

Propuesta metodológica de caracterización del mercado de la biomasa para fines energéticos, caso del arroz costarricense

Methodological proposal for energy biomass market characterization, the case of the Costa Rican rice

Laura Patricia Brenes-Peralta¹, María Fernanda Jiménez-
Morales², Dagoberto Arias-Aguilar³, Juan Carlos
Valverde-Otárola⁴, Manuel Masís-Jiménez⁵, Daniela
Valverde-Rodríguez⁶, Roel Campos-Rodríguez⁷

Brenes-Peralta, L.P.; Jiménez-Morales, M.F.; Arias-Aguilar, D;
Valverde-Otárola, J.C.; Masís-Jiménez, M.; Valverde-Rodríguez,
D.; Campos-Rodríguez, R. Propuesta metodológica de
caracterización del mercado de la biomasa para fines ener-
géticos, caso del arroz costarricense. *Tecnología en Marcha*.
Vol. 35, especial Programa de Investigación en *Energías
Limpias*. Julio, 2022. Pág. 79-93.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v35i7.6337>

- 1 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: labrenes@tec.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0002-5169-9961>
- 2 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: maria.jimenez@tec.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0002-9775-2545>
- 3 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: darias@itcr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0002-3056-9172>
- 4 Universidad de Concepción, Chile. Correo electrónico: juvalverde@udec.cl
<https://orcid.org/0000-0002-1827-788X>
- 5 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: manuel.masis@tec.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0002-0285-9973>
- 6 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: danielavm2490@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5169-9961>
- 7 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: rocampos@tec.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0003-4460-2313>

Palabras clave

Energía biomásica; agrocadena arrocera; sostenibilidad; mercado energético; agronegocio.

Resumen

La producción energética está vinculada a un alto costo ambiental, siendo el sector agroalimentario uno con importantes desbalances en la relación entrada-salida de energía, pero que a su vez presenta oportunidades para producción de energías más limpias. El interés en la producción de energía biomásica ha avanzado y por ello, este trabajo tuvo el objetivo de proponer un marco metodológico de caracterización del mercado de la biomasa para fines energéticos. Para construir la propuesta, se recurrió a la revisión de literatura, aplicación de encuestas y el análisis estadístico. Como resultado, se propone un marco que incluya pasos como a) la recopilación de datos sectoriales respecto a parámetros técnicos de la biomasa, b) la evaluación del grado de conocimiento de los actores de la agrocadena respecto a estos parámetros, c) el análisis de la percepción de los actores sobre este mercado, y d) la determinación de variables que afectan al mercado bioenergético. Para validar la propuesta, la misma se aplicó al caso de la agrocadena arrocera costarricense, detectando un potencial anual de aprovechamiento de 1.217.544 t de cascarilla y rastrojo de arroz (masa húmeda), donde los actores manifiestan un conocimiento relevante en términos técnicos y la percepción de un mercado estable, y donde el volumen y la homogeneidad de la biomasa resultan relevantes. Se considera que la información obtenida es de utilidad para conocer este mercado y avanzar hacia procesos de planeación estratégica de este tipo de energía.

Keywords

Energy biomass; rice agri-food chain; sustainability; energy market; agribusiness.

Abstract

Energy production is commonly linked to high environmental costs. The agri-food sector is considered one of the most unbalanced sectors of the economy regarding energy intake and output; however, it also entails opportunities for cleaner energy production. Within such kind, the interest in bioenergy has grown; therefore, this study had the aim to propose a methodological framework for the characterization of the energy biomass market. The proposal uses methods such as literature reviews, surveys and statistical analysis. As a result, the proposed framework consists of the following steps: a) sector data collection, including technical biomass parameters, b) evaluation of the degree of knowledge of the market actors in regards to those parameters, c) the analysis of the perception of the actors in regards to the energy biomass market, and d) the definition of variables affecting the energy biomass market. The framework was applied to the Costa Rican rice agri-food chain as a case study and validation process. Potentially, 1.217.544 t of rice biomass obtained annually from husk and plant residues is fit for energy production. Moreover, the actors show relevant knowledge of technical parameters, perceive the market as stable, and define the volume and biomass homogeneity as determinant market variables. The obtained information is considered of interest for adequate market characterization and further strategic planning for bioenergy production.

Introducción

La producción y consumo de energía a nivel global, si bien es un tema vital de cara a las actividades económicas, se asocia a importantes impactos ambientales. Aun con la recesión a causa de la pandemia del Covid 19, se estima que la reactivación económica y la intensificación de tecnologías como la 4.0 resultarán de nuevo en una demanda energética creciente, que hace necesaria la búsqueda e innovación en la oferta energética, para que esas fuentes sean más sostenibles [1].

Solo el sector de los alimentos representa alrededor del 30% del consumo total de energía en el mundo, y el impacto de esta se torna mayor cuando proviene de fuentes fósiles y energía convencional, potenciando el calentamiento global y su relación al cambio climático [2]. De hecho, se estima que el sector agroalimentario presenta un desbalance entre el consumo y producción de energía [3], donde se requiere de esta para todas las fases de la producción, pero muchos de los residuos generados y que potencialmente podrían servir de fuente energética son desaprovechados. Por esto, la iniciativa “Energía Sostenible para Todos - SE4ALL” de la Organización de Naciones Unidas (ONU) ha generado líneas estratégicas para abordar la temática, lo que resultó en la inclusión de las metas relacionadas a Energía asequible y no contaminante en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente en el ODS 7. En este sentido, la búsqueda de matrices energéticas renovables es clave [4], aunque no del todo nueva. Ejemplo de ello son las investigaciones en bioenergía, energía hidroeléctrica, geotérmica, eólica, y solar [2].

La energía proveniente de fuentes biomásicas considera, entre otras, el aprovechamiento de la energía contenida en residuos de tipo biológico u orgánico lo que contribuye a la descarbonización y a los principios de la economía circular [5], al mantener los recursos por más tiempo en los sistemas económicos desarrollados por las actividades humanas. El proceso de generación de bioenergía resulta en biocombustibles (sólidos, líquidos o gaseosos) [6], provenientes de materias de origen vegetal, animal o microbiológico, y usualmente heterogéneas. Estos productos pueden liberar energía por combustión directa o por conversión termoquímica, a través de pirólisis, gasificación o combustión [7]; adicionalmente, la investigación a nivel global sigue avanzando con el fin de proponer y probar otras nuevas tecnologías [7].

Los residuos agrícolas orgánicos (RAO) y los agroindustriales (RAI) fueron considerados en el contexto de interés del presente estudio. Estos provienen de actividades de producción agrícola donde restan ya sea parte de la cosecha sin emplear, porciones del producto que no se emplea en fines alimentarios usuales, o porciones de la planta que tradicionalmente no tienen un fin comercial, por esto se describen muchas veces como residuos de cosecha, restos de poda, tallos, raíces, hojas, entre otros [8]. Conforme los productos agroalimentarios avanzan en la cadena de suministro, algunos son sometidos a procesamiento agroindustrial, de los cuales también surgen subproductos y residuos que podrían valorizarse como energía.

Siendo Costa Rica un país que aun genera una porción relevante de su PIB a raíz del sector agroalimentario (producción primaria, agroindustria e industria alimentaria), resulta necesario considerar las posibilidades de aprovechamiento de la biomasa que a su vez sume a la condición que ostenta el país como referente en energías renovables. Las oportunidades en esta materia se sustentan en la capacidad biomásica instalada de generación de 46,9 MW utilizando los RAO según el Instituto Costarricense de Electricidad [9]. Además, múltiples publicaciones institucionales y de prensa, así como científica indican de los logros de Costa Rica al generar energía proveniente de una matriz primaria energética limpia en periodos continuos que superan los 365 días. Sin embargo, se siguen enfrentando retos como el uso de solo un 0.84% de fuentes solares y biomásica en la matriz primaria, la existencia de una oferta energética secundaria que

basa el 73% de su generación en productos derivados del petróleo y del 27% en electricidad y alcohol [10] [11], y la poca o nula valorización de los RAO (como ejemplo, se conoce que el 59% de las fincas de arroz en el país no tratan su biomasa residual) [12].

Con el fin de construir estudios a nivel nacional vinculados a la producción y acceso a energías más limpias, este estudio propone un marco metodológico de caracterización del mercado de la biomasa para fines energéticos, utilizando el caso del arroz como ejemplo, mismo que podría ser aplicado posteriormente en otras agrocadenas. Similar a estudios previos sobre el mercado de la biomasa forestal [13], y los factores que inciden en el interés de agricultores para producir biomasa con fines energéticos [14], en este caso se optó por mostrar este marco que facilitaría la detección posterior de oportunidades, actores y usos competitivos de dicha biomasa, para avanzar posteriormente a procesos de factibilidad y estrategia energética.

Materiales y métodos

La propuesta consiste en un marco metodológico previamente probado en otros esquemas como ha sido el mercado para energía basada en fuentes de biomasa lignocelulósica [13], y traída en esta oportunidad al ámbito de biomasa agroindustrial basada en RAO y RAI. Se emplean métodos como la revisión de literatura e información primaria y secundaria, y los análisis de conocimiento, perceptuales y estadísticos que permitan sugerir cómo realizar una caracterización del mercado de la biomasa como un primer paso para estudios posteriores y más profundos del mercado de energía biomásica en determinado contexto, los cuales se describen continuación (figura 1).



Figura 1. Marco metodológico propuesto para caracterizar el mercado de la biomasa.

Recopilación de datos sectoriales

Se procedió a realizar búsquedas en bases de datos científicas, así como a partir de literatura gris y fuentes sectoriales del contexto costarricense (para este caso), en materia de producción energética en general, energía biomásica, y fuentes de biomasa, pudiendo considerar estos como términos o palabras clave. Particularmente, por el caso de estudio que se empleó para validar el marco metodológico, se desarrollaron búsquedas para la agrocadena del arroz.

La información primero fue agrupada en tablas que posteriormente permitieron la recuperación de información de manera oportuna y pertinente al caso, y posteriormente se procedió a la redacción de los elementos que permitieran resultar en un informe de caracterización del caso.

Conocimiento de los actores

En este paso, se consideró como sujetos de la investigación principalmente a informantes clave de las agrocadenas productivas y profesionales afines, estructurados de la siguiente manera:

- Productores de biomasa (productores de plantaciones que generan biomasa residual vegetal),
- Intermediarios (grupo que revende la biomasa o aplica un proceso que otorga un mayor valor agregado)
- Compradores de biomasa (consumidor final de biomasa) y
- Autoproductores de biomasa (productores de plantaciones que generan biomasa residual vegetal y son ellos mismos los consumidores de esta).

Se recomienda hacer una pre-selección de los actores en función de su experiencia en el mercado nacional de biomasa proveniente de RAO y RAI en la agrocadena de estudio, y la aplicación de distintas herramientas de recopilación de información como podrán ser encuestas, entrevistas y formularios en línea o de aplicación telefónica, particularmente útiles para disminuir costos de traslados en estas primeras fases de los estudios de mercado de energía biomásica. Los datos obtenidos, así como la cantidad de actores y su agrupación en esta estructura se incluyó en tablas de Microsoft Excel ® para su tratamiento posterior.

Con los informantes identificados y contactados, se procedió a evaluar el grado de conocimiento de los actores del mercado de biomasa vegetal procedente de RAI y RAO del cultivo de interés. Las herramientas de recolección de datos e información se organizaron de manera que se abordaran cuatro perspectivas: técnica, ambiental, financiera y social, a partir de cinco a siete preguntas de escala numérica (escala de 1 al 5, considerando el valor 1 el grado mínimo de conocimiento y 5 el máximo). Las herramientas se elaboraron y probaron (prueba de fiabilidad de Alpha Cronbach $\alpha=0,856$) y se aplicó la ecuación 1 para determinar el grado de conocimiento base a partir de una representación porcentual de más fácil visualización para las partes interesadas, como sería una de valores de 1 al 100. El valor de 100 será el máximo de conocimiento posible que resulta de la división del valor de respuestas dada por los informantes (VR) entre el valor más alto de la escala empleada ($Vmáx$).

$$(\%) = \left(\frac{VR}{V\text{máx}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Los aspectos por evaluar en cada perspectiva se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Aspectos evaluados en la caracterización de los actores relacionados a la biomasa vegetal procedente de RAO y RAI para el mercado de energía biomásica.

Aspectos técnicos	Aspectos ambientales	Aspectos financieros	Aspectos sociales
Especie/cultivo de origen de la biomasa	Extracción y manejo sostenible de la biomasa	Precios de compra/venta de biomasa	Mejora la calidad de vida de la región
Contenido de humedad de la biomasa	Generación de emisiones carbono sostenibles	Costo de subprocesos (secado o reducción de la biomasa)	Creación de fuentes de empleo
Homogeneidad de la biomasa	Impacto a la salud humana	Costo de generación energética	Políticas actuales de uso de biomasa
Distancia de la biomasa al vendedor/consumidor	Posibilidad de uso de la biomasa en otros procesos	Dinamismo del mercado	Tramitología para la actividad
Calidad de la biomasa (en forma y tipo)	Utilización de los residuos que genera en su proceso	Margen de utilidad del sistema energético	Facilidad del gobierno para desarrollo energético
Disponibilidad de tecnología de implementación			Uso de áreas que no tienen uso productivo para generación energética
Disponibilidad de mano de obra			

Percepción de los actores sobre el mercado

Como siguiente paso, se consideró también conocer la percepción cualitativa de los actores del mercado ya descritos en el apartado anterior sobre atributos afines al mercado de la biomasa vegetal (y de su sector en particular). Se empleó una técnica de parejas de adjetivos opuestos, en preguntas colocadas intrínsecamente en la herramienta de recopilación de datos, y permitiendo una respuesta sobre su valoración mediante una numérica del 1 al 4 (siendo 1 el valor mínimo y 4 el valor máximo), de cada pareja de adjetivos. Igualmente se aplicó la prueba de fiabilidad ($\alpha=0.856$), y se emplearon estos adjetivos relacionados a estos atributos: a) Complejidad, b) Estabilidad, c) Dinamismo, d) Rentabilidad, e) Organización sectorial, f) Competitividad, y g) Negociabilidad.

Se aplicó nuevamente las operaciones de la ecuación 1, esta vez referida a la percepción cualitativa, generando valores de 0 a 100, en donde los valores más cercanos a 0 tienen mayor relación con una percepción negativa del atributo en cuestión, mientras que los más cercanos a 100 tienen relación a la percepción positiva para el atributo.

Variables determinantes del mercado bioenergético

Como último paso del marco metodológico, se propuso que, con base en la literatura y las observaciones de los investigadores respecto a los pasos previos, se seleccionaran factores determinantes para el funcionamiento óptimo de un mercado energético. Por tanto, se consideraron como variables, las siguientes:

- a. Volumen de Biomasa Ofrecido-Consumido (VB)
- b. Homogeneidad de la biomasa en tamaño y tipo de presentación (HB)
- c. Precio de la biomasa en el mercado (PB)
- d. Competencia de compradores/vendedores de biomasa (CO)
- e. Políticas estatales de promoción del mercado de biomasa (PP)
- f. Disponibilidad tecnológica de transformación (DT)

g. Impacto ambiental (IA)

h. Margen de ganancia de la actividad (MG)

Se cuantificó la valoración de cada actor consultado mediante una escala 1 al 10, donde 1 representó el valor mínimo de “no relevante” y 10 el valor máximo considerado “relevante”, posteriormente a los valores obtenidos se les aplicó las mismas operaciones de la Ecuación 1, esta vez referidos a las variables determinantes (VD).

Todas las respuestas fueron analizadas mediante un análisis descriptivo, y para cada prueba se utilizó el programa Minitab 18, con un nivel de significancia de 0,05. En el caso de CB se consideró para cada variable la prueba de la Mediana de Mood (previa prueba de normalidad). En el caso de las variables que mostraron diferencias significativas se les aplicó la prueba de Siegel-Tukey para identificar el/los grupos específicos (productores, intermediarios, compradores y autoproductores) donde se dieron estas diferencias de percepción.

Para el análisis de PC se realizó la prueba no paramétrica de Siegel-Tukey, para comparar dos paquetes de información (pares adjetivos opuestos) y definir el grado de similitud entre las percepciones de los cuatro actores del mercado (previa prueba de normalidad).

Para el análisis de VD primero se buscó identificar grupos de variables con similitudes estadísticas, a través de la prueba no paramétrica de Siegel-Tukey para comparar en parejas las medias de cada categoría (Productor-Autoproduccion-Intermediario-Consumidor) e identificar en cuáles categorías existen diferencias significativas de percepción con respecto al grado de relevancia que cada variable posee para el desempeño de su rol en el mercado (previa prueba de normalidad). Posteriormente se usó la correlación de Spearman para identificar variables correlacionadas a partir de sus medias, de manera tal que se pudiera conocer las variables más influyentes del mercado y la vinculación de unas con otras.

Resultados

Los pasos de esta propuesta metodológica se aplicaron al estudio de caso de la agrocadena del arroz costarricense como validación de la misma, y cuyos resultados se describen a continuación.

Datos sectoriales

Como resultado de la revisión de literatura científica y gris, así como de fuentes sectoriales, se identificaron las regiones de producción de arroz en Costa Rica, a saber, la Región Chorotega (como la más importante en términos de capacidad industrial), la Región Central y la Región Pacífico Central. La producción, desarrollada como monocultivo principalmente, se estimó en 148 111 t de arroz en granza destinada al mercado nacional durante el periodo 2019-2020 [15], la cual es menor a los registros de cosecha del 2014-2015, reportados en 200 000 t de arroz en granza al mercado nacional [15]. Existen 11 plantas arroceras y 938 productores nacionales de arroz, los cuales durante su actividad generan RAO como el rastrojo (empleado como restructurador de suelo al reincorporarse luego de la cosecha, o para elaboración de pacas en alimentación animal) y RAI como la cascarilla, puntilla y semolina. Estos materiales se caracterizan por ser de tipo fibroso, abrasivo y de alto contenido de ceniza, y a la fecha se estima que el 35% de la cascarilla de arroz se auto consume como fuente de energía en las plantas agroindustriales, mientras que el restante 65% se vende por medio de intermediarios para darle uso en la actividad avícola como sustrato para las camas animales, o bien en la actividad cementera para uso energético. Finalmente, y en menor proporción, pequeñas cantidades son destinadas para fines ornamentales. La cuantificación actual estima que la cascarilla de arroz

tiene un potencial anual bruto de producción de 7.8 MW para una capacidad instalada de 4.5 MW lo que representa el 58% de la capacidad instalada en Costa Rica. Particularmente, el cuadro 2 resume los datos de masa y potencial energético de la biomasa en esta agrocadena.

Cuadro 2. Masa húmeda, masa seca y potencial energético bruto y disponible de biomasa generada en la agrocadena del arroz en Costa Rica.

Biomasa	Masa húmeda (t)	Masa seca (t)	Potencial energético bruto sobre PCS ^a (TJ)	Fracción de la biomasa disponible (%)	Potencial energético bruto disponible sobre PCS (TJ)
Cascarilla de arroz*	68 432	59 536	919	0	0
Rastrojo de arroz	1 149 112	195 349	3 405	100	3 405
Total General	1 217 544	254 885	4 324	79	3 405

Nota: a PCS: poder calorífico de la biomasa en base seca. Fuente: [16]

Conocimiento de los actores

Se logró acceder a 34 actores de la agrocadena del arroz, según se observa en el cuadro 3, y los cuales permitieron recopilar percepciones de los cuatro actores, es decir de productores, consumidores, intermediarios y autoprodutores.

Cuadro 3. Clasificación de la muestra de usuarios entrevistados en el cultivo de arroz vinculados al mercado de biomasa arrocería en Costa Rica.

Cultivo	Productor	Autoprodutor	Intermediario	Consumidor	Total
Arroz	16	6	7	5	34
Varios*	4	6	4	16	30

Se debe señalar que hay una segunda categoría de actores consultados que se llamó varios (*), los cuales incluyen personas que producen, comercializan o compran residuos agrícolas-agroindustriales de varios cultivos que igualmente son considerados de interés potencial para energía de fuentes biomásicas en el país, es decir que en su conjunto podían tener vinculación a la agrocadena el arroz, pero simultáneamente también a caña de azúcar, o a piña por citar ejemplos.

En términos de conocimiento (cuadro 4), y desde el punto de vista de la dimensión técnica, los actores presentaron resultados similares entre sí para el grado de conocimiento de las variables homogeneidad de la biomasa, calidad de la biomasa, contenido de humedad y disponibilidad de tecnología de implementación. En el caso de las variables especie/cultivo de origen de la biomasa y disponibilidad de mano de obra, los productores y autoprodutores denotaron diferencias respecto a los consumidores e intermediarios, y para la variable distancia de la biomasa al vendedor/consumidor, fueron los consumidores los que denotaron diferencias respecto a los otros tres actores.

Cuadro 4. Conocimiento de los actores consultados sobre el mercado bioenergético

basado en residuos agrícolas- agroindustriales del cultivo de arroz.

Aspecto	Sector productivo (%)							
	Productor		Autoprodutor		Intermediario		Consumidor	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
Técnico								
Especie/cultivo de origen de la biomasa	92,50	11,99	96,67	7,45	60,00	15,12	48,00	20,40
Contenido de humedad de la biomasa	63,75	19,00	66,67	9,43	51,43	9,90	72,00	16,00
Homogeneidad de la biomasa	81,25	16,54	76,67	7,45	74,29	14,00	68,00	16,00
Distancia de la biomasa al vendedor/consumidor	87,50	13,92	100,00	0,00	100,00	0,00	68,00	9,80
Calidad de la biomasa (en forma y tipo)	83,75	14,52	90,00	15,28	77,14	12,78	68,00	9,80
Disponibilidad de tecnología de implementación	63,75	23,68	53,33	27,49	45,71	17,61	52,00	27,13
Disponibilidad de mano de obra	90,00	20,00	90,00	15,28	74,29	9,04	72,00	16,00
Ambiental								
Extracción y manejo sostenible de la biomasa	70,00	22,36	80,00	20,00	45,71	14,00	44,00	23,32
Generación de emisiones carbono sostenibles	51,25	23,42	60,00	16,33	22,86	7,00	36,00	14,97
Impacto a la salud humana	60,00	29,15	70,00	27,69	25,71	9,04	28,00	16,00
Posibilidad de uso de la biomasa en otros procesos	82,50	11,99	93,33	9,43	68,57	18,07	72,00	27,13
Utilización de los residuos que genera en su proceso	87,50	13,92	96,67	7,45	28,57	14,57	76,00	14,97
Financiero								
Precios de compra/venta de biomasa	76,25	17,63	96,67	7,45	97,14	7,00	84,00	23,32
Costo de subprocesos (secado o reducción de la biomasa)	53,75	22,04	40,00	20,00	28,57	14,57	36,00	23,32
Costo de generación energética	46,25	28,03	33,33	22,11	20,00	0,00	28,00	16,00
Dinamismo del mercado	70,00	18,71	43,33	21,34	71,43	9,90	48,00	9,80
Margen de utilidad del sistema energético	78,75	16,54	93,33	9,43	22,86	7,00	36,00	23,32
Social								
Mejora la calidad de vida de la región	86,25	9,27	90,00	15,28	85,71	14,00	88,00	9,80
Creación de fuentes de empleo	87,50	18,54	76,67	24,27	82,86	12,78	92,00	9,80
Políticas actuales de uso de biomasa	36,25	22,60	26,67	9,43	25,71	9,04	20,00	0,00
Tramitología para la actividad	33,75	22,04	26,67	9,43	28,57	9,90	32,00	9,80
Facilidad del gobierno para desarrollo energético	33,75	18,33	26,67	9,43	28,57	9,90	24,00	8,00
Uso de áreas que no tienen uso productivo para generación energética	76,25	12,69	80,00	16,33	37,14	19,79	72,00	16,00

DS: desviación estándar

En cuanto a la dimensión ambiental, solo se halló similitud de respuestas entre los cuatro actores para la variable de posibilidad de uso de la biomasa en otros procesos. El resto de las variables mostraron diferencias significativas. Por ejemplo, consumidores e intermediarios mostraron menor grado de conocimiento sobre extracción y manejo sostenible de la biomasa respecto a los demás actores. Productores y autoprodutores tienen conocimientos similares para las variables de generación de emisiones carbono sostenibles e impacto a la salud humana, a diferencia de los intermediarios y consumidores (también con menor grado de conocimiento este grupo). Adicionalmente, los productores, autoprodutores y consumidores tienen conocimientos similares (y mayores en su conjunto) para la variable de utilización de los residuos biomásicos generados en sus procesos, a diferencia de los intermediarios.

Los cuatro actores del mercado coincidieron en el grado de conocimiento sobre variables de la dimensión financiera como los costos de generación de energía a partir de residuos biomásicos, y los costos de subprocesos requeridos para tal fin. Se detectaron diferencias significativas en la variable precio de compra/venta de biomasa, margen de ganancia de los sistemas bioenergéticos. Para el caso de la variable de dinamismo del mercado y estabilidad para encontrar vendedores/compradores de residuos biomásicos de arroz, los consumidores y autoprodutores tienen conocimientos similares entre sí, pero difieren de los de los productores e intermediarios.

Finalmente, el aspecto social fue el que mostró mayor concordancia de conocimiento entre los cuatro actores del mercado, para variables como la contribución de los sistemas bioenergéticos en la generación de fuentes de empleo, mejoras en la calidad de vida de la región y posibilidad de dar uso a tierras abandonadas o sin uso productivo (a excepción de los intermediarios quienes en este último aspecto discreparon). Así mismo, hubo coincidencia de conocimiento en las variables relacionadas con temas legales, como son políticas públicas, tramitologías para el uso de residuos biomásicos con fines energéticos e incentivos o facilidades por parte del gobierno para desarrollar los sistemas bioenergéticos en el país.

Percepción de los actores sobre el mercado

Los actores del mercado de biomasa asociada al cultivo de arroz no mostraron diferencias significativas de percepción en cuanto a la complejidad, estabilidad, organización, competitividad y negociabilidad del mercado (figura 2). Los cuatro grupos consideran que el mercado es complejo, con una oferta/demanda de biomasa estable en el tiempo, un sistema de organización bajo y una competencia moderada donde se permite la negociación de precios de compra/venta de la biomasa.

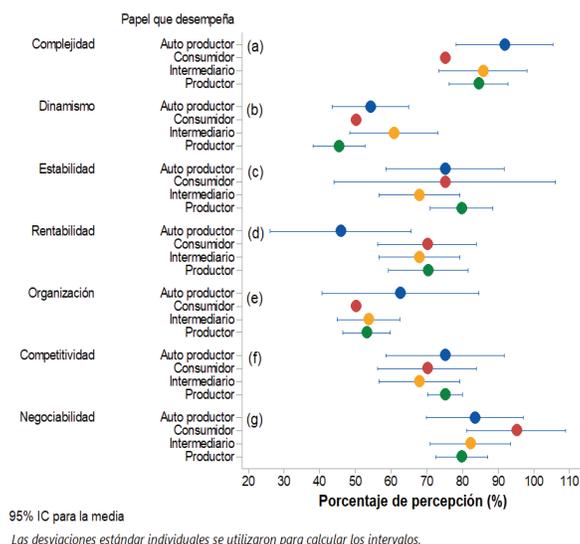


Figura 2. Percepción cualitativa a partir de una caracterización adjetiva del mercado energético basado en biomasa residual proveniente del cultivo de arroz.

Se desprende de la figura 2 que, en cuanto a dinamismo, se obtuvo diferencias significativas de percepción entre actores encontrando dos agrupaciones. La primera agrupación está conformada por intermediarios, compradores y autoprodutores, y la segunda por productores. Los primeros consideran que el mercado es moderadamente dinámico; es decir que los cambios en cuanto a disponibilidad de oferentes y demandantes de biomasa son moderados.

Un fenómeno similar ocurrió con la rentabilidad, sin embargo, la primera agrupación la conformaron productores, consumidores e intermediarios, mientras que los autoprodutores se diferenciaron del resto considerando que el mercado es poco rentable debido a que se requieren altos volúmenes de cascarilla de arroz y paja para lograr cubrir la demanda energética y por tanto deben recurrir a comprar otros tipos de biomasa para usar como combustible.

Variables determinantes del mercado de energía biomásica

En cuanto a las variables estudiadas, se obtuvo concordancia de percepción entre los productores, autoprodutores, intermediarios y consumidores de residuos agrícolas-agroindustriales de arroz con respecto a las variables volumen de biomasa (VB) e impacto ambiental (IA). Como se muestra en la figura 3, todos los grupos dan gran relevancia al volumen de biomasa residual producido, comercializado o consumido y a que el impacto ambiental negativo de sus actividades sea el menor posible. En lo que atañe al resto de las variables, se hallaron diferencias significativas de percepción entre algunos de los actores del mercado.

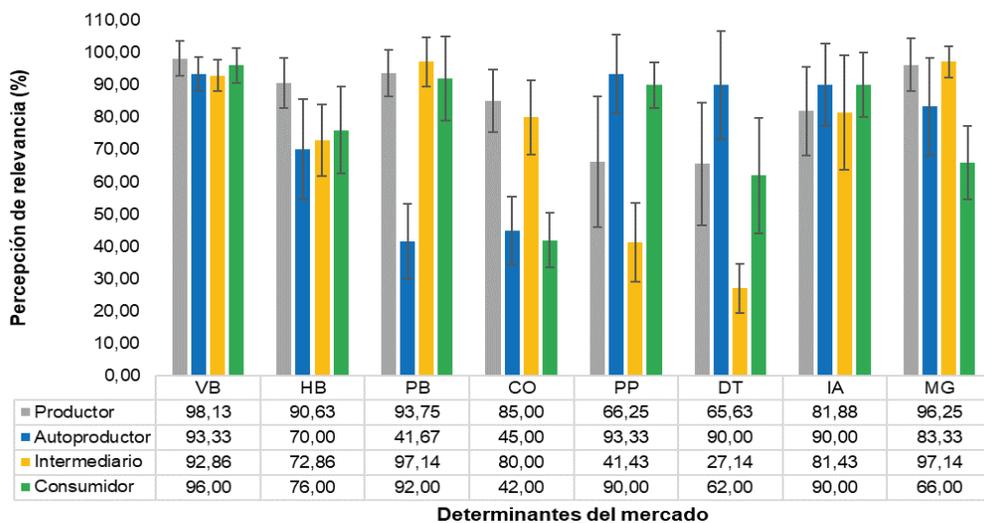


Figura 3. Grado de importancia de las variables que afectan el mercado energético basado en residuos agrícolas-agroindustriales de arroz, desde la perspectiva de los actores del mercado. *Volumen de Biomasa Ofrecido-Consumido (VB), Homogeneidad de la biomasa en tamaño y tipo de presentación (HB), Precio de la biomasa en el mercado (PB), Competencia de compradores/vendedores de biomasa (CO), Políticas estatales de promoción del mercado de biomasa (PP), Disponibilidad tecnológica de transformación (DT), Impacto ambiental (IA), Margen de ganancia de la actividad (MG)*

La homogeneidad de la biomasa (HB) es un aspecto de gran importancia para los productores (90,63%); sin embargo, para el resto de los actores el tamaño y tipo de presentación de la biomasa tiene importancia moderada. El precio de la biomasa (PB) es un factor determinante para los productores, intermediarios y consumidores de biomasa residual de arroz, en contraste, los autoprodutores no muestran preocupación por este aspecto (41,67%). La competencia entre compradores/vendedores de biomasa (CO) presentó percepciones diferenciadas en dos agrupaciones, la primera conformada por productores e intermediarios, quienes la consideran una variable determinante en el ejercicio de su actividad, la segunda la integran autoprodutores y consumidores, quienes no ven gran influencia de esta variable sobre su actividad. En cuanto a las políticas estatales de promoción del mercado de biomasa (PP) se identificó tres percepciones diferenciadas, para los autoprodutores y consumidores este aspecto es de gran relevancia; para los productores es moderadamente relevante y para

los intermediarios no es importante. El mismo fenómeno ocurrió con la variable disponibilidad tecnológica (DT), siendo los autoprodutores el grupo que mayor importancia le da a este rubro (90%), seguido de los sectores productor y consumidor, quienes consideran la tecnología moderadamente necesaria (promedio 63,81%), sin embargo, los intermediarios consideran el factor tecnológico de baja importancia para el ejercicio de su actividad en el mercado (27,14%). Por último, con respecto al margen de ganancia (MG), son los intermediarios y productores los que consideran determinante este rubro, seguidos por los autoprodutores, sin embargo, a los consumidores no lo perciben de tal importancia (66%).

Cuando se analiza la relación entre las percepciones de los sujetos en estudio con respecto a las variables que afectan o determinan el mercado (figura 3) se identificó una correlación positiva alta entre MG y CO, lo que indica que a medida que el margen de ganancia aumenta la competencia en el mercado también lo hace. Lo mismo sucede con las variables IA-DT y PP-DT. Asimismo, se evidenció una correlación negativa significativa entre IA y PB, es decir, los entrevistados perciben que un aumento del impacto ambiental positivo implica disminuciones en los precios de comercialización de la biomasa y viceversa; fenómeno que también se presentó entre las variables DT-PB, PP-PB y PP-CO. Las variables VB y HB son las que menos determinan el mercado energético basado en residuos de arroz, pues tienen una correlación significativa entre ellas, pero su interacción con las demás variables es nula.

Utilidad de la propuesta y síntesis gráfica

Producto del seguimiento de pasos propuestos para caracterizar el mercado de la biomasa con fines energéticos, y su aplicación en un estudio de caso como fue el de la agrocadena del arroz, fue posible extraer información relevante que caracteriza a este caso y funge como insumo inicial para estudios del mercado de biomasa posteriores. Se resumen aspectos como:

- A partir de la revisión del contexto, se determinó que la producción de arroz ha decrecido levemente en el tiempo y proporcionalmente la biomasa resultante (RAO o RAI); sin embargo, la actividad sigue siendo relevante y relativamente estable en el país dada su importancia económica y en seguridad alimentaria. Debe aclararse que el estudio fue realizado previo al 2022, año en el que el Gobierno Central ha indicado la posibilidad de cambios arancelarios para la agrocadena, por lo que deberá analizarse con mayor profundidad si la producción (y por tanto la generación de RAO y RAI) de arroz mantendría la tendencia vista en el presente estudio.
- Se reconoce una caracterización básica en la biomasa de este subsector, y se identifica ya un fin bionérgico dentro de la misma industria arrocera, lo cual compite con otras industrias o bien otros usos para la cascarilla del arroz (sustrato colocado en el piso de explotaciones avícolas). El caso del rastrojo es distinto pues prácticamente se usa solo para fines de reincorporación al suelo o como alimento animal; sin embargo, ambos casos merecen atención para valorar la posibilidad de migrar a un mayor aprovechamiento de esta biomasa desde el punto de vista energético.
- El caso del arroz se caracteriza por contar con una producción total anual general en biomasa húmeda de 1 217 544 t, equivalente a 254 885 t de masa seca, y un potencial energético bruto sobre PCS de 4 324 TJ. Esto representa la disponibilidad de una fracción del 79% de la biomasa y un potencial energético bruto disponible PCS de 3 405 TJ.
- Es de cuidadosa observación el hecho de que en este sector se consideró una relación negativa entre impacto ambiental y precio, y si bien el volumen de biomasa no presentó alta correlación a otras variables determinantes, este siempre será crítico en términos de disponibilidad de biomasa para generación energética.

- Las variables de mercado más relevantes para los actores relacionados se centran en el volumen de biomasa, el impacto ambiental, el margen de ganancia de la actividad y el precio de dicha biomasa en el mercado.
- Al mismo tiempo, las correlaciones de estos determinantes con otros factores permiten comprender mejor el escenario y las posibles oportunidades para agronegocios bioenergéticos en este contexto. Por ejemplo, considerar el margen de ganancia para ubicar las oportunidades implica la necesidad también de considerar la competencia entre compradores y vendedores de esta biomasa, así como la necesidad de incorporar la variable tecnológica vinculada al impacto ambiental y a su vez el efecto de las políticas públicas sobre dicha disponibilidad de tecnología.
- Los actores de esta agrocadena reconocen la acción de productores, autoproducidos, consumidores e intermediarios, considerando potencialmente el análisis de estos como parte de una función propia del mercado dado el grado de dispersión de los dos actores al extremo de la cadena de suministro.
- La consideración de una posibilidad de negociar dentro de este mercado, una moderada competitividad, así como la estabilidad valorada por los actores, junto a un conocimiento de amplio a moderado en variables técnicas, facultaría la promoción de un mercado biomásico de arroz para fines energéticos. Su competitividad podrá visualizarse en términos de la posibilidad de contar con una biomasa probada como eficiente en producción de energía y con un potencial conocido por los actores en términos de variables socioambientales. Sin embargo, para lograr potenciar este mercado, es vital atender cuellos de botella detectados cuando los actores valoraron el mercado como uno aún desorganizado, y con serias deficiencias de conocimiento sobre aspectos financieros y legales.

En síntesis, siendo esta una seguidilla de pasos propuestos se supone un avance lógico y adecuado de los aspectos por considerar en una caracterización del mercado de la biomasa para fines energéticos, como el aplicado en este caso al ejemplo de la agrocadena arrocería costarricense.

Conclusiones y recomendaciones

La investigación y estudios de mercado de la biomasa para fines energéticos no es siempre simple y requiere de distintos apartados. Uno de estos comprende una caracterización inicial que permita determinar rasgos de los actores de dicho mercado, su percepción y la determinación de variables que resulten determinantes para la actividad. Obviar este paso puede resultar tan crítico como desestimar otros aspectos de la caracterización desde un punto de vista técnico o más estudios de corte económico, financiero y legal. Por esto, orientar el inicio de un estudio de este tipo con un marco metodológico como el acá propuesto permitiría avanzar de manera sistemática en la obtención de información inicial. Se obtiene de la aplicación de la propuesta realizada, información relevante como el potencial de biomasa existente para el caso de estudio, el conocimiento y percepción de sus actores respecto a variables del mercado, y la identificación de variables determinantes para el mismo. A grandes rasgos, se determina según las fuentes consultadas que la agrocadena tiene el potencial anual de contar con 1 217 544 t de biomasa húmeda y un potencial energético bruto sobre PCS de 4 324 TJ. Se identificaron como variables de relevancia el volumen de biomasa, el impacto ambiental, el margen de ganancia de la actividad y el precio de dicha biomasa en el mercado.

Se recomienda seguir los pasos antes descritos considerando la posibilidad de tener muestras amplias en términos de cantidad de actores y diversidad de estos para garantizar el logro de una caracterización afín a la realidad del contexto en estudio. Si bien esta vez se valida la aplicabilidad de los pasos en la agrocadena del arroz costarricense, es factible aplicarlo a otros sectores y contextos, por lo que actualmente el proyecto que promovió la propuesta de este marco metodológico avanza en el estudio de más agrocadenas y se complementa con otras disciplinas y herramientas como la georreferenciación, el modelaje y el planeamiento estratégico. Finalmente, se recomienda complementar estudios de este tipo con la aplicación de otros métodos, como aquellos relacionados a la caracterización de parámetros técnicos, bioquímicos, físicos y tecnológicos que sumen a la visualización integral del potencial bioenergético del contexto en estudio.

Referencias

- [1] CNFL, "Foro "Desafíos de la Innovación en el Servicio Eléctrico Solidario", " <https://fb.watch/5bl83V0tXR/>, San José, 2021.
- [2] S. Medina and A. Venegas, "Energías Renovables. Un futuro óptimo para Colombia," *Revista Punto de Vista*, vol. 9, no. 13, p. 47–62, 2018.
- [3] D. Hoehn, M. Margallo, J. Laso, I. García-Herrero, A. Bala, P. Fullana-i-Palmer, A. Irabien and R. Aldaco, "Energy Embedded in Food Loss Management and in the Production of Uneaten Food: Seeking a Sustainable Pathway," *Energies Volume 12 (4)*, pp. 767, doi:10.3390/en1204, 2019 .
- [4] ONU, "El papel futuro de la iniciativa "Energía Sostenible para Todos" en la promoción de la energía sostenible," 2017.
- [5] A. Beames, J. Goedhart and A. Kanellopoulos, "Biobased Economy: Critical Foundation for Achieving Sustainable Development Goals," *Decent Work and Economic Growth. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals.*, 2019.
- [6] J. Fernández, F. Gutiérrez, P. Del Rio, G. San Miguel, A. Bahillo, J. Sánchez, M. Ballesteros, J. Vázquez, L. Rodríguez and J. Aracil, *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética*, Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa, 2015.
- [7] F. Nogués, D. García and A. Rezeau, *Energía de la Biomasa (volumen I)*, Zaragoza, España: Pressas Universitarias de Zaragoza, 2010.
- [8] UNEP, "Visión global de los Residuos Agrícolas Orgánicos para su aprovechamiento energético," DTIE, UNEP, IETC, 2013.
- [9] Instituto Costarricense de Electricidad, "Plan de expansión de la generación eléctrica 2016-2035," GrupoICE, San José, Costa Rica, 2017.
- [10] Grupo ICE, "Somos electricidad renovable y solidaria," 2020. [Online]. Available: https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/7a3172c0-b703-4bbf-9d61-b363e822f1c1/Fasciculo_Electricidad_2020_compressed.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m.pLjj8.
- [11] D. Zárate and R. Ramírez, "Matriz Energética de Costa Rica Renovabilidad de las fuentes y reversibilidad de los usos de energía," Fundación Friedrich Ebert (FES), San José, Costa Rica, 2016.
- [12] IICA-UCR-MAG, "Simposio. Una visión del sector agropecuario basada en el CENAGRO 2014," San José, Costa Rica, 2016.
- [13] J. C. Valverde, D. Arias, R. Campos, M. F. Jiménez and L. Brenes, "Análisis perceptual del mercado energético basado en biomasa lignocelulósica de origen arbóreo en Costa Rica," *Madera y bosques*, 26(3), e2632066. , p. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632066>, 2020.
- [14] S. Nepal, L. T. Tran and D. G. Hodges, "Determinants of Landowners' Willingness to Participate in Bioenergy Crop Production: A Case Study from Northern Kentucky," *Forests 11, no. 10*, p. 1052. <https://doi.org/10.3390/f11101052>, 2020.
- [15] CONARROZ, "Informe Estadístico Periodo 2014-2015," 2016. [Online]. Available: <http://www.conarroz.com/index.php/en/industria>. [Accessed 20 Abril 2020].
- [16] SEPSE, "Actualización de la encuesta de biomasa como insumo para su incorporación en la matriz energética de Costa Rica," 2018. [Online]. Available: <https://sepse.go.cr/>. [Accessed 20 Abril 2020].

- [17] IEA, World Energy Outlook 2018, Paris, France: International Energy Agency, 2019.
- [18] Ministerio de Ambiente y Energía, “VII Plan Nacional de Energía 2015-2030,” MINAE, DSE, PNUD, San José, Costa Rica, 2015.
- [19] FAO, “La Bioenergía en América Latina y El Caribe. El estado de arte en países seleccionados.,” Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Santiago, Chile, 2013.