

## De qué manera la producción sostenible de bioenergía puede contribuir al desarrollo de Colombia\*

### How Sustainable Bioenergy Production Can Contribute to the Development of Colombia



**Rocío Díaz-Chavez**  
Instituto de Medioambiente de  
Estocolmo, África Central  
Stockholm Environment Institute Africa  
Centre

**CITACIÓN:** Díaz-Chavez, R. (2019). De qué manera la producción sostenible de bioenergía puede contribuir al desarrollo de Colombia. *Palmas*, 40 (Especial, Tomo I), 104-118.

**PALABRAS CLAVE:** biomasa, bioeconomía, producción de energía, bioenergía.

**KEYWORDS:** Biomass, bioeconomy, energy production, bioenergy.

\*Artículo original recibido en inglés y traducido por Carlos Alberto Arenas.

## Resumen

El mercado mundial del aceite de palma ha sido asociado con impactos negativos relacionados con la deforestación y pérdida de biodiversidad, así como con algunos problemas sociales que van desde la creación de empleo hasta los derechos de los trabajadores. No obstante, el uso de biomasa para la producción de energía y la bioeconomía debe ser contextualizado. Esto es, considerar las condiciones locales y regionales bajo las que se produce la biomasa. Actualmente, Colombia ocupa el cuarto lugar en el mundo, con una producción de más de un millón de toneladas de aceite de palma y aceite de palmiste. Una superficie total de medio millón de hectáreas se encuentra en producción. Aún hay más potencial para los productos de aceite de palma, no solo en bioenergía, que podrían contribuir al desarrollo de mayores consideraciones de bioeconomía para alimento, pienso, fibra y combustible, si se producen de forma sostenible y utilizando coproductos alternativos. Este artículo presenta algunas de estas mayores consideraciones, principalmente en el área socioeconómica, que pueden contribuir a fomentar los sectores de la bioenergía y la bioeconomía en Colombia.

## Abstract

The global market of palm oil has been associated with negative impacts regarding deforestation and biodiversity loss as well as some social issues which range from job creation to workers' rights. Nevertheless, biomass use for bioenergy production and bioeconomy must be contextualised. This is, to consider the local and regional conditions under which biomass is produced. Colombia currently has the fourth place in the world with more than one million tons of production from palm oil and kernel palm oil. A total surface of half million hectares is under production. There is still more potential on the products of palm oil not only in bioenergy that could contribute to developing wider considerations of bioeconomy for food, fodder, fibre and fuel if produced in a sustainable form and using alternative co-products. This paper presents some of these wider considerations mainly in the socio-economic arena that may contribute to foster the bioenergy and bioeconomy sectors in Colombia.

## Antecedentes

En 2013, Colombia tenía una población de 48.3 millones, con un crecimiento anual del 1,3 % (World Bank, 2013). En 2013, su PIB era de USD 378.100 millones, con un crecimiento promedio del 4,1 % a cinco años. El país depende altamente de sus ricos recursos naturales, como el petróleo, el carbón, el gas natural y una variedad de metales preciosos, como el oro y el platino. Está dividido en 32 departamentos y un distrito capital, Bogotá (Figura 1).

Colombia es una nación grande con diversas características en términos de clima, suelo, geología, topografía, cobertura vegetal y uso actual de la tierra, que conforman la base de sus seis regiones. Tiene un área total de 114 millones de ha, de las que aproximadamente el 50 % están cubiertas por bosques (Castiblanco *et al.*, 2013), tal y como se muestra en la Figura 2. Es uno de los países más megadiversos del mundo (Dias, 2003). Con tan solo el 0,77 % del área terrestre de la Tierra, alberga el 10 % de las especies de fauna y flora conocidas (IDEAM, 2004). Cerca del 90 % de sus tierras no agrícolas son protegidas. Las principales actividades de campo son el café, los lácteos, azúcar, banano, flores, algodón y ganadería (NL Agency, 2013). Sin embargo, solo el 9,6 % de los 4.1 millones de ha de tierras agrícolas es utilizado para cultivos. De estos, los anuales representan el 33 %, mientras que los permanentes el 59 %; el 8 % restante es de barbecho (Figura 3). El uso de la tierra más extenso es el pastoreo de ganado, que

representa el 70 %, usualmente con bajos niveles de productividad (McAlpine *et al.*, 2009).

## Sector energético

El mercado de energía está liberalizado en Colombia. En 2012, su capacidad instalada (Figura 4) consistía en 64 % de grandes hidroeléctricas, 17 % de gas natural, 7 % de petróleo, 7 % de carbón y 5 % de energías renovables. En las áreas remotas, donde la generación convencional de energía es más costosa, operan muchas 'minirredes' de diésel, lo que apunta en un aumento en el uso de energías renovables al 20 % en 2015 y al 30 % en 2020, localmente. Por otro lado, como un país rico en recursos de combustibles fósiles, Colombia también exporta una gran cantidad de energía neta, incluyendo carbón, petróleo y gas natural, a países de todo el mundo.

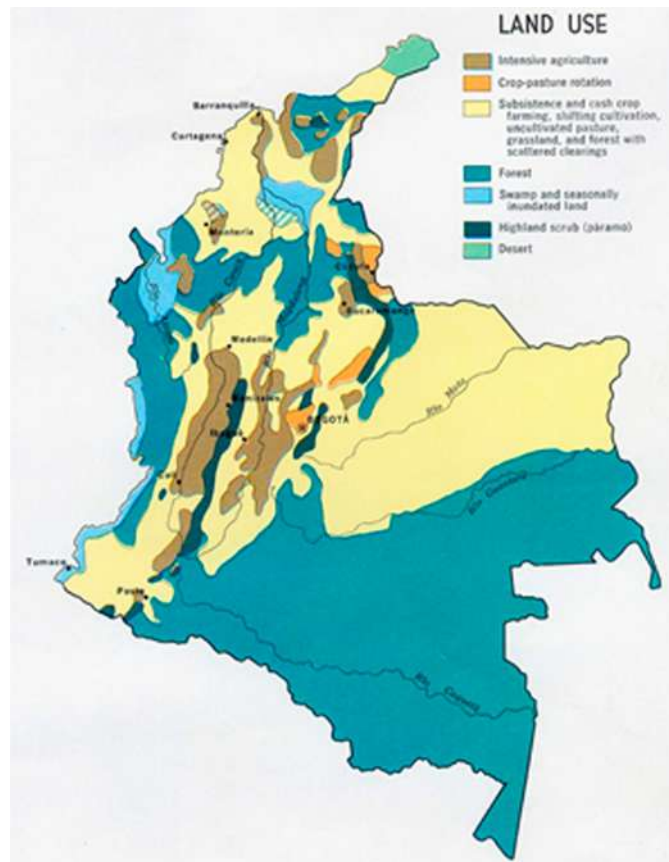
## Bioenergía y biomasa

Colombia está entre los principales productores de biocombustibles de la región. En 2009, produjo 324.7 millones de litros de etanol y 173.043 toneladas de biodiésel, utilizando caña de azúcar y aceite de palma como la materia prima principal (NL Agency, 2013). Se estima que la industria del biocombustible genera 24.000 empleos directos y 48.000 indirectos (NL Agency, 2013). La caña de azúcar y el aceite de palma fueron introducidos comercialmente a comienzos del siglo XX. Como uno de los países con el mayor rendimiento del mundo, cada uno de los cul-

**Figura 1.** Mapa de Colombia y sus 32 departamentos.  
Fuente: Wikipedia.



**Figura 2.** Uso de la tierra en Colombia (Minambiente, 2014).



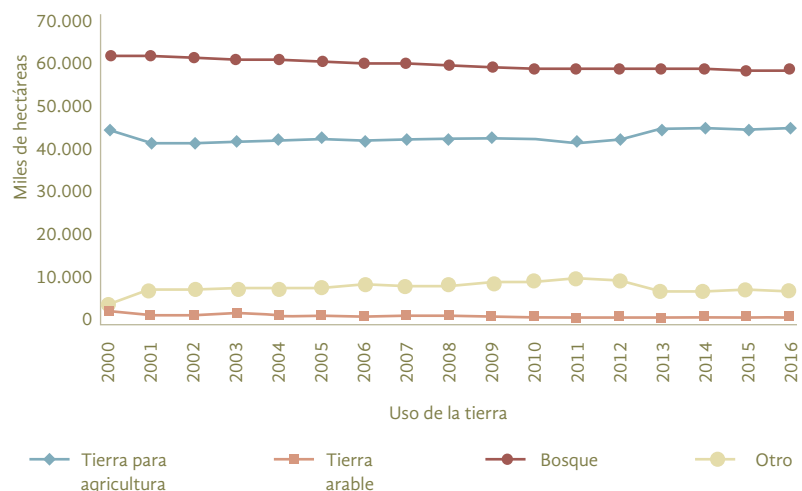


Figura 3. Uso de la tierra en Colombia (FAOstat, 2018).

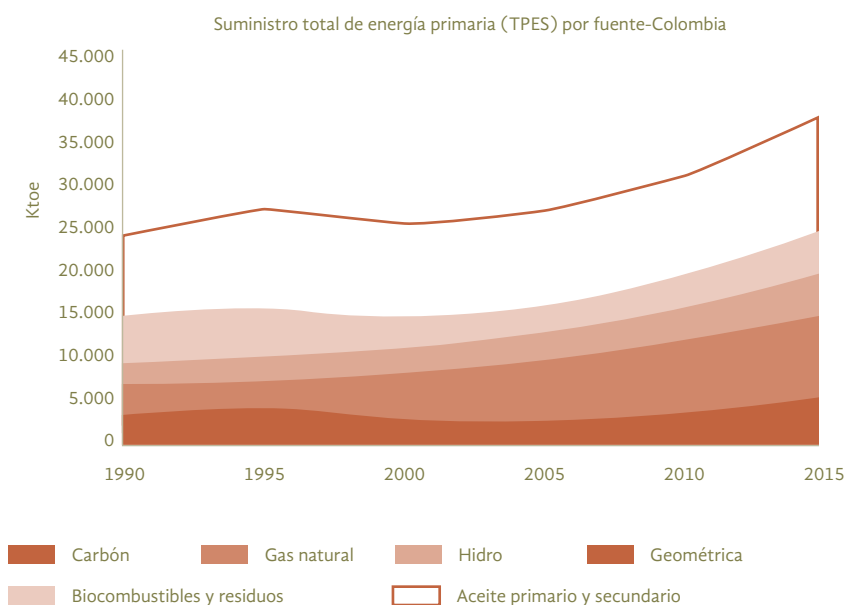


Figura 4. Fuentes de energía en Colombia, 2012 (IEA, 2018).

Tabla 1. Principal materia prima de biomasa disponible en Colombia (MADR, 2014).

Tipo de materia prima	Residuos
Palma de aceite	RFV, fibras, cáscaras
Caña de azúcar	Bagazo, hojas
Arroz	Cáscaras, pajas
Café	Cáscaras
Ganado	Estiércol
Silvicultura	Residuos, leña, pellas

tivos contribuye a aproximadamente 4 % del PIB en el sector agrícola. Los residuos sólidos de biomasa producidos por la industria del procesamiento de la caña de azúcar y del aceite de palma, junto con otros agrícolas y forestales (Tabla 1), representan un gran potencial para la generación y exportación de energía local. La Tabla 1 muestra los principales residuos agrícolas y forestales producidos en Colombia, y sus materias primas serán evaluadas más adelante.

## Palma de aceite

El proceso de molienda del fruto de la palma de aceite en Colombia es uno de los generadores de biomasa más importantes por hectárea cultivada, en comparación con otros cultivos de tipo aceite o de bioenergía. En 2013, con sus 51 plantas de beneficio de aceite de palma y un área productiva de 250.000 ha, Colombia produjo aproximadamente cinco millones de toneladas de racimos de fruta fresca (RFF), con un rendimiento de 19.965 toneladas por ha. Genera 945.064 toneladas de aceite de palma crudo y 224.472 toneladas de almendra (FAOstat, 2014). Adicionalmente, se estima que entre 2008 y 2013 se sembraron aproximadamente 100.000 ha de tierra adicional para aceite de palma. Los detalles de esta transición son desconocidos. Sin embargo, con base en experiencias de años anteriores, es probable que se hayan reemplazado pastizales, tierras de cultivo y para vegetación natural (McAlpine *et al.*, 2009). A pesar de este cambio de la tierra, en 2010 el sector de la palma de aceite generó el 2,6 % del PIB agrícola, con su área sembrada ocupando menos del 1 % del total de tierras agrícolas (Fedepalma, 2011).

En 2008, las plantaciones de palma de aceite se encontraban en cuatro zonas: norte, central, oriental y suroccidental. La oriental tiene la mayoría de plantaciones, contribuyendo con un 39,1 % del área total sembrada, seguida del 28,5 % en la norte, 28 % en la central y 4,5 % en la suroccidental (Fedepalma, 2011). Sin embargo, la de la zona suroccidental ocurrió principalmente en áreas que solían contener bosques (Seeboldt & Salinas, 2010). Adicionalmente, la infraestructura deficiente, los conflictos armados y la existencia de territorios colectivos de comunidades afrocolombianas han limitado el desarrollo de la industria de la palma de aceite en esta región (Seeboldt & Salinas, 2010; BID-MME, 2012).

Considerando el aumento en la siembra y producción de aceite de palma, la disponibilidad de cantidades considerables de subproductos de alto valor energético como los racimos de fruto vacíos (RFV), fibras, cáscaras y efluente de molino (POME), significa que la agroindustria de palma de aceite tiene la posibilidad de generar electricidad en regiones aisladas y de exportar su biomasa como fuente de energía (Tabla 2) (García *et al.*, 2010). La Tabla 3 presenta el porcentaje de disponibilidad de residuos por tonelada de RFF en Colombia, suministrado por una persona de Cenipalma que fue entrevistada. Se muestra que, por cada tonelada de RFF, se puede producir 20-23 % de RFV, 11-14 % de fibra, 5-7 % de cáscara y 65-85 % de POME. Por lo tanto, el potencial de residuos disponibles en 2013 es de entre 7.19-5.04 millones de toneladas, o 2.20-1.80 millones de toneladas de biomasa sólida (excluyendo POME). Según se observa en la Tabla 4, estos resultados están proporcionalmente en

**Tabla 2.** Área sembrada en palma de aceite y datos de producción de 2008 a 2013 (García *et al.*, 2010).

Catálogo	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Área cultivada de aceite de palma (ha)	165.000	165.000	165.000	230.000	230.000	250.000
Rendimientos de RFF (kg/ha)	193.939	193.939	187.879	200.600	203.081	199.650
Producción de RFF (toneladas)	3.200.000	3.200.000	3.100.000	4.613.805	4.670.860	4.991.241
Aceite de palma (toneladas)	777.800	804.838	753.039	804.838	753.039	945.064
Almendras de palma (toneladas)	179.000	179.341	174.327	212.244	215.504	224.427

**Tabla 3.** Porcentaje de disponibilidad de residuos de biomasa y efluentes de plantas de beneficio de aceite de palma en cada tonelada de RFF en Colombia (comunicación personal con Cenipalma, 2014).

País	RFF %	RFV (% en RFF)	Fibra (% en RFF)	Cáscara (% en RFF)	EMAP (% en RFF)
Colombia	100	20-23	11-14	5,0-7,0	65-85

**Tabla 4.** Cantidad máxima y mínima de residuos de aceite de palma estimada para 2013 (comunicación personal con Cenipalma, 2014).

	RFF	RFV	Fibra	Cáscara	EMAP	Total
Máximo (toneladas)	4.991.241	1.147.985	698.774	349.387	4.991.242	7.187.388
Mínimo (toneladas)	4.991.241	998.248	549.037	249.562	3.244.307	5.041.154

línea con los valores a 2010 mencionados en la literatura (García *et al.*, 2010).

## Consideraciones de sostenibilidad para la producción de aceite de palma y uso en bioenergía y bioeconomía

Existen diferentes métodos y marcos para evaluar la sostenibilidad en bioenergía y bioeconomía. Durante los últimos 15 años ha habido un aumento en el uso de normas, principalmente para biocombustibles importados a Europa bajo la Directiva de Energías Renovables (EC, 2009). Aun así, incluso si el producto no se exporta a Europa, se considera que se aplican

las normas y las buenas prácticas. La Tabla 5 muestra varias metodologías y herramientas que pueden contribuir a esta evaluación, y la Tabla 6, algunas consideraciones de sostenibilidad para buenas prácticas.

Respecto a las normas, particularmente la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible ha sido una de las más aplicadas en el sector, junto con otras que tienen una cobertura más amplia, es decir, no específica para este cultivo, como la Certificación Internacional de Sostenibilidad y Carbono (ISCC, por su sigla en inglés) y la Mesa Redonda sobre Biocombustibles Sostenibles (RSB, por su sigla en inglés). Varios autores han revisado y evaluado estas normas y, por lo tanto, siguen criterios e indicadores similares. Si bien las consideraciones ambientales, incluyendo biodiversidad, disponibilidad de tierras y

**Tabla 5.** Ejemplos de metodologías y herramientas para la evaluación de sostenibilidad (Díaz-Chavez, 2015).

Ambiental	Ingenieril	Socioeconómico	Comercial	Integrado
Evaluación de impacto ambiental	Evaluación de ciclo de vida	Evaluación de impacto social	Sistemas de gestión ambiental	Evaluación de sostenibilidad
Huella de carbono	Evaluación de riesgos	Evaluación de impacto a la salud	Responsabilidad social corporativa	Evaluación de impacto integrado
Huella ecológica	Evaluación de flujo de materiales	Análisis costo-beneficio		Evaluación de impacto
Modelado de uso de la tierra		Modelado económico		Evaluación estratégica de impacto

**Tabla 6.** Consideraciones de sostenibilidad para buenas prácticas (Díaz-Chavez, 2010).

	Principio	Am	S	Ec	P
1.	Buenas prácticas agroecológicas y silviculturales (biodiversidad, suelos)	X			
2.	No afectar el suministro y calidad del agua	X			
3.	No cambiar el uso de la tierra en detrimento de la seguridad alimentaria	x			
4.	Participación comunitaria (desde la planeación)		x		
5.	Participación de mujeres (desde la planeación)		x		
6.	Transferencia de habilidades (gerencia, comerciales, agrícolas)		x		
7.	Inclusión de la comunidad en el modelo económico o de negocios			X	
8.	Valor agregado en la comunidad			X	
9.	Mejora en los servicios e infraestructura (suministro eléctrico, salud) reinversión de ingresos a la comunidad			X	
10.	Cumplimiento con la política nacional y/o directrices vigentes en bioenergía				X
11.	Cumplimiento con los programas, regulaciones y planes locales vigentes				X
12.	Respetar los derechos sobre la tierra y evitar el desplazamiento				x

emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son importantes en términos de sostenibilidad, se presta menos atención a los asuntos socioeconómicos.

Algunos indicadores evaluados en proyectos anteriores, como el Biotrade2020+ (2018), incluyeron una evaluación de indicadores socioeconómicos: derechos sobre la tierra, condiciones laborales, trabajo infantil, discriminación y equidad de género, y otros derechos laborales relacionados con la Organización Internacional del Trabajo (OIT). A continuación se explican algunos de estos indicadores en el contexto de Colombia.

### Derechos sobre la tierra

La tierra en Colombia está clasificada como propiedad estatal, que pertenece a la nación; propiedad privada, a individuos; y tierras comunales, a grupos indígenas, comunidades afrocolombianas y cooperativas o grupos de habitantes urbanos (UNHabitat, 2005).

En general, la seguridad de la tierra enfrenta algunos problemas:

**Distribución inequitativa:** más del 68 % de la población rural vive por debajo del nivel de pobreza, mientras que el 0,4 % es propietaria del 62 % de

las mejores tierras del país. Con el fin de solucionar esta inequidad y de proteger los derechos de los campesinos terratenientes, el Gobierno de Colombia ha intentado varios programas de reforma rural desde 1936, cuando se aprobó la Ley 200 (Gruczyński & Jaramillo, 2002). Sin embargo, la corrupción interna y la falta de capacidad para implementar los cambios, resultaron en un bajo nivel de éxito (Elhawary, 2007). Los derechos sobre la tierra han sido una de las principales preocupaciones respecto a la sostenibilidad social en la producción de cultivos bioenergéticos, particularmente en países en vía de desarrollo, donde hay disponibilidad de tierras comunales. En el caso de Colombia, existen informes sobre el problema del desplazamiento forzado de comunidades rurales. La nueva Ley de Víctimas de Desplazamiento busca la restitución de la tierra a aquellos desplazados por el conflicto, y a apoyar el uso y tenencia legal de la tierra. Algunas de estas áreas requieren la implementación de proyectos agrícolas en los que puedan participar los pequeños productores (Daza *et al.*, 2013).

Colombia tiene una de las tasas de desplazamiento forzado interno más altas del mundo. Oficialmente, hay más de tres millones de personas desplazadas internamente. Algunas ONG estiman que son cin-

co millones. En ciertos casos, los combatientes han desterrado a las comunidades para utilizar la tierra con fines de agricultura comercial. En general, aproximadamente cuatro millones de hectáreas de tierra han sido abandonadas y la población rural es de tan solo el 26 % (UNHabitat, 2005). Si bien el número de personas desplazadas se ha reducido significativamente en los últimos años, el desplazamiento continuo de personas indica la persistencia de la violencia rural. Los desplazados huyen hacia las áreas urbanas donde, como residentes de asentamientos informales, en gran medida carecen de tenencia formal, así como de acceso a servicios básicos (USAID, ny).

En el sector de la biomasa, los problemas con los derechos sobre la tierra en la zona de la palma de aceite, ocurren cuando las plantaciones se encuentran en regiones con la intensificación persistente del conflicto armado y con inconvenientes de redefinición ilegal de derechos de propiedad sobre la tierra (Seeboldt & Salinas, 2010). Adicionalmente, en la región de mayor siembra de caña de azúcar en el valle del río Cauca, se dice que el cultivo industrial de esta y las actividades mineras de compañías transnacionales están causando conflictos sociales y ambientales relacionados con el agua y el acceso a la tierra, en donde ocurre la contaminación del aire por la quema, la del agua por químicos, el agotamiento del agua y el suelo, y el desplazamiento forzado (LAR, 2014).

## Condiciones laborales

Los derechos laborales en Colombia están consagrados en la Constitución, el Código Sustantivo del Trabajo, el Código Procesal del Trabajo y la Seguridad Social, las leyes específicas del sector y convenios internacionales ratificados, que han sido incorporados a la legislación nacional. Todas las leyes laborales aplican a las 15 zonas de procesamiento de exportaciones del país, sin leyes o exenciones adicionales (U.S. Department of State, 2005).

## Trabajo infantil

Colombia ha ratificado los convenios 138 y 182, relacionados con la abolición del trabajo infantil. Actualmente, la edad mínima para trabajar es de 15

años, con base en el Código de la Niñez y la Adolescencia (DNP, 2006). Los niños menores de 15 años pueden recibir permiso de la Inspección de Trabajo para trabajar por paga hasta 14 horas semanales en empleos artísticos, culturales, recreativos o relacionados con deportes. En 2001, se estimaba que aproximadamente el 10,4 % de niños entre 5 y 14 años de edad en Colombia trabajaban (DNP, 2006). La mayoría de ellos se encontraron en el sector de servicios (49,9 %), seguido de agricultura (35,6 %) y manufactura (12,6 %). El Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) estima que aproximadamente el 80 % de los niños que laboran lo hacen en la economía informal.

## Discriminación e inequidad de género

Colombia ratificó el Convenio 100 sobre la Igualdad de Remuneración y el 111 sobre la Discriminación. A pesar de las disposiciones legales razonables, en la práctica las mujeres tienen menos acceso a empleo de calidad, como en posiciones gerenciales; reciben sueldos inferiores, especialmente en áreas rurales, y cuentan con menor protección en el lugar de trabajo (DNP, 2006; Viafara, 2007; ILO, 2007).

Los indígenas también están sujetos a discriminación. La minoría étnica afrocolombiana palenquera y las poblaciones raizales experimentan mayores niveles de pobreza, marginalización y vulnerabilidad social debido a su acceso limitado al mercado laboral (Grueso *et al.*, 2007). Esto se debe principalmente al hecho de que pueden ser disuadidas de logros educativos superiores porque experimentan mayores desventajas que las no minorías en el acceso a la tecnología, el desarrollo de habilidades laborales especializadas y su integración total al mercado laboral (Grueso *et al.*, 2007). Para resolver este problema, la Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos (ACNUDH), ha participado en actividades de asesoría, apoyo e intercambio con representantes de la sociedad civil, y varias ONG están haciendo grandes esfuerzos para mejorar la situación (UNHCHR, 2007). Sin embargo, en las áreas rurales, el desempleo de afrocolombianos (17,6 %) es menor que el de no afrocolombianos (15,2 %), mientras que en el área urbana ocurre lo contrario.



## Derecho de sindicación y de negociación colectiva

Colombia ratificó los convenios de la OIT sobre el derecho a la sindicación y de negociación colectiva, y sobre la libertad sindical y la protección del derecho de sindicación. Sin embargo, estos son restringidos, particularmente para los trabajadores del sector público, y también hay limitaciones en el sector privado (ILO, 2007).

## Trabajo forzado

Colombia ratificó los convenios de la OIT sobre el trabajo forzado. Sin embargo, su sistema actual de tratamiento legal de los casos de tráfico de personas es inadecuado y el enjuiciamiento es difícil (IOM, 2006; U.S. Embassy, 2007).

Dentro del sector de la biomasa, las sinergias del sector azucarero, controlado por unos pocos grupos económicos, no han permitido lograr un mayor impacto en la creación de nuevos empleos rurales.

## Pequeños productores

La literatura anterior sugiere que la intensificación sostenible del rendimiento de los pequeños propie-

tarios trae beneficios directos a las comunidades rurales, tales como una expansión reducida de los cultivos de palma de aceite a nuevas tierras y mayores ingresos, en al menos 60 % en promedio (Lee *et al.*, 2014) o entre el 60 % y el 150 % (Sandker *et al.* 2007), reduciendo así la pobreza rural. Adicionalmente, en Colombia se ha observado que la producción de aceite de palma genera trabajo estable y una fuente permanente de ingresos, ya que los salarios en el sector son el doble del mínimo (The Partnerships' Resource Centre, 2011) y 20 % más altos que en otras labores agrícolas (Fedepalma, 2012) (Tabla 7).

En los países en desarrollo, la cantidad y calidad del empleo depende de la etapa del sistema bioenergético, el proceso de conversión, la configuración específica de la nación y de si es intensivo en mano de obra o mecanizado (Franke *et al.*, 2013). Nótese también que puede ser que la demanda para los trabajos cualificados mencionados no se satisfaga del todo con la oferta local debido a la ausencia de las competencias necesarias.

## Producción de bioenergía y escenarios

El nivel de inversión en energías limpias de Colombia es relativamente débil frente a todos los países de Latinoamérica. Entre 2006 y 2012, atrajo \$ 1.200 mi-

**Tabla 7.** Ingresos de pequeños productores por ha (en USD) de un mayor rendimiento en Colombia. <sup>1</sup> Fuente: promedio entre rendimientos bajo (2,3 t/ha) y alto (3,2 t/ha), reportado por el cuestionario de país de la FAO (2016). <sup>2</sup> Suposiciones de la FAO para el escenario BAU (Business as usual) y GISPOV (sigla en inglés de la iniciativa mundial para cadenas sostenibles de aceite de palma) (n/d). <sup>3</sup> Rendimiento de RFF calculado asumiendo una tasa de extracción del 21,6 % (suposiciones FAO). <sup>4</sup> Fuente: FAOstat (2016). Los precios se refieren a 2014. <sup>5</sup> Siguiendo los pronósticos del World Bank (2016b) para el precio del aceite de palma crudo (APC), que estiman tendrá un aumento anual de aproximadamente el 3,3 % entre 2016 y 2025.

	Año		
	2014	2025 (BAU)	2025 (GISPOV)
Rendimiento APC (t)/ha (promedio nacional)	2,7 <sup>1</sup>	2,7 <sup>2</sup>	4,2 <sup>2</sup>
Rendimiento RFF (t)/ha (promedio nacional)	12,5 <sup>3</sup>	12,5 <sup>3</sup>	19,4 <sup>3</sup>
Precio APC/t (promedio anual)	909 <sup>4</sup>	1.236 <sup>5</sup>	1.236 <sup>5</sup>
Total ingresos brutos APC/ha	2.454,3	3.337,2	5.191
Cambio entre 2014 y 2025		36 %	111 %

lones en capital renovable y la mayoría se fue a pequeños proyectos hidroeléctricos y de biomasa. Estos serían algunos de los impactos socioeconómicos si se consideran los siguientes dos escenarios (con suposiciones) para aceite de palma crudo (APC) en Colombia y las posibilidades de utilizar el metano para generar electricidad (Tabla 8):

- a) Escenario con el desarrollo normal de la actividad: producción de APC de 1.2 millones de toneladas en 2015 a una producción estimada de 1.6 millones de toneladas en 2025 (proyectado con base en las tendencias del pasado - FAO 2016), así como un rendimiento nacional promedio de 3,2 t/ha al 2015.
- b) Producción mejorada y uso de gas: cobeneficios sociales y económicos potenciales, asumiendo una producción estimada de 1.6 millones de toneladas de APC y un rendimiento nacional promedio de 4,2 t/ha de APC en 2025 (proyectado con base en las tendencias pasadas -FAOstat, 2016).

En el escenario a futuro, se desconoce si un aumento en el rendimiento de los pequeños productores llevará a una mayor diversificación de medios de vida en áreas afectadas, es decir, en las fuentes de ingreso de los hogares, tales como actividades agrícolas y no agrícolas; o si esto resultará en los monocultivos y la agricultura de palma de aceite como la principal y/o única fuente de ingresos, en vez de tener una mezcla diversificada de cultivos como en el pasado. Apoyar la producción de los pequeños productores tiene el potencial de lograr mejores medios de vida ya que, en comparación con las plantaciones industriales, las granjas diversificadas a pequeña escala son más adaptables a cambios en el corto plazo; no dislocan las comunidades locales ni crean escasez de tierras o problemas de tenencia entre ellos; mejoran la seguridad alimentaria local; protegen la biodiversidad, y en general, causan menos afectaciones a las estructuras socioeconómicas existentes (World Bank, 2011). Adicionalmente, el uso flexible de la fuerza laboral del hogar puede cumplir con la

**Tabla 8.** Ingresos de plantas de beneficio de aceite de palma con sistemas de captura de metano en Colombia. <sup>1</sup> Datos y suposiciones de la FAO para el escenario BAU Y GISPOV. <sup>2</sup> Ver tabla anterior. <sup>3</sup> Mel *et al.*, 2010. <sup>4</sup> Franke *et al.*, 2013.

	Año		
	2015	2025 (BAU)	2025 sistemas mejorados (GISPOL)
% de producción de APC en el país con sistemas de captura de metano	6,5 % <sup>1</sup>	13 % <sup>1</sup>	19 % <sup>1</sup>
Producción total nacional de APC (t)	1.200.000 <sup>1</sup>	1.600.000 <sup>1</sup>	1.600.000 <sup>1</sup>
EMAP (m <sup>3</sup> ) por tonelada de APC	2,5 <sup>2</sup>	2,5 <sup>2</sup>	2,5 <sup>2</sup>
EMAP total (m <sup>3</sup> ) para la producción total de APC	3.000.000	4.000.000	4.000.000
EMAP total (t) para la producción total de APC	2.900.000	3.900.000	3.900.000
Biogás (m <sup>3</sup> ) producido por tonelada de POME	28 <sup>3</sup>	28 <sup>3</sup>	28 <sup>3</sup>
Potencial total de biogás (m <sup>3</sup> ) para todas las plantas de beneficio del país	64.960.000 <sup>4</sup>	87.360.000 <sup>4</sup>	87.360.000 <sup>4</sup>
Total de biogás (m <sup>3</sup> ) producido por todas las plantas de beneficio del país	4.222.400	11.356.800	16.598.400
kWh de electricidad producidos por 1 m <sup>3</sup> de biogás	1,7 <sup>5</sup>	1,7 <sup>5</sup>	1,7 <sup>5</sup>
Electricidad total (kWh) producida de biogás	7.178.080	19.306.560	28.217.280
Precio de la electricidad (USD/kWh) para clientes industriales	0,13 <sup>6</sup>	0.12 <sup>7</sup>	0.12 <sup>7</sup>
Ingresos brutos totales anuales de electricidad de biogás (USD) para todas las plantas de beneficio del país	933.150	2.316.787	33.860.734

mayor demanda de empleo temporal sin costos significativos (Lasse & Bertulle, 2009).

Hay alcance para una gran producción de energía a partir de los desechos, como POME, que puede aumentar la diversidad del portafolio nacional dado que actualmente no hay producción de electricidad a partir de biogás en el país (IEA, 2016). Considerando el aumento en la siembra y producción de aceite de palma, la disponibilidad de cantidades considerables de subproductos de alto valor energético como los RFV, fibras, cáscaras y POME, significa que las agroindustrias de palma de aceite tienen la posibilidad de generar electricidad en regiones aisladas y de exportar su biomasa como fuente de energía (García *et al.*, 2010). El proceso de molienda del fruto de la palma de aceite en Colombia es uno de los generadores de biomasa más importantes por hectárea cultivada, en comparación con otros cultivos de tipo aceite o de bioenergía (Díaz-Chavez, 2015).

Se esperaría que, bajo el sistema mejorado y con el uso de metano, cualquier electricidad generada de biogás continuaría siendo utilizada principalmente por las plantas de beneficio generadoras de aceite de palma<sup>1</sup> y, quizás después, alimenten minirredes. Se estima que el equipo propuesto de 19 % del total de la producción de APC con sistemas de captura de metano generará aproximadamente 28,2 GWh de electricidad a partir de biogás; un aumento significativo de la actual contribución de cero de esta fuente de energía a la red y de aproximadamente el 0,05 % del consumo total actual de energía de 52.985 Gwh (IEA, 2016). Los sistemas de captura de metano, junto con la instalación u operación de minirredes eléctricas basadas en biogás a un nivel local podrían, en una etapa posterior de GISPOV, beneficiar a las comunidades rurales locales, aumentando el acceso a electricidad. Adicionalmente, establecer una generación y una red local puede ser más barato, fácil y rápido, que extenderla de la estación central a áreas remotas de carga modesta, lo que subyace al potencial de tecnologías basadas en biomasa para

1 En este momento, las plantas de beneficio son alimentadas con electricidad autogenerada de los subproductos de la palma de aceite o de generadores de diésel (Cuestionario de país de la FAO, 2016).

promover el desarrollo rural sostenible en los países en desarrollo (Bazmi *et al.* 2011). Dada la alta tasa de electrificación entre las comunidades rurales colombianas, el alcance de la expansión de las minirredes o de los equipos fuera de la red basados en biogás puede parecer limitado en un principio. No obstante, esto no es cierto dado que, las costosas minirredes de diésel suministran energía a los hogares (BNEF, 2014) y a las plantaciones de palma en áreas rurales remotas. El acceso a servicios modernos de energía puede crear un rango de efectos secundarios para las economías rurales, permitiendo una variedad de microempresas. Tales oportunidades pueden venir en la forma de escalamiento de los negocios pequeños existentes o en el establecimiento de nuevos. Las fuentes renovables fuera de la red también pueden impulsar los comercios existentes, permitiéndoles permanecer abiertos hasta la noche, lo que atrae más clientes y posiblemente más ingresos (IRENA, 2013).

## Conclusiones

La producción de biomasa requiere de contextualización, lo que implica la consideración de las características locales de producción desde todas las áreas: económicas, ambientales, sociales, de gobernanza y de sostenibilidad. Colombia ha estado produciendo aceite de palma durante varias décadas y ha mejorado su producción desde un punto de vista ambiental. Aún se debe avanzar en las condiciones sociales, y adecuadas formas de producción pueden resultar en beneficios ambientales como también socioeconómicos.

Las posibilidades de contar con una producción mejorada, utilizar la bioenergía y tener otros usos para los residuos en el sector de la bioeconomía (por ejemplo, químicos de alto valor), da la oportunidad de alcanzar varios cobeneficios socioeconómicos tales como:

- Alivio de la presión sobre la tierra y los otros recursos a través de la intensificación sostenible de rendimientos, así como una reducción de los conflictos por la propiedad de la tierra y los derechos consuetudinarios sobre esta.
- Mayores ingresos para los pequeños productores, con la intensificación sostenible de rendimientos, permitiendo mejorar su bienestar (nutrición, salud, educación, etc.).

- Medios de vida diversificados, con los ingresos de la palma de aceite como parte importante de la economía de los hogares rurales.
- Consideración de los problemas de equidad, como un mayor acceso de las mujeres a oportunidades de empleo en el procesamiento y producción, y adecuadas condiciones laborales.
- Mayor actividad económica local, como resultado de los mejores ingresos y condiciones de vida.
- Superiores ingresos para las plantas de beneficio de aceite de palma por el procesamiento eficiente de POME.
- Diversidad de la energía nacional, con la electricidad generada por biogás reemplazando otras fuentes utilizadas en las plantas de beneficio de aceite de palma.

Se recomienda considerar investigaciones adicionales en el campo socioeconómico para ubicar estos problemas en el mismo nivel de mejora que aquellos en el área ambiental.

## Referencias

- Bazmi, A. A., Gholamreza, Z., & Haslenda, H. (2011). Progress and challenges in utilization of palm oil biomass as fuel for decentralized electricity generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 574–583.
- BID-MME. (2012). Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia. Resumen Ejecutivo. Available at: [www.fedebiocombustibles.com](http://www.fedebiocombustibles.com) (accessed 20.03.2012).
- Biotrade2020+. (2018). Biotrade2020 + project. EC. <https://www.biotrade2020plus.eu/>
- BNEF. (2014). Bloomberg New Energy Finance Policy Library. Available at: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getDocument.aspx?DOCNUM=38168432> (accessed 05. 2014).
- Cardona, C. A., Quintero, J. A. & Paz, I. C. (2010). Production of bioethanol from sugarcane bagasse: Status and perspectives. *Bioresource Technology*, 101, 4754–4766.
- Castiblanco, C., Etter, A. T., & Mitchell, A. (2013). Oil palm plantations in Colombia: a model of future expansion. *Environmental, Science & Policy*, 27, 172-183.
- Cenipalma. (2014). <http://www.cenipalma.org/> (accessed 06.2014).
- MINAMBIENTE. (2014). Plan de Desarrollo Forestal. Available at: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=426:plantilla-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos-21> (accessed 06.2014).
- MADR. (2014). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. Available at: <https://www.minagricultura.gov.co/paginas/inicio.aspx> (accessed 06.2014).
- Daza, C., Amezquita, M. A., Arango, A., Zwart, R., Camargo, J. C., Hernández, A., Rodríguez, A., et al. (2013). Torrefied Bamboo for the Import of Sustainable Biomass from Colombia. ECN-E--15-020, Netherlands.
- Díaz-Chavez, R., Daza, C., Camargo, J. C., Londoño, X., Rosillo-Calle, F., & Zwart, R. (2013). Bamboo torrefaction in Colombia for energy uses. A Sustainability Assessment. European Biomass Conference Proceedings, Copenhagen.

- Diaz-Chavez, R. (2010). Competence Platform on Energy Crop and Agroforestry Systems for Arid and Semi-arid Ecosystems, COMPETE (EU FP6 2007-2009).
- Diaz-Chavez, R. (2015). Assessing sustainability for biomass energy production and use. In: Rosillo-Calle, F., De Groot, P., Hemstock, S., & Woods, J. (Eds.). *The Biomass Assessment Handbook: Energy for a sustainable environment*, 2nd edition. Routledge. UK.
- DNP. (2006). Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 - Estado Comunitario: desarrollo para todos. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación. Available at: [http://www.dnp.gov.co/paginas\\_detalle.aspx?idp=906](http://www.dnp.gov.co/paginas_detalle.aspx?idp=906) (accessed 05. 2014).
- Elhawary, S. (2007). Between war and peace: Land and humanitarian action in Colombia. HPG Working Paper. London: Overseas Development Institute. Available at: <http://www.odi.org.uk/resources/download/1912.pdf>
- EC. 2009. Renewable Energy Directive. European Commission. Available at: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive>
- FAOstat. (2014). FAO statistics. <http://faostat3.fao.org/home/E>
- FAOstat. (2016). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: <http://faostat.fao.org/> (accessed 01.2016).
- FAOstat. (2018). Food and Agriculture Organization Statistics. <http://www.fao.org/faostat/en/#-data/RL>
- Fedepalma. (2011). La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo. Anuario Estadístico.
- Fedepalma. (2012). Challenges of palm oil development in Colombia. Available at: [http://rt10.rspo.org/ckfinder/userfiles/files/P4\\_3%20ens%20Mesa-Dishington%20Presentation.pdf](http://rt10.rspo.org/ckfinder/userfiles/files/P4_3%20ens%20Mesa-Dishington%20Presentation.pdf) (accessed 02.2016).
- Franke, B., Reinhardt, G., Malavelle, J., Faaij, A., & Fritsche, U. (2013). Global assessments and guidelines for sustainable liquid biofuels. A GEF targeted research project. Heidelberg/Paris/Utrecht/Darmstadt.
- García, J., Cárdenas, M., & Yáñez, E. (2010). Power Generation and Use of Biomass at Palm Oil Mills in Colombia. *Palmas*, 31(2), 41-48.
- Gadde, B., Menke, C., & Wassmann, R. (2009). Rice straw as a renewable energy source in India, Thailand, and the Philippines: overall potential and limitations for energy contribution and greenhouse gas mitigation. *Biomass & Bioenergy*, 33(11), 1532-1546.
- Ghazoul, J. (2015). Good news and bad news for oil palm smallholders. Zukunftsblog. Available at: <https://www.ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2015/04/good-news-and-bad-news-for-oil-palm-smallholders.html> (accessed 02.2016).
- Grueso, L., Mow, J. M., Robinson, D. D. & Viáfara C. A. (2007). Plan Integral de Largo Plazo para la Población Negra /Afrocolombiana, Palenquera Y Raizal: Propuestas para el Capítulo de Fortalecimiento de los Grupos Étnicos y de las Relaciones Interculturales del Plan Nacional de Desarrollo 2006- 2010. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación.
- Grusczyński, D. M. & Jaramillo, F. (2002). Integrating land issues into the broader development agenda, case study: Colombia. Paper prepared for presentation in the Regional Workshop on Land, World Bank, Pachuca, México. Available at: <http://www.landnetamericas.org/docs/Integrating%20Land%20Issues%20Colombia.pdf>
- GTZ. (2002). Producing electricity from renewable energy source: energy sector framework in 15 countries in Asia, Africa and Latin America.

- IDEAM. (2004). Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá.
- IEA. (2016). International Energy Agency Statistics. Available at: <http://www.iea.org/statistics/> (accessed 02.2016).
- IEA. (2018). International Energy Agency Statistics. Available at: <https://www.iea.org/statistics/?-country=COLOMBIA&year=2016&category=Key%20indicators&indicator=TPESbySource&mode=chart&categoryBrowse=true&dataTable=BALANCES&showDataTable=true>
- IFC. (2013). Diagnostic study on Indonesian oil palm smallholders: Developing a better understanding of their performance and potential. International Finance Corporation. Available at: [http://www.aidenvironment.org/media/uploads/documents/201309\\_IFC2013\\_Diagnostic\\_Study\\_on\\_Indonesian\\_Palm\\_Oil\\_Smallholders.pdf](http://www.aidenvironment.org/media/uploads/documents/201309_IFC2013_Diagnostic_Study_on_Indonesian_Palm_Oil_Smallholders.pdf) (Accessed 02.2016)].
- ILO. (2007). Equality at work: Tackling the challenges. Global Report under the follow-up of the ILO Declaration on Fundamental Principles and Rights at Work, Geneva: International Labour Organization.
- ILO. (2016). International Labour Organization. Available at: <http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/lang--en/index.htm> (accessed 02-2016).
- IOM. (2006). Dimensiones de la trata de personas en Colombia. International Organization for Migration, Bogota. Available at: [http://www.oit.org.pe/ippec/documentos/oim\\_trata\\_col.pdf](http://www.oit.org.pe/ippec/documentos/oim_trata_col.pdf). (accessed 05.2014).
- IRENA. (2013). Renewable Energy and Jobs. Available at: <http://www.irena.org/rejobs.pdf> (accessed 04.2016).
- LAR. (2014). Land and Rights in Troubled Water. Project LAR. Available at: <http://landsandrights.blog.com/cauca-valley/> (accessed 05.2014).
- Lasse, T., & Bertule, M. (2009). Sustainability of smallholder palm oil production in Indonesia. Roskilde University Department of Society and Globalization. International Development Studies.
- MADR. (2014). Atlas de Biomasa Residual. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia.
- McAlpine, C., Etter, A., Fearnside, P., Seabrook, L. & Laurance, W. (2009). Increasing world consumption of beef as a driver of regional and global change: a call for policy action based on evidence from Queensland (Australia), Colombia and Brazil. *Global Environmental Change*, 19, 21–33.
- Mel, M., Ihsan, I., & Adesta, Y. (2010). Biogas Energy Potential in Riau, Indonesia. Kuala Lumpur, Malaysia: International Islamic University Malaysia.
- NL Agency. (2013). Biomass opportunities in Colombia. Ministerio de Relaciones Exteriores.
- Sandker, M., Suwarno, A., & Campbell, B. (2007). Will forests remain in the face of oil palm expansion? Simulating change in Malinau, Indonesia. *Ecology and Society*, 12(37). Available at <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art37> (accessed 02.2016).
- Seeboldt, S., & Salinas, Y. (2010). Responsabilidad y sostenibilidad de la industria de la palma. Son factibles los principios y criterios de la RSPO en Colombia. Available at: [www.setianworks.net/indepazHome/index.php?id](http://www.setianworks.net/indepazHome/index.php?id)
- The Partnerships' Resource Centre. (2011). Sustainable palm oil production for smallholders. Available at: [https://www.rsm.nl/fileadmin/Images\\_NEW/Faculty\\_Research/Partnership\\_Resource\\_Centre/Cases/case\\_palm-oil\\_final.pdf](https://www.rsm.nl/fileadmin/Images_NEW/Faculty_Research/Partnership_Resource_Centre/Cases/case_palm-oil_final.pdf) (accessed 02.2016).
- UNHabitat. (2005). Land tenure, housing rights and gender in Colombia. Available at: <https://www.>

- un.org/ruleoflaw/files/Law,\_Land\_Tenure\_and\_Gender\_Colombia.pdf (accessed 02.2016).
- USAID (year unknown). Property rights and resource governance: Colombia. Available at: [http://www.usaidlandtenure.net/sites/default/files/country-profiles/full-reports/USAID\\_Land\\_Tenure\\_Colombia\\_Profile.pdf](http://www.usaidlandtenure.net/sites/default/files/country-profiles/full-reports/USAID_Land_Tenure_Colombia_Profile.pdf).(accessed 02.2016).
- U.S. Embassy, Bogota, reporting, March 5, 2007.
- U.S. Department of State. Country Reports on Human Rights Practices 2005 - Colombia, Section 6b, Washington, D.C., March 8, 2006. Available at: <http://www.state.gov/g/drl/rls/hrrpt/2005/61721.htm>.
- Viáfara, C. A. (2007). Plan Integral de Largo Plazo para la Población Negra, Afrocolombiana, Palenquera y Raizal: Consultoría Desarrollo Económico – Género. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación.
- World Bank. (2011). The World Bank Group Framework and IFC Strategy for Engagement in the Palm Oil Sector. Available at: [http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/159dce004ea3bd0fb359f71dc0e8434d/WBG+Framework+and+IFC+Strategy\\_FINAL\\_FOR+Web.pdf?MOD=AJPERES](http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/159dce004ea3bd0fb359f71dc0e8434d/WBG+Framework+and+IFC+Strategy_FINAL_FOR+Web.pdf?MOD=AJPERES). (accessed 02.2016].
- World Bank. (2016a). <http://www.worldbank.org/> (accessed 01.2016).
- World Bank. (2016b). *Commodity markets*. Available at: <http://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets> (accessed 04.2016].
- Bulanon, D. M., Burks, T. F., Kim, D. G., & Ritenour, M. A. (2013). Citrus black spot detection using hyperspectral image analysis. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(3), 171-180.
- Camps-Valls, G., & Bruzzone, L. (2005). Kernel-based methods for hyperspectral image classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(6), 1351-1362.
- Chang, C. I. (2007). *Hyperspectral data exploitation: Theory and applications*. John Wiley & Sons.
- Chang, C. I. (2003). *Hyperspectral imaging: Techniques for spectral detection and classification*. New York: Kluwer Academic Publishers.
- Cui, S., Ling, P., Zhu, H., & Keener, H. (2018). Plant pest detection using an artificial nose system: A review. *Sensors*, 18(2), 378.
- Delalieux, S., Aardt, J., Keulemans, W., Schrevels, E., & Coppin, P. (2007). Detection of biotic stress (*Venturia inaequalis*) in apple trees using hyperspectral data: Non-parametric statistical approaches and physiological implications. *European Journal of Agronomy*, 27(1), 130-43.
- Del Fiore, A., Reverberi, M., Ricelli, A., Pinzari, F., Serranti, S., Fabbri, A.A., et al. (2010). Early detection of toxigenic fungi on maize by hyperspectral imaging analysis. *International Journal of Food Microbiology*, 144(1), 64-71.
- Dhau, I., Adam, E., Mutanga, O., & Ayisi, K. K. (2018). Detecting the severity of maize streak virus