

POSIBILIDADES DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DEL CULTIVO CACAOTERO¹

POSSIBILITIES FOR ENERGY USE OF AGRICULTURAL RESIDUE FROM COCOA PLANTATIONS

Artículo recibido el: 25/07/2024

Artículo aceptado el: 22/04/2025

Hirdan Katarina de Medeiros Costa

Programa de Pós-Graduação em Energia, Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo/SP, Brasil

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2035937453943199>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5106-6251>

hirdan@usp.br

Geraldo Lavigne de Lemos

Programa de Pós-Graduação em Energia, Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo/SP, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/9904455667774816>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4752-267X>

geraldolavigne@usp.br

Andrieza de Aquino Esalabão

Programa de Pós-Graduação em Energia, Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo/SP, Lattes:

<http://lattes.cnpq.br/216158655343532>

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4849-8050>

andriezaeslabao@gmail.com

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Resumen

El aprovechamiento energético de los residuos agrícolas es una alternativa importante para la economía baja en carbono. El cultivo del cacao genera una cantidad significativa de residuos agrícolas en forma de biomasa de cáscara de cacao. Este estudio ha identificado las vías tecnológicas

Abstract

The energetic use of agricultural residue may be an important alternative for the low-carbon economy. The cocoa crop generates a relevant amount of agricultural residue in the form of cocoa husk biomass. This study aims to identify the technological routes available for the energy use of agrarian residue from the

¹ Agradecemos el apoyo financiero del Programa de Recursos Humanos de la Agencia Nacional del Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles (PRH-ANP), respaldado con recursos provenientes de la inversión de empresas petroleras en la Cláusula de I+D+I de la Resolución ANP n. 50/2015 (PRH 33.1 – Referente al Edital n. 1/2018/PRH-ANP; Convenio Finep/Fusp/USP Ref. 0443/19). Agradecemos el apoyo del Research Centre for Greenhouse Gas Innovation (RCGI), ubicado en la Universidade de São Paulo (USP) y financiado por la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) (2014/50279-4 y 2020/15230-5) y Shell Brasil, así como la importancia estratégica del apoyo brindado por la Agencia Nacional del Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles (ANP) mediante el incentivo regulatorio asociado a la inversión de recursos provenientes de las Cláusulas de Investigación, Desarrollo e Innovación. Agradecemos también el apoyo de la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).



disponibles para el aprovechamiento energético de esos residuos y ha cuantificado la capacidad de oferta que puede utilizarse con fines energéticos. Estudios previos han demostrado que la biomasa de la cáscara de cacao tiene cualidades relevantes para su conversión en productos energéticos a través de diversas rutas tecnológicas, como la pirólisis, la biodigestión anaeróbica y la fermentación. La capacidad de abastecimiento de ese subproducto, utilizable con fines energéticos, ha encontrado volúmenes significativos. La metodología adoptada fue la investigación bibliográfica, obteniendo datos directos e indirectos de organismos oficiales, así como la investigación en la literatura científica, utilizando el método deductivo. Los resultados identificaron los beneficios ambientales y económicos del uso de biomasa de cáscara de cacao como fuente de energía, con opciones de comercialización de energía, bioaceite, biogás, bioetanol, biocarbón, briquetas o pellets, y su adecuación a las políticas estatales de conservación de la vegetación nativa. También hay posibilidades para la alimentación animal, la producción de abonos orgánicos, biofertilizantes y sustrato para la producción de enzimas.

Palabras clave: economía baja en carbono; eficiencia; cultivo de cacao; residuos agrícolas.

cocoa plantation and to quantify the capacity to supply cocoa husk biomass from cocoa plantation as a usable residue for energy purposes. Previous studies indicate that cocoa husk biomass has relevant qualities for conversion into energy products by various technological routes, such as pyrolysis, anaerobic digestion, and fermentation. The capacity to supply cocoa husk biomass as a usable by-product for energy purposes was found to be significant. The methodology adopted was bibliographic research, obtaining direct and indirect data from official agencies, in addition to research in scientific literature, using the deductive method. The results identified the environmental and economic benefits of using cocoa husk biomass as an energy source, with options for the commercialization of energy, bio-oil, biogas, bioethanol, biochar, briquettes, or pellets. Additionally, there are the possibilities of serving as animal feed, production of organic fertilizers, biofertilizers, and substrate for producing enzymes.

Keywords: agricultural residue; cocoa plantation; efficiency; low carbon economy.

Introducción

Implementar estrategias basadas en soluciones naturales para cumplir los compromisos internacionales del país es una oportunidad para integrar agentes y sectores. Tales estrategias proporcionan ganancias en biodiversidad, permiten generar energía a partir de fuentes renovables, contribuyen a la recuperación cultural y de los biomas nativos, además de añadir posibilidades de ingresos, beneficios sociales y mejorar la matriz energética nacional.

El residuo de la producción de cacao en el modelo cabruca (cultivo agrícola armoniosamente combinado con la presencia de árboles nativos) tiene un alto poder calorífico, y su utilización energética combinada con la política del estado de Bahía para recuperar el bioma de la Mata Atlántica podría resultar una alternativa para permitir su expansión de forma sostenible, añadiendo beneficios sociales, económicos y ambientales.

El objetivo de este artículo es señalar las vías tecnológicas disponibles para el aprovechamiento energético de los residuos agrícolas de las plantaciones de cacao y cuantificar la capacidad de suministro de biomasa de cáscara de cacao como residuo aprovechable de las plantaciones de cacao con fines energéticos.

El estudio tiene potencial para influir en la adopción de prácticas similares en otros países productores de cacao. La metodología utilizada se basó en la investigación bibliográfica, con la recopilación de datos directos e indirectos de organismos oficiales, complementada con la investigación de la literatura científica. El método deductivo actúa como vector central del trabajo. Los resultados identificaron los beneficios ambientales y económicos de la utilización de los residuos agrícolas de las plantaciones de cacao como fuente de energía.

La investigación forma parte de una tendencia creciente hacia el aprovechamiento energético de los residuos, con énfasis en la valorización de los residuos agrícolas como recurso energético estratégico. La Nota Técnica DEA 17/14, elaborada por el Ministerio de Minas y Energía, muestra que los residuos rurales, cuando se aprovechan energéticamente, son económicamente viables y pueden ser competitivos en mercados energéticos específicos, como el biometano y la electricidad generada a partir de biomasa. El análisis detalla los costes logísticos y operacionales, así como el potencial para generar energía y sustituir las fuentes fósiles, reforzando la alineación con la transición energética y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Además, se quiere hacer hincapié en que el aprovechamiento energético de los residuos mediante tecnologías como la pirólisis y la gasificación no sólo puede mitigar el impacto ambiental, sino también impulsar el desarrollo

económico sostenible creando nuevos mercados para los productos derivados de la biomasa.

En el contexto del cultivo del cacao, este estudio también está en consonancia con los análisis contemporáneos que pretenden integrar la sostenibilidad económica, social y ambiental en la producción agrícola. El informe técnico elaborado por CocoaAction Brasil, el Instituto Arapyaú y WRI Brasil muestra que diferentes modelos de producción de cacao – como los sistemas agroforestales (SAF) y el sistema cabruca – son económicamente viables y pueden mejorarse con prácticas sostenibles, entre ellas el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en las propiedades. La pertinencia de ese enfoque es aún más clara si se considera que gran parte de los establecimientos productores de cacao del sur de Bahía adopta sistemas agroforestales, con potencial para integrar tecnologías de valorización de residuos, como la biodigestión. Esa sinergia también es abordada por autores que refuerzan el papel del biogás como vector de sostenibilidad al convertir los residuos en energía y abono, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover beneficios ambientales y económicos, especialmente en contextos rurales.

La metodología de este artículo se ha desarrollado a través de una investigación exploratoria, basada en el análisis bibliográfico y documental, con recogida indirecta de datos de organismos oficiales e instituciones públicas y privadas. La investigación tuvo en cuenta la literatura científica, la producción técnica, los informes sectoriales y las normas legales y técnicas, todos ellos asociados a los biocombustibles y a la economía baja en carbono. Los datos recogidos se analizaron cualitativa y cuantitativamente, adoptando el método deductivo como vector central para la conducción de los trabajos.

El enfoque adoptado en este estudio dialoga no sólo con los aspectos técnicos de la conversión energética de los residuos agrícolas, sino que también se ancla en la aportación teórica epistémica de las ciencias humanas, que contribuye a una comprensión crítica de la relación entre sociedad, medio ambiente y tecnología. En ese sentido, al considerar los sistemas de producción sostenibles y los conocimientos locales – como el cultivo del cacao en sistemas cabruca –, este trabajo incorpora una visión holística e interdisciplinar que reconoce el papel de la cultura, la política ambiental y la justicia socioeconómica en la transición hacia una economía baja en carbono. Del análisis de la bibliografía consultada se desprende que el aprovechamiento de los residuos orgánicos contribuye no sólo a la generación de energía, sino también a la consecución de los ODS, promoviendo impactos positivos en las comunidades rurales y ampliando el acceso a soluciones energéticas limpias y descentralizadas.

Del mismo modo, los datos y reflexiones del informe elaborado por CocoaAction Brasil, Instituto Arapyaú y WRI Brasil revelan que la sostenibilidad económica de la producción de cacao en Brasil está profundamente vinculada a la valorización de prácticas tradicionales integradas con la conservación del medio ambiente, como los sistemas agroforestales. Tales perspectivas, procedentes de las ciencias humanas, permiten articular los conocimientos técnicos con los valores humanos y ecológicos, comprendiendo que la transición energética no puede tratarse únicamente como una cuestión de eficacia, sino como un proceso social, cultural y ético. Así, el aprovechamiento energético de la biomasa de las plantaciones de cacao, especialmente en contextos como la cabruca bahiana, es una alternativa que combina innovación tecnológica, justicia ambiental y resiliencia territorial.

1 Aprovechamiento energético de la biomasa

El uso de combustibles fósiles y la industrialización de la agricultura, entre otros factores, han desestabilizado el medio ambiente (Rockström *et al.*, 2009). La influencia humana en la armonía planetaria es tal que ya se ha sugerido una nueva era geológica denominada Antropoceno, en sustitución al Holoceno (Steffen *et al.*, 2015). La humanidad es responsable del calentamiento global, causado por la emisión de gases de efecto invernadero, entre otras importantes influencias sobre la biosfera. Es urgente promover una transición energética para mitigar el proceso de cambio climático (IPCC, 2021). En ese contexto, la humanidad necesita revisar sus patrones de consumo y producción.

Los residuos agrícolas son subproductos de las distintas fases de producción de los cultivos. En el caso del cultivo del cacao, el principal subproducto es la biomasa de cáscara de cacao. Según Ferraz Junior *et al.* (2022), las energías renovables se consideran fuentes alternativas a los combustibles fósiles, comprenden las fuentes que se reponen naturalmente e incluyen las procedentes de la biomasa. Así, el uso de residuos agrícolas como fuente de energía contribuye a una economía baja en carbono de forma similar a la bioenergía y las energías renovables. Esa alternativa puede mitigar la presión sobre los recursos naturales y reducir la demanda de combustibles fósiles. Además de ser una alternativa energética sostenible, el uso de residuos agrícolas también puede aumentar la eficiencia de la agricultura, incrementando los ingresos o reduciendo los costes relacionados con la energía.

Brasil ya utiliza bagazo de caña de azúcar, leña, cáscara de arroz, sebo o grasa animal, pero todavía hay una gran oferta de residuos de caña de azúcar (pajas y

puntas, vinaza y torta de filtro), chips, pajas de soja y maíz, cáscaras de café, residuos de coco, frijoles, cacahuets, yuca, cacao, entre otros (Brasil, 2020).

2 Datos de producción del cultivo del cacao y sus residuos agrícolas en Brasil y en el mundo

Las estimaciones de producción para la cosecha 2020/2021 calculan 875.000 toneladas en América, 3.871.000 toneladas en África y 278.000 toneladas en Asia y Oceanía, lo que corresponde al 17%, 77% y 6% respectivamente de la producción mundial estimada para el período (Zugaib, 2021). En ese contexto, sólo doce países concentran casi toda la producción mundial de cacao en grano: cinco países de América, a saber, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y la República Dominicana; cinco países de África, a saber, Camerún, Costa de Marfil, Ghana, Nigeria y Uganda; y dos países de Asia y Oceanía, a saber, Indonesia y Papúa Nueva Guinea (Zugaib, 2021). Cabe destacar la importancia del cultivo del cacao para el Sur global.

En 2020, la producción de cacao en Brasil ocupó un área de 589.153 hectáreas para la cosecha, totalizando una producción de alrededor de 270.000 toneladas (IBGE, 2021), según la Tabla 1.

Tabla 1. Área destinada a la cosecha, área cosechada, cantidad producida, rendimiento medio y valor de la producción de cacao en grano, Brasil, 2011 a 2020.

Año	Área de cosecha (hectáreas)	Área cosechada (hectáreas)	Cantidad producida (toneladas)	Rendimiento medio de la producción (kg por hectárea)	Valor de la producción (miles de reales)
2011	682.482	680.484	248.524	365	1.272.811
2012	686.541	684.333	253.211	370	1.234.157
2013	692.435	689.276	256.186	372	1.214.038
2014	707.106	704.122	273.793	389	1.589.535
2015	704.288	702.841	278.299	396	2.202.371
2016	732.585	720.055	213.871	297	2.007.189
2017	591.199	590.813	235.809	399	1.686.447
2018	577.550	577.191	239.318	415	2.167.200
2019	582.010	581.897	259.451	446	2.514.258
2020	589.153	588.501	269.731	458	3.223.892

Fuente: IBGE (2021).

Con base en datos catalogados de 2011 a 2020, el promedio anual estimado de granos de cacao producidos en Brasil fue de 252.819 toneladas. Al mismo

tiempo, y mereciendo una breve digresión, hubo una variación en las cosechas 2015/2016 y 2016/2017, que fueron severamente impactadas por la crisis hídrica en Bahía (CEPLAC, 2016), importante estado productor brasileño (IBGE, 2021). También cabe señalar que la crisis del agua fue la principal responsable de la caída de la producción de cacao en 2016, especialmente en Bahía, a pesar de que afectó a todas las regiones productoras del país (Brasil [...], 2017; La importación [...], 2017). Según Vieira (2016), la sequía se agravó en Bahía a partir de 2015, afectando a zonas del sur y suroeste del estado que históricamente no habían sufrido sequías tan largas y severas. Las precipitaciones en las ciudades de la región cacaotera de Bahía cayeron entre un 18% y un 96% en 2015, en comparación con la media de los quince años anteriores, con un grave descenso de la disponibilidad de agua en las fuentes en 2016 (CEPLAC, 2016).

Ocorre que la producción de una tonelada de granos secos resulta en la producción de seis (Santos; Silva, 2015 *apud* Correa *et al.*, 2016, p. 2) a ocho toneladas (Coutinho, 2018; Mororó, 2012; Pereira, 2013; Silva, 2018) de cáscara fresca de cacao. La biomasa obtenida de la cáscara del cacao es una prometedora fuente de combustible, similar a otros residuos agrícolas también utilizados en la producción de energía (Correa *et al.*, 2016; Pereira, 2013; Pinheiro; Silva, 2016; Silva, 2018). Debido al alto contenido de humedad, la biomasa de cáscara de cacao para uso en seco debe transformarse en *chips* antes de su uso, lo que resulta en una masa seca equivalente al 20% de la masa fresca (Pereira, 2013).

Esos datos sugieren que, en la visión más conservadora (relación de seis toneladas de biomasa fresca de cascarilla de cacao por una tonelada de cacao en grano), el cultivo de cacao produjo 30.144.000 toneladas de biomasa fresca de cascarilla de cacao para la cosecha 2020/2021 en el mundo, con el cultivo de cacao en Brasil produciendo un promedio de 1.618.386 toneladas de biomasa fresca de cascarilla de cacao por año en la última década. Así, las plantaciones de cacao producen una gran cantidad de biomasa de cáscara de cacao que puede utilizarse con fines energéticos. Se trata de una materia prima infrautilizada que puede convertirse en diversas fuentes de energía. De ese modo, la utilización de subproductos del cacao puede aumentar los ingresos de los cacaocultores, reducir los costes empresariales y establecer relaciones más favorables con el medio ambiente al reducir la demanda de otros recursos energéticos o la propia reconversión del uso de la tierra.

3 Biomasa de cáscara de cacao fresca como residuo agrícola procedente del cultivo del cacao que puede utilizarse con fines energéticos

Según datos de la IEA (2021), el uso tradicional de la biomasa representaba el 4% del suministro energético mundial en 2020, lo que sigue siendo una proporción significativa de dicha fuente. En ese contexto, la biomasa de cáscara de cacao podría sustituir parte del uso tradicional de la biomasa. Según Odesola *et al.* (2010), la conversión de biomasa seca de cáscara de cacao en biocarbón tiene una eficiencia del 79,9%. Así, los residuos agrícolas del cultivo del cacao podrían haber producido 4.817.011 toneladas de biocarbón en el periodo de cosecha de cacao 2020/2021 en todo el mundo, con 258.618 toneladas de biocarbón producidas en Brasil en 2020.

La utilización con fines energéticos también puede reducir la demanda de otras fuentes de electricidad. Según Pereira (2013), una plantación de cacao que produzca alrededor de una tonelada al año puede producir 0,76 kW, correspondientes al excedente de energía en un sistema de cogeneración para secar los granos y generar electricidad a partir del excedente en unidades descentralizadas.

El cruce de los cuadros 2 y 3 ha permitido estimar los datos relativos a la producción de cacao en grano, la biomasa fresca de cacao en grano, la biomasa seca de cacao en grano, la potencia equivalente en un sistema de cogeneración y el potencial de conversión en biocarbón en distintas áreas geográficas.

Tabla 2. Estimación de la producción de cacao en grano, biomasa fresca de cáscara de cacao, biomasa seca de cáscara de cacao, potencia equivalente en un sistema de cogeneración y posibilidad de conversión en biocarbón, continentes, cosecha 2020/2021.

Origen	Cacao en grano (toneladas)	Biomasa de cáscara de cacao fresca (toneladas)*	Biomasa de cáscara de cacao seca (toneladas)**	Potencia equivalente en un sistema de cogeneración (kW)***	Posibilidad de conversión en biocarbón (toneladas)****
América	875.000	5.250.000	1.050.000	798.000	838.950
África	3.871.000	23.226.000	4.645.200	3.530.352	3.711.515
Asia y Oceanía	278.000	1.668.000	333.600	253.536	266.546

* Se ha utilizado la proporción de seis toneladas de cáscara de cacao fresca por una tonelada de cacao en grano.

** Se ha utilizado la proporción de una tonelada de cáscara de cacao seca por cada cinco toneladas de cáscara de cacao fresca.

*** Se ha utilizado un coeficiente de 0,76 kW por cada tonelada de biomasa de cáscara de cacao secada

en *chips* en el sistema de cogeneración, correspondiendo el coeficiente al excedente.

**** Se ha utilizado un coeficiente de 0,799 por cada tonelada de biomasa de cáscara de cacao secada en *chips*.

Fuentes: Coutinho (2018); Odesola *et al.* (2010); Pereira (2013); Silva (2018); Santos e Silva (2015); Correa *et al.* (2016); y Zugaib (2021).

Mientras que los datos de la Tabla 2 se refieren a las regiones continentales del mundo, los de la Tabla 3 se refieren al mundo y a Brasil. De ese modo, es posible hacerse una idea de la realidad mundial y observar las circunstancias brasileñas.

Tabla 3. Producción estimada de cacao en grano, biomasa fresca de cáscara de cacao, biomasa seca de cáscara de cacao, potencia equivalente en un sistema de cogeneración y posibilidad de conversión en biocarbón, Brasil, 2020, y el mundo, cosecha 2020/2021.

Origen	Cacao en grano (toneladas)	Biomasa de cáscara de cacao fresca (toneladas)*	Biomasa de cáscara de cacao seca (toneladas)**	Potencia equivalente en un sistema de cogeneración (kW)***	Posibilidad de conversión en biocarbón (toneladas)****
Mundo	5.024.000	30.144.000	6.028.800	4.581.888	4.817.011
Brasil****	269.731	1.618.386	323.677	245.994	258.618

* Se ha utilizado la proporción de seis toneladas de cáscaras de cacao frescas por cada tonelada de cacao en grano.

** Se ha utilizado la proporción de una tonelada de cáscara de cacao seca por cada cinco toneladas de cáscara de cacao fresca.

*** Se ha utilizado la relación de 0,76 kW por cada tonelada de biomasa de cáscara de cacao seca en *chips* en un sistema de cogeneración, relación correspondiente al excedente.

**** Se utilizó la ratio de 0,799 por cada tonelada de biomasa de cáscara de cacao secada en *chips*.

***** Los datos de Brasil son una fracción ya contabilizada en los datos del resto del mundo.

Fuentes: Coutinho (2018); IBGE (2021); Odesola *et al.* (2010); Pereira (2013); Silva (2018); Santos e Silva (2015); Correa *et al.* (2016).

Se sabe que la biomasa de cáscara de cacao es similar en caracterización a otros residuos ya transformados en combustibles, con poder calorífico similar al del bagazo de caña de azúcar y eucalipto, oscilando entre 15,89 y 19,04 MJ/kg en valores de la literatura, a pesar del alto contenido de cenizas que merece atención en procesos termoquímicos (Coutinho, 2018; Pereira, 2013; Santos, 2016). La biomasa de cáscara de cacao es, por lo tanto, una alternativa importante para el aprovechamiento energético (Santos, 2016): (i) para Coutinho (2018), la pirólisis para la producción de bioaceite es prometedora; (ii) para Batista (2014) y Mororó (2012), la biodigestión anaeróbica para la producción de biogás es ventajosa, debido a la alta biodegradabilidad orgánica; y (iii) para Pinheiro y Silva (2016) y Silva (2018), la fermentación para la producción de bioetanol es prometedora, dado el

rendimiento favorable de azúcares fermentables.

La biomasa de cáscara de cacao también tiene la versatilidad de servir a otras fuentes de producción de energía mediante procesos termoquímicos de combustión directa, gasificación o pirólisis y procesos biológicos de biodigestión o hidrólisis de lignocelulosa (Pereira, 2013; Santos, 2016). Según Mororó (2012), una tonelada de cáscara fresca de cacao produce unos 45 m³ de biogás, con una concentración aproximada de metano del 53%, equivalente a 20 kg de gas licuado de petróleo (Tabla 4). La purificación o *upgrading* del biogás también permite producir biometano mediante la eliminación del dióxido de carbono y otros gases, lo que eleva la concentración de metano entre el 80% y el 99% (Ferraz Junior *et al.*, 2022; IEA, 2021).

Tabla 4. Producción estimada de cacao en grano, biomasa fresca de cáscara de cacao, biomasa seca de cáscara de cacao, biogás y equivalencia de gas licuado de petróleo, Brasil, 2020, y el mundo, cosecha 2020/2021.

Origen	Cacao en grano (toneladas)	Biomasa de cáscara de cacao fresca (toneladas)*	Equivalencia estimada de biogás (m ³)**	Equivalencia estimada de biometano (m ³ ***)	Equivalencia estimada en gas licuado de petróleo (kg)****
Mundo	5.024.000	30.144.000	1.356.480.000	718.934.400	602.880.000
Brasil*****	269.731	1.618.386	72.827.370	38.598.506	32.367.720

* Se ha utilizado la proporción de seis toneladas de cáscara de cacao fresca por cada tonelada de cacao en grano.

** Se ha utilizado la proporción de 45 m³ de biogás por cada tonelada de biomasa fresca de cáscara de cacao.

*** Se ha utilizado la proporción de 45 m³ de biogás por cada tonelada de biomasa fresca de cáscara de cacao.

**** Estimación de la eliminación del 47% del volumen total, correspondiente a lo que representaría la proporción de gases distintos del metano.

***** Los datos de Brasil son una fracción ya contabilizada en los datos del resto del mundo.

Fuentes: Coutinho (2018); IBGE (2021); Mororó (2012); Odesola *et al.* (2010); Pereira (2013); Silva (2018); Santos y Silva (2015); y Correa *et al.* (2016).

Se verifica que el aprovechamiento energético de la biomasa del cacao en sí mismo puede proporcionar una serie de beneficios ambientales y económicos, ya que existe más de una ruta tecnológica posible. Sin embargo, dicho aprovechamiento aún puede desarrollarse en consonancia con las políticas estatales de preservación de la vegetación nativa, como forma de incentivar y posibilitar la producción a partir de sistemas agroforestales como la cabruca.

4 Aprovechamiento energético de los residuos agrícolas de la producción de cacao como posibilidad para habilitar políticas estatales de conservación de la vegetación nativa

El Convenio Marco sobre Diversidad Biológica (CDB), firmado durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (ECO-92), realizada en Río de Janeiro en 1992, e incorporado al ordenamiento jurídico brasileño por medio del Decreto n. 519 de 16 de marzo de 1998, es reconocido como la consagración de un nuevo paradigma holístico, sistémico o integral de protección de la biodiversidad, ya que busca salvaguardar la biodiversidad a escala global, entendiendo la interdependencia que existe entre los procesos ecológicos esenciales que rigen la vida en todas sus formas (Sarlet; Fensterseifer, 2022).

En ese sentido, la Constitución de la República Federativa de Brasil de 1988 ya prevé, en su art. 225, § 4, la función esencial de los biomas forestales para la preservación de la biodiversidad (Brasil, 1988):

Art. 225. Toda persona tiene derecho a un medio ambiente ecológicamente equilibrado, bien de uso común de las personas e indispensable para una calidad de vida saludable, imponiendo a los poderes públicos y a la comunidad el deber de defenderlo y preservarlo para las generaciones presentes y futuras. [...]

[...]

§ 4 La Selva Amazónica Brasileña, la Selva Atlántica, la Sierra del Mar, el Pantanal de Mato Grosso y la Zona Costera son patrimonio nacional, y su utilización se hará, en la forma de la ley, dentro de condiciones que aseguren la preservación del medio ambiente, incluyendo el aprovechamiento de los recursos naturales [...] (traducción libre).²

En el mismo sentido, la Ley Federal n. 11.428, de 22 de diciembre de 2006, que prevé el uso y la protección de la vegetación nativa del bioma Mata Atlántica, establece en su art. 6 que el objetivo general de la protección y uso del bioma Mata Atlántica es el desarrollo sostenible y los objetivos específicos son la salvaguarda de la biodiversidad, de la salud humana, de los valores paisajísticos, estéticos y turís-

2 Del original: "Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. [...]"

[...]

§ 4 A Floresta Amazônica brasileira, a Mata Atlântica, a Serra do Mar, o Pantanal Mato-Grossense e a Zona Costeira são patrimônio nacional, e sua utilização far-se-á, na forma da lei, dentro de condições que assegurem a preservação do meio ambiente, inclusive quanto ao uso dos recursos naturais [...]"

ticos, del régimen hídrico y de la estabilidad social (Brasil, 2006).

De acuerdo con el art. 7, III, la protección y el uso del bioma de la Mata Atlántica se llevarán a cabo en condiciones que garanticen, entre otras cosas, la promoción de actividades públicas y privadas compatibles con el mantenimiento del equilibrio ecológico (Brasil, 2006).

La región productora de cacao en el sur de Bahía tiene una forma típica de cultivo que ha permitido la perpetuación de remanentes de la Mata Atlántica, incluso en áreas antropizadas (Lobão, 2007; Lobão *et al.* 2012), y la conservación de especies arbóreas nativas dentro de las plantaciones (Sambuichi, 2009a). Se trata de la cabruca, un sistema agroforestal instalado en el subosque, encargado de mantener los corredores ecológicos y salvaguardar las especies endémicas.

El sistema agroforestal cabruca fue regulado y definido por el Decreto Estatal n. 15.180, de 2 de junio de 2014, sobre la gestión de los bosques y otras formas de vegetación, dada su importancia estratégica para la conservación del bioma del Bosque Atlántico en el estado de Bahía, y las autoridades públicas son responsables de promover esa actividad.

El art. 17, III, de la citada legislación define que la conservación de las áreas tradicionales de cultivo de cacao en el agroecosistema cabruca tiene como objetivo, entre otros, el manejo sostenible de la agrobiodiversidad presente en el sistema cabruca, con el fin de garantizar su sostenibilidad económica y mejorar la rentabilidad de los productores rurales (Bahia, 2014).

Esencialmente, el sistema cabruca es un sistema agroforestal (SAC). Entre otras posibles definiciones, es una forma de cultivo agrícola que se integra armoniosamente con la presencia de árboles. Ese modelo ayuda a mitigar los impactos de la fragmentación de los bosques y los efectos de borde, sirviendo incluso de corredor ecológico (Sambuichi, 2009b). Por esas razones, el sistema agroforestal tiene la capacidad de ayudar a conservar la biodiversidad (Sambuichi, 2009b; Seehusen; Cunha; Oliveira Júnior, 2011).

El Acuerdo de París se considera un hito en la lucha mundial contra la crisis climática, y el uso y la ocupación del suelo son factores que influyen significativamente en las emisiones totales de gases de efecto invernadero y representan la principal fuente de emisiones en Brasil. Basándose en esa perspectiva, el Programa de Gestión de la Vegetación Nativa de Harpia en el estado de Bahía fue instituido por el Instituto de Medio Ambiente y Recursos Hídricos mediante la Ordenanza n. 22.387 de 25 de febrero de 2021 (INEMA, 2021).

Uno de los objetivos del programa es el art. 1, incs. II y IV, que dispone lo siguiente (INEMA, 2021):

- II – propor directrices para la restauración de la vegetación nativa en el estado;
- IV – propor metas para reducir la deforestación y aumentar las áreas bajo restauración en el estado;
- [...] (traducción libre)³.

Encontrar mecanismos que hagan viable promover y mantener la producción en el sistema cabruca trae beneficios en varios ámbitos, con amplio respaldo en la legislación nacional y estatal. En un reciente estudio sobre la viabilidad económica de los sistemas de producción de cacao en cabruca, realizado por el Centro de Investigación en Cacaocultura (CEPLAC, 2021), se ha identificado que la cabruca sin un manejo adecuado de la sombra no muestra buenos resultados económicos.

Sin embargo, el estudio subraya que

[...] ese modelo de producción, bien gestionado, presenta una excelente oportunidad para el sector en términos de producción agrícola ambientalmente diferenciada. Tratar la cabruca con visión de oportunidad a través de un prisma histórico y medioambiental podría transformar el actual escenario de espiral negativa en el que se han visto atrapados esos productores en los últimos años en una espiral positiva (CEPLAC, 2021, p. 38, traducción libre)⁴.

Para ello, además de los mecanismos de incentivo directo y/o indirecto, como el pago por servicios ambientales, ya previsto en el mencionado decreto estatal sobre la gestión de los bosques y otras formas de vegetación, y el mercado de carbono (Gama-Rodrigues *et al.*, 2021), el aprovechamiento de los residuos de las plantaciones de cacao para generar energía, especialmente a partir de la cabruca, es una posibilidad en consonancia con las políticas de preservación de los bosques nativos en el estado de Bahía.

De acuerdo con el *Plan Nacional de Energía 2050*, publicado por la Empresa de Pesquisa Energética (Brasil, 2020), las estrategias de descarbonización tienden a centrarse en los objetivos que mejor se adaptan al contexto local, considerando aspectos que añadan beneficios en las siguientes dimensiones: energética (fuentes no emisoras y mayor eficiencia), ambiental (uso de recursos y cumplimiento legal), económica (alineación con las prioridades económicas) y tecnológica (en línea con

3 Del original: “II – propor orientações para a restauração da vegetação nativa no estado;

IV – propor metas para a redução do desmatamento e para o aumento das áreas em restauração no estado [...]”.

4 Del original: “[...] esse modelo de produção, quando bem manejado, apresenta excelente oportunidade para o setor no que tange a uma produção agrícola ambientalmente diferenciada. Tratar a cabruca com um olhar de oportunidade através de um cunho histórico e ambiental pode transformar o cenário atual de espiral negativa em que esses produtores têm se mantido nos últimos anos em uma espiral positiva”.

el desarrollo industrial y tecnológico).

El fomento de sistemas integrados de preservación de la biodiversidad y uso de energía con bajo impacto ambiental contribuye al cumplimiento de los compromisos internacionales del país, aporta beneficios para la seguridad energética y alimentaria y ofrece posibilidades a los productores regionales de hacer económicamente viable el mantenimiento de actividades integradas con el bosque.

Conclusión

La biomasa de la cáscara de cacao es un residuo de las plantaciones de cacao que puede utilizarse con fines energéticos. Su uso es prometedor y está en consonancia con los objetivos de descarbonización asociados a la responsabilidad socioambiental. La adopción de prácticas de aprovechamiento energético de residuos agrícolas se observa en varios países productores de cacao de todo el mundo. Este estudio también puede servir de estímulo para la investigación sobre el aprovechamiento energético de los residuos agrícolas de otros cultivos, como la cáscara de cacao.

La biomasa de cáscara de cacao puede aumentar los ingresos mediante la comercialización de electricidad, bioaceite, biogás, biometano, bioetanol, biocarbón, briquetas o pellets. También hay posibilidades de que la biomasa de cáscara de cacao se utilice para la alimentación animal y la producción de fertilizantes orgánicos (Mororó, 2012; Pereira, 2013; Coutinho, 2018), como sustrato para la producción de enzimas (Batista, 2014), compost y celulosa (Mororó, 2012).

Considerando el rendimiento medio del cacao en grano en Brasil (IBGE, 2021), existe un margen importante para aumentar la producción mediante el mejoramiento genético del árbol del cacao (Ahnert *et al.*, 2018; Mororó, 2012), con el consiguiente aumento de la oferta de residuos agrícolas aprovechables energéticamente, sin aumentar la superficie plantada. Así, el aumento de la producción de cacao puede ir acompañado de un mayor suministro de recursos energéticos favorables para el medio ambiente y la economía baja en carbono. La producción de alimentos y energía a partir del mismo cultivo fomenta el desarrollo sostenible y evita la competencia entre la producción de alimentos y la de energía, además de contribuir a la seguridad alimentaria y a la seguridad energética.

Además, la producción de energía a partir de los residuos agrícolas de las plantaciones de cacao en sistemas agroforestales como la cabruca tiene un gran potencial para cumplir con las políticas estatales de preservación de la vegetación autóctona, así como para cumplir con los compromisos del país de reducir las

emissões de gases de efeito estufa.

Referências

A IMPORTAÇÃO complementar de cacau, é preciso para manter a produção. *ABAG*, 10 fev. 2017. Disponível em: <https://abag.com.br/a-importacao-complementar-de-cacau-e-preciso-para-manter-a-producao/>. Acesso: 15 de abril. 2025.

AHNERT, D. *et al.* Melhoramento genético e produtividade do cacaueiro no Brasil. In: SOUZA JÚNIOR, J. O. de (org.). *Cacau: cultivo, pesquisa e inovação*. Ilhéus: Editus, 2018. p. 151-182.

BAHIA. Decreto n. 15.180, de 02 de junho de 2014. Regulamenta a gestão das florestas e das demais formas de vegetação do Estado da Bahia, a conservação da vegetação nativa, o Cadastro Estadual Florestal de Imóveis Rurais – CEFIR, e dispõe acerca do Programa de Regularização Ambiental dos Imóveis Rurais do Estado da Bahia e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado*, Salvador, 3 jun. 2014. Disponível em: <https://www.legislabahia.ba.gov.br/documentos/decreto-no-15180-de-02-de-junho-de-2014>. Acesso: 16 de abril. 2025.

BATISTA, R. R. *Rotas de aproveitamento tecnológico de resíduo orgânico agrícola: casca de coco, casca de cacau e casca de café – destinadas à geração de energia*. 2014. 108 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/bitstreams/0dd03860-81bf-4368-91b3-203300b59035/download>. Acesso: 15 de abril. 2025.

BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Promulgada em 5 de outubro de 1988. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 125, n. 192, p. 1-2, 5 out. 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso: 29 de enero. 2025.

BRASIL. Decreto n. 2.519, de 16 de março de 1998. Promulga a Convenção sobre Diversidade Biológica, assinada no Rio de Janeiro, em 05 de junho de 1992. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 17 mar. 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2519.htm. Acesso: 18 de agosto. 2022.

BRASIL. Lei n. 9.478, de 06 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 135, n. 150, p. 16925, 7 ago. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19478.htm. Acesso: 16 de abril. 2025.

BRASIL. Lei n. 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 26 dez. 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/11428.pdf. Acesso: 16 de abril. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Nota Técnica DEA 17/14*. Economicidade e competitividade do aproveitamento energético de resíduos rurais. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2014. (Série Recursos Energéticos). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2017%20-%20Economicidade%20e%20Competitividade%20do%20Aproveitamento%20Energ%C3%A9tico%20de%5B1%5D.pdf>. Acesso: 16 de abril. 2025.

BRASIL passa por forte redução na produção de cacau. *Canal Rural*, 8 fev. 2017. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/noticias/brasil-passa-por-forte-reducao-producao-cacau-65977/>.

Acceso: 15 de abril. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Nacional de Energia 2050*. Brasília: MME/EPE, 2020. Disponible en: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acceso: 16 de abril. 2025.

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA. *Nota técnica*. Ocorrência de período seco prolongado na Região Cacaueira da Bahia e seus efeitos sobre a economia, os recursos hídricos e a sociedade. Brasília: CEPLAC/MAPA, 2016. Disponible en: https://assemae.org.br/noticias/item/download/602_7b06b644e37938c537a3f2e44a47ad30. Acceso: 16 de abril. 2025.

COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DA LAVOURA CACAUEIRA. *Viabilidade econômica de sistemas produtivos com cacau*: Cabruca, Pleno Sol e Sistemas Agroflorestais nos estados da Bahia e do Pará. CocoaAction Brasil (WCF), Instituto Arapyaú e WRI Brasil (org.). Brasília: CEPLAC, 2021. Disponible en: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac/publicacoes/outras-publicacoes/viabilidade-economica-de-sistemas-produtivos-com-cacau-cabruca-pleno-sol-e-sistemas-agroflorestais-nos-estados-da-bahia-e-do-para.pdf/view>. Acceso: 16 de abril. 2025.

CORREA, G. C. *et al.* Caracterização e combustão da casca do cacau. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 21, 2016, Fortaleza. *Anais [...]*. Fortaleza: COBEQ, 2016. Disponible en: https://proceedings.science/proceedings/44/_papers/41283/download/full-text_file3. Acceso: 15 de abril. 2025.

COUTINHO, B. A. *Aspectos fundamentais da pirólise da casca de cacau*: análise da cinética do processo e dos efeitos de condições operacionais sobre os produtos. 2018. 81 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2018. Disponible en: <https://dspace4.ufes.br/bitstreams/b62b9acd-a20d-4209-bce3-e9aa60e521aa/download>. Acceso: 15 de abril. 2025.

FERRAZ JUNIOR, A. D. N. *et al.* Advancing Anaerobic Digestion of Sugarcane Vinas: Current Development, Struggles and Future Trends on Production and End-Uses of Biogas in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S. L.], v. 157, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112045>. Acceso: 15 de abril. 2025.

GAMA-RODRIGUES, A. C. *et al.* Cacao-based agroforestry systems in the Atlantic Forest and Amazon Biomes: An ecoregional analysis of land use. *Agricultural Systems*, [S. L.], v. 194, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103270>. Acceso: 15 de abril. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA*: Banco de Tabelas Estatísticas, 2021. Produção Agrícola Municipal: Tabela 1613. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponible en: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>. Acceso: 02 de diciembre. 2021.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DA BAHIA. Portaria n. 22.387, de 25 de fevereiro de 2021. Institui o Programa Harpia de Gestão da Vegetação Nativa no Estado da Bahia. *Diário Oficial do Estado*, ano 105, n. 23100, p. 31, Salvador, 26 fev. 2021. Disponible en: https://www.mpba.mp.br/system/files_force/biblioteca/saude/coronavirus-material-tecnico/legislacao/resolucao_cib_no_028.2021_-_aprova_as_recomendacoes_aos_prefeitos_e_secretarios_municipais_de_saude_para_a_vacinacao_contra_a_covid_-_19_em_sua_primeira_fase.pdf?download=0. Acceso: 16 de abril. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Sixth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponible en: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf.

Acesso: 16 de abril. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2021*. França: IEA, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>. Acesso: 16 de abril. 2025.

LINS, L. P. *et al.* O aproveitamento energético do biogás como ferramenta para os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. *Interações*, Campo Grande, v. 23, n. 4, p. 1275-1286, out./dez. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v23i4.3704>. Acesso: 10 de abril. 2025.

LOBÃO, D. É. *Agroecossistema cacaueiro da Bahia: cacau-cabruca e fragmentos florestais na conservação de espécies arbóreas*. 2007. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/2000eef5-dbe7-403b-ae90-7d1d-07867dac>. Acesso: 17 de abril. 2025.

LOBÃO, D. É. *et al.* Cacau cabruca – sistema agrossilvicultural tropical. In: VALLE, R. R. *Ciência, tecnologia e manejo do cacaueiro*. 2. ed. Brasília: CEPLAC, 2012. p. 467-506.

MANTOVANI, W. A degradação dos biomas brasileiros. In: RIBEIRO, W. C. (org.). *Patrimônio ambiental brasileiro*. São Paulo: Edusp; Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2003. p. 367-439.

MORORÓ, R. C. Aproveitamento dos derivados, subprodutos e resíduos do cacau. In: VALLE, R. R. *Ciência, tecnologia e manejo do cacaueiro*. Brasília: CEPLAC, 2012. p. 371-421.

ODESOLA, I. F. *et al.* Development of local technology for a small-scale biochar production processes from agricultural wastes. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 205-208, 2010.

PEREIRA, I. de O. *Viabilidade da utilização da casca de cacau como combustível no aquecimento de ar para a secagem de amêndoas de cacau*. 2013. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. Disponível em: <https://locus.ufv.br/bitstreams/8da180c1-9627-4fbe-9a61-656dae6dbb0/download>. Acesso: 15 de abril. 2025.

PEREIRA JUNIOR, A. O. Aproveitamento energético de resíduos: um mercado que não se pode descartar. *Ipea Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, [S. l.], n. 24, p. 160-161, jul./dez. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.38116/brua24art14>. Acesso: 10 de abril. 2025.

PINHEIRO, I. R.; SILVA, R. O. Reaproveitamento dos resíduos sólidos da indústria cacaueira. In: SEMANA DA ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, 5, 2016, Vitória, ES. *Anais [...]*. São Paulo: Blucher, 2016. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/download-pdf/284/25548>. Acesso: 15 de abril. 2021.

ROCKSTRÖM, J. *et al.* A Safe Operating Space for Humanity. *Nature*, Londres, v. 46, n. 1, set. 2009.

SAMBUICHI, R. H. R. A Mata Atlântica, biodiversidade e conservação. In: SAMBUICHI, R. H. R.; MIELKE, M. S.; PEREIRA, C. E. (org.). *Nossas árvores: conservação, uso e manejo de árvores nativas no sul da Bahia*. Ilhéus: Editus, 2009a. p. 15-28.

SAMBUICHI, R. H. R. Uso das árvores nativas em sistemas agroflorestais no sul da Bahia. In: SAMBUICHI, R. H. R.; MIELKE, M. S.; PEREIRA, C. E. (org.). *Nossas árvores: conservação, uso e manejo de árvores nativas no sul da Bahia*. Ilhéus: Editus, 2009b. p. 95-110.

SAMBUICHI, R. H. R. *et al.* Cabruca agroforests in southern Bahia, Brazil: tree component, management practices and tree species conservation. *Biodiversity and Conservation*, [S. l.], v. 21, n. 4, p. 1055-1077, abr. 2012. Disponível em: <http://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/>

files_mf/sambuichi2012.pdf. Acceso: 15 de junio. 2016.

SANTOS, M. M. N. *Aproveitamento tecnológico da casca do cacau para a geração de energia*. 2016. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, São Mateus, 2016. Disponible en: <https://dspace4.ufes.br/items/16b3887a-651a-4ad4-80f2-77702a60a01b>. Acceso: 17 de abril. 2025.

SANTOS, G. R.; SILVA, A. G. Torrefação da biomassa proveniente de resíduos do cacau (*theobroma cacao L.*) para produção de biocombustível sólido no estado da Bahia. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 1, 2015, Campina Grande. *Anais [...]*. Campina Grande: Realize Eventos Científicos e Editora Ltda., 2015. Disponible en: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/10419>. Acceso: 17 de abril. 2025.

SARLET, I. W.; FENSTERSEIFER, T. *Curso de Direito Ambiental*. 3. ed. Rio de Janeiro: Forense, 2022.

SILVA, R. de O. *Utilização dos resíduos sólidos da indústria cacaujeira para a produção de etanol*. 2018. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2018. Disponible en: <https://repositorio.ufes.br/items/1f646761-4b2f-4b7d-b7e9-50e39217393b>. Acceso: 15 de abril. 2025.

SEEHUSEN, S. E.; CUNHA, A. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. F. de. Iniciativas de PSA para a Proteção da Biodiversidade na Mata Atlântica. In: GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. (org.). *Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011. p. 183-223.

STEFFEN, W. *et al.* Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, Washington, v. 347, n. 6223, jan. 2015. Disponible en: <https://doi.org/10.1126/science.1259855>. Acceso: 15 de abril. 2025.

VIEIRA, C. Seca no sul e sudoeste da BA causa impacto na agricultura e na pecuária. *Globo Rural*, 1º ago. 2016. Disponible en: <http://g1.globo.com/economia/agronegocios/globo-rural/noticia/2016/07/seca-no-sul-e-sudoeste-da-ba-causa-impacto-na-agricultura-e-na-pecuaria.html>. Acceso: 15 de abril. 2025.

ZUGAIB, A. C. C. *O mercado nacional e internacional de cacau em amêndoas e derivados*. Boletim Técnico n. 222. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2021. 72 p. Disponible en: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac/publicacoes/boletins-tecnicos-bahia/BOLETIMTC.N2222021.pdf>. Acceso: 15 de abril. 2025.

SOBRE LOS AUTORES

Hirdan Katarina de Medeiros Costa

Livre-Docente, Catedrática acreditada, Doctora y Maestra en Energía por el Programa de Pós-Graduação em Energia de la Universidade de São Paulo (PPGE/USP), São Paulo/SP, Brasil. Doctora y Maestra en Derecho por la Pontificia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), São Paulo/SP, Brasil. Maestra en Derecho de Energía y de Recursos Naturales por la University of Oklahoma (OU), Norman, Estados Unidos. Especialista en Proceso Civil por la Universidade Candido Mendes (UCM), Rio de Janeiro/RJ, Brasil. Grado en Derecho por la Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/RN, Brasil. Abogada.

Geraldo Lavigne de Lemos

Doctorando en Energía por el Instituto de Energia e Ambiente de la Universidade de São Paulo (IEE-USP), São Paulo/SP, Brasil. Maestro en Desarrollo Regional y Medio Ambiente por la Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus/BA, Brasil. Especialista en Gestión Pública por la UESC.

Especialista en Derecho Notarial y Registral por la Universidade Anhanguera (UNIDERP), Campo Grande/MS, Brasil. Grado en Derecho por la UESC. Abogado.

Andrieza de Aquino Eslabão

Doctoranda en Energía por el Instituto de Energia e Ambiente de la Universidade de São Paulo (IEE-USP), São Paulo/SP, Brasil. Maestra en Energía y Sostenibilidad por la Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis/SC, Brasil. Especialista en Gestión Ambiental por la Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba/PR, Brasil. Especialista en Derecho Procesal Civil por la Faculdade CESUSC, Florianópolis/SC, Brasil. Licenciada en Derecho por la Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas/RS, Brasil. Abogada.

Participación de los autores

Todos los autores participaron activamente en las discusiones de los resultados y en la revisión y aprobación final del trabajo, incluyendo las etapas de conceptualización, curaduría de datos, análisis formal, investigación, metodología, supervisión, validación, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.

Cómo citar este artículo (ABNT):

COSTA, H. K. M.; LEMOS, G. L. L.; ESLABÃO, A. A. Posibilidades de aprovechamiento energético de los residuo agrícola del cultivo cacaotero. *Veredas do Direito*, Belo Horizonte, v. 22, e222778, 2025. Disponible en: <http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/2778>. Acceso: día mes. año.