

Seguridad alimentaria y nutricional en Colombia



Mercado popular en el departamento del Huila, Colombia. Fotografía de Neil Palmer.

Colombia

[1] Elizabeth Hodson de Jaramillo

[2] Jairo Castaño

[3] Germán Poveda

[4] Gabriel Roldán

[5] Paul Chavariaga

Por su abundancia de recursos agrícolas y naturales, agua, biodiversidad y talento humano, **Colombia** tiene el potencial de ser un **proveedor de alimentos para la humanidad, siempre y cuando se protejan sus ecosistemas**

Resumen

Por su posición y fisiografía, Colombia presenta una gran diversidad de zonas climáticas y cuenta con abundantes recursos agrícolas y de agua dulce, una biodiversidad excepcional y gran riqueza en recursos naturales. La agricultura se caracteriza por monocultivos tecnificados por región (v.gr. caña de azúcar, café, flores, algodón, plátano, banano, sorgo, maíz, arroz, palma africana, papa y yuca, entre otros). Hay cultivos para consumo interno y se exportan cultivos de alto valor como café, banano, caña de azúcar y palma africana. La agricultura en Colombia se verá afectada seriamente por el cambio climático, tanto en seguridad alimentaria, como en la socioeconomía agrícola.

En relación con seguridad alimentaria y nutricional (SAN) Colombia ocupa el décimo lugar en el Índice de Sostenibilidad Alimentaria y el noveno en agricultura sostenible (2016 Food Sustainability Index) y, si bien los porcentajes de desnutrición se han reducido, aún persiste en poblaciones de bajos ingresos así como en indígenas. El 12,5% de la población se encuentra subalimentada. El país muestra una transición nutricional de su población, y presenta problemas de déficit y exceso de peso en todos los grupos de población.

Se han asumido actividades de mitigación y adaptación al cambio climático para enfrentar los retos de la producción agrícola sostenible. Colombia cuenta con capacidades científicas y tecnológicas con trayectoria de larga data a pesar de la reducción actual en el presupuesto de ciencia y tecnología, y hay desarrollos en alternativas de solución para el incremento en la productividad agrícola en los diversos sistemas de cultivo con consideraciones territoriales. Se busca promover el incremento de la oferta agropecuaria para garantizar la seguridad alimentaria, promover las exportaciones agropecuarias y propender por el bienestar de los agricultores. Entre muchas de las iniciativas articuladas se destacan: la "Estrategia Colombia Siembra", la "Misión para la Transformación del Campo Colombiano" y la estrategia de "Crecimiento Verde".

I. Características nacionales

Colombia se localiza en la región noroccidental de América del Sur (**Figura 1**), con una superficie de 2.129.748 km², de los cuales 1.141.748 km² corresponden a su territorio continental y 988.000 km² a su área marítima. De esta última, 658.000 km² se encuentran en el Mar Caribe, y 330.000 km² en el Pacífico. Es la cuarta nación en extensión territorial de América del Sur. Está organizada en 32 departamentos descentralizados y el Distrito Capital Bogotá, sede del Gobierno Nacional. Se encuentra dividida en seis regiones naturales de acuerdo con sus ecosistemas, relieves y climas: Amazónica, Andina, Caribe, Orinoquía, Pacífica y la Insular (Archipiélago de San Andrés y Providencia en el mar Caribe; islas de Malpelo y Gorgona en el Pacífico) (IGAC, 2012). Por esta diver-

sidad, cuenta con abundantes recursos agrícolas y de agua dulce, una biodiversidad excepcional y una gran riqueza en recursos naturales como el níquel, cobre, hierro, carbón, gas natural, petróleo, oro, plata, platino y esmeraldas (OCDE, 2015).

Cerca de 82,5% de la superficie total del país se encuentra por debajo de 1.000 m de altura, con temperaturas promedio por encima de 24°C. En las tierras altas el clima es frío con temperaturas medias entre los 12 y 17° C. Más arriba de las tierras frías en los Andes se encuentran bosques alto Andinos y los páramos. Por encima de 4.000 m, donde las temperaturas son muy bajas, aún persisten algunas zonas glaciares. El país cuenta con alrededor de 42,3 millones de hectáreas (ha) aptas para la producción agropecuaria (DANE, 2015; DNP, 2015a). Por su parte, un análisis de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) para la Estrategia Colombia Siembra del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, 2016) ha establecido que el potencial agropecuario presente asciende a 26,5 millones de hectáreas, de las cuales cerca de 11 millones tienen aptitud agrícola, 6 millones son aptas para el sector pecuario, 4 millones para el sector agroforestal, 3 millones para producción forestal y 2 millones están en cuerpos de agua (MADR, 2016). El sector agrícola ha tenido una gran importancia para la economía colombiana, teniendo en cuenta su contribución al Producto Interno Bruto (PIB), al empleo y a las exportaciones (OCDE, 2015). Según cifras del 3er Censo Nacional Agropecuario (CNA), Colombia contaba para 2015 con 7,1 millones de hectáreas en cultivos. El desarrollo de la actividad agropecuaria se ha logrado a pesar de grandes rezagos sociales y productivos (DANE, 2015). El 74,8% del área (5,3 millones de hectáreas) se dedica a cultivos permanentes, y 16% a cultivos transitorios (1,2 millones de hectáreas). Del total del

área rural, 56,9% (62,8 millones de hectáreas) corresponde a bosques naturales, y 38,3% (42,3 millones de hectáreas) tiene uso agropecuario.

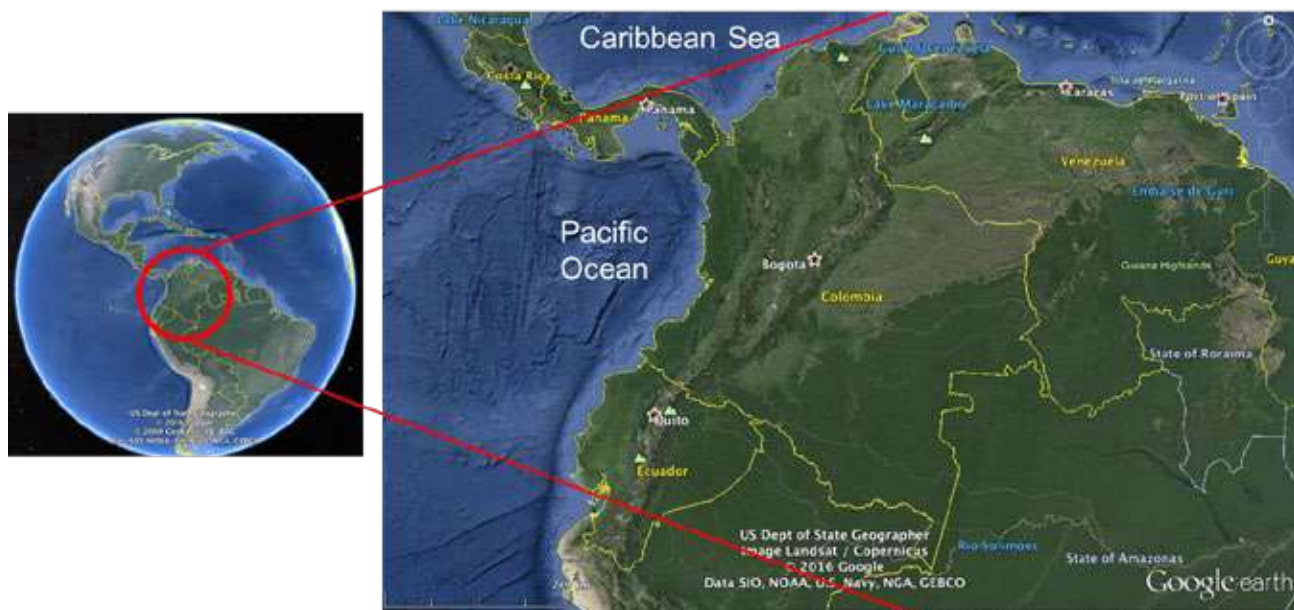
Características demográficas

La población es, en su mayoría, resultado del mestizaje entre europeos, indígenas y africanos, con minorías de indígenas y afrodescendientes. En el Caribe colombiano hay una cantidad importante de descendientes del Medio Oriente (DANE, 2005). Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), a junio 30 de 2015, el país registraba una población de 48.747.708 habitantes. La mayor parte de la población se encuentra en el centro (región Andina) y norte (región Caribe) del país, mientras que al oriente (Llanos Orientales) y sur (Amazonía), se encuentran zonas extensas poco habitadas. El movimiento de población rural hacia áreas urbanas y la migración fuera del país han sido significativos. La principal zona de alto desarrollo en Colombia corresponde a la región Andina en ciudades como Bogotá, Medellín y Cali. Más de 99,2% de los colombianos habla el idioma español, pero también un centenar de lenguas amerindias se hablan en el país. La esperanza de vida es 74,79 años, la mortalidad infantil es de 15,92 por mil, datos que coinciden con lo descrito por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para América Latina y el Caribe. Los elementos motores de la demografía de la región son la disminución de la fertilidad y el aumento de la longevidad. En 2015, la tasa de fertilidad era de 2,15 hijos por mujer (Marczak & Engelke, 2016).

Agricultura

La agricultura se caracteriza por los monocultivos tecnificados por región: caña de azúcar, café, flores, algodón, plátano, banano, sorgo, maíz, arroz,

- [1] **Elizabeth Hodson de Jaramillo** Profesora Emérita de la Facultad de Ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana. Miembro de Número de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, ehodson8@outlook.com
 [2] **Jairo Castaño** Profesor Distinguido de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas. Miembro Correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, jairo.castano_z@ucaldas.edu.co [3] **Germán Poveda** Profesor Titular de la Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas, Medellín, Colombia. Miembro de Número de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, gpoveda@unal.edu.co [4] **Gabriel Roldán** Miembro de Número y Director de Publicaciones de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, grolan@une.net.co [5] **Paul Chavarriaga** Líder de la Plataforma de Transformación Genética del CIAT. Profesor de la Pontificia Universidad Javeriana-Cali, p.chavarriaga@cgiar.org

Figura 1. Localización de Colombia en América

palma africana, papa y yuca, entre otros. Colombia es el mayor productor de café suave en el mundo. El **"Café de Colombia"** es una denominación de origen protegida por la Unión Europea desde el 27 de septiembre de 2007. Esta denominación se da al café 100% arábigo (*Coffea arabica* L.) producido en las regiones cafeteras de Colombia, delimitadas entre la latitud Norte 1° a 11°15', longitud Oeste 72° a 78° y rangos específicos de altitud que pueden superar los 2.000 msnm (Valencia, 2012). El país cuenta con un hato ganadero de 21,4 millones de cabezas, el tercero más grande en América Latina después de Brasil y Argentina. El 66,2% de productores posee menos de 100 ha y 53,8% menos de 50 ha (DANE, 2015).

En gran medida, la seguridad alimentaria y nutricional depende de la producción de cereales en pequeñas parcelas (minifundios) que les permite abastecerse y comerciar en mercados locales. Los cereales más importantes son arroz y maíz. Los cultivos perennes para consumo interno y exportación generan 41% del empleo agroindustrial. Algunos cultivos de alto valor de exportación son el café, el banano, la caña de azúcar y la palma africana. La producción de cacao se ha basado en pequeños productores; Colombia cuenta con un potencial

muy alto para ser un productor importante de cacao a nivel mundial, y hay programas para promover su siembra (Ramírez-Villegas *et al.*, 2012). Cacao y frutales son las cadenas en donde los pequeños y medianos productores tienen gran participación, mientras que en maíz, soya, arroz, palma, caucho y forestales, existe una importante participación de grandes productores que requieren de grandes extensiones cultivadas para el desarrollo rentable y sostenible de los proyectos (MADR, 2016).

La agricultura en Colombia se verá afectada seriamente por el cambio climático, lo que constituye una severa amenaza tanto para la seguridad alimentaria, como para la socioeconomía agrícola. El país ha asumido actividades de mitigación y adaptación a esta amenaza y está promoviendo la articulación de los centros de investigación (nacionales, sectoriales e internacionales), en busca de alternativas para los diferentes sistemas de cultivo y sus características territoriales. Se propone evaluar diferentes germoplasmas en diversas regiones y estudiar su comportamiento frente a condiciones variables (bióticas y abióticas) con el fin de seleccionar aquellos materiales que muestren mejor comportamiento agronómico (Ramírez-Villegas *et al.*, 2012). Los programas de evaluación y selec-

ción de nuevo germoplasma, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Colombia y otros centros de investigación se están apoyando en la utilización de drones. Se han establecido redes temáticas de investigación y experimentación, las cuales se deben continuar fortaleciendo en las diferentes regiones, especialmente en las actuales circunstancias del país (luego de la firma del acuerdo de paz con la guerrilla de las FARC), buscando fortalecer un desarrollo territorial que ofrezca alternativas adecuadas a diferentes sectores sociales y, adicionalmente, incrementar la superficie de cultivos en Colombia (MADR, 2016).

Seguridad alimentaria y nutricional

Colombia ocupa el décimo lugar en el mundo en el Índice de Sostenibilidad Alimentaria (2016 Food Sustainability Index) y el noveno lugar en el mundo en agricultura sostenible según el informe elaborado por The Economist Intelligence Unit (2016) y la BCFN Foundation (<https://www.eiuperspectives.economist.com/sustainability/food-sustainability-index-2016>). Cerca de 13,2% de los niños menores de 5 años en Colombia presenta desnutrición crónica. En general, 42,7% de la población indígena en el país vive en condiciones de inseguridad alimentaria (FAO, 2015a). En 2013, la Comisión Intersectorial de Seguridad Alimentaria y Nutricional (CISAN) de Colombia lanzó oficialmente el Plan Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional 2012–2019, con el objetivo de garantizar que toda la población colombiana disponga, acceda y consuma alimentos de manera permanente y oportuna, en suficiente cantidad, variedad, calidad e inocuidad (OSAN, s/f). Son diversos los factores que inciden en la situación del campo colombiano y representan un enorme reto: la incidencia del conflicto armado, el limitado acceso a bienes y servicios como agua potable, acueducto, alcantarillado y soluciones sanitarias, energía, salud y seguridad alimentaria. El 57,5% de los hogares rurales se encuentra en situación de inseguridad alimentaria, frente a 38,4% de los hogares urbanos (MADR, 2016).

Comercio exterior

El principal producto de exportación de Colombia es el petróleo. También se destacan la industria textil, la alimenticia, la automotriz y la petroquímica, el procesamiento de alimentos, la producción

de café, aceite, bebidas, cemento, oro, carbón, esmeraldas, níquel, flores cortadas, bananos, entre otros (DANE, 2016).

Colombia participa en bajas proporciones del mercado mundial agropecuario, sin embargo, varios estudios han demostrado el potencial del país como protagonista en el incremento de la oferta mundial de alimentos; *"es uno de los cinco países más importantes para ser despensa mundial de alimentos por su ubicación y disponibilidad de tierras"* (FAO & Earthscan, 2011; FAO, 2012; MADR, 2016). El PIB del sector agropecuario colombiano en 2015 fue de 32,9 billones de pesos colombianos (equivalentes a US\$ 11.750 millones), que representan aproximadamente 6,1% del Producto Interno Bruto Nacional. En cuanto al mercado laboral, la población ocupada en áreas rurales es 16,1% del total nacional (MADR, 2016). En la actualidad, los productos agrícolas representan aproximadamente 11% del total de las exportaciones de Colombia, entre las cuales han predominado productos tradicionales como café, flores, banano y plátanos, y azúcar (OCDE, 2015). Las exportaciones del sector agropecuario y agroindustrial (promedios de 2010–2015) muestran un promedio total de 4,2 millones de toneladas (t) por valor promedio total de US\$ 6.734 millones distribuidos así: café 34%, flores y capullos 19%, banano y plátanos 12%, azúcar de caña 6%, artículos de confitería sin cacao 4%, extractos y esencias de café 4%, aceite de palma 3%, ganado en pie 2%, productos de panadería 1%, otros 15% (MADR, 2016). El 40% de las importaciones agropecuarias son lideradas por productos de alta demanda nacional como maíz, trigo y soya. El promedio de importaciones entre 2010 y 2015 fue de 10,1 millones de toneladas por valor promedio de US\$ 5.934 millones. El país presenta una balanza comercial positiva propiciada principalmente por productos tradicionales como el café, banano y flores, que se exportan y cuyos precios externos contribuyen a que el resultado sea de superávit comercial (MADR, 2016).

Retos de la agricultura colombiana

Las tasas de crecimiento anual del valor de la producción agrícola han fluctuado en las últimas dos décadas con una tasa de crecimiento relativamente baja de 1,6% desde 1990 (OCDE, 2015). Los principales obstáculos económicos son la baja

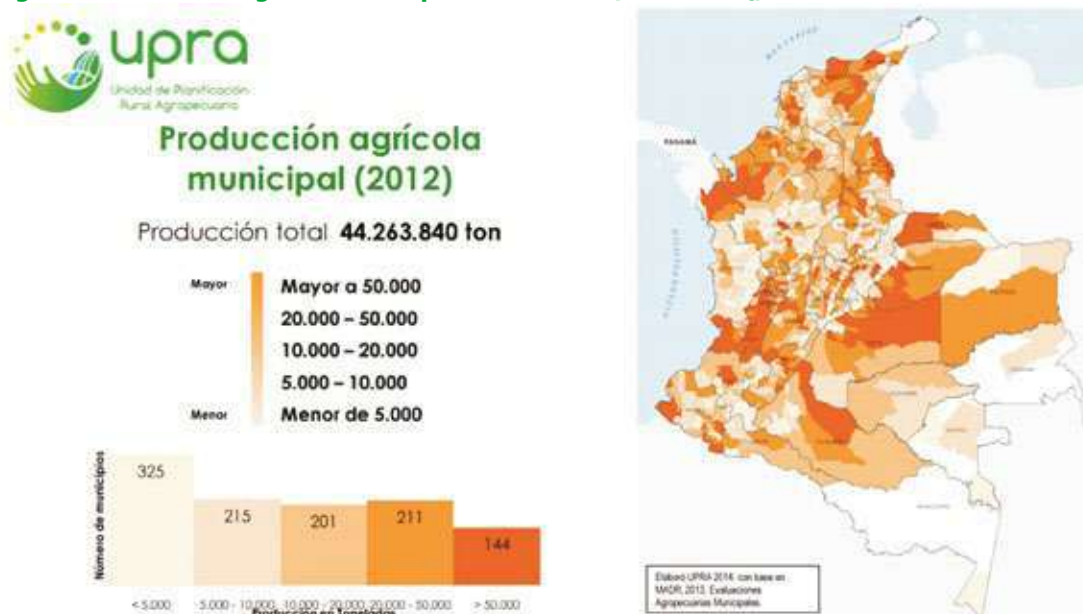
productividad de las unidades productoras, el rezago en infraestructura de transporte y de la producción, transformación y agregación de valor agropecuaria, la baja utilización (por difícil acceso o por bajo interés en los instrumentos dispuestos para el sector) de instrumentos de planeación productiva, la incipiente mitigación de riesgos agroclimáticos y el acceso a tierra productiva, entre otros (MADR, 2016).

Según el Tercer Censo Nacional Agropecuario (DANE, 2015), 69,9% de las Unidades de Producción Agrícola (UPA) tiene menos de 5 ha y corresponde a menos de 5% del área censada. Por otra parte, 0,4% de las UPA tiene 500 ha o más y ocupa 41,1% del área censada. El problema principal radica en la concentración de la propiedad de la tierra. En la **Figura 2** se observa la producción agrícola municipal presentada por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) para 2012, la cual muestra las regiones más productoras del país. Después de 50 años de conflicto armado que ha limitado el desarrollo del sector agrícola en el país, y a partir de la firma del acuerdo de paz a final de 2016, se espera que se expanda el área agrícola, con perspectivas importantes para el desarrollo rural en las zonas que eran ocupadas por la guerrilla, y los agronegocios tienen gran po-

tencial para promover el rápido crecimiento y la reestructuración de la agricultura. Los principales retos del sector agropecuario, fundamentales para su crecimiento, son: la reducción de los precios de la energía para cumplir con la producción; el mejor aprovechamiento del potencial agrícola y agroindustrial de sus tierras (solo emplea 24% de sus 22 millones de hectáreas aptas); oportunidades de desarrollo mejorando condiciones socioeconómicas en las zonas rurales; acceso a los servicios financieros; y manejo conveniente de la devaluación del peso colombiano (ASOBANCARIA, 2016).

Muchos de los problemas asociados con la agricultura y la producción de alimentos en Colombia tienen origen en un conjunto de factores resumidos recientemente por la "Misión para la Transformación del Campo Colombiano" (MTCC) (DNP, 2015b). El resumen de esta Misión se encuentra en el Recuadro 2 de la Sección VII del presente capítulo "Políticas relacionadas con Seguridad Alimentaria y Nutricional". El diagnóstico indica que en Colombia: i. persiste conflicto en el uso de la tierra, ii. se presenta alta concentración e informalidad de la propiedad, iii. en muchas zonas el uso del suelo no corresponde con su aptitud, iv. hay desprotección y mala regulación de los recursos naturales, v. se ha dado un desarrollo asimétri-

Figura 2. Producción Agrícola Municipal en Colombia (UPRA, 2014)



co entre el campo y la ciudad, vi. existen grandes desigualdades al interior del sector rural, vii. en los últimos 15 años la pobreza se ha reducido pero las brechas urbano-rurales han aumentado, viii. se encuentra algún avance en inclusión social, pero no en inclusión productiva, ix. la población dispersa en el sector rural es más pobre que en las cabeceras municipales, x. la brecha es más alta en las grandes ciudades. Además, existen serios problemas en relación con la provisión de servicios sociales en el campo en educación y en salud, así como un sistema de seguridad social casi inexistente para la población rural. Se considera que el bajo dinamismo del sector agropecuario en Colombia también tiene que ver con fuertes desarreglos institucionales, así como con deficientes instrumentos de política y un presupuesto muy inestable del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. En la sección Políticas Relacionadas con Seguridad Alimentaria y Nutricional, se sintetizan las principales recomendaciones de la MTCC en relación con políticas públicas e instrumentos de toma de decisiones de inversión pública para el desarrollo rural y agropecuario en los próximos 20 años, que ayudarán a transformar el campo colombiano.

II. Contexto Institucional

Sistemas de Investigación Agrícola Nacionales

Numerosos centros de investigación adscritos a los Ministerios de Agricultura y de Ambiente o gremiales, así como grupos en universidades y el sector privado, se encuentran formulando e implementando proyectos de investigación y desarrollo enfocados al mejoramiento de la eficiencia productiva en el sector agroindustrial, y en busca de sistemas productivos resilientes, con sostenibilidad ambiental, social y económica, y con adaptación al cambio climático, los cuales involucran consideraciones ambientales, sociales y económicas. En diversos sectores hay avances importantes y, con el apoyo de las políticas gubernamentales, se están fortaleciendo los vínculos entre el sector académico y el investigativo como se describe a continuación.

El **Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural** (MADR), como rector de la política agropecuaria y

de desarrollo rural, tiene como objetivos promover el desarrollo rural con enfoque territorial y el fortalecimiento de la productividad y la competitividad de los productos agropecuarios, así como propiciar la articulación de las acciones institucionales en el medio rural de manera focalizada y sistemática, bajo principios de competitividad, equidad, sostenibilidad, multisectorialidad y descentralización, para el desarrollo socioeconómico del país (MADR, 2016). Para cumplir con estos objetivos, cuenta con siete entidades adscritas: Agencia de Desarrollo Rural, Agencia Nacional de Tierras, Agencia de Renovación del Territorio, Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Unidad de Planificación Rural Agraria (UPRA), Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP) y la Unidad de Restitución de Tierras. Asimismo, tiene cinco entidades vinculadas: Banco Agrario de Colombia, Finagro, Corabastos, Vecol y la Bolsa Mercantil de Colombia; y dos Corporaciones de Participación Mixta: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) y Corporación Colombia Internacional (CCI).

La investigación agrícola en Colombia por parte de las instituciones del Gobierno se focaliza a través de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -CORPOICA- (<http://www.corpoica.org.co/menu/qhc/>), la cual tiene como objetivo ejecutar actividades de investigación y desarrollo tecnológico para transferir procesos de innovación al sector agropecuario con el fin de mejorar la productividad y la competitividad. Cuenta con trece centros regionales de investigación distribuidos por todo el país y ofrece asesoría tecnológica amplia en cultivos permanentes, cultivos transitorios y agroindustriales en diversidad de especies, así como en ganadería y especies animales menores.

Institutos del Sistema Nacional Ambiental

Entre los principales actores de los desarrollos y aplicaciones sostenibles con base en la biodiversidad en Colombia, se encuentran los Institutos de Investigación adscritos y vinculados al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), cuya función es proponer desarrollos tecnológicos sostenibles con el fin de generar productos que incorporen conocimiento y valor agregado con base en los recursos naturales renovables (**Tabla 1**).

Centros de Investigación y Universidades

Los gremios de la producción agrícola desde 1938 iniciaron la creación de sus propios Centros de Investigación Agrícola denominados CENI, financiados por el sector privado y centrados en cultivos empresariales, a saber: Ceniagua (camarón de cultivo y otros), Cenibanano (banano y plátano), Cenicafé (café), Cenicaña (caña de azúcar), Cenicel (cereales y leguminosas), Ceniflores (floricultura), Cenipalma (palma de aceite) y CONIF (agroforestales). Los CENI están vinculados a sectores productivos que, en conjunto, ocupan el trabajo de 4.684.000 colombianos, cuya labor en 1,4 millones de hectáreas genera una producción global anual que atiende la demanda nacional por los distintos productos y permite exportaciones anuales por valor de 4.448 millones de dólares. La producción de los distintos bienes está distribuida en casi toda la geografía nacional. Se agrupan y articulan en una red (CENIREN), con el objetivo de promover el desarrollo científico y tecnológico del sector agropecuario, la utilización de tecnologías sostenibles a través de la investigación participativa, y gestionar, financiar y hacer seguimiento a planes, programas y proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, mediante acuerdos, convenios, contratos y otras modalidades basadas en alianzas estratégicas (<http://www.cenired.org.co/index.php/corporativo-cenired>).

Como complemento muy importante al fortalecimiento de la capacidad investigativa en el sector agrícola en Colombia, se encuentra en Palmira la sede del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) que forma parte del Consorcio CGIAR, una organización internacional integrada por 15 centros miembros comprometidos con la investigación para un futuro con seguridad alimentaria. Diversas instituciones tienen actividades de cooperación técnica y científica, y reciben asesoría o capacitación y entrenamientos técnicos del CIAT.

También se encuentran asociaciones –Centros de Investigación/Consorcios–, la mayoría de las cuales trabajan con tecnologías emergentes y de punta tales como técnicas moleculares, algunas en transformación genética de material de interés agrícola, así como fitoquímica/bioproductos, en control biológico y desarrollo de biofertilizantes. Su principal objetivo es el fortalecimiento empresarial, la puesta a punto de procesos productivos o la oferta de servicios, el escalamiento eficiente y comercialización de productos desarrollados por los grupos de investigación.

Para el fortalecimiento de capacidades, especialmente en lo relacionado con formación de recurso humano y entrenamiento en tecnologías de punta como metagenómica, proteómica, marcadores moleculares y bioinformática, el Organismo Nacional de Ciencia y Tecnología –Departamento

Tabla 1: Institutos de Investigación del Sistema Nacional Ambiental, Colombia

Instituto	Misión / Objetivos
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH)	Promover, coordinar y realizar investigación que contribuya al conocimiento, la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad como un factor de desarrollo y bienestar de la población colombiana.
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis (INVEMAR)	Desarrollar investigación sobre los recursos naturales renovables y el medio ambiente en ecosistemas marinos y costeros.
Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI)	Adelantar investigaciones biológicas y sociales de la región amazónica, con aprovechamiento sostenible de sus recursos. Promueve planes de negocio para adoptar sistemas productivos con buenas prácticas ambientales y sociales en la Región Amazónica y promueve el fortalecimiento de cadenas productivas y de comercialización de productos locales
Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IAP)	Realizar investigaciones sobre el medio ambiente del Litoral Pacífico (conocimientos, innovaciones y prácticas tradicionales, relacionados con la realidad natural, social y etnocultural del Chocó Biogeográfico).
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)	Obtener, analizar, estudiar, procesar y divulgar la información relativa al medio ambiente físico.

Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS)– ha buscado racionalizar el uso de recursos científicos, técnicos, de infraestructura y financieros, impulsando el establecimiento de Centros de Excelencia, los cuales aglutinan y articulan a varias instituciones y grupos de investigación de universidades de todo el país en torno a un tema de interés común con objetivos definidos. Para el caso de desarrollo en investigación, desarrollo e innovación se ha contado con algunos como: Centro Colombiano de Genómica y Bioinformática de Ambientes Extremos (GEBIX), Centro de Bioinformática y Biología Computacional de Colombia (CBBC), Centro de Estudios Interdisciplinarios Básicos y Aplicados (CEIBA), Centro de Investigación y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIEBREG), y Centro Nacional de Investigaciones para la Agro-industrialización de Especies Vegetales Aromáticas Medicinales Tropicales (CENIVAM).

El país cuenta con una buena capacidad de investigación en sus universidades. La mayoría de estas, de trayectoria en Colombia, tanto públicas como privadas, presenta diversos grupos de investigación asociados con las actividades de producción agrícola y seguridad alimentaria en diversos campos que incluyen desde genética convencional, fitopatología, microbiología de suelos, microbiología ambiental, alimentos funcionales, productos naturales, biotecnologías agrícolas y ambientales, biología molecular, genómica, proteómica y metabolómica, transformación genética de organismos por ADN recombinante, edición de genes, bioprospección, bioprocesos, entre otros.

III. Características de los recursos naturales y ecosistemas

Recursos de agua y retos futuros

La localización ecuatorial de Colombia en la esquina noroccidental de América del Sur explica su riqueza en aguas, debido a: (1) la oscilación de la Zona de Convergencia Intertropical, (2) el transporte de humedad por varias corrientes de viento sobre el mar Caribe, el Océano Pacífico y los Llanos Orientales, (3) la lluvia orográfica en las tres cordilleras de los Andes que cruzan el país desde el su-

roeste al noreste, (4) su porción sobre las cuencas hidrográficas de los Ríos Amazonas y Orinoco, y (5) fuertes interacciones suelo-atmósfera (Poveda *et al.*, 2011). La oferta natural de agua varía significativamente en las cinco regiones geográficas del país: (i) Caribe, (ii) Andina, (iii) Pacífica, (iv) Orinoquía, y (v) Amazonía (**Figura 3**). Además, la oferta y disponibilidad de agua está condicionada por la variabilidad hidroclimática en un rango muy amplio de escalas temporales, desde la escala interanual hasta la escala diaria, y por los efectos del cambio climático y la deforestación.

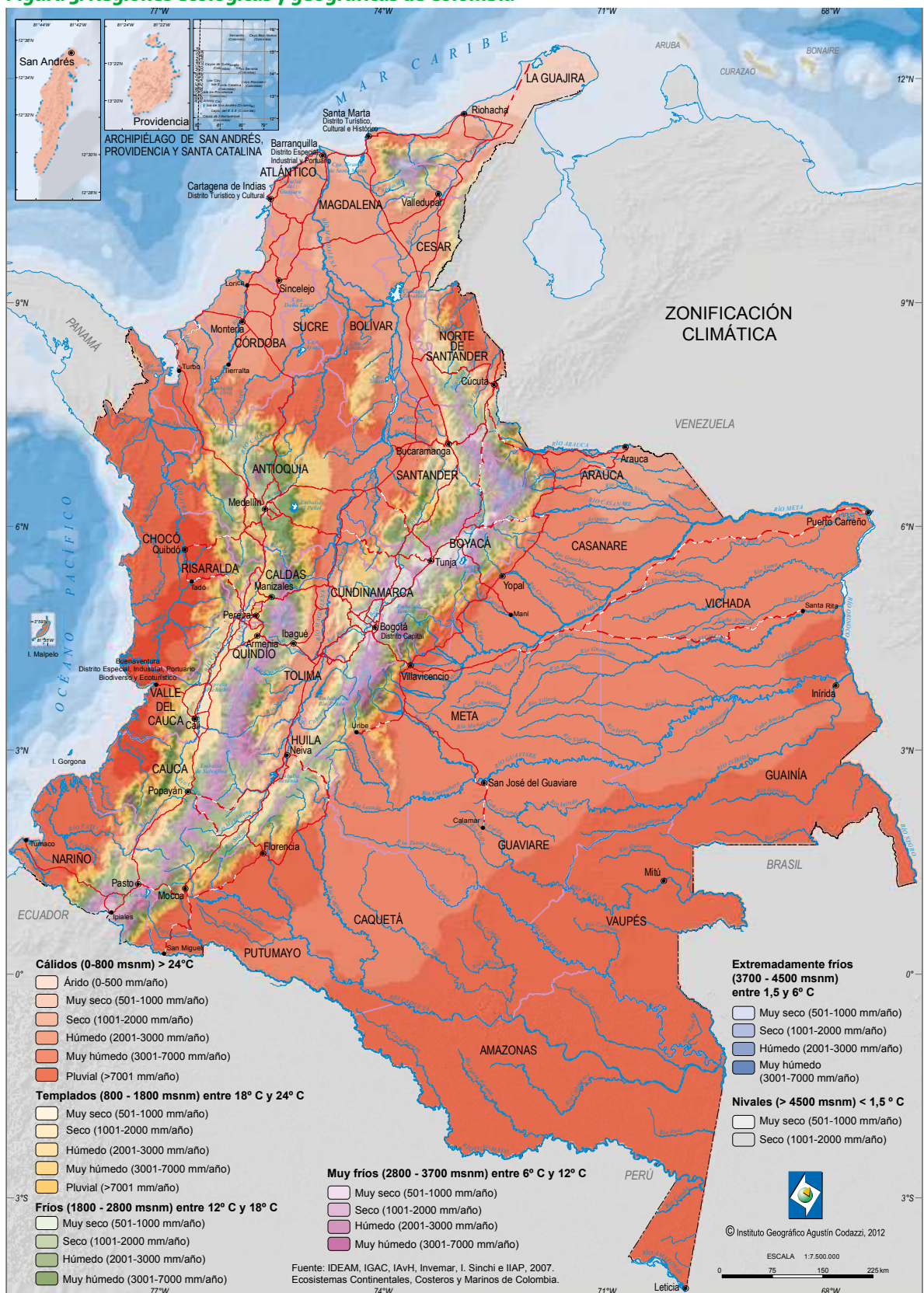
Evidencias de cambio climático en Colombia

Los efectos del cambio climático en Colombia son diversos, incluyendo el aumento en las temperaturas medias y mínimas en un gran número de estaciones; tendencias mezcladas en la precipitación sin un patrón regional claro, excepto en la llanura del Pacífico, en donde se observa una tendencia creciente (Carmona & Poveda, 2014). Se encuentra que de 310 estaciones con registros de precipitación mensual, 71% exhibe tendencias crecientes y, 22%, decrecientes. Los caudales medios y extremos exhiben tendencias negativas en casi todo Colombia (Poveda *et al.*, 2011; Carmona & Poveda, 2014). Se encuentran tendencias positivas en las series de precipitación de Colombia para el período 1975-2006, principalmente en las regiones Pacífica, de la Orinoquía y la cuenca amazónica. El cambio climático también está causando la desaparición y el retroceso acelerado de los glaciares tropicales de Colombia (Rabatel *et al.*, 2013).

Recursos de suelo y retos futuros

Diversos aspectos han impedido el manejo adecuado de los suelos en Colombia, tales como la situación social y política, la inequidad, la pobreza, los enfrentamientos armados y el narcotráfico, y las debilidades de sus sistemas de educación, de investigación y desarrollo tecnológico, causando procesos de degradación y afectación de los diversos y frágiles suelos del país (MADS, 2013a). El 29% de los suelos de Colombia son poco fértiles (ultisoles y oxisoles), y los suelos agrícolas adecuados (andisoles y molisoles) cubren 8,5 millones de hectáreas (7,5%). De los 114 millones de hectáreas del país, 32 millones (28,7%) presentan usos inadecuados por sobreutilización (15%) o por su-

Figura 3. Regiones ecológicas y geográficas de Colombia



butilización (13%); 87 millones de hectáreas deberían ser declaradas áreas de Protección y Conservación (IGAC, 2012). Los procesos de degradación incluyen erosión (48% del territorio), sellamiento, contaminación, pérdida de la materia orgánica, salinización (5%), compactación y desertificación (0,7%), mayormente sobre las regiones Caribe, Andina y Orinoquia, e incipientemente en la Amazonia y la costa del Pacífico (MADS, 2013a). Las zonas degradadas es donde se encuentran los principales centros urbanos (IDEAM-MADS, 2014).

Retos en energía

La principal y más barata fuente de generación de energía en Colombia es la hidroeléctrica, seguida de la termoeléctrica (gas, diésel y carbón). El país

tiene una capacidad instalada efectiva de 14.478 MW, de los cuales 9.836 MW (67,9%) son plantas hidráulicas, 4.566 MW térmicas (31,5%); 57,8 MW de cogeneración y 18 MW eólicos (**Tabla 2**). Actualmente se están construyendo 17 nuevos proyectos hidroeléctricos con una potencia de 3.961 MW, y un costo superior a US\$ 10 mil millones. Con esta nueva energía Colombia alcanzará una capacidad de generación de 18.385 MW para abastecer la demanda pronosticada para 2018 (ACOLGEN; <http://www.acolgen.org.co>).

Biodiversidad, conflictos y retos

Colombia posee el mayor número de especies por unidad de área en el planeta, siendo el segundo país más megadiverso del mundo después de

Recuadro 1. Estudio Nacional del Agua 2014 (IDEAM, 2015a)

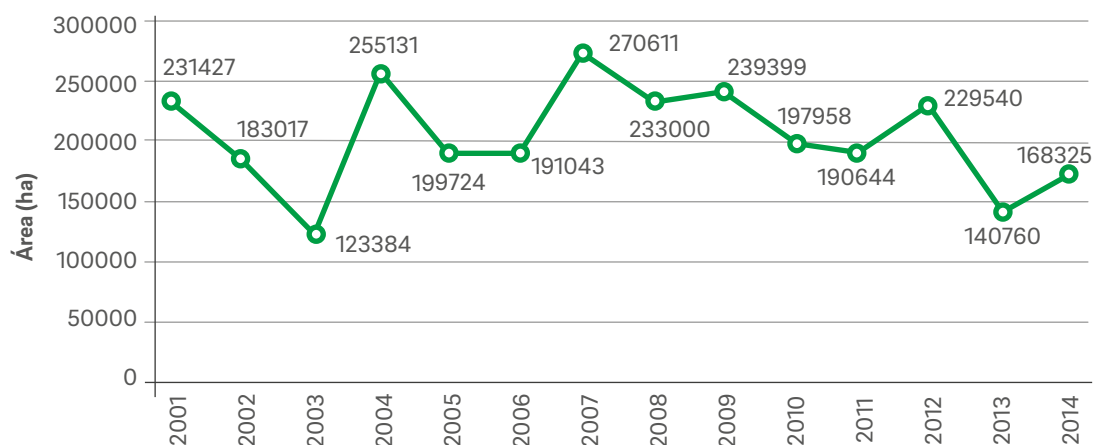
El estudio hace un diagnóstico del estado del agua como recurso y como amenaza en Colombia. Identifica las subzonas hidrográficas y cuencas que se deben priorizar, para mejorar la gestión sobre el recurso hídrico en cuanto a vulnerabilidades, presiones por uso y afectaciones a la calidad. Además, evalúa la Huella Hídrica del país relacionada con la cantidad de agua utilizada para la producción de bienes y servicios. Las principales conclusiones del estudio son:

- Colombia cuenta con un rendimiento hídrico de seis veces el promedio mundial y tres veces el de América Latina; tiene reservas de aguas subterráneas que triplican esta oferta y se distribuyen en 74% del territorio nacional.
- La distribución del agua es desigual para las diferentes áreas hidrográficas. En las del Magdalena-Cauca y Caribe, donde está 80% de la población y produce 80% del PIB Nacional, se produce solo 21% de la oferta total de agua superficial.
- Las condiciones más críticas del recurso hídrico como presión por uso, contaminación, vulnerabilidad al desabastecimiento, vulnerabilidad frente a variabilidad climática y condiciones de regulación, se concentran en las áreas Magdalena-Cauca y Caribe que abarcan 110 municipios con una población de 18 millones de habitantes.
- Diversos indicadores de calidad del agua (cargas contaminantes biodegradables y no biodegradables, nutrientes, metales pesados y mercurio) están muy afectados en cerca de 150 ciudades y municipios, incluyendo a Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Cúcuta, Villavicencio, Manizales y Bucaramanga.
- La materia orgánica biodegradable vertida a los sistemas hídricos en 2012 fue estimada en 756.945 t/año, mientras que la materia orgánica no biodegradable (sustancias químicas), se estimó en 918.670 t/año, siendo Bogotá, Cali, Medellín y Cartagena los principales aportantes. A su vez, 205 t de mercurio son vertidas al suelo y los ríos.
- Más de 300 millones toneladas/año de sedimentos son transportados por los ríos, siendo el mayor aportante el Río Magdalena en la estación de Calamar con 140 millones de toneladas/año.
- Se estima que 318 municipios con 12 millones de habitantes podrían presentar problemas de desabastecimiento en épocas secas.
- Se evidenció una alta dependencia de agua verde en los sectores agrícola y pecuario, lo que hace que estos sectores económicos sean vulnerables al cambio climático.
- Se identificaron 16 Provincias Hidrogeológicas con 61 sistemas acuíferos y una oferta hídrica potencial de aguas subterráneas de 5.848 km³, principalmente localizadas en regiones de alta presión por uso, contaminación, vulnerabilidad al desabastecimiento, a la variabilidad y al cambio climático.
- El total de agua que se demanda en diferentes sectores a nivel nacional, es de 35.987 Mm³. Los sectores de mayor demanda son: agrícola (46,6%), energético (21,5%), pecuario (8,5%) y doméstico (8,2%).
- El agua concesionada anualmente equivale a 1.032 millones de m³. De estos, 498 millones de m³ (48%) corresponden al sector agrícola (450 millones de m³ se extraen en el Valle del Cauca para la industria azucarera), 25% a consumo industrial y 17% al consumo doméstico.

Tabla 2. Capacidad de generación de energía (GWh) prevista para distintos escenarios y las distintas fuentes energéticas, durante el período 2017-2022. Tomada de UPME, 2016

Escenarios	Hidroeléctrica	Fuentes menores + Cogeneración	Líquidos	Gas	Carbón	Eólica	Solar Fotovoltaica	Geotermia + Biomasa
ESC 0.0	980.828	64.997	23	52.398	120.502	62.683	2.221	22.857
ESC 1.0	990.453	64.997	80	74.528	121.655	32.811	795	21.188
ESC 2.0	992.164	64.997	49	75.159	89.584	62.684	685	21.188
ESC 3.0	997.464	64.997	82	86.812	100.198	32.811	1.547	22.589
ESC 4.0	988.101	65.347	35	60.588	107.701	62.683	867	21.188

Fuente: UPME

Figura 4. Serie anual de la pérdida de bosques en Colombia durante el período 2001-2014Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Global Forest Watch <http://www.globalforestwatch.org/>

Brasil. Con una extensión terrestre de 0,7% de la superficie del planeta, alberga alrededor de 10% de la fauna y la flora del mundo (FAO, 2015). Tal biodiversidad es fuente de numerosos servicios ecosistémicos y de sustento y bienestar humano, incluyendo servicios de aprovisionamiento como alimentos, productos forestales maderables y no maderables (pieles, carne y fauna ornamental), recursos genéticos, ingredientes naturales, plantas medicinales, productos farmacéuticos y cosméticos, y agua, entre otros. El V Informe Nacional ante el Convenio de Diversidad Biológica (MADS-PNUD, 2014) identifica los siguientes cinco factores asociados con la pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos: (i). Cambios en el uso del suelo (ganadería, cultivos de uso ilícito, e infraestructura); (ii). Disminución, pérdida o degradación de ecosistemas nativos y agroecosistemas

(agroindustria, minería, generación hidroeléctrica, urbanización y sobreexplotación pesquera); (iii). Invasiones biológicas; (iv). Contaminación y toxificación del agua; y (v) Cambio climático.

Efectos de las tendencias forestales

La deforestación y los cambios en los usos del suelo constituyen algunas de las mayores amenazas al desarrollo sostenible y económico de Colombia. En 2014, el país tenía 8.867 t métricas de carbono almacenadas en su biomasa forestal viva (Hansen *et al.*, 2013), pero en el período 2001-2014 perdió 2.822.693 ha de bosques (**Figura 4**).

Factores como la ampliación de las fronteras agrícola y ganadera, así como la minería, han propiciado la deforestación en Colombia, destruyendo servicios ecosistémicos de los bosques como la regulación de los extremos hidrológicos, el con-

trol de la erosión, la protección contra el calentamiento global por el secuestro de carbono y por evapotranspiración, el albergue de biodiversidad, y el almacenamiento y reciclaje de nutrientes, entre otros.

Impactos de la variabilidad climática sobre la agricultura

Efectos de El Niño

Según el Ministerio de Agricultura, la ocurrencia del fenómeno de El Niño reduce el rendimiento agrícola de Colombia. Los cultivos más afectados históricamente han sido fique, yuca, palma africana, cebada, arroz, café y papa, así como la producción de leche que disminuye. El Niño 2015-2016 ocasionó una disminución de 20% en el rendimiento agrícola de Colombia y duplicó la mortalidad en el sector pecuario. Los cultivos de ciclo corto fueron los que más disminuyeron su producción (3,4%), mientras que los de ciclo largo aumentaron 2,5%. Los cereales, las frutas se vieron afectados por las heladas, aumentando los costos de producción, al igual que la papa, la leche y el arroz. Hubo más de 600 mil ha cafeteras afectadas por la intensa ola de calor. El Niño también causa altos impactos en plagas y enfermedades en la agricultura (IICA, 2015; OIRSA, 2014).

Efectos de La Niña en el sector agropecuario

Las intensas precipitaciones que ocurren en Colombia durante La Niña causan inundaciones, deslizamientos y erosión. El evento La Niña 2010-2011 causó pérdidas económicas de 11,2 billones de pesos por daños en infraestructura, cultivos agrícolas y ganadería, transporte, minería y turismo. Los efectos de la variabilidad climática y del cambio climático sobre las comunidades rurales dedicadas al cultivo del café en Colombia se reportan en Poveda *et al.* (2017).

Impactos potenciales del cambio climático

Diversos estudios indican que el cambio climático impactará negativamente la economía colombiana. El estudio de Burke *et al.* (2015) predice para Colombia una disminución de 77% en el PIB per cápita entre 2015 y 2100, debido al cambio climático. El estudio de DNP-BID (2014), aunque con diversas limitaciones, utiliza los resultados de di-

versos modelos y escenarios de cambio climático, y encuentra que el sector agrícola tendría las mayores pérdidas debido a reducciones en rendimientos por hectárea, ocasionadas, entre otros factores, por la disminución del rango climático, los cuales se resumen en la **Tabla 3**.

El trabajo de Ramírez-Villegas *et al.* (2012) estudia los posibles impactos del cambio climático en la agricultura colombiana, plantea retos que afectarían los principales cultivos y regiones, y sugiere acciones de adaptación. Allí se plantea que para 2050 el cambio climático en Colombia impactará a cerca de 3,5 millones de personas, afectando 14% del PIB correspondiente a agricultura, el empleo, las agroindustrias, cadenas de suministro, así como la seguridad alimentaria y nutricional. Si no se toman medidas de adaptación, la mayoría de cultivos y de regiones cultivadas presentarán impactos negativos, tales como mayor frecuencia de inundaciones, cambios en la prevalencia y presencia de plagas y enfermedades, aumentando la vulnerabilidad de los pequeños agricultores (Ramírez-Villegas *et al.*, 2012).

Estableciendo resiliencia a eventos extremos

El Departamento Nacional de Planeación de Colombia coordina, con apoyo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PN-ACC), el cual tiene por objeto reducir el riesgo y los impactos socio-económicos asociados con la variabilidad y al cambio climático en Colombia, y en particular: i. Generar un mayor conocimiento sobre los potenciales riesgos y oportunidades; e incorporar gestión del riesgo climático en la planificación del desarrollo sectorial y territorial; y ii. Disminuir la vulnerabilidad de los sistemas socio-económicos y ecológicos ante eventos climáticos. Debido a la limitada investigación científica sobre cambio y variabilidad climática en Colombia, se propone que en América Latina se discuta públicamente ante la sociedad y los gobiernos sobre la gravedad de las diversas amenazas y efectos sociales, ambientales, ecológicos y económicos del cambio climático. Se sugiere que la discusión se concentre en los siguientes temas fundamentales:

- ¿Cuáles son las preguntas científicas fundamentales que plantea el cambio climático y la deforestación sobre los ecosistemas? ¿Cuán-

les serán los más probables efectos sobre la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos (sequías e inundaciones) en las distintas regiones de América Latina? ¿Cómo impactarán a la sociedad y a los diferentes sectores?

- ¿Cuánto carbono almacenan los distintos ecosistemas de América Latina, desde los desiertos hasta los páramos, pasando por los bosques secos, los bosques húmedos de montaña, los bosques húmedos tropicales, las sabanas de los valles interandinos, la Amazonia y las demás regiones y ecosistemas del subcontinente?
- ¿Cuáles son las tasas de evapotranspiración de esos ecosistemas? La evapotranspiración provee un servicio ecosistémico ignorado hasta ahora (enfriamiento y refrigeración, contrarrestando los efectos del calentamiento global). Ese servicio ecosistémico debe ser medido y valorado en forma separada del almacenamiento de carbono.
- ¿Cuáles serán los más probables impactos del cambio climático sobre la salud humana, sobre la disponibilidad de agua y la producción de alimentos, sobre la generación de energía eléctrica y otros sectores?
- ¿De qué orden (económico, financiero, social y ambiental) son las decisiones que la región debe tomar para hacer frente a las consecuencias del cambio climático y la deforestación? ¿De qué orden son las inversiones en ciencia y tecnología para enfrentar este problema? ¿Cómo se va a hacer frente a tal disparidad?
- ¿Cuál es el presupuesto de las entidades encargadas en financiar la investigación científica en los países de la región (COLCIENCIAS), así como de los Ministerios, de los gobiernos

Tabla 3. Cambios porcentuales en la productividad agrícola de Colombia para diversas épocas y escenarios de cambio climático, con respecto al periodo 2000-2010

	2040*	2070**	2100***	Promedio
Nacional				
A2	-6,7	-5,8	-4,4	-5,6
B2	-5,2	-5,5	-5,2	-5,3
A1B	-10,2	-11,4	-12,4	-11,3
Promedio	-7,4	-7,6	-7,3	-7,4
Maíz tecnificado				
A2	-22,9	-21,8	-22,8	
B2	-21,9	-22,2	-22,8	
A1B	-24,1	-21,9	-19,3	
Promedio	-23,0	-22,0	-21,6	
Papa				
A2	-15,7	-14,1	-9,1	
B2	-12,3	-12,8	-10,7	
A1B	-19,4	-20,0	-19,3	
Promedio	-15,8	-15,6	13,0	
Arroz de riego				
A2	2,3	2,7	2,1	
B2	2,6	2,4	1,8	
A1B	-1,6	-3,9	-6,6	
Promedio	1,1	0,4	-0,9	

Fuente: Tomada de DNP-BID (2014). * Promedio 2011-2040; ** Promedio 2041-2070; *** Promedio 2071-2100

regionales y municipales para apoyar investigaciones científicas básicas y aplicadas sobre el tema del cambio climático y la deforestación, y de todas sus consecuencias en América Latina?

IV. Tecnología e Innovación

Papel de las biotecnologías

La biotecnología representa una de las áreas de mayor potencial para la economía colombiana. Es claro que los incontables avances biotecnológicos en diversos sectores de la economía, adicional a sus múltiples aplicaciones en la salud humana y animal, ofrecen innumerables alternativas para atender los requerimientos de seguridad alimentaria y nutricional, y de intensificación sostenible de la producción agrícola, así como para enfrentar los retos que presenta la adaptación de cultivos al cambio climático. Campos complementarios son la producción de bioinsumos (biofertilizantes y bioplaguicidas), los sistemas de biodegradación de residuos de la industria agroalimentaria y la biorremediación (FAO, 2016a). La biotecnología, integrada adecuadamente a otras tecnologías y sistemas productivos agrícolas y de alimentos, ofrece un poderoso conjunto de herramientas para el mejoramiento y producción de cultivos, y tiene la posibilidad de procurar beneficios significativos tanto al consumidor como al ambiente; igualmente puede revolucionar las estrategias necesarias para conservar la biodiversidad.

En agrobiotecnologías, Colombia, adicionalmente a sus propios desarrollos –en bioinsumos, mejoramiento de cultivos por técnicas moleculares y biotecnología ambiental–, ha sido actor importante en la adopción de los cultivos biotecnológicos –genéticamente modificados (GM)–. Inició el cultivo de claveles GM en 2002 y actualmente es uno de los 28 países en el mundo que siembran más de 100.000 ha de cultivos GM al año (James, 2015). Para 2015 se cultivó en el país un total de 101.131 ha distribuidas en maíz (85.251 ha), algodón (15.868 ha) y ornamentales –claveles y rosas azules– (12 ha), que se cultivan en 22 de los 32 departamentos del país (datos del Instituto Colombiano Agropecuario -ICA-). A 2015, en el país,

24% de los cultivos de maíz y 77% de los de algodón son transgénicos (FENALCE, <http://fenalce.org/nueva/index.php>; CONALGODÓN, <http://conalgodon.com/>). Las ventajas que se han evidenciado para su adopción incluyen, entre otros, efectos benéficos ambientales, por reducción en el uso de plaguicidas, en rendimientos y en ingresos por mejor calidad de las cosechas al reducir el ataque de insectos (James, 2015).

En el desarrollo de sus funciones, CORPOICA ha obtenido resultados en investigación y soluciones tecnológicas, en las áreas vegetal y animal. Adelanta investigaciones en biotecnología e ingeniería genética, manejo integrado de aguas y suelos, fijación natural de nutrientes, manejo de plagas y enfermedades y avances en agricultura limpia, con reducción de plaguicidas y de fertilizantes de origen químico. En investigación agrícola y pecuaria, el trabajo de CORPOICA se centra en el aprovechamiento de los recursos genéticos propios del país, que custodia en sus bancos de germoplasma. En estos, entre otros cultivos, se conserva la colección colombiana de musáceas (plátanos) y, en semillas de papa, tiene la segunda más importante del mundo después de la que tiene el Centro Internacional de la Papa (CIP), en Perú. Aprovechando el material genético con que cuenta (22.700 semillas de diferentes tipos), se han puesto en el mercado 50 variedades nuevas de semillas de maíz, soya, algodón, papa, frijol, yuca, lulo y papaya, entre otras, logradas por métodos convencionales de cruzamiento. CORPOICA pone a disposición de los agricultores materiales seleccionados o mejorados en cultivos como caña de azúcar, cacao, maíz, berenjena, sorgo y soya. Ha desarrollado seis productos (bioinsumos) tales como biofertilizantes (Rhizobiol para soya, Monibac para algodón), o bioplaguicidas (Baculovirus para control de polilla guatemalteca, *Tecia solanivora* en papa o *Lecanicillium (Verticillium) lecanii* para prevenir y controlar el ataque de la mosca blanca). Asimismo, proporciona servicios de análisis de suelos, alimentos, nutricionales y control de calidad de los insumos. Bajo el enfoque de una agricultura climáticamente inteligente, trabaja en Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática (MAPA) para el desarrollo de capacidades para adaptación al cambio climático (<http://www.corpoica.org/>). El banco de germoplasma animal

(semen) guarda 19 mil pajillas de ejemplares de las siete razas bovinas criollas colombianas, de las que se han identificado algunos genes de interés para mejoramiento, como los que confieren tolerancia a la brucelosis en el ganado de la raza criolla Blanco orejinegro.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), con sede en Colombia, se destaca por sus investigaciones en arroz, yuca, frijol, forrajes tropicales y recursos genéticos y promueve la agricultura eco-eficiente (<https://ciat.cgiar.org/>). Es así como más de 90 variedades mejoradas en cuatro cultivos básicos (arroz, yuca, frijol y forrajes) han contribuido a fortalecer la seguridad alimentaria en Colombia y a incrementar los ingresos de las familias campesinas. Como innovación tecnológica para sus programas de mejoramiento, el CIAT está utilizando drones para el monitoreo de cultivos de arroz y de yuca en busca de detectar patrones de eficiencia en el uso de nitrógeno y de eficiencia en el uso de agua (tolerancia a sequía). Los drones también han mostrado ser útiles para los científicos en la evaluación de comportamiento en campo de rasgos específicos, de manera tal que permiten economizar y reducir el tiempo de las investigaciones para el desarrollo de variedades que toleren ambientes de estrés biótico o abiótico (FAO, 2016b; Global Harvest Initiative, 2016). Para presentar alternativas a los retos actuales, una asociación entre el CIAT y el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) promete impulsar la resiliencia al cambio climático y mejorar los medios de vida de miles de pequeños agricultores en todo el mundo. La agricultura de pequeña escala, especialmente en zonas tropicales, debe volverse más robusta, resiliente, eficiente y sostenible, de manera que pueda satisfacer la demanda cada vez mayor de alimentos y recursos, ofreciendo a su vez caminos rentables para salir de la pobreza. Adicionalmente, el CIAT lidera la investigación en edición de genomas en arroz en América Latina para eliminar marcadores de selección de líneas transgénicas con incremento de hierro y zinc en el grano, para validar genes candidatos a resistencia al virus de la hoja blanca (RHBV), para producción de semilla híbrida o para validar genes que determinan el número de flores en la panícula y número de granos por planta (Li *et al.*, 2016). Este esfuerzo se hace en colaboración con instituciones extranjeras

(p.e., NIAS del Japón, y la Universidad de Adelaida en Australia), y propende por la colaboración de la empresa privada nacional, las universidades locales y los Centros Nacionales de Investigación. Siguiendo el ejemplo de lo que se ha logrado con el maíz Waxy, editado con CRISPR/Cas9, que no sería regulado en USA (Waltz 2016), en yuca se trabaja en la conversión del almidón común al tipo Ceroso o Waxy, de alto valor comercial en variedades colombianas y asiáticas, y en el desarrollo de tolerancia no-transgénica a herbicidas. En frijol desarrollan metodologías de transformación genética para “desactivar” genes anti-nutricionales en el grano usando CRISPR/Cas9.

Los CENI por su parte, focalizan sus investigaciones en busca de soluciones técnicas e innovación para dar mayor competitividad, eficiencia, rendimiento y resiliencia a los cultivos de su interés en actividades tales como selección y propagación de material seleccionado, fitomejoramiento por diversos sistemas incluyendo transgénesis (para mayor rendimiento, adaptabilidad al cambio climático, tolerancias a plagas y enfermedades), desarrollo de bioinsumos (biofertilizantes, bioplaguicidas), complementado con evaluación de modelos agroempresariales competitivos y sostenibles, así como capacitación en técnicas específicas. Los CENI tienen estrecho contacto y cooperan en distintos proyectos con varias entidades en diferentes países: CENICANÑA es uno de los primeros miembros del Consorcio Internacional de Biotecnología de la Caña de Azúcar. CENIACUA trabaja con Akvaforsk de Noruega, líder mundial en mejoramiento genético de especies acuáticas. CENICAFÉ mantiene estrechos vínculos con la Universidad de Cornell, entidad con la que se trabaja en Biología Molecular, con la Universidad de Maryland y el IRD de Francia, entre otros.

Prospectos para la obtención de nuevos productos

En el país hay más de 150 firmas de base biotecnológica distribuidas en distintos sectores: en el agrícola 38%, en el de alimentos y bebidas alcohólicas 33%, en biocombustibles 8% que se encuentra creciendo, en el farmacéutico 5%, y las universidades y Centros de Investigación han iniciado la creación de empresas con 16% (Narváez, 2015).

Algunos ejemplos de desarrollos incluyen los del Instituto de Biotecnología de la Universi-

dad Nacional de Colombia, con la producción de bioinsecticidas formulados con especies nativas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) para el control biológico de plagas que atacan los cultivos de algodón, arroz, maíz, sorgo y papa. Dentro del programa de fitomejoramiento de cultivos están a disposición de los agricultores seis variedades de papa libres de virus y semillas sanas de ñame y de caucho. En proceso de desarrollo están plantas transgénicas de papa criolla y de la variedad R12, de gran aceptación en la agroindustria. Ejemplo adicional entre muchos otros es la Corporación BIOTEC, que enfoca sus investigaciones en producción de material de propagación (clones) de uva Isabela y guanábano. BIOTEC también desarrolló un biofungicida, formulado con el hongo *Trichoderma harzianum* Rifai, para el control de *Botrytis* spp. P. Mich. ex. Pers., que ataca a la vid (<http://corporacionbiotec.org/index.html>).

En biotecnología, hay diversos campos de aplicación con buenos desarrollos y alta capacidad científica y tecnológica, como es el caso del sector de cosmética y aseo y absorbentes, fitoterapéuticos y complementos nutricionales, así como en el sector de bioinsumos. En relación con el sector de bioinsumos, en el ICA aparecen registrados más de 191 productos –la mayoría bioplaguicidas (agentes de control biológico) o biofertilizantes (inoculantes para fijación de N)–, y se encuentran registradas 122 empresas como productoras o importadoras de bioinsumos para el sector agrícola.

De las nuevas tecnologías de mejoramiento a la edición de genomas. Un ejemplo de alternativa para mejorar el rendimiento y la calidad nutricional del arroz

La Federación Nacional de Arroceros (FE-DEARROZ) estimó que en el año 2015 cada colombiano de la zona urbana consumió 36,4 kilos de arroz, y en la zona rural el consumo ascendió a 44,2 kilos (www.fedearroz.com.co). Comparativamente, el consumo per cápita de papa en 2014 fue de 63 kilos, indicando que el arroz es un renglón importante en la dieta de los colombianos. En 2015 más de 280 mil t de arroz blanco se importaron en Colombia para suplir la demanda nacional, indicando un déficit en la producción nacional. La edición de genomas es una de las denominadas Nuevas Técnicas de Mejoramiento (NBT)

(por sus iniciales en inglés, New Breeding Techniques) que ofrece la posibilidad de aumentar considerablemente el rendimiento del arroz a través de la edición de genes que influyen en el número de granos, el tipo de macollas (vegetativas o sexuales) y en el tamaño de los granos y de la panícula (Li *et al.*, 2016). En el caso del número de granos se trata de un gen llamado Gn1a que aumenta el número de flores (Ashikari *et al.*, 2005), resultando en la duplicación del número de granos en la panícula. La tecnología es fácilmente transferible a las variedades colombianas de arroz seco o de riego. El sistema para editar genes de arroz se usa en el CIAT y produce líneas mutantes que podrían ser consideradas variedades convencionales para propósitos de regulación, distribución y consumo.

El arroz es el cereal que más se consume en el mundo. La contaminación por cadmio (Cd) en el arroz en China se hizo pública en 2013 (<https://rendezvous.blogs.nytimes.com/2013/05/20/cadmium-rice-is-chinas-latest-food-scandal/>), especialmente en la provincia de Hunan donde los cultivos de arroz coexisten con operaciones artesanales de minería que contaminan los arrozales con Cd y otros metales pesados. Sin embargo, el principal contribuyente a la contaminación por Cd en suelos agrícolas en todo el mundo son los fertilizantes fosfatados contaminados con Cd (Järup & Akesson, 2009; Polle & Schutzendubel, 2003). En Colombia no existen datos sobre los niveles de contaminación por Cd en los arrozales, pero sí hay evidencia de que este metal pesado, cancerígeno, se puede acumular en niveles indeseables en el arroz, el frijol y las lentejas (Méndez-Fajardo *et al.*, 2005). Por lo tanto, garantizar la seguridad alimentaria en Colombia no sólo implica mantener los rendimientos de cultivos (y otros alimentos) en niveles que satisfagan la demanda de una población creciente, sino que también implica mantener la calidad nutricional de dichos alimentos. Afortunadamente existe evidencia de que la mutación de un solo gen (OsNRAMP5) en el arroz resulta en niveles de Cd indetectables en la planta y en el grano (Ishikawa *et al.*, 2012). Aquí, nuevamente, las NBT jugarían un papel decisivo en la producción de variedades colombianas de arroz, editadas genéticamente, con acumulación nula de Cd. Esta tecnología está siendo aplicada para mejorar varios cultivos (Khatodia *et al.*, 2016), y evidentemente

podría usarse en frijol, lenteja y cacao para reducir la acumulación de Cd si se cumplen al menos tres requisitos: el sistema de absorción de Cd es similar al de arroz, el número de genes involucrados es mínimo (1 ó 2) y existe un sistema *in vitro* que permita editar y regenerar células.

Desarrollo de recursos marinos

En sus zonas costeras, marítimas e insulares, Colombia posee ecosistemas estratégicos como las zonas de manglares (378.938 ha) y los arrecifes coralinos (300.000 ha), y cuenta con recursos que proveen bienes y servicios ambientales que pueden ser una base para desarrollar importantes actividades económicas. El territorio marítimo se encuentra subutilizado y no se ha integrado adecuadamente al desarrollo del país. Para atender esta situación, se adelantan actividades como la participación en la Red de información y datos del Pacífico Sur para el apoyo a la Gestión Integrada del Área Costera (SPINCAM), proyecto promovido por la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). El objetivo es establecer Indicadores para el Manejo Integrado de Áreas Costeras (MIZC) en cada país de la región del Pacífico Sureste (Chile, Colombia, Ecuador, Panamá y Perú), enfocado a las condiciones ambientales, socioeconómicas y de gobernabilidad en el contexto de desarrollo sostenible y manejo integrado del área costera (INVEVAR, MADS y DIMAR-CCCP, 2011). Por su parte, el Instituto de Investigaciones Marinas (INVEVAR) implementa un Programa de I&D sobre Valoración y Aprovechamiento de Recursos Marinos Vivos (<http://www.invevar.org.co/web/guest/descripcion-var>), a través del cual genera propuestas de sistemas de uso sostenible de los recursos vivos y de los ecosistemas marinos y costeros, y el desarrollo de tecnologías de producción limpia, buscando contribuir a la toma de decisiones, formulación de políticas y potenciar el desarrollo económico sostenible de la biodiversidad.

Los ecosistemas que dan soporte a los recursos pesqueros en Colombia se encuentran dispersos y poco caracterizados, aunque se han identificado como ecosistemas de importancia para la actividad los manglares, los arrecifes de coral y los humedales. En relación con la pesca, Colombia se ubicó en 2012 en el puesto 81 en capturas y en el 72 en acuicultura, entre los 229 países que informa la

FAO. Esto significa una baja producción que representa solo 1% de países como Perú. El aporte de la pesca al PIB presentó una tendencia decreciente para el período 2004-2012. Mientras en 2004 representó 0,22%, para 2012 su contribución había caído a 0,17%. Las exportaciones, que hasta 2011 superaban en valor FOB, fueron alcanzadas por las importaciones en 2012 y ampliamente superadas por las mismas en 2013. El principal producto de exportación es la tilapia. Colombia ocupa un lugar destacado a nivel mundial en la exportación de peces ornamentales (FAO-MADR, 2015).

V. Incremento en la eficiencia de los sistemas alimentarios

Perspectivas para incrementos en producción agrícola basados en tecnología

Global Harvest Initiative calculó en 2010 que la productividad agrícola debería incrementar mínimo 1,75% cada año para cubrir los requerimientos mundiales de alimentación para 2050. El desarrollo e implementación de políticas, de prácticas y de tecnologías adecuadas conducen a mejorar la seguridad alimentaria y nutricional a nivel global, aceleran la productividad, reducen las pérdidas y desechos, facilitan la conservación de recursos naturales y contribuyen a la mitigación del cambio climático. Se enfatiza en mayores rendimientos, acceso a alimentos nutritivos, incremento de ingresos para los productores y el fortalecimiento de la productividad, la competitividad y la resiliencia para los productores (Global Harvest Initiative, 2016). El incremento en el Factor Total de Productividad (TFP, Total Factor Productivity) de cultivos, se logra con la incorporación de conocimiento y prácticas culturales adecuadas, mediante adopción de variedades de semillas con innovaciones tecnológicas como mayor rendimiento, tolerancia/resistencia a factores bióticos como plagas y enfermedades o a factores abióticos como sequía o inundaciones o el uso de bioinsumos. CORPOICA y los CENI vienen incorporando prácticas y tecnologías a diversos cultivos, según se mencionó previamente. El sector creciente de bio-innovación en Colombia incluye agricultura de precisión, el uso dirigido y puntual de microorganismos (hongos y

bacterias) que permiten generar mayores rendimientos ya sea como biofertilizantes, o mediante la protección de las plantas contra enfermedades o condiciones extremas de humedad (Hodson & Díaz, 2013).

En relación con el potencial de las tecnologías de edición de genes para fitomejoramiento, probablemente uno de los de mayor impacto sea en la calidad nutricional de los productos. Ejemplos simples son: la supresión de genes responsables de compuestos antinutricionales o de alérgenos, y también el incremento de rendimiento en cereales por desactivación de reguladores negativos del número de granos en las panículas, o la creación de tolerancia o resistencia a patógenos al modificar el sitio objetivo de las proteínas bacterianas infectivas. Para los ejemplos mencionados, ya se han publicado prototipos o pruebas de concepto (p.e. para arroz, Li *et al.*, 2012). Investigadores colombianos se encuentran adelantando trabajos en este sentido, aún en fase de desarrollo. Es importante reflexionar sobre la regulación para el uso y liberación de cultivos provenientes de edición génica. En EUA, algunos no son considerados OGM (Organismos Genéticamente Modificados), por ende no regulados, lo cual facilita y reduce el costo de su desarrollo y adopción en países en desarrollo. Esperemos, pues, que este sea el camino a seguir en América Latina y el Caribe (LAC). Son inquietudes serias que deben considerarse porque, en muchos países en desarrollo, la legislación excesiva o la falta de ella han retrasado y obstaculizado el acceso de los pequeños agricultores a los desarrollos tecnológicos que les pueden ser favorables.

Eficiencia y competitividad

El país debe encaminar esfuerzos para lograr ser cada vez más competitivo en los mercados –tanto locales como internacionales–, para generar competencia entre productos de diferentes orígenes y, en el caso colombiano, con los volúmenes altos provenientes de los Estados Unidos de América (MADR, 2016). *“Esta situación solo se puede revertir con una política que aumente la oferta exportable y permita sustituir competitivamente una parte de las cuantiosas importaciones de productos agropecuarios que se han acumulado en el último cuarto de siglo. En ambos casos, los productores*

deben competir con productores de todo el mundo, lo cual reconoce, por otra parte, que los mercados globalizados son una realidad irreversible”. Hay incrementos en la demanda internacional de productos promisorios en los que el país ha logrado acceso preferencial en el marco de los Acuerdos Comerciales, sin embargo, el tamaño de la oferta exportable agropecuaria se convierte en la debilidad estructural más importante del sector y en el principal obstáculo para que Colombia se posicione como uno de los principales proveedores de alimentos en el mundo.

Durante 2015, el PIB agropecuario creció 3,1%, comparado con el mismo periodo de 2014 (un incremento de 0,3 puntos porcentuales por encima del nivel reportado en 2014 de 2,8%). Esto se atribuye al buen comportamiento de la producción cafetera que de enero a septiembre acumuló un alza de 11,5% y de renglones pecuarios como porcicultura (11,8%) y avicultura de carne (6,0%). Sin embargo, descontando el café, se observa que el sector agrícola tuvo un crecimiento de solo 1,1%. El comportamiento negativo de la producción de algunos cultivos, de ciclo corto en su mayoría, está asociado con la reducción de áreas sembradas por los precios bajos en el momento de las siembras y a condiciones climáticas desfavorables causadas por el intenso fenómeno de El Niño, situación que causó pérdidas en siembras, disminución en rendimientos por hectárea y baja calidad en los productos cosechados (Mejía-López, 2015).

Necesidades de infraestructura

La globalización y la apertura económica le han dado una connotación especial al concepto de la infraestructura y lo han convertido en un eje central de la agenda nacional. La infraestructura para el agro incluye tanto los distritos de riego y drenaje, como las condiciones entre las que se cuentan las carreteras, los centros de acopio para la comercialización y la energía rural. El rendimiento de una tercera parte de los cultivos en Colombia ha sido favorablemente afectado por los distritos de riego y drenaje. Esta infraestructura es fundamental para el bienestar del sector y su productividad, así como lo son el acceso a la tierra, el buen funcionamiento de los mercados, la calidad de las instituciones y el acceso apropiado a la tecnología y al crédito. La infraestructura para el agro se considera parte de

los bienes públicos de uso colectivo por lo que sus deficiencias no sólo menoscaban la productividad y el rendimiento de los cultivos, sino que dificultan el funcionamiento de los mercados y limitan su integración espacial y temporal. El Estado colombiano ha incrementado los recursos para fortalecer y mejorar la provisión de bienes públicos para el campo y ha otorgado fondos para los programas de adjudicación de tierras y baldíos a las comunidades más vulnerables, la construcción de vivienda rural de interés social (con saneamiento básico, especialmente agua potable) y a la provisión de los servicios de salud mediante el régimen subsidiado (Lozano & Restrepo, 2015). Por sus peculiaridades y circunstancias específicas, las actividades de innovación y desarrollo en el mejoramiento y variedad de semillas, manejo de fertilizantes, innovación en equipos y maquinaria, así como el desarrollo de procesos productivos más eficientes y compatibles con el desarrollo sostenible, son consideradas como bien público, puesto que la aplicación exitosa de estos desarrollos se asocia con los bienes de infraestructura del sector. En el país se han realizado esfuerzos para la adquisición y adjudicación de tierras y baldíos, a subsidiar la vivienda rural y a apoyar la asistencia técnica. Sin embargo, deben fortalecerse el mantenimiento y el montaje de distritos de riego y drenaje, la red de carreteras, los centros minoristas y mayoristas de comercialización y la electrificación rural.

Utilización de alimentos y minimización de pérdidas. Política nacional de producción y consumo sostenible de alimentos

Como respuesta a la preocupación de contar con un modelo de crecimiento económico sostenible, en busca de una producción cíclica, con criterios ambientales a lo largo del ciclo de vida del producto, el Ministerio de Ambiente planteó desde 2010 una Política de Producción y Consumo Sostenible que responde a los compromisos adquiridos por el país en varias instancias internacionales derivadas de la Cumbre de la Tierra (MAVDT, 2010). La política se orienta a cambiar los patrones insostenibles de producción y consumo por parte de los diferentes actores de la sociedad nacional, lo que contribuirá a reducir la contaminación, conservar los recursos, favorecer la integridad ambiental de los bienes y servicios y estimular el uso sostenible de la biodi-

versidad, como fuentes de la competitividad empresarial y de la calidad de vida.

En ese mismo contexto, en el marco de la Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños (CELAC), en enero de 2015 se aprobó en Costa Rica el Plan de Acción de la CELAC para la Seguridad Alimentaria, Nutrición y Erradicación del Hambre 2025, cuya elaboración fue solicitada por la Comunidad a la FAO, con la colaboración de la Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (FAO, 2015c).

Bancos de alimentos

Los bancos de alimentos son una respuesta al problema del desperdicio de alimentos en el mundo, ya que el fenómeno no sólo se centra en el acceso, sino en el aprovechamiento de lo producido y lo comercializado. Las alianzas son fundamentales para ello: las empresas donan aquellos productos que ya no pueden comercializar por su vida útil, problemas en su presentación o alta maduración; los productores agrícolas entregan productos de cosechas con grandes existencias o no comercializables por su forma y tamaño; y los bancos de alimentos recuperan y redistribuyen a poblaciones vulnerables. En Colombia hay diversas actividades orientadas al rescate de alimentos en la industria, el comercio, las centrales de abasto y directamente desde el campo a través del Programa de Recuperación de Excedentes Agropecuarios (REAGRO). A través de la Asociación de Bancos de Alimentos (ABACO) (<http://www.abaco.org.co/home>), en 2014 se rescataron 18 mil t de alimentos de 703 empresas donantes, lo que permitió atender a más de 400 mil personas. Con REAGRO se recuperaron 2.468 t de frutas y verduras de 409 productores vinculados, atendiendo a 35.764 beneficiarios (FAO, 2015c). Ejemplo puntual de impacto sobre la población infantil, en 2014, a través de la alianza entre Alpina S.A., empresa productora de alimentos y derivados lácteos, y ABACO, se afectó positivamente la nutrición de más de 280 mil niños, madres gestantes y lactantes, y adultos mayores en 11 ciudades del país, por medio de la recuperación y donación de más de 500 t de productos. Trabajar sobre la recuperación de productos para la donación representó para Alpina S.A. la puerta de entrada a un compromiso superior: contribuir a

la disminución de Pérdidas y Desperdicios de Alimentos (PDA). Por ello, en enero de 2015 la compañía lanzó el Programa Buen Provecho, el cual busca contribuir a la lucha contra el hambre por medio de proyectos y alianzas que trabajen por la reducción de PDA. El programa se orienta en tres frentes: i. mejoras internas para disminuir las pérdidas en operación, ii. trabajar con proveedores, distribuidores y otros para disminuir las pérdidas y desperdicios en toda la cadena de valor, y iii. compartir la experiencia con otras industrias, instituciones académicas, de cooperación y el sector público, para lograr generar un mayor impacto en la seguridad alimentaria de Colombia (FAO, 2015c).

VI. Consideraciones en salud

Malnutrición

De acuerdo con el informe FAO 2012, para el periodo 2010-2012, en Colombia 12,5% de la población estaba subalimentada. Según la última Encuesta de la Situación Nutricional de Colombia (ENSIN) en 2010 (ICBF, 2011), el país muestra una transición nutricional de su población, dado que presenta problemas de déficit y exceso de peso a la vez. Los porcentajes de desnutrición se han reducido, aunque se encuentran en poblaciones de bajos ingresos e indígenas. El estudio mostró que 3,4% de los niños menores de 5 años padecía desnutrición global, 13,2% desnutrición crónica y 0,9% desnutrición aguda, situación que los expone a muerte por desnutrición o enfermedades asociadas, principalmente de origen infeccioso como la enfermedad diarreica aguda y las infecciones respiratorias agudas (Mazo-Echeverry, 2014). De acuerdo con el Instituto Nacional de Salud de Colombia (INS), durante el año 2016, 101 niños menores de cinco años murieron en Colombia por probables casos de desnutrición, 54,5% de los casos en menores de 1 año. La situación más grave se presenta en el departamento de La Guajira, donde son frecuentes estos casos. El 57,5% de los hogares rurales se encuentra en situación de inseguridad alimentaria, frente a 38,4% de los hogares urbanos (MADR, 2016). Es de destacar que se encontró que entre 2005 y 2010, fecha del último estudio ENSIN realizado (ICBF, 2011), la desnutrición crónica

en Colombia se redujo 17%, quedando a 5 puntos porcentuales de la meta propuesta para 2015. El porcentaje de retraso en crecimiento infantil fue de 13,2%, considerado como prevalencia baja a nivel internacional. El estudio determinó que si bien los colombianos han mejorado en la lucha contra la desnutrición (anemia y hambre en la población infantil colombiana), hay incrementos en el sobrepeso y la obesidad en todos los grupos de población. Como respuesta a estos desafíos, se encuentran en ejecución diversas actividades en torno al "Plan Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (PNSAN) 2012-2019" y las Guías Alimentarias para la Población Colombiana que buscan orientar a la población sobre el consumo de alimentos, con el fin de promover un completo bienestar nutricional (OSAN, 2016; Gobierno Nacional, 2013).

Obesidad

Colombia presenta un proceso de transición epidemiológica reflejada en la coexistencia de problemas de malnutrición tanto por déficit como por exceso, en el cual es preocupante el panorama de la obesidad y sobrepeso. Según la ENSIN 2010, 51,1% de las personas entre 18 y 64 años tenía sobrepeso u obesidad, prevalencia de cerca de 10% mayor en las mujeres que en los hombres (55,1% mujeres vs. 45,6% hombres); la encuesta demostró que la prevalencia de exceso de peso aumenta con la edad, alcanzando 66,3% en el grupo de entre 50 a 64 años (ICBF, 2011). La ENSIN 2005 había encontrado que 48% de la población tenía obesidad; en 2010, el porcentaje se elevó a 52%. Se detectó que 62% de las mujeres y 39,8% de los varones presentan obesidad abdominal, mientras que 24,8% de las embarazadas cuentan con sobrepeso. Lo anterior se atribuye al sedentarismo colombiano que creció de 43% en 2005 a 47% en 2010, a la dieta criolla –que incluye altos consumos de azúcar y grasas–, así como al incremento de alimentos procesados en la dieta (**Tabla 4**). De acuerdo con estudios de MPS-FAO-OSAN (2014), aproximadamente 5% de los hogares tiene al menos un niño menor de 5 años con retraso en el crecimiento y una madre con sobrepeso. Entre los niños de edad escolar, 0,1% es clasificado con retraso en el crecimiento y obeso y 1,4% con anemia y sobrepeso. De las mujeres entre 13 y 49 años de edad, 3,4% tiene anemia y sobrepeso. La obesidad está asociada

Tabla 4. Patrones alimenticios promedio en la población colombiana

Promedios de consumo de algunos alimentos en Colombia	
39%	(entre 5 y 64 años) no consume lácteos diariamente
33%	no consume frutas diariamente
71%	no come verduras diariamente
14%	no consume carne ni huevos cada día
24%	ingiere comidas rápidas (<i>fast food</i>) por semana
22%	bebe gaseosas diariamente
33%	ingiere algún dulce (azucarado) al día y 20% dos veces al día
72%	consume productos adquiridos en la calle, diaria o semanalmente
56%	de los niños y jóvenes (entre 9 y 18 años) come embutidos (charcutería) cada día

Fuente: Datos ICBF, 2011

con enfermedades crónicas no transmisibles como enfermedades cardiovasculares, cáncer, enfermedades respiratorias y diabetes, así por ejemplo, la obesidad causó la muerte de 2.085 hombres y 1.906 mujeres en 2013 (Silva-Sarmiento, 2016; Sarmiento *et al.*, 2014, WHO, 2013).

Cambios esperados en patrones de consumo

La Seguridad Alimentaria y Nutricional (SAN) es un compromiso de Estado enmarcado en el enfoque de derechos, en el abordaje intersectorial e interdisciplinario y en la gestión del riesgo (Gobierno Nacional, 2013). Desde 2008 se estableció la Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (PNSAN), en donde se plantea como objetivo “Garantizar que toda la población colombiana disponga, acceda y consuma alimentos de manera permanente y oportuna, en suficiente cantidad, variedad, calidad e inocuidad” (MPS-FAO-OSAN, 2014). El objetivo general es contribuir al mejoramiento de la SAN de toda la población colombiana, en especial, de la más pobre y vulnerable a través de: i) proteger a la población del hambre y la alimentación inadecuada; ii) asegurar el acceso a los alimentos en forma oportuna, adecuada y de calidad; y iii) integrar y coordinar las intervenciones intersectoriales e interinstitucionales.

Uno de los temas sensibles en la seguridad alimentaria en el país es la insuficiencia de ingresos para la compra de alimentos. El concepto de seguridad alimentaria y nutricional (SAN) en Colombia incluye orgánicamente todos los componentes de la cadena agroalimentaria que tienen que ver con

los ejes principales de la disponibilidad, el acceso, el consumo, el aprovechamiento biológico y la calidad e inocuidad de los alimentos requeridos (Silva-Sarmiento, 2016). Una de las actividades que se adelanta para atender la seguridad alimentaria es la Estrategia de Recuperación Nutricional, la cual constituye un conjunto de acciones en salud y nutrición encaminadas a la atención de la población con altas prevalencias de desnutrición, en zonas previamente focalizadas, cuyo objetivo es contribuir a mejorar y/o recuperar el estado nutricional de niños y niñas menores de 5 años de edad, mujeres gestantes y madres en periodo de lactancia, a través de acciones de atención y promoción de las buenas prácticas en salud y nutrición con la corresponsabilidad de la familia y la comunidad, así como de las instituciones del Sistema Nacional de Bienestar Familiar (Gobierno Nacional, 2013).

Entre las medidas más destacadas para mejorar la dieta en los colombianos, se encuentra el esfuerzo por fomentar hábitos saludables como el deporte en los niños, el cambio de los hábitos alimenticios para sistemas más balanceados y promover la concientización de toda la población mediante conferencias, afiches y presencia en los medios masivos. De acuerdo con el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF), una de las medidas más importante es la producción de las “Guías alimentarias para la población colombiana, que busca establecer cuáles son los alimentos indicados para cada edad y las porciones diarias que un colombiano debería consumir”. En este senti-

do, recientemente (2016), el Ministerio de Salud y Protección Social, emitió la Resolución número 003803, mediante la cual se establecen las Recomendaciones de Ingesta de Energía y Nutrientes (RIEN), para la población colombiana (<http://www.leyex.info/leyes/Resolucionmsps3803de2016.pdf>). Algunos de los programas regionales en implementación incluyen "Bogotá sin hambre", Antioquia con su programa "Mejoramiento Alimentario y Nutricional de Antioquia (MANA)" y, recientemente en el Cauca, el programa "Cauca sin hambre", los cuales han sido enfocados al análisis del impacto social y económico de la desnutrición en infantes (Ortega-Bonilla & Chito-Trujillo, 2014).

VII. Políticas relacionadas con Seguridad Alimentaria y Nutricional

El clima está cambiando, la agricultura y la alimentación también. Hay la urgente necesidad de adaptar la agricultura al cambio climático para enfrentar los retos y lograr los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). El Objetivo de Desarrollo Sostenible 2 compromete a la comunidad mundial a *"finalizar el hambre, alcanzar la seguridad alimentaria y nutricional y promover la agricultura sostenible"* (Naciones Unidas, 2015). Colombia ha acogido estos compromisos y los ha incorporado a sus planes de desarrollo. Colombia ocupa el décimo lugar en el Índice de Sostenibilidad Alimentaria y el noveno en agricultura sostenible (2016 Food Sustainability Index), lo que muestra el compromiso y los avances en estos temas en el país, aunque se debe fortalecer el aspecto relacionado con pérdida y desperdicio de alimentos en el cual el país se encuentra en el puesto 16 en el estudio.

Para lograr desarrollo rural sostenible en Colombia, es fundamental impulsar las actividades agropecuarias que fortalezcan la actividad económica en las regiones, generando, así, una mejor oferta de bienes y servicios para la población rural. En las dos décadas pasadas, el sector agropecuario ha perdido participación en el PIB de la economía local pasando de niveles superiores a 7,5%, a participaciones alrededor de 6,1% con un promedio para los últimos 15 años de 7% (DANE, 2015). A pesar de ello, en el contexto regional de América

Latina y el Caribe, Colombia es uno de los países en el que el sector agropecuario tiene más peso en el PIB nacional, ubicándose por encima del promedio que es de 5,1% aproximadamente. Con el fin de aumentar la oferta agropecuaria para, por un lado garantizar la seguridad alimentaria en el país y, por otro, promover las exportaciones agropecuarias con valor agregado, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) estableció en 2016 la estrategia "Colombia Siembra" (<http://colombiasiembra.minagricultura.gov.co/>). Este programa busca aprovechar el gran potencial de desarrollo agropecuario del país y es fruto de un proceso de investigación, planeación y concertación, de la mano de productores, industriales, gremios y entidades públicas del sector, que se ha propuesto ampliar en un millón, las hectáreas sembradas en el país a 2018, así como incrementar la productividad. Colombia Siembra creará un ambiente favorable para impulsar las inversiones que se requieren en las nuevas áreas, paquetes tecnológicos, soluciones de agua, infraestructura, maquinaria, investigación y transferencia tecnológica (MADR, 2016).

En el marco del primer objetivo que se ha encomendado al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), *"Promover el desarrollo rural con enfoque territorial y el fortalecimiento de la productividad y competitividad de los productos agropecuarios, a través de acciones integrales que mejoren las condiciones de vida de los pobladores rurales, permitan el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, generen empleo y logren el crecimiento sostenido y equilibrado de las regiones. Propiciar la articulación de las acciones institucionales en el medio rural de manera focalizada y sistemática, bajo principios de competitividad, equidad, sostenibilidad, multisectorialidad y descentralización, para el desarrollo socioeconómico del País"*, y teniendo en cuenta el potencial del país para robustecer la producción de alimentos, esta entidad, por medio de Colombia Siembra, articulará esfuerzos de los diferentes actores del sector agropecuario para impulsar la siembra de un millón de hectáreas nuevas, es decir, aumentar el total del área sembrada de 7,1 a 8,1 millones de hectáreas (DANE, 2015). La Estrategia Colombia Siembra ha planteado entre sus objetivos establecer las condiciones sociales y económicas para

promover la siembra de un millón de hectáreas nuevas de cultivos que conlleven a un desarrollo incluyente, sostenible y competitivo del campo colombiano. Parte de este emprendimiento implica desarrollar sistemas de incentivos de diferente naturaleza para promover el aumento de la oferta de productos agropecuarios de manera sostenida para el abastecimiento de la demanda interna colombiana, así como fomentar las exportaciones para fortalecer el posicionamiento de los productos agropecuarios colombianos en el mercado internacional (MADR, 2016).

Son diversos los emprendimientos del Gobierno nacional en relación con la transformación del campo colombiano, los cuales de alguna manera se articulan y complementan. En el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 "Todos por un nuevo país", el planteamiento fundamental es analizar la situación del país desde las particularidades y especificidades de las regiones y territorios para abordar los tres objetivos de desarrollo que conforman la estructura del plan: paz, equidad y educación, para cuya implementación se plantean cinco estrategias transversales y una sexta estrategia envolvente denominada Crecimiento Verde (DNP, 2015a). Los Planes de Desarrollo proveen los lineamientos estratégicos de las políticas públicas formuladas por el Gobierno.

El concepto de Crecimiento Verde significa *"fomentar el crecimiento económico y el desarrollo, garantizando que los ecosistemas continúen proporcionando en el tiempo los servicios de los que el bienestar social depende. Con este foco, se debe catalizar la inversión y la innovación, que será la base de un crecimiento sostenido al generar nuevas oportunidades económicas"* (OCDE, 2015). Esta estrategia se articula con las directrices de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y plantea el uso eficiente del suelo y los recursos naturales. Busca el desarrollo sostenible y bajo carbono; garantizar el uso sostenible del capital natural y mejorar la calidad ambiental; promover la resiliencia y reducir la vulnerabilidad frente a los riesgos de desastres y al cambio climático. Entre diversas actividades, propone el diseño e implementación de un Sistema de Alertas Agroclimáticas Tempranas (SAAT) y formular planes de adaptación y mitigación al cambio climático para los sistemas productivos y las

zonas priorizadas. Por la situación de retraso tecnológico en que se encuentra, se debe implementar el Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia, con estrategias para mejorar los niveles de productividad y competitividad de la acuicultura nacional de forma que se convierta en un reglón productivo de importancia en el sector agropecuario. Pretende impulsar la competitividad rural mediante la provisión de bienes y servicios sectoriales para hacer de las actividades agropecuarias una fuente de riqueza para los productores del campo (DNP, 2015a). En la implementación de esta estrategia se encuentran involucradas muchas entidades de los Ministerios de Agricultura y de Ambiente con sus institutos adscritos, así como también el sector privado. Es así como la propuesta por parte del Consejo Privado de Competitividad, en relación con la Estrategia de Crecimiento Verde, es ser una economía exportadora de bienes y servicios de alto valor agregado e innovación, lograr un ambiente de negocios que incentive la inversión local y extranjera, elevar la calidad de vida y reducir sustancialmente los niveles de pobreza. La competitividad debe ser una apuesta nacional en la que empresarios, Gobierno, academia y sociedad civil se articulen (CPN, 2016). Como complemento indispensable se encuentra el proyecto de mejoramiento del Sistema Nacional de Control e Inocuidad de Alimentos para el consumo nacional y la exportación bajo un enfoque de riesgo a cargo del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), con el fin de apoyar los procesos de exportación de carne bovina y aviar a países priorizados. Uno de los objetivos es desarrollar las capacidades productivas y comerciales de las comunidades rurales y desarrollar un plan de aprovechamiento comercial para el acceso real de los productos agropecuarios a los mercados. Varios de los productos colombianos cuentan con demanda internacional insatisfecha y/o con proyecciones de crecimiento en el corto, mediano y largo plazos. A partir de ello, este objetivo busca que se aprovechen las oportunidades de mayor acceso a mercados internacionales de productos como el cacao, frutas, carne bovina, truchas y tilapias, entre otros. En ese sentido, es fundamental garantizar oferta constante de producto de las calidades demandadas en el mercado internacional (DNP, 2015a).

Otra de las iniciativas que articula los planteamientos del Gobierno en relación con la innovación requerida en el campo colombiano, a través de la cual se definirán lineamientos de política pública para contar con un portafolio amplio de políticas e instrumentos que permitan la toma de decisiones de inversión pública para el desarrollo rural y agropecuario en los próximos 20 años, es la Misión para la Transformación del Campo Colombiano. Busca garantizar oportunidades económicas y derechos económicos, sociales y culturales a los habitantes rurales para que tengan la opción de vivir la vida digna que quieren y valoran (DNP, 2015b). La Misión, en un trabajo diligente y concienzudo, realizó diagnósticos en los diferentes sectores y situaciones y propone una serie de estrategias, tanto generales como específicas, para implementar esta transformación del campo que requiere el país. En el **Recuadro 2** se resumen las seis estrategias propuestas por la Misión para la Transformación del Campo Colombiano.

VIII. Conclusiones

La agricultura ha sido un componente fundamental en la economía colombiana y continuará siendo prioritaria para el crecimiento económico, fuente de empleo, factor de desarrollo rural para la mitigación de la pobreza, y en las condiciones actuales del país, esencial en los procesos de reinserción para el proceso post-conflicto (Lozano & Restrepo, 2015). Entre los principales objetivos para el desarrollo agropecuario y socioeconómico colombiano, se encuentran la promoción del desarrollo rural sostenible con enfoque territorial, y el fortalecimiento de la productividad y competitividad de los productos agropecuarios. Adicionalmente, se busca promover la articulación de acciones institucionales bajo principios de competitividad, equidad, sostenibilidad, multisectorialidad y descentralización.

Con el fin de promover la seguridad alimentaria y nutricional en áreas rurales, hay que emprender acciones hacia la denominada "producción agrícola inteligente" encaminar los esfuerzos a intensificar la resiliencia de los sistemas productivos, y promover las innovaciones para la adaptación al cambio climático de manera tal que sean

realmente accesibles y adecuadas para todos los productores, inclusive los pequeños agricultores. La ciencia y la adición de conocimientos a los sistemas convencionales son la herramienta más valiosa con que cuenta el sector productivo agrícola para enfrentar los retos actuales y alcanzar algunos de los objetivos del milenio. Es necesario utilizar todas las tecnologías disponibles en la actualidad y articularlas en forma armónica con los sistemas convencionales, de acuerdo con las condiciones y particularidades de cada región y de cada cultivo: ningún sistema debe ser excluyente de los otros (agricultura convencional, tecnificada, biotecnológica, orgánica, familiar, otras).

Entre las múltiples aplicaciones de las agrobiotecnologías –las de mayor utilidad para el futuro a fin de desarrollar cultivos con mejor adaptación al cambio climático y sostenibilidad ambiental y social (amigables ecológicamente y con reducción de costos de producción)– se encuentran la obtención de bioinsumos, tanto biofertilizantes (micorrizas y fijadores de nitrógeno), bioplaguicidas para control biológico y también bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB por sus siglas en inglés). En Colombia hay experiencia exitosa en este campo y, de hecho, se están exportando algunos de estos bioinsumos (Hodson & Díaz, 2013). Otras aplicaciones son la detección temprana de enfermedades a través de sistemas de diagnóstico molecular, la adopción de cultivos transgénicos (GM o biotecnológicos) siempre y cuando respondan a las limitantes de producción específicas, o la utilización de tecnologías recientes con aplicación de los avances moleculares. Una de las más prometedoras de estas tecnologías es la que permite la obtención de los llamados "Cultivos de Edición de Genomas" (denominados en inglés Genome-Edited Crops, GEP), por sus amplias posibilidades de atender diversas limitantes de producción como es el caso de uso del sistema de edición de genes (tales como la tecnología CRISPR/Cas9) para obtención de resistencias o tolerancias a plagas y enfermedades, para mejorar la calidad nutricional de los productos o buscar mecanismos de tolerancia a factores abióticos (sequías, inundaciones, salinidad) relacionados con el cambio climático. Esta tecnología presenta varias ventajas, comparada con otros sistemas de mejoramiento molecular por su relativa simplicidad, así como por ser

Recuadro 2. La Misión para la Transformación del Campo Colombiano (DNP, 2015b)

El reciente informe de la "Misión para la Transformación del Campo Colombiano" (MTCC) ha planteado un programa para saldar la deuda histórica del país con su ruralidad y aportar a la construcción de la paz (DNP, 2015b). Según la MTCC es indispensable: (i) poner la equidad en el centro de las políticas de desarrollo del campo y reducir las enormes desigualdades entre habitantes rurales y urbanos, entre los propios habitantes rurales, entre hombres y mujeres, entre distintos grupos étnicos y entre las distintas regiones; (ii) adoptar un enfoque territorial participativo, consistente con la heterogeneidad regional del país, y con la necesidad de fomentar la participación social en todas sus formas; (iii) generar un ambiente propicio para establecer pequeñas, medianas y grandes empresas; y (iv) garantizar la protección del ambiente, en particular, agua, suelos y bosques. Las propuestas incluyen: (1) Políticas públicas de Estado y metas explícitas para lo rural todos los Ministerios, con recursos públicos asegurados para invertir en los próximos 15 años. (2) Más y mejor inversión social en el campo para cerrar las brechas de bienestar entre lo rural y lo urbano, (3) Más inversión en bienes públicos para el desarrollo productivo y menos apoyos directos que respondan a situaciones coyunturales. (4) Mayor protagonismo de las regiones y las organizaciones sociales locales en la planeación, priorización de inversiones, ejecución de proyectos y control social. Ello deberá hacerse con base en seis estrategias:

1. Inclusión social en el sector rural con enfoque de derechos, priorizando la eliminación de la desnutrición en el campo y una campaña de Analfabetismo cero. Propone crear direcciones permanentes y especializadas en los Ministerios de Educación y Salud para el diseño de políticas rurales adecuadas a las particularidades del campo. En educación, invertir en modelos flexibles con contenido pertinente y de calidad que faciliten la inclusión productiva e incentiven la creatividad y la innovación. En salud propone migrar hacia modelos con énfasis en promoción y prevención, eliminando barreras de acceso y acercando servicios de salud a las familias, especialmente en los municipios más dispersos.
2. Inclusión productiva y agricultura familiar, en actividades agropecuarias, piscícolas y pesqueras, y en actividades no agropecuarias (nueva ruralidad).
3. Incrementar la competitividad agropecuaria, invirtiendo más en servicios y bienes públicos para el desarrollo productivo y menos en subsidios coyunturales, mejorando en la provisión adecuada de bienes públicos y en el establecimiento de políticas macroeconómicas, de comercio exterior, de servicios financieros y de comercialización interna.
4. Avanzar en la sostenibilidad ambiental, recuperando y protegiendo los servicios ecosistémicos de agua y suelo, enfrentando la variabilidad climática, y aprovechando en forma sostenible el capital natural para la prosperidad rural. Incremento en las tasas por uso de agua que incentive su adecuada utilización y genere recursos suficientes para conservación de las cuencas. Parte de los recursos se utilizarían en un programa de pago por conservar las fuentes de agua y otros pagos por servicios ambientales, especialmente para agricultores familiares establecidos en zonas de protección. Sugiere establecer una meta de cero deforestación para 2030 y cerrar definitivamente la frontera agropecuaria, mediante las Zonas de Reserva Forestal (ZRF). Se propone el montaje de un Sistema de Alertas Agroclimáticas Tempranas y planes de contingencia frente a las amenazas que enfrentan los sistemas agrícolas, pecuarios, pesqueros y forestales.
5. Ordenamiento y desarrollo territorial incluyendo lo ambiental, social y productivo; convergencia regional y cierre de brechas rural-urbanas; desarrollo rural con enfoque territorial; y consolidación de la asociatividad territorial. Creación de un Fondo de Tierras con fines redistributivos como instrumento para reducir la concentración de la propiedad de la tierra rural y destinar tierras adecuadas para familias rurales, asociada a proyectos de generación de ingresos. Se propone la creación de Zonas de Desarrollo Empresarial (ZDE), en donde se utilicen figuras como concesión, arrendamiento o el derecho real de superficie y no la entrega de la propiedad de la tierra. El montaje gradual de Programas de Desarrollo Rural Integral con Enfoque Territorial (PDRIET) en regiones con alta densidad de agricultores familiares, elevados niveles de pobreza y alto potencial productivo. Recomienda mejorar el sistema de planeación y ordenamiento territorial, con énfasis en el fortalecimiento de las capacidades de los departamentos, discriminar los presupuestos de inversión entre cabeceras municipales y áreas rurales, y apoyar la conformación de provincias y regiones de planificación y gestión como figuras de integración territorial.
6. Diversas recomendaciones de ajuste a la institucionalidad y poner en marcha un programa para promover y fortalecer las organizaciones de productores y las organizaciones sociales, así como para ajustar los espacios de participación, empoderarlos y darles instrumentos para que respondan a los principios de transparencia, democracia y planeación participativa.

altamente específica y confiable para la edición de genes en células tanto vegetales, como animales y microbianas (Li *et al.*, 2012).

En las cadenas productivas, en las cuales Colombia tiene experiencia en la producción, potencial de mejora de la productividad e incremento de área cultivada, existe la oportunidad para que la

producción nacional participe en mayor medida en el mercado nacional e internacional. El trabajo de posicionamiento de productos colombianos en el exterior ha avanzado y se ha logrado la negociación de diferentes medidas sanitarias y fitosanitarias con 80 países para más de 2,500 productos agropecuarios tradicionales y no tradicionales. Ac-

tualmente se encuentran procesos de negociación con 225 productos para incentivar las exportaciones de los productores colombianos. Entre los principales mercados se encuentran los países con mayor población como la región de Hong Kong, Canadá, EUA y el grupo de países de la Unión Europea (MADR, 2016).

Con el fin de lograr un abordaje integral de los desarrollos científicos y tecnológicos disponibles para el fortalecimiento de la productividad agrícola, así como su competitividad con sostenibilidad social, ecológica y económica, conviene considerar el modelo de la Bioeconomía, el cual plantea un sistema menos dependiente de los recursos fósiles, fundamentado en la producción y utilización intensiva del conocimiento de los recursos, procesos y principios biológicos, para la provisión sostenible

de bienes y servicios en todos los sectores de la economía. Es decir, se trata de la adición de conocimiento al aprovechamiento productivo sostenible de los recursos naturales renovables. El enfoque de la bioeconomía de procesos en cascada implica que los procesos son circulares y sostenibles, reduciendo al mínimo la producción de residuos o desechos, más bien generando nuevos productos y servicios en múltiples sectores, puesto que los subproductos de un proceso dado son utilizados como materia prima de otro proceso. Un modelo de desarrollo, Bioeconomía, permite aprovechar la enorme riqueza natural del país y las particularidades de cada territorio, y facilita la inserción en la economía mundial con nuevos productos y servicios sostenibles, basados en la agregación de valor por parte del conocimiento científico y tecnológico.

Bibliografía

- Álvarez, O.D., J.I. Vélez, y G. Poveda (2011). Improved long-term mean annual rainfall fields for Colombia, *International Journal of Climatology*, 31, 2194–2212.
- Ashikari, M., Sakakibara H., Lin S., Yamamoto, T., Takashi, T. & Nishimura A. (2005). Cytokinin oxidase regulates rice grain production. *Science* 309, 741–745.
- ASOBANCARIA (2016). Redacción Asobancaria. 5 retos del sector agropecuario en Colombia para 2016. Marzo 28 de 2016. Disponible en <https://goo.gl/NK9QtT>
- Burke, M., S. M. Hsiang & M. Edward (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 527, 235–239.
- Cancillería Colombia. S.f. Datos geográficos sobre la superficie y las regiones. Disponible en: <https://goo.gl/ELrQrH> Consulta: Diciembre 2016.
- Carmona, A.M. & G. Poveda (2014). Detection of long-term trends in monthly hydro-climatic series of Colombia through Empirical Mode Decomposition. *Climatic Change*, 123(2), 301-313.
- CPN -Consejo Privado de Competitividad (2016). *Informe Nacional de Competitividad* 2016-2017. Puntoaparte Bookvertising, Bogotá, Colombia. 343 pp.
- DANE (2005). *La visibilización estadística de los grupos étnicos colombianos*. 56 pp. Disponible en: <https://goo.gl/9mi3qZ> Consulta: Noviembre de 2016.
- DANE -Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2016). Exportaciones. Noviembre de 2016. Disponible en: <https://goo.gl/fHbcCw> Consulta: Noviembre de 2016.
- DANE -Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2015). *Resultados del 3er Censo Nacional Agropecuario*. Bogotá. En: <http://www.dane.gov.co/> Consulta: Diciembre 2016.
- DNP - Departamento Nacional de Planeación (Colombia) (2015a). Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018: Todos por un nuevo país. En: <https://goo.gl/YHTg1E> Consulta: Enero de 2016
- DNP -Departamento Nacional de Planeación (Colombia) (2015b). El campo colombiano: un camino hacia el bienestar y la paz. Misión para la transformación del campo. Disponible en: <https://goo.gl/TLDnse> Consulta: Noviembre de 2016

- DNP–BID (2014). *Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia* – Síntesis. Bogotá, Colombia.
- FAO – MADR. (2015). Colombia Pesca en Cifras/2014. Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura FAO-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR. 52 pp. Disponible en: <https://goo.gl/mPPXCF> Consulta: Enero de 2017.
- FAO & Earthscan (2011). *The State of The World's Land and Water Resources for Food and Agriculture: Managing systems at risk*. Roma, Londres.
- FAO (2016a). Proceedings of the International Symposium on the Role of Agricultural Biotechnologies in Sustainable Food Systems and Nutrition. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5922e.pdf> Consulta Diciembre de 2016.
- FAO (2016b). The state of food and agriculture. Climate change, agriculture and food security. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i6030e.pdf> Consulta: Diciembre de 2016.
- FAO (2015a). *El estado de la inseguridad alimentaria del mundo*. 66 pp. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4646s.pdf> Consulta: Noviembre de 2016.
- FAO (2015b). Colombia en una mirada. Disponible en: <http://www.fao.org/colombia/fao-en-colombia/colombia-en-una-mirada/es/> Consulta: Noviembre de 2016
- FAO (2015c). Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y El Caribe. Boletín 2, Abril de 2015. 31 pp. En: www.fao.org/3/l4655S.pdf Consulta: Noviembre de 2016.
- FAO (2012). *The State of Food Insecurity in the World 2012. Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition*. Rome, FAO. 65 pp. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/016/i3027e/i3027e.pdf> Consulta: Marzo de 2017.
- Global Harvest Initiative (2016). 2016 Global Agricultural Productivity Report. Sustainability in an Uncertain Season Disponible en: http://www.globalharvestinitiative.org/GAP/2016_GAP_Report.pdf Consulta: Enero de 2017.
- Gobierno Nacional (Colombia) (2013). *Plan Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional* (PN-SAN) 2012-2019. 66 pp.
- Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Komareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change, *Science*, 342 (15 November), 850–53. Disponible en <https://goo.gl/fv2MzD>
- Hodson de Jaramillo E. & Díaz L.A. (2013). Uso de bioinoculantes en la agricultura: alternativa de manejo sostenible. En: *Bioteecnologías e innovación: el compromiso social de la ciencia*. Hodson & Zamudio Eds. Bogotá, Colombia, Editorial Pontificia Universidad Javeriana. ISBN 978-958-716-587-6
- ICBF -Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (2011). Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia 2010 - ENSIN. 509 pp. Disponible en: <https://goo.gl/wWUEdi> Consulta: Marzo de 2017.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA (2015a). Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura para Colombia 2011-2100. Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Estudio Técnico Completo: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.
- IDEAM-MADS, 2014. *Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo (GIAS)*. Bogotá, Colombia, IDEAM-Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 138 pp.
- IGAC (2012). Regiones geográficas de Colombia. Disponible en: <https://goo.gl/WJ1GNj> Consulta: Diciembre de 2016.
- IICA - Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2015). *El fenómeno de "El Niño" en la agricultura de las Américas*. San José, Costa Rica. 19 pp.
- INVEMAR, MADS y DIMAR-CCCP (2011). *Estrategia para el fortalecimiento del Sistema de Indicadores Ambientales Marinos y Costeros de Colombia*. Proyecto SPINCAM Colombia. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Dirección General Marítima, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. 16 pp. (Serie Documentos Generales No. 48)
- Ishikawa S, Y. Ishimaru, M. Igura, M. Kuramata, T. Abe, T. Senoura, Y. Hase, T. Arao, N.K. Nishizawa & H. Nakanishi. (2012) Ion-beam irradiation, gene identification, and marker-assisted

- breeding in the development of low-cadmium rice. *PNAS* 109(47): 19166–19171.
- James, C. (2015). *20th Anniversary of the Global Commercialization of Biotech Crops (1996 to 2015) and Biotech Crop Highlights in 2015*. ISAAA Brief No. 51. ISAAA: Ithaca, NY.
- Järup, L., & Akesson, A. (2009). Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 201–208.
- Khatodia S., Bhatotia K., Passricha N., Khurana S.M.P. & Tuteja N. (2016). The CRISPR/Cas Genome-Editing Tool: Application in Improvement of Crops. *Front.PlantSci.* 7:506.
- Li T., Liu B., Spalding M.H., Weeks D.P. & Yang B. (2012). High-efficiency TALEN-based gene editing produces disease-resistant rice. *Nature Biotechnology*, 30:390–392
- Li M., Li X., Zhou Z., Wu P. et al. (2016). Reassessment of the Four Yield-related Genes Gn1a, DEP1, GS3, and IPA1 in Rice Using a CRISPR/Cas9 System. *Front. Plant Sci.* 7:377.
- Lozano E, I & J.C. Restrepo S. (2015). *El Papel de la Infraestructura Rural en el Desarrollo Agrícola en Colombia*. Serie Borradores de Economía. Banco de la República de Colombia. N° 904. Disponible en: <https://goo.gl/Anzw4s> Consulta: Enero de 2017.
- MADR -Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2016). Estrategia Colombia Siembra – Documento Estratégico. Disponible en: <https://goo.gl/isXKL2> Consulta: Diciembre de 2016.
- MADS (2013a). *Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo (GIAS)*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, República de Colombia, Bogotá.
- MADS-PNUD (2014). *Quinto Informe Nacional de Biodiversidad de Colombia ante el Convenio de Diversidad Biológica, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Bogotá, D.C., Colombia. 101 pp.
- Marczak J. & P. Engelke (2016). *América Latina y el Caribe 2030 – Escenarios futuros*. Banco Interamericano de Desarrollo BID - The Atlantic Council of the United States.
- MAVDT -Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). *Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible "Hacia una cultura de consumo sostenible y transformación productiva"*. 71 pp. Disponible en: http://produccionmaslimpia.org/documentos/otros/polit_nal_produccion_consumo_sostenible%202010.pdf Consulta: Diciembre de 2016.
- Mayorga, R., Benavides H. & Hurtado G. (2011). *Evidencias de cambio climático en Colombia con base en información estadística*. Bogotá D.C., IDEAM. 34 pp.
- Mazo-Echeverry, S. (2014). Panorama de la malnutrición en Colombia y el mundo. FAO. 6 pp. En: <https://goo.gl/6HWqJg> Consulta: Enero 2017.
- Mejía-López, R. (2015). Balance preliminar 2015 y perspectivas de 2016. Sociedad de Agricultores de Colombia, SAC. Disponible en: <https://goo.gl/cD57iK> Consulta: Noviembre de 2016
- Méndez-Fajardo S., Lara Borrero J.A., Moreno G. & Ayala A. (2007). Estudio preliminar de los niveles de Cadmio en arroz, frijoles y lentejas distribuidos en supermercados de Bogotá y plazas de Manizales. *Fitotecnia Colombiana* 7(2):40-47.
- MPS-FAO-OSAN (2014). *Situación nutricional en Colombia bajo el enfoque de determinantes sociales*. Ministerio de Salud y Protección Social - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. Convenio 507-2013. Observatorio de seguridad alimentaria y nutricional (OSAN). Boletín No. 001/2014. 13 pp.
- Naciones Unidas (2015a). Transformar Nuestro Mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Disponible en: <https://goo.gl/1wYvtv> Consulta: Enero de 2017.
- Naciones Unidas (2015b). Objetivos de desarrollo sostenible. 17 objetivos para transformar nuestro mundo. Mayo 27 de 2015. En: <https://goo.gl/c3DB9u>
- Narváez, A. (2015). El mercado de la Biotecnología en Colombia. Diciembre 2015. Estudios de Mercado ICEX España Exportación e Inversiones- Disponible en: <https://www.camara-bilbao.com/ccb/contenidos.download.action?id=6293943> Consulta: Diciembre de 2016.
- OCDE (2015). Revisión de la OCDE de las Políticas Agrícolas: Colombia 2015 Evaluación y Recomendaciones de Política. Disponible en: <https://goo.gl/78YrRM> Consulta: Noviembre de 2016.

- OIRSA -Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria, SV (2014). El OIRSA alerta sobre riesgos sanitarios y fitosanitarios ante el posible apareamiento de El Niño (en línea). San Salvador, SV. Disponible en <http://bit.ly/1L-tH8k2> Consulta Octubre de 2015.
- Ortega-Bonilla, R. A. & D.M. Chito-Trujillo, D. M. (2014). Valoración del estado nutricional de la población escolar del municipio de Argelia, Colombia. *Rev. Salud Pública*. 16 (4): 547-559. Disponible en: <https://goo.gl/WxHwcd> Consulta: Marzo de 2017
- OSAN. Observatorio de Seguridad Alimentaria y Nutrición en Colombia. Disponible en: <http://www.osancolombia.gov.co/> Consulta: Diciembre de 2016.
- Polle A. & Schützendübel A (2003). Heavy metal signalling in plants: linking cellular and organismic responses. In: Hirt H, Shinozaki K, eds. *Plant Responses to Abiotic Stress*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. pp. 187-215.
- Poveda, G., D.M. Álvarez & O. A. Rueda (2011). Hydro-climatic variability over the Andes of Colombia associated with ENSO: a review of climatic processes and their impact on one of the Earth's most important biodiversity hotspots. *Climate Dynamics*, 36 (11-12), 2233-2249; DOI: 10.1007/s00382-010-0931-y.
- Poveda, G., S. López, A. Isaza, & P.R. Waylen (2017), Geographic Delimitation of Regions Exhibiting Bimodal, Transitional and Unimodal Annual Cycles of Rainfall within the Inter-Tropics, *Earth Interactions*, Submitted.
- Rabatel, A., et al. (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere*, 7, 81-102.
- Ramírez-Villegas, J., Salazar, M., Jarvis, A. et al. (2012). A way forward on adaptation to climate change in Colombian agriculture: perspectives towards 2050. *Climatic Change* 115: 611. doi:10.1007/s10584-012-0500-y
- Sarmiento, O. L., Parra, D. C., González, S. A., González-Casanova, I., Forero, A. Y. & García, J. (2014). The dual burden of malnutrition in Colombia. *Am. J. Clin. Nutr.* 100(6): 1628S-35S. doi: 10.3945/ajcn.114.083816. Epub 2014 Oct 29. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25411305> Consulta: Marzo 2017.
- Silva-Sarmiento, G. (2016). *Desnutrición en Colombia-Desde lo social, lo económico y lo político*. 19 pp. Disponible en: <https://scp.com.co/wp-content/uploads/2016/06/1.-Desnutricion.pdf> Consulta: Diciembre de 2016.
- The Economist Intelligence Unit. 2016. Global food sustainability index 2016. The Economist Intelligence Unit Limited, UK. Disponible en: <https://goo.gl/WyixEz> Consulta: Abril de 2017.
- UPME - Unidad de Planeación Minero - Energética (2016), Plan de Expansión de Referencia Generación-Transmisión 2016-2030, Bogotá, 479 pp.
- Valencia, A. (2012). Editorial. Federación Nacional de Cafeteros. DETRÁS DEL CAFÉ DE COLOMBIA. Perspectiva desde el origen. Edición No. 5. Junio de 2012. Disponible en: <https://goo.gl/YDuAsQ>
- Waltz E. (2016). CRISPR-edited crops free to enter market, skip regulation. *Nature Biotechnology* 34, 582.
- WHO (2013). Fact Sheet 311. Obesity and overweight Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/> Consulta: Diciembre de 2016.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al doctor **Enrique Forero**, Presidente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, por su apoyo para este capítulo, y a **Neil Palmer**, fotógrafo del CIAT, por la fotografía del mercado popular en el Departamento del Huila, Colombia

Box 2

La huella hídrica en el sector agrícola

Carolina María Rodríguez Ortiz. [Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia. crodriguez@cta.org.co](mailto:crodriguez@cta.org.co)

Claudia Patricia Campuzano Ochoa. [Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. ccampuzano@cta.org.co; claudia.campuzano@comayor.edu.co](mailto:ccampuzano@cta.org.co)

El concepto de "huella hídrica" fue desarrollado por A. Hoekstra y A. Chapagain en 2003, con base en los primeros conceptos de agua virtual (Allan, 1993) y agua verde (Falkenmark, 1995).

Tony Allan presentó el concepto de 'agua virtual' cuando estudió la posibilidad de importar agua virtual como una solución parcial a los problemas de escasez de agua en el Medio Oriente, y se define como la cantidad de agua que se usa directa e indirectamente para poder obtener un bien, producto o servicio. Todos los objetos que nos rodean necesitan miles de litros de agua para su producción. Llamamos a esta agua 'virtual' porque no la vemos; sin embargo, está presente en los alimentos, los bienes y los servicios que utilizamos a diario. Ello se refiere al agua que contienen los productos y que no vuelve al territorio de donde se extrajo para su producción. En este sentido, cuando importamos o exportamos productos, estamos importando o exportando agua.

El concepto de 'agua verde' originalmente significaba humedad del suelo y el profesor Malin Falkenmark lo mencionó por vez primera con el fin de llamar la atención al agua disponible para el crecimiento de la biomasa y su papel en la evapotranspiración. La FAO actualizó la definición de 'agua verde', en vista de su flujo vertical, es decir, el agua almacenada en el suelo que sustenta a la vegetación de secano y no recarga las fuentes de agua superficiales o subterráneas. De esta forma, se generó implícitamente la definición de 'agua azul', que llegó a entenderse como el flujo horizontal del agua, es decir, las fuentes de agua superficial, los ríos y lagos, las fuentes de agua subterránea y los acuíferos (FAO, 2000).

Este nuevo concepto toma en consideración el uso de agua oculta que se emplea durante el proceso de la cadena de producción de bienes o servicios para consumo. El agua oculta es aquella que se usa de forma indirecta para producir alimentos y productos para consumo. La huella hídrica cuenta con tres componentes:

1. **Huella de agua verde:** Se refiere al consumo de agua almacenada en el suelo a partir de la precipitación, que no se escurre y no amenaza a la vegetación. Satisface una demanda sin necesidad de intervención humana.
2. **Huella de agua azul:** Se refiere al consumo de agua, asociado a una extracción de fuente superficial y/o subterránea para satisfacer la demanda de un proceso. Cuantifica la pérdida de agua disponible (evaporación, cambio de cuenca o incorporación a un producto) debido a un consumo determinado. Requiere de la intervención humana directa.
3. **Huella de agua gris:** Se define como el volumen de agua dulce necesaria para asimilar la carga de contaminantes por parte de un organismo receptor, tomando como referencia los estándares de calidad ambiental y asociando los límites establecidos con buena calidad para el medio ambiente y las personas. Se refiere a una reducción en la disponibilidad de agua debido a problemas de calidad asociados con un proceso antrópico.

Muchos países, sectores económicos y empresas han comenzado a incorporar el concepto como un indicador complementario de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). En 2010, Colombia emprendió una iniciativa para calcular la huella hídrica en el sector agrícola. Los estudios se desarrollaron a escala de cuenca utilizando la metodología de la IWFN con una Evaluación Multisectorial de la Huella Hídrica en la cuenca del Río Porc. Este estudio fue un primer paso crucial que dio paso a la incorporación

Tabla 1. Nuestra huella hídrica. Cuánta agua se necesita para producir...

1 litro de agua de la llave > 1 litro	1 kg de maíz > 900 litros	1 naranja entera > 50 litros	1 docena de huevos > 2,400 litros
1 litro de agua embotellada > 5 litros	1 kg de trigo > 1,300 litros	1 vaso de jugo de naranja > 170 litros	1 kg de carne de pollo > 3,900 litros
1 taza de té > 30 litros	1 kg de soya > 1,800 litros	1 manzana entera > 70 litros	1 kg de carne de cerdo > 4,800 litros
1 taza de café > 140 litros	1 barra de pan > 960 litros	1 vaso de jugo de manzana > 190 litros	1 kg de carne de vaca > 15,500 litros

Source: www.waterfootprint.org

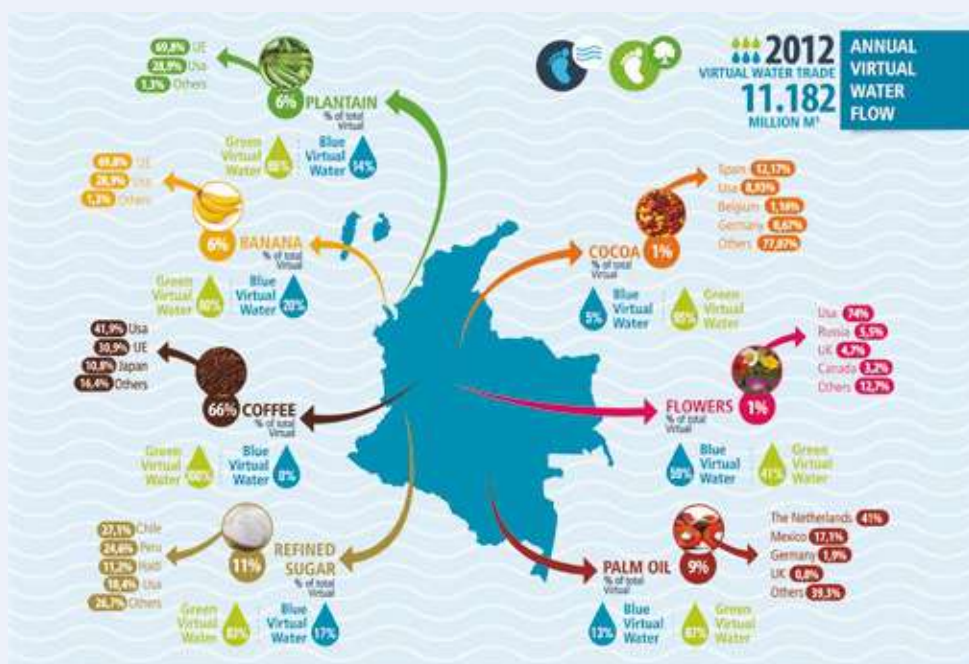
del concepto de huella hídrica en un documento importante y consultas sobre cuestiones hídricas en Colombia, que se utilizaron como base para la toma de decisiones (Estudio Nacional del Agua-ENA 2014).

Concretamente, el sector agrícola es reconocido como uno de los principales consumidores de agua, y reúne 85% del consumo mundial de agua dulce (Mekonnen & Hoekstra, 2011; Zeng et al., 2012). La agricultura de riego representa 19% del área total de cultivo en el mundo (CEPAL y DNP, 2014). A nivel internacional, la organización que ha encabezado la estandarización del concepto es Water Footprint Network (WFN). La WFN ya ha llevado a cabo análisis globales de la huella hídrica de muchos productos. Esta información puede consultarse en el sitio web de la WFN. En la **Tabla 1** se muestran algunos ejemplos.

En Colombia, 70% del agua que se utiliza se atribuye al sector agrícola, que lo utiliza como agua de riego (agua azul). Si bien el uso de agua de riego en Colombia es poco, en comparación con el uso de agua verde (IDEAM, 2015), que corresponde a 89% del uso agrícola, evaluamos el flujo de agua virtual de nuestros productos de exportación en la **Figura 1**.

En Colombia, se necesitan innovaciones basadas en el concepto de la huella hídrica para poder integrar los sectores agrícola y ambiental. Este concepto es de suma importancia para apoyar la toma de decisiones con respecto a la zonificación productiva del país y la identificación de la idoneidad de las tierras para establecer cultivos de agua de riego que requieren grandes cantidades de agua, sin poner en peligro los ecosistemas y los bienes y servicios que estos ofrecen.

La huella hídrica ha demostrado ser una herramienta sólida para comunicar resultados comprensibles a todos los sectores y actores de una cuenca hidrográfica. Los resultados y conclusiones pretenden convertirse en una herramienta que sustente otros indicadores diseñados para la gestión integral de los recursos hídricos, en los contextos locales y nacionales, así como en una herramienta para una mejor gestión de nuestros hábitos de consumo.



Fuente: CTA 2015.

Es importante recordar, al interpretar la huella hídrica, que esta no es una medida de escasez relativa. Existen otros recursos, además del agua –como el trabajo, la energía y los capitales–, que también son escasos y cuyo nivel de uso no se ha representado en el concepto.