación, no de otros fenómenos.
- Los resultados muestran los efectos aislados del clima sobre la productividad.
- Se analizó solamente los efectos en productividad no en infraestructura.
- Se mantienen otros factores constantes: tecnología, área sembrada actual, vías existentes, productividad de los factores productivos, entre otros.

En resumen, los impactos agregados presentados en el nivel sectorial y macroeconómico sólo estiman el efecto de los cambios graduales en la media de la temperatura y la precipitación y no en sus extremos, es decir, no se está estimando el efecto de la variabilidad climática. Al mantener el supuesto que el cambio climático trae cambios graduales en las variables climáticas los impactos sobre los sectores, igualmente, serán graduales. Esto significa que la magnitud de los efectos sólo podrá percibirse en el largo plazo, sin que ello signifique que no estén presentes. Al hacer énfasis en los efectos de cambios en la temperatura y la precipitación no se modelan otros efectos del cambio climático como la acidificación del océano, aumentos a nivel del mar, ciclones, erosión costera, reducción de glaciales, incendios forestales, vendavales y/o degradación de suelos, entre otros.

Por otro lado, los efectos estimados son los del clima actuando aisladamente en el proceso productivo, sin analizar los posibles impactos del clima en el capital o la infraestructura requerida para la producción. Se asume, entonces, que para cada sector la oferta tecnológica representada en el riego, el manejo del cultivo, las plantaciones y las pasturas, la productividad del capital y el trabajo, el área sembrada, entre otros, se mantienen constantes. Finalmente, a la hora de interpretar los resultados de impactos agregados del PIB es importante tener en cuenta que se modelaron cinco sectores de la economía, que en su conjunto no suman actualmente más del 4,3% del PIB total.⁸ En el ejercicio no se está

⁸ Promedio 2005-2011 de la participación del PIB de transporte (carretero), ganadería (carne y leche), agricultura (maíz tecnificado, papa y arroz), forestal (troncos de madera y plantaciones comerciales) y pesca (peces y pescados de aguas marítimas y dulces) en el PIB Nacional, para los subsectores considerados.

teniendo en cuenta el impacto directo en otros sectores que también pueden ser vulnerables al cambio climático como el turismo, la industria, el sector comercial, la minería, entre otros.

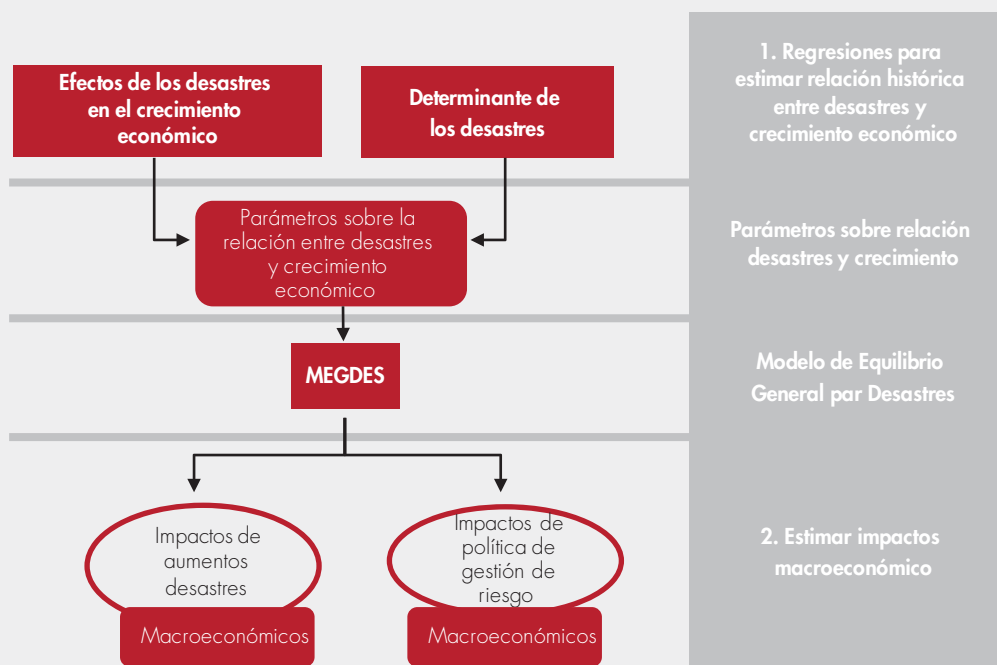
Por las razones anteriores es posible asumir que los impactos sectoriales y agregados representan subestimaciones del impacto que el cambio climático puede tener en la economía del país.

3.2 Metodología para analizar el impacto económico de eventos extremos

El Estudio buscó estimar los costos económicos de eventos extremos asociados al clima, muchos de ellos ocurridos durante eventos de variabilidad climática. El énfasis de este análisis no fue el de generar escenarios futuros de posibles eventos extremos climáticos, sino de mejorar nuestro entendimiento del impacto de los desastres originados por amenazas climáticas en el crecimiento económico del país.

La figura 13 muestra la metodología general seguida. Con base en ella se estimó la relación histórica entre los desastres de origen climático y el crecimiento económico del país, y los determinantes socio-económicos de dichos desastres. Para lo anterior se hicieron análisis econométricos con datos departamentales y municipales; sus resultados permitieron estimar el impacto económico histórico de desastres de este tipo y generar parámetros

Figura 13. Metodología para analizar Impactos Económicos de Eventos Extremos asociados al clima



Fuente: Elaboración propia

necesarios para calibrar el MEGDES. Con base en dicho modelo se analizan los impactos macroeconómicos de escenarios en los que aumentan la tasa de desastres de origen climático⁹, y escenarios en los que se implementan acciones específicas en el marco de la política de gestión de riesgo de desastres. Los detalles metodológicos de este análisis se presentan en el Capítulo 5.

3.3 Fortalezas y limitaciones de la metodología general

El EIECC busca mejorar el conocimiento de los mecanismos a través de los cuales el clima afecta positiva o negativamente la economía del país. Dentro de las fortalezas más destacadas del Estudio está el uso de herramientas matemáticas para estimar los impactos sectoriales y agregados. Esto genera rigurosidad en el análisis y permite replicar los resultados o realizar nuevos ejercicios con información nueva disponible.

Avanzar en el conocimiento disminuye la incertidumbre. Sin embargo, el conocimiento generado aún cuenta con grados importantes de incertidumbre. Estos se deben principalmente a que el ejercicio de modelación para estimar impactos económicos conjuga las incertidumbres de la modelación climática, la modelación sectorial y la modelación económica como lo muestra la figura 14. Esto sumado a la limitación de los datos existentes que, en algunos casos, presentan errores de medición y en otros vacíos relevantes.

En general, la modelación climática tiene como fuente de incertidumbre inicial las proyecciones de emisiones de gases de efecto invernadero que se hacen con base en supuestos

Figura 14. Fuentes de Incertidumbre en la Estimación de Impactos Económicos del Cambio Climático



Fuente: Elaboración propia

⁹ Este análisis no incluye construcción de escenarios futuros de variabilidad climática.

sobre el desarrollo global y regional. A ello se suma la incertidumbre en las proyecciones del clima global generadas por los modelos de circulación global.

De otra parte, el proceso de *downscaling* para generar escenarios climáticos en el país aumenta la incertidumbre final de las proyecciones de clima futuro. En cuanto a la modelación sectorial la principal incertidumbre radica en los parámetros usados para construir los modelos conceptuales y las funciones de daños, algunos de los cuales se basan en información deficiente o insuficiente para el sector.

Los resultados muestran los efectos aislados del clima sobre la productividad.

Finalmente, la incertidumbre en la modelación económica para estimar impactos agregados radica en los parámetros estructurales del modelo, en los supuestos tomados sobre el crecimiento de la población y de la productividad de los factores y en los supuestos sobre el comportamiento optimizador de los hogares y las empresas. Adicional a esto, si bien en el escenario base se asume cierto grado de desarrollo económico que puede llevar a reducir la vulnerabilidad aumentando la capacidad adaptativa, también podría aumentar la exposición de los sectores de la economía a los impactos del clima.

Por lo anterior, resulta relevante interpretar los resultados recordando que existe incertidumbre en ellos, y que se hace necesario seguir avanzando en el conocimiento del impacto del cambio climático en la economía y fortaleciendo las capacidades del país para capturar y procesar información y para generar conocimiento sobre las relaciones entre el clima, los ecosistemas, la población y la economía.

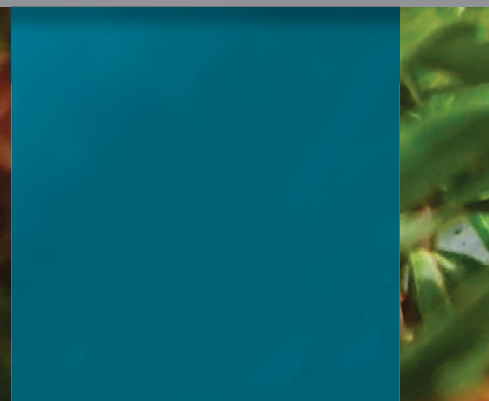


4

CAPÍTULO

IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia -Síntesis-





En este capítulo se presentan los resultados obtenidos por el Estudio sobre el análisis económico de los posibles efectos del cambio climático en los sectores priorizados. El capítulo se divide en dos secciones. En la primera, numeral 4.1, se analizan los sectores de ganadería, agricultura, forestal, pesca y transporte, con representación en Cuentas Nacionales y sobre los cuales se estimaron impactos con base en los datos oficiales sobre escenarios de cambio climático del IDEAM. Al finalizar se presentan los resultados de la agregación de los impactos económicos a través del MEG4C. En la otra sección, numeral 4.2, se analizan otros sectores que contribuyen de forma indirecta a la economía del país a través de la provisión de servicios ecosistémicos, y cuyos impactos fueron estimados utilizando los escenarios generados a través de un Ensamble de MCG. Debido a las diferencias metodológicas en los escenarios climáticos usados en el cálculo de impactos económicos en sectores de Cuentas Nacionales y otros sectores, estos impactos no son comparables y por lo tanto, no deberían ser sumados.

4.1

Impactos económicos en sectores con representación en cuentas nacionales

A continuación se presenta una síntesis de los análisis sectoriales realizados para ganadería, agricultura, sector forestal, pesca y transporte y el resultado de agregar los impactos sectoriales en impactos macroeconómicos, con el fin de estimar los posibles costos económicos del cambio climático en el país.



Sector Ganadero

La ganadería una de las actividades agropecuarias más importantes en el país, contribuye al 20% del PIB agropecuario (DANE, 2012b) aunque su participación histórica en el PIB nacional ha venido reduciéndose. A pesar de lo anterior la producción de carne, especialmente bovina en fresco y procesada, genera negocios importantes en el nivel internacional; y su producción, que crea empleos en todo el país, está ubicada dentro de los cinco productos más importantes de la dieta de los colombianos (DANE, 2012b).

La cadena productiva de carne bovina está compuesta por 26,7 millones de cabezas de ganado ubicadas en 39,2 millones de hectáreas en pastos. Según información de la encuesta nacional agropecuaria del DANE el 48% del hato se destina a la producción de carne (cría, levante, ceba), el 36% al doble propósito¹⁰ y el resto a la lechería. La región con el mayor inventario de ganado es Antioquia, seguida de Casanare, Meta y Córdoba que en conjunto representan más del 50% del inventario bovino del país.

Cambios de temperatura y precipitación podrían determinar la producción total de diferentes pasturas y forrajes, en influir en la calidad y producción de carne y leche.

La ganadería en Colombia es de tipo extensivo y una parte importante del área que ocupa corresponde a suelos con vocación para la agricultura y la actividad forestal. Dentro de la Visión Colombia 2019 se plantea la importancia de liberar tierras que actualmente son usadas de manera ineficiente por sistemas ganaderos, a través de la promoción de sistemas de explotación productiva y sostenible (DNP, 2007). Así mismo, el Plan Nacional de Desa-

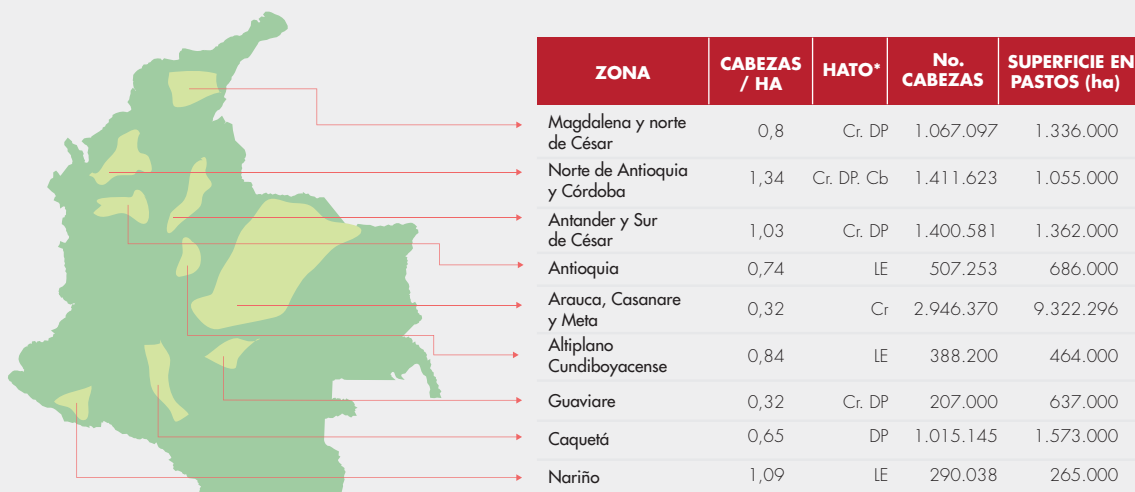
¹⁰ Producción de carne y leche.

rrollo 2010-2014 incluye como meta la reducción del área pecuaria en un 24% de 2014 a 2019 (DNP, 2010). Por otra parte, la Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegan) en su Plan Estratégico revela que se ha puesto como meta la creación de conglomerados donde se concentre el desarrollo en el nivel regional de la ganadería (Fedegan, 2006).

El cambio climático puede tener efectos sobre la producción ganadera. Cambios de temperatura y precipitación podrían ser determinantes en la producción total de materia seca y en la calidad de diferentes tipos de pasturas y forrajes, y por lo tanto, influir en la producción de carne y leche. Olas de calor pueden provocar estrés calórico en los animales y afectar la producción y la calidad de la carne y la leche, mientras que las inundaciones y los deslizamientos en zonas ganaderas pueden afectar la capacidad del ganado de alimentarse, ganar peso y en algunos producir la muerte.

Los efectos potenciales del cambio climático en el sector ganadero fueron evaluados a partir de un análisis en la producción de pasturas. A diferencia de los demás análisis sectoriales para ganadería se usaron dos fuentes de información sobre escenarios climáticos. En primera medida IDEAM, como la oficial, se constituyó en la principal con base en la cual se analizaron impactos para los escenarios A2, A1B y B2 para los periodos 2040, 2070 y 2100. Los resultados de esta fuente son comparables con los encontrados para agricultura, forestal, pesca y transporte y fueron incorporados en el MEG4C para estimar impactos agregados. En segunda medida se usaron datos de la base WorldClim y escenarios generados mediante un MCG para analizar con mayor detalle geográfico impactos a 2100 en la producción de carne y leche para los escenarios A2 y A1B. En el documento se presentan los resultados generados por ambas fuentes de información. Como se discutirá en el documento en algunas regiones existe divergencia en los resultados a 2100, reflejando la incertidumbre existente en las proyecciones climáticas de largo plazo para ciertas regiones del país.

Figura 15. Características de zonas y pastos estudiados



* Cr: Cría, DP: Doble Propósito, Cb: Ceba, LE: Lechería Especializada

Análisis de impactos del cambio climático en la producción de carne y leche a 2040, 2070 y 2100 – IDEAM

Los efectos potenciales del cambio climático en el sector ganadero fueron evaluados a partir de un análisis en la producción de dos pasturas mejoradas en nueve de las zonas más representativas de producción de carne y leche en Colombia, como se muestra en la figura 15

El efecto del cambio climático en la productividad ganadera se determinó mediante la comparación de la producción de materia seca de los forrajes para una línea base y la producción de materia seca bajo escenarios de cambio climático. En este proceso se asumió que en el futuro se mantendrán constantes las áreas en pasturas, las prácticas de manejo de praderas y los suelos. A partir de la información del impacto en la materia seca se estimó el impacto en la producción de leche y carne para cada zona en estudio. El análisis no consideró episodios de estrés calórico en los animales que, también, podrían afectar la producción de carne y leche en el sector.

El análisis del impacto del cambio climático se llevó a cabo en dos etapas: en la primera, a partir del uso de modelos computacionales se simuló la producción de materia seca en las pasturas, y en la segunda, con base en información del consumo por animal y la capacidad de carga de la zona se estimó el impacto en la producción de carne y leche departamental y nacional. En el cuadro 7 se describe la metodología con mayor detalle.

El sector ganadero del país se vería afectado negativamente por el cambio climático, debido principalmente a la disminución de la precipitación en altiplanos.

Con base en la información del IDEAM los resultados de las simulaciones indican que, para los pastos y regiones analizados, **el sector ganadero del país se vería afectado negativamente por el cambio climático debido a una disminución de la producción de leche y carne**, con un efecto mayor sobre la leche. Si bien en todas las regiones donde se modeló Rye Grass los efectos promedio son negativos, para Brachiara, Antioquia tendría ganancias en producción, mientras que el resto de regiones tendrían pérdidas. Los efectos para cada pastura y región dependen del escenario y el periodo analizado.

Brachiara. En Antioquia los resultados de las simulaciones muestran ganancias en producción de leche y carne hasta la década de 2070 para los escenarios A2 y B2, mientras que el aumento en producción para el escenario A1B iría hasta 2100. Sin embargo, estos resultados son diferenciados por zonas. Los resultados muestran que la precipitación disminuiría en todo el departamento causando efectos heterogéneos. En el norte, donde actualmente la precipitación es muy alta, la posible disminución futura sería favorable para la producción de materia seca. Por el contrario, en el sur, donde actualmente la precipitación es baja, una mayor disminución generaría pérdidas en la producción de carne y leche. No obstante lo anterior, el balance para el departamento es positivo hasta la década de 2070 pues las ganancias son mayores a las pérdidas.

En Córdoba los escenarios A2 y B2 muestran una tendencia a disminución de la producción de leche y carne que está relacionada con la disminución de la precipitación en la zona. El promedio anual actual de precipitación es cercano a 1.500 mm/año, y las

CUADRO 7

METODOLOGÍA PARA EVALUAR EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR GANADERO

Simulación de producción de materia seca en pasturas. Este paso tiene como objetivo simular la producción de materia seca para una línea base de 1970 a 2010 en el periodo comprendido entre 2011 y 2100 para los escenarios de cambio climático del IDEAM A2, B2 y A1B. La simulación se realizó para los pastos *Brachiaria-Humidicola*, *decumbens* y *bizantha* y *Rye Grass-Lolium perenne*, utilizando los modelos computacionales DSSAT* y APSIM**, respectivamente. Estos modelos simulan el crecimiento, desarrollo y producción de la pastura como función de la interacción entre el suelo, la planta, la atmosfera y el manejo de cultivo.

Las modelaciones se hicieron bajo distintos tipos de suelos, modificando fertilidad y textura, de acuerdo con la predominancia de cada suelo en cada región, y con base de datos de DSSAT y del CIAT. La información climática usada para la simulación corresponde a estaciones del IDEAM dentro del área de pasturas de los departamentos de interés, y con una cota inferior a los 1800 msnm para *Brachiaria* y 2200 msnm para *Rye Grass*. Dado que las proyecciones climáticas de las estaciones suministradas por el IDEAM están a una escala mensual se utilizó el software MarkSim*** con el fin de generar datos diarios. Como resultado de este paso se obtiene la producción en toneladas de materia seca por hectárea (ton/MS/ha-año).

Estimación del impacto en la producción de carne y leche. Con base en los resultados del paso anterior se realiza la estimación de los valores de consumo y forraje y los de conversión de materia seca a carne con base en información de FEDEGAN sobre población bovina por sexo y categoría de edad. Para estimar la producción de leche se consideraron vacas con más de 2 años con el fin de garantizar edad productiva y se estimó la producción utilizando la ecuación de Maff****. Como resultado de este paso se obtiene las proyecciones de producción de carne y leche bajo escenarios de cambio climático. La variación en la producción de carne y leche resulta de comparar el valor de la producción en 2011 de acuerdo con FEDEGAN y el de la producción futura obtenida de los pasos anteriores, y asumiendo precios constantes. La productividad es entendida en este sector como la producción de carne y leche.

* Decisión Support System for Agrotechnology Transfer, el modelo está calibrado para *Brachiaria* en Colombia.

** Agricultural Production Systems Simulator, el modelo está calibrado para *Rye Grass* en Colombia.

*** Programa generador de clima.

**** Esta ecuación relaciona el consumo de materia seca y el peso vivo del animal con la producción de leche por animal con una corrección del 4% de grasa.

pérdidas de precipitación alcanzan a llegar a un 30% de dicho valor. En cuanto al escenario A1B, a pesar que la tendencia de la lluvia es a reducirse en las primeras décadas y aumentar en las siguientes, se observa una disminución de la producción de carne y leche.

La producción de leche y carne en el Cesar es sensible a cambios en la precipitación dado que los niveles actuales de precipitación son bajos. En el caso de los escenarios A2

y B2 se reduciría la producción de leche y carne en la mayoría de las décadas, con niveles bajos de pérdida. En el caso del escenario A1B las pérdidas de producción de leche y carne son mayores debido a que la reducción de la precipitación es mayor que en los otros escenarios. Igualmente, la temperatura influye fuertemente en la disponibilidad de agua en el suelo y por lo tanto, en un mayor estrés hídrico para la pastura.

En el Meta los escenarios A2 y B2 muestran una tendencia a reducción de la producción de carne y leche. La zona presenta niveles de precipitación adecuados para la producción de Brachiara, y en la medida que esta precipitación disminuye la producción de leche y carne empieza a verse afectada. Por su parte, los incrementos de temperatura jugarán a favor de la producción de biomasa en las primeras décadas, pero cuando los niveles de temperatura crecen hasta alcanzar valores de temperatura máxima por encima de 35°C entonces la producción de biomasa de la Brachiara empezaría a verse afectada.

En Casanare la producción de carne y leche se reduciría en los escenarios A2 y B2 debido a la disminución de la precipitación. Para el escenario A2 las pérdidas de producción de leche y carne ocurrirían en las décadas más cercanas, y cada vez se irían reduciendo. En el escenario B2 las pérdidas tienden a acrecentarse para las décadas más lejanas dado que la precipitación se disminuiría con una tendencia más clara en este escenario.

Por otro lado, en el Guaviare los resultados muestran pérdidas bajas para la producción de carne y leche. A pesar que en algunos casos la disminución de la precipitación puede superar los 200 mm/año el efecto sobre la producción de leche y carne no es tan notable, dado que los niveles de precipitación en esta zona superan los 2.500 mm/año.

En Caquetá, de acuerdo con los resultados, se presentaría una reducción en la producción de leche y carne para los escenarios A2 y B2. Este resultado está relacionado con una combinación de factores climáticos y de suelo. Se observa una disminución progresiva de la precipitación que combinada con un aumento en la temperatura, por encima de los rangos favorables para las plantas, puede generar estrés hídrico dado el aumento de los niveles de evapotranspiración. Por el contrario la producción podría incrementarse bajo un escenario A1B porque en este escenario la temperatura aumenta a una menor tasa manteniéndose en el rango que favorece la producción de materia seca.

Rye Grass. Al igual que en Brachiara los efectos para Rye Grass dependen del escenario y el periodo analizado. Sin embargo, el promedio de los resultados muestran una disminución en la producción de carne y leche en Cundinamarca y Nariño. En el caso de Cundinamarca en el escenario B2 la producción de leche y carne aumentaría, mientras que en los escenarios A2 y A1B la producción de leche y carne se vería afectada. Para estos casos la distribución de las lluvias juega un papel fundamental. En esta región la precipitación ya es una limitante, y una reducción de la precipitación para los períodos más secos hace que la producción caiga drásticamente.

En todas las regiones donde se modeló Rye grass los efectos promedio son negativos. Para Brachiara, Antioquia tendría ganancias en producción, mientras que el resto de regiones tendrían pérdidas.

La producción de leche y carne en Nariño sería afectada en todos los escenarios de cambio climático debido, especialmente, a la sensibilidad en la disminución de la precipi-

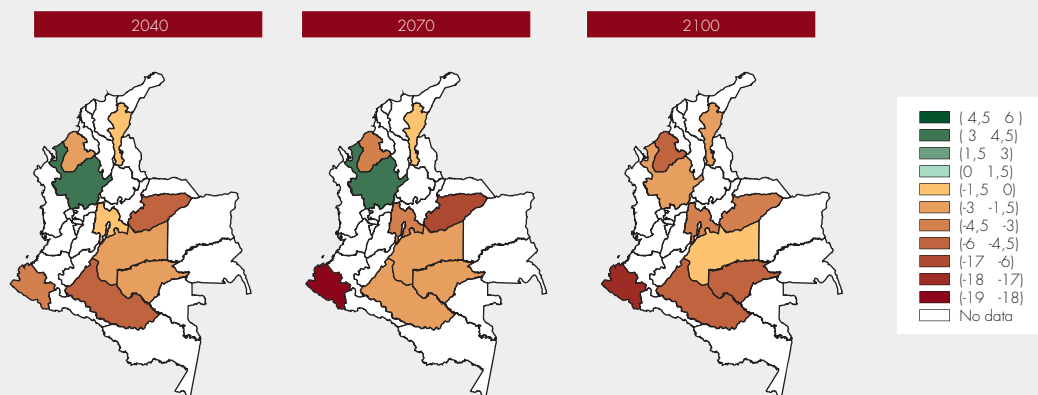
tación. El altiplano nariñense presenta un promedio anual actual de precipitación cercano a los 900 mm, y en algunos casos la reducción de la precipitación alcanzaría hasta el 50% del valor actual.

Como se verá más adelante en este capítulo y en el de recurso hídrico para la cuenca de la laguna de Fúquene los resultados para Rye Grass en Cundinamarca y Nariño son contrarios a los descritos, cuando se usan escenarios de cambio climático del ensamble de MCG. Esta divergencia está asociada a diferencias en las proyecciones de cambio climático para altiplanos andinos como los presentes en estas dos regiones. Mientras que los escenarios del IDEAM proyectan reducciones importantes en la precipitación el ensamble de MCG proyecta aumentos.

En conclusión, con base en los escenarios del IDEAM, el análisis agregado de los impactos en el nivel nacional muestra que el impacto promedio, entendido como el cambio promedio para todos los escenarios y el periodo estudiado, correspondería a **pérdidas anuales en la producción de carne y leche de 1,6% con respecto del escenario base 1970-2010. Este es el impacto económico obtenido al tener en cuenta únicamente para el hato ganadero en las pasturas y regiones modeladas**, sin embargo, los impactos pueden ser diferentes si se amplía el análisis. Como lo muestra la tabla 2 el escenario A2 presentaría las mayores pérdidas y el B2 las menores. A 2040 las pérdidas alcanzarían un promedio anual de 1,4%, que caerían a 1,1% en 2070 y repuntarían nuevamente a 2,3% en 2100.

Como se evidencia en la figura 16 Antioquia se vería beneficiado hasta 2070, mientras que los departamentos más afectados estarían en los altiplanos de Nariño y Cundinamarca, y en la Orinoquía - en Casanare, Caquetá y Guaviare. Una parte importante de este efecto se explica por los cambios de precipitación, y en especial,

Figura 16. Impacto en productividad del sector ganadero (Cambio porcentual en producción de carne y leche con respecto de línea base 1970-2010, Promedio multiescenario*)



*Promedios por departamento, no implica el mismo resultado dentro del departamento

Fuente: Elaboración propia

por la disminución de dicha precipitación en los altiplanos donde se concentra la producción de lechería especializada y los valores de precipitación son actualmente bajos. Como se verá más adelante es importante anotar la divergencia existente con los resultados encontrados con datos del ensamble de MCG para departamentos como Cundinamarca y Nariño, en los que según esta fuente los impactos serían positivos para estas regiones.

Tabla 2. Impactos en productividad nacional y por departamento
(Cambio porcentual en producción de carne y leche con respecto de 1970-2010)

Nacional				
	2040*	2070**	2100***	Promedio
A2	-1,3	-1,6	-3,3	-2,1
A1B	-1,3	-1,4	-3,4	-2,0
B2	-1,5	-0,4	-0,2	-0,7
Prom.	-1,4	-1,1	-2,3	-1,6

	Antioquia			Caquetá			Casanare		
	2040	2070	2100	2040	2070	2100	2040	2070	2100
A2	4,0	3,3	-4,6	-7,6	-8,1	-13,7	-5,4	-5,5	-3,8
A1B	4,2	2,2	-5,5	-6,9	-8,5	-13,7	-	-	-
B2	3,2	4,7	4,0	-2,8	8,4	11,8	-7,4	-2,0	-11,7
Prom.	3,8	3,4	-2,0	-5,8	-2,7	-5,2	-6,4	-3,8	-7,7

	Cesar			Córdoba			Guaviare		
	2040	2070	2100	2040	2070	2100	2040	2070	2100
A2	0,1	-0,8	-1,3	-4,7	-5,1	-8,1	-2,4	-2,4	-5,2
A1B	-0,1	-1,0	-1,7	-4,6	-5,4	-7,5	-	-	-
B2	-2,4	-2,6	-2,9	-3,9	-4,0	-5,5	-3,0	-3,4	-5,4
Prom.	-0,8	-1,5	-2,0	-4,4	-4,8	-7,0	-2,7	-2,9	-5,3

	Meta			Cundinamarca			Nariño		
	2040	2070	2100	2040	2070	2100	2040	2070	2100
A2	-1,7	-2,0	-2,2	0,1	-2,0	-2,3	-19,4	-18,2	-24,6
A1B	-	-	-	0,7	1,8	1,3	-16,9	-18,0	-24,9
B2	-2,4	-2,7	1,4	-10,5	-9,1	-11,5	-20,2	-16,2	-8,3
Prom.	-2,0	-2,4	-0,4	-3,3	-3,1	-4,2	-18,8	-17,5	-19,2

*Promedio 2011-2040; ** Promedio 2041-2070; *** Promedio 2071-2100

En los departamentos con celdas vacías no hay datos de escenarios de cambio climático del IDEAM.

Fuente: Elaboración propia

■ CUADRO 8

METODOLOGÍA PARA EVALUAR EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR GANADERO

El análisis se hizo para el escenario temporal 2100 (promedio entre 2070 y 2099) usando escenarios de cambio climático diferentes a los del IDEAM. Específicamente se obtuvieron valores simulados para temperatura y precipitación de un modelo ensamble de varios MCG, para los escenarios A1B, A2. Con el fin de determinar cambios en el clima a una resolución más detallada se aplicó una reducción de escala o downscaling* a los MCG. La información climática es procedente de WorldClim**.

La simulación de Brachiara y Rye Grass se hizo con DSSAT y APSIM, respectivamente. La modelación de pastos y sabanas naturales se realizó con Maxent, modelo de máxima entropía, que puede determinar la probabilidad de ocurrencia de la presencia de una especie en un área geográfica establecida. Al igual que en la metodología usada con datos del IDEAM se simula la producción de materia seca para la línea base de 1970-2010 y se comparan los resultados con respecto de dicha línea base. La productividad es igualmente entendida como producción de carne y leche.

* De acuerdo con Ramírez-Villegas, et al. (2012). ** Base de datos gratuita con capas de información climática a una resolución de 1km cuadrado, desarrollada por la Universidad de California, Berkeley.

Análisis de impactos del cambio climático en producción de carne y leche a 2100 – WorldClim y Modelo Ensamble de MCG

Con el fin de tener mayor cobertura de las zonas y pastos analizados se realizó un ejercicio adicional de simulación del impacto del cambio climático en la producción de biomasa que incluyó pastos y sabanas naturales, al igual que Brachiara y Rye Grass para el escenario temporal 2100 y con base en información de WorldClim y un modelo ensamble de MCG como lo detalla el cuadro 8.

Considerando que los datos climáticos son diferentes a los usados en la sección anterior es posible encontrar diferencias entre los resultados, como consecuencia de diferencias encontradas en los escenarios de cambio climático entre las fuentes. El cuadro 9 resume las diferencias climáticas principales entre las dos fuentes de información.

Con base en los datos usados para el análisis **los resultados muestran pérdidas para el nivel nacional en producción de carne y leche por el efecto del cambio climático** en la generación de material seco, aunque los impactos son diferenciados por pastura y región. A continuación se presentan los resultados para Brachiara, Rye Grass, Sabana Nativa y Pastura Natural.

■ CUADRO 9

DIFERENCIAS ENTRE DATOS Y ESCENARIOS DEL IDEAM Y WORLCLIM-GCM

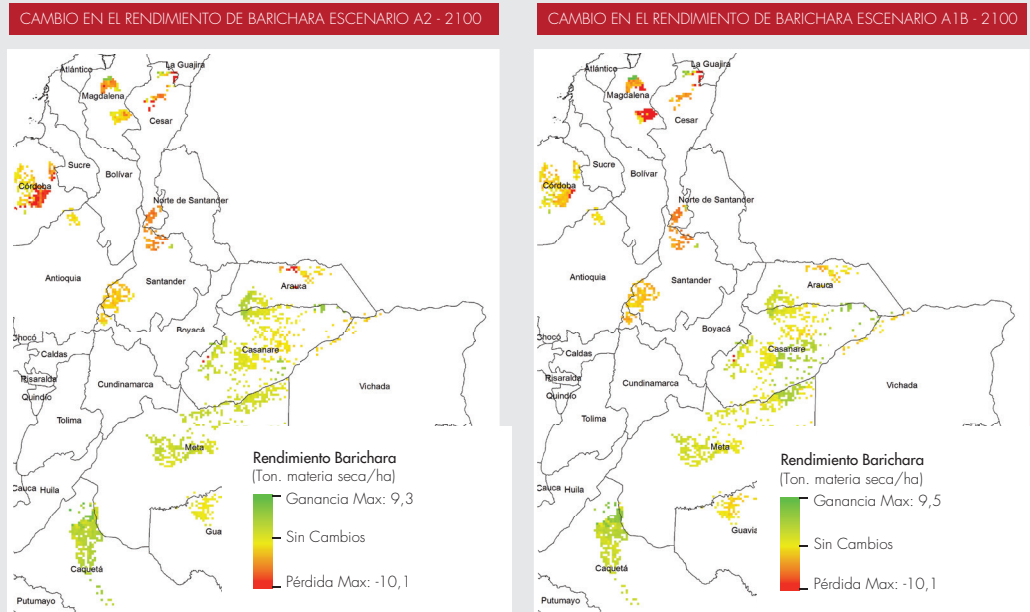
Las grandes diferencias entre los escenarios del modelo ensamble de los GCM y los escenarios del IDEAM se presentan para la variable precipitación. Los datos de IDEAM muestran disminuciones de precipitación para el altiplano cundiboyacense (departamentos de Cundinamarca y Boyacá) y para el altiplano nariñense, mientras que el ensamble de MCG muestra aumentos de precipitación para estas zonas. Para las regiones de Antioquia y Magdalena las diferencias están en la línea base, pues a pesar que las tendencias son similares los valores de la línea base de WorldClim son superiores a los valores de la línea base de IDEAM. Para el resto del país no se observan mayores diferencias.

Brachiara. Esta especie tiene rendimientos actuales buenos para todas las regiones del país, en especial, para la zona de los Llanos Orientales, Caquetá y Guaviare donde predominan los suelos ácidos. De acuerdo con los resultados, a 2100 la producción de la pastura se mantendría o tendría una reducción ligera, con excepción de Córdoba y Arauca que presentarían pérdidas importantes para el escenario A2 y Magdalena y el Norte de Cesar con caídas importantes en los rendimientos en el escenario A1B, como lo muestra la Figura 17. Lo anterior se debe a que los modelos predicen condiciones ambientales menos favorables para la especie en la zona de Caribe seco, dada la reducción de precipitación proyectada.

Rye Grass. Esta pastura se da principalmente en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca y Nariño. Las modelaciones con datos del ensamble de MCG muestran que los escenarios de clima mantendrían constante o favorecerían la productividad de forraje para pasto Rye Grass en la mayoría del país, como lo muestra la figura 18. Esta respuesta estaría asociada con un aumento en la precipitación en las épocas más secas del año en zonas como el centro de Antioquia y el altiplano cundiboyacense. Estos resultados son contrarios a los datos encontrados del IDEAM que proyectan reducciones importantes en la precipitación, especialmente, en regiones como la nariñense.

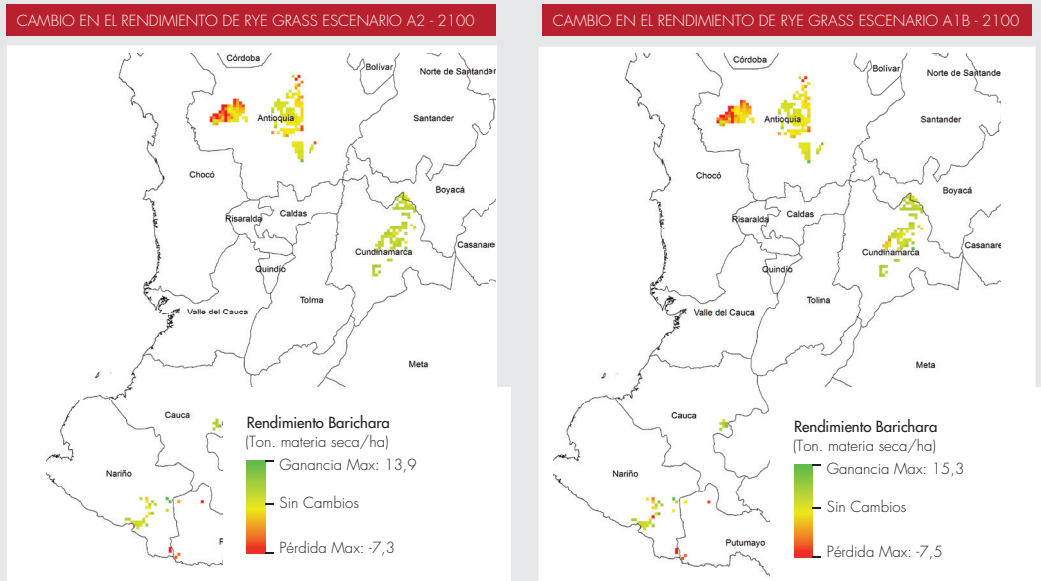
Sabana Nativa en los Llanos Orientales, Guaviare y Caquetá. En la actualidad gran parte de los Llanos Orientales exhiben rendimientos de sabana nativa de hasta 4,6 ton/ha, aunque algunas zonas presentan bajos rendimientos debido a que permanecen inundadas la mayoría del año, de acuerdo con lo observado en las simulaciones realizadas. En Guaviare y Caquetá los rendimientos son un poco mayores alcanzando los 6,4 ton/ha. En términos generales los resultados de las simulaciones muestran que existirían condiciones menos favorables de clima en 2100 para la pastura sabana nativa. Específ-

Figura 17. Cambio en rendimientos para Brachiara en los escenarios A2 y A1B, respecto al 1970-2010



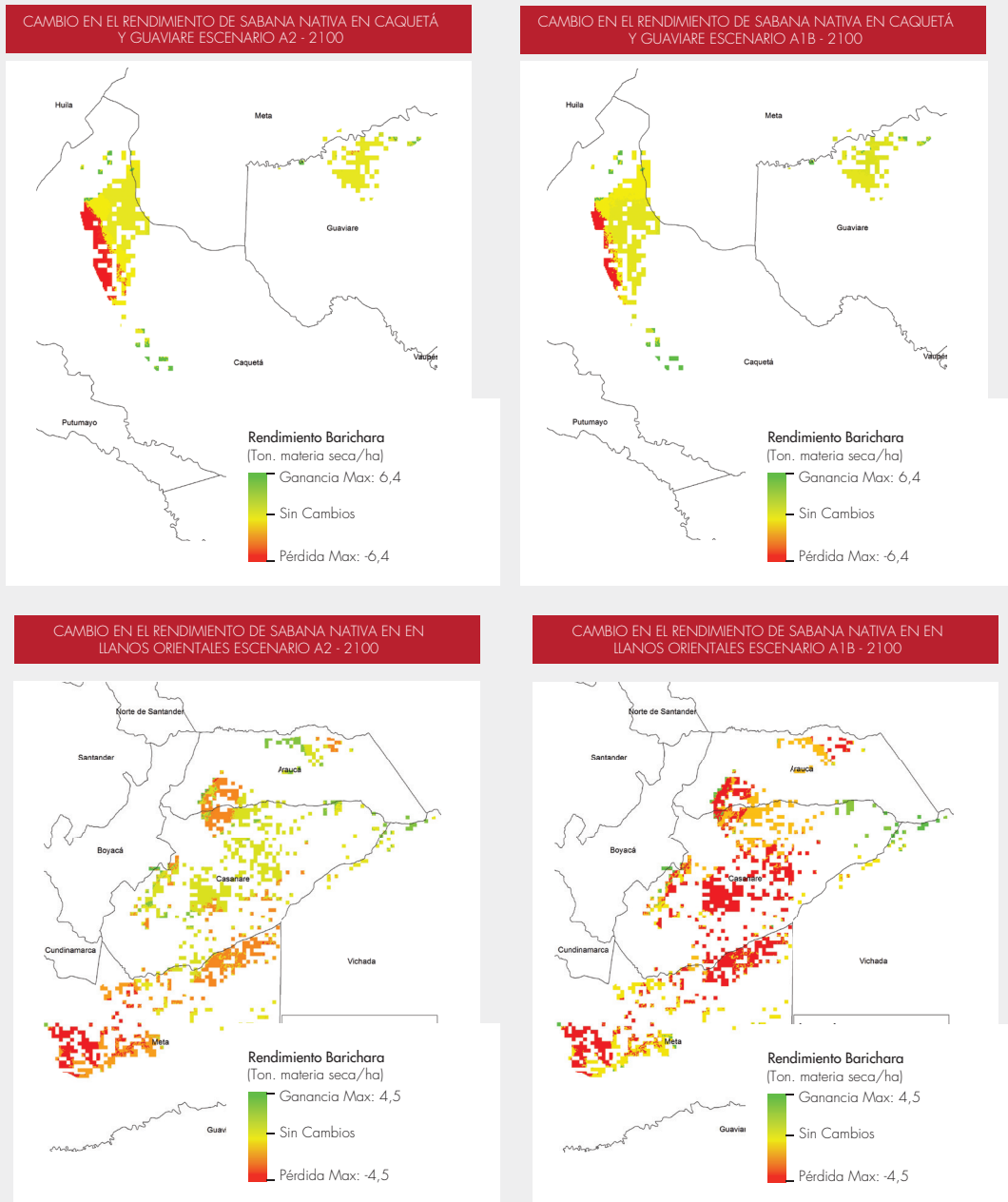
Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Cambio en rendimientos para Rye Grass en los escenarios A2 y A1B respecto al 1970-2010



Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Cambio en rendimiento para Sabana Nativa en los Llanos Orientales, Guaviare y Caquetá en los escenarios A2 y A1B respecto a 1970-2010



Fuente: Elaboración propia

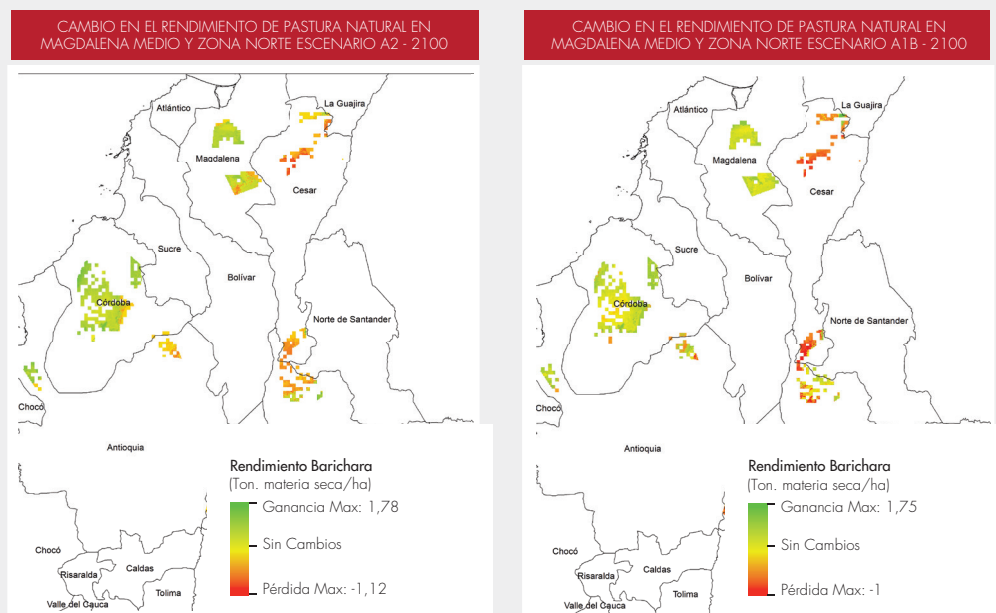
camente, el mes más seco sería aún más seco generando pérdidas en la producción. Los dos escenarios proyectan pérdidas de moderadas a altas en las regiones analizadas, como lo muestra la figura 19

Pastura Natural en Magdalena Medio y Zona Norte. Los rendimientos modelados para el tiempo presente muestran que la producción de materia seca en la zona

alcanza las 1,5 ton/ha, presentando Córdoba y Santander los rendimientos más altos. Los resultados de las proyecciones no presentan cambios fuertes en los rendimientos de las especies predominantes para estas zonas. En el escenario A2 se puede observar que el norte del Cesar sería la región más afectada, registrando sitios con pérdida de producción de hasta 1,1 ton/ha, mientras que en escenario A1B serían Norte de Santander y Santander las que disminuirían en más del 50% su producción actual de forrajes a 2100. Los resultados ilustrados en la figura 20 estarán relacionados con disminuciones en la temperatura media del trimestre más frío, que generaría problemas en la respuesta fisiológica de las especies.

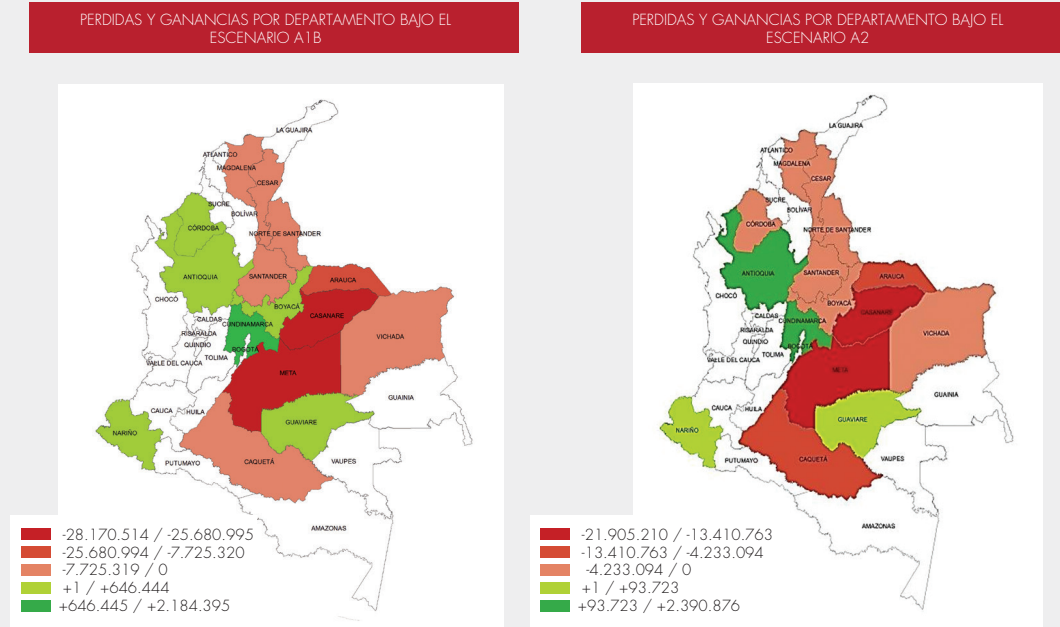
Con base en los escenarios de cambio climático del modelo ensamble de MCG el análisis agregado de los impactos del nivel nacional muestra que a 2100 la producción de carne y leche disminuiría con reducciones promedio de 6,7% y 11,9% respecto del escenario base de 1970-2010. Como lo muestran las figuras 21 y 22 los departamentos de Meta y Casanare son los más afectados en ambos casos con más de 50% del impacto total, mientras que departamentos como Antioquia y Cundinamarca aumentarían su producción de carne y leche en los dos escenarios, por efecto del aumento en la producción de biomasa a 2100. Es importante anotar la divergencia existente en los resultados encontrados con datos del IDEAM para departamentos como Cundinamarca y Nariño, en los que según esta fuente los impactos serían negativos para dichas regiones.

Figura 20. Cambio en rendimiento para pastura natural en Magdalena Medio y Zona Norte en los escenarios A2 y A1B con respecto a 1970-2010



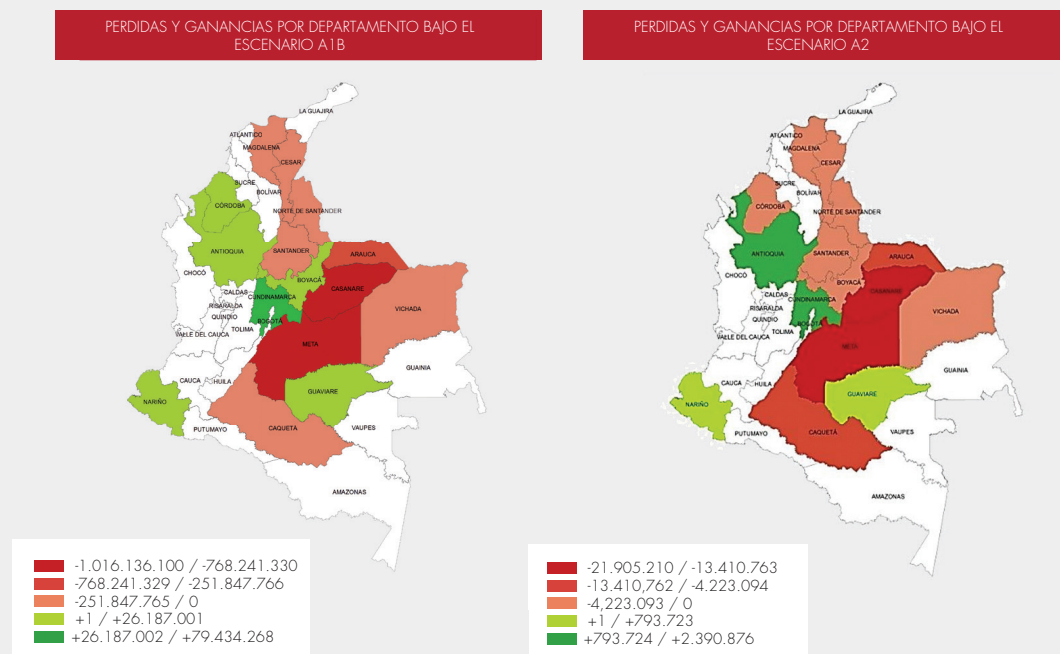
Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Ganancias y pérdidas en la producción de carne (kg) al 2100 para los escenarios A2 y A1B (respecto a 1970-2010)



Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Ganancias y pérdidas en la producción de leche (litros) al 2100 para los escenarios A2 y A1B (respecto a 1970-2010)



Fuente: Elaboración propia



Sector Agrícola

La agricultura en Colombia representó en 2011 alrededor del 62,5% del PIB agropecuario y 3,9% del PIB nacional. En la última década la agricultura ha perdido participación en el PIB total pues ha tenido un crecimiento anual promedio de 2,1%, por debajo del promedio nacional de 4,3% (DANE, 2014). Sin embargo, el sector continúa siendo una fuente importante de empleo, principalmente para la población rural; en 2012 la agricultura empleó directamente 2,5 millones de personas y generó indirectamente otros 4,8 millones de empleos los cuales, en conjunto, representan el 36% de la población ocupada del país (MADR, 2013).

Debido al cambio climático algunos cultivos pueden perder su aptitud climática en regiones que históricamente han dependido de ellos.

La producción agrícola en 2012 alcanzó 25,7 millones de toneladas, provenientes de cultivos que utilizaron 4,7 millones de hectáreas (MADR, 2013). Aproximadamente dos terceras partes del valor de la producción agrícola están representadas por cultivos permanentes entre los que se destaca el café con un 25,4% del valor de la producción, la caña de azúcar con el 8,7%, la palma de aceite con el 6,5% y los frutales. La tercera

parte restante está conformada por cultivos transitorios, siendo los más importantes la papa con el 13,5% del valor de la producción, el arroz con el 11% y el maíz con el 0,6%.

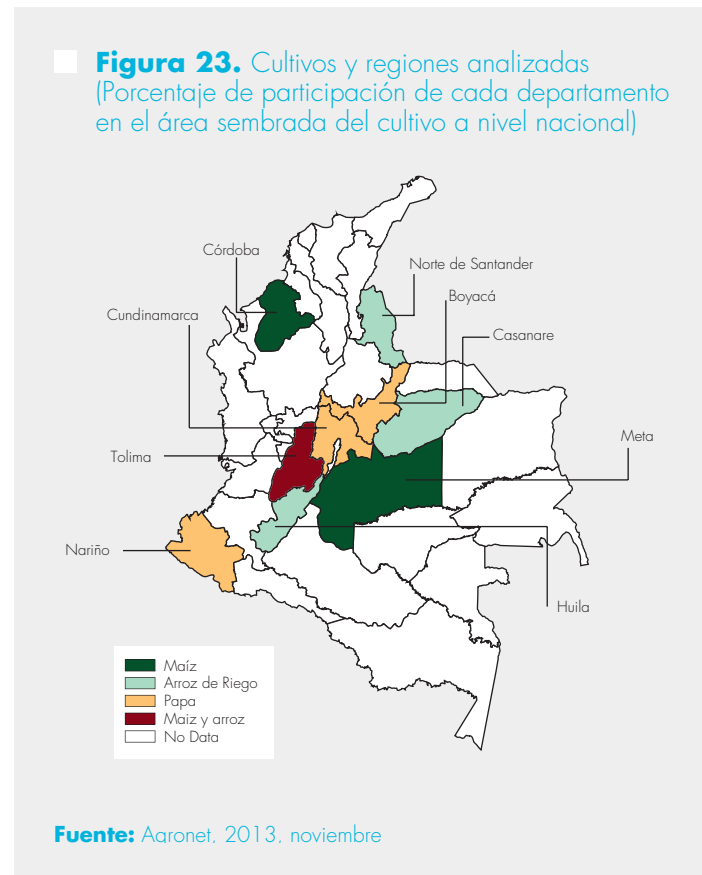
El desarrollo del sector agrícola y del rural es considerado una de las locomotoras del desarrollo sostenible del país. Lo anterior, considerando la participación del sector en el empleo nacional y las oportunidades para disminuir las brechas en bienestar y pobreza del nivel nacional, si se hace énfasis en el campo (DNP, 2010). Adicionalmente, el incremento previsto en la demanda mundial de alimentos sumado a las ventajas comparativas del país configura un escenario positivo para el sector, el cual requerirá de las herramientas necesarias para mejorar su competitividad y productividad.

La agricultura es particularmente sensible a las modificaciones del clima, por lo cual el cambio climático puede llegar a constituirse en una seria amenaza para el sector. Dentro de los posibles impactos para la agricultura se encuentran la pérdida gradual de productividad y aptitud de ciertos cultivos; el riesgo de pérdida de recursos genéticos no conservados *exsitu*; el aumento de la vulnerabilidad de pequeños productores; la intensificación de la degradación y desertificación de suelos; el aumento y desplazamiento de plagas y enfermedades hacia nuevas regiones del país y los cambios en la fenología de los cultivos (Ramírez-Villegas, et al. 2012).

Los cambios en la fenología de los cultivos son particularmente importantes en el contexto de cambio climático. Modificaciones en las condiciones climáticas en zonas de siembra tendrían impactos en el desarrollo de las plantas, las cuales deberían asumir ajustes en sus procesos biológicos. Estos ajustes tendrán diferentes costos energéticos, dependiendo de la intensidad y duración del cambio ambiental. Si el cambio no requiere ajustes metabólicos en su costo energético la planta continuará dentro del rango óptimo ambiental. Sin embargo, cambios intensos y sostenidos en el tiempo obligan a las plantas a destinar energía adicional para responder al comportamiento fisiológico o bioquímico necesario para sobrevivir, haciendo que la planta logre tolerancia o resistencia a las nuevas condiciones. Por otro lado, cambios extremos en las condiciones climáticas pueden no ser tolerados por la planta, lo que impediría su sobrevivencia (Tarifeño, 2011).

Con base en lo anterior, los impactos potenciales del cambio climático en el sector agrícola fueron evaluados sobre los rendimientos de maíz tecnificado, papa y arroz irrigado que en su conjunto suman el 16,8% del área total sembrada del país y son representativos de la seguridad alimentaria en el campo (Agronet, 2013 noviembre).

El maíz se cultiva en todas las regiones naturales del país, con un área sembrada promedio de 151.304 ha durante 2000-2010, que corresponde al 4,4% del área total sembrada en el país (MADR, 2013 noviembre). El análisis de impactos económicos para este cultivo se hizo en cuatro departamentos que suman el 76% del área total sembrada de maíz como lo muestra la figura 23 (Agronet, 2013 noviembre). Por otro lado, el cultivo de papa se concentra en ecosistemas de montaña caracterizados



por climas fríos. El área sembrada del cultivo fue de 161.496 ha en promedio para el periodo 2000-2010, correspondiente al 4,7% del área total sembrada del país (MADR, 2013, noviembre). El estudio se concentró en analizar los impactos en tres departamentos (Cundinamarca, Boyacá y Nariño) que suman el 84,5% del área cultivada de papa en el país (Agronet, 2013 noviembre). Finalmente, el arroz es el cultivo más importante de ciclo corto en el país y se da bajo condiciones de secano o de riego. El arroz de riego utiliza además de la precipitación, tecnologías como el riego por inundación y tiene un área sembrada promedio equivalente al 7,7% del área total sembrada del país (MADR, 2013 noviembre). El estudio para arroz se realizó en cuatro departamentos que suman el 19,3% del área total sembrada para arroz.

Los rendimientos agrícolas se disminuirían para papa y maíz y aumentaría para arroz irrigado.

Los impactos del cambio climático en el sector agrícola se midieron evaluando el efecto sobre los rendimientos de los cultivos en las regiones analizadas. El análisis hizo énfasis en los impactos generados por cambios en la temperatura y disponibilidad hídrica a partir de modificaciones en la precipitación y la evapotranspiración. No se incluyó información sobre brillo o radiación solar.

En el análisis se asume que la oferta edáfica, el área sembrada de los cultivos y la tecnología actual representada en el manejo agronómico, el tipo de semilla y las fechas de siembra, entre otros, se mantienen constantes. Si bien, el análisis se concentra en unas regiones agroclimáticas los resultados solo son extrapolados para cultivos en zonas climáticas homogéneas dentro del mismo departamento. Es así como los impactos que se presentan en este capítulo solo corresponden a los cultivos y regiones modelados.

Las modelaciones no incorporan procesos de adaptación que se pueden desarrollar ante cambios en el régimen de precipitación y sobre todo, por aumentos de la temperatura. Por otro lado, es importante reconocer que los rendimientos agrícolas dependen, además de las condiciones climáticas locales, de factores como los suelos predominantes, las tecnologías utilizadas y la presencia eventual de plagas y enfermedades agrícolas. No obstante, dichos factores no fueron tomados en cuenta en el presente análisis.

La estimación de los impactos del cambio climático en los cultivos analizados se hizo en dos etapas, en la primera se determinaron funciones agroclimáticas, y en la segunda la estimación de impactos con base en escenarios de cambio climático del IDEAM. En el cuadro 10 se describe la metodología con mayor detalle.

■ CUADRO 10

METODOLOGÍA PARA EVALUAR EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR AGRÍCOLA

Determinación de funciones agroclimáticas. Estas funciones tienen como objetivo definir relaciones entre condiciones climáticas y rendimientos de cultivos. Las funciones se elaboran con base en información histórica mensual de clima proveniente de estaciones del IDEAM y datos de rendimientos agrícolas del nivel de finca, obtenidos de la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) realizada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), la Corporación Colombia Internacional (CCI) y el DANE para el periodo 1996-2012. No se utilizó información de brillo solar en las modelaciones por la menor disponibilidad de datos y dado que los escenarios no incluyen estimaciones para dicha variable. Para arroz la función se elaboró con anomalías de precipitación como variable proxy de la radiación solar.

La elaboración de las funciones se inició con la validación de los datos climáticos a través de la selección de estaciones de acuerdo con filtros de confiabilidad, y con la homogenización de su información usando la metodología de dobles masas. Posteriormente, se construyeron polígonos territoriales de las áreas bajo estudio, con *buffers* de distancia de la estación meteorológica, de acuerdo con la altitud. Dicha información fue cruzada con las unidades cartográficas de la ENA para obtener Números de Unidad Primaria de Muestreo representativos para cada estación y cultivo bajo estudio.

Para la función agroclimática se tomaron los datos de clima y rendimientos solo para periodos críticos en el ciclo de vida de los cultivos, es decir, se tomaron los periodos entre prefloración y post-floración en los cuales hay una mayor asociación entre condiciones climáticas y el desarrollo del cultivo. Con base en dicha información se calcularon índices agroclimáticos en función de la precipitación y la temperatura máxima y mínima a escala mensual. Específicamente se estimaron el Índice de Humedad (IH) y el Índice de Grados Días (IGD)*.

Finalmente, se realizó una transformación de Box-Cox y estimaciones con modelos de regresión múltiple no lineal entre las series de rendimientos de cultivo y los índices agroclimáticos calculados para cada zona productora. Como resultado se seleccionaron funciones para cada cultivo y cada región analizada, de acuerdo con su capacidad de explicación y al conocimiento sobre la respuesta fisiológica de los cultivos.

Estimación de impactos del cambio climático. Con base en las funciones agroclimáticas construidas y los escenarios de cambio climático del IDEAM se realiza una proyección de los rendimientos de los cultivos estudiados para cada región analizada. Los impactos son estimados como la diferencia porcentual entre los rendimientos proyectados y los rendimientos promedio del periodo 2000-2010 o línea base. En la proyección de los rendimientos el IGD se mantiene en los valores estimados en la línea de base para cada región analizada a fin de asegurar que el periodo fenológico de los cultivos se mantiene constante.

*IH: Mediante este índice se determina el déficit o exceso total de agua

IGD: Se calcula considerando el hecho que el desarrollo de los cultivos depende de la temperatura del foto-período y de la respuesta genética a los factores ambientales.

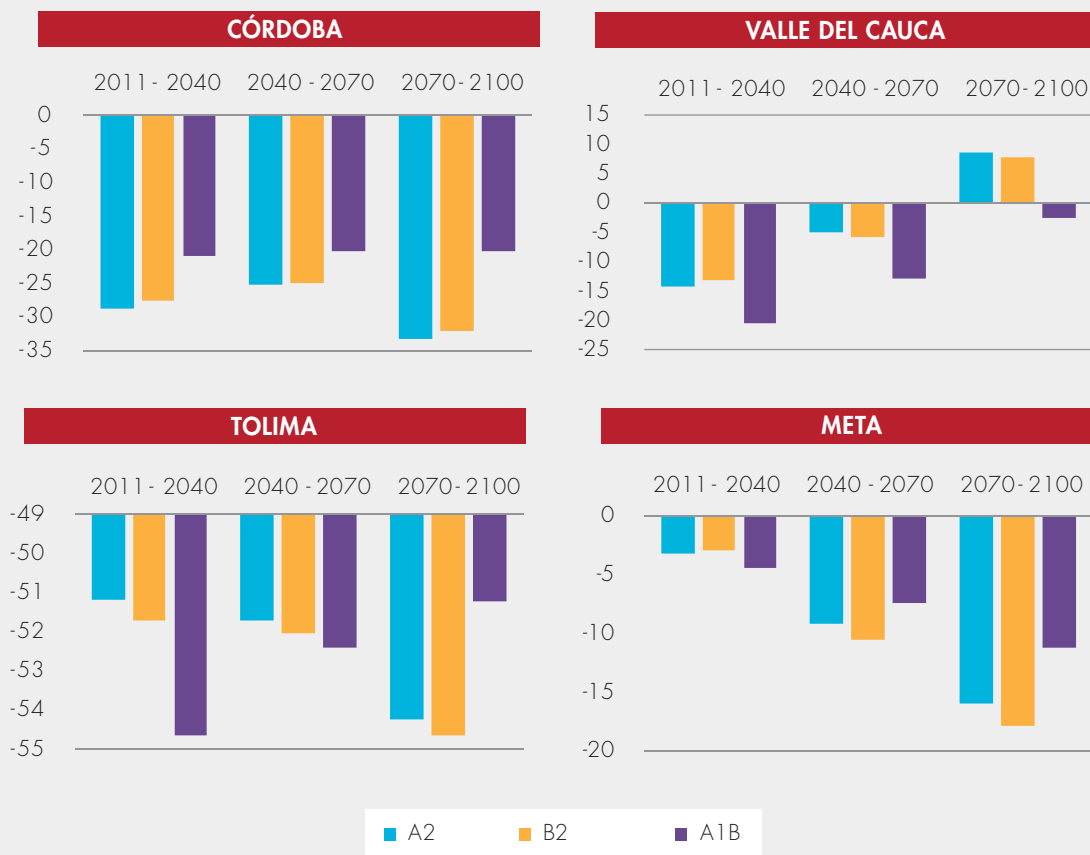
Impactos del cambio climático en los cultivos analizados

De acuerdo con el análisis realizado con base en los escenarios del IDEAM el cambio climático afectaría la producción de maíz tecnificado y papa, y podría favorecer cultivos como arroz aunque el efecto puede llegar a ser diferenciado entre regiones y escenarios. A continuación se presentan los resultados por cultivo, región y escenario.

Maíz tecnificado. En general en todas las regiones analizadas los rendimientos de maíz serían menores que el rendimiento promedio de la línea base para todos los escenarios de cambio climático. Las mayores reducciones se darían en Córdoba y Tolima, seguidos por Meta y Valle del Cauca.

En el caso de Córdoba, según los resultados, los rendimientos del maíz caerían constantemente aunque la reducción sería mayor para el periodo 2071-2100, principalmente, para los escenarios A2 y B2, como lo muestra la figura 24. La reducción estaría asociada a una disminución en el volumen de lluvia en el ciclo del cultivo y un

Figura 24. Cambio porcentual en los rendimientos de maíz con respecto de 2000-2010



Fuente: Elaboración propia

aumento de la tasa de evapotranspiración por el incremento de la temperatura. Los impactos podrían ser menores, si se considera modificaciones en las fechas de siembra y las duraciones de las etapas fenológicas para responder a la nueva oferta climática.

En el Valle del Cauca, donde los impactos totales serían menores que en los demás departamentos, se presentarían aumentos en los rendimientos entre 2071 y 2100, principalmente bajo las condiciones de los escenarios A2 y B2, como lo muestra la figura 24. El posible aumento en los rendimientos estaría asociado a valores del índice hídrico más favorables en las etapas críticas del cultivo; es decir, se presentaría una disponibilidad hídrica adecuada según el requerimiento del cultivo.

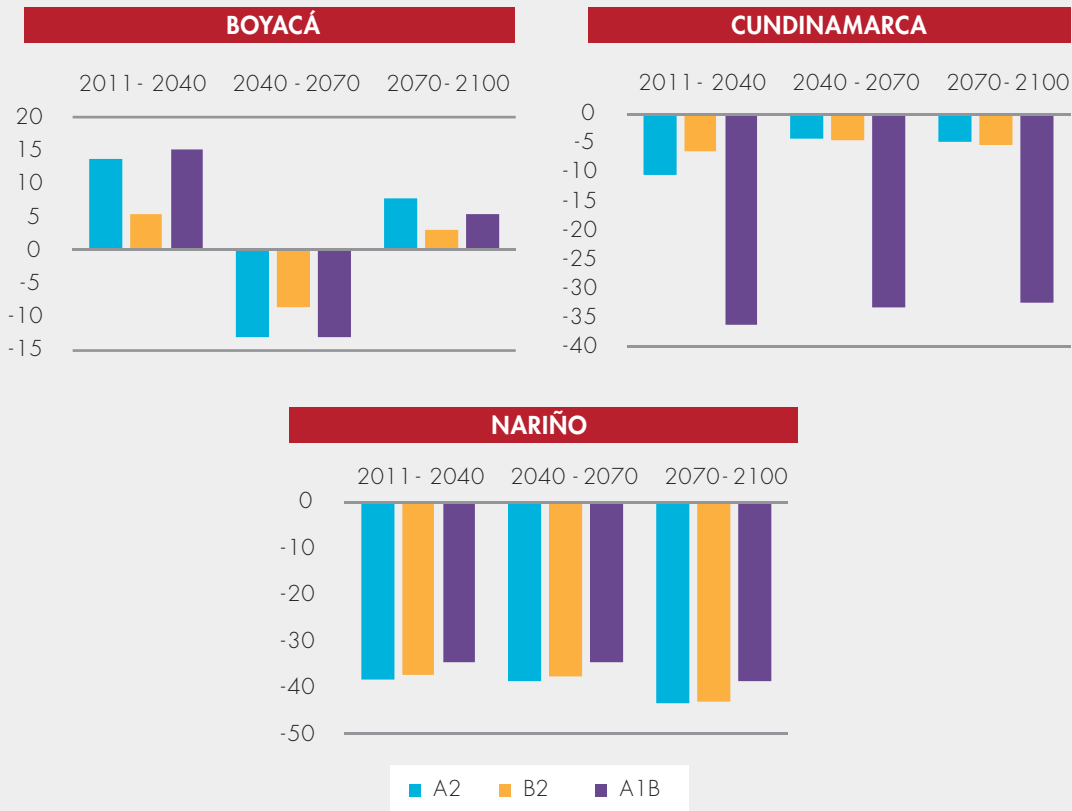
Para Tolima y Meta las disminuciones en los rendimientos responderían a la reducción considerable de la precipitación proyectada para los tres escenarios en esta región, que disminuiría la disponibilidad hídrica de los suelos debido al incremento de la tasa de evapotranspiración del cultivo por el aumento de la temperatura.

Papa. De acuerdo con los resultados en todas las regiones analizadas los rendimientos de papa disminuirían para todos los escenarios de cambio climático; salvo en la zona de Boyacá entre 2011 y 2040. Las mayores reducciones se darían en Nariño y Cundinamarca, seguidos por Boyacá donde en promedio los impactos negativos serían mucho menores. La caída en los rendimientos frente a los simulados en el escenario base están relacionados con la mayor ocurrencia esperada de períodos de precipitación irregular (lluvias concentradas en períodos cortos y largos períodos sin lluvia) y en los incrementos de la temperatura del aire que afectan diversos procesos fisiológicos del cultivo.

En Cundinamarca se esperaría una disminución de los rendimientos con respecto de los estimados para el periodo 2000-2010 sin una tendencia específica, pero respondiendo a oscilaciones climáticas interanuales previstas en los escenarios del IDEAM. Las mayores disminuciones se prevén bajo las condiciones del escenario A1B, ya que presentaría mayor ocurrencia de períodos de precipitación irregular reflejados en disminución de los volúmenes de lluvia, y largos períodos sin lluvia, que genera una disminución en la disponibilidad hídrica afectando el desarrollo y producción del cultivo. Estos resultados en términos de rendimientos son coherentes con los presentados en el capítulo de recurso hídrico para la cuenca de la Laguna Fúquene. Sin embargo, es necesario recordar que los datos climáticos y la metodología para estimar escenarios de cambio climático en el presente capítulo son diferentes a los de recurso hídrico.

En el caso de Boyacá habría una tendencia a la disminución de los rendimientos entre 2041 y 2070, tendencia que luego se revertiría y finalizaría en 2100 con incrementos. La irregularidad de la tendencia podría estar asociada a fluctuaciones en la precipitación interanual, estimadas en los escenarios de cambio climático generados por IDEAM. En Nariño los resultados indicarían reducciones a lo largo del siglo. No obstante, hay que anotar que existen vacíos en la información histórica para las estaciones en esta región, que aumenta la incertidumbre de las estimaciones por lo cual los resultados para esta región deben leerse con particular precaución.

Figura 25. Cambio porcentual en los rendimientos de papa con respecto de 2000-2010

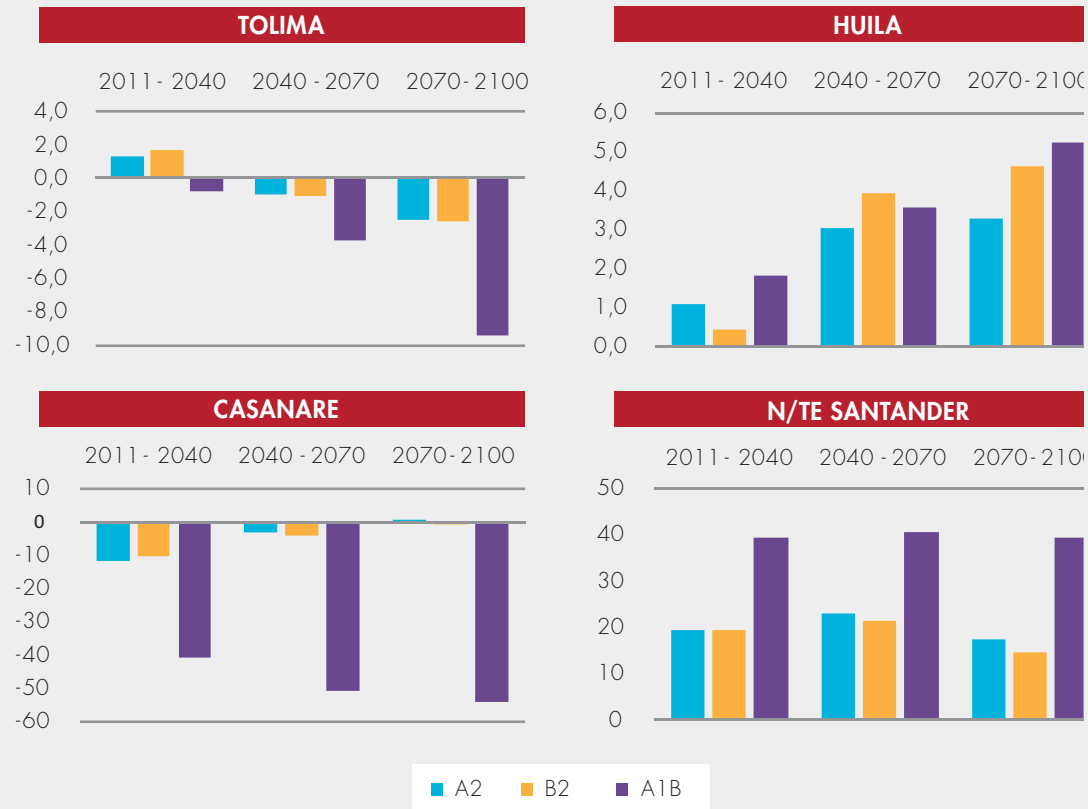


Fuente: Elaboración propia

Arroz. Los resultados indican que en promedio se presentarían aumentos del rendimiento del cultivo en la mayoría de las regiones con excepción del Tolima, como lo muestra la figura 26. Los aumentos productivos se podrían asociar con mejores condiciones de luminosidad y temperatura para este cultivo, que se agregaría al uso de sistemas de riego de alta tecnología que se ha venido realizando en los distritos de riego de las zonas arroceras de Tolima, Huila y Norte de Santander. No obstante, en la zona productora de Casanare se presentaría una disminución en el rendimiento para los dos escenarios de cambio climático evaluado a causa de mayor estrés térmico en fases fenológicas críticas bajo condiciones de irrigación de moderada tecnología.

En conclusión, con base en los escenarios del IDEAM, el impacto promedio, entendido como el cambio promedio para todos los escenarios y el periodo estudiado, **correspondería a una reducción del 7,4% de los rendimientos agrícolas del nivel nacional.** Este es el impacto económico obtenido al tener en cuenta únicamente los cultivos y regiones modeladas, pero los impactos pueden ser diferentes si se amplía el análisis. Como lo muestra la tabla 3 el escenario A1B presentaría las mayores pérdidas y el B2 las menores. Las pérdidas promedio se mantendrían relativamente constantes en el periodo estudiado.

Figura 26. Cambio porcentual en los rendimientos de arroz con respecto de 2000-2010

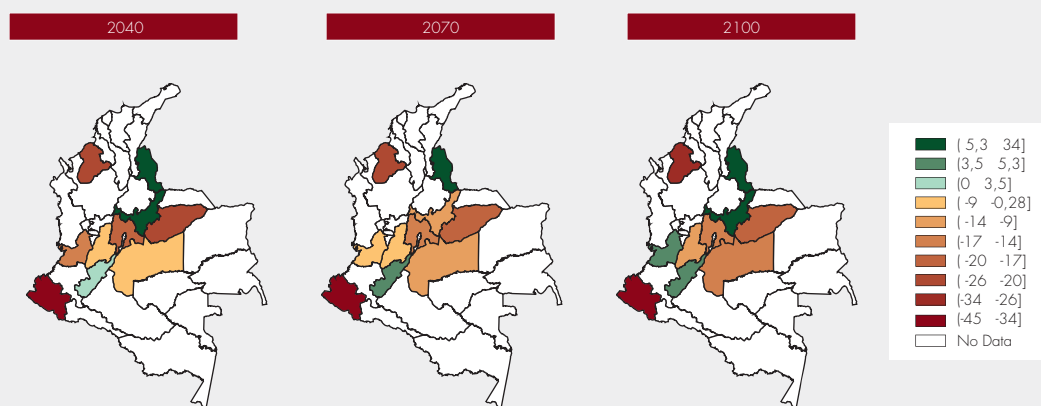


Fuente: Elaboración propia

Como se detalló anteriormente, los impactos estimados se diferencian entre cultivos y regiones. Las estimaciones por cultivo en el nivel nacional se presentan igualmente en la tabla 3. El cultivo más afectado sería el maíz tecnificado, con reducciones promedio del 21,6% en sus rendimientos para los escenarios y el periodo modelado, la papa tendría reducciones promedio del 13% y el arroz irrigado presentaría en promedio pérdidas del 0,9% en sus rendimientos.

Por otro lado, el promedio multiescenario de los impactos en términos de variaciones en los rendimientos agrícolas del nivel regional para 2040, 2070 y 2100 es presentado en la figura 27. Para el caso de Tolima el impacto corresponde al promedio ponderado de los impactos para maíz y arroz, de acuerdo con cada participación en el área total sembrada en del departamento. En el nivel regional Nariño sería el departamento más afectado por las reducciones en los rendimientos de papa, seguido por Córdoba debido a los efectos sobre maíz. Los departamentos que podrían verse beneficiados serían Norte de Santander y Huila por aumentos en los rendimientos de arroz.

Figura 27. Impacto en productividad del sector agrícola
(Cambio porcentual en rendimientos con respecto de línea base 2000-2010,
Promedio multiescenario*)



* Promedios por cultivo, no implica el mismo resultado dentro del resto del departamento

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta un resumen de los impactos en productividad estimados del nivel nacional y para los cultivos estudiados.

Tabla 3. Impactos en productividad nacional y por departamento
(Cambio porcentual con respecto de la línea base)

	Nacional				Maíz Tecnificado		
	2040*	2070**	2100***	Prom	2040	2070	2100
A2	-6,7	-5,8	-4,4	-5,6	-22,9	-21,8	-22,8
B2	-5,2	-5,5	-5,2	-5,3	-21,9	-22,2	-22,8
A1B	-10,2	-11,4	-12,4	-11,3	-24,1	-21,9	-19,3
Prom	-7,4	-7,6	-7,3	-7,4	-23,0	-22,0	-21,6

	Papa			Arroz de riego		
	2040	2070	2100	2040	2070	2100
A2	-15,7	-14,1	-9,1	2,3	2,7	2,1
B2	-12,3	-12,8	-10,7	2,6	2,4	1,8
A1B	-19,4	-20,0	-19,3	-1,6	-3,9	-6,6
Prom	-15,8	-15,6	-13,0	1,1	0,4	-0,9

*Promedio 2011-2040; ** Promedio 2041-2070; *** Promedio 2071-2100

Fuente: Elaboración propia



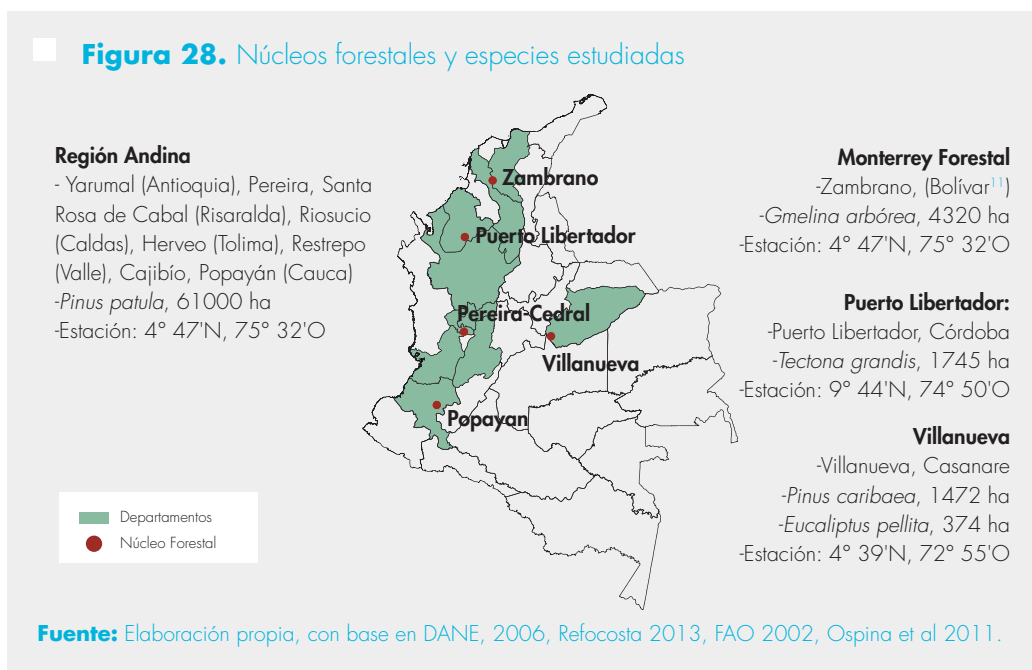
Sector Forestal

Según las cuentas nacionales publicadas por el DANE en 2010 el sector de silvicultura, extracción de madera y actividades conexas representó 2,8% del PIB agropecuario y 0,18% del PIB nacional. Al igual que todo el sector agropecuario el crecimiento del sector forestal en la década 2001-2010 fue inferior al crecimiento del PIB nacional, por lo cual su participación disminuyó. Es un sector relativamente pequeño y afectado por la pérdida y degradación del patrimonio forestal, la producción ilegal de madera y la baja productividad del sector (MAVDT, 2010). Sin embargo, es un sector importante para la economía como proveedor de insumos para los sectores de la construcción y el manufacturero. Además, es un sector estratégico para el país por sus beneficios ambientales y la conservación de recursos naturales renovables.

Las cifras muestran que el sector tiene un gran potencial, pero aún se encuentra rezagado. Se estima que Colombia cuenta con un potencial de 17 millones de hectáreas aptas para la reforestación (Aldana, 2004), sin embargo, el área empleada en plantaciones forestales corresponde a tan solo 405 mil hectáreas (FAO, 2010). Además, según el DANE, para el periodo 2010 - 2012 las importaciones de madera y productos derivados crecieron 16%, comparado con 1,5% de crecimiento de las exportaciones.

Sin embargo, el sector tiene un gran potencial de crecimiento considerando, entre otros, que la localización geográfica del país en la zona ecuatorial-tropical permite el crecimiento permanente de las plantaciones en cortos periodos. De hecho, se espera que para 2025 el sector tenga una alta participación en la producción agropecuaria y en la generación de empleo relacionado con el manejo sostenible de los bosques naturales y plantados (MMA, 2001).

La capacidad productiva forestal del país podría verse afectada por el cambio climático. Los posibles escenarios que prevén la ocurrencia de sequía o aumento de la precipitación en las áreas donde existen plantaciones forestales podrían disminuir el crecimiento y la pro-



ductividad forestal. Por el contrario el aumento de la temperatura del aire podría ampliar la actividad fisiológica de las plantas y aumentar su rendimiento

Los impactos potenciales del cambio climático en el sector forestal fueron evaluados sobre la producción de especies comerciales en Colombia, mas no sobre el bosque nativo. Específicamente se estudiaron cinco especies sembradas en cuatro núcleos forestales ubicados en zonas geográficas distintas y representativas de la oferta de suelos y clima de las áreas en Colombia que se utilizan ampliamente en plantaciones comerciales, como lo muestra la figura 28

Los impactos del cambio climático en el sector se midieron evaluando el efecto en las especies indicadas sobre la producción forestal potencial y los turnos óptimos forestales, entendidos como el tiempo en el cual se maximiza el valor esperado de la inversión. El análisis no incluyó efectos de sequías prolongadas, inundaciones, ataques de insectos o aparición inusitada de plagas considerando la ausencia de evidencia de este tipo. La evaluación se realizó solo para los núcleos forestales indicados, asumiendo que el área de plantaciones se mantiene constante y por lo tanto, no se modeló el efecto sobre áreas de plantaciones futuras o nuevas áreas aptas para la actividad forestal dado el cambio climático.¹¹

La evaluación de los efectos del cambio climático se realizó en dos etapas: en la primera se realizaron simulaciones de cambios en los rendimientos de las plantaciones usando el Modelo de Crecimiento y Captura de Carbono para Especies Forestales en el Trópico (CREFT), y en la segunda se evaluó el efecto en los turnos financieros óptimos y en la rentabilidad de los proyectos. Esta última evaluación se hizo sólo para la especie *Pinus patula* por ser la especie con mayor área plantada en Colombia. En el cuadro 11 se describe la metodología con mayor detalle.

¹¹ La modelación se hizo sobre *Gmelina arbórea* en un núcleo forestal ubicado en Bolívar, con condiciones similares al Magdalena. Los impactos totales y agregados se presentan para Magdalena.

■ CUADRO 11

METODOLOGÍA PARA EVALUAR EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR FORESTAL

Simulación del cambio en los rendimientos de plantaciones. La simulación del cambio en la producción potencial se realizó utilizando la herramienta CREFT*. CREFT simula procesos eco-fisiológico como la fotosíntesis, la respiración y la distribución de biomasa en los diferentes órganos del árbol, procesos que son determinados por la oferta climática del lugar de la plantación. Para simular rendimientos futuros de las especies estudiadas bajo escenarios de cambio climático fue necesario validar el modelo CREFT en un escenario base y generar series de variables climáticas en la resolución requerida para este modelo.

La validación del modelo CREFT y la construcción del escenario base se realizó con valores observados del clima en estaciones hidrometeorológicas localizadas cerca a los núcleos forestales. Se incluyó, además, el índice oceánico ONI real de la NOAA. La calibración de la producción para cada especie se hizo con distintas líneas base. *T. grandis* se corrió para 1985 – 2010; *P. Patula*, 1993 – 2010; *P. Caribaea*, 1992 – 2010; *E. Pellita*, 1995 – 2010 y *G. Arbórea*, 1997 – 2010. Así mismo, se usó información del turno forestal óptimo, proporcionada por empresas forestales de la siguiente forma *T. Grandis* 25 años, *P. Patula* 17, *P. Caribaea* 18, *E. Pellita* 15 y *G. Arbórea* 13. Igualmente, el modelo es calibrado con datos actuales de la calidad del suelo de los núcleos forestales.

La simulación en CREFT del cambio en el rendimiento futuro requirió generar series de datos de variables climáticas con resolución diaria, basados en los escenarios de cambio climático del IDEAM. Para ello se validaron las series históricas del IDEAM y se calcularon los datos diarios de 2010 a 2100 usando el software *Suemulador***, el cual incorpora valores del Índice de Oscilación del Niño. Por otro lado, se asumió de acuerdo con modelo de oscilación decadal del pacífico que el comportamiento sería el de dicha oscilación hasta 2100. Finalmente, fue necesario generar escenarios de brillo solar en función de la amplitud térmica.

Los cambios estimados en la producción forestal se obtuvieron comparando las obtenidas por simulación con valores observados de clima y los calculados para escenarios futuros. La productividad se entiende en este sector como la capacidad de producción de biomasa.

Evaluación de turnos financieros óptimos y rentabilidad de los proyectos. El turno forestal corresponde al tiempo de aprovechamiento de rodal, o en otras palabras al tiempo en que se maximiza el valor esperado de la inversión. Para calcular los turnos óptimos forestales se usaron datos de producción forestal generados por CREFT para los tres escenarios de cambio climático evaluados; precios de madera para aserrío y otros usos; costos de establecimiento y manejo de la plantación desde el año cero hasta el año de la cosecha, de acuerdo con información proporcionada por empresas forestales. Esta evaluación se realizó para la especie *Pinuspatula*, especie con mayor área sembrada en el país. Los resultados son con respecto al año base 2010.

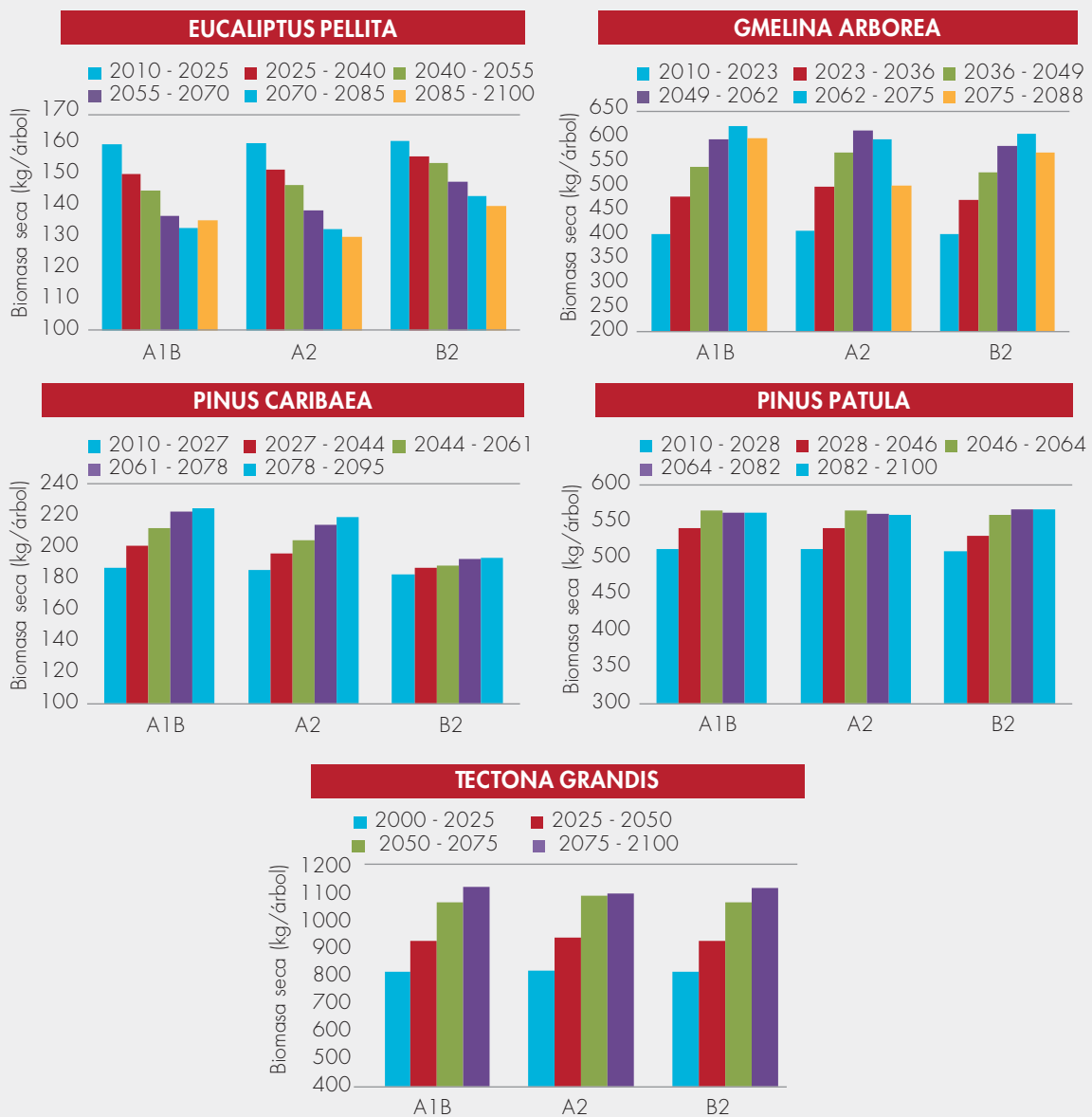
* Modelo de Crecimiento y Captura de Carbono de Especies Forestales en el Trópico. CREFT es una herramienta computacional desarrollada por Cenicafé de la Federación Nacional de Cafeteros, con la participación de Conif y varias compañías comerciales del sector forestal colombiano, con la cofinanciación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

** Software de simulación de clima que se basa en un proceso estocástico utilizando cadenas de Markov de grado 2 y que se alimenta con una tabla de índices de oscilación del niño.

Impactos del cambio climático en el sector forestal

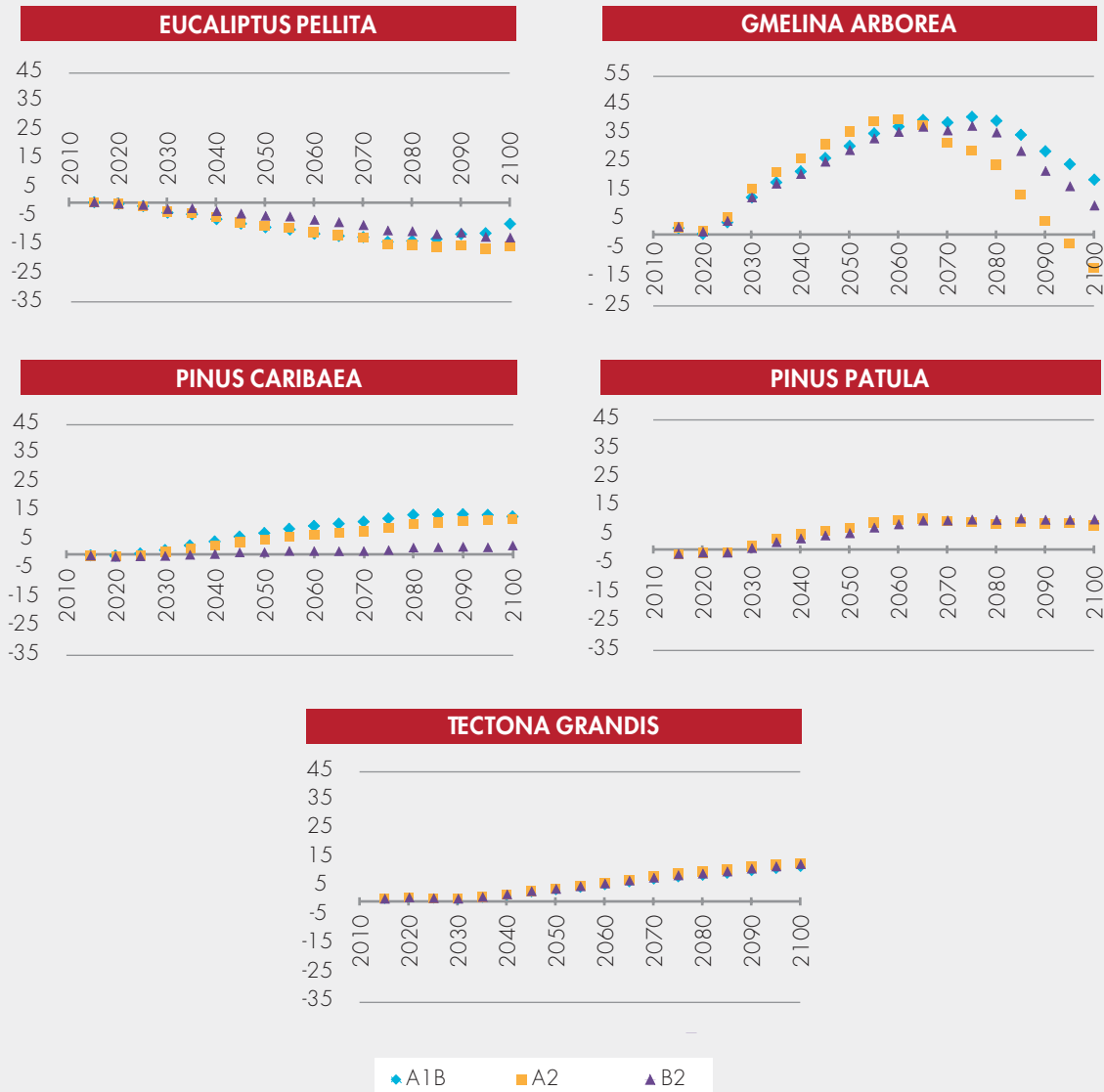
De acuerdo con los resultados de la simulación de la producción forestal potencial para las cinco especies consideradas **el sector forestal del país se vería beneficiado por el cambio climático, aunque el efecto puede llegar a ser diferenciado por especies y regiones.** Las especies sembradas en las regiones Caribe y Andina presentarían aumentos en sus rendimientos y disminución en los turnos óptimos forestales. En general, la respuesta positiva de la producción forestal estaría asociada a la disminución de la oferta hídrica sumada al au-

Figura 29. Producción forestal potencial para escenarios de cambio climático



Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Cambio porcentual en la producción potencial (Con respecto de la línea base indicada en el cuadro 11)



Fuente: Elaboración propia

mento de las temperaturas en niveles acordes con la capacidad del campo. Por otro lado, Eucaliptus pellita sembrada en la Orinoquía presentaría disminuciones considerables en su producción, como lo muestran las figuras 29 y 30. Estas reducciones estarían asociadas a mayor oferta hídrica proyectada para el núcleo forestal de la especie lo cual afectaría a la planta dado su origen seco.

La especie que tendría ganancias sustanciales en producción potencial es *Gmelina arborea* sembrada en el departamento de Bolívar y Magdalena, que alcanzaría incrementos en productividad de hasta 42% a mediados de siglo para el escenario A2 con

respecto de la línea base, mientras que para los demás escenarios estos incrementos se alcanzarían a 2070, como lo muestra la figura 30. Los aumentos ocurrirían en respuesta al incremento de la temperatura máxima, temperatura mínima y radiación solar. Sin embargo, dadas las condiciones del Caribe seco colombiano hacia el final del siglo estos valores disminuirían drásticamente para todos los escenarios. No obstante, el promedio del crecimiento sigue siendo positivo, lo cual beneficiaría el desarrollo forestal en esta región del país donde la mayor limitación para diversos sistemas productivos es la oferta hídrica.

Para el caso de *Tectonagrandis* en Córdoba los resultados muestran un aumento en la producción en los cuatro turnos forestales probables en el periodo 2010 a 2100 y en todos los escenarios de cambio climático, como lo muestra la figura 30. La producción al final del siglo alcanzaría un aumento del 12,6% con respecto de la línea base, en promedio para los tres escenarios, lo cual indica que la producción potencial para el núcleo forestal estudiado pasaría de 698.000 m³ para las 1.745 hectáreas cultivadas a 767.800 m³, en tan solo un ciclo forestal adicional. El propósito de obtener la misma producción actual de 400 m³ en 25 años se podría reducir a 22,5 años, el número de turnos forestales varía de 3,6 a 4 forestales. La respuesta positiva estaría asociada con el aumento de las temperaturas.

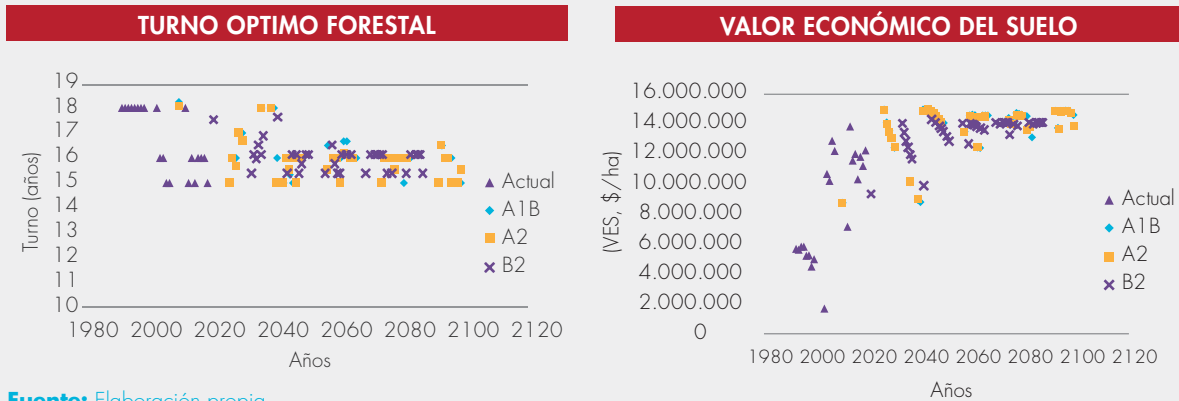
La especie *Pinuscaribaea* sembrada en la Orinoquía, considerada una especie nativa en condiciones ecuatoriales tropicales, muestra aumentos sustanciales en la producción potencial en áreas de baja altitud donde se cultiva para los escenarios A1B y A2, mientras que el incremento es menor para el B2, como lo muestra la figura 30. El incremento en el rendimiento potencial sería del 15% respecto del escenario base para los escenarios A1B y A2, y solo del 3% para el escenario B2 al final del siglo. En consecuencia, los incrementos en el rendimiento pasarían de 412.160 m³ para las 1.472 hectáreas cultivadas a 515.200 m³. Los turnos forestales se reducirían pasando de 5,3 bajo condiciones actuales a 6,6. La respuesta positiva estaría asociada con el aumento de las temperaturas.

Las especies sembradas en las regiones Caribe y Andina presentarían aumentos en sus rendimientos y disminución en los turnos óptimos forestales.

La simulación en *Pinuspatula*, en la región andina para los diferentes escenarios de cambio climático indica que la producción forestal potencial aumenta hasta el tercer período de cosecha un 8% con respecto de la línea base, para luego estabilizarse insinuando un comportamiento de aclimatación de la especie a los cambios en la oferta climática, como lo muestra la figura 31. En general las ganancias en productividad indican que los rendimientos se incrementarían de 26.535.000 m³ a 28.657.800 m³ para las 61.000 hectáreas cultivadas.

Es así como los turnos forestales podrían pasar de 18 años a 13,5 años, que permitiría pasar de 5 turnos a 6,7 turnos forestales en el periodo estudiado con una reducción máxima esperada de 3 años como lo muestra la figura 31. La disminución del turno forestal conlleva a un incremento en el valor económico del suelo o de la rentabilidad de la inversión, que asciende hasta \$16 millones/ha, como lo muestra la figura 31

Figura 31. Turno óptimo forestal y Valor Económico del Suelo de *Pinus patula*



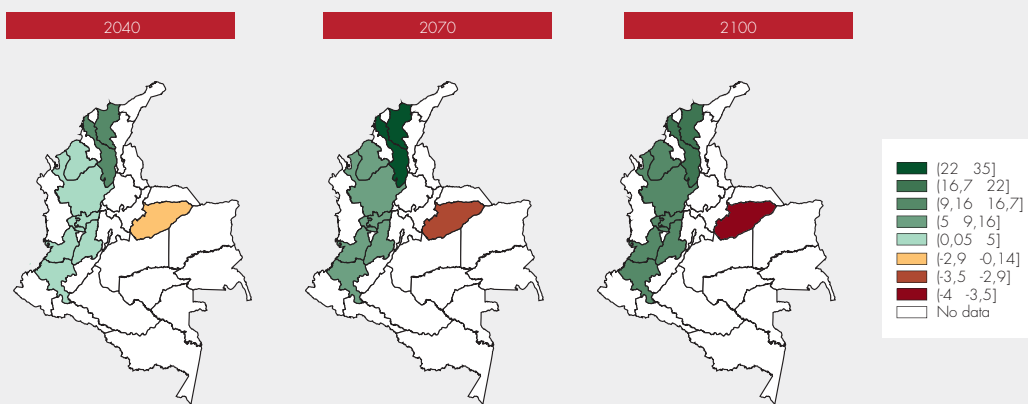
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, *Eucaliptus pellita* es la especie más sensible a los efectos del cambio climático al presentar una disminución del 15% en su rendimiento con respecto de la línea base para las condiciones de la Orinoquía. El efecto estaría relacionado con una mayor oferta hídrica en la región circundante al núcleo forestal, que afecta el crecimiento de la planta dado que es una especie de origen seco y poco adaptada a las condiciones del piedemonte llanero bajo condiciones de suelos bien drenados, pero con valores de humedad que permanecen por largos periodos en su capacidad de campo. Lo anterior conduciría a sustituir esta especie por otra que se adapte mucho mejor a las condiciones climáticas futuras de la región.

La agregación en el nivel de país de los impactos regionales, al ponderar por la participación relativa de las plantaciones analizadas por especie con respecto del área total en plantaciones en cada departamento, se presenta en la figura 32. Con base en los escenarios del IDEAM el impacto promedio, entendido como el cambio promedio para todos los escenarios y el periodo estudiado, correspondería a un aumento del 6,2% anual en la producción forestal potencial del nivel nacional con respecto del escenario base. Este es el impacto económico obtenido al tener en cuenta únicamente las especies y regiones modeladas, pero los impactos pueden ser diferentes de ampliarse el análisis. Como lo muestra la tabla 4, el escenario A1B presentaría las mayores ganancias y el B2 las menores. El promedio anual de ganancias a 2040 sería del 1,3%, aumentaría hasta alcanzar el 8,7% en 2070 y se mantendría en 2100.

Los impactos del nivel departamental se estimaron ponderando el impacto en la especie, por la participación del área sembrada de la especie en el total sembrado en el departamento. Los resultados muestran que Casanare en la Orinoquía tendría una pérdida promedio de 2,7% en la producción forestal potencial, que contrasta con su aumento en 22,4%, 5,8% y 6,4% en Magdalena, Córdoba y la región Andina, respectivamente. Es importante anotar que estos resultados aplicarían para las especies modeladas, y solo podrían ser extrapolados para las regiones de los núcleos forestales estudiados y para zonas con condiciones climáticas y edáficas homogéneas. Así mismo, se debe tener en cuenta que el estudio no considera posible efectos de la aparición de insectos o plagas, entre otros posibles efectos adversos para las plantaciones forestales. Por lo anterior, los impactos del cambio climático en la productividad forestal podrían ser menores a los estimados.

Figura 32. Impactos en productividad del sector forestal (Cambio porcentual en producción potencial con respecto de línea base, Promedio multiescenario*)



* Promedios por núcleo forestal, no implica el mismo resultado dentro del resto del departa-

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta un resumen de los impactos en productividad estimados en el nivel nacional y para los departamentos con plantaciones de las especies estudiadas.

Tabla 4. Impactos en productividad nacional y por departamento (Cambio porcentual con respecto de la línea base)

	Nacional				Casanare			Magdalena		
	2040*	2070**	2100***	Prom	2040	2070	2100	2040	2070	2100
A1B	1,4	9,2	9,8	6,8	-1,1	-1,0	1,9	10,0	34,7	31,2
A2	1,6	9,0	7,3	6,0	-1,5	-3,2	-4,0	12,3	36,1	9,6
B2	0,9	7,7	8,7	5,8	-1,9	-4,7	-8,6	8,8	32,9	25,2
Prom	1,3	8,7	8,6	6,2	-1,5	-3,0	-3,5	10,3	34,5	22,0

	Andina			Córdoba		
	2040	2070	2100	2040	2070	2100
A1B	1,1	9,1	9,4	1,0	5,1	10,0
A2	1,2	9,1	9,0	1,2	6,0	11,4
B2	0,5	7,8	10,4	1,2	5,7	10,9
Prom	1,0	8,7	9,6	1,1	5,6	10,8

*Promedio 2011-2040; ** Promedio 2041-2070; *** Promedio 2071-2100

Fuente: Elaboración propia



Sector Pesca

El sector pesquero y acuícola representó 3,7% del PIB agropecuario y el 0,14% del PIB nacional en 2011 (DANE, 2014). A pesar de su baja participación en el PIB la pesca representa la principal fuente de sustento para numerosas familias asentadas en los litorales colombianos, especialmente en municipios y departamentos identificados con mayores índices de pobreza (AUNAP, 2013).

El sector puede ser desagregado en pesca de captura y acuicultura, y a su vez cada uno de estos componentes clasificarse entre continental y marítimo. Según el DANE la actividad pesquera en Colombia sumó 78.848 toneladas en 2011 (DANE, 2012b).

En términos regionales, según la información del MADR (2013), en 2011 la pesca de captura se concentró en el Pacífico representando un 65,5% de la pesca total, mientras que en el Caribe fue del 3,2% con una disminución importante pues de 2005 a 2010 la participación promedio fue del 8,3%. El resto de la pesca es continental, se lleva a cabo principalmente en las cuencas de los ríos Magdalena con el 19,9%; Orinoco con el 1,8% y Amazonas con el 7,5%. En términos de empleo la pesca artesanal genera cerca de 101.000 empleos directos, la pesca industrial 19.200 y la acuicultura 90.700 (Incoder, DANE, ANDI y Apropesca).

Dentro de las perspectivas del sector el Plan Nacional de Desarrollo (2010-2014) plantea la reactivación de la pesca y acuicultura por medio de la investigación y transferencia tecnológica, así como la implementación de mecanismos de vigilancia y auditoría de los instrumentos y beneficiarios. Así mismo, la Agenda Nacional de Investigación en pesca y acuicultura y el Plan Estratégico Institucional 2013-2014 de la AUNAP buscan fortalecer la institucionalidad del sector y la gestión local, mejorar la capacidad técnica de pescadores y acuicultores, fortalecer la participación del país en espacios internacionales del sector, y actualizar y ajustar de la normativa en pesca y acuicultura.

El cambio climático afectará de manera importante los ecosistemas, en especial, se espera que el cambio climático tenga una serie de impactos directos e indirectos en las pesquerías marinas y continentales que reducirán el suministro de alimentos para las poblaciones costeras, con consecuencias en la economía y en las poblaciones que dependen directamente de la pesca como medio de vida (Daw et al., 2009).

Figura 33. Litorales, cuencas y recursos pesqueros estudiados. Participación en desembarcos totales por cuenca (promedio 2006-2010)



Fuente: Elaboración propia, CCHncoder, Imágenes GNU Free Documentation License.

El cambio climático se ve evidenciado en el ascenso del nivel medio del mar, incremento de la temperatura superficial del mar, alteración de las corrientes marinas y de los procesos de transporte que causa incremento de la disponibilidad de nutrientes, reducción en el tamaño corporal de los individuos, alteración del comportamiento reproductivo, entre otros. No obstante, los efectos heterogéneos dificultan la predicción de los posibles impactos. Se debe a la gran complejidad entre las interacciones de los sistemas sociales, ecológicos y económicos, y la posibilidad de cambios repentinos e inesperados generados por ejemplo por la variabilidad climática.

En el nivel continental la disminución de la descarga de los ríos y los escenarios de sequía pueden afectar las poblaciones de peces. Esto se suma al hecho de que las capturas en el nivel nacional se han venido reduciendo debido a presiones antrópicas como el drenaje de los humedales y ciénagas, la deforestación de las cuencas, la pesca con equipos inadecuados, la obstrucción de los canales y la contaminación del agua (Mojica et al., 2012).

La literatura sobre las implicaciones del cambio climático en los recursos pesqueros y acuícolas es menos abundante que en otros sectores. El análisis se ha concentrado en estudiar el impacto sobre latitudes medias, con menos estudios sobre la posible respuesta del recurso en zonas tropicales. No obstante, el estudio realizado para pesca buscó mejorar el conocimiento que el país tiene sobre los posibles efectos del cambio climático en especies de peces y camarones que son aprovechados en el país. Como lo muestra la figura 33 se evaluaron los efectos del cambio climático en los desembarcos pesqueros mensuales entre 2006-2011 de los litorales Pacífico y Caribe, y de las cuencas de los ríos Magdalena, Orinoco y Amazonas para trece recursos pesqueros, los que en conjunto aportan el 88% de los desembarcos totales del país.

Debido a sus características fisiológicas el metabolismo de los peces es particularmente sensible a las condiciones ambientales y a cambios en la temperatura del océano. Es así como cambios en temperatura que superan los rangos óptimos de las especies pueden afectar su distribución, el crecimiento y los patrones de reproducción, entre otros (Cochrane et al., 2009). Las variables climáticas también afectan las poblaciones de peces a través de modificaciones en las cadenas alimenticias, la producción primaria, y en los procesos de transporte, factores que en conjunto influyen en la dispersión y el reclutamiento de las poblaciones (Cochrane et al., 2009) Estas alteraciones pueden a su vez afectar las pesquerías en una zona y periodo específico. Por lo tanto, modificaciones en las condiciones ambientales y climáticas pueden tener impactos en la magnitud de los desembarcos, aunque el comportamiento de los desembarcos pesqueros, igualmente, responde a variables como el esfuerzo¹², la tecnología de pesca, entre otros.

El estudio de impactos económicos en el sector pesquero buscó analizar el efecto que tienen variables hidroclimáticas y oceanográficas como la temperatura superficial del mar, el caudal, la temperatura del ambiente, los caudales de los ríos y la precipitación, en la pesca representada por el peso de los desembarcos registradas en el país. Con el fin de explicar asociaciones entre dichas variables climáticas y las toneladas desembarcadas se construyeron funciones de daño con base en el conocimiento científico sobre las relaciones peces-ambiente e información histórica disponible. Dichas funciones fueron posteriormente usadas para analizar posibles efectos del cambio climático en los desembarcos pesqueros.

El cambio climático afectará de manera importante los ecosistemas, particularmente se espera que el cambio climático tenga una serie de impactos directos e indirectos en las pesquerías marinas y continentales.

Si bien otros factores ambientales y climáticos como la salinidad, el oxígeno disuelto, el pH, la estratificación, los nutrientes, la transparencia, la clorofila-a y el aumento del nivel medio del mar, son relevantes para explicar el peso de los desembarcos pesqueros, no fueron incluidas en la modelación debido a la falta de series de información representativas. Por las mismas razones tampoco fueron incluidas en las funciones de daño variables *proxy* de factores antrópicos, que sin duda influyen en la pesca marina y continental, y que de ser tenidos en cuenta podrían configurar escenarios de impactos futuros mayores a los estimados. En el cuadro 12 se describe la metodología con mayor detalle.

Los resultados de **las proyecciones del efecto del cambio climático para el sector pesquero muestran que los desembarcos de la mayoría de las especies en los litorales y cuencas analizadas se reducirían, afectando negativamente la productividad del sector en el nivel nacional.** Estos resultados van en la misma dirección de otros estudios realizados en el ámbito internacional donde se proyecta que el potencial de captura de especies marinas en los trópicos podría reducirse ante la posibilidad

¹² El esfuerzo de pesca representa el número de embarcaciones, equipo empleado por una embarcación o el número de artes (equipo empleado) de pesca de un tipo específico utilizado en los caladeros (zonas donde se ponen las redes de pesca) en una unidad de tiempo determinada. Por ejemplo, número de horas de arrastre, número de anzuelos lanzados o número de veces que se cobra una red de cerco, por día.

CUADRO 12

METODOLOGÍA PARA EVALUAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR PESQUERO

Establecimiento de funciones de daño. Las funciones de daño buscan relacionar variables hidroclimáticas y oceanográficas (precipitación, temperatura ambiente, temperatura superficial del mar(TSM) con las toneladas desembarcadas de las especies en cada cuenca. Para poder establecer esas relaciones se usó información mensual de las variables consideradas para el período 2006-2010.

En términos generales la literatura relaciona aumentos en la temperatura del mar con disminuciones en la capacidad del agua para retener oxígeno (oxígeno disuelto). De manera similar, variaciones de los caudales estarían asociadas con afectaciones en la capacidad de las especies de reproducirse. Por supuesto, estas no son las únicas condiciones que afectan las condiciones del recurso pesquero, sin embargo, son una primera aproximación adecuada a la relación de la especie con el ambiente.

Para establecer la relación peces-ambiente se construyeron funciones de daño a partir de la información de los desembarcos de diferentes especies en una misma cuenca (figura 33), usando regresiones lineales, identificando efectos fijos por especie y tiempo, *con base en la información de Agronet. En estas regresiones se incluye el rezago del peso desembarcado, como variable proxy de la capacidad de la especie**, de esta manera se reconoce el hecho que la especie no crece o decrece linealmente, sino que depende del desembarco previo (figura 32)

Tabla 5. Variables explicativas incluidas en las funciones de daño

Tipo de Variable	Variables Regresoras	Fuentes
Hidroclimática	Precipitaciones totales, temperatura media, caudales.	IDEAM
Oceanográfica	Temperatura superficial de mar (TSM).	National Oceanic and Atmospheric Administration (NOOA) / Met Office del Reino Unido
Proxy de capacidad de la especie	Rezago del peso desembarcado de la especie en el periodo anterior.	Construida con base en desembarcos de Agronet.

* A partir de la información de la cuenca se construyó una base de datos tipo pool (seguimiento de varias especies en el tiempo) y con ella se estimaron regresiones del logaritmo de los desembarcos contra la información climática (usando TSM en las cuencas marítimas y el caudal del río en la cuencas continentales) y sus rezagos. Adicionalmente, se incluyeron efectos fijos de especie que permiten encontrar relaciones idiosincráticas a cada especie (afectaciones particulares), y efectos fijos de tiempo que permiten absorber el efecto de un año que afecta a la cuenca en general, por ejemplo, durante periodos El Niño o La Niña.

** De acuerdo con el modelo de Conrad, tal como lo presenta Higinio (2008), la dinámica de la industria pesquera consiste en que la cantidad de peces de una especie depende del stock o inventario de peces en el periodo anterior, la capacidad de recuperación de la especie, las capturas en el periodo anterior (el crecimiento neto) y la capacidad de carga de la especie. Por tanto, incluir el rezago de los desembarcos corresponde a la proxy de capacidad la especie de regenerarse así como la capacidad de carga del recurso.

En cada cuenca se realizaron dieciocho modelos de regresión en los que se evaluaron diferentes especificaciones, encontrando que, en la mayoría de ellos, los signos de las relaciones eran similares, lo cual da cierta robustez a los resultados. La selección del modelo definitivo se realiza por su capacidad predictiva. Se resalta que en todas las cuencas las variables utilizadas son las mismas.

Construcción de escenario base. Para cada especie se generó un escenario base que consiste en el promedio mensual del volumen desembarcado en cada zona desde 2006 a 2010. En este periodo de tiempo se presentó el ciclo completo ENOS. Las estimaciones estadísticas controlan dichas variaciones inter-temporales a través de los efectos fijos de tiempo

Proyección de efectos del cambio climático en los desembarcos pesqueros. A partir de los parámetros de las funciones de daño, estimados con la información de la línea base, es posible proyectar el comportamiento de los desembarcos para cada especie y litoral o cuenca usando los escenarios de cambio climático para las variables de temperatura del aire y precipitación provistos por el IDEAM. En relación con las proyecciones de la TSM se utilizó la información generada por la Met Office Hadley Centre del Reino Unido. Debido a que los caudales no tienen proyección futura para los escenarios de cambio climático se ejecutó una calibración de la constante en cada función de daño de tal manera, que capturara el factor de escala de las variables que no se proyectaron y la pérdida en productividad correspondiera únicamente a las variaciones de temperatura y precipitaciones. Dicha calibración busca que la mediana de los desembarcos sea igual para el periodo 2011-2013. Esto último, para evitar sobreestimar los impactos del clima en la producción pesquera.

de su migración hacia zonas climáticas más aptas para su desarrollo (Cheung, et. al., 2010). Los impactos promedio para cada especie analizada, entendido como el promedio multiescenario, y para el periodo investigado para cada especie y región se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Cambio porcentual en desembarcos pesqueros en relación con 2006-2010 (Promedio multiescenario y durante 2011-2100)

	Pacífico	Caribe	Magdalena	Orinoco
Carduma	-9,9	„	„	„
Langostino	1,6	„	„	„
Camarones (Titi y Tigre)	1,3	„	„	„
Atunes	-5,7	-6,3	„	„
Camarón Rojo	„	-7,7	„	„
Cojinúa-jurel	„	-5,9	„	„
Bagres	„	„	-3,6	-3,5
Bocachico	„	„	-2,9	-6,7
Capaz	„	„	-0,6	„

Fuente: Elaboración propia

Litorales Pacífico y Caribe. La actividad pesquera total en los litorales Pacífico y Caribe se vería afectada negativamente por el cambio climático según las estimaciones. La figura 34 presenta el comportamiento de los dos recursos más importantes para cada litoral. El atún, por ejemplo, presentaría disminuciones para los tres escenarios analizados. Específicamente, en el litoral Pacífico hacia finales del siglo los desembarcos se reducirían entre un 6,1% y un 9,6% en relación con el escenario base, mientras que la reducción en el Caribe estaría entre 8,1% y 9,3%. Estos impactos podrían estar relacionados con aumentos en la temperatura del océano pues como se ha identificado la familia del atún, en general, es incapaz de regular la temperatura corporal, lo que hace que sea altamente influenciada por la temperatura que lo rodea. Si la temperatura aumenta el metabolismo se acelera, a su vez, la alimentación y la respiración aumentan y puede llevar a que la especie migre hacia zonas con menor temperatura (Hoar & Randall, 1971).

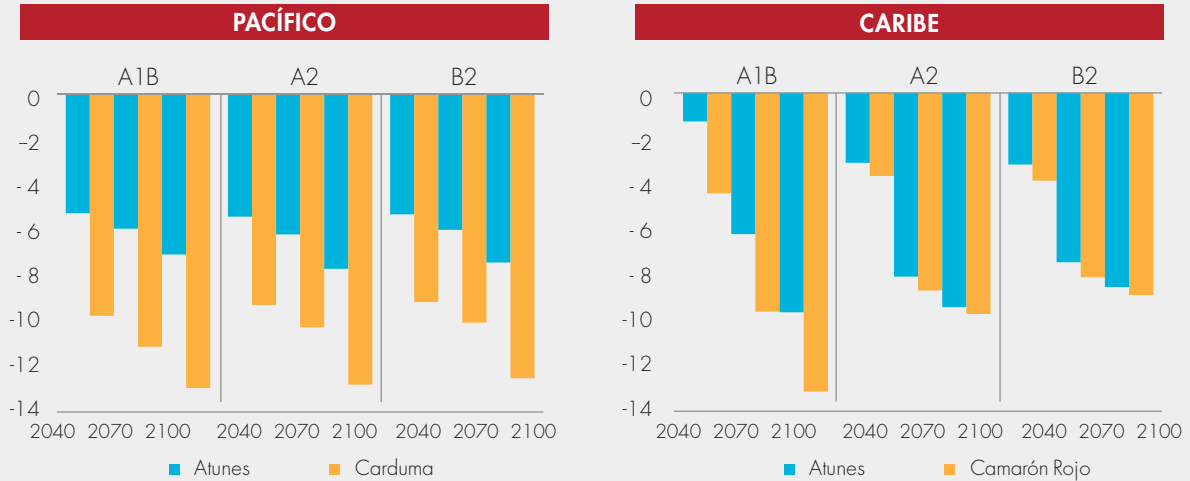
En el litoral Pacífico el recurso de *Carduma* tendría reducciones anuales promedio, en la carga desembarcada, cercanos al 9,9%. Contrario a lo anterior, los resultados para los recursos de langostino y camarones muestran que podrían tener ganancias en productividad de 1,6% y 1,3%, respectivamente, de acuerdo con la tabla 6. Estos resultados parecen contrarios a la evidencia de la literatura, pues los manglares, hábitat natural de dichas especies, son particularmente sensibles al cambio en la temperatura del agua (Yáñez, Twiller, Domínguez, 1998). Por consiguiente, los resultados deben tomarse con precaución ya que estarían relacionados con la falta de estandarización de los registros para estas especies, que podría estar generando ruidos en los resultados de los modelos.

En el litoral Caribe todos los recursos estudiados tendrían resultados negativos en la productividad frente a su línea base. En los recursos de Cojinúa-jurel y el Camarón Rojo se estiman pérdidas de productividad de 5,9% y 7,7%, respectivamente como se presenta en la tabla 6.

Por otro lado, es importante resaltar que estos resultados no tienen en cuenta posibles efectos de la variabilidad climática en los desembarcos. Aún existe incertidumbre sobre el efecto del cambio climático en los eventos ENOS y por lo tanto, no está claro cuál fase del fenómeno podría ser más persistente en el Pacífico tropical (Cochrane et al., 2009). Lo anterior podría afectar considerablemente el hábitat de las especies. Finalmente, los resultados no tienen en cuenta el efecto del aumento del nivel del mar sobre los ecosistemas marítimos, costeros y sus recursos pesqueros.

Cuencas Continentales. Los resultados en las cuencas continentales tampoco son alentadores para la pesca. De acuerdo con las modelaciones se podría concluir que el peso de desembarcado, en los recursos aprovechados en las cuencas de los ríos Orinoco y Magdalena, disminuirían bajo todos los escenarios del cambio climático. Estos resultados podrían estar relacionados con alteraciones en los caudales y el balance hídrico de las cuencas producto de cambios en la precipitación, que originaría cambios en la capacidad de reproducción de las especies. La magnitud de dichos cambios dependerá de la existencia de corredores de dispersión de los peces fácilmente influenciados por el hombre (FAO, 2013).

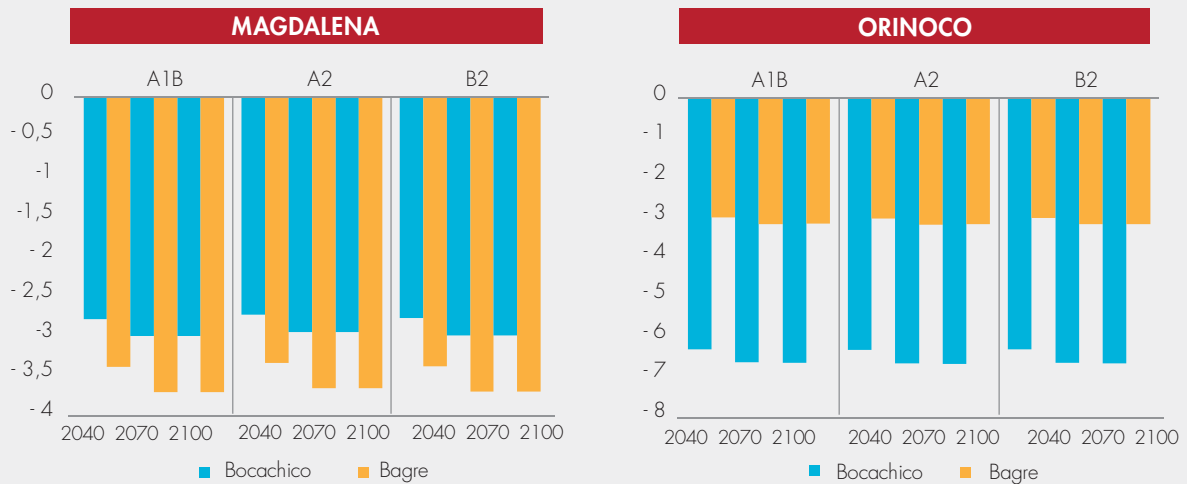
Figura 34. Cambio porcentual en los desembarcos de especies más importantes Litoral Pacífico y Caribe (respecto a 2006-2010)



Fuente: Elaboración propia

En la cuenca del Magdalena los desembarcos totales presentan una reducción. La figura 35 muestra los impactos del Bocachico y Bagre para esta cuenca. Particularmente, el recurso del Bocachico, que es altamente demandado en esta cuenca, tendría reducciones en productividad del 2,8% anual. Caso similar ocurre con el Bagre que tendría caídas en los desembarcos del 3,5% anual, mientras que el recurso del Capaz tendría impactos negativos del 0,6% en promedio anual en los tres escenarios del cambio climático.

Figura 35. Cambio porcentual en los desembarcos de especies más importantes Cuenca del Magdalena y Cuenca del Orinoco (respecto a 2006-2010)



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos para la cuenca del Orinoco muestran que los desembarcos tenderían a disminuir bajo los tres escenarios de cambio climático. Se evidencia que las pérdidas de productividad en el recurso de Bagre son entre 3% y 4% en todos los periodos, como lo muestra la figura 35

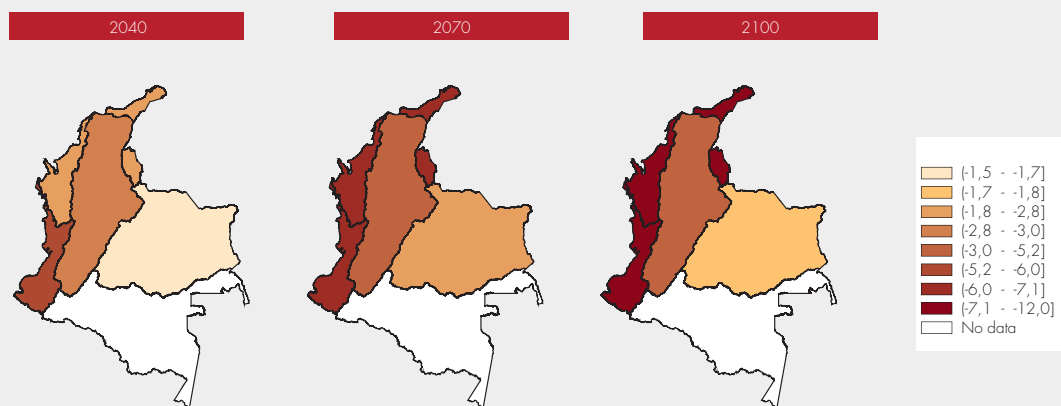
Los impactos negativos en el recurso del Bocachico pueden derivarse, como mencionan Lucas y Baras (2001), de los cambios en el caudal y en el balance hídrico de los ríos, que afectaría su capacidad migratoria; esto cobra importancia si se tiene en cuenta que dicha actividad está asociada con los ciclos reproductivos de la especie. Por su parte, los desembarcos de Bagre tendrían reducciones posiblemente por alteraciones en el caudal ante modificaciones en los regímenes de lluvia en las regiones estudiadas.

Vale la pena recordar que estos impactos podrían estar subestimados pues no se están considerando los efectos de la actividad antrópica sobre las cuencas, lo cual podría modificar la carga de sedimentos y las condiciones físico-químicas de los ecosistemas acuáticos continentales, exacerbando los efectos negativos del cambio climático.

El análisis realizado en la cuenca del Amazonas permite concluir que con la información disponible no es posible estimar una relación entre variables climáticas y los desembarcos registrados por lo tanto, es necesario mejorar la información existente en la zona a fin de aumentar la capacidad de modelación sobre los impactos del clima en los recursos pesqueros.

En conclusión, con base en los escenarios de cambio climático del IDEAM, el análisis agregado de los impactos en el nivel nacional muestra que el impacto promedio, entendido como el cambio promedio para todos los escenarios y el periodo estudiado, corresponde

Figura 36. Impacto en productividad del sector pesca (Cambio porcentual en peso de los desembarcos con respecto de 2006-2010, Promedio multiescenario*)



* Promedios por cuenca, no implica el mismo resultado dentro de la cuenca

Fuente: Elaboración propia

ría a disminuciones de la carga anual desembarcada del 5,3% con respecto del escenario base 2006-2010. Este es el impacto económico obtenido al tener en cuenta únicamente los recursos pesqueros y regiones modeladas, pero los impactos pueden ser diferentes de ampliarse el análisis. Como lo muestra la tabla 7 el escenario A2 presentaría las mayores pérdidas y el A1B las menores. A 2040 las pérdidas alcanzarían un promedio anual de 4,3%, y aumentarían a 5,4% y 6,3% a 2070 y 2100, respectivamente. Como se evidencia en la figura 36 las regiones más afectadas serían los litorales Pacífico y Carib

A continuación se presenta un resumen de los impactos en productividad estimados en el nivel nacional y para los litorales y cuencas estudiadas.

Tabla 7. Impactos en productividad nacional y por litoral y cuenca estudiada (Cambio porcentual del peso de los desembarcos con respecto de 2006-2010)

	Nacional				Pacífico		
	2040*	2070**	2100***	Prom	2040	2070	2100
A2	-3,0	-5,1	-6,0	-4,7	-5,0	-5,7	-6,6
B2	-4,5	-5,6	-6,6	-5,6	-5,4	-6,4	-7,5
A1B	-4,4	-5,4	-6,3	-5,4	-5,3	-6,1	-7,3
Prom	-4,3	-5,4	-6,3	-5,3	-5,3	-6,1	-7,1

	Caribe			Magdalena			Orinoco		
	2040	2070	2100	2040	2070	2100	2040	2070	2100
A2	-2,0	-6,4	-9,5	-2,8	-3,1	-3,1	-1,7	-1,8	-1,8
B2	-2,8	-7,2	-8,3	-2,8	-3,0	-3,0	-1,8	-1,9	-1,8
A1B	-2,9	-6,7	-7,6	-2,8	-3,1	-3,1	-1,8	-1,8	-1,8
Prom	-2,6	-6,8	-8,4	-2,8	-3,1	-3,1	-1,8	-1,8	-1,8

*Promedio 2011-2040; ** Promedio 2041-2070; *** Promedio 2071-2100

Fuente: Elaboración propia



Sector Transporte

Los servicios de transporte tuvieron una producción cercana a los \$28 billones de pesos en 2012. Esto equivale a una participación del 4,2% en el PIB nacional, cifra que se ha mantenido relativamente constante en el periodo 2000-2012. (Mintransporte, 2012). En orden de importancia el sector está integrado por el transporte terrestre urbano e interurbano, aéreo, complementario y marítimo, fluvial y férreo

En cuanto al transporte terrestre la red vial de país moviliza el mayor número de pasajeros al año a través de una red estimada en 203.627 km de los cuales 17.143 son red primaria administrada por la Nación y 186.484 a cargo de los municipios y departamentos. La red vial del país se concentra en la zona Andina, la región Caribe y parte de los Llanos Orientales, mientras que el resto del país cuenta con un número menor de kilómetros (Mintransporte, 2012).

El sector transporte tiene dos prioridades estratégicas: el mejoramiento y desarrollo de la infraestructura logística y de conectividad; y la consolidación de los sistemas de transporte en las ciudades. No obstante, el nivel de avance en el cumplimiento de estos objetivos puede verse afectado por efectos del clima. El cambio climático y sus posibles alteraciones en los patrones de precipitación pueden tener efectos negativos sobre los activos y la operación del sector transporte. Las inundaciones y sequías pueden causar daños en las vías y en los puertos, e incrementar los cierres y las interrupciones en el tráfico terrestre, férreo, marítimo y aéreo generando aumentos en los fletes, menor confiabilidad, desabastecimiento y represamiento de carga con impactos sobre el resto de la economía. Por otro lado, el aumento del nivel del mar junto con las mareas tormentosas puede causar inundaciones en la infraestructura de transporte, ocasionando daños y cierres costosos para el sector.

Reconociendo la importancia del impacto de fenómenos climáticos sobre la infraestructura de transporte el estudio se enfocó en evaluar el efecto del cambio climático en la opera-

ción del sector. Específicamente, se realizaron análisis cuantitativos para los subsectores de transporte carretero¹³ y férreo que aportan el 40,4% de la producción del sector, y evaluaciones cualitativas para los subsectores urbano, aéreo y marítimo.

Tabla 8. Contribución de los subsectores a la producción total para el 2011¹⁴

Subsectores modelos cuantitativos	Carretero 40,4%
	Férreo 0%
Subsectores con análisis cualitativos	Urbano 37,8%
	Aéreo 13,7%
	Marítimo 0,8%
Subsectores no analizados	Fluvial 1,7%
	Tuberías 5,6%

Fuente: Elaboración propia con base en DANE, 2011.

Metodología para evaluar los efectos del cambio climático en el sector transporte

Para analizar y cuantificar el posible efecto del cambio climático en el sector transporte se realizaron análisis individuales de los impactos en productividad para los modos carretero y férreo.

Modo carretero. El análisis del modo carretero evaluó el impacto de los deslizamientos de tierra asociados a la precipitación en la productividad del sector, entendida como la capacidad de los sistemas de transporte vial de operar en condiciones de normalidad. Concretamente, se analizó la relación entre los deslizamientos y los cierres en las vías, asumiendo que afectan la operación normal del sector. La evaluación de los efectos del cambio climático se realizó en dos etapas: en la primera se estimó el tiempo promedio de cierre para una muestra temporal y geográfica, y en la segunda se llevaron a cabo las proyecciones de reducción de la disponibilidad para toda la red vial del país con base en los escenarios de cambio climático, proporcionados por el IDEAM.

Estimación del tiempo promedio de cierre. Este paso tiene como fin establecer una relación histórica entre la precipitación y la duración de los cierres por deslizamientos con base en un análisis de 23 tramos de la red vial primaria, y en los eventos reportados en vías concesionadas por la Agencia Nacional de Infraestructura durante 2011 y 2012. Para estimar el tiempo promedio de cierre fue necesario estimar la proporción de la red vial primaria en zonas de amenaza de deslizamientos y establecer una relación entre los cierres y la precipitación por zona de amenaza.

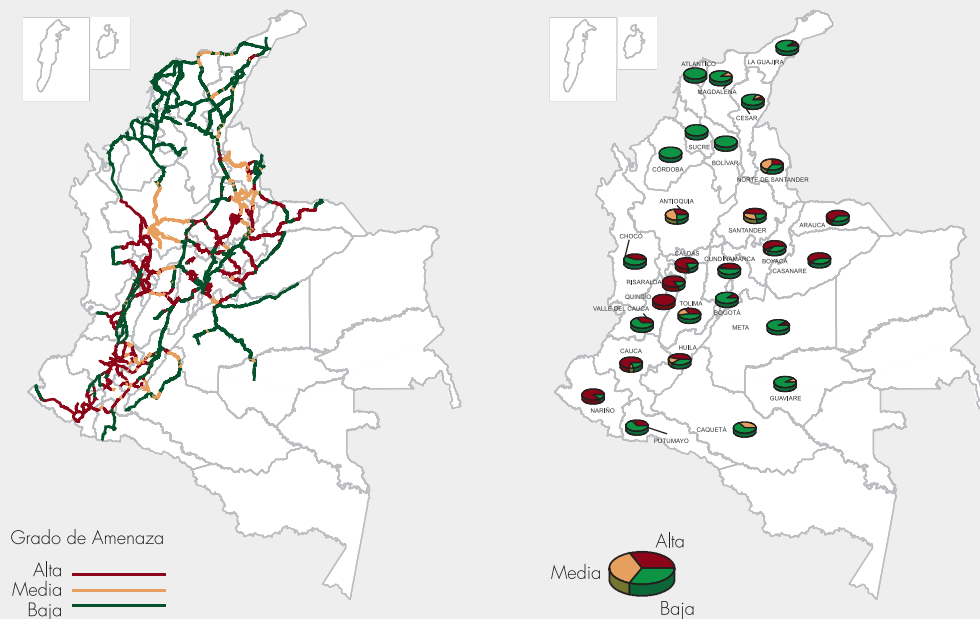
La red vial primaria fue clasificada por zonas de amenaza alta, media y baja de acuerdo con la clasificación de Ingeominas, hoy llamado Servicio Geológico Colombiano¹⁵, a fi

¹³ El subsector carretero hace referencia al transporte terrestre interurbano.

¹⁴ La producción total de un sector incluye el PIB, Consumo Intermedio e Importaciones.

¹⁵ Se agregaron las zonas clasificadas como altas y muy altas, y bajas y muy bajas de acuerdo con el Instituto Nacional de Investigaciones Geológicas Mineras - INGEOMINAS (2003) "Amenaza por remoción en masa", [En línea] disponible en:

Figura 37. Proporción de la red vial primaria en zonas de amenaza por remoción en masa (para la red vial y a nivel departamental)



Fuente: Elaboración propia con datos del IGAC, Ingeominas y Mintransporte (2003 y 2006)

de tener en cuenta la topografía y los suelos en las zonas analizadas. Los resultados de la clasificación de la red vial por departamento se muestran en la figura 37; a nivel nacional, el 34,9% de la red vial primaria está ubicada en zona de amenaza alta, el 13,1% en media y el 51,9% en baja.

Para establecer la relación entre los cierres y la precipitación por zona de amenaza se asoció cada evento de cierre a un nivel de precipitación denominado rango representativo de lluvia, de acuerdo con los datos de precipitación proporcionados por el IDEAM para los 18 días previos a cada evento¹⁶. Los rangos representativos de lluvia se dividen en A, B, C y D, donde A representa periodos en los que los niveles de precipitación son bajos en los 3 días antecedentes y 15 días precedentes a un evento de cierre, mientras que D son periodos de precipitación altos para los 15 días precedentes al evento de cierre. Esta asociación se hizo para cada zona de amenaza identificada. Como resultado se obtuvo la duración promedio de cierre por zonas de amenaza y rango representativo de lluvia, encontrando que eventos con características de lluvia como la definida por el rango D presentan en promedio cierres más largos para las zonas de amenaza media y alta (tabla 9).

http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/frames_metadato.aspx?id=181842

¹⁶ De acuerdo con la metodología Moreno et al. (2006).

Tabla 9. Tiempo promedio de cierre (minutos /día) por zona de amenaza

Zona de Amenaza	Rangos representativos de lluvia			
	A	B	C	D
Baja	14	-	120	77
Media	13	99	157	177
Alta	1	-	7	710

Fuente: Elaboración propia

Proyección de la reducción en la disponibilidad para toda la red vial.

Para realizar la proyección del impacto del cambio climático en la productividad del modo carretero primero fue necesario convertir los escenarios de precipitación, proporcionados por el IDEAM, a datos diarios para estaciones representativas por zona de amenaza.

Posteriormente, se clasificó cada día calendario de 2015 a 2100 de las estaciones en los rangos representativos de lluvia. A partir de la clasificación anterior se asignó a cada día-estación el tiempo promedio de cierre diario correspondiente a su rango y zona de amenaza, calculado en la etapa anterior (tabla 9). Este tiempo promedio corresponde a la proyección del cierre diario en minutos para cada zona de amenaza. Finalmente, para estimar el porcentaje diario de reducción de la disponibilidad de la red vial por zona de amenaza, el tiempo promedio fue dividido por el total de minutos en un día. El resultado diario fue promediado para todo el año. Es importante aclarar que los resultados en disminución de la disponibilidad no son con respecto de un escenario base, sino a la máxima disponibilidad diaria de una vía.

El resultado final es la fracción del tiempo que la red vial, para cada zona de amenaza, estará cerrada debido a cierres por deslizamientos causados por los patrones de precipitación en los escenarios de cambio climático previstos por el IDEAM.

Modo férreo. El análisis del modo férreo tuvo como objetivo evaluar el efecto de las precipitaciones bajo escenarios de cambio climático en la operación de las redes. Esto implicó un análisis histórico entre 2010 y 2012 de los cierres en las redes FENOCO (Chiriguana - Ciénaga) y Cerrejón (La Guajira), que transportan el 97% de la carga del nivel nacional. Seguidamente, se hizo un análisis de los datos de precipitación proporcionados en los escenarios del IDEAM a fin de identificar si para las estaciones cercanas a las redes se proyectan lluvias más o menos intensas que afectarán o no la red férrea concesionada.

Sector transporte. El posible impacto agregado del sector transporte se obtuvo ponderando el impacto en cada modo por su participación en la producción total del sector en 2011. Dado que el modo férreo tiene una participación menor al 1% el impacto agregado, en el sector, corresponde al impacto en el modo carretero ponderado por su participación de 40,4%. Los resultados para la totalidad del sector transporte son presentados en términos de productividad, entendida como la capacidad de operación del sector.

Impactos del cambio climático en el sector transporte

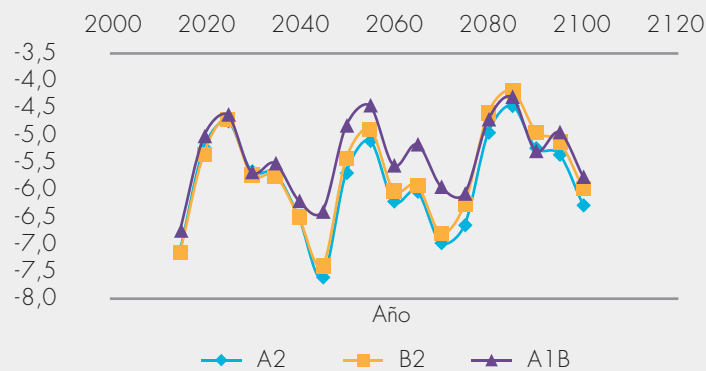
Con base en los escenarios de cambio climático del IDEAM los resultados del análisis agregado del posible efecto del cambio climático en el sector transporte **muestran que la productividad total del sector se vería afectada**. Los impactos están asociados, principalmente, a la reducción en la productividad del modo carretero dado que, de acuerdo con la metodología usada en el estudio, el modo férreo podría no verse afectado por el cambio climático.

El transporte es fundamental para el comercio de bienes y la movilidad de las personas; cualquier impacto sobre este sector repercute en el resto de la economía.

Modo carretero. La figura 38 muestra el cambio en productividad del modo carretero, entendido como el porcentaje del tiempo en que se encontrarían cerradas las vías debido a deslizamientos, para cada escenario del IDEAM. Específicamente, se esperaría que por efectos del clima la red vial primaria no esté disponible entre un 7,6% y un 4,2% del tiempo para todos los escenarios. El escenario más adverso es el

A2, mientras que el A1B es el menos adverso. La reducción promedio para todos los escenarios y el periodo estudiado es de 5,9%, como lo indica la tabla 10. Esto quiere decir, que si sólo se tomara en cuenta el posible efecto de las precipitaciones sobre las vías operarían normalmente, en promedio un 94,1%, es decir, entre un 92,4% y un 95,8% del tiempo total.

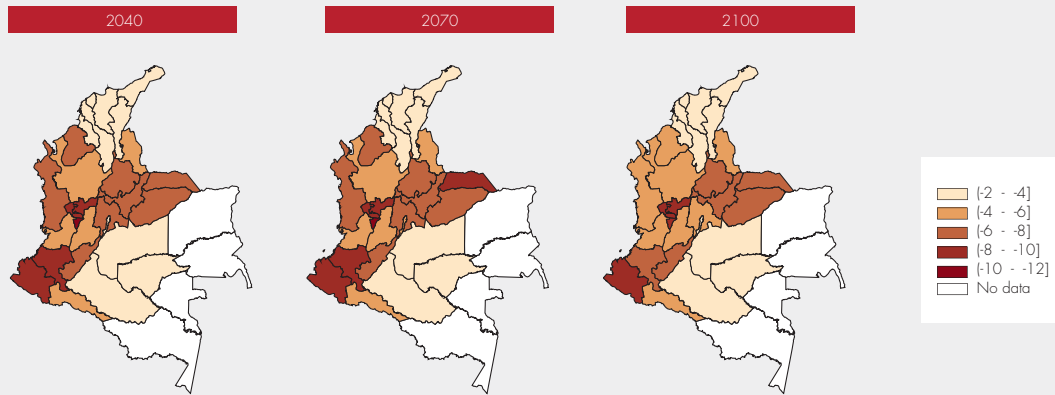
Figura 38. Cambio en productividad del modo carretero (reducción estimada de la disponibilidad de las vías como porcentaje del tiempo)



Fuente: Elaboración propia

La reducción en la productividad del sector transporte en el ámbito departamental puede verse en la figura 39 y en la figura 40. Este análisis se hace interpolando el impacto calculado para cada zona de amenaza del nivel nacional al departamento, usando la proporción de red vial por grado de amenaza en el nivel departamental. La variación inter-escenario para cada periodo puede apreciarse en la tabla 10.

Figura 39. Impactos en productividad del modo carretero.
(Reducción estimada de la disponibilidad de la red vial primaria como porcentaje del tiempo, Promedio multiescenario*)



* Promedios por departamento, no implica el mismo resultado dentro del departamento.

Fuente: Elaboración propia

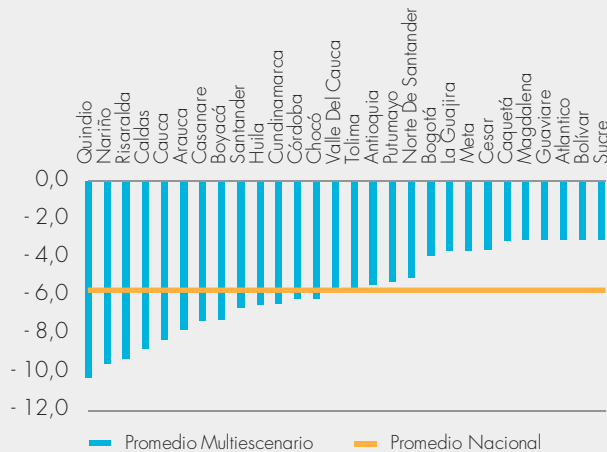
De este análisis puede observarse que los departamentos ubicados en las cordilleras serían los más afectados, sobre todo, aquellos localizados en las cordilleras central y occidental: Quindío, Nariño, Risaralda, Caldas y Cauca. Otros como Arauca o Casanare deben su comportamiento a que la mayoría de la red vial primaria del departamento se ubica sobre la cordillera o el piedemonte. En el extremo opuesto los departamentos de la Costa y los Llanos orientales (Sucre, Bolívar, Atlántico, Guaviare, Magdalena, Caquetá, Cesar y Meta), presentarían los menores impactos, incluso menores a la media nacional.

La lectura de estos resultados debe tener en cuenta que el análisis sólo estudia la reducción en la disponibilidad de la red vial debido a eventos de cierre vial por deslizamientos. El comportamiento general y por departamento podría ser diferente si se tiene en cuenta el impacto de eventos de cierre vial por inundaciones causadas por lluvias o aumento del nivel del mar, entre otros. Así mismo, es importante recordar que el análisis se hace sobre la red vial primaria existente a la fecha. De construirse más infraestructura vial en zonas de amenaza alta y media por remoción en masa u otras amenazas los impactos podrían ser mayores.

Modo férreo. En cuanto al modo férreo el análisis para el periodo 2010-2012 indicó que no se presentaron eventos de cierre o daños en las líneas férreas del norte del país. El análisis de los escenarios de cambio climático, proporcionados por el IDEAM, muestra que bajo ningún escenario se esperarían precipitaciones mayores a los del periodo 2010-2012 por lo tanto, en lo referen-

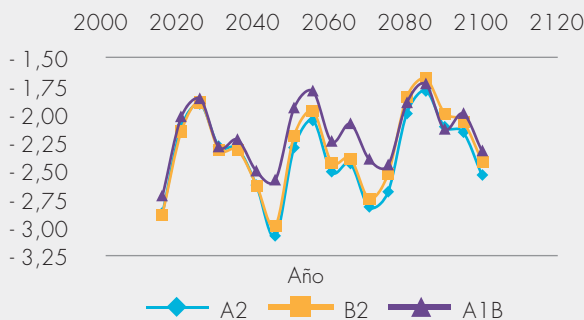
El efecto de los 5 sectores económicos impactados directamente por cambio climático difunde el impacto sobre los demás, principalmente en alimentos procesados.

Figura 40. Reducción estimada de la disponibilidad de la red vial por departamento como porcentaje del tiempo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 41. Cambio porcentual en productividad del sector transporte



Fuente: Elaboración propia

te a la metodología usada se puede concluir que el comportamiento de las proyecciones de precipitación, bajo los escenarios de cambio climático analizados, no representaría una amenaza específica para el servicio de transporte de las vías férreas analizadas. Sin embargo, es importante tomar con precaución estos resultados pues un análisis más amplio, por ejemplo de la variabilidad climática, o del efecto de otras variables climáticas diferentes a precipitación podría presentar resultados diferentes. Además, es importante tener en cuenta que estos resultados no se extrapolan a otras redes férreas del país, ni a futuras redes. No obstante, para efectos de este estudio se asumió que el impacto en la productividad del subsector férreo es de 0%.

Urbano, marítimo, y aéreo.

Posibles aumentos en precipitación podrían causar inundaciones en las vías urbanas afectando la velocidad promedio de viaje. Un análisis preliminar para Bogotá indicó que la velocidad promedio puede disminuir entre un 10% y un 15% debido a un aumento en las precipitaciones de 180 mm en un mes. Este resultado demuestra que si sólo se tuvieran en cuenta las precipitaciones podría existir un impacto negativo sobre la velocidad del transporte urbano de Bogotá.

Por otro lado, posibles inundaciones causadas por el aumento del nivel del mar y las mareas tormentosas generarían pérdidas de productividad relacionadas con la disminución de la carga transportada por los puertos, afectando la productividad del transporte marítimo.

Finalmente, la operación aérea es altamente vulnerable a los cambios meteorológicos debido a las afectaciones en las condiciones de vuelo y a daños en la infraestructura aeronáutica o aeroportuaria necesaria para operar. Por lo tanto, posibles incrementos en los extremos climáticos podrían afectar la operación normal del sector.

Sector transporte. La figura 41 y la tabla 10 muestran el cambio en productividad para el sector transporte, para cada escenario del IDEAM. **La productividad del sector transporte,**

entendida como la capacidad de operación del sector, tendría una disminución promedio anual del 2,3% para el periodo y escenarios analizados. Este es el impacto económico obtenido al tener en cuenta únicamente los subsectores modelados (carretero y férreo), pero los impactos pueden ser diferentes de ampliarse el análisis. El escenario más adverso es el A2, mientras que el A1B es el menos adverso.

A continuación se presenta un resumen de los impactos en productividad estimados para el sector transporte nacional y para el modo carretero, con base en los escenarios de cambio climático del IDEAM.

Tabla 10. Impactos en productividad para el modo carretero y para el sector transporte del nivel nacional

	Modo Carretero (porcentaje del tiempo en que las vías estarían cerradas)				Transporte (porcentaje reducción de productividad)			
	2040*	2070**	2100***	Prom	2040	2070	2100	Prom
A2	-5,8	-6,3	-6,3	-6,1	-2,4	-2,5	-2,2	-2,4
A1B	-5,6	-5,4	-5,8	-5,6	-2,3	2,2	-2,1	-2,2
B2	-5,9	-6,1	-6,0	-6,0	-2,4	-2,5	-2,1	-2,3
Prom	-5,8	-5,9	-6,0	-5,9	-2,3	-2,4	-2,1	-2,3

*Promedio 2011-2040** Promedio 2041-2070*** Promedio 2071-2100

Fuente: Elaboración propia



Impactos Económicos Agregados del Cambio Climático

A continuación se presentan los resultados de agregar los impactos económicos sectoriales para transporte, ganadería, agricultura, forestal y pesca a fin de estimar el impacto total del cambio climático sobre la economía del país.

Al incorporar los cambios en productividad sectorial, de forma simultánea, en los sectores mencionados en el MEG4C se obtienen resultados que indican que habría una reducción en la producción¹⁷ de la mayoría de sectores económicos. El impacto diferencial en cada sector depende de: (i) el efecto sustitución en los factores productivos, (ii) el efecto sobre el consumo intermedio, (iii) el efecto sustitución realizado en la demanda final (por los hogares, no por los sectores), y (iv) la clasificación de los sectores económicos de acuerdo con el poder y sensibilidad de dispersión sobre los demás, permitiendo distinguir aquellos que son independientes, receptores o abastecedores de insumos, impulsores de los demás sectores y los clave que incorporan características tanto de los receptores como de los impulsores (Schuzchny, 2005). A continuación se describe la magnitud de los impactos del nivel sectorial y la forma en que se difunden a otros sectores de la economía. Los impactos se presentan como aumentos o reducciones en la producción, *vis-a-vis* un escenario macroeconómico sin cambio climático.

Sector Transporte. El impacto en el sector transporte sería negativo con una reducción en la producción del sector entre 2,5% y 2,7% cada año, durante el periodo 2010-2100. De acuerdo con la estructura intersectorial que refleja la MCS los impactos que sucedan en este sector tendrían efectos directamente en la producción del sector minero-energético¹⁸, minerales, manufacturas y maquinaria.

¹⁷ En este capítulo producción hace referencia al valor bruto de la producción.

¹⁸ El sector minero-energético en el MEG4C corresponde a petróleo crudo, gas natural, minerales de uranio y torio, hulla y lignito, turba.

Si bien el impacto sobre el sector minero-energético se traslada indirectamente hacia otros sectores el consumo que se realiza de este sector se puede sustituir por capital, de acuerdo con la estructura productiva del MEG4C, haciendo que el impacto potencial se pueda contrarrestar. Por otro lado, un cambio en la demanda final de este sector tiene un impacto relativamente bajo sobre toda la economía en comparación con otros sectores receptores, que se ven influenciados más que el promedio cuando hay un cambio en la demanda final de toda la economía.

El sector extracción de minerales, catalogado como un sector independiente, consume una cantidad baja de insumos intermedios que provienen de otros sectores y su producción se dedica a satisfacer la demanda final por lo tanto, el efecto indirecto de este sector sobre otros es bajo. En general, los cambios negativos en la productividad del sector transporte no afectan a los sectores independientes como vivienda y agua, que son capital-intensivos.

Sector Ganadero. La producción del sector ganadería se reduciría entre el 0,8% y 0,9% de forma anual durante el periodo 2010-2100. Este sector presenta encadenamientos hacia adelante y hacia atrás lo cual indica que se impactarían directamente sectores como alimentos procesados, agricultura, comercio y manufactura. De los anteriores, alimentos y manufacturas son sectores clave, por lo tanto, los cambios en la demanda final en cada uno de estos sectores tiene un efecto relativamente mayor sobre toda la economía y los efectos indirectos que se difunden. Por otro lado, este sector ganadero es trabajo intensivo y la afectación de este factor si tiene incidencia en los efectos sustitución de factores en aquellos que son trabajo-intensivos, como lo es el sector de servicios.

Sector Agrícola. El impacto sobre el sector sería negativo con una reducción en la producción total que oscila entre el 1,9% y 2,8% promedio anual en el periodo 2010-2100.

El sector agrícola se caracteriza por consumir relativamente pocos insumos producidos por otros sectores, y su producción satisface la demanda final por tanto, el efecto directo que tendría una reducción de la producción agrícola sobre los demás sectores se concentraría en el sector de alimentos procesados, que es clave y difunde de forma indirecta pérdidas en producción a otros sectores como ganadería, pesca y comercio. Analizando la demanda final el consumo general de los bienes de la economía se reduce, a pesar que existan efectos de sustitución en la demanda final entre los sectores ganadero, pesquero y agrícola. Lo anterior ocurre porque el efecto negativo sobre la producción del sector agrícola tiene implicaciones fuertes sobre el ingreso disponible de los hogares mediante los salarios, debido a que este sector es trabajo-intensivo.

Sector Forestal. Los impactos para el sector forestal serían positivos con un aumento de producción del sector entre el 0,6% y 0,7% de forma anual para el periodo 2010-2100. El sector forestal consume una cantidad baja de insumos intermedios, razón por la cual los efectos positivos directos que tiene sobre la economía se reflejan sólo en el sector manufacturero. Además, el efecto en la sustitución de factores que el cambio, en el producto del sector, genere es bajo debido a su poca participación en la remuneración al factor trabajo.

Sector Pesca. La producción del sector pesca se reduciría entre 2,5% y 3,3% promedio anual durante el periodo 2010-2100. Los cambios en productividad de este sector afectan directamente los sectores comercio y alimento procesados. Este último sector es clave y difunde la caída en su producción a otros sectores como lo son agricultura y ganadería. No obstante, al analizar la demanda final hay un efecto positivo sobre la agricultura y ganadería debido al grado de sustitución que hay entre los sectores, por lo tanto, la producción agrícola y ganadera no se ven fuertemente afectadas ante cambios ocurridos en el sector de pesca.

Con base en los escenarios de cambio climático del IDEAM y en las modelaciones del MEG4C se podría concluir que **la mayoría de sectores económicos se verían impactados negativamente como consecuencia del cambio en la productividad bajo los escenarios de cambio climático, no solamente aquellos directamente impactados.** La Tabla 11, presenta el cambio promedio anual en la producción para los sectores del MEG4C.

Tabla 11. Efectos en el valor bruto de la producción
(Cambio porcentual promedio 2011-2100 con respecto de escenario sin cambio climático)

Sector Económico	A1B	A2	B2	PROMEDIO
Agrícola*	-2,8	-1,9	-2,0	-2,2
Pesca*	-2,5	-3,3	-3,3	-3,0
Transporte*	-2,5	-2,7	-2,6	-2,6
Ganadería*	-0,8	-0,9	-0,9	-0,9
Forestal*	0,7	0,6	0,6	0,6
Minero-energético	0,1	0,0	0,0	0,0
Mineral	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1
Energía	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
Agua	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2
Manufactura	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
Alimentos	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9
Maquinaria	0,0	-0,1	-0,1	-0,1
Construcción	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2
Comercio	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
Servicios	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
Vivienda	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1

* Sectores impactados directamente

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 11 la mayoría de los sectores tendrían una reducción promedio anual, a través del periodo 2011-2100 respecto del escenario base macroeconómico, sin cambio climático, indicando que el efecto del cambio en la productividad sobre la economía es negativo. Además del sector forestal, el sector minero-energético tendría impactos positivos (0,1% en el escenario A1B) entre otras razones por su calidad de sector *receptor*, que abastece con su producción a los demás sectores y no se ve afectado, en promedio, ante cambios en la demanda final. Además, por características propias del MEG4C el sector minero-energético junto con el

sector energía tiene un grado de sustitución con los factores productivos que permite que ante ajustes en los factores productivos este sector se impacte en menor proporción que otros.

Los efectos sobre la producción sectorial, cuando se incorporan de forma simultánea todos los choques, son mayores si se comparan con el efecto obtenido al evaluar de forma independiente cada uno de los efectos sectoriales. En la Tabla 12 se compara la reducción promedio en el valor de la producción 2011-2100 para los sectores económicos impactados de forma individual y el resultado obtenido al incorporar los choques de los cinco sectores de forma simultánea.

Tabla 12: Efectos individuales y simultáneos en el valor bruto de la producción (Cambio porcentual promedio 2011-2100 con respecto de escenario sin cambio climático)

	Agricultura			
	A1B	A2	B2	PROMEDIO
Efecto individual*	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
Efecto simultáneo**	-2,8	-1,9	-2,0	-2,2
	Pesca			
	A1B	A2	B2	PROMEDIO
Efecto individual	-2,2	-3,0	-2,9	-2,7
Efecto simultáneo	-2,5	-3,3	-3,3	-3,0
	Transporte			
	A1B	A2	B2	PROMEDIO
Efecto individual	-2,4	-2,7	-2,5	-2,5
Efecto simultáneo	-2,5	-2,7	-2,6	-2,6
	Ganadería			
	A1B	A2	B2	PROMEDIO
Efecto individual	-0,3	-0,5	-0,5	-0,4
Efecto simultáneo	-0,8	-0,9	-0,9	-0,9
	Forestal			
	A1B	A2	B2	PROMEDIO
Efecto individual	0,8	0,7	0,7	0,7
Efecto simultáneo	0,7	0,6	0,6	0,6

*El efecto individual corresponde a evaluar en el MEG4C el cambio en productividad únicamente del sector respectivo **El efecto simultáneo es el obtenido al incorporar todos los choques sectoriales de los cinco sectores evaluados.

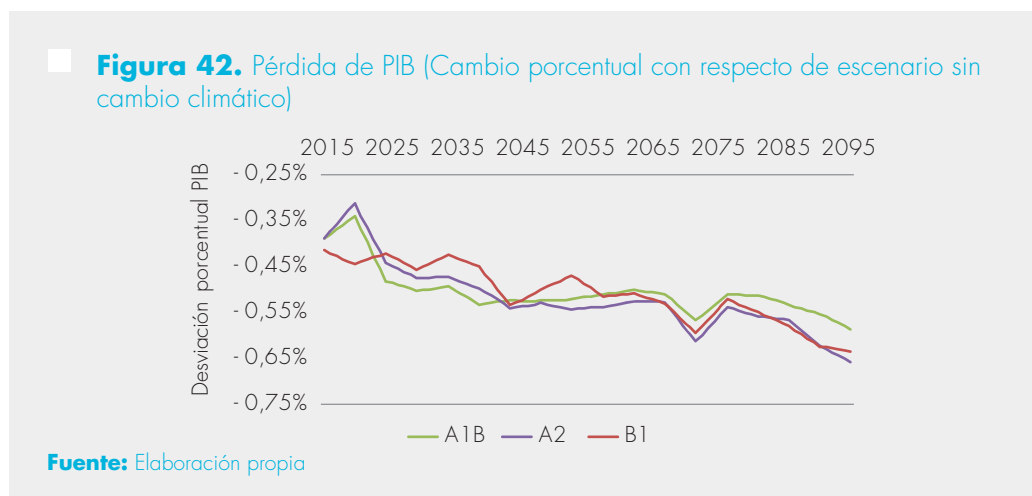
Con excepción del sector transporte, en el cual los resultados son cuantitativamente similares, los efectos individuales sobre la producción sectorial son menores comparados con los efectos simultáneos de todos los choques sobre productividad. Lo anterior permite concluir que el choque exógeno del cambio climático, heterogéneo en cada sector, será amplificado en cada sector por las interrelaciones presentes en la economía.

En el escenario con cambio climático la economía busca adaptarse reasignando recursos (inversión) desde aquellos sectores impactados directamente hacia aquellos que no lo son. No obstante lo anterior, de acuerdo con los resultados que se presentan a continuación el efecto sobre la reasignación intersectorial no es suficiente para evitar que para el nivel agregado el impacto económico sea negativo.

Impactos económicos agregados del cambio climático

Con base en los escenarios del clima futuro, del IDEAM, se estima que el impacto agregado del cambio climático en la economía del país sea negativo para todos los escenarios. En promedio, de 2011 a 2100 habría pérdidas anuales del PIB entre el 0,48% y el 0,50% con respecto de un escenario económico sin cambio climático como lo muestra la Figura 42. La pérdida económica total está definida como la diferencia porcentual entre el PIB del escenario sin cambio climático y el que se obtiene al incorporar el choque simultáneo de productividad en los sectores económicos de transporte, ganadería, forestal, pesca y agricultura para los escenarios A1B, A2 y B2. Es importante tener en cuenta que análisis solamente se realizó sobre subsectores de la economía que en conjunto suman el 4,3% del PIB total¹⁹.

De los escenarios climáticos usados el escenario A1B tiene un impacto económico relativamente menor sobre la economía colombiana. El resultado promedio anual de la pérdida económica durante el periodo 2011-2100 sería de 0,48%, equivalente a 3,6 veces el PIB



real de 2010 cuando no se descuentan las pérdidas futuras²⁰. El escenario B2 tendría un impacto económico negativo de 0,49% del PIB anual durante el periodo 2011-2100 lo cual corresponde a 3,74 veces el PIB de 2110, sin descontar las pérdidas. Finalmente, el impacto económico promedio anual en el escenario A2 tendría un impacto promedio anual de 0,50% del PIB. Esta pérdida promedio anual durante el periodo 2011-2100 equivale a 3,78 veces el PIB de 2010 cuando no se descuentan las pérdidas. El promedio multiescenario para el periodo analizado es de 0,49% del PIB.

Analizando el consumo total realizado por los hogares, la pérdida anual entre 2011-2100 promedio se encontraría entre 0,61% y 0,62% con respecto de su valor en el

¹⁹ Promedio 2005-2011 de la participación del PIB de transporte, ganadería, agricultura, forestal y pesca en el PIB Nacional, para los subsectores considerados.

²⁰ El PIB real de 2010 es de 424,5 billones de pesos contantes de 2005.

escenario sin cambio climático, como lo muestra la tabla 13. Estas pérdidas acumuladas equivalen a perder entre 5,1 y 5,3 veces el consumo que se realizó en 2010, cuando no se descuenta las pérdidas futuras.

Tabla 13. Pérdida en el consumo total (Cambio porcentual promedio 2011-2100 con respecto de escenario sin cambio climático)

Escenario	Pérdida anual promedio 2010-2100	Tamaño del impacto respecto de 2010*
A1B	-0,61	5,1
A2	-0,62	5,3
B2	-0,62	5,2

*Usando una tasa de descuento igual al 0%

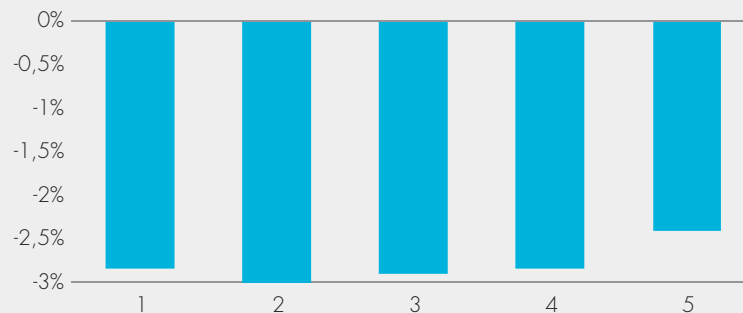
Fuente: Elaboración propia

Impactos distributivos y regionales del Cambio Climático

A través del MMS se analiza el efecto del cambio climático sobre los hogares de acuerdo con su nivel de ingreso. Los resultados indican que, en general, los hogares tendrían pérdidas promedio en bienestar, traducidas en un consumo menor de alrededor del 2,9% con respecto del escenario sin cambio climático, por los impactos del cambio climático en la economía en general.

La figura 43 muestra el cambio en el bienestar promedio de los hogares por quintil de ingresos para el escenario A2 en el periodo 2011-2100. Se aprecia que las familias de bajos ingresos tendrían una pérdida mayor que las familias de ingresos altos. El principal canal que explica esta situación es que los precios del sector alimentos procesados tienden a aumentar más que los precios de otros sectores, como causa de los choques negativos en productividad, derivados del cambio climático en los sectores agricultura, pesca y ganadería. Considerando que los hogares de bajos ingresos destinan una mayor proporción de su ingreso al consumo de alimentos que al de bienes de otros sectores su consumo se verá más afectado que el de hogares de mayores ingresos, quienes destinan una mayor parte de sus ingresos a sectores como servicios y manufactura.

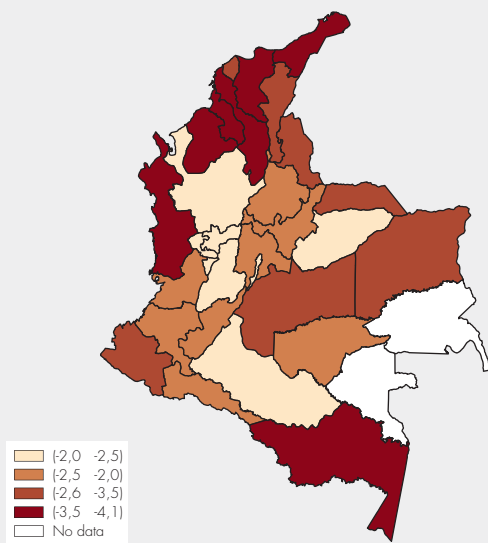
Figura 43. Pérdida de bienestar de los hogares por quintil de ingresos (Cambio porcentual promedio 2011-2100 con respecto de escenario sin cambio climático para escenario A2)



Fuente: Elaboración propia

En términos regionales los departamentos de Chocó, Amazonas y gran parte de la región Caribe presentan las mayores pérdidas en bienestar, que son cercanas al 4,5%. Por otro lado, la región central del país presenta las menores pérdidas con aproximadamente reducciones en el consumo promedio anual del 2,2% en el periodo 2011-2100 como lo muestra la figura 44

Figura 44. Pérdida de bienestar de los hogares por departamento (Cambio porcentual promedio 2011-2100 con respecto de escenario sin cambio climático para escenario A2)



Fuente: Elaboración propia

Estos resultados se deben a los patrones de consumo de cada uno de los departamentos. Departamentos como Córdoba, Chocó, La Guajira, Bolívar y Sucre destinan una mayor proporción de su ingreso al consumo de alimentos procesados, a la ganadería, la pesca y productos agrícolas destinados a la demanda final. En los demás casos el efecto del nivel de ingresos en el ámbito departamental hace que los efectos sobre el bienestar total sean menores, pero en ningún caso positivos. Por tanto, los aumentos en los precios principalmente de los alimentos reduciría el bienestar de los hogares, efecto que podría afectar la seguridad alimentaria de los hogares en el futuro.

Al comparar escenarios económicos con y sin cambio climático se concluye, entonces, que el cambio climático tendría impactos negativos en la producción sectorial, en la producción y en el consumo total de la economía, en especial en el consumo de los hogares de menores ingresos. Estos resultados se dan al evaluar el impacto sobre cinco sectores económicos que en su conjunto solo representan el 4,3% del PIB total de 2010. Es posible que de ampliarse el análisis a otros sectores económicos como turismo, industria, captación y distribución de agua o salud, entre otros, o de analizarse otros fenómenos asociados al clima los impactos sean mayores.

4.2 Impactos económicos en otros sectores

Este aparte contiene el resumen del análisis realizado sobre el impacto del cambio climático en el recurso hídrico de tres cuencas priorizadas, y sobre plantas nativas de biocomercio y otras especies. Los impactos económicos estimados en estos sectores fueron calculados con base en escenarios de cambio climático generados a través de un ensamble de MCG, y buscan generar análisis más detallados en el nivel territorial, especialmente para las cuencas analizadas. Es importante recordar que los impactos económicos que aquí se presentan no fueron agregados a los estimados anteriormente por las diferencias metodológicas en la generación de escenarios climáticos.



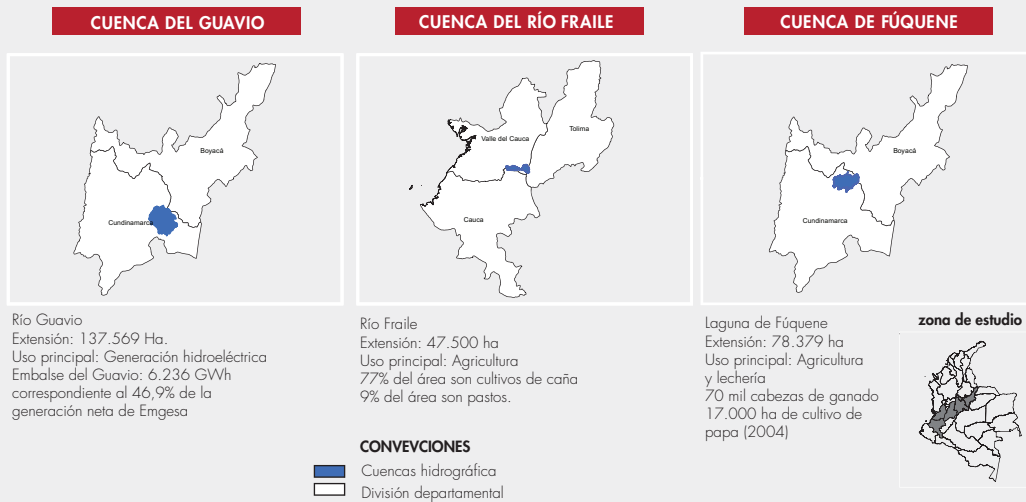
Recurso Hídrico

Colombia es un país rico en recursos hídricos dada su ubicación geográfica, orografía y variedad en oferta climática. La precipitación media anual es de 3.000 mm con una escorrentía de 1.830 mm que genera un caudal medio de 6.700 m³/s. El flujo del recurso se concentra en cinco regiones hidrológicas del país donde la región Amazónica tiene el 34% del volumen de agua, seguida por la Orinoquía con el 32%, la Pacífica con el 18% la región Magdalena-Cauca con el 11% y Caribe con el 5% (MAVDT, 2010). La oferta natural del recurso hídrico no se distribuye homogéneamente en el país; zonas como la región Andina y el Caribe, donde se concentra una parte importante de la población y la actividad económica, son regiones de baja oferta hídrica. En general, la demanda por el recurso se presenta principalmente para uso agrícola con el 54%, doméstico con el 29%, sector industrial con el 13% y en menor escala participan el pecuario y servicios con el 3% y el 1%, respectivamente (MAVDT, 2010).

El cambio climático tendrá un efecto directo sobre la cantidad, calidad y distribución del recurso hídrico en el país. Los cambios en la temperatura y la precipitación pueden provocar cambios en la oferta hídrica total y estacional, alteraciones en los caudales base de los ríos, cambios en la probabilidad de ocurrencia de inundaciones y deslizamientos, erosión del suelo, ocurrencia de sequías, entre otros. Estas alteraciones tendrán impactos sobre los ecosistemas, la población y sus actividades económicas. Específicamente sectores como el de generación eléctrica y el agropecuario pueden verse afectados, dado que los cambios en la oferta hidrológica podrán modificar sus rendimientos e inversiones.

El cambio climático puede alterar la oferta hídrica, los caudales de los ríos, la probabilidad de ocurrencia de inundaciones y sequías, entre otros.

Figura 45. Cuencas analizadas en estudio de recurso hídrico



Fuente: Elaboración propia con datos de CVC (2007); EMGESA (2012); JICA, CAR (2000)

El estudio de impactos del cambio climático en el recurso hídrico se concentró en analizar el impacto en tres cuencas estratégicas para la generación hidroeléctrica y para agricultura de riego y seco. Específicamente, la cuenca del río Guavio seleccionada por su importancia para el abastecimiento de la represa hidroeléctrica del Guavio que aporta el 13% de la energía hidroeléctrica del país (Fundación EMGESA, 2012; UPME, 2013 febrero). La cuenca del río Fraile de alta importancia en la producción de agua para riego del cultivo de caña de azúcar, con un área sembrada del 10% del total del país (CVC, 2007; PROCANA, 2012). La cuenca de río Ubaté, donde está ubicada la laguna de Fúquene, representativa de la agricultura de secano en la parte alta de la región Andina y corresponde a una zona con alta producción de leche y papa, aportando el 5% de la producción y el área sembrada respectivamente (IGAC, 2007; FEDEGAN, 2011). En la figura 45 se presenta la ubicación de las cuencas analizadas.

El impacto del cambio climático en las cuencas priorizadas se determinó analizando los cambios en el rendimiento hídrico y su efecto consecuente en la producción de la actividad económica representativa de cada cuenca. La evaluación de los efectos del cambio climático se hizo en tres etapas: en la primera se generó un escenario de clima futuro mediante un modelo ensamble de 19 MCG; en la segunda se determinó el cambio en el rendimiento hídrico comparando la línea base de cada cuenca con los escenarios de cambio climático y finalmente, se estimó el impacto en la productividad de la actividad económica principal de la cuenca.

Es importante anotar que, al igual que en el capítulo de impactos económicos del sector ganadero, el presente capítulo incluye resultados para ganadería en la cuenca

de la Laguna de Fúquene. No obstante lo anterior, los dos estudios fueron realizados de manera independiente y con datos diferentes. Por esta razón, los resultados pueden ser divergentes, demostrando la incertidumbre que existe sobre escenarios climáticos en algunas regiones del país. En el cuadro 13 se describe la metodología con mayor detalle.

■ CUADRO 13

METODOLOGÍA PARA EVALUAR EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RECURSO HÍDRICO DE LAS CUENCAS PRIORIZADAS

Modelación del clima. Este paso tiene como fin analizar los cambios entre la línea base y los escenarios de cambio climático para las variables temperatura y precipitación. Los datos para el escenario base corresponden al promedio histórico de las estaciones de la cuenca¹, mientras que los valores futuros de clima se determinaron usando valores simulados, un ensamble de varios modelos climáticos globales (MCG) para los escenarios A1B, A2 y B1, aplicándole un downscaling para bajar la resolución de los resultados². Los periodos evaluados fueron 2030 (2021-2030), 2070 (2061-2070) y 2100 (2091-2100) para Fraile y Fúquene y 2030, 2040 y 2050 para Guavio³.

Modelación del rendimiento hídrico. Usando el modelo SWAT⁴ se obtienen rendimientos hídricos para la línea base climática y para cada escenario de cambio climático, que son comparados para proyectar cambios en el balance hídrico de la cuenca. Los cambios se analizan por zonas climatológicamente homogéneas dentro de la cuenca, y son definidos con base en la información de temperatura y precipitación. Para la modelación en SWAT se empleó información sobre tipos de suelos, cobertura del suelo, curvas de nivel, cartografía base y datos meteorológicos de cada cuenca.

Estimación impacto en productividad. En cada cuenca se usó una metodología diferente para estimar impactos en productividad: en el Guavio se estimó el cambio en la generación de energía usando una fórmula que relaciona el cambio en el volumen de agua que entra al embalse por cambio climático, con un factor de eficiencia en la conversión de agua a energía. Para Fraile, se estimó el impacto del cambio en el rendimiento hídrico sobre los requerimientos de riego usando el modelo Cropwat⁵ para caña. Finalmente, para Fúquene se estimó el impacto en el rendimiento de papa utilizando el modelo Aquacrop⁶ que analizó el impacto en la productividad de materia seca de Rye Grass y su efecto sobre la producción de leche, usando APSIM y la ecuación de MAFF.

1 Para Guavio: 1991-2010; para Fraile: 1990-2004; para Fúquene: 2000-2010.

2 Siguiendo Ramírez y Jarvis, 2010.

3 Periodo de vida útil del embalse.

4 Soil and Water Assessment Tool: modelo para estimar la cantidad y calidad del agua superficial en cuencas desarrollado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos.

5 Modelo para calcular requerimiento hídrico y de irrigación para cultivos, desarrollado por la FAO.

6 Modelo para simular rendimientos de cultivos, desarrollado por la FAO.

Resultados cuenca del río Guavio

El resultado de la modelación del impacto del cambio climático en el recurso hídrico en la cuenca del río Guavio muestra que **la precipitación y temperatura anual promedio aumentarían para el periodo y los escenarios modelados, al igual que el caudal aunque con diferencias temporales y geográficas.** La precipitación aumentaría en la mayoría de meses del año, aunque en menor proporción de marzo a mayo, meses en los que el caudal sufriría una caída. Esta reducción se daría en las zonas que más aportan al caudal del río. Lo anterior, implicaría diferentes escenarios para la producción de energía. **En el escenario más optimista-B1- la generación aumentaría a 2040 y 2050, y en el escenario más pesimista-A2-la generación disminuiría hasta 2050.** A continuación se muestran los resultados en detalle.

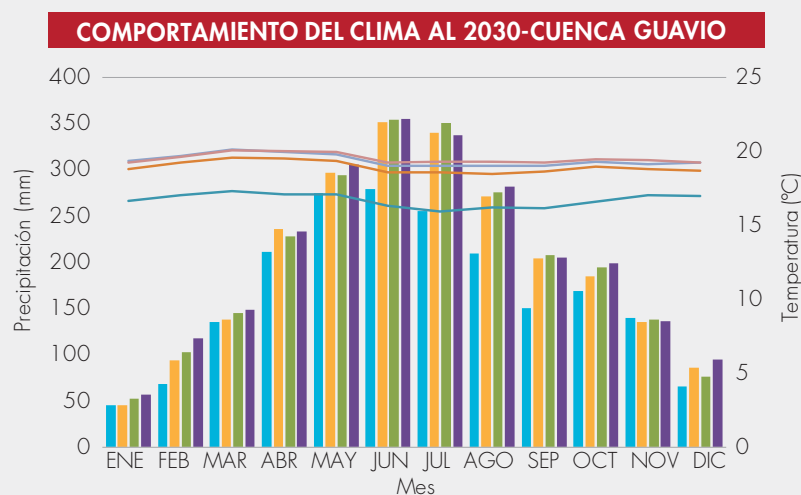
Los impactos del cambio climático sobre el recurso hídrico pueden transmitirse a los ecosistemas, la producción agropecuaria, la generación de energía y a la población en general.

La figura 46 muestra los cambios en precipitación y temperatura para cada periodo y escenario modelado. En general la precipitación promedio aumentaría en los tres escenarios modelados entre 54 y 85 mm/año a 2030, entre 79 y 105 mm/año a 2040, y entre 64 y 163 mm/año a 2050 en relación con escenario base, aunque los mayores aumentos se darían en los meses

más lluviosos del año (junio a septiembre). En el caso de temperatura el incremento oscila entre 2,2-2,8 °C a 2030, entre 2,3-3 °C a 2040 y entre 2 -2,5 °C a 2050.

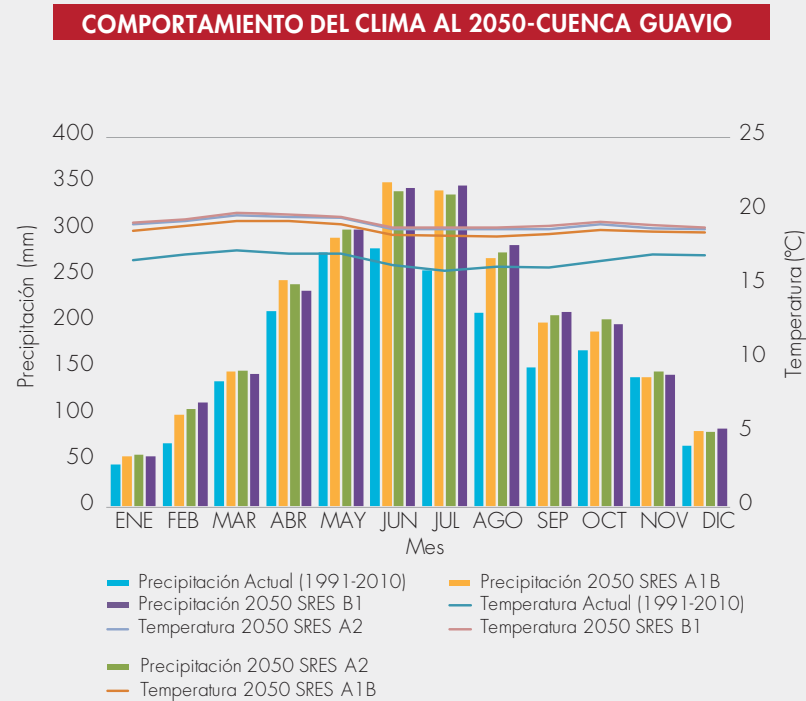
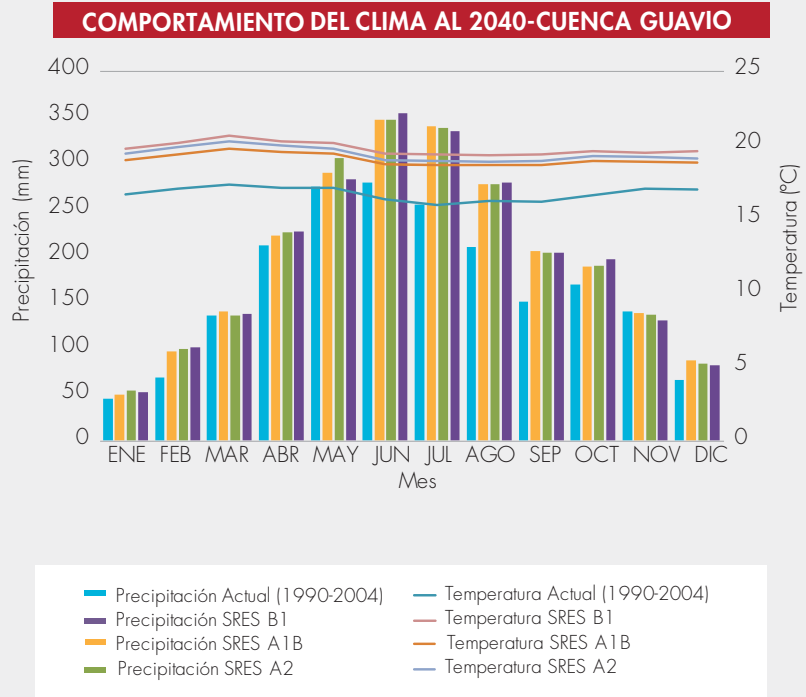
Por otro lado, el caudal del río aumentaría especialmente en los periodos donde es generalmente alto (junio a agosto) y disminuiría en los periodos en los que es más bajo (marzo

Figura 46. Comportamiento del clima actual (1991-2010) vs futuro en la cuenca del río Guavio



Fuente: Elaboración propia

Figura 46 (continuación). Comportamiento del clima actual (1991-2010) vs futuro en la cuenca del río Guavio

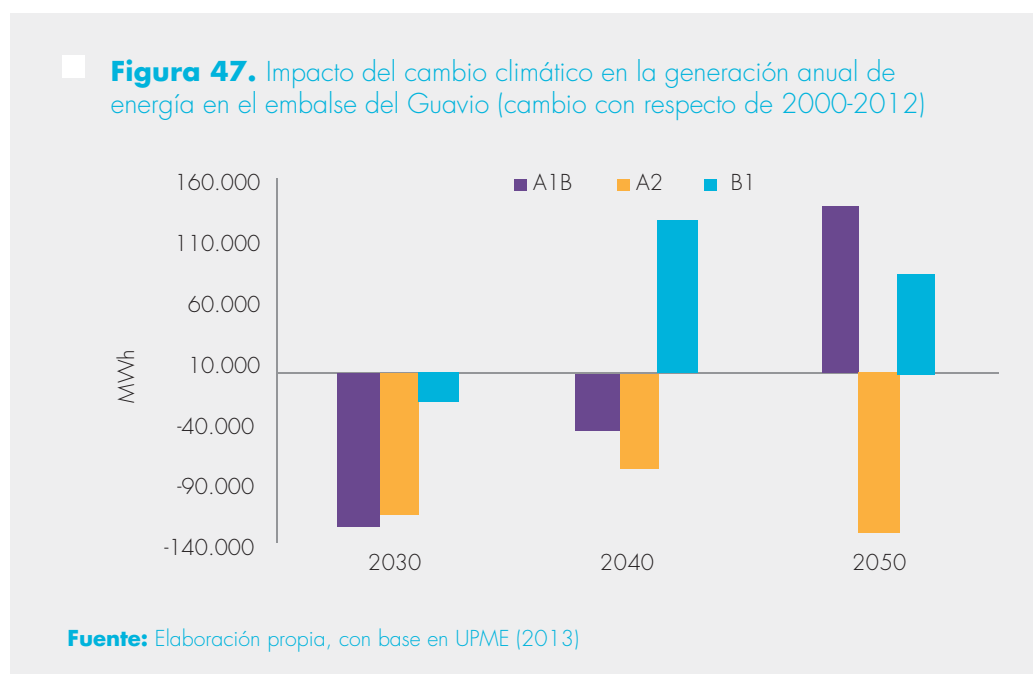


Fuente: Elaboración propia

a mayo). Así mismo, un análisis geográfico muestra que las mayores disminuciones en el rendimiento hídrico se darían en las zonas de mayor aporte de agua al caudal, es decir, en las zonas más importantes para el abastecimiento de agua para el embalse.

La figura 47 muestra el impacto del cambio climático sobre la generación de energía en los tres periodos y escenarios evaluados de cambio climático. En general, en el escenario más optimista-B1-habría un posible aumento promedio anual de 60.143 MWh de 2012 a 2050. Por el contrario, en los escenarios más pesimistas A2 y A1B se presentaría una reducción, promedio anual, de 109.961 MWh y 11.809 MWh, respectivamente de 2012 a 2050.

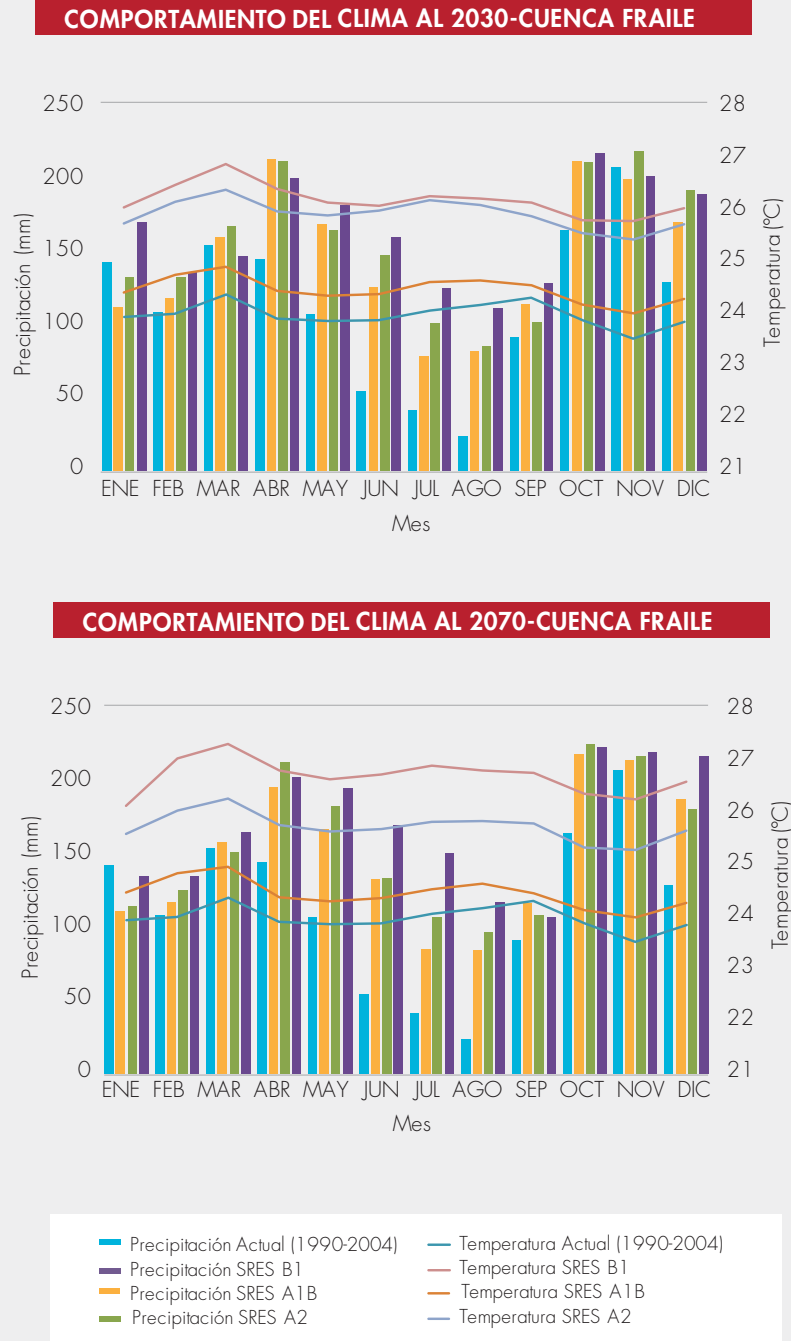
Un análisis detallado de la distribución de los cambios en el nivel mensual por escenario muestra que el comportamiento de los escenarios B1 y A1B es similar con disminuciones en la generación de energía, en los meses en que ya es baja, por bajos niveles del embalse (marzo, abril y mayo), mientras que en meses como febrero, junio y octubre la generación podría incrementarse. El escenario A2 es el más pesimista pues presenta reducciones más drásticas para los meses de marzo, abril y mayo, mientras que los aumentos son menores que en los otros escenarios.



Resultados cuenca del río Fraile

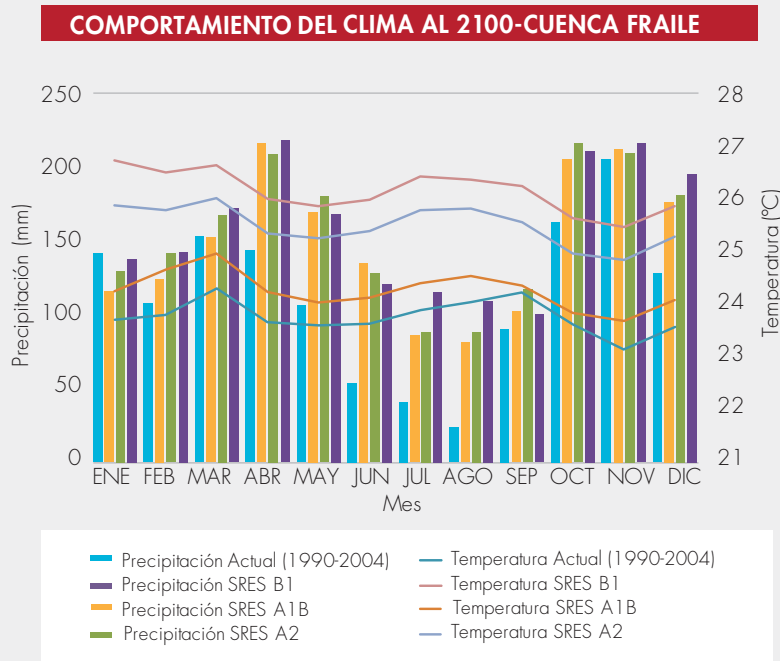
El resultado de la modelación del impacto del cambio climático en el recurso hídrico en la cuenca del río Fraile muestra que **la precipitación y temperatura anual promedio aumentarían, llevando a incrementos en el caudal a lo largo del año.** Los aumentos se darían en las zonas que más aportan al caudal del río. Lo anterior implicaría un **escenario favorable para el cultivo de caña por disminución en requerimientos hídricos y ahorros de costos por riego.** A continuación se muestran los resultados en detalle:

Figura 48. Comportamiento del clima actual (1990-2004) vs el futuro en la cuenca del río Fraile



Fuente: Elaboración propia

Figura 48 (continuación). Comportamiento del clima actual (1990-2004) vs el futuro en la cuenca del río Fraile



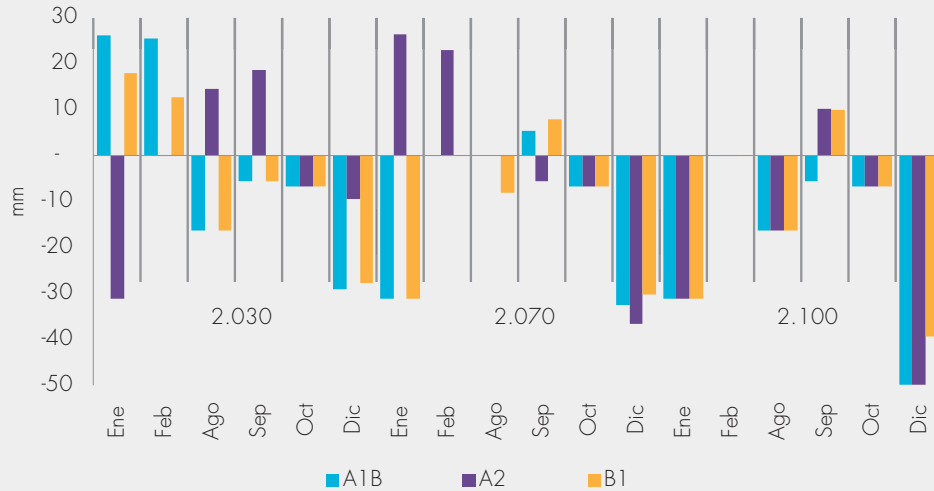
Fuente: Elaboración propia

La figura 48 muestra los cambios en precipitación y temperatura para cada periodo y escenario modelado. En general la precipitación promedio aumenta en los tres escenarios modelados entre 401-455 mm/año a 2030, 489-550mm/año a 2070, y 577-643mm/año a 2100 en relación con el escenario base. Los mayores incrementos se darían en los meses más secos del año, es decir, de junio a agosto. En temperatura el promedio de aumentos oscilan entre 0,5-2,1 °C a 2030, 0,5-2,2 °C a 2070 y 0,4-1,5 °C a 2100.

Por otro lado, el caudal promedio anual aumentaría todo el año con énfasis en las zonas altas de la cuenca, que tienen una mayor contribución al caudal actual, lo cual implicaría escenarios favorables para el cultivo de caña aunque también incrementaría el riesgo de inundaciones en épocas de lluvia.

El cultivo de caña demanda un alto volumen de agua, actualmente obtenida del río Fraile y aplicada a los cultivos mediante riego. Es así como los escenarios climáticos descritos para la cuenca pueden afectar la demanda de agua de los cultivos ubicados en la parte baja de la cuenca, y que actualmente son los mayores usuarios del recurso hídrico. La figura 49 muestra los cambios en el requerimiento hídrico mensual. Con excepción de algunos meses, en la mayoría de casos los requerimientos hídricos se reducen, pues aunque la temperatura aumenta la precipitación también lo hace, llevando a un balance en la demanda evapotranspirativa que actualmente no se da con los niveles de lluvia.

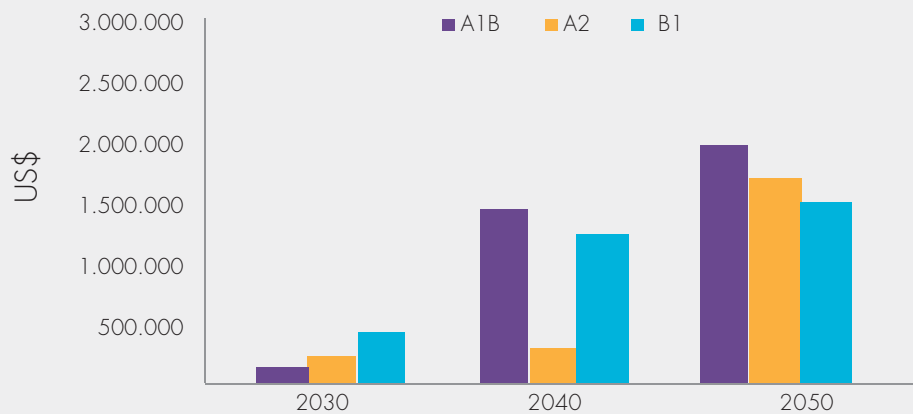
Figura 49. Cambio en los requerimientos de riego para caña de azúcar con respecto de línea base climática (1990-2004)



Fuente: Elaboración propia

La posible reducción en los requerimientos de riego podría tener beneficios económicos en término de ahorros gracias al aumento en precipitación. La figura 50 muestra el ahorro anual potencial en dólares. El promedio anual multiescenario indicaría ahorros de cerca de US\$ 1,4 millones, equivalentes a US\$ 57 por hectárea. El escenario más favorable en ahorros es el A1B y el menos favorable el A2. Los ahorros irían aumentando en el tiempo alcanzando los US\$113 en 2100 en el escenario más favorable. No obstante, el aumento de la precipitación podría incrementar la probabilidad de inundaciones en la zona.

Figura 50. Ahorro anual por disminución en la demanda de riego para caña en la cuenca del río Fraile (dólares al año con respecto de costos del 2013)



Fuente: Elaboración propia, con base en Procaña (2013)

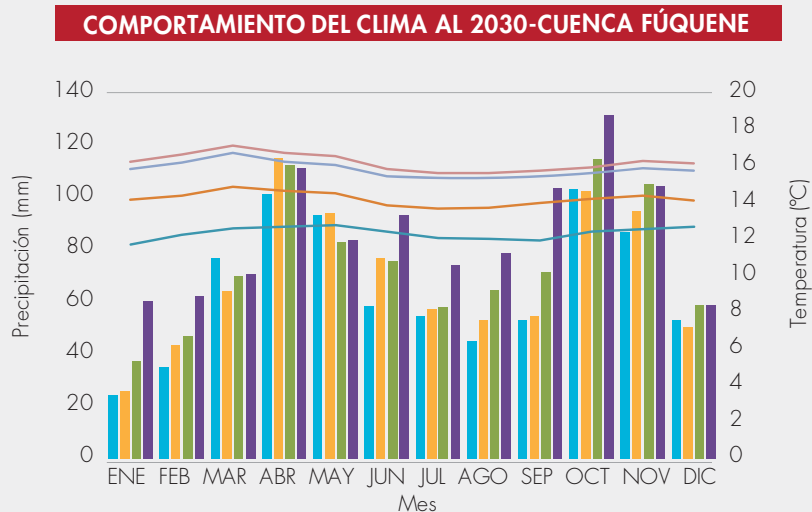
Resultados cuenca de la Laguna de Fúquene

Los escenarios climáticos generados por el ensamble de MCG muestran que en la cuenca de la laguna de Fúquene **la precipitación y temperatura anual promedio aumentarían durante todo el año** para el periodo y los escenarios modelados. El aumento sería más marcado en los meses en los que actualmente llueve menos, y en las partes medias y bajas de la cuenca. Los cambios en la oferta climática tendrían **impactos negativos sobre la producción de papa, mientras que serían favorables para la producción de leche en la zona**. A continuación se muestran los resultados en detalle.

La figura 51 muestra los cambios en precipitación y temperatura para cada periodo y escenario modelado. En general la precipitación promedio aumentaría en los tres escenarios modelados entre 9-66 mm/año a 2030, entre 85-161 mm/año a 2070, y entre 136-217 mm/año a 2100 en relación con el escenario base, aunque los mayores aumentos se darían en los meses menos lluviosos del año. En el caso de temperatura el incremento oscilaría entre 1,9-3,7°C a 2030, 1,9-4°C a 2070 y 1,6-3°C a 2100.

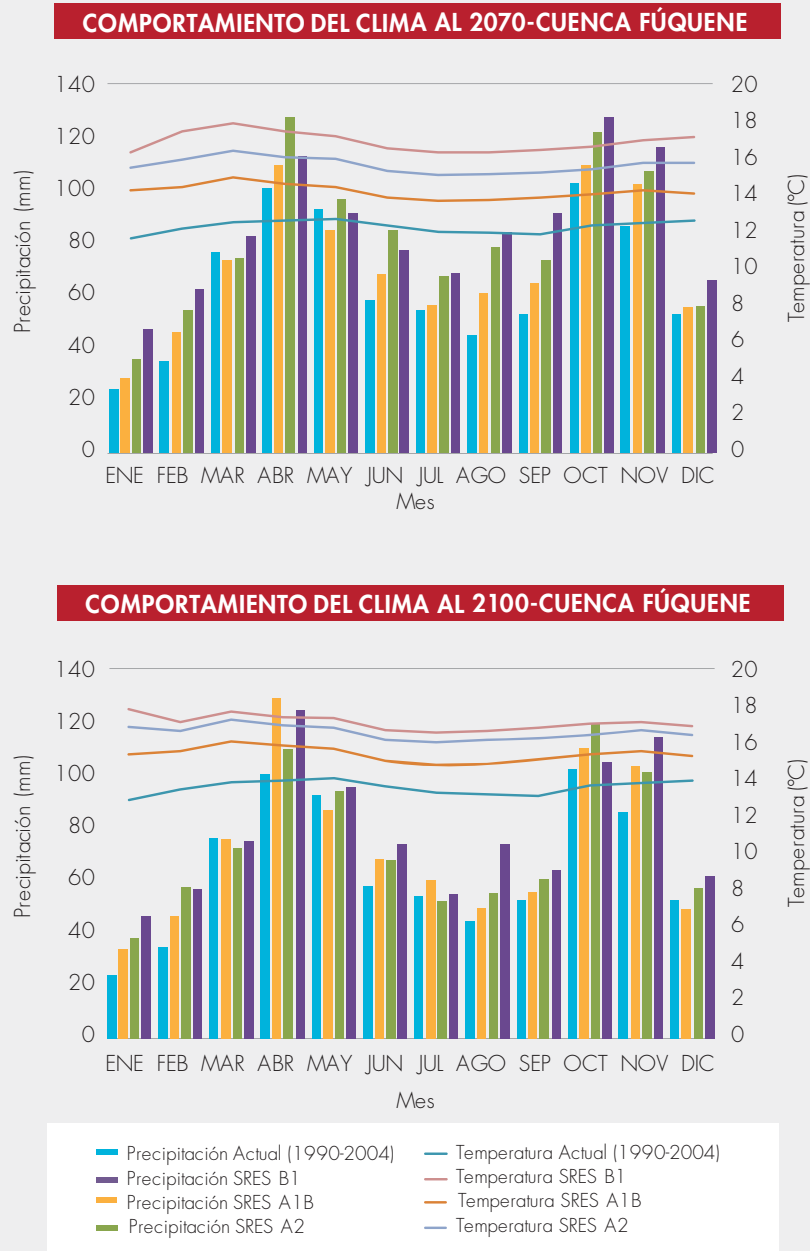
Por otro lado, el caudal promedio anual aumentaría todos los meses del año con excepción de marzo y mayo, con énfasis en las zonas medias y bajas de la cuenca. Estos aumentos a nivel del caudal del río representan un incremento en el riesgo de inundaciones de la parte baja de la cuenca en inmediaciones de la Laguna de Fúquene.

Figura 51. Comportamiento del clima actual (2000-2010) vs el futuro en la cuenca de la Laguna de Fúquene



Fuente: Elaboración propia

Figura 51 (continuación). Comportamiento del clima actual (2000-2010) vs el futuro en la cuenca de la Laguna de Fúquene



Fuente: Elaboración propia

El área actual sembrada en papa en la cuenca es de 7.736 ha, corresponde a 9,8% del área total de la cuenca y al 5% del área total sembrada para el país. Los tres escenarios muestran un balance negativo para la producción de papa en la cuenca de la Laguna de Fúquene con una reducción promedio anual del 21% de 2012 a 2100, siendo el escenario A1B el menos favorable y el B1 el más favorable, como lo muestra la Tabla 14. Estos

resultados están asociados con el aumento del estrés hídrico causado por el aumento de la temperatura. Vale la pena destacar que son coherentes con los estimados para Cundinamarca en el capítulo de impactos en agricultura, aunque los datos climáticos y la metodología para estimar escenarios son diferentes entre ambos capítulos.

Tabla 14. Valores de pérdida de productividad del cultivo de la papa en la cuenca de la laguna de Fúquene (cambio con respecto de 2011)

	Escenario A1B			Escenario A2			Escenario B1		
	2030	2070	2100	2030	2070	2100	2030	2070	2100
Década									
Pérdida promedio (kg/ha).	-2.174	-3.419	-4.886	-2.805	-3.566	-4.703	-2.129	-2.550	-2.129
Pérdida total estimada para toda la cuenca (Ton).	-16.818	-26.449	-37.798	-21.699	-27.587	-36.382	-16.470	-19.727	-16.470
Pérdida económica (Millones de dólares/año).	-3,2	-5,0	-7,2	-4,1	-5,2	-6,9	-3,1	-3,7	-3,1
Pérdida porcentual	-15	-23	-33	-19	-24	-32	-15	-17	-15

Fuente: Elaboración propia, con información de MADR (2011).

En cuanto a la producción de leche, en términos generales, los tres escenarios muestran condiciones favorables para obtener mayores niveles de producción, con un aumento promedio anual de 2012 a 2100 del 1,72%. Esto se debe a aumentos en temperatura y precipitación. Es importante anotar que estos resultados son contrarios a los encontrados en el capítulo de ganadería, donde con datos del IDEAM, se estima que la precipitación en el altiplano cundiboyacense se reduciría y por lo tanto, la producción de leche se vería afectada, lo que muestra la incertidumbre existente en la información climática.

No obstante, llama la atención el caso de la década 2030 para el escenario A2, pues presentaría pérdidas de hasta 14%, relacionados con posibles disminuciones en la precipitación para el primer semestre del año. Las ganancias en producción podrían alcanzar valores cercanos al 10% con respecto de la producción actual como sería el caso de la década 2100 para los escenarios A2 y B1.

Tabla 15. Valores de ganancia en la producción de leche en la cuenca Laguna de Fúquene (cambio con respecto a 2011)

Escenario	Década	Cambio en la productividad de leche (l/ha-año)	Cambio en la producción de leche en el nivel de cuenca	Valor económico del cambio para toda la cuenca (\$/año)	Variación (%)
A1B	2030	46	512.762	399.954.360	0,17%
	2070	-716	-7.981.252	-6.225.376.560	-2,63%
	2100	1.278	14.245.866	11.111.775.480	4,69%
A2	2030	-3.853	-42.949.391	-33.500.524.980	-14,14%
	2070	923	10.288.681	8.025.171.180	3,39%
	2100	2.877	32.069.919	25.014.536.820	10,56%
B1	2030	203	2.262.841	1.765.015.980	0,74%
	2070	815	9.084.805	7.086.147.900	2,99%
	2100	2.658	29.628.726	23.110.406.280	9,75%

Fuente: Elaboración propia, con información de FEDEGAN (2011).



Especies nativas de biocomercio y otros usos

Colombia tiene una gran riqueza biológica en ecosistemas y especies, pues a pesar de tener una superficie terrestre equivalente al 0,7% del total, alberga el 10% de la biodiversidad del mundo (Gómez y Ortega, 2007). Lo anterior se debe a la gran variedad de ecosistemas continentales y marinos que suman 311 tipos, incluyendo los bosques húmedos tropicales, sabanas llaneras y bosques aluviales, arrecifes de coral y playas marinas (MADS, 2012).

El reporte del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de 2007 concluyó que el cambio climático tendría un impacto significativo en muchos aspectos de la diversidad biológica, en los ecosistemas, las especies, y en las interacciones ecológicas de las mismas. Las implicaciones de este impacto son significativas para la estabilidad a largo plazo del mundo natural y para muchos de los beneficios y servicios de los cuales los seres humanos se favorecen (Campbell et al., 2009). Estos bienes y servicios que la humanidad utiliza de forma directa o indirecta son el resultado de la interacción entre los diferentes componentes, estructuras y funciones que constituyen la biodiversidad.

El estudio en especies nativas de biocomercio y otros usos no buscó estimar el efecto del cambio climático en la biodiversidad del país. Este ejercicio fue adelantado en una primera entrega del Estudio en "Panorama del cambio climático en Colombia" (CEPAL, 2013).

Por el contrario, en el actual ejercicio se buscó hacer análisis específico de los efectos del cambio climático sobre 16 especies de plantas nativas y una especie de polinizador que son de uso directo e indirecto en el país. Las especies de uso directo son aquellas cuya explotación, aunque poco intensiva, es la fuente del servicio ecosistémico. En total se estudiaron 12 especies de este tipo, incluyendo especies que son fuente de ingredientes para alimentos, cosméticos y uso medicinal o farmacéutico, y que tienen potencial o son actualmente comercializadas. Por otro lado, las especies de uso indirecto son aquellas cuya conservación es necesaria para la obtención del servicio ecosistémico. Para el análisis se

incluyeron cinco especies, un polinizador de frutales y cuatro especies de manglar. La tabla 16 presenta con más detalle las especies analizadas.

Tabla 16. Especies de uso directo e indirecto analizadas

Nombre Científico	Nombre Común	Uso indirecto
Avicennia Germinans	Manglar	Extracción artesanal de productos del mar (peces, crustáceos y moluscos).
Lagunculariaracemosa	Manglar	Extracción artesanal de productos del mar (peces, crustáceos y moluscos).
Rhizophora mangle	Manglar	Extracción artesanal de productos del mar (peces, crustáceos y moluscos).
Pelliciera Racemosa	Manglar	Extracción artesanal de productos del mar (peces, crustáceos y moluscos).
Xylocopafrontalis	Polinizador	Polinización de frutales.
Nombre Científico	Nombre Común	Uso directo
Borojoa Patinoi	Borojó	Fruta, Planta medicinal.
Bixa Orellana	Achiote, onoto, urucú, eroyá, uñañé, achote de monte.	Planta medicinal, cosmético.
Caesalpiniaspinosa	Dividivi	Colorante / cosmética
Crescentiacujete	Totumo, morro, jícara, calabacero, calabaza, morrito.	Planta medicinal
Genipa americana	Guate, ñandypá, jagua, jalma, huito, nané, kipurá, caruto.	Planta medicinal (colorante farmacéutico).
Indigoferasuffruticosa	Añil, waraatsu, añil indigo, curí.	Colorante, planta medicinal.
Jacaranda caucana Pittier	Cacao, caballito, riñón de oreja, gualanday, acacia.	Planta medicinal
Lippia alba	Falsa melissa, prontoalivio, quitadolor.	Planta medicinal
Mint hostachymollis	Muña, Tusilago chabama.	Planta medicinal
Myroxylon Balsamum	Bálsamo tolutiano, bálsamo, estoraque, guararo, pidoquera, tache.	Planta medicinal
Oenocarpusbataua	Palma de seje, milpesos, unamo, seje, coroba, vesirri, milpé, corolba.	Planta medicinal, comida.
Smilax Mollis		Planta medicinal

Fuente: Universidad Jorge Tadeo Lozano, 2009 y CIAT.

El impacto del cambio climático sobre las especies nativas de biocomercio y otros usos se determinó evaluando el efecto en la distribución y el área de presencia de las mismas. Con el fin de hacer una aproximación al valor económico del efecto se estimó el valor de mercado del cambio potencial en la oferta del recurso para especies de uso directo. Para especies de uso indirecto se aproximó un valor teniendo en cuenta el precio de una canasta de bienes que se derivan indirectamente de la especie modelada. Es así como el análisis del impacto del cambio climático en las especies nativas se realizó en tres pasos: en el primero se llevó a cabo una modelación del clima presente y futuro para escenarios de cambio climático con base en datos de WorldClim²¹; consecutivamente, se

²¹ Base de datos gratuita con capas de información climática a una resolución de 1 km cuadrado, desarrollada por la Universidad de California, Berkeley.

CUADRO 14**METODOLOGÍA PARA EVALUAR EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ESPECIES NATIVAS DE BIOCERCOMERCIO Y OTROS USOS**

Modelación del clima. En este paso, primero se caracterizó el clima presente y luego se generaron escenarios de cambio climático. Para la caracterización del clima presente se generaron índices bioclimáticos* y el índice de estacionalidad de Feng con base en datos de WorldClim, y se usaron índices topográficos y la capacidad de retención de humedad del suelo. Para la modelación del clima presente se tomó como línea base 1960-1999.

La generación de escenarios climáticos futuros regionales se elaboró usando un modelo ensamble de varios modelos globales de circulación (MCG) para los escenarios A1B, A2 y B1. El análisis de los impactos se realizó para los horizontes temporales 2030 (2020-2049), 2050 (2050-2069) y 2080 (2070-2099).

Modelación del cambio distribución y área de presencia de especies. En este paso se usaron modelos de nicho ecológico (MNE), que representan la distribución potencial de una especie con base en la idoneidad de su hábitat e información sobre especies presentes y variables ambientales en un espacio geográfico. Los MNE fueron validados para el país usando información sobre la presencia de especies de diversas fuentes**. Debido a que el objetivo principal es estudiar poblaciones de las especies, que ocurren naturalmente en localidades 'silvestres', se realiza un filtro adicional de los datos que consiste en: identificación de registros que contienen datos de localidad contradictorios; eliminación de registros en localidades con intervención humana significativa y exclusión de registros cuyas locaciones se encontraban fuera del área de estudio y/o el área de distribución nativa de las especies. Para cada especie se construyó un ensamble de oportunidad y se ajustaron los MNE usando técnicas y configuraciones de modelación con parámetros para cada especie***. Los ensambles permiten cuantificar las distintas incertidumbres derivadas. Como resultado de este paso se obtienen proyecciones sobre el cambio en la probabilidad de presencia de una especie, que es un indicador de la oferta natural del recurso bajo escenarios de cambio climático. Los cambios en la oferta del recurso se presentan frente a la línea base 1960-1999.

Valoración económica del cambio en la oferta natural de la especie. En este paso primero se calcula el cambio en la oferta natural de una especie y luego el valor económico de dicho cambio. Para especies de uso directo, la variación en la oferta de la especie, corresponde al cambio en las probabilidades de presencia de la especie en el escenario base y en el escenario con cambio climático ponderado por una tasa del stock de la especie por hectárea. Para especies de manglar la tasa corresponde a la oferta de bienes comercializables asociados a la especie modelada. Para la especie polinizadora el cambio en la probabilidad de presencia de la especie es ponderado, adicionalmente, por un factor de costo de la polinización manual. Finalmente, la valoración económica del impacto se realiza multiplicando el cambio en la oferta natural por el precio de la especie o del vector de bienes asociados a la especie en el tiempo analizado.

*De acuerdo con Ramírez-Villegas et al., (2010).

**Bases de datos de GBIF, GENESYS, UMMZ, estudios publicados y literatura gris.

***Maxent, Generalised Boosted Regressions, Generalised Additive Models; y redes neuronales artificiales

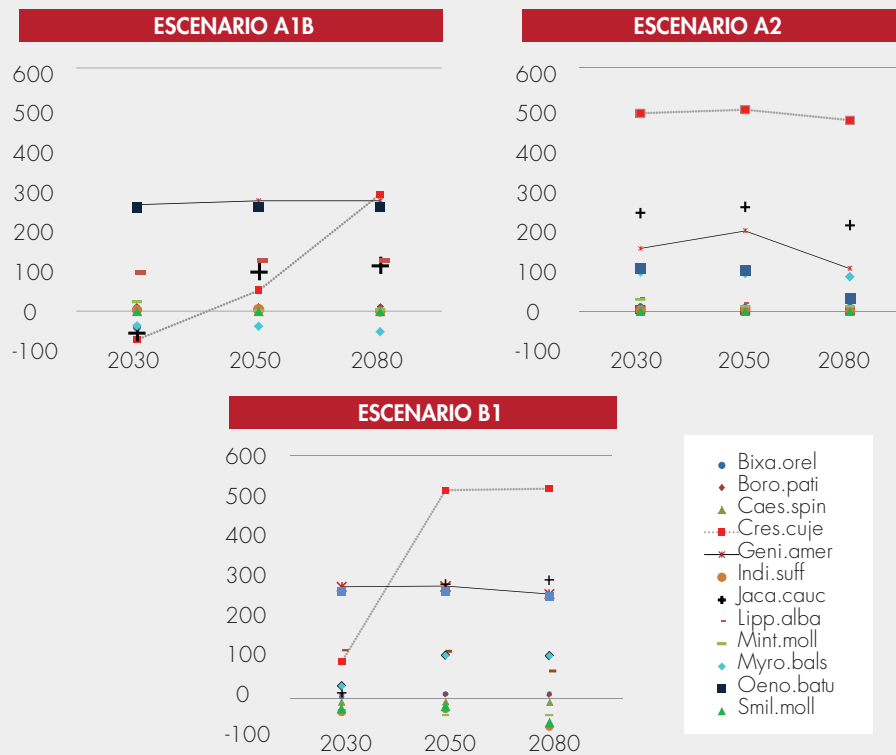
modeló el cambio en la distribución y área de presencia de las especies y finalmente, se realizó la valoración económica del cambio en su oferta natural. En el cuadro 14 se describe la metodología con mayor detalle.

Impactos del cambio climático en especies nativas para biocomercio y otros usos

La simulación del impacto del cambio climático en las especies analizadas sugiere que **las especies nativas de uso directo para biocomercio e indirecto se verían beneficiadas por el cambio climático**. Las especies de uso directo y con potencial para el biocomercio más favorecidas serían Totumo, Jagua, Seje, Prontoalivio y Gualanday y entre las menos favorecidas Bálsamo de Tolú y la planta medicinal *SmilaxMollis*. Así mismo, las especies de manglar ganarían aptitud climática con énfasis en la *Pellicieraracemosa*, al igual que la especie polinizadora.

El impacto del cambio climático sobre las especies de uso directo y con potencial para el biocomercio es variado, tal como lo muestra la figura 52. Totumo, Jagua y Gualanday son las especies que tienen mayores ganancias en el área de presencia en los tres escenarios,

Figura 52. Cambio porcentual en la superficie de área con aptitud climática para las especies de uso directo con respecto de 1960-1999



Fuente: Elaboración propia

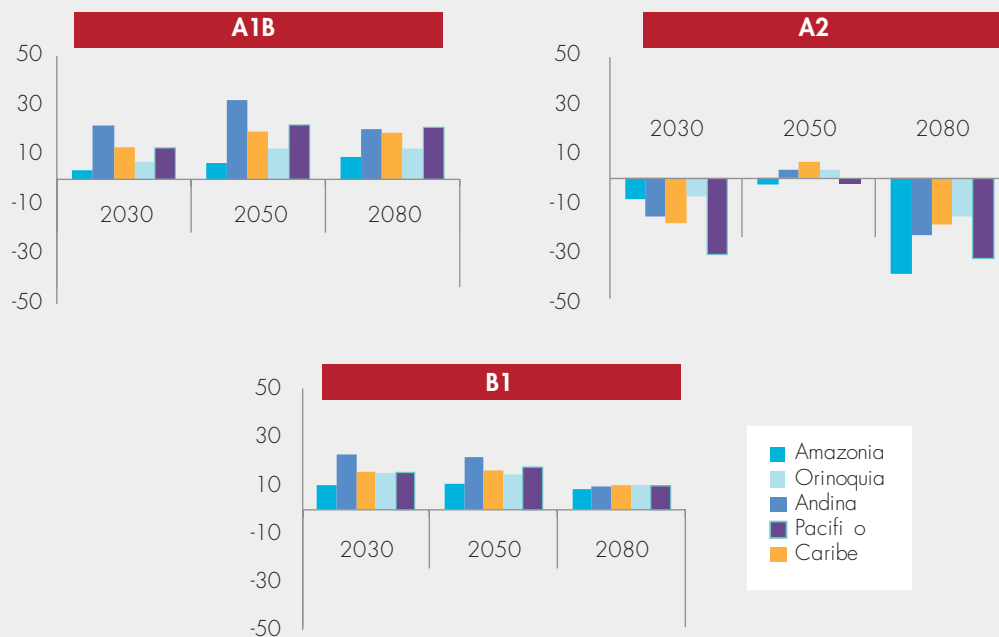
con Totumo alcanzan un 500% para los escenarios A2 y B1 y seguido de Gualanday que alcanza incrementos entre el 200 y el 250% para los escenarios B1 y A1B con respecto de 1950-2010.

Es importante anotar que hay un sesgo en la selección de especies. Las especies analizadas son de hábitat húmedo y cálido y particularmente sensible a la precipitación. Por ejemplo, Jagua, Totumo y Jaracanda Caucana crecen a una temperatura promedio de 20°C-28°C y a precipitaciones entre 1500 mm y 2500 mm, llegando a 4000 mm en el caso de la Jagua. Así mismo, su distribución natural se da en áreas que reciben de 1200 a 4000 mm en precipitación anual. Es así como estas especies se encuentran ubicadas en la Orinoquía, Amazonía y zona Pacífica, regiones en las que existen zonas con aumentos proyectados en la precipitación de acuerdo con los datos de WorldClim y al modelo ensamble de MCG.

El aumento en la superficie de área con aptitud climática implicaría un aumento en el valor económico de la especie, entendido como el valor de mercado del incremento en el inventario. La figura 53 muestra los cambios en el valor económico de las especies para cada escenario y periodo evaluado. En este caso las regiones que más se beneficiaría son la Pacífica, Amazónica y Andina

Actualmente, las importaciones de la mayoría de los productos asociados a las especies modeladas superan las exportaciones en el país. Por lo tanto, la mejora de las con-

Figura 53. Cambio porcentual del valor económico de las especies de uso directo con respecto de 1960-1999



Fuente: Elaboración propia

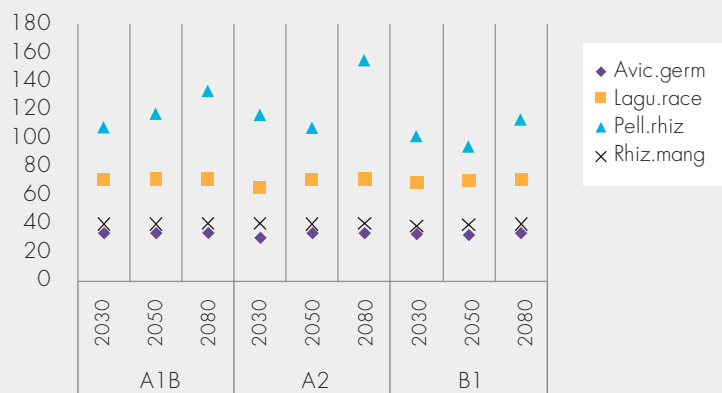
diciones de clima para las especies favorecería su extracción sostenible en Colombia. Un análisis preliminar indica que de aumentar las exportaciones en forma proporcional a la variación de la presencia de la especie generaría beneficios anuales del orden de US\$125.000.

Colombia es un país megadiverso que debe proteger sus especies nativas para aprovechar sosteniblemente los servicios ecosistémicos que ellas prestan.

Al igual que las especies de uso directo las especies manglar y polinizador de frutales tendrían aumentos en la superficie de área con aptitud climática bajo los tres escenarios. Las especies de manglar con mayores ganancias son *Pellicieraracemosa*, seguida por *Lagunculariaracemosa* que alcanzan aumentos del 100% y el 60% del área actual respectivamente, como lo muestra la

figura 54. Los manglares son ecosistemas pantanosos ubicados en litorales tropicales de suelo plano y fangoso. Con temperaturas promedio de 30°C y patrones de precipitación uniformes los diferentes tipos de manglar crecen y se mantienen. Las especies de mangle se caracterizan por presentar adaptaciones morfológicas y fisiológicas para crecer en terrenos inestables, anaerobios e inundados y con influencia salina (Sánchez-Páez et al., 2000). Los manglares se encuentran ubicados en los litorales Pacífico y Caribe, donde en el Pacífico, se verían favorecidos por las altas precipitaciones actuales y proyectadas para la zona.

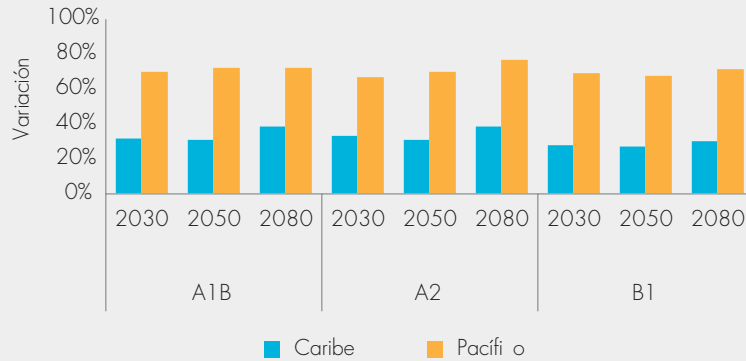
Figura 54. Cambio porcentual en la superficie de área con aptitud climática para las especies de uso indirecto con respecto de 1960-1999



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el valor económico de las especies aumentaría igualmente favoreciendo a departamentos como Valle del Cauca, Cauca y Chocó, en la región Pacífica, con aumentos mayores sobre la región Caribe de acuerdo con lo registrado en la figura 55. Los resultados se deben al aumento proyectado en la precipitación para la región Pacífica.

Figura 55. Cambio porcentual del valor económico de las especies de manglar con respecto de 1960-1999



Fuente: Elaboración propia

El caso del polinizador de frutales *Xylocopa frontalis*, muestra que en la mayoría de los casos las condiciones de cambio climático favorecerían la especie. No obstante, es necesario aclarar que el valor económico de la polinización y del cambio en la distribución de la especie son valores muy bajos.

Los cambios esperados en temperatura y precipitación podrían beneficiar a las especies estudiadas, pero se deben tener en cuenta las otras amenazas ambientales.

En conclusión, con base en los datos de WorldClim y del modelo ensamble de MCG por efectos del cambio climático se verían beneficiadas especies de uso para biocomercio y uso indirecto analizadas en el país, con incrementos promedio en su valor económico del 44,5% y 55,8%, respectivamente para los escenarios y el periodo modelado, como lo muestra la tabla 17. En el caso de especies de uso directo los resultados evidencian el gran potencial que existe en el país para aprovechar de forma sostenible y comercializar dichas especies.

Tabla 17. Cambio porcentual en el valor económico de especies con respecto de 1960-1999

	Especies de uso directo			Especies de uso indirecto		
	2030*	2050**	2080***	2030	2050	2080
A2	18,1	53,6	52,2	55,1	56,5	58,9
A1B	33,7	55,8	37,8	53,9	55,0	62,0
B2	47,6	60,0	44,7	53,1	52,3	55,9
Promedio	33,1	56,5	44,9	54,0	54,6	58,9

*Promedio 2020-2049; ** Promedio 2050-2069; *** Promedio 2070-2099

Fuente: Elaboración propia





5

CAPÍTULO

COSTOS ECONÓMICOS DE LOS EVENTOS EXTREMOS ASOCIADOS AL CLIMA

Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia -Síntesis-



Existe evidencia que en Colombia los eventos extremos asociados al clima causan impactos económicos reflejados en daños y en pérdidas que alteran el funcionamiento normal de la economía y los sistemas sociales. El evento climático más reciente que generó pérdidas y daños importantes para el país fue el de "La Niña" 2010-2011. Con base en las estimaciones de CEPAL-BID el valor de los efectos, sobre los activos físicos y el acervo de capital económico, alcanzó los 11,2 billones de pesos, o el 5,7% de la formación bruta de capital fijo anual en el país (2012)

Si bien la ocurrencia de desastres de origen natural puede afectar el desarrollo del país, también algunos patrones de desarrollo influyen en la incidencia de dichos desastres. Al respecto varios autores han resaltado la relación que existe entre el nivel de desarrollo económico de un país y el riesgo que se produzca un desastre ante la ocurrencia de un fenómeno natural extremo. (Michel, et al. 2012) encuentran que durante el periodo de 1970 a 2008 cerca del 95% de las muertes causadas por los desastres naturales ocurrieron en países subdesarrollados y algo similar sucedió con las pérdidas económicas. En efecto, en los países de ingreso medio las pérdidas económicas equivalen a un 1% del PIB, mientras que en los desarrollados son menores al 0,1% del PIB.

La evaluación de los costos económicos de los eventos extremos asociados al clima se realizó para analizar el impacto que tienen los desastres de origen climático sobre el nivel de desarrollo en el país y, al mismo tiempo analizar cuáles variables del desarrollo pueden estar influyendo en su incidencia y magnitud

Para responder las anteriores preguntas el análisis tuvo dos mecanismos principales: (i) el análisis con base en evidencia empírica del efecto de los desastres en el crecimiento económico y de los posibles determinantes socio-económicos de los desastres de origen climático en el país; (ii) el desarrollo de modelos de equilibrio general para proyectar impactos económicos de escenarios futuros de eventos extremos y analizar opciones de política. Es importante anotar que al evaluar eventos extremos se está analizando el impacto de la variabilidad climática y no del cambio climático.

5.1

Efectos y determinantes de los desastres de origen climático en Colombia

El efecto inmediato de un desastre natural es la destrucción o daño del inventario de capital, de la infraestructura física, de los recursos naturales y, en muchos casos, del capital humano del país. Estas variables juegan un papel fundamental en la determinación del crecimiento económico de corto y largo plazo de una economía. Al mismo tiempo, las características socioeconómicas de los países influyen en la magnitud de los desastres (número de víctimas y daños materiales).

La ubicación en zonas de alto riesgo de desastre, la deforestación y erosión del suelo, los procesos de urbanización no controlados ni planificados, la falta de políticas efectivas de prevención y mitigación de desastres naturales, entre otros, hacen que aumente la

probabilidad de que los eventos extremos de origen natural produzcan graves daños a la población y a la infraestructura física.

Las características de los desastres asociadas al clima dan luces sobre la interrelación de los anteriores factores. De acuerdo con Desinventar, los desastres de origen climático son los desastres más frecuentes, el 85% del total de desastres ocurridos en el país 1970-2010. De estos, el 95,3% es originado por exceso de lluvia, mientras que el 4,7% restante está relacionado con su escasez. Por otro lado, los registros muestran que el total de desastres de origen climático ha venido en ascenso. De acuerdo con Sánchez, Calderón (2012) de 1970 a 1990 se presentaron un total de 9.354 desastres, mientras que de 1991 a 2011 el número de desastres corresponde aproximadamente al doble con 18.869 registros.

Los daños y pérdidas ocasionadas por los desastres pueden agruparse en muertos y desaparecidos (MD), muertos, desaparecidos, heridos, afectados y damnificados (MHAF), y viviendas afectadas y destruidas (VIVIAF). La tabla 18 muestra las cifras de daños y pérdidas por cada tipo de desastre evidenciando que los deslizamientos son los que generan más pérdidas de vidas humanas, mientras que las inundaciones son las que más generan pérdidas en vidas, heridos, afectados y damnificados y mayores viviendas afectadas y destruidas

Tabla 18. Caracterización de los desastres de origen climático en Colombia (1970-2010) (participación del total)

Tipo de evento	Desastres	MD*	MHAF**	Viviaf**
Inundaciones	48,7%	19,8%	65,4%	79,1%
Deslizamientos	28,2%	55,7%	9,9%	7,5%
Tormentas y vientos	18,4%	24,0%	15,1%	13,3%
Sequías	4,7%	0,5%	9,4%	0,1%

*Muertos y desaparecidos. **Muertos, desaparecidos, heridos, afectados y damnificados. ***Viviendas afectadas y destruidas.

Fuente: Elaboración propia con datos de Desinventar

Por otro lado, en las últimas décadas Colombia ha tenido un desarrollo urbano importante que ha llevado al aumento de la población urbana ubicada en zonas de riesgo por deslizamiento y remoción en masa. Con base en el cruce de la población censal del nivel de centros poblados, sección y manzanas con las coberturas de áreas municipales en riesgo por remoción en masa y de las áreas de inundación periódica, se estimó que el 15,4% de la población nacional se encontraría en áreas de riesgo por inundación, mientras que el 23% en áreas de riesgo por deslizamientos, como lo muestra la Tabla 19.

Tabla 19. Proporción de la población y las viviendas ubicada en zonas de riesgo

Zonas	En riesgo por inundación			En riesgo por remoción en masa		
	Área	Personas	Viviendas	Área	Personas	Viviendas
Urbana	20,2%	15,2%	14,4%	22,5%	18,0%	19,3%
Rural	19,5%	16,0%	14,8%	16,2%	37,6%	39,9%
Total	19,5%	15,4%	14,5%	16,3%	23,0%	24,7%

Fuente: Elaboración propia con datos del DANE

Efecto de los desastres en el crecimiento económico del país

Para estimar el efecto de los desastres de origen climático en el crecimiento del PIB se realizó un ejercicio econométrico que buscó determinar el efecto de variables socioeconómicas como los desastres en el crecimiento del PIB per cápita a través de regresiones departamentales. El cuadro 15 presenta la metodología seguida.

■ CUADRO 15

METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL EFECTO DE LOS DESASTRES EN EL CRECIMIENTO ECONÓMICO

Para este ejercicio se tomó un panel de datos quinquenal en el nivel departamental para el periodo 1980-2010 y se estimó una regresión al estilo de Barro (1991) e Islam (1995), en la que el crecimiento del PIBp de un departamento de Colombia, en un quinquenio determinado depende del PIBp inicial, de la educación, de la tasa de desastres y de alguna otra variables socioeconómicas, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$y_{i,t} - y_{i,t-1} = \alpha_0 + \underbrace{\hat{\alpha}_1}_{(-)} y_{i,t-1} + \underbrace{\alpha_2}_{(-)} D_{i,t} + \underbrace{\alpha_3}_{(-)} Da_{i,t-1} + \underbrace{\alpha_4}_{(+)} Tbm_{i,t} + \underbrace{\alpha_5}_{(+)} Den_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

Donde $y_{i,t}$ es el logaritmo del PIBp, $D_{i,t}$ es una medida de la tasa de los desastres ocurridos en el departamento i en el periodo t , $Da_{i,t-1}$ es la tasa de desastres promedio desde 1970 hasta el quinquenio $t-1$, $Tbm_{i,t}$ es la educación departamental, $Den_{i,t}$ es la densidad departamental y $\varepsilon_{i,t}$ es el término de error. Los desastres se calculan como una tasa, dividiendo el número de desastres anuales por la población. Los signos representan la posible relación existente entre las variables independientes y la dependiente, de acuerdo con una revisión de la literatura sobre crecimiento económico. Así mismo, se estimó la ecuación 1 usando como variable de interés la proporción de Muertos, Heridos y Afectados, (MHAF) en los desastres naturales ocurridos en el quinquenio y en los acumulados desde 1970, sobre el crecimiento económico.

Para estimar la ecuación 1 se aplicó el método generalizado de los momentos en sistema, método apropiado para enfrentar problemas de endogeneidad y efectos fijos de departamento, entre otros. La variable usada para instrumentar los desastres fue un indicador de exceso de lluvias extremas departamental. Finalmente, mediante el GMM-System se estima un sistema que incluye la ecuación (1), en niveles y en diferencias. Adicionalmente, tal como recomiendan Bond, Hoeffler y Temple (2001), todas las variables están medidas en desviaciones con respecto del promedio del departamento en cada periodo para evitar que las variables instrumentales usadas en la ecuación de niveles estén correlacionadas con el coeficiente fi.

Las variables departamentales fueron construidas con base en información de Desinventar (desastres y afectaciones), DANE (PIB, tasa bruta de matrícula) e IDEAM (indicador de exceso de lluvia extrema).

Los resultados de las regresiones muestran que tanto la tasa de desastres del quinquenio, como la acumulada cuando son modeladas separadamente, son estadísticamente significativas en explicar el crecimiento económico del quinquenio en el nivel departamental aunque sólo sea al 90%²². Por otro lado, los resultados para la proporción de muertos, heridos y afectados (MHAD) del quinquenio y acumulado, por separado son más robustos con significancia del 95%²³, en otras palabras, la magnitud de los desastres es una variable que explica mejor el crecimiento del PIB del nivel departamental.

Con base en la magnitud de los coeficientes de las variables explicativas se puede dimensionar el efecto de los desastres sobre la economía del país. Específicamente se encontró que:

La elasticidad de crecimiento quinquenal con respecto de la tasa de MHAD, o elasticidad de corto plazo es de -0.0255. Esto quiere decir, que si la tasa de MHAF se incrementara en un 10%, el crecimiento quinquenal caería en 0.255%.

El 85% del total desastres son de origen climático

La elasticidad de largo plazo del PIB per cápita con respecto a la tasa de MHAF es de -0.116. Esto implica que un incremento permanente de la tasa de MHAF del 20% generaría una caída en el PIB de largo plazo de 1,5%.²⁴

Los anteriores ejercicios econométricos muestran que los desastres naturales climáticos en Colombia tienen un efecto negativo sobre el crecimiento de corto, mediano y largo plazo de la economía.

Determinantes de los desastres de origen climático en el país

Para evaluar el efecto de diferentes variables socioeconómicas sobre la tasa de desastres se realizó un ejercicio econométrico adicional con regresiones en el nivel municipal, incluyendo variables tales como las personas ubicadas en zonas de riesgo de desastres, calidad de las instituciones regionales, gasto en gestión de riesgo, entre otras. El cuadro 16 presenta con más detalle la metodología seguida.

Los resultados de las regresiones muestran las variables socio-económicas relevantes para explicar la proporción en el nivel municipal de viviendas destruidas y afectadas (VIVAF), la MHAF y el número promedio de desastres. Específicamente, el PIB per cápita es una variable estadísticamente significativa y relacionada negativamente con las variables mencionadas, es decir, a mayores niveles de PIB per cápita menores tasas de desastres e impactos.

²² El nivel de significancia muestra la probabilidad que la hipótesis nula sea rechazada. En este caso la hipótesis nula es que el coeficiente de la variable independiente sea cero, es decir, que la variable independiente no tiene un efecto sobre la variable dependiente.

²³ Los estadísticos para medir la exogeneidad de los instrumentos utilizados, y el comportamiento adecuado de los errores de la regresión, no presentan problemas.

²⁴ Se calcula dividiendo la elasticidad de corto plazo por el valor absoluto del coeficiente del PIB rezagado. Es decir, $-0.0255/0.22 = -0.116$.

■ CUADRO 16

METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL EFECTO VARIABLES SOCIOECONÓMICAS SOBRE LOS DESASTRES EN COLOMBIA

Para este ejercicio se utilizaron datos de corte transversal en el nivel municipal para 2005 y se estimaron las ecuaciones 2 y 3: (2)

$$D_i = \delta_0 + \underbrace{\delta_1}_{(-)} y_i + \underbrace{\delta_2}_{(+)} Pzr_i + \underbrace{\delta_3}_{(+)} LLuv_i + \underbrace{\delta_4}_{(+)} Inst_i + \epsilon_i \quad (3)$$

$$y_i = \beta_0 + \underbrace{\beta_1}_{(-1)} D_i + \underbrace{\beta_2}_{(+)} Edu_i + \underbrace{\beta_3}_{(+)} Dist_i + \underbrace{\beta_4}_{(+)} Rios_i + \epsilon_i$$

Donde, Pzr_i es el porcentaje de la población, o de las viviendas ubicadas en zonas susceptibles de inundación en 2005. La variable $Inst_i$ es un indicador de la calidad de los gobiernos municipales representado por el índice de capacidad administrativa (ICA). La variable $LLuv_i$ es el mismo índice de exceso de lluvias extremas utilizado en las regresiones departamentales.

En la ecuación (3), y_i es el PIB per cápita municipal, Edu_i corresponde al capital humano de la fuerza de trabajo del municipio, $Dist_i$ es el logaritmo de la distancia del municipio a los principales mercados, hom_i mide la tasa de homicidios por cada 100 mil habitantes, y $Rios_i$ mide la longitud per cápita de los ríos primarios de cada municipio.

Las ecuaciones 2 y 3 representan un modelo de ecuaciones simultáneas. Para estimar este sistema de ecuaciones simultáneas se utiliza el método de mínimo cuadrado en dos etapas (MC2E), usando como instrumento las variables exógenas que aparecen en las ecuaciones (2) y (3). Es decir, las diferentes al PIB per cápita (y_i), a la tasa de desastres D_i y a la población o viviendas en zonas de riesgo (Pzr_i). Se aplica el método de MC2E con el fin de resolver los problemas de endogeneidad existentes con la variable de población o viviendas en zonas de riesgo.

Las variables departamentales fueron construidas con base en información de Desinventar (desastres y afectaciones), DANE y metodología Sánchez y Núñez (PIB municipal), SIGOT (índice de educación y capital humano, violencia municipal, ICA), DANE e IDEAM (proporción del área de los municipios en zonas de inundación o remoción en masa).

Por otro lado, la proporción de viviendas en zonas susceptibles a inundación es igualmente significativa aunque positiva, lo cual mostraría que ante un número mayor de viviendas expuestas, mayor es la tasa de desastres y afectación del nivel municipal. Finalmente, el exceso de lluvias extremas también incrementa de manera significativa la tasa de desastres²⁵.

Con base en la magnitud de los coeficientes de las variables explicativas se puede dimensionar el efecto de las variables socio-económicas en los desastres y su afectación en el país. Específicamente se encontró que:

- La elasticidad de la tasa de VIVAF con respecto de la población en zonas susceptibles a inundación es de 0,15. **Esto quiere decir, que si la población en zona de riesgo se redujera en un 20%, la tasa de VIVAF se reduciría en un 3%.**
- La elasticidad de MHAF con respecto de la población en zona susceptible de inundación es de 0,23. **Esto quiere decir, que si la población en zona de riesgo se redujera en un 20%, la tasa de MHAF caería en un 4,5%.**

5.2 Desarrollo de modelos de equilibrio general para proyectar impactos económicos de escenarios futuros de eventos extremos

Se desarrollaron dos modelos de equilibrio general con el fin de construir herramientas que permitan obtener un conocimiento más amplio de los efectos de los desastres de origen climático sobre la dinámica de economía en su conjunto. Así mismo, se buscó que los instrumentos brindaran apoyo al diseño de políticas de gestión de riesgo de desastres.

La población afectada por desastres de origen climático, afecta de manera importante tanto el crecimiento como el PIB largo plazo.

El primer modelo es un Modelo de Equilibrio General Dinámico Estocástico (DSGE por sus siglas en inglés) con crecimiento endógeno y desastres naturales que afectan la acumulación de capital. A partir de este modelo se simulan los flujos de ingresos y gastos de la economía colombiana en un periodo determinado, teniendo en cuenta las interrelaciones entre los distintos agentes económicos, su conducta optimizadora, y la incertidumbre sobre el comportamiento futuro de algunas variables económicas, debido a la ocurrencia de desastres por eventos extremos climáticos abruptos. Este modelo se denominó Modelo de Gestión de Riesgo (MGR).

²⁵ Los estadísticos para medir la exogeneidad de los instrumentos utilizados y el comportamiento adecuado de los errores de la regresión, no presentan problemas.

El segundo es un Modelo de Equilibrio General Dinámico Recursivo, que resulta de ajustar la estructura productiva del MEG4C²⁶ del DNP. Al igual que MGR este modelo busca analizar interrelaciones entre decisiones económicas los desastres de origen climático. A diferencia del MGR en este modelo los actores no tienen conductas optimizadoras. El modelo se denominó MEGDES.

Descripción conceptual y calibración del MGR y MEGDES

El MGR es el resultado de unir literatura de modelación del crecimiento económico a la Ramsey-Cass-Koopman (Barro, R. & Sala-i-Martin, X. 2004), y modelos de crecimiento con desastres naturales de Ikefuji, & Horii, R. (2012). Conceptualmente en el modelo los hogares maximizan su utilidad inter-temporal sujetos a una restricción inter-temporal. Las empresas deciden cuanto producir y cuanto invertir para maximizar el valor presente de sus ganancias. Existen dos sectores productivos: el de servicios de arrendamiento, y el de los otros bienes de consumo. El primero utiliza intensivamente el capital en forma vivienda, mientras el segundo usa maquinaria y equipo. Cada sector utiliza capital ubicado en zona riesgosa y no riesgosa. El sector de arrendamiento decide ubicar sus casas en zonas riesgosas y no riesgosas en función de los costos de las viviendas y la diferencia en las tasas de desastres en cada zona. Existe migración de viviendas y capital hacia zonas menos riesgosas cuando la tasa de desastres aumenta.

Las empresas toman decisiones de inversión encaminadas a maximizar el valor presente de sus ingresos, teniendo en cuenta que la acumulación de capital depende de la inversión y del capital destruido por los desastres. Dicha destrucción depende del porcentaje de capital que se destruye ubicado en las zonas riesgosas y el porcentaje de capital que se destruye en zonas no riesgosas. La proporción del capital destruido depende de su ubicación en zonas de alto riesgo de desastres o en zonas libres de riesgo. El capital ubicado en zonas de alto riesgo de desastres tiene una mayor probabilidad de ser destruido.

La proporción de capital destruido depende de la ubicación, de la intensidad del impacto de los fenómenos naturales y de otros factores económicos. La intensidad del impacto de fenómenos naturales depende negativamente del logaritmo de la producción per cápita rezagada y de la inversión per cápita del gobierno en gestión de riesgo, ambos del periodo anterior, pero depende positivamente de la intensidad de las lluvias que ocurren en el mismo periodo. Los parámetros que representan la intensidad de los fenómenos naturales en función del logaritmo del PIB per cápita, de las lluvias extremas y del logaritmo de la inversión per cápita en gestión de riesgo fueron obtenidos de las regresiones municipales.

En equilibrio la tasa neta de retorno de capital de gastos de depreciación y destrucción de capital por los desastres naturales se iguala entre los dos sectores productivos y los dos

²⁶ Para una descripción del MEG4C referirse al Capítulo 3 METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO DE IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

tipos de capital. En este modelo los desastres naturales afectan la economía mediante la destrucción de su capacidad productiva. A su vez, un mayor crecimiento económico disminuye la proporción de desastres.

Buscando que los parámetros del modelo se ajusten a la realidad de la economía del país se utiliza la información oficial sobre las pérdidas generadas por desastres, al igual que los valores de los coeficientes obtenidos a partir de las regresiones departamentales y municipales.

MEGDES. El modelo MEGDES fue construido ajustando la estructura productiva del MEG4C dividiendo el capital en riesgoso y no riesgoso. La evolución del capital y su costo es igual al MGR. Sin embargo, a diferencia del MGR las decisiones de ahorro en el MEGDES son producto de una función de ahorro *ad hoc*, en la que hogares ahorran una porción exógena y constante de su ingreso disponible. El cuadro 17 resume el proceso de calibración del MEGDES.

■ CUADRO 17

CALIBRACIÓN DEL MGR Y MEGDES

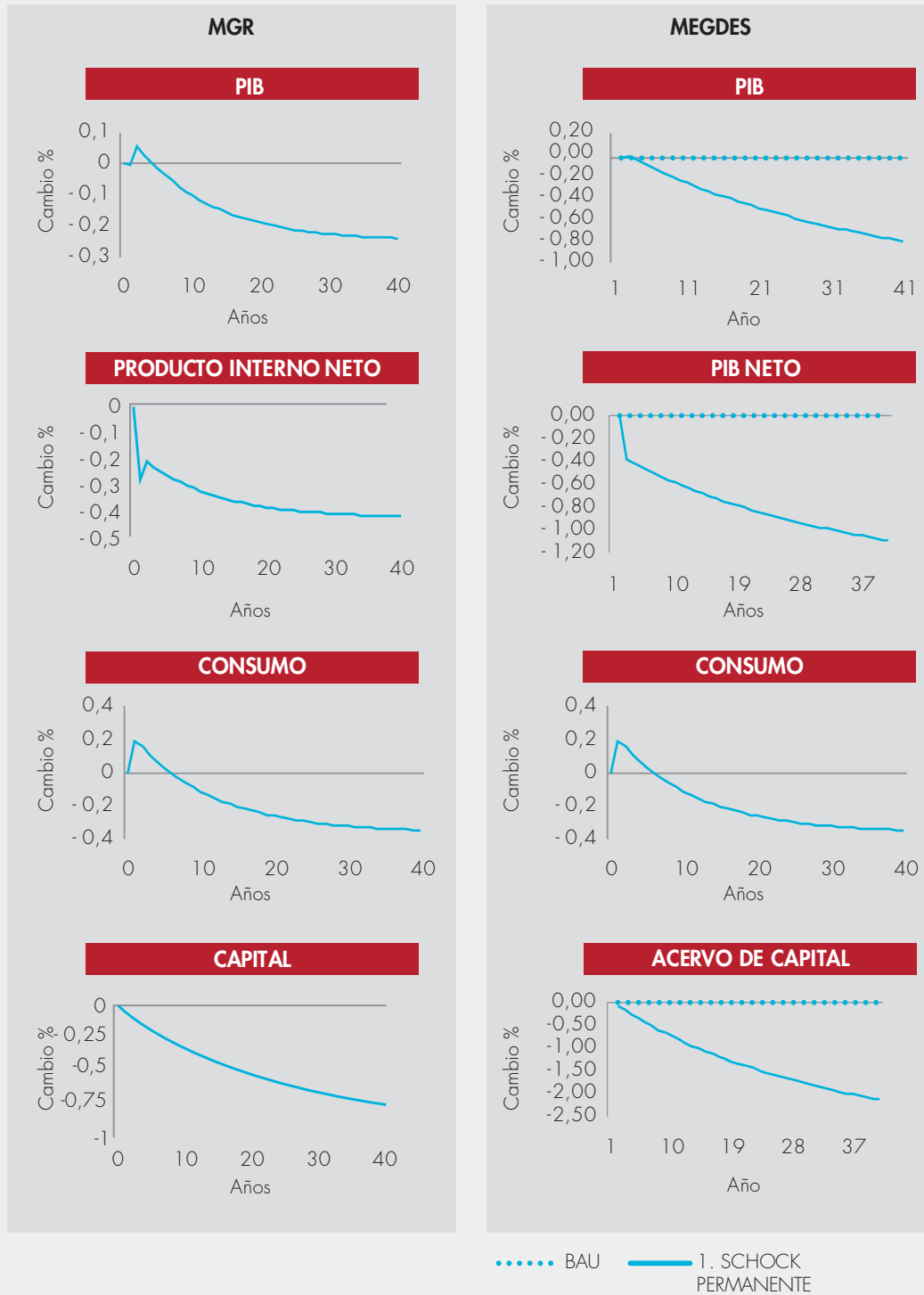
Se asumió que las pérdidas totales por desastres naturales representan el 1,1% del PIB en Colombia, de acuerdo con Banco Mundial, 2012. Para calcular la proporción de estas pérdidas que corresponden a las viviendas se utilizó el estudio sobre la Valoración de daños y pérdidas de la Ola invernal en Colombia (CEPAL, BID, 2012), encontrándose que el 43,7% de las pérdidas por desastres climatológicos están ligadas a la pérdidas de vivienda. Con base en las estimaciones internas se encontró que el 14,5% de las viviendas y el 15,4% de las personas se encuentran en zonas de riesgo (Tabla 19). Se supuso que la distribución de la maquinaria entre zonas riesgosas y no riesgosas es similar a la de las viviendas. Finalmente, se dedujo que la tasa de destrucción de viviendas por desastres climatológicos es igual a 0,6% y la de maquinaria a 0,25%.

Resultados de las simulaciones con los modelos de equilibrio general

Los modelos fueron usados para evaluar la respuesta de la economía ante tres escenarios posibles: (i) aumento de la tasa de desastres; (ii) disminución de las maquinarias y viviendas ubicadas en zonas de riesgo; (iii) aumento de la proporción del gasto destinado a la gestión del riesgo de desastres.

Los resultados que se presentan en la figura 56 muestran que un aumento permanente del 20% en la tasa de desastres climáticos generaría:

Figura 56. Efecto de aumento permanente en la tasa de desastres del 20% para MGR (izquierda) y MEGDES (derecha)

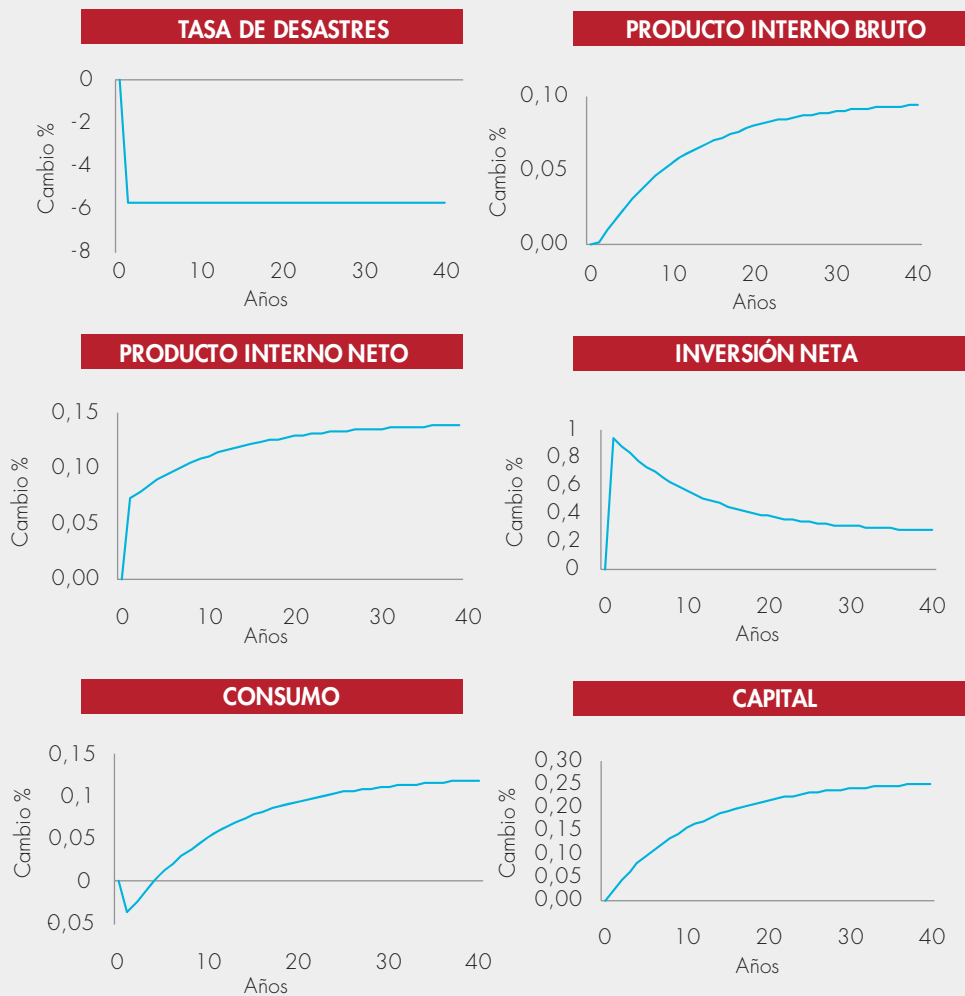


Fuente: Elaboración propia

- Disminución del PIB de forma permanente del 0,25% al 1,50% en relación con escenario sin aumento en la tasa de desastres.
- Disminución del Producto Interno Neto (PIN) debido a desastres que generan depreciación y pérdidas de entre 0,42% y 1,50% en relación con el escenario normal.
- Reducción del capital del 1% al 3%.
- Disminución en el consumo del 0,36% al 1,40%.

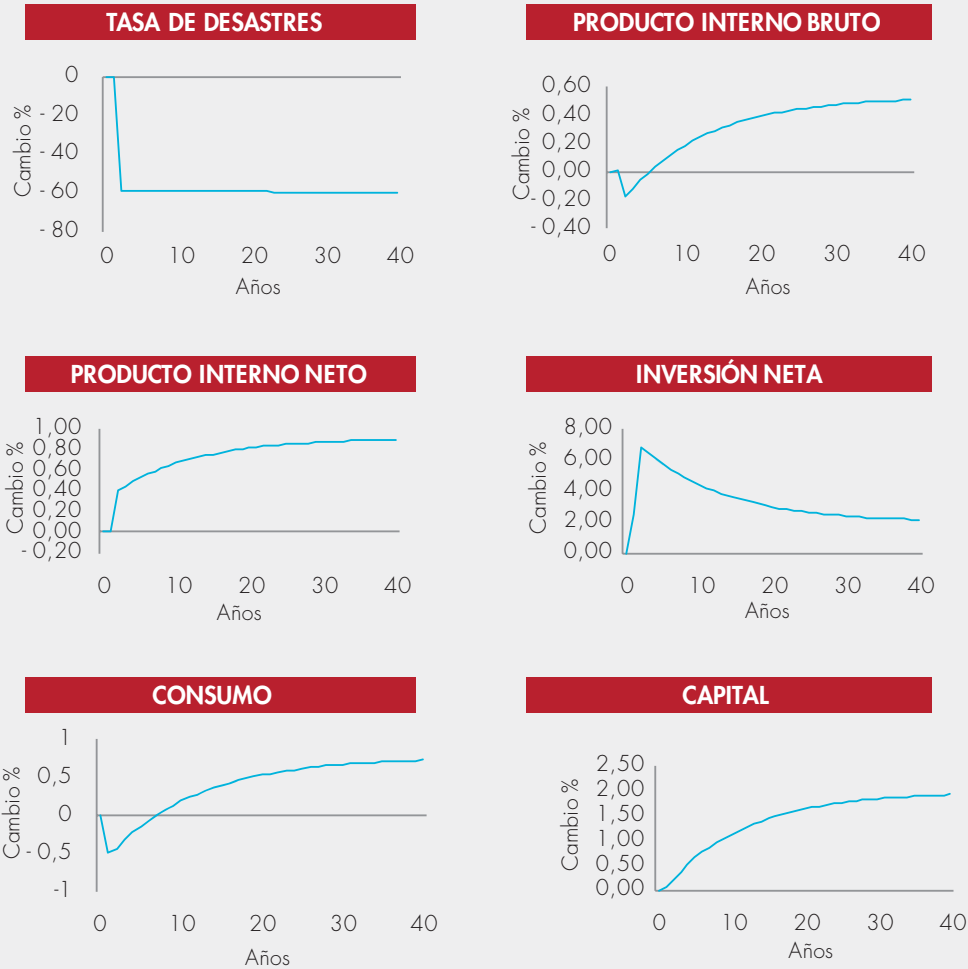
El límite inferior de los resultados corresponde a los arrojados por el MGR. Las diferencias entre los resultados del MGR y el MEGDES son explicadas principalmente por los

Figura 57. Efecto de reducción de proporción de viviendas y maquinarias ubicadas en zonas de riesgo del 45% (Para MGR)



Fuente: Elaboración propia

Figura 58. Efecto de aumentar la proporción del gasto público en gestión de riesgo de desastres del 0,35% al 1%



Fuente: Elaboración propia

supuestos de los modelos. En el caso del MGR los actores toman en cuenta el futuro en sus decisiones lo cual hace que ajusten rápidamente sus decisiones buscando reducir las pérdidas por desastres en el futuro. Esto hace que la economía tenga menos impactos ante el aumento del 20% de la tasa de desastres.

Los resultados que se presentan en la figura 57 muestran que una disminución del 45% de las maquinarias y viviendas ubicadas en zonas de riesgo generaría:

- Disminución de la tasa de desastres en un 6% frente a un escenario en que no se toma dicha medida.
- Incremento del PIB del 0,10% y del PIN en 0,14%.
- Aumento del consumo en el 0,12%; de la inversión 1,0% y del capital 0,25%.

Gran parte de este crecimiento se debe a la mayor acumulación de capital, el cual es generado por la reducción en el capital destruido por los desastres de origen natural.

Además, se incrementa el retorno a la inversión porque disminuye el riesgo de pérdidas de capital por desastres naturales, que se ve reflejado en el aumento de la inversión neta y el capital. Este ejercicio de simulación permite evidenciar que las políticas y estrategias dirigidas a la reducción del capital físico y humano localizado en las zonas de alto riesgo de desastre, reducen la tasa de desastres de forma significativa lo cual tiene un impacto positivo sobre la dinámica de la economía y el bienestar de la población.

Si se reduce la población en zonas de riesgo en una quinta parte se podrían lograr reducciones en viviendas y población afectada de 3% y 4,5% y a su vez incrementa el PIB.

Finalmente, la figura 58 muestra los efectos de un aumento del 0,35% al 1% de la proporción de gasto público destinada a la gestión de riesgo de desastres. En resumen los efectos serían:

- Reducción de la tasa de desastres en un 60%.
- Aumento en la inversión neta de corto plazo en un 6% y de largo plazo en 2%.





6

CAPÍTULO

RECOMENDACIONES DE ADAPTACIÓN

Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia -Síntesis-



En la medida en que el país avance en sus metas de desarrollo, seguramente la capacidad de adaptación de la población y la economía aumente. No obstante, prever los posibles impactos del cambio climático, identificando y priorizando sectores y regiones más vulnerables, genera un proceso de adaptación planificado y más costo-efectivo. Así mismo, conocer la importancia de las relaciones entre el clima, los ecosistemas y la economía, y la población permite evitar procesos de mala adaptación en los que, a pesar del desarrollo, se aumenta la exposición y la sensibilidad de dichos componentes.

Los resultados del Estudio permiten generar una serie de recomendaciones para ser tenidas en cuenta en los procesos de planificación del desarrollo sectorial y regional y en la formulación del Plan Nacional de Adaptación, de acuerdo con la Ley 1450 de 2010. Las recomendaciones generadas por cada estudio sectorial se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Mejorar el conocimiento sobre las relaciones entre clima y productividad de los sectores implica fortalecer la capacidad de las entidades públicas para capturar, procesar y disponer información climática, ambiental y sectorial que permita, entre otros, la construcción de sistemas de información apropiados para gestionar riesgos asociados al clima. Así mismo, es importante promover la investigación y la generación de conocimiento, por parte de los distintos sectores y territorios, para tomar decisiones informadas sobre los mecanismos más costo-eficientes para lograr la adaptación
- Promover el desarrollo económico de los sectores fortalece su capacidad de adaptación y reduce los posibles impactos de fenómenos climáticos. Este es el caso de la población que se dedica a la pesca artesanal, que reduciría su vulnerabilidad con la creación o fortalecimiento de asociaciones pesqueras o acuerdos comunitarios de pesca. Otro caso es el del sector transporte, donde el desarrollo de modos complementarios puede potenciar el efecto red, reduciendo los impactos sobre la operación del sector.
- Buscar que el desarrollo económico vaya de la mano de la gestión ambiental con el fin de asegurar su sostenibilidad. La planeación del desarrollo debe considerar la necesidad de conservar estructuras ecológicas principales, permitiendo a los ecosistemas proveer servicios ecosistémicos que reducen la vulnerabilidad de la población y la economía. El caso de las tres cuencas analizadas ilustra la necesidad de fortalecer la gestión ambiental del recurso hídrico de la mano del desarrollo sectorial, a fin de reducir posibles pérdidas en los sectores de producción eléctrica y agropecuaria. El sector agrícola, el forestal y el ganadero requieren de la implementación de programas de manejo sostenible del recurso hídrico, sistemas agro-forestales y silvopastoriles con el fin de proveer condiciones adecuadas para la producción manteniendo el balance de los ecosistemas.
- Generar procesos de ordenamiento territorial a la luz del cambio y la variabilidad climática es fundamental para potencializar sus efectos positivos y reducir los impactos negativos. Por ejemplo, para el sector forestal la clasificación agro-ecológica del territorio, a la luz del cambio climático, podría identificar áreas potenciales para el desarrollo del sector. Por otro lado, la identificación de zonas de riesgo por desastres de origen climático debe ser insumo para las políticas de ordenamiento territorial.

A continuación se presentan las recomendaciones específicas por sector analizado, teniendo en cuenta los resultados del análisis de impactos económicos del nivel nacional y regional.

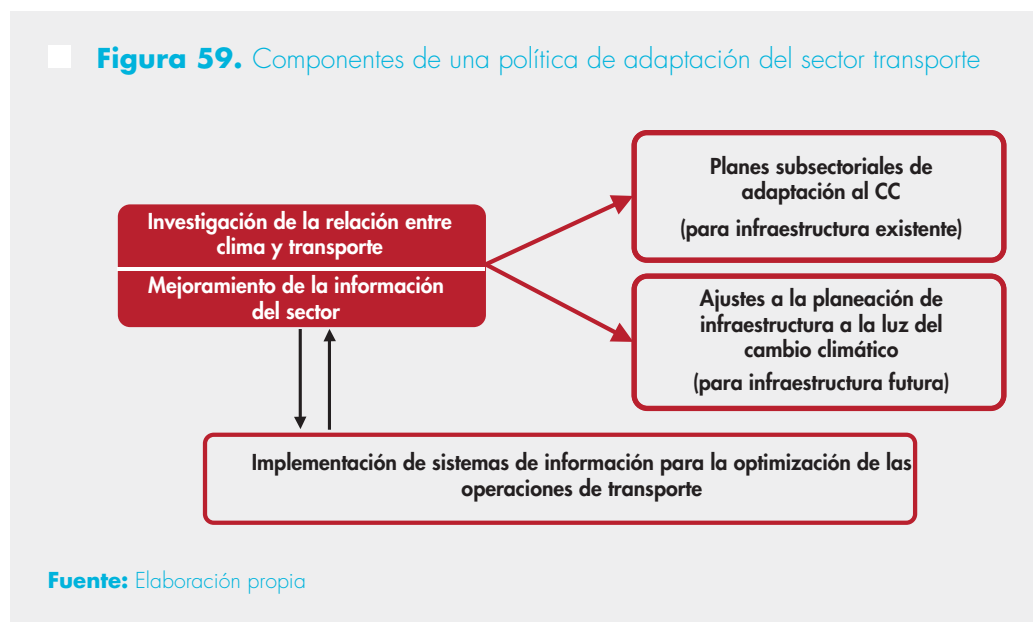
Sector Transporte

La adaptación en el sector transporte tiene como objetivo reducir los posibles impactos del cambio climático sobre la infraestructura del sector y sus operaciones. Este proceso requiere la toma de acciones específicas que estén respaldadas por políticas del sector y que sean coherentes con los objetivos de desarrollo del mismo. A continuación se presenta una descripción de las medidas que podrían desarrollarse y un análisis general de las políticas necesarias para facilitar dicho proceso.

- **Realizar análisis de riesgos y vulnerabilidad asociados al clima.** Para realizar el análisis es necesario partir de un inventario detallado de las condiciones topográficas y de altimetría de las vías terrestres y férreas y de los puertos marítimos y aéreos. También, es necesario contar con un análisis de los riesgos asociados a eventos climáticos que incluya una estimación de la posible afectación en sus operaciones. A partir de este análisis será posible clasificar la infraestructura teniendo en cuenta su riesgo y priorizar la implementación de medidas de adaptación. Dichos análisis también podrían generar información a ser incorporada en las especificaciones y normas técnicas exigibles en futuras concesiones y en la construcción de nueva infraestructura.
- **Adecuar la infraestructura para hacerla resiliente.** En algunos casos será necesario construir o adecuar barreras de protección incluyendo muros de contención, gaviones, taludes, falsos túneles, diques, espolones, e infraestructura de prevención contra la socavación en pilares de puentes, sistemas de bombeo y evacuación de túneles o pasos deprimidos. Además, contar con un programa de mantenimiento preventivo de barreras y drenajes.
- **Promover la redundancia y robustez del sistema de transporte.** Es necesario promover la construcción de nuevas vías y modos complementarios que potencien el efecto de red y permitan que los pasajeros y la carga completen su viaje, aunque algunas vías sean cerradas. Las nuevas vías y modos deberán construirse en zonas de riesgo bajo o con estándares más altos para evitar aumentar la exposición del sector y reducir su vulnerabilidad.
- **Incluir escenarios de cambio climático en la planeación del desarrollo vial.** Para la construcción de nueva infraestructura se recomienda tener en cuenta proyecciones del clima y configuración de riesgos adicionales, de manera que la nueva infraestructura no esté expuesta a amenazas previstas.
- **Reducir los tiempos de respuesta ante cierres.** Los actores públicos y privados deben formular, ajustar e implementar procedimientos para la atención de contingencias, buscando restablecer el tránsito en el menor tiempo posible, una vez ocurrido el cierre.

- **Implementar sistemas de información.** Se recomienda establecer sistemas dirigidos a los equipos de atención de contingencias y usuarios de las vías que informen sobre su estado, el pronóstico del clima, los cierres programados o imprevistos, y la congestión, entre otros, a fin de permitir que los actores puedan planear sus viajes y optimizar sus operaciones. Para algunos aeropuertos fortalecer los sistemas de ayuda a la navegación y pronóstico del tiempo para prestar un servicio más eficiente y permitir la continuidad de las operaciones en un rango más amplio de condiciones atmosféricas.

La implementación de las anteriores acciones podría agilizarse con la adopción, por parte del sector, de un plan de adaptación que incluya cuatro componentes principales como lo muestra la figura 59

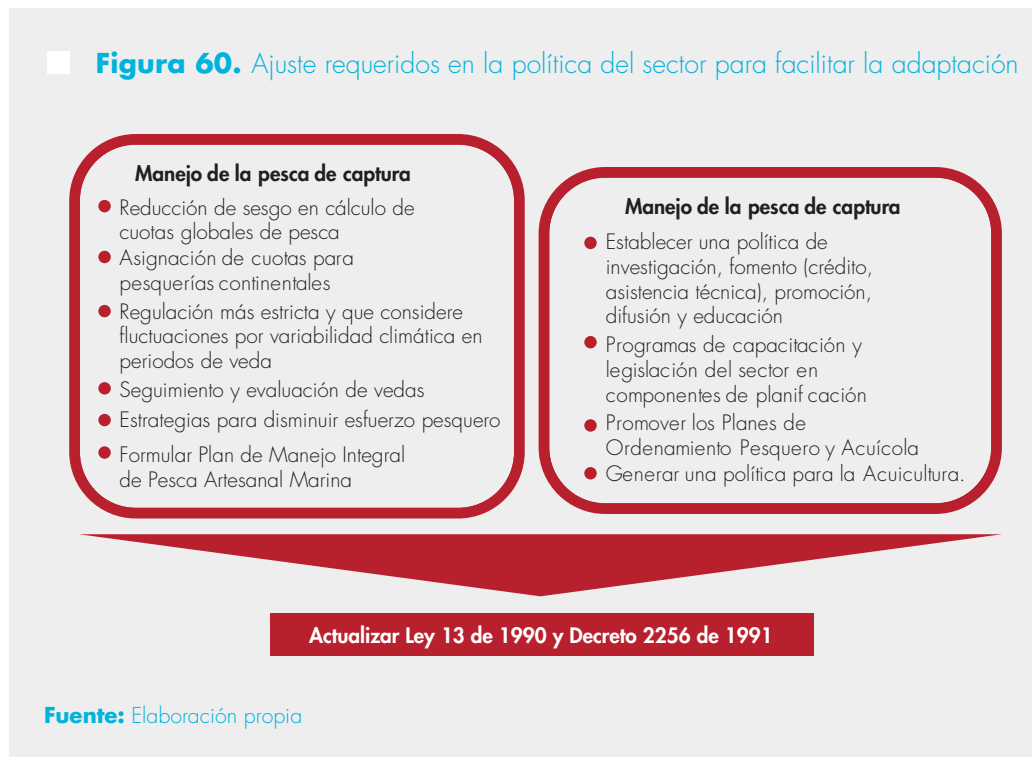


Sector Pesquero

La adaptación a los impactos del cambio climático en el sector pesquero implica reducir la vulnerabilidad de las especies y su hábitat, al igual que la de la población cuyo medio de vida principal es la pesca. Este proceso debe considerar que el recurso pesquero está expuesto a una serie de amenazas adicionales de origen no climático incluyendo la fragmentación y degradación de sus ecosistemas, la introducción de especies invasoras y la sobreexplotación, entre otros. Al mismo tiempo, las comunidades que se beneficia del recurso a través de la pesca artesanal son, generalmente, comunidades de bajos ingresos y baja capacidad de resiliencia ante impactos de diverso origen. Por lo anterior, la adaptación del recurso pesquero y sus beneficiarios requiere una mirada integral sobre el desarrollo buscando reducir las presiones antrópicas hacia el recurso, y fortaleciendo la capacidad adaptativa de las comunidades. A continuación se presenta una descripción de las medidas que podrían tomarse.

- **Fortalecer la gobernanza del sector.** Esta medida tiene como objetivo promover las prácticas pesqueras sostenibles buscando reducir la sobrepesca y recuperar los inventarios de peces a la luz del cambio climático. Lo anterior se logra fortaleciendo la capacidad de las entidades reguladoras del sector para establecer cuotas globales de pesca, tallas mínimas de captura, áreas de manejo especial, cupos de pesca y vedas, entre otros. Dada la debilidad del sector lo anterior no será alcanzable sin el fortalecimiento de las instituciones del Estado y una mayor asignación presupuestal.
- **Ampliar el sistema de áreas protegidas.** Las áreas protegidas marinas y otros instrumentos para proteger la pesca marítima en el país tienen la función de mantener los inventarios y garantizar la reproducción. No obstante, es necesario ampliar la visión de dichas áreas a fin de incluir sistemas acuáticos continentales y promover conectividad entre áreas para garantizar funciones biológicas importantes. Lo anterior permitirá generar zonas de monitoreo de largo plazo sobre la respuesta biológica de las especies al cambio climático.
- **Fortalecer sistemas de información.** Esta medida incluye mejorar el sistema nacional de estadísticas pesqueras con el fin de lograr información unificada, confiable accesible y representativa en el tiempo y el espacio. Además, será necesario incorporar variables climáticas en el análisis de los recursos pesqueros y ampliar la agenda de investigación con el propósito de lograr una mejor comprensión de la interacción medio ambiente-recurso en el sector.
- **Promover medidas adaptativas ante la variabilidad climática.** Estas medidas incluyen la aplicación de calendarios pesqueros elaborados con base en conocimiento local y ancestral; la utilización de embarcaciones multipropósito implementadas por pesqueros; la diversificación de actividades económicas por comunidades locales para generar ingresos adicionales en épocas en que el clima desfavorece la pesca; y el desarrollo de la acuicultura y la maricultura sostenible y especies de alto potencial. Esta última actividad podría encaminarse hacia la investigación y desarrollo de especies ornamentales y especies con alta tolerancia hacia los efectos del cambio climático, y sobre la ubicación de nuevos caladeros de pesca.
- **Promover la adaptación basada en comunidades.** Implica la promoción de métodos y prácticas de pesca que permitan una extracción sostenible del recurso y la creación o el fortalecimiento de asociaciones de pescadores que tengan dentro de sus objetivos la gestión de la pesca, con actividades puntuales como la supervisión de las capturas. De igual manera, es necesaria la consolidación de acuerdos comunitarios de pesca que faciliten la gestión comunitaria del recurso pesquero.
- **Generar alternativas económicas para pescadores artesanales.** Es importante fortalecer la capacidad de los pescadores artesanales para generar ingresos adicionales, a través de alternativas económicas como las agrícolas y la generación de empresas de pequeña escala relacionadas con actividades de alto potencial en su zona de influencia tales como turismo, materias primas y artesanías.

En la figura 60 se presenta una descripción general de ajustes a la política pública del sector pesquero requeridos para facilitar el proceso de adaptación del recurso y la actividad pesquera.



Sector Forestal

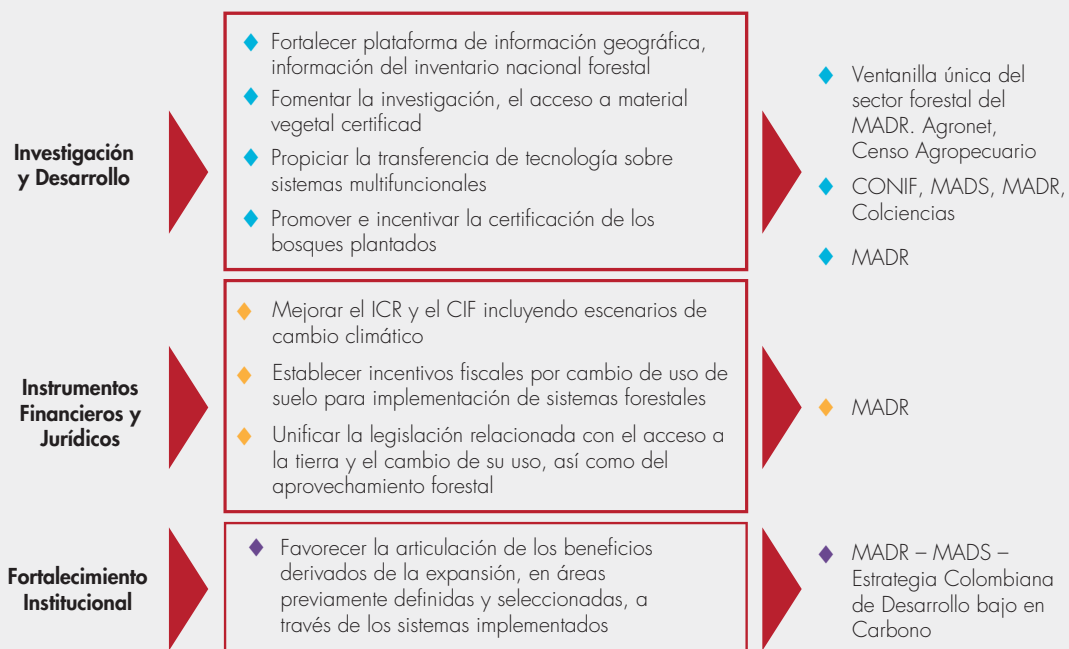
La adaptación en el sector forestal y particularmente en las actividades forestales comerciales busca reducir posibles impactos negativos en zonas que así lo indican los estudios, tales como aprovechar las oportunidades para aquellas especies que podrían verse beneficiadas. La adaptación requiere de acciones de promoción del sector forestal que, articuladas con el manejo sostenible de las plantaciones busquen aumentar la productividad del sector aprovechando la ventaja comparativa del país para esta actividad. Estas acciones se presentan a continuación.

- **Mejorar la información y el conocimiento.** Esta medida está encaminada a fortalecer la captura, generación y monitoreo de información sobre las condiciones ambientales y de productividad de las plantaciones, a fin de fortalecer la planificación del sector a la luz de las oportunidades y amenazas del cambio climático. Además, será necesario emprender la investigación y el desarrollo de tecnologías de cultivo y mejoramiento genético. Esto será posible a través de la articulación de los esfuerzos del sector privado y entidades como la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF) y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), en particular para especies forestales nativas de alto potencial. Finalmente, es importante fortalecer la educación profesional y tecnológica para el manejo de la silvicultura y para el procesamiento y transformación de los productos derivados del bosque plantado.

- **Promover la inversión en el sector.** Para aprovechar las oportunidades del cambio climático se requiere mejorar la infraestructura de transporte y comunicaciones del sector para atraer inversión y promover la transformación y generación de valor agregado, a través de instrumentos como el Incentivo de Capitalización Rural y el Fondo Agropecuario de Garantías.
- **Incorporar lineamientos de potencial forestal en el ordenamiento territorial.** Es necesario avanzar en la clasificación agroecológica del territorio con el fin de identificar áreas potenciales para el sector a la luz de escenarios de variabilidad y cambio climático. También, es importante informar a los municipios para que puedan tomar decisiones dentro de los planes de ordenamiento territorial considerando la incertidumbre.
- **Promover el uso eficiente del recurso y aprovechamiento de servicios ecosistémicos.** Implementar, a partir de modelos productivos ya establecidos y probados, sistemas forestales multifuncionales que propicien la conectividad ecosistémica mejorando el intercambio genético y el aumento de la biodiversidad a través de sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles y herramientas de manejo del paisaje. Finalmente, será importante incentivar el desarrollo de sistemas dendro-energéticos que permitan hacer un uso eficiente de los productos derivados de la actividad forestal productiva

A continuación se presenta una descripción general de las políticas públicas en el sector forestal que generarían el ambiente propicio para el proceso de adaptación del sector:

Figura 61. Políticas para facilitar la adaptación en el sector forestal



Fuente: Elaboración propia

Sector Ganadero

Las propuestas de medidas de adaptación se hacen de forma diferenciada para cada zona representativa del sector que fue analizada para dar recomendaciones específicas de acuerdo con el posible impacto del cambio climático en la región.

Llanos orientales. El cambio climático en esta región podría generar disminuciones en la producción de carne y leche por efectos de la reducción de la precipitación y aumento de la temperatura. Lo anterior, sumado a la baja inversión de capital para la adecuación de suelos y mejoramiento genético de los animales podría exacerbar las pérdidas. Con base en ello las medidas de adaptación recomendadas son:

- Concentrar la producción en zonas con condiciones agroecológicas para la intensificación de producción de pasturas para la cadena productiva cárnica.
- Investigar sobre el mejoramiento genético de razas criollas y pasturas nativas con mayor capacidad de adaptación.
- Establecer el programa de investigación de mejoramiento de pasturas para la Altillanura, buscando el desarrollo de variedades de la especie *brachiara* tolerantes a cambios en la oferta climática.
- Promover la diversificación económica y el desarrollo de productos con valor agregado
- Articular y compartir información de proyectos adelantados por entidades como FEDEGAN, TNC, UAESPNN, CORPOICA, CIAT y MADR.

Magdalena Medio. Si bien los efectos estimados del cambio climático en esta región son menores existe una desventaja en la zona relacionada con la estacionalidad de la producción de forrajes. Sumado al alto costo de los insumos y la mano de obra, y los impactos de eventos extremos climáticos hacen que la producción en el Magdalena Medio sea vulnerable. Con este panorama, las medidas recomendadas son:

- Ajustar la intensidad de pastoreo, de acuerdo con la cantidad y calidad de forraje en oferta y la frecuencia y momento de pastoreo, pensando en sistemas de utilización que permitan cosechar eficientemente el forraje
- Evaluar el uso de especies como *Colosiana-Bothriochloa pertusai* en sistemas rotacionales que muestran resultados superiores en producción de carne y leche.
- Ampliar la práctica de rotación de pasturas con cultivos en arreglos agro-pastoriles o agrosilvopastoriles.

Caquetá y Guaviare. Aunque el cambio climático podría disminuir los rendimientos de las pasturas en esta región la adaptación debe ser acorde con la sostenibilidad ambiental y encaminarse a reducir el impacto sobre la Amazonía. En esta zona la explotación ganadera ha sido extensiva sobre suelos de la planicie amazónica, susceptibles a la erosión y drenaje moderado o bajo, que ha ocasionado degradación. Las medidas recomendadas son:

- Definir áreas ya intervenidas para la intensificación de la producción mediante sistemas sostenibles como los silvopastoriles. Será necesario primero definir la estructura ecológica de la región a una escala adecuada (ideal 1:25.000) que permita la identificación de ecosistemas estratégicos y áreas de aprovisionamiento de servicios ecosistémicos, para una adecuada zonificación de la producción agropecuaria
- Intensificar la producción en las zonas donde ya existe una producción consolidada y con buenas vías de acceso, fomentando proyectos de innovación y desarrollo de las fincas ganaderas para el establecimiento de empresas ganaderas.
- Aplicar mecanismos existentes para lograr el cierre de la frontera agrícola.

Caribe seco, Santanderes, sur de Bolívar y sur del Cesar. La región se caracteriza por baja fertilidad, altos valores de acidez, saturación de aluminio y susceptibilidad a la erosión, factores que podrían exacerbar los impactos del cambio climático afectando a los productores locales que aplican el sistema doble propósito. Para reducir posibles efectos negativos se recomiendan las siguientes medidas:

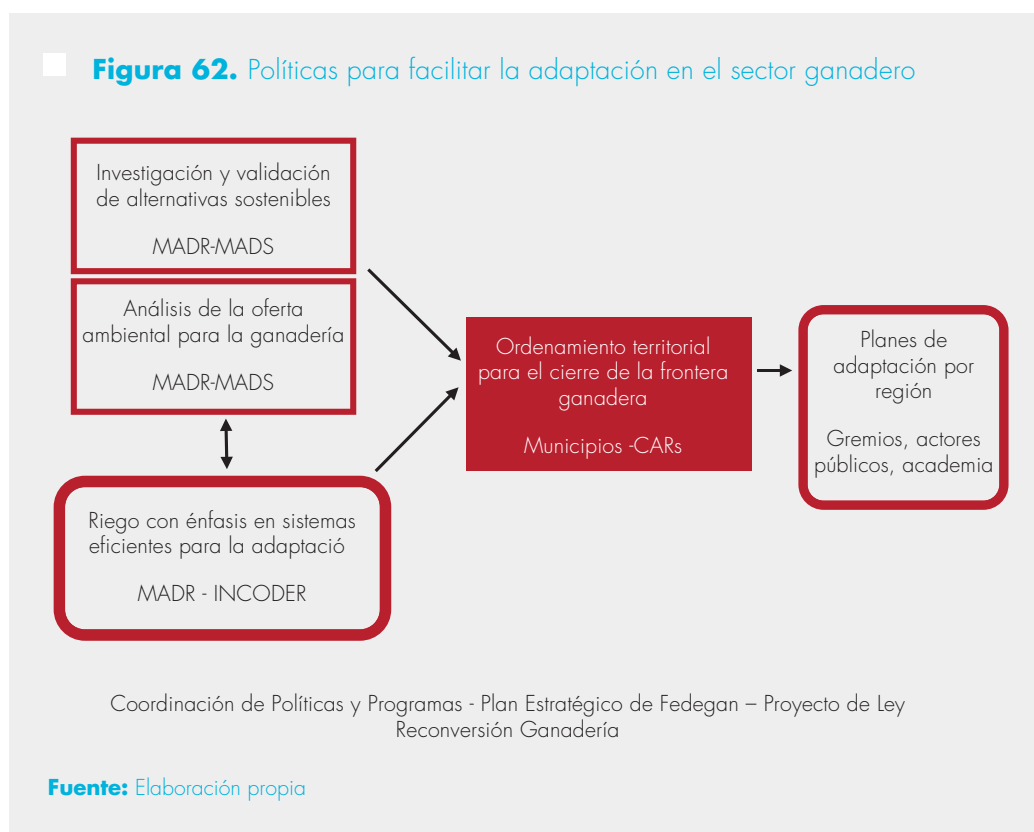
- Implementar planes de intensificación en el nivel de finca con un manejo técnico adecuado a las condiciones edáficas, utilizando pastos mejorados tolerantes a las características de los suelos y a las condiciones climáticas. Se recomienda utilizar sistemas de producción multiestrato a fin de tener especies arbóreas y rastreras dentro de las praderas que brinden condiciones de sombrío a los animales, conserven la humedad en el suelo y restauren la estructura del mismo a través de la implementación de abonos verdes.
- Implementar sistemas de almacenamiento de agua y riego para la época de sequía a través de cosecha de agua, teniendo un criterio técnico para evitar erosión en los suelos.

Caribe Húmedo. En Córdoba existen limitaciones de suelo por la poca profundidad efectiva, escasez de lluvias, susceptibilidad a la erosión, presencia de gravilla y de piedra, susceptibilidad a los encharcamientos, nivel freático alto, altos contenidos de aluminio y baja fertilidad, sumado, además, al cambio de la oferta climática podría generar escenarios adversos. Por lo anterior se recomienda:

- Promover la intensificación adecuada de la producción bovina con base en la oferta ambiental, mediante el uso de variedades mejoradas con tolerancia a encharcamiento en épocas de lluvia y a sequía en épocas de verano.
- Generar proyectos de almacenamiento de agua y de riego para mejorar la competitividad de la región.
- Implementar sistemas silvopastoriles no intensivos y abonos verdes que pueden ser adecuados para las proyecciones de aumento de temperatura que se prevén en la región, a fin de brindar sombra a los animales y conservar la humedad del suelo.

Nariño, Antioquia y Altiplano Cundiboyacense. Para estas zonas se recomienda:

- Mejorar el manejo de las pasturas mediante rotaciones apropiadas y pastoreos regulados.
- Hacer enriquecimiento de las praderas con especies leguminosas adaptadas a condiciones de altura tales como *Trifolium repens*, *Trifolium pratense* y *Lotus corniculatus*, pues en vacas con producciones de leche superiores a 6 y 7 kg por día, la proteína cruda empieza a ser limitante.
- Las anteriores medidas deberían enmarcarse dentro de una serie de políticas promovidas e implementadas en el nivel nacional y territorial en articulación con los gremios y los actores de la cadena productiva como lo muestra la figura 62



Agricultura

La adaptación del sector implica la incorporación y fortalecimiento de la gestión del riesgo asociado al clima en el sector. A continuación se presenta una serie de recomendaciones que buscan fortalecer la capacidad de los agricultores, la asistencia técnica, los gremios y la investigación, para tomar decisiones que mantengan o aumenten los rendimientos de los cultivos ante posibles impactos negativos del cambio climático.

Establecer programas regionales de manejo de cultivos. Es necesario establecer programas regionales que identifiquen las medidas más apropiadas y eficiente

para reducir los posibles impactos por cultivo y región. Para lo anterior, se recomienda el uso de herramientas de modelación que simulen el posible efecto sobre los rendimientos agrícolas de implementar medidas como: cambio en fechas tradicionales de siembra; ajustes en la programación del riego atendiendo el criterio de riego deficitario; uso de variedades adaptadas a temperaturas críticas; y ajustes en la densidad de siembra o cantidad de semilla usada por hectárea. Con base en los resultados de las herramientas se deberá definir los programas regionales de manejo de cultivo con una visión a largo plazo. Dentro de los programas se podría tener en cuenta lo siguiente:

- Si el agua es un factor limitante para el riego en ciertas zonas se podrá considerar el diseño de planes de riego deficitario que permitan utilizar el recurso hídrico de modo óptimo y conduzcan a la aplicación de láminas menores en etapas fenológicas de menor impacto en productividad.
- Selección periódica y semestral para cultivos transitorios de densidades de siembra o poblacional de cultivos que sean óptimas y garanticen condiciones hídricas y nutricionales favorables para los cultivos.
- Selección de materiales que sean eficientes y altamente productivos en relación con el recurso agua, es decir, que maximicen la productividad por cada milímetro de agua utilizada y transpirada.
- Zonificación de lotes en los predios agropecuarios según condiciones de suelo y retención de humedad. De este modo, si se prevén condiciones secas para el siguiente período agrícola se favorecerían las siembras en aquellos lotes que tengan mayor capacidad de retención de humedad y si se prevén períodos de alta precipitación se favorecerían los lotes con mejores drenajes internos y externos.

Desarrollar e implementar Sistemas de Alertas Agroclimáticas Tempranas (SAAT). A partir del desarrollo de los SAAT se deberá establecer programas de predicción climática de largo y mediano plazo, anticipación de deficiencias o excesos hídricos y posibles incrementos en presencia de plagas y enfermedades del cultivo, antes del inicio de cada semestre agrícola. Estos sistemas se deben construir de modo colaborativo entre comunidades locales e instituciones como IDEAM, universidades, secretarías de agricultura, ONG, entre otros. Las experiencias que se están recolectando en proyectos SAAT desarrollados por CORPOICA – Fondo Adaptación, CIAT – MADR, Acueducto de Popayán – GIZ, pueden ser punto de apoyo para la estructuración de estos sistemas.

- **Definir programas de investigación.** Los programas podrán hacer énfasis en el desarrollo de materiales genéticos que se adapten a mayores temperaturas medias y extremas según las condiciones climáticas de cada zona, especialmente, en la fase de floración de los cultivos y que induzcan óptimos procesos de polinización
- **Construcción de nuevos sistemas o distritos de riego y drenaje.** Los sistemas podrán ser de pequeña, mediana y gran escala, con infraestructura adecuada para los sistemas productivos de cada zona de tal forma, que garanticen un uso adecuado y eficiente de recursos agua, clima y suelo

- **Establecer programas de seguros agropecuarios.** Los programas dirigidos a pequeños, medianos y grandes productores deberán priorizar los amparos contra daños y pérdidas por excesos y deficiencias hídricas y por temperaturas extremas. Estos programas deberían ser diseñados de común acuerdo entre representantes de compañías aseguradoras, del gobierno nacional y de los productores, para garantizar la aceptación final por las partes involucradas.

Recurso hídrico en las cuencas del río Guavio, Fraile y Laguna de Fúquene

Las propuestas de medidas de adaptación se hacen de forma diferenciada para cada cuenca estudiada con el fin de dar recomendaciones específicas de acuerdo con el posible impacto del cambio climático en el nivel territorial.

Cuenca del río Guavio. Los posibles efectos del cambio climático en el rendimiento hídrico de la cuenca podrían mitigarse si se implementan prácticas que fortalezcan la capacidad del sistema hidrológico de proveer servicios ecosistémicos. En esta línea, medidas recomendadas para la zona son:

- Fortalecer la gestión ambiental en la zona implica la coordinación y el fortalecimiento del plan de manejo ambiental del Parque nacional natural Chingaza a través de acciones de compra de predios, pagos por servicios ambientales y fortalecimiento de las brigadas contra incendios.
- Fomentar alternativas de producción agropecuaria sostenibles en la parte media y baja de la cuenca, específicamente, a través del manejo de pasturas con sistemas de rotación adecuados.
- Consolidar un plan de conservación para las cuencas Gusano y Zaque dado su aporte al caudal del río. El plan incluirá estrategias claras que permitan a los pobladores locales beneficiarse económicamente de las acciones de conservación, recuperación y mitigación. Entre otros, se recomienda evaluar la compra de predios, pagos por servicios ambientales, sistema local de guardabosques, y en el caso específico de la cuenca Gusano el fomento del turismo como una actividad sostenible para los pobladores locales.
- Fortalecer el seguimiento y control a la actividad minera en las áreas de drenaje de Chivor y Murca.

Cuenca del río Fraile. Los escenarios climáticos proyectarían aumentos en la precipitación y caudales del río en la época lluviosa que podría generar inundaciones dada la topografía plana. Con el fin de reducir los posibles impactos de dichos escenarios se recomienda:

Implementar medidas de regulación hídrica incluyendo la regulación horaria y de flujo laterales. A través de la incorporación de materia orgánica al suelo, la minimización de labores de remoción y la aplicación de coberturas permanentes podría aumentar la capacidad de almacenamiento y el tiempo de retención del suelo.

- Implementar medidas de regulación de los flujos de retorno en la parte media-baja de la cuenca. Los programas de reforestación con especies arbóreas y sistemas agroforestales con raíces profundas pueden incrementar la macro-porosidad del suelo, favoreciendo la percolación hacia acuíferos de la zona.

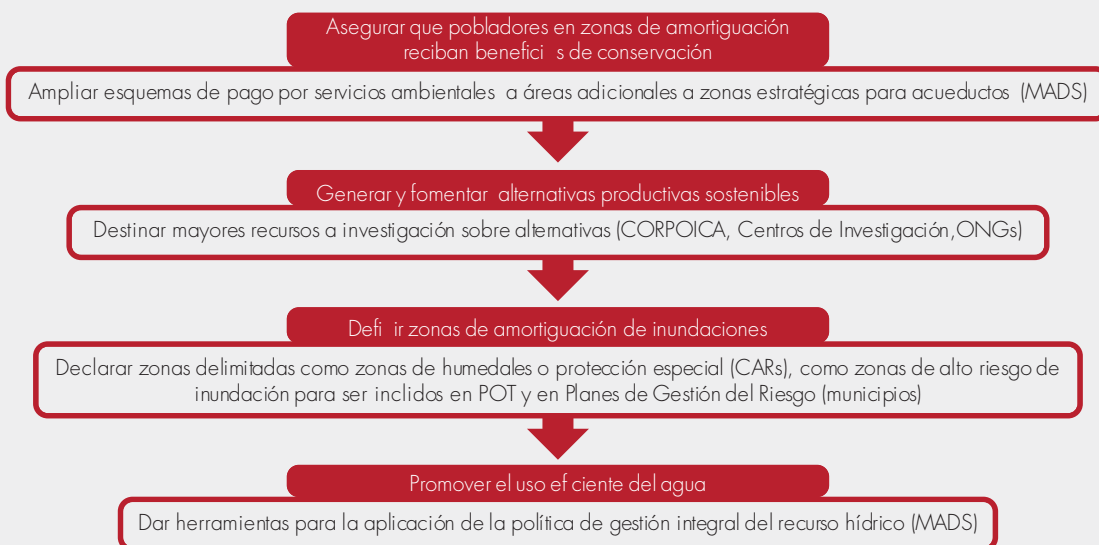
- Fortalecer la gestión ambiental de la parte alta de la cuenca que está compuesta por bosque sub-andino, alto-andino y páramo, específicamente, a través del plan de manejo del Parque natural Las Hermosas.
- Definir e implementar zonas de amortiguamiento de inundaciones en la zona baja de la cuenca.
- Impulsar la formulación del Plan de Manejo y Ordenamiento de la cuenca para la conservación de la parte alta y el mejoramiento de cultivos en la parte media.

Cuenca del río Fúquene. Los escenarios de cambio climático indican que la dinámica hídrica de la zona podría modificarse, pues la lluvia se concentraría en los meses con mayor precipitación y en los lugares con la menor capacidad de regulación del agua. Por lo anterior se recomienda:

- Identificar acciones para lograr la optimización de la función de regulación hídrica, mejorando la operación de los embalses actuales y construcción de nuevos embalses.
- Definir zonas de amortiguamiento de inundación en zonas colindantes con la laguna.
- Fomentar prácticas de rotación de cultivos con uso de abonos verdes, labranza mínima y siembra directa, acompañadas de inclusión de especies de leguminosas que aumenten la fijación de nitrógeno al suelo, y una adecuada rotación del ganado
- Ofrecer alternativas productivas sostenibles a los dueños de los predios ubicados en el distrito de manejo integrado Juaitoque en el municipio de Cucunubá.

Las anteriores medidas deben enmarcarse dentro de una serie de políticas promovidas e implementadas para el nivel nacional y territorial en articulación con las comunidades y el sector productivo en cada cuenca.

Figura 63. Políticas para facilitar la adaptación en las cuencas analizadas



Fuente: Elaboración propia

Especies nativas de biocomercio y otros usos

El posible mejoramiento de la aptitud climática de algunas de especies de biocomercio puede ser visto como una oportunidad, pues las tasas de extracción de las especies podrían aumentar y ampliarse a zonas donde se incrementa la probabilidad de presencia de la especie. No obstante, es necesario que la extracción se realice con criterios de sostenibilidad y esté acompañada de estrategias que busquen la protección de la biodiversidad en regiones estratégicas para el país. Con base en lo anterior, las siguientes recomendaciones buscan potencializar la oportunidad para el sector de biocomercio que ofrecería el cambio climático:

- Elaborar protocolos de uso y manejo sostenible de las especies. Es necesario generar y actualizar protocolos para especies comercializadas. Deben actualizarse a la luz de los cambios en la oferta ambiental, por ejemplo, a 2030 es necesario revisar los protocolos de uso de Totumo, Jagua, Gualanday y Prontoalivio.

- **Fortalecer el acceso a mercados.**

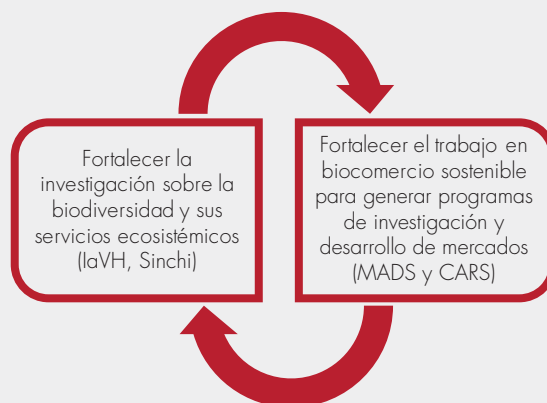
Es preciso actualizar o fortalecer los estudios de mercado realizados por las gobernaciones y alcaldías en las regiones Pacífica y Amazónica; tomar acciones para la búsqueda de mercados más especializados promoviendo la generación de valor agregado en los productos de biocomercio e implementando estrategias de mercadeo con marcas con denominación de origen. Es importante que estas iniciativas estén incluidas en los planes de desarrollo de las alcaldías y de las gobernaciones. Las universidades, cámaras de comercio y las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) son socios importantes a considerar en el logro de este objetivo.

- **Analizar el impacto del cambio climático sobre especies amenazadas.**

El aumento de la aptitud climática para especies de biocomercio podría desplazar a otras especies nativas amenazadas. En esa medida se recomienda continuar con la investigación del impacto del cambio climático, ampliando el espectro de especies a analizar con énfasis en los departamentos de Caquetá, Meta, Guaviare, Vichada y Guainía.

Las anteriores medidas deberán enmarcarse dentro de una serie de políticas promovidas e implementadas para el nivel nacional y territorial en articulación con las comunidades que se benefician del biocomercio.

Figura 64. Políticas para facilitar la adaptación para especies de biocomercio y otros usos



Fuente: Elaboración propia

Gestión de riesgo de desastres de origen climático

Las pérdidas por desastres asociadas al clima no solo tienen un impacto en el PIB del país, también afectan a un número importante de familias, particularmente pobres, porque les genera obstáculos para que puedan superar su condición de pobreza. En esta línea se presentan las siguientes recomendaciones:

- **Gestionar la adecuada ubicación de familias e infraestructura teniendo en cuenta las zonas de riesgo de desastres.** La ubicación espacial de las personas y los activos deben ser tenida en cuenta al momento de diseñar políticas tendientes a gestionar el riesgo de desastres. Buena parte de las pérdidas por desastres están asociadas al hecho que la población y la actividad productiva están ubicadas en zonas con riesgos altos de inundación y deslizamientos.
- **Fortalecer la gestión de riesgo preventiva frente a la reactiva.** Desarrollar políticas tendientes a reducir los desastres en lugar de limitarse a reparar los daños, una vez han ocurrido. El gasto público en prevención de desastres parece estar mucho más correlacionado con el porcentaje de personas y viviendas afectadas que con la atención a víctimas. Un incremento del gasto en gestión del riesgo puede tener un efecto importante sobre la reducción de los desastres y el aumento en el PIB.
- **Mejorar el conocimiento sobre la localización de la población en riesgo, a fin de generar insumos para el ordenamiento territorial.** Los planes de ordenamiento territorial deben formularse con base en el análisis de riesgo para que permitan identificar áreas con probabilidades altas de inundaciones y deslizamientos, de tal forma que puedan generarse mecanismos sostenibles de uso directo o uso indirecto de dicho suelo.

El país se ha venido preparando para incorporar recomendaciones de adaptación como las presentadas en el capítulo anterior. A medida que se avanza en el conocimiento sobre los posibles impactos del cambio climático se han comenzado a sentar las bases para coordinar y optimizar los esfuerzos de adaptación ante las amenazas y oportunidades que ofrece este fenómeno.



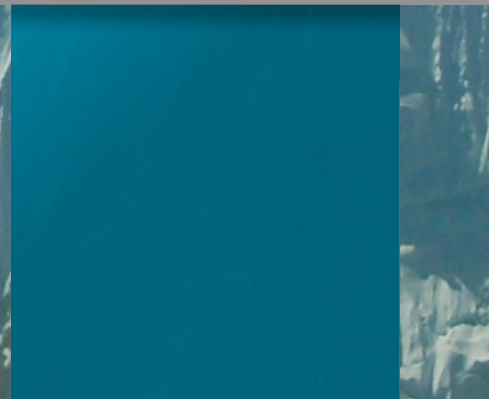
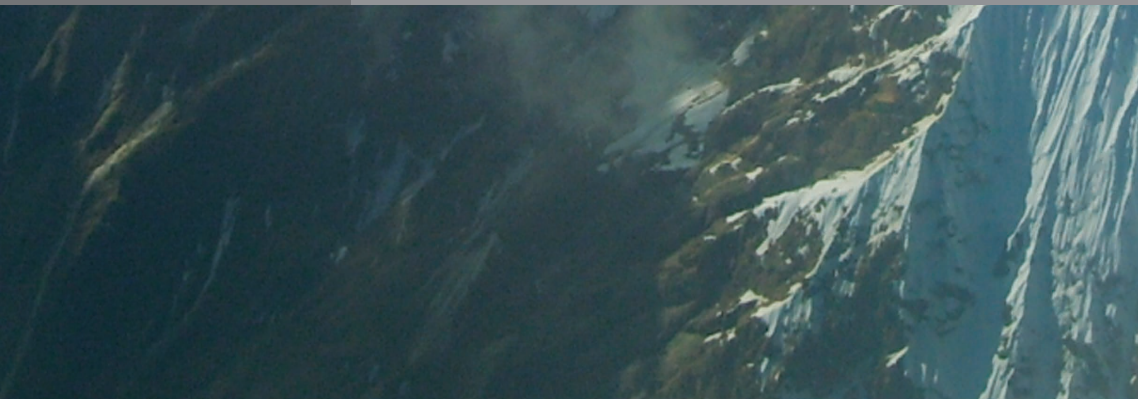


7

CAPÍTULO

AVANCES EN MATERIA DE ADAPTACIÓN

Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia -Síntesis-



Previo a 2010 los esfuerzos de adaptación se abordaron, principalmente, a través de proyectos financiados por la cooperación internacional con el apoyo de entidades públicas y la sociedad civil. A raíz de los eventos asociados a La Niña 2010-2011 se ha generado un proceso sistemático para incorporar la adaptación en la planeación del desarrollo en el marco del PNACC.

El PNACC busca reducir la vulnerabilidad del país e incrementar su capacidad de respuesta frente a las amenazas e impactos del cambio climático, mediante la integración de la adaptación en los instrumentos de planeación del desarrollo. El Plan es coordinado por el DNP, el MADS, el IDEAM, la UNGRD y la cooperación internacional, cuyo rol ha sido importante por generar proyectos demostrativos sobre cómo avanzar en la adaptación. El PNACC está diseñado en cuatro fases: (i) conceptual; (ii) de acompañamiento; (iii) de implementación y (iv) de monitoreo, reporte y verificación. A continuación se presenta un resumen de los avances a la fecha de publicación del presente documento:

Avances del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático-PNACC

Fase conceptual. Tiene como objetivo sentar las bases conceptuales y metodológicas para abordar la adaptación en el país. Con este fin se han generado herramientas para apoyar la formulación de medidas, acciones y planes de adaptación en el nivel sectorial y territorial, como se detalla a continuación:

- Documento Adaptación bases conceptuales.
- Hoja de Ruta para formular planes de adaptación.
- Lineamientos para incorporar el cambio climático en políticas de ordenamiento territorial.
- Árbol de decisiones para integrar información disponible sobre impactos probables del cambio climático y así facilitar la toma de decisiones.

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático busca incorporar la adaptación en la planeación del desarrollo.

Fase de Acompañamiento. Se han dado procesos de discusión y construcción de estrategias para incorporar el cambio climático en el desarrollo de algunos de los sectores prioritarios y de territorios, particularmente, vulnerables al cambio climático. Bajo el liderazgo de entidades del orden nacional y con el apoyo de la cooperación internacional los sectores agropecuarios, salud, vivienda, transporte vial y generación eléctrica, avanzan en la construcción de propuestas para articular la adaptación en el desarrollo de políticas públicas sectoriales. Específicamente

- El MADR y el DNP han identificado ejes problemáticos y acciones estratégicas para reducir la vulnerabilidad de los sistemas productivos agropecuarios, en el marco del Plan de Adaptación del sector agropecuario a fenómenos climáticos, propuesta en discusión.
- La Unidad de Planeación Minero Energético (UPME) ha realizado un análisis de la vulnerabilidad, exposición y riesgo de los impactos del cambio y la variabilidad climática como insumos para definir la ruta de adaptación del sector.

- El Ministerio de Transporte, el INVIAS y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) con el apoyo de CDKN avanzan en generar recomendaciones para la estructuración de concesiones viales de cuarta generación con criterios de adaptación; en preparar un manual para la integración de la gestión del riesgo climático en la contratación; y en formular un plan de adaptación para el sector.
- El Ministerio de Salud y Protección Social (MSPS) se encuentra formulando el Plan de adaptación al cambio climático de salud ambiental, con el apoyo de la Mesa interinstitucional de cambio climático y salud, que encabeza la OPS.
- El Ministerio de Vivienda ha avanzado incorporando elementos de gestión del riesgo de desastres en herramientas de planificación del sector y liderando la elaboración de la política de construcción sostenible.

En el nivel territorial se han generado avances importantes en la formulación e implementación de 12 planes o proyectos que cubren el territorio habitado por el 49,45% de la población del país. Estos han sido liderados por entidades territoriales con el apoyo de la cooperación internacional y los coordinadores del PNACC. Entre estos se destacan:

- Plan Regional Integral de Cambio Climático– Cundinamarca (PRICC).
- Plan “Huila 2050. Preparándose para el Cambio Climático”.
- Plan Maestro de Cambio Climático Montería, Ciudad Verde 2019.
- Proyecto Reducción del riesgo y de la vulnerabilidad frente al cambio climático en la región de la Depresión Momposina en Colombia.
- Proyecto de Diseño de estrategias para adaptación y mitigación del cambio climático que se viene adelantando en la jurisdicción de la CDA.
- Análisis multisectorial e interinstitucional de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático para el sector agrícola en la cuenca alta del río Cauca.
- Estrategia sectorial de fortalecimiento de capacidades en cambio climático de Cormacarena.

Además, avanzan los procesos de formulación de los Planes de Adaptación para Cartagena y el Archipiélago de San Bernardo e Islas del Rosario; San Andrés y Providencia; Risaralda y Nariño.

Fase de Implementación del PNACC. Se generarán mecanismos para ampliar e implementar los planes, acciones y proyectos formulados, y para incorporar nuevos sectores y territorios en la trayectoria hacia un desarrollo resiliente con el clima.

Fase de Monitoreo, Reporte y Verificación. Se buscará que los avances en términos de reducción de vulnerabilidad sean documentados y alineados con los indicadores de desarrollo del país.

Finalmente, el PNACC es un proceso de construcción continuo que debe ser retroalimentado con nueva información sobre escenarios climáticos, grado de vulnerabilidad e impactos económicos, entre otros; además, sobre las lecciones aprendidas y los procesos de adaptación del país.





8

CAPÍTULO

RECOMENDACIONES SOBRE INFORMACIÓN

Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia -Síntesis-



La información es un tema clave para generar conocimiento y prepararse para los desafíos del cambio climático. Una medida óptima de adaptación es contar con información precisa, de buena calidad y de adecuado acceso, pues facilita el proceso de toma de decisiones en relación con las medidas adecuadas para reducir la vulnerabilidad al cambio climático. En el desarrollo del Estudio se trabajó con información climática, geográfica, ambiental, socioeconómica, sectorial, entre otras, que permitió identificar fortalezas y limitaciones en la información disponible. Este capítulo inicia analizando algunos de los obstáculos más recurrentes encontrados en las diferentes investigaciones que componen este Estudio, y finaliza con una recopilación de necesidades particulares de información de cada uno de los sectores estudiados.

Calidad de la información. El país viene avanzando, en gran medida, en generar información y estadísticas sectoriales adecuadas, sin embargo, aún se requieren esfuerzos para validar dicha información. Es el caso particular de la información climática y agropecuaria. Las series históricas de variables climáticas requieren procedimientos adicionales para completarlas y así mejorar los análisis basados en dicha información. Por otro lado, se hace necesario mejorar procesos de recolección y validación de la información de rendimientos agrícolas, compilada y publicada a través de Agronet, buscando reducir errores de registro. En el caso pesquero se considera necesario estandarizar especies registradas en las series de capturas para mejorar su coherencia.

El país avanza en la formulación de planes de adaptación a nivel sectorial y territorial liderados por ministerios y entidades territoriales.

Si bien las metodologías usadas en investigación, y el criterio de un tomador de decisiones pueden minimizar estas falencias, también, puede no ser suficiente para reducir la incertidumbre asociada a la información estadística, por lo tanto, se recomienda hacer un esfuerzo importante por mejorar la información. En resumen se recomienda: (i) revisar y actualizar datos históricos, muchos pueden estar archivados en papel; (ii) realizar procedimientos de validación dentro de las entidades responsables; y (iii) prepararse para incorporar nuevas tecnologías y procedimientos de buenas prácticas en el manejo de la información. Lo anterior, de la mano de inversiones en recursos financieros y humanos

Acceso a la información. Durante el Estudio se encontraron barreras comunes de acceso a la información. En algunos casos relacionados con la falta de mecanismos para que el usuario potencial acceda a ella. En otros, las restricciones se relacionan con la calidad de la información o por vacíos institucionales en su manejo. El Estudio logró, de manera exitosa, conjugar los esfuerzos de generación de información pública de numerosas entidades del Estado que compartieron su información. Es importante que esto siga sucediendo y que diversos actores puedan acceder a la información generada, dada su importancia para asumir acciones de adaptación en el sector público, privado e incluso en los hogares. Por esto, se debe continuar trabajando para que la información generada por las entidades del Estado sea divulgada ampliamente y de fácil acceso.

Georreferenciación de la información. Considerando la gran diversidad que existe en el país en los ámbitos ambientales, económicos y sociales, la información debe ir evolucionando para fortalecer el componente regional e incluso local. Sin embargo, el

nivel de agregación actual de la información no es el adecuado. Por ejemplo, se debe mejorar la información de cuentas departamentales y municipales, así como la información sobre transporte y comercio entre los departamentos; información que permitiría regionalizar robustamente modelos como el MEG4C. Lo mismo aplica para la información de cada sector. El sector agropecuario, por ejemplo, depende de las especificidades de cada lugar donde se desarrolle un cultivo: clima, suelo, contexto económico, recurso hídrico etc. Así mismo, la información georreferenciada facilitaría medir el impacto de cambio climático y mejorar las respuestas sectoriales.

Nivel de detalle. Los esfuerzos para reducir la escala de la información geográfica y climática han traído numerosos beneficios y permitido realizar varios de los apartes de este Estudio. Sin embargo, este es un trabajo que debe seguir teniendo en cuenta desarrollos tecnológicos para la generación y procesamiento de la información de todo tipo. Además de la escala geográfica, el nivel de detalle abarca la escala temporal y el número de variables medidas. Colombia, como país emergente, debe trabajar para cerrar la brecha en este sentido con otros países, y la inversión en capital humano es crucial para lograr este objetivo. Los modelos meteorológicos usados deben refinarse a escalas espaciales y temporales menores, lo mismo sucede con los mapas de información geográfica e información socioeconómica que deben contar con actualizaciones periódicas de los datos.

Mejorar la información climática, ambiental y sectorial es fundamental para la adaptación del país ante el cambio climático. Esta debe ser completa, detallada, georreferenciada y de fácil acceso.

Especificidad de la información. La información no sólo debe ser de buena calidad, geo-referenciada, detallada y de fácil acceso, sino responder a las necesidades de los investigadores y los tomadores de decisiones. Por ejemplo, en este Estudio se requirieron series climáticas de acuerdo con los escenarios de cambio climáticos del IPCC, que permitieron acoplar el Estudio a estándares internacionales que garantizan coherencia y comparabilidad. Sin embargo, como fue analizado en el Capítulo 2, los escenarios usados no permiten pensar en escenarios optimistas o pesimistas, asunto que sería interesante para la evaluación socioeconómica de proyectos de adaptación.

Todas estas observaciones y recomendaciones pueden abordarse de diferente manera desde el punto de vista de cada tipo de información o desde cada uno de los sectores. A continuación se recogen algunas recomendaciones más específicas de información identificadas por los autores y colaboradores de este Estudio

Cuadro 18. Algunas recomendaciones de información identificada por autores y colaboradores del Estudio

Sector	Subsector	Recomendación	Entidades Involucradas
TRANSPORTE	Intermunicipal	Fortalecer la información sobre eventos de cierre en las vías, vulnerabilidad y riesgo al que están expuestas, y que esté disponible para la mayor parte de la red vial. Para esto deben articularse los procedimientos y entidades que toman, sistematizan, procesan y publican la información.	Supertransporte, Mintransporte, ANI, INVIAS, Mintransporte, DIMAR, IGAC, Aerocivil, Ecopetrol, ANH, Gestores de sistemas de Transporte Público Urbano, secretarías de Tránsito y Transporte, concesionarios portuarios, concesionarios aeroportuarios, concesionarios de las tuberías.
	Urbano	Facilitar el acceso a la información sobre velocidad diaria por corredor, volúmenes de tránsito y accidentes; construir y sistematizar esta información en las grandes ciudades que aún no cuentan con ella.	
	Marítimo	Contar con observaciones y proyecciones de aumento del nivel del mar, así como mapas detallados con curvas de nivel de cada puerto.	
	Fluvial	Contar con información actualizada sobre niveles de los ríos, tipos de embarcaciones, carga, pasajeros transportados, temporadas de navegabilidad e infraestructura portuaria. También se requiere generar conocimiento sobre la relación entre la navegabilidad de los ríos y el nivel de precipitación.	
	Aéreo	Organizar y publicar las bases de datos que tienen información sobre cierre de aeropuertos, retrasos y cancelación de vuelos. También, generar conocimiento sobre la relación entre eventos meteorológicos y el desempeño del sector.	
	Tubería	Contar con información de volumen transportado por tramos de ducto e interrupciones en la operación de las tuberías.	
AGROPECUARIO	Agricultura	Mejorar las estadísticas de producción (volumen y valor), rendimiento y área utilizada del sector agropecuario en el nivel municipal. Si bien, el Censo Nacional Agropecuario, a cargo del DANE, contribuirá para aliviar esta deficiencia es necesario que este tipo de esfuerzos no sea esporádico, sino que se actualice periódicamente. Contar con buenas estadísticas relacionadas con toda la cadena productiva, por ejemplo transporte, sistemas de riego, empleo etc.	DANE, MADR, Agronet, AUNAP
	Ganadería		
	Forestal		
	Pesca	Incorporar información más detallada relacionada con la infraestructura usada en la actividad pesquera, sea artesanal o industrial, así como información relacionada con empleo, productividad del sector y tendencias reales en el tiempo. Adicionalmente, los datos de capturas deben contar con un nivel de desagregación por especie o, en el caso de tener que realizar agrupamientos taxonómicos deben permanecer constantes en el tiempo.	
BIODIVERSIDAD		Generar información sobre distribución y densidad de población de especies de biocomercio de nivel regional y nacional. Georreferenciar las áreas de extracción y generar información sobre abundancia y niveles de aprovechamiento sostenible. Mantener actualizado el mapa de ecosistemas continentales, marinos y costeros del país, con un mayor nivel de detalle.	Instituto Humboldt, IGAC, Minambiente
RIESGO		Acelerar el proceso de implementación del Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo de Colombia. Se requiere la construcción de series temporales que registren información de desastres suficiente para analizar lo que sucede, tanto en épocas en que ocurren, como aquellas en las que no se presentan. Generar información a una escala adecuada que sirva de base para consideraciones de riesgo en el territorio (amenazas, elementos expuestos y vulnerabilidad). Construir y poner a disposición del público la cartografía de alta resolución correspondiente a la identificación del riesgo, que permita ubicar con mayor precisión las zonas de riesgo de afectación por los diversos tipos de desastres de origen natural.	UNGRD

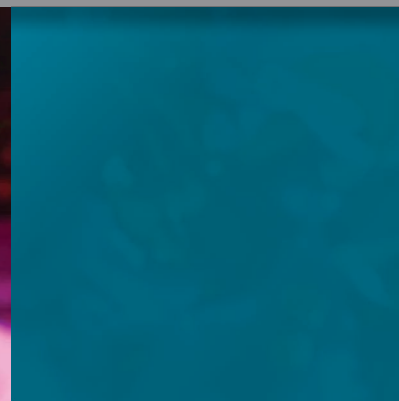
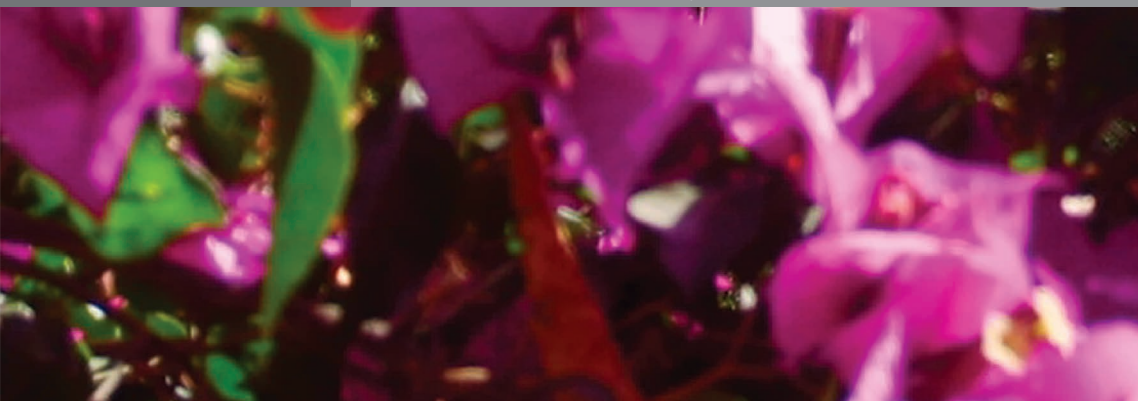


9

CAPÍTULO

CONCLUSIONES

Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia -Síntesis-



Por su ubicación y características geográficas el clima influye en los ecosistemas, la población y la economía del país. Así mismo, los patrones de desarrollo seguidos por Colombia han aumentado la vulnerabilidad de algunos sectores y poblaciones a los efectos del clima actual, generando preocupaciones sobre los posibles efectos futuros ante un escenario de cambio climático.

Síntesis de los impactos económicos del cambio y la variabilidad climática

Los impactos económicos del cambio y la variabilidad climática adquieren mayor relevancia si se toma en cuenta que **hay evidencia de que en el país el clima está cambiando**, representado en el aumento de la temperatura en zonas como la región Andina y el cambio de la precipitación en algunas regiones del país. **Las proyecciones indican que el clima seguiría cambiando en el territorio nacional.** Además, se esperaría que la temperatura media tenga una tendencia creciente y sostenida en el siglo XXI, mientras que la precipitación media disminuya en zonas como la región Andina, el Caribe y el sur del Pacífico y aumente en algunas partes de la región amazónica, el litoral Pacífico y el Magdalena Medio

Ante este panorama el Estudio presenta evidencia de los potenciales efectos del cambio climático en la economía del país. Con base en los escenarios del clima futuro, del IDEAM, **se estima que el impacto agregado del cambio climático en la economía del país sería negativo.** Contando sólo con los sectores analizados en este Estudio, de 2011 a 2100, en promedio habría pérdidas anuales del PIB del 0,49%. Esto significa que cada año el PIB sería 0,49% menor que en un escenario macroeconómico sin cambio climático. El escenario más pesimista es el A2, con un promedio de pérdidas anuales de 0,5%, mientras que el más optimista es el A1B con pérdidas del 0,48%. Los impactos sobre la economía se dan por los efectos directos del cambio climático sobre la productividad de los sectores analizados, y por la irradiación de dichos efectos sobre otros sectores de la economía. Es importante tener en cuenta que el análisis solamente se realizó sobre subsectores de la economía, que en conjunto suman el 4,3% del PIB total²⁷.

Al sumar las pérdidas anuales, sin descontar a valor presente, **el impacto sería equivalente a perder entre 3,6 y 3,7 veces el valor del PIB de 2010.** Así mismo, las pérdidas estimadas por cambio climático **son equivalentes a que el país sufriera, aproximadamente, cada 4 años pérdidas como las de La Niña 2010-2011;** lo anterior, sin tener en cuenta que dicho fenómeno podría presentarse periódicamente durante el tiempo analizado.

Para el nivel de hogares los ejercicios de micro simulaciones muestran que, en todos los escenarios, los hogares verían reducida su capacidad de consumo. **Este impacto sería proporcionalmente mayor para los hogares más pobres** debido a que algunos sectores impactados como agricultura y pesca generan aumentos en los precios de los alimentos, donde los hogares pobres gastan una mayor proporción de sus ingresos.

A pesar que el impacto agregado para el país es negativo **los impactos por sectores y regiones son heterogéneos.** En general, **la silvicultura podría ser uno de los sectores que se**

²⁷ Promedio 2005-2011 de la participación del PIB de transporte, ganadería, agricultura, forestal y pesca en el PIB Nacional, para los subsectores considerados.

beneficiaría del cambio climático, mientras que la agricultura, ganadería, pesca y transporte tendrían pérdidas agregadas en su producción. Los anteriores resultados se dan bajo el supuesto que los sectores no toman acciones específicas para reducir su vulnerabilidad, es decir, bajo un supuesto de no adaptación al cambio climático.

Específicamente, la producción potencial forestal sería cada año en promedio un 6,2% mayor que la producción en el escenario detallado en el capítulo sectorial, durante el periodo 2010-2100, para los tres escenarios modelados. El escenario A1B presentaría las mayores ganancias y el B2 las menores. Detrás de este impacto existen regiones como Casanare en la Orinoquía con pérdidas promedio y otras como Magdalena y Córdoba en la región Caribe y la región Andina con incrementos en la producción potencial, para los tres escenarios y el periodo analizado.

Por otro lado, el sector ganadero tendría un promedio de pérdidas anuales en la producción de peso vivo de carne y litros de leche de 1,6% con respecto del escenario base 1970-2010, para los tres escenarios y el periodo modelados. El escenario A2 presentaría las mayores pérdidas y el B2 las menores. Los departamentos más afectados estarían en los altiplanos de Nariño y Cundinamarca, y en la Orinoquía en Casanare, Caquetá y Guaviare. Una parte importante de este efecto se explica por los cambios de precipitación, y en especial, por su disminución en los altiplanos donde se concentra la producción de lechería especializada y donde los valores de precipitación son actualmente bajos.

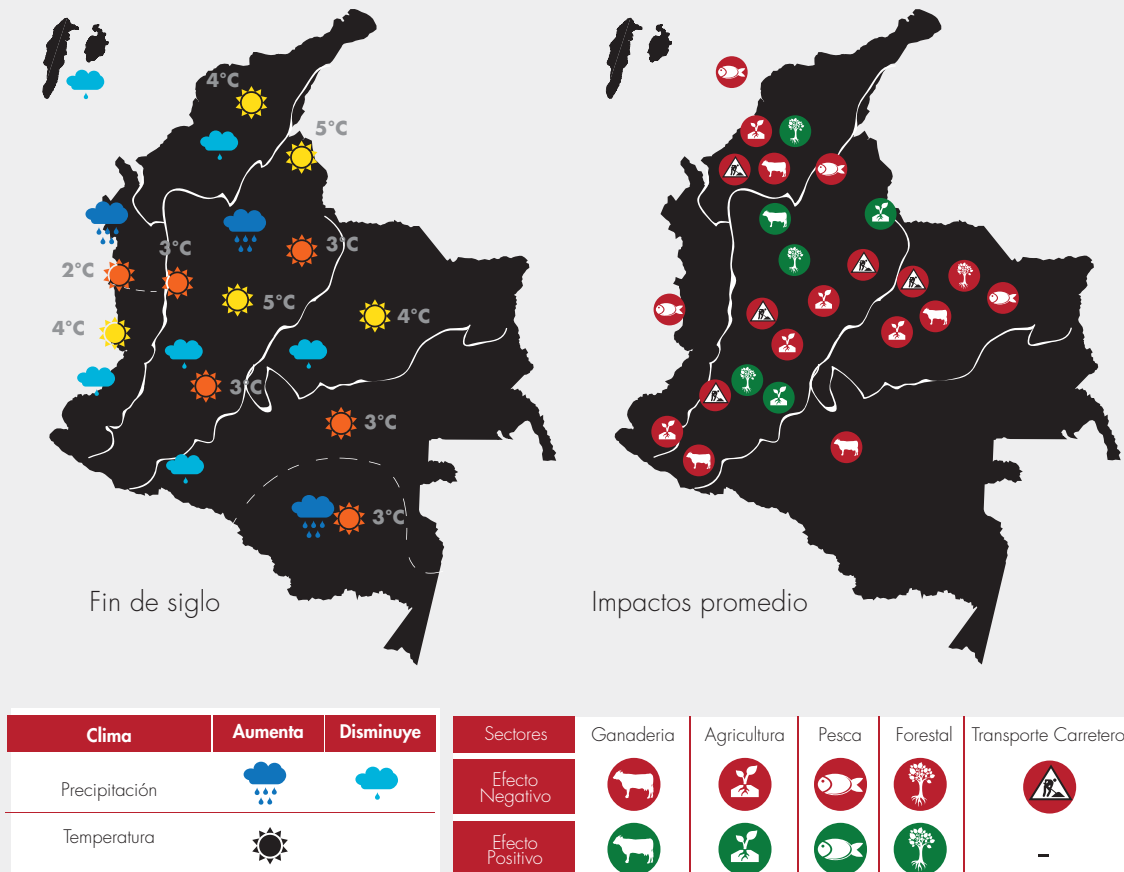
En el sector agrícola el impacto promedio, entendido como el cambio promedio para todos los escenarios y el periodo estudiado, correspondería a una reducción del 7,4% de los rendimientos anuales agrícolas al considerar maíz tecnificado, arroz irrigado y papa de 2010-2100. El escenario A1B presentaría las mayores pérdidas y el B2 las menores. El maíz tecnificado sería el cultivo más impactado negativamente. En el nivel regional Nariño sería el departamento más afectado por las reducciones en los rendimientos de papa, seguido por Córdoba por los efectos sobre maíz. Los departamentos que podrían verse beneficiados serían Norte de Santander y Huila por aumentos en los rendimientos de arroz.

En lo que se refiere al sector pesquero, en el nivel nacional se vería una disminución anual promedio de la carga desembarcada del 5,3% de 2010 a 2100. Los efectos varían poco entre escenarios de cambio climático, siendo el B2 el escenario más adverso y el A2 el menos. Los litorales del país serían las regiones más afectadas, seguidas por la cuenca del Magdalena y el Orinoco. No hubo evidencia para estimar impactos en la cuenca del Amazonas.

Las operaciones del sector transporte se verían afectadas negativamente, con énfasis en las del transporte carretero. En promedio, las vías terrestres estarían cerradas el 5,9% del tiempo entre 2011 y 2010, por efectos de deslizamientos asociados a eventos de precipitación. El escenario más adverso es el A2, mientras que el menos adverso es A1B. Los departamentos ubicados en las cordilleras central y occidental serían los más afectados haciendo énfasis en Quindío, Nariño, Risaralda, Caldas y Cauca, mientras que los menos afectados serían los departamentos de la costa y los llanos orientales, no ubicados en el piedemonte llanero.

La figura 65 resume los cambios en temperatura y precipitación estimados bajo los escenarios de cambio climático del IDEAM y los impactos por sector analizado, mostrando un resumen de la distribución de pérdidas y ganancias del nivel territorial.

Figura 65. Cambios en temperatura, precipitación y distribución de los impactos del cambio climático en el país



Fuente: Elaboración propia

El análisis sobre el recurso hídrico muestra resultados importantes para las tres cuencas modeladas. Con base en los datos de WorldClim y en el ensamble de MCG, en la cuenca del río Guavio, donde se produce el 13% de la energía hidroeléctrica del país, **los cambios en la precipitación y la temperatura podrían llevar a reducciones en la generación eléctrica dependiendo del escenario.** Los escenarios más desfavorables serían los A2 y A1B, con una reducción promedio anual de 109.961 MWh y 11.809 MWh, respectivamente de 2012 a 2050. El escenario más favorable el B1 con un posible aumento promedio anual de 60.143 MWh durante el mismo periodo.

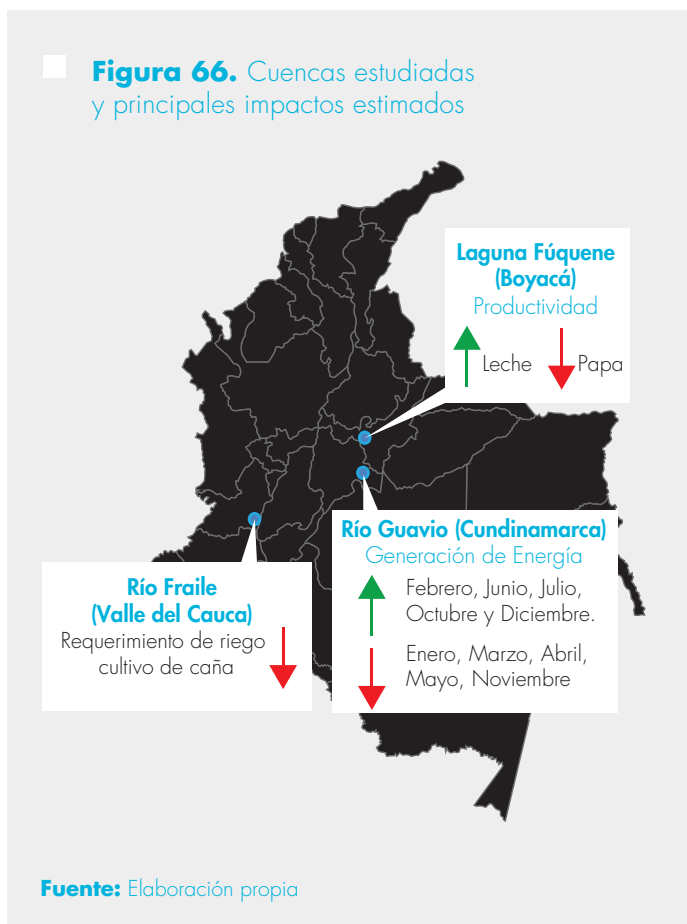
En la cuenca del río Fraile, donde se produce el 10% de la caña de azúcar del país, aumentaría la precipitación generando reducción en el requerimiento hídrico de los cultivos. Como consecuencia **disminuiría la demanda de riego para los cultivos de caña de azúcar generando un ahorro promedio anual por hectárea de US\$57 a 2100.** El escenario más favorable en ahorros sería el A1B y el menos favorable el A2. Los ahorros irían aumentando en el tiempo alcanzando los US\$113 en 2100 en el escenario más favorable. No obstante lo anterior, el aumento de la precipitación podría incrementar la probabilidad de inundaciones en la zona.

En la cuenca de la laguna de Fúquene, la cual tiene el 5% del área sembrada en papa y aporta el 5% de la producción nacional de leche, tendría un incremento de la precipitación y la temperatura anual promedio durante todo el año; lo anterior con base en los datos de WorldClim y en el ensamble de MCG. **Esto traería impactos promedio negativos en la producción de papa y positivos en la de leche.** Los rendimientos de la papa caerían en todos los escenarios climáticos en un promedio anual del 21%, de 2012 a 2100, siendo el escenario A1B el menos favorable y el B1 el más favorable. En cuanto a la producción de leche aumentaría para los escenarios A1B y B1, pero caería para el escenario A2. El promedio multiescenario indica una ganancia de 1,72% anual en la producción de leche de 2012 a 2100. La figura 66 resume los impactos estimados para las tres cuencas estudiadas.

Finalmente, la simulación del impacto del cambio climático en las especies nativas analizadas sugiere **que las especies de biocomercio y las de uso indirecto, analizadas, se verían beneficiadas por el cambio climático.** Las especies de uso directo y con potencial para el biocomercio más favorecidas serían Totumo, Jagua, Seje, Prontoalivio y Gualanday. Así mismo, las especies de manglar ganarían aptitud climática con énfasis en la *Pellucieraracemosa*, al igual que la especie polinizadora estudiada.

En lo referente a costos económicos de los eventos extremos, asociados al clima, existe evidencia que en el país los desastres de origen climático y sus consecuencias han tenido un impacto en el crecimiento de largo plazo del PIB. En efecto y como lo muestra el estudio de 1980 a 2010, **aumentos del 20% en la tasa de muertos, heridos y afectados por desastres de origen climático han estado asociados a caídas del PIB de largo plazo de 1,5%.** El porcentaje de la población y la infraestructura en zonas de riesgo de inundación es un factor determinante de la tasa de desastres, pues **una reducción del 20% de la población en riesgo generaría una reducción del 4,5% en la tasa de muertos, heridos y afectados.** Con base en lo anterior, se puede concluir que la inversión adecuada en gestión de riesgo de desastres es costo-efectiva. Particularmente, **de aumentarse la inversión pública en la materia al 1% del gasto público actual se esperaría que la tasa de desastres se redujera en un 60%.**

Figura 66. Cuencas estudiadas y principales impactos estimados



Recomendaciones sobre adaptación a la variabilidad y al cambio climático

El desarrollo económico puede mejorar la capacidad de adaptación de la población y la economía. Sin embargo, es importante identificar y priorizar sectores y territorios más vulnerables al cambio climático para generar una adaptación planificada y costo efectiva. Además, evitaría procesos de mala adaptación en los que el mismo desarrollo aumenta la exposición y la sensibilidad de poblaciones, sectores productivos o ecosistemas.

Los resultados del Estudio permiten generar una serie de recomendaciones generales que se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Mejorar el conocimiento sobre las relaciones entre clima y productividad de los sectores, fortaleciendo la capacidad de las entidades públicas para capturar, procesar y disponer información climática, ambiental y sectorial que permita la construcción de sistemas de información apropiados para gestionar riesgos asociados al clima.
- Promover la investigación y la generación de conocimiento por parte de los distintos sectores y territorios para tomar decisiones informadas sobre los mecanismos más costo-eficientes para lograr la adaptación
- Promover el desarrollo económico de los sectores para fortalecer su capacidad de adaptación y reducir los posibles impactos de fenómenos climáticos.
- Tener presente que el desarrollo económico debe ir de la mano de la gestión ambiental con el fin de asegurar su sostenibilidad. La planeación del desarrollo debe considerar la conservación de estructuras ecológicas principales permitiendo a los ecosistemas proveer servicios ecosistémicos que reducen la vulnerabilidad de la población y economía.
- Generar procesos de ordenamiento territorial fundamentales a la luz del cambio y la variabilidad climática.

Conclusiones Generales

El cambio climático impone retos y oportunidades en el desarrollo económico del país. En general, los cambios graduales en las condiciones climáticas afectarían negativamente la economía, vía impactos directos en la productividad de diversos sectores económicos e impactos indirectos sobre otros sectores relacionados. Los impactos no se distribuyen homogéneamente en el nivel territorial ni en la población. Regiones como la Orinoquía o los altiplanos andinos podrían estar particularmente afectados, y los hogares de más bajos ingresos verían reducido su consumo en mayor magnitud que los más ricos.

Las entidades líderes de la planeación del desarrollo deben adoptar una visión prospectiva a la luz del cambio climático diferenciada por regiones y poblaciones. Esto implica tomar decisiones buscando reducir la vulnerabilidad actual y futura de la economía, la población y los ecosistemas, en procesos sinérgicos entre el desarrollo sectorial y territorial y la gestión ambiental. Hacerlo reduciría costos económicos por impactos futuros aumentando la productividad del país, acelerando la lucha contra la pobreza y encaminando a Colombia en un crecimiento sostenible.

REFERENCIAS

- Aldana, C. (2004). *Sector forestal colombiano: fuente de vida, trabajo y bienestar*. CONIF, Bogotá.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. Roma, Italia. 346 p.
- Agronet, (2013 noviembre). *Estadísticas de área, productividad, y valor de la producción*. Agronet. Base de datos disponible en: <http://www.agronet.gov.co/>
- Arango, C., Dorado, J., Guzmán, D. & Ruiz, J. F. (2012). *Cambio Climático más probable para Colombia a lo largo del siglo XXI respecto al clima presente*. Disponible en: [http://institucional.ideam.gov.co/descargas?com=institucional&name=pubFile13942&downloadname=Escenarios Cambio Climático \(Ruiz, Guzmán, Arango & Dorado\).pdf](http://institucional.ideam.gov.co/descargas?com=institucional&name=pubFile13942&downloadname=Escenarios Cambio Climático (Ruiz, Guzmán, Arango & Dorado).pdf)
- AUNAP. (2013). *Plan estratégico institucional (2013-2014)*. Disponible en: http://www.aunap.gov.co/files/Plan_Estratgico_2013-2014_aunap.pdf
- Barro, R. (1991). Economic growth in a cross section of countries. *The Quarterly Journal of Economics*. (Vol. 106 (2). pp. 407-443).
- Barro, R. Sala-i-Martin, X. (2004). *Economic Growth*, MIT press, (2ªed).
- Bond, S, A. Hoeffler y J. Temple. (2001). GMM Estimation of Empirical Growth Models. *Economics Papers 2001-W21*, Economics Group, Nuffield College, University of Oxford
- Campbell A., Kapos V., Chenery A., Kahn, S.I., Rashid M., Scharlemann J.P.W. & Dickson B. (2009). *The linkages between biodiversity and climate change adaptation*. UNEP World Conservation Monitoring Centre.
- Cheung, W. W. L., Lam, V. W. Y., Sarmiento, J. L., Kearney, K., Watson, R., Zeller, D. & Pauly, D. (2010). Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology*, 16: 24-35.
- Cochrane, K., De Young, C., Soto, D. & Bahri, T. (2009). *Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge* FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 530, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL. (2013). *Panorama del cambio climático en Colombia*. Medio Ambiente y Desarrollo.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL, Banco Interamericano de Desarrollo-BID. (2012). *Valoración de Daños y Pérdidas Ola Invernal en Colombia 2010-2011*. Bogotá: Misión BID-CEPAL.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC. (2007). *Balance Oferta-demanda de agua superficial Cuenca del Río Fraile*. Disponible en: http://www.cvc.gov.co/portal/images/CVC/Recurso_Hidrologico/agua_superficial/balances_ofertas_demanda/BalanceFraile.pdf
- Corredor, D. & Pardo, O. (2008). *Matrices de Contabilidad Social 2003, 2004 y 2005 para Colombia*. Archivos de Economía.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE. (2012a). *Boletín mensual. Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*. Octubre, N4. Disponible en: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/sipsa/insumos_factores_de_produccion_octubre_2012.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE. (2012b). Colombia. Producción total de Pesca Marina y continental, por procedencia, según año. 1997 - 2011. Sistema de Información del Medio Ambiente de los Países de la Comunidad Andina. Base de datos disponible en: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/Produccion_total_pesca_marina_13.xl
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE. (2012, octubre). *Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción Agropecuaria*. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/boletines/InsumosDane/insumos_factores_de_produccion_octubre_2012.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE. (2014). *Cuentas Nacionales Anuales*. Disponible en: Base de Datos Cuentas Nacionales (serie 2000 - 2011 p). <http://www.dane.gov.co/index.php/cuentas-economicas/cuentas-anuales>.
- Daw, T., Adger, W.N., Brown, K. & Badjeck, M.-C. (2009). Climate change and capture fisheries: potential impacts, adaptation and mitigation. *Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge*. AO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 530. Rome, FAO. pp.107-150.
- Departamento Nacional de Planeación-DNP. (2007). *Aprovechar las Potencialidades del Campo. 2019 Visión Colombia II Centenario*. Bogotá, Colombia, Departamento Nacional de Planeación-DNP (2010) *Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014*. Bogotá.
- Departamento Nacional de Planeación-DNP -SDAS. (2012). *Análisis de los Impactos Económicos del Cambio Climático para Colombia utilizando un Modelo de Equilibrio General Computable*. Disponible en: <http://www.dnp.gov.co>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. (2002). Estado de la información forestal en Colombia.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. (2011). *Situación de los Bosques del Mundo*.
- Federación Colombiana de Ganaderos-FEDEGAN. (2006). *Plan estratégico de la ganadería colombiana 2009*. Por una ganadería moderna y solidaria.
- Federación Colombiana de Ganaderos-FEDEGAN. (2011). *Inventario Bovino Nacional 2011*. Disponible en: <http://www.fedegan.org.co/estadisticas/inventario-bovino-nacional>
- Fundación EMGESA. (2012). *Memoria Anual 2012*. Disponible en: <http://www.emgesa.com.co/ES/PRENSA/CENTRODOCUMENTAL/Informes%20Anuales/memoria-fundacion-emgesa-2012.pdf>
- Gómez J.A & Ortega S.C. (2007). *Biocomercio sostenible: Biodiversidad y desarrollo en Colombia*. Bogotá: IAvH. I/M Editores.
- Higinio, J. (2008). *Economía de los Recursos Naturales. Aplicaciones de la economía computacional a la solución de problemas dinámicos*. Bogotá: Uniandes.
- Hoar, W. S. & Randall, D. J. (1971). Fish physiology 6. Volume VI. environmental Relations and Behavior. – 559 pp. New York and London: Academic Press.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (2013, Diciembre). "Escenarios de Cambio Climático": Disponible en: Base de Datos http://institucional.ideam.gov.co/jsp/cambio-climatico_1074
- Ikefuji, M. Horii, R. (2012). Natural disasters in a two-sector model of endogenous growth. *Journal of Public Economics* 96 pp. 784–796.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC. (2007). *Levantamiento semidetallado de las coberturas terrestres departamento de Antioquia*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Incoder, DANE, ANDI & Apropesca. (sf). Reportes Estadísticos Instituto Colombiano de Desarrollo Rural-INCODER, elaborados a partir de la información suministrada por CCI para 2004 - 2011. En *reportes Estadísticos Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura - INPA para los años 1997 - 2003*.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería- INGEOMINAS. (2003). "Amenaza por remoción en masa", Disponible en: http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/frames_metadato.aspx?id=181842
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR. (2012). *Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2011*. (Serie de Publicaciones Periódicas No. 8). Santa Marta: 203 p.
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático-IPCC. (2000). Special Report on Emission Scenarios. Cambridge University Press, UK. pp 570. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=0>
- Islam, N. (1995). Growth Empirics: A Panel Data Approach. *Quarterly Journal of Economics*, Vol 110, Issue 4 pp. 1127-1170.
- Agencia de Cooperación Internacional del Japón-JICA & Corporación Autónoma Regional-CAR. (1999). *Estudio sobre Plan de Mejoramiento Ambiental Regional para la Cuenca de la Laguna Fúquene-Informe Principal*. Santa Fe de Bogotá: CAR. Disponible en: <http://koha.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=4294452>
- Jiménez-Segura, L. F., Palacio, J., & Leite, R. (2010). River flooding and reproduction of migratory fish species in the Magdalena River basin, Colombia. *Ecology of freshwater fish*, 19(2), 178-186
- Lucas, M.C. & Baras, E. (2001). *Migration of freshwater fishes*. Oxford: Blackwell Science Ltd
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial-MAVDT. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR. (2011). Plan de Acción para la reforestación Comercial. Disponible en: <https://vuf.minagricultura.gov.co/Documents/Informaci%C3%B3n%20Forestal/Plan%20de%20Acci%C3%B3n%20Reforestaci%C3%B3n%20Comercial.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR. (2013, noviembre). *Estadísticas del anuario estadístico del sector agropecuario 2012*. "Resultados evaluaciones agropecuarias municipales 2013, Agronet". Base de datos disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/popup2uniNuke_2011.asp?cod=843
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS. (2012). *Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios eco sistémicos*. Bogotá.
- Ministerio de Hacienda y Crédito Público-MHCP. (2013, junio). Marco Fiscal de Mediano Plazo 2013-2024. Disponible en línea: <http://www.minhacienda.gov.co>
- Michel, E. Hochrainer, S. Kunreuther, H. Linnerooth, J. Mechler, R. Muir, R. Ranger, N. Vaziri, P. Young, M. (2012) Catastrophe Risk Models for evaluating disaster risk reduction investment in developing countries. Working paper No. 2012-07. Risk management and Decision Processes Center.

- Ministerio de Transporte-MINTRANSPORTE. (2011). Diagnóstico del transporte –versión 2011-. Disponible en: <https://www.mintransporte.gov.co/documentos.php?id=15>
- Ministerio de Transporte-MINTRANSPORTE. (2012). Transporte en cifras-versión 2012. Disponible en: <https://www.mintransporte.gov.co/documentos.php?id=15>
- MMA.(2001). Plan Nacional de Desarrollo Forestal. Disponible en: https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Bosques/Plan_nacional_desarrollo_forestal.pdf
- Mojica, J., Usma, J., Álvarez-León, R. &Lasso, C. (2012). *Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia 2012*.Bogotá.
- Moreno, H., Vélez, M., Montoya, J. & Rhenals, R. (2006). *¿La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, interanual y diaria*. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín. Disponible en: <http://revista.eia.edu.co/articulos5/art45.pdf>
- Ospina, C.M., Hernández, R.J., Rodas, C.A., Urrego, J.B., Riaño, N.M., Aristizabal, F.A., Godoy, J.A., Osorio, O.I. (2011). El Pino. *PinusPatula*. Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. FNC, Cenicafé. 52 p.
- Perilla, J. (2010). *Algunas consideraciones sobre la medición del acervo de capital en Colombia y su impacto sobre el crecimiento económico*. Archivos de Economía, (371).
- Asociación Colombiana de Productores y Proveedores de Caña de Azúcar-PROCAÑA. (2012). Presentación del sector. Consultada en Enero del 2014. Disponible en: http://www.procana.org/archivo/presentacion_del_sector.pdf
- Ramírez, J. Jarvis, A. (2010). Downscaling Global Circulation Model Outputs: The Delta Method. Decision and Policy Analysis Working Paper No. 1, Decision and Policy Analysis Working Papers, International Center for Tropical Agriculture, CIAT, Colombia. Cali.
- Ramírez-Villegas, J., Salazar, M., Jarvis, A., Navarro-Racines, C.E. (2012).A way forward on adaptation to climate change in Colombian agriculture: Perspectives towards 2050, *Climatic Change* 1–18.
- Reforestadora de la Costa S A-REFOCOSTA. (2013). *Resumen plan forestal 2012-2020*. Bogotá: 32 p.
- Ríos-Pulgarín, M. I., Jiménez-Segura, L. F., Palacio, J. A., & Ramírez-Restrepo, J. J. (2008). The fish community of the ayapel floodplain lagoon, Magdalena river (Córdoba), Colombia: spacio-temporal changes in its assemblage. *Actualidades Biológicas*, 30(88), 29-53.
- Sánchez, F. & Calderon, S.L. (2012).*Riesgos Extensivos e Intensivos en Colombia. Análisis Histórico y Geográfico*. Proyecto Fortalecimiento de la Gobernabilidad para la Administración del Riesgo Social en Colombia. Banco Mundial.
- Sánchez-Páez, H., R. Álvarez-León, O.A., Guevara-Mancera G.A. & Ulloa Delgado. (2000). *Lineamientos estratégicos para la conservación y uso sostenible de los manglares de Colombia*. Proy PD 171/91 Rev. 2 (F) Fase II (Etapa II). Conservación y Manejo para el Uso Múltiple y el Desarrollo de los Manglares de Colombia. MINAMBIENTE/OIMT. Colombia, Bogotá: 81 p.
- Schuzchny, A. (2005). Tópicos sobre el Modelo de Insumo-Producto: teoría y aplicaciones. Santiago de Chile:*Serie Estudios Estadísticos y Prospectivos CEPAL*, (37).
- Tarifeño E. (2011). El cambio climático y la ecofisiológicas de los individuos. Cambio climático, pesca y acuicultura en América Latina. Potenciales impactos y desafíos para la adaptación. Taller FAO/Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sur Oriental (COPAS). FAO actas de pesca y acuicultura. Universidad de Concepción. 5–7 de octubre de 2011.Concepción, Chile.
- Tribín, A. (2006). *Tasa de rendimiento de capital de Colombia para el período entre 1990 y 2001*. Borradores de Economía, (398).
- UK Met Office. Temperatura Superficial del Mar proyecciones cambio climático. Sistema de información "HadGEM SST and ice datasets". http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadgem_sst/index.html
- Colombia, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Grupo de Investigación Redes Agroempresariales y Territorio –RAET- (2009). La cadena de valor de los ingredientes naturales del biocomercio para las industrias farmacéutica, alimentaria y cosmética. Bogotá: Informe de consultoría para el Fondo BIOCOCOMERCIO, Grupo consultor Universidad Jorge Tadeo Lozano. 187p.
- Unidad de Planeación Minero energético-UPME. (2013, febrero). Estadísticas del sector. Sistema de Información de Petróleo y Gas Colombiano. Disponible en: base de datos UPME http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Balance.aspx?IdModulo=3
- Yáñez-Arancibia, A., Twilley, R., & Lara-Domínguez, A. (1998). *Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global*.*Madera y Bosques*,4(2), 3-19



IMPACTOS ECONÓMICOS
DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN COLOMBIA
-SÍNTESIS-

