



Revista de Ingeniería

ISSN: 0121-4993

reingeri@uniandes.edu.co

Universidad de Los Andes

Colombia

Ocampo, Olga

El cambio climático y su impacto en el agro

Revista de Ingeniería, núm. 33, enero-junio, 2011, pp. 115-123

Universidad de Los Andes

Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121022658012>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

El cambio climático y su impacto en el agro

Climate Change and its Impact on the Agriculture

Olga Ocampo^a

PALABRAS CLAVES

Adaptación, agricultura, cambio climático, gestión del riesgo, impacto, vulnerabilidad.

RESUMEN

El debate sobre los efectos del cambio climático se ha intensificado en los últimos años. A escala global, ha sido considerado como una amenaza no sólo desde el punto de vista ambiental, sino también social y económico, por su posibilidad de impacto a diferentes sectores, entre los cuales la agricultura es uno de los más vulnerables. Comprender los impactos potenciales es imprescindible para el desarrollo e implementación de estrategias de adaptación que permitan afrontar los riesgos climáticos emergentes. Este artículo, elaborado a partir de una revisión de la literatura científica más reciente, ofrece una visión de los impactos en el sector agrícola, considerando además los efectos previstos en los recursos hídricos; así mismo, explora los retos y oportunidades de adaptación. Por último, concluye que la gestión del riesgo es determinante para reducir la vulnerabilidad del agro.

KEY WORDS

Adaptation, agriculture, climate change, impact, risk assessment, vulnerability.

ABSTRACT

The debate on the effects and impacts of climate change has intensified in recent years. Globally, it is considered as a threat, not only from the environmental point of view but also socially and economically, because of its possible impact on different sectors, including agriculture, which is one of the most vulnerable. Understanding the potential impacts is essential for developing and implementing adaptation strategies, which are required to manage emerging risks related to climate. This article, drawn from a review of recent scientific literature on climate change, provides an overview of the impact of climate change on agriculture, and considers expected effects on water resources and explores the challenges and opportunities for adaptation. It concludes that risk assessment is a key factor in reducing agriculture vulnerability to climate change.

^a Aspirante a Magister en Ingeniería Química. Docente e investigadora, Universidad Autónoma de Manizales. Manizales, Colombia.
✉ olocampo@autonoma.edu.co

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos se ha incrementado con la demanda, sin embargo, en un mundo cada vez más poblado, la desnutrición y la pobreza permanecen. La población continúa creciendo y se crean temores por el desbalance potencial entre el número de seres humanos y las necesidades alimentarias. Algunas investigaciones [1, 2, 3] estiman que la producción mundial de alimentos tendrá que aumentar en un 70% para el 2050 y que los requerimientos de agua duplicarían las necesidades actuales para el 2025. La productividad agrícola, a su vez, debe mejorar, mientras que los recursos de tierras y aguas se vuelven menos abundantes, y los efectos del cambio climático introducen una gran incertidumbre [4].

El aumento en la temperatura promedio del aire y del océano, el derretimiento de la nieve de los glaciales y los polos, y la elevación del nivel del mar son algunos de los efectos del cambio climático [5]. Como consecuencia, podrían experimentarse una serie de impactos, a escala global, que incluyen: cambios en los ecosistemas, en la disponibilidad de agua, en la productividad de las cosechas y en la distribución de vectores y enfermedades; además del posible incremento de los eventos meteorológicos extremos¹ como tormentas, sequías e inundaciones [5, 6].

Estos efectos hacen que el cambio climático amenace los elementos básicos para la vida como son [6] el acceso al agua, la producción de alimentos, la salud, el uso de la tierra y los ecosistemas; que se generen, además, restricciones significativas en varias actividades económicas como [5, 7, 8]: la agricultura, la pesca, la salud, la silvicultura, el transporte, el turismo, la energía y los sistemas hídricos.

Los posibles impactos estimados por el Panel Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático

(IPCC) [5, 9] para la agricultura incluyen el aumento del rendimiento en los entornos más fríos y la disminución de la producción en los ambientes más cálidos, los daños en los cultivos, el incremento de plagas, el mayor peligro de incendios forestales y la erosión del suelo. Mientras que la contaminación del agua, el aumento de la demanda y la disminución en la disponibilidad de agua dulce son algunos de los efectos posibles para los recursos hídricos.

Estos impactos no se distribuyen equitativamente y son una grave amenaza para los países en desarrollo [6]. Las investigaciones efectuadas en Latinoamérica [10] evidencian retrocesos de glaciares, aumentos en la frecuencia de inundaciones y de incendios forestales, pérdida de biodiversidad e incremento de las enfermedades de plantas. Los estudios basados en Modelos de Circulación General (MCG) y de cultivos [5, 11] proyectan reducciones del rendimiento en las plantaciones de arroz, cebada, vid y papa.

Colombia, aunque sólo contribuye con el 0,37% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero-GEI (2004), es vulnerable² al cambio climático [12,13]. En el contexto agrícola, el territorio colombiano posee una gran capacidad para abastecer el mercado nacional y ha alcanzado una reconocida posición en productos de exportación; sin embargo, el sector no sólo debe enfrentar el reto que supone la baja productividad, uno de los más rezagados de la economía [14], sino que requiere implementar medidas efectivas de adaptación³.

El cambio climático es una realidad [5, 6] y para la agricultura se tiene el reto no sólo de definir estrategias de adaptación, sino de implementarlas y monitorear sus resultados. Es preciso, por tanto, analizar no sólo las consecuencias del cambio climático, sino las causas de la vulnerabilidad y tomar la decisión de

1 Los eventos extremos son estadísticamente menos probables que ocurran y tienen valores alejados de la media.

2 La vulnerabilidad es el grado en que el cambio en el clima puede ser perjudicial o nocivo [9]

3 La adaptación es el grado en que es posible efectuar ajustes en las prácticas, procesos y estructuras de los sistemas, en función de los cambios provistos o reales del clima [5, 9]

actuar sobre ellas. El análisis de riesgo permite evaluar la probabilidad de futuras pérdidas, analizando escenarios a futuro.

Este artículo —elaborado a partir de la revisión de las publicaciones del IPCC; de los Programas de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); del Instituto de Meteorología, Hidrología y Asuntos Ambientales (IDEAM); y de reconocidos investigadores en la materia— resume inicialmente, los efectos del cambio climático en el ciclo del agua y en los recursos hídricos; a continuación, describe los impactos potenciales sobre la agricultura; finalmente, plantea, algunas medidas de adaptación. También pretende brindar una mayor información sobre una temática compleja, la cual requiere de una acción oportuna con el propósito de disminuir la vulnerabilidad del sector.

DESARROLLO

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CICLO DEL AGUA

El ciclo hidrológico está estrechamente vinculado al balance de radiación; en respuesta a dicho balance, el sistema climático mantiene el equilibrio entre la energía entrante y saliente, mediante el ajuste de sus procesos: precipitación, temperatura, evaporación, etc. Por efecto del calentamiento, el forzamiento radiativo del clima es positivo y ha sido estimado en $1,6 \text{ W/m}^2$ [5].

Las investigaciones recientes [15] presentan correlaciones entre la temperatura y la precipitación, las cuales permiten evidenciar que los procesos que controlan el ciclo hidrológico y la temperatura están acoplados. Con respecto a la temperatura, la tendencia lineal de aumento, a escala global, es de $0,74^\circ\text{C}$ (período comprendido entre 1906 - 2005) [5] y para Co-

lombia es, en promedio, de $0,13^\circ\text{C}/\text{década}$ [12]. Las proyecciones de incremento de temperatura están relacionadas con la concentración de GEI; los expertos [5, 6] advierten sobre la necesidad de control y mitigación, de modo, que a finales de siglo, el aumento oscile entre $1,5^\circ\text{C}$ a $2,5^\circ\text{C}$.

Algunas variaciones en el ciclo del agua, a escala global, han sido relacionados con el cambio climático⁴ [5, 15]; sin embargo, los componentes del ciclo están sujetos a una variabilidad natural, en escalas de tiempo interanuales a decenales. Por otra parte, las actividades humanas, —en especial los cambios de uso del suelo, las construcciones, entre otras— pueden influir los procesos. Por tanto, hay incertidumbre [15] respecto a la tendencia de las variables del ciclo hidrológico, debido a las grandes diferencias geográficas, las limitaciones de las redes de monitoreo y los factores ajenos al clima que pueden ser localmente importantes.

A pesar de las incertidumbres, el IPCC [15] atribuye algunas variaciones en el ciclo hidrológico (Figura 1), evaluadas a partir de las tendencias de largo plazo, al cambio climático como: el aumento del contenido de vapor de agua en la atmósfera, la variación en los patrones de precipitación; la disminución de la capa de hielo y nieve, los cambios en la humedad del suelo y en la escorrentía.

Se estiman [5] incrementos en la evaporación potencial, porque una atmósfera más cálida, puede contener más humedad y las temperaturas más altas aumentan la tasa de la evaporación. Los cambios de la evapotranspiración terrestre están controlados por la precipitación y el forzamiento radiativo, y éstos, a su vez, afectarían la escorrentía, la humedad del suelo, por tanto, la infiltración, la recarga de acuíferos y la salinización [5, 15]. La evapotranspiración podría

4 El cambio climático según la Convención del Marco sobre el Cambio Climático, se refiere a un cambio en el clima que se atribuye directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y se da además de la variabilidad natural del clima observada a lo largo de períodos de tiempo comparables [9]

cambiar por el efecto del incremento del CO_2 atmosférico sobre la fisiología de las plantas [15].

Con respecto a la precipitación, los cambios no son lineales a lo largo del tiempo y exhiben una variabilidad decenal importante [15]. La modelación empleando escenarios hipotéticos, muestra patrones complejos de cambio con algunas regiones que recibirían menos y otras más precipitación de lo actual [5]. Por otra parte, se ha observado aumento de los episodios de lluvia intensa (por encima del percentil 95), los resultados de modelación llevan a las mismas conclusiones [15,16,17]. En consecuencia, el IPCC [5,15] concluye que es probable que se haya aumentado la frecuencia de episodios de precipitación intensa.

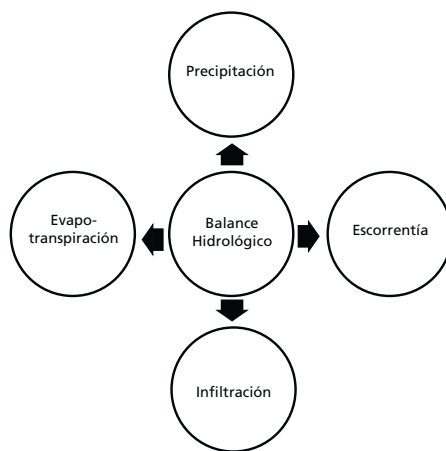


Figura 1. Procesos del balance hidrológico susceptibles al cambio climático (Adaptada [5])

Las variaciones en la precipitación y en la temperatura inducen cambios de la escorrentía y en la disponibilidad de los recursos hídricos [5]. A escala global, hay evidencia de variación de la escorrentía anual. Sin embargo, en muchas partes del mundo está influida por la variabilidad climática y por los efectos no climáticos.

La alteración del ciclo hidrológico por el cambio climático conlleva impactos tanto en la disponibilidad como en la calidad de los recursos hídricos [5,15]. A nivel regional, los glaciares desempeñan un papel cru-

cial en la recarga de cuencas, su reducción y pérdida afectaría por tanto, la oferta de agua [11,12]. Desde el punto de vista de la calidad de agua, se podría inducir un estrés adicional [5]: con una mayor temperatura, se reduce la cantidad de oxígeno disuelto y se presentaría así afectación de la concentración de nutrientes y contaminantes, en un flujo menor de agua [15]. Por otra parte, las fuertes precipitaciones y las inundaciones elevan el riesgo de contaminación de las fuentes de agua, por la escorrentía superficial de los excesos de agua residual acumulada, proveniente de tierras agrícolas y urbanas [15,16].

Hay evidencia de que los recursos hídricos son vulnerables al cambio climático y que las consecuencias sobre la sociedad y los ecosistemas dependen de las medidas de adaptación [9]. El estrés hídrico, los problemas de calidad del agua y una mayor demanda de agua para riego son en conclusión, los impactos más probables a escala global [5]. No obstante, existen factores no climáticos que afectan tanto la cantidad como la calidad de los sistemas acuáticos, como son los cambios de uso de la tierra, los embalses, los vertimientos, entre otros; así pues, su vulnerabilidad depende también de la gestión integral del recurso [15].

Para América Latina [9,10,11] es muy probable que los cambios proyectados generen impactos como derretimiento de los glaciares tropicales, reducción de la disponibilidad de agua, aumento de la desertificación y aridez, que se traducirá en una mayor competencia por el recurso.

En el caso de Colombia, los estudios del IDEAM [12] prevén impactos potenciales altos en las aguas continentales, para el período comprendido entre el 2011 a 2040, los cuales alcanzarían el 63% de la superficie cartografiada del país.

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA

Existen evidencias científicas [5] sobre el impacto del cambio climático en la agricultura por el efecto sobre las variables conexas relevantes: la temperatura, la precipitación, la concentración de dióxido de carbo-

no y la humedad del suelo. Sin embargo, las prácticas de gestión, los cambios tecnológicos, la dinámica del mercado y las políticas públicas afectan el sector y crean incertidumbres, por la dificultad de evaluar de forma aislada la influencia del clima, con respecto a los otros factores [7]. Por tal motivo el IPCC [5] reconoce la necesidad de profundizar en los estudios para demostrar las relaciones causa-efecto.

A pesar de las incertidumbres, el IPCC [5] plantea impactos potenciales del cambio climático en la agricultura, sin contemplar medidas de adaptación (Figura 2). Algunas investigaciones [9, 17, 18] advierten que el cambio climático podría tener un impacto directo sobre la productividad de las cosechas y sobre la fertilidad del suelo; existe la probabilidad de variaciones en las tasas de degradación del suelo, aumentos de salinización, incremento en las superficies de riego, mayores pérdidas por siniestros, reducciones de las especies polinizadoras y modificaciones importantes en la distribución y dinámica de plagas y enfermedades.

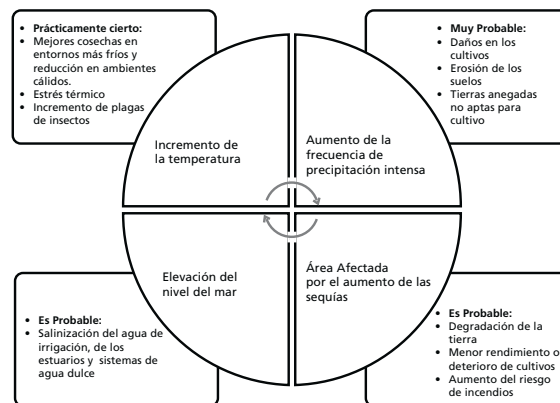


Figura 2. Impactos proyectados del cambio climático en la agricultura. Adaptada de [5].

Un aspecto destacado en los estudios [11,19], es el efecto de fertilización por las elevadas concentraciones de CO_2 en la atmósfera, que podría mitigar las repercusiones negativas del cambio climático en la productividad de los cultivos. No obstante, todavía

existe incertidumbre sobre los posibles beneficios, porque hay muchas interacciones y factores de estrés que no pueden incorporarse a los modelos actuales [5,11].

Para América Latina y el Caribe, la agricultura es una actividad económica que representa alrededor del 10% del producto bruto interno (PBI) y contribuye con el 12% de las exportaciones agrícolas mundiales [20]. En la región, a partir de las estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) [21], existen zonas con problemas de seguridad alimentaria, para las cuales los cultivos más sensibles han sido identificados [11, 23]: 1) Centroamérica y el Caribe: caña de azúcar, yuca, maíz, arroz y trigo; 2) Región Andina: palma, soya, caña de azúcar, yuca, papas, maíz, cebada, arroz y trigo; 3) Brasil: soya, caña de azúcar, yuca, maíz, arroz y trigo.

Las investigaciones [5,10], estiman aumentos en el rendimiento de algunos cultivos como la soya y la caña de azúcar, y reducciones en el arroz, la cebada y la vid; mientras que para el trigo y el maíz, la respuesta es errática y depende del tipo de modelo. Algunas cifras del Banco Mundial [23] plantean que la productividad agrícola en Latinoamérica podría caer entre un 12% y un 50% hacia el año 2100. Sin embargo, la vulnerabilidad varía según la región, los cultivos y las tecnologías aplicadas; también en función de la variabilidad climática natural por las modificaciones en los regímenes pluviales y de vientos y por la incidencia de fenómenos extremos [24]. Es importante anotar que la agricultura en pequeña escala es especialmente vulnerable y que los factores de estrés socioeconómicos suelen agravar dichas condiciones [5].

En Colombia, las tierras con vocación agrícola corresponden al 18,9% del territorio; el PIB agropecuario ha contribuido con el 8% del PIB total y en promedio genera el 21% de los empleos del país [12,14]. Sin embargo, el sector agrícola Colombiano es vulnerable tanto a la variabilidad climática natural como al cambio climático.

Históricamente, la agricultura colombiana ha podido adaptarse a la variabilidad climática, pero los fenómenos extremos representan una gran amenaza para este sector [25]. En Colombia las emergencias y desastres guardan relación con las precipitaciones [12,26]; se ha detectado que los cambios en el régimen de lluvias tienen efectos muy diversos influenciados por El Niño-Oscilación del Sur (ENSO)⁵ [26, 28, 29]. Los reportes asociados con sequía se elevan en un 216%, durante los períodos del Niño; mientras que en los años de La Niña, los desastres relacionados con lluvia, como deslizamientos e inundaciones, aumentan en un 16,1% [12]. Por ejemplo, la tragedia provocada por las graves inundaciones en el territorio Colombiano durante La Niña 2010-2011 llegó a tal magnitud, que desbordó las facultades ordinarias del Estado para atender la situación de desastre nacional, por el deterioro y destrucción de la infraestructura vial y urbana, los derrumbes de diques y obras de contención, los daños en vías, las pérdidas de zonas agrícolas, de viviendas y el deterioro de los servicios públicos [30].

Con respecto al cambio climático, la segunda Comunicación Nacional [12], para el período comprendido entre el 2011 al 2040, estima niveles elevados de vulnerabilidad para el sector agropecuario y las áreas de minifundio campesino; en especial, en las extensiones agrícolas de los departamentos de Cesar, Nariño, Cauca, Tolima, Magdalena, Córdoba y Antioquia. Los impactos potenciales altos podrían alcanzar el 50% de la superficie dedicada a las pasturas; el 57% de las áreas de cultivos permanentes y semipermanentes, el 71% del área sembrada de café y el 47% de los minifundios campesinos.

VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN

Se debe tener presente que no todo fenómeno físico genera una crisis que se cataloga de desastre, depende de la vulnerabilidad, es decir, del grado de suscepti-

bilidad o la incapacidad de hacer frente a los efectos adversos; la vulnerabilidad a su vez es función de la sensibilidad del sistema (nivel de reacción a un cambio en las condiciones climáticas) y de la capacidad de adaptación, entendida como la capacidad para ajustarse al cambio climático, para regular daños potenciales, aprovechar las oportunidades o hacer frente a las consecuencias [5, 9]. La metodología para la estimación de la vulnerabilidad establecida por el IDEAM [12] se expresa en las ecuaciones 1 y 2:

$$Riesgo = [Amenaza \times probabilidad de ocurrencia] \times [vulnerabilidad] \quad (1)$$

$$Vulnerabilidad = [Impactos negativos] - [(Impactos negativos \times capacidad adaptación)] \quad (2)$$

Para responder al cambio climático, se requiere un proceso de gestión de riesgos que involucra un conjunto de acciones que permiten identificar y evaluar los riesgos, con el fin de emprender en forma efectiva las medidas necesarias para responder ante ellos. Así mismo, abarca la identificación, la calificación y la evaluación de los riesgos, el diseño e implementación de medidas para la adaptación, el monitoreo y la evaluación.

Para la gestión del riesgo climático se han empleado herramientas tecnológicas [31] que permiten la evaluación, el monitoreo y la evaluación: desarrollo de indicadores de vulnerabilidad, establecimiento de sistemas de alerta temprana, información satelital, modelos de simulación de cultivos, sistemas de información geográfica (SIG), métodos geoestadísticos, recolección y transmisión automática de datos.

El proceso adaptativo supone ajustes para reducir la vulnerabilidad y fortalecer la capacidad de recuperación tras los cambios observados y esperados en el clima [9]. La adaptación puede ser anticipada (antes del impacto), autónoma (espontánea) o planificada (resultado de una decisión política deliberada) [9].

5 El Niño- Oscilación del Sur es un ciclo de variabilidad climática, producido por la interacción entre el océano y la atmósfera, que origina fluctuaciones de la temperatura superficial y de la presión del aire en el Océano Pacífico, en cuyo transcurso se alternan episodios cálidos y fríos, más conocidos como El Niño y La Niña, respectivamente [24-27].

Algunas opciones de adaptación planificada para el sector agrícola incluyen [5,8,17]: modificación de las fechas de siembra, elección de variedades, reubicación de plantaciones, mejora de la gestión de tierras, apoyo a sistemas de conservación de la diversidad biológica agrícola, diseño de programas de consolidación de nuevos calendarios agrícolas por regiones, tecnificación de los cultivos, genotipos adaptados a condiciones de estrés, desarrollo de sistemas de producción sustentable, gestión óptima de recursos hídricos (sistemas irrigación eficaces, reciclaje de agua, ahorro de agua, etc.).

En Latinoamérica, las estrategias para adaptación son aisladas, de tipo espontáneo, enfocadas a la atención y recuperación en caso de desastres [11]. En algunos países, se han implementado medidas que incluyen conservación de ecosistemas claves, sistemas de alarma temprana, gestión de riesgo en la agricultura, gestión de inundaciones y sequías [9].

En Colombia [12], las estrategias de adaptación, por línea estratégica general, incluyen:

- Fortalecer la gestión de la investigación y la transferencia del conocimiento: Análisis de los niveles de riesgos, evaluaciones de la vulnerabilidad del recurso hídrico a escala regional y local y determinación del impacto económico de la adaptación al cambio climático.
- Fortalecer la gestión del riesgo: Investigación aplicada a mediano y largo plazo en el manejo integral del riesgo y fortalecimiento de los mecanismos de transferencia del riesgo.
- Mejorar el uso del territorio como estrategia para disminuir la vulnerabilidad: Inclusión de la gestión del riesgo y del cambio climático en los instrumentos de planeación del territorio y profundización en los instrumentos de ordenamiento del territorio como los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas
- Reducir los impactos ambientales, económicos y sociales: Mejorar la resiliencia de los sistemas pro-

ductivos, mejor utilización de las tierras de acuerdo con el sistema de producción y sus requerimientos particulares de agua y temperatura, seguros agrícolas y aplicar medidas de adaptación de proyectos piloto con resultados positivos.

- Mejorar la capacidad de adaptación de las comunidades más vulnerables: Fortalecimiento de la organización social.
- Valorar y proteger la base productiva a partir de los bienes y servicios de la biodiversidad: Fortalecer las iniciativas para un manejo sostenible del agua, establecer sistemas agrícolas diversos e incorporar el conocimiento ancestral de cultivos específicos así como de variedades de especies para mantener la diversidad genética.
- Fortalecer la gestión de cooperación y recursos para la adaptación.

Hay una creciente evidencia de que las medidas de adaptación pueden desempeñar un papel importante en respuesta a los impactos del cambio climático en la agricultura [5, 9]. La adaptación es un reto para el sector. La gestión del riesgo climático, la comprensión de los impactos y su vulnerabilidad permitirán el diseño e implementación de medidas efectivas de adaptación.

CONCLUSIONES

La agricultura es especialmente vulnerable al cambio climático; la proliferación de plagas y enfermedades y el estrés hídrico son factores agravantes. Es posible que el aumento moderado de la temperatura y de la fertilización por CO₂ tenga efectos positivos en la producción. Sin embargo, si el incremento de la temperatura supera el estándar de seguridad climática, los rendimientos podrían disminuir de manera generalizada. Las modelaciones no pueden tener en cuenta todas las posibilidades de adaptación ni todos los factores no climáticos dinamizantes de cambio; por tanto, deben ser tomadas como indicadores de la

necesidad de profundizar en la investigación y conocimiento de los impactos potenciales.

Las estrategias de adaptación deben ser definidas mediante un proceso de gestión de riesgos que involucra los impactos, las actitudes ante el riesgo y la capacidad de adaptación. El uso de esta metodología de Gestión Integral en el sector agropecuario permitirá de manera sistemática, identificar, calificar y evaluar los riesgos potenciales, diseñar e implementar las medidas de adaptación, y monitorear y evaluar los resultados.

Las innovaciones científicas y tecnológicas serán determinantes en la definición de estrategias encaminadas a contrarrestar los efectos del cambio climático. La cooperación efectiva entre los investigadores en ingeniería, meteorología, agricultura, silvicultura, entre otras áreas, es crucial para proporcionar a los agricultores la información útil y oportuna, para hacer frente a los riesgos agroclimáticos a corto y mediano plazo, en todas las fases del cultivo.

Las respuestas al cambio climático son un desafío para la ingeniería; los impactos al sector agrícola plantean una serie de retos relacionados con la productividad, por la necesidad de incremento para garantizar la seguridad alimentaria; con la innovación tecnológica, dada la necesidad de nuevas tecnologías que permitan una mejor adaptación; con la sostenibilidad, para disminuir la huella de carbono, mejorar la gestión de recursos naturales y proteger la biodiversidad; con la investigación, que se encaminen a un mayor conocimiento de las relaciones causa-efecto y al desarrollo de variedades resilientes; y con la gestión del conocimiento, porque tanto el conocimiento científico y tecnológico, como el tradicional y ancestral, son claves para hacer frente a los impactos potenciales que conlleva el cambio climático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OECD. *The Economics of Climate Change Mitigation: Policies and Options for Global Action Beyond 2012*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, 2009.
- [2] FAO. *Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Agriculture: Towards 2030/2050 – Interim Report*. Rome: Food and Agriculture Organization of UN, 2006.
- [3] SIWI (Stockholm International Water Institute), IWMI (International Water Management Institute). *Water - more nutrition per drop. Towards sustainable food production and consumption patterns in a rapidly changing world*. Suecia: Stockholm International Water Institute, 2004.
- [4] H. Huan, M. von Lampe, F. von Tongeren. “Climate change and trade in agriculture”. *Food Policy* Vol. 36, No. 1, 2011, pp. S9–S13.
- [5] IPCC. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Ginebra: 2007.
- [6] N. Stern. *The Economics of Climate Change*. Londres: Cambridge University Press, 2006.
- [7] S.N. Seo “An analysis of public adaptation to climate change using agricultural water schemes in South America”. *Ecological Economics*. Vol. 70, No. 4, 2011, pp. 825-834.
- [8] Parlamento Europeo. “La agricultura de la UE y el cambio climático”. Resolución del parlamento Europeo, de 5 de mayo de 2010, sobre la agricultura de la UE y el cambio climático (2009/2157(INI)). *Diario Oficial de la Unión Europea*, 5 de mayo de 2010.
- [9] N. Adger. “Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity”. In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2007.
- [10] IPCC. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. *Evaluación de la vulnerabilidad e impactos del cambio climático y del potencial de adaptación en América Latina*. Perú: 2008.

- [11] CEPAL. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. *Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: Una reseña*. Santiago de Chile: Naciones Unidas. 2009.
- [12] IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. *2a Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Bogotá:2010.
- [13] IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. *Colombia Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Bogotá D.C.: Trade Link Ltda., 2001.
- [14] DNP. Departamento Nacional de Planeación. *Documento CONPES 3527. Política Nacional de Competitividad y Productividad*. Bogotá D.C.: 2008.
- [15] IPCC. Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. *El Cambio Climático y el Agua*. Ginebra, Suiza: 2008
- [16] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). *Food Production: The Critical Role of Water. Technical Background Document 7*. Rome, Italy: 1997.
- [17] PNUD. *Informe sobre Desarrollo Humano 2007/2008. La lucha contra el cambio climático: solidaridad frente a un mundo dividido*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Cambio climático y Desarrollo. Grupo Mundi Prensa. 2007.
- [18] Tierramerica. *América Latina ante los efectos irreversibles de un planeta más caliente*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Banco Mundial, 2009.
- [19] M.L. Parry, C. Rosenzweig, A. Iglesias, M. Livermore, G. Fischer. "Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios", *Global Environmental Change*, Vol. 14, N° 1. 2004, pp. 53-67.
- [20] World Bank. *Respuestas Latinoamericanas al desafío del cambio climático*. 2009
- [21] FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *World Agriculture: Towards 2015/2030*. Rome; UN Food and Agriculture Organization, 2003.
- [22] D. B. Lobell, M.I B. Burke, C. Tebaldi, M. D. Mastrandrea, W. P. Falcon and R. L. Naylor. "Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030", *Science*, Vol. 319, No. 5863, February 2008, pp. 607-610.
- [23] World Bank. *Respuestas Latinoamericanas al desafío del cambio climático*. 2009
- [24] PNUD. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. *Panorama del impacto ambiental de los recientes desastres naturales en América Latina y el Caribe*. Lima: 2000.
- [25] Banco de la República. *El fenómeno del Niño y su posible impacto en Colombia*. Bogotá: 2007.
- [26] "Enso impacts on the US NOAA". National Weather Services. Climate Prediction Center Fecha de consulta: abril de 2011. Disponible: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/monitoring_and_data/ENSO_connections.shtml
- [27] A. Velásquez y C. Rosales. *Los pasos del Niño en Colombia 1980-2001*. Santiago de Cali: Universidad del Valle, 2002.
- [28] ICA. Instituto Colombiano Agropecuario. *Alertas Sanitarias y fitosanitarias en función de la predicción climática-recomendaciones de manejo fenómeno de La Niña*. 2010.
- [29] G. Poveda. "La hidroclimatología de Colombia. Una Síntesis desde la escala Interdecadal hasta la escala diaria". *Rev. Acad. Colomb.Ciencia*. Vol. 28, No. 107, 2004, pp. 201-222.
- [30] Ministerio de Hacienda y Crédito Público. *Decreto 4831 de 2010*. Bogotá: 2010.
- [31] R. Balaghia, M.-C. Badjeckb, D. Bakaric, E. De Pauwd, A. De Wite, P. Defourny, S. Donatog, R. Gommesh, M. Jlibenea, A.C. Raveloi, M.V.K. Sivakumarj, N. Telahigueg and B. Tychonc. "Managing Climatic Risks for Enhanced Food Security: Key information capabilities". *Procedia Environmental Sciences*. Vol. 1, 2010, pp. 313-323.