

# Análisis del mercado de biomasa forestal con fines energéticos en la zona de Guanacaste, Costa Rica

## Analysis of forest biomass market for energy purposes in Guanacaste, Costa Rica

Alonso Ulloa<sup>1</sup> • Diego Camacho<sup>2</sup>  • Dagoberto Arias<sup>3</sup>  • Juan Carlos Valverde<sup>3</sup> 

### Abstract

Due to the instability of prices of fuels and climate variability, electricity rates are a sensitive aspect for the competitiveness of the country. The use of alternative energy has become an excellent option of self-sufficiency for private companies and a way to lower the electricity bill and a way start a path toward a low carbon national energy system. The present study analyzed the market of biomass for energy purposes in Guanacaste. The study comprised the biomass market in the region, taking the area of Abangares as the forest core and evaluating forest plantations (supply) and corporate biomass consumers (demand) in a 100 km radius from the production core. The assessment of the offer was based on data queried from FONAFIFO and potential projections of plantation waste; for its part, the demand was obtained through surveys and characterizations of companies that currently consume biomass. The results showed that the dominant species in reforestation was *Tectona grandis* with a 40.3 % of the total area planted in the region, followed by *Gmelina arborea* with 13.2 % and with a potentially annual generation of waste greater than 98 000 ton for *T. grandis* and 44 000 ton for *G. arborea*. On the other hand, demand showed a capacity of over 250 000 ton/year, being that currently, 48 % is supplied by fossil fuels and only 15.1% by forest biomass (usually chips). Analyzing the financial impact of the possible fuel change by biomass, savings of over 50% are found; however, it was also found the limitation that existing biomass (forest management waste) would not be enough to supply more than 57 % of the current market.

**Key words:** Energetic market, offering, demand, dendroenergy.

1. Consultor independiente; San José, Costa Rica;  
[alonsoulloa9@gmail.com](mailto:alonsoulloa9@gmail.com)

2. Programa de Regionalización Interuniversitaria, CONARE;  
Cartago, Costa Rica; [dicamacho@tec.ac.cr](mailto:dicamacho@tec.ac.cr)

3. Escuela de Ingeniería Forestal, Tecnológico de Costa Rica;  
Cartago, Costa Rica; [darias@tec.ac.cr](mailto:darias@tec.ac.cr); [jcvalverde@tec.ac.cr](mailto:jcvalverde@tec.ac.cr)

Recibido: 19/07/2017

Aceptado: 12/06/2018

Publicado: 19/09/2018

DOI: 10.18845/rfmk.v15i1.3722

## Resumen

Ante la inestabilidad de los precios de los combustibles y la variabilidad climática, los precios de la electricidad son un aspecto sensible para la competitividad del país. La utilización de energías alternativas se ha convertido en una excelente opción de autoabastecimiento para empresas privadas y una manera de bajar la factura eléctrica y la ruta hacia un sistema energético nacional bajo en carbono. En el presente estudio se analizó el mercado de la biomasa con fines energéticos en la zona de Guanacaste. El estudio comprendió el mercado de biomasa de la región, tomando como núcleo forestal la zona de Abangares y evaluando las plantaciones forestales (oferta) y las empresas consumidoras de biomasa (demanda) en un radio de 100 km del núcleo de producción. La evaluación de la oferta se basó en datos consultados de FONAFIFO y de las proyecciones potenciales de residuos de las plantaciones; por su parte la demanda se obtuvo mediante encuestas y caracterizaciones de las empresas que actualmente consumen biomasa. Los resultados obtenidos mostraron que la especie dominante en reforestación fue *T. grandis* con un 40,3 % del total de área reforestada en la región, seguida por *G. arborea* con 13,2 % y con una potencialidad anual de generación de residuos superior a 98 000 ton en el caso de *T. grandis* y de 44 000 ton en *G. arborea*. En cambio, la demanda mostró una capacidad superior a 250 000 ton/año, siendo que actualmente el 48 % es suplido por combustibles fósiles y apenas el 15,1 % por biomasa forestal (generalmente astillas). Al analizar el impacto financiero del posible cambio de combustibles por biomasa, se encontraron ahorros superiores al 50 %; Sin embargo; encontrando la limitante que la biomasa existente (residuos del manejo forestal), no sería suficiente para suplir más del 57 % del mercado actual.

Palabras clave: Mercado energético, oferta, demanda, dendroenergía.

## Introducción

La biomasa forestal se define como el material lignocelulósico generado por procesos metabólicos de las plantas arbóreas (Simangunsong et al., 2017), dicho material se caracteriza por tener una composición con gran potencialidad energética que permite, mediante procesos de combustión completa o incompleta, la generación de calor y energía que puede ser transformada en electricidad (Cuni-Sanchez et al., 2017). La ventaja de la biomasa arbórea sobre otras fuentes energéticas es que es renovable, permite hacer un ciclo continuo de absorción de emisiones de CO<sub>2</sub>, la tecnología que implementa es de bajo costo y la cosecha de la biomasa

es en el corto plazo (Simangunsong et al., 2016; Cuni-Sanchez et al., 2017). Adicionalmente, contribuye al balance de carbono y a la utilización y rehabilitación de tierras de bajo valor productivo.

La potencialidad de la biomasa ha permitido desarrollar tecnologías que la convierten en energía con una eficiencia superior al 80 % (Kim y Park, 2016) y con costo de generación compatible a otras energías como los combustibles fósiles o carbón mineral (Herbert y Krishnan, 2016). El impacto de este material ha generado a nivel mundial el desarrollo de mercados internacionales de oferta y demanda de biomasa (“pellets”), y se comercializa a nivel interno de los países, así como entre países (Gonzalez-Salazar et al., 2016; Searle y Chen, 2017), siendo un producto que ya se está empezando a considerar dentro los tratados de libre comercio (Paolotti et al., 2017).

Los mercados de oferta y demanda de biomasa cuentan con cuatro características fundamentales, según mencionan Kim y Park (2016) y Bilgini et al. (2017): (i) venta de altos volúmenes, en este tipo de mercado la venta-compra de biomasa no se da por unidad sino por volumen o peso de venta, esto debido que las compras se desarrollan en grandes cantidades por el tipo de industria que requiere volúmenes elevados de materia prima; (ii) el material debe ser lo más homogéneo posible, en este contexto la venta de biomasa ya sea como troncos, astillas, “pellets” o equivalentes debe ser similares en cuanto humedad, dimensión y calidad; (iii) la especie y contenido de humedad impactan directamente en el precio de venta, ambas variables tienen un peso fundamental en la comercialización, debido a que dependiendo de la especie y humedad, el valor calórico varía considerablemente (basta con comparar coníferas con latifoliadas), conforme sea mayor el poder calórico, se aumenta la productividad de generación eléctrica, mientras que menor contenido de humedad mayor sería la eficiencia de combustión y menor el costo de transporte; y (iv) la ubicación y accesibilidad de la materia prima, el costo de transporte entre la ubicación de materia prima y la planta de combustión influyen en el costo final de venta eléctrica. Conforme mejor se conozca la oferta del mercado y sus necesidades, se podrá implementar un pretratamiento en la materia prima de venta, adaptando factores como el tamaño de la biomasa, el contenido de humedad, el desarrollo de acciones de valor agregado como es la confección de astillas o “pellets” que aumenten la capacidad de negociación y el margen de ganancia del productor.

Estudios de Kim y Park (2016) y Searle y Chen, (2017); destacan que en el proceso de mercadeo de la biomasa es fundamental desarrollar estrategias de valoración y caracterización del entorno, considerando potenciales

compradores y las necesidades de los mismos, a la vez de buscar una estrategia de reducción de los costos de producción que permitan disponer de un margen amplio de ganancia para incidir en la reducción de precio de venta. Por su parte (Paolotti et al., 2017) recomienda antes de la venta de la biomasa, hacer un análisis de factibilidad de mercado, considerando la demanda existente y las carencias de la misma que se pueden implementar como estrategia de colocación de la empresa y facilitando captación de un segmento del mercado.

En el caso específico de Costa Rica, el plan de expansión de la generación eléctrica 2014-2035 (ICE, 2015), detalla que el país dispone de una capacidad instalada efectiva de 2 682 MW, que la generación de electricidad depende un 66 % de las plantas hidroeléctricas, 20 % de las centrales termoeléctricas, 7 % por uso de las plantas geotérmicas, 5 % con energía eólica y un 2 % con biomasa; siendo prioritario para los próximos años incidir en una reducción de la dependencia de generación de energía térmica, por lo tanto la estrategia considerada es el impulso de la generación eléctrica con biomasa. Por su parte, el sector privado ha mostrado la tendencia al uso cada vez mayor de calderas y gasificadores que implementen el consumo de la biomasa y con ello disponer de un autoabastecimiento eléctrico a un costo menor al valor eléctrico del mercado, al punto que en la última década el autoabastecimiento ha aumentado en un 25 % en las principales empresas de país (MINAE, 2011).

Ante la apertura del sector estatal a implementar energías alternativas en conjunto a un sector privado que ha aumentado el desarrollo de planes de autoabastecimiento, se ha creado un mercado de oferta y demanda nacional que debe ser fortalecido para que el proceso de compra y venta de biomasa sea simple, eficiente y transparente; sin embargo, el estudio y caracterización de dicho mercado ha sido muy limitado, debido a que se trata de un mercado novedoso en Costa Rica, poco tradicional y relativamente complejo. El presente estudio consistió en analizar el mercado de la biomasa forestal con fines energéticos en Guanacaste, Costa Rica.

## Materiales y métodos

### Sitio de estudio

El estudio utilizó como ubicación base a la empresa Biomass Costa Rica en Abangares, Guanacaste; la selección de la empresa se debió a que es una empresa con un posicionamiento importante en la comercialización de biomasa, que seleccionó una ubicación geográfica estratégica, conformando un núcleo de transformación

de biomasa en una distancia corta de donde se generan los residuos y donde se entregan los mismo para su transformación.

Para la recolección de la información, se consideró un rango de 100 km a la redonda, limitando en ese rango únicamente a la provincia de Guanacaste en conjunto con la parte norte de Puntarenas, sitios que se caracterizan por poseer un desarrollo industrial y presencia de plantaciones forestales que pueden incidir en una optimización en la comercialización de biomasa (figura 1).

### Supuestos del estudio

Los supuestos planteados en el estudio de la demanda de biomasa, se basaron en la metodología de Chinnici et al. (2015) que considera los siguientes aspectos:

- Empresas que implementan biomasa de manera total o parcial para el autoabastecimiento energético mediante calderas o gasificadores.
- El autoabastecimiento de biomasa para energía posibilita que el precio del kilowatt sea inferior al del mercado eléctrico estatal.
- Posibilidad real de conversión o adaptación tecnológica de las calderas o gasificadores para consumo de biomasa forestal.
- La demanda de biomasa de las empresas es constante a un plazo de dos años con potencialidad de aumento acorde al crecimiento o producción de las empresas.

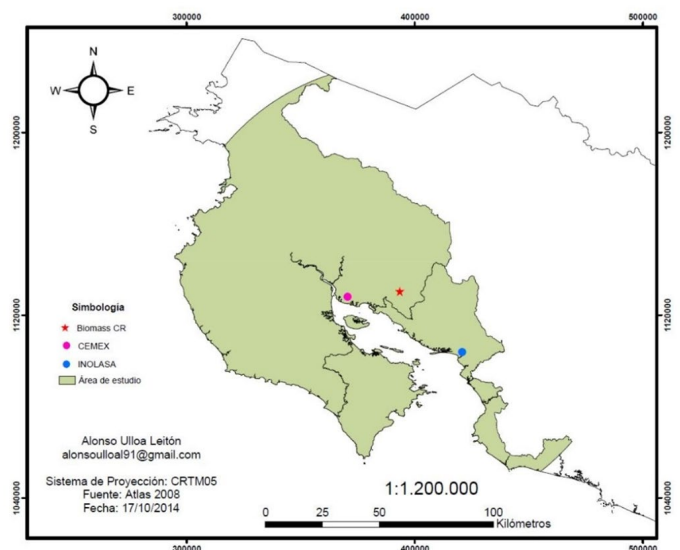


Figura 1. Ubicación geográfica del área del estudio de oferta y demanda de biomasa forestal.

Figure 1. Geographical location of the study area of forest biomass supply and demand.

Con respecto a los supuestos planteados en el estudio de la oferta de la biomasa, se consideraron los siguientes según (Biddinika et al., 2016):

- Potencialidad de suplir la biomasa requerida en el mercado por lo menos 5 años.
- Ofrecimiento de servicios complementarios como secado de materia prima, transporte y estandarizado de partículas de biomasa.
- Capacidad de disponer de almacenamiento o abastecimiento de biomasa para sostener la demanda proyectada a 6 meses.
- Homogeneidad en especies y tipo de biomasa a ofertar en el mercado.

### Análisis de la oferta potencial de biomasa

El análisis del potencial de la oferta de la biomasa se determinó mediante la base de datos de FONAFIFO de pago de servicios ambientales bajo la modalidad de sistemas agroforestales (PSA-SAF) vigentes para el periodo 2013-2016. La información que obtuvo consideró para cada sitio la siguiente información: especie plantada, edad de la plantación, cantidad de individuos presentes y ubicación geográfica de la plantación.

Se utilizó la ecuación de Quitaran (2010) para el cálculo de biomasa total en condición verde de los potenciales individuos de cosecha y para estimar la materia prima; la ecuación seleccionada es funcional en especies tropicales y de implementación simple se debió a que solo requiere del diámetro de los individuos (ecuación 1).

$$Ba = 0,1184 * d^{2,53} \quad (1)$$

Donde: *Ba* es la biomasa verde de árboles vivos en kilogramos y *d* es el diámetro a 1,3 m sobre nivel del suelo en centímetros.

Posterior al cálculo de la biomasa total se implementó el modelo y la tabla de proyección de biomasa funcional de Quitaran (2010), que se basa en el desarrollo de factores de corrección (que descuentan del volumen total de biomasa, el porcentaje que se puede implementar para el desarrollo de productos de alto valor agregado para mueblería, construcción o laminados y la biomasa considerada como residuos) (ecuación 2).

$$Baf = \frac{Ba}{1000} * \frac{N}{P} * pl \quad (2)$$

Donde: *Baf* es la biomasa funcional verde en kilogramos; *Ba* es la biomasa verde en kilogramos; *N* es el número árboles plantados; *P* es el periodo de vigencia del PSA-

SAF en años y *pl* es el porcentaje de leña esperado por clase diamétrica en centímetros.

### Análisis de la potencial demanda de biomasa

La demanda potencial se determinó a partir de un muestreo de las empresas existentes en la zona de Guanacaste y se realizó a partir de una base de datos existente del MEIC (2014) que cuenta con el nombre de las empresas, la ubicación geográfica, cantidad de calderas que dispone y el combustible que utilizan.

Posterior a la identificación de las empresas, se realizó una encuesta física con un muestreo del 30 %, en el que se preguntaron aspectos como: tipo de calderas que utilizan, combustible empleado, consumo aproximado diario de combustible y potencialidad del cambio de combustible fósil a biomasa.

### Análisis de conversión de combustible y sensibilidad del mercado

Posteriormente, se desarrolló un análisis de tipo financiero en el que se calculó el impacto de hacer un cambio de los tres combustibles que actualmente se utilizan en el sitio de estudio, por el biocombustible sólido denominado biomasa forestal. El análisis se desarrolló para los tres niveles de generación eléctrica más utilizados en la región de estudio que fueron 4 800, 14 400 y 28 800 kW, estimando el consumo diario de combustible y su costo económico.

## Resultados y discusión

### Caracterización actual del mercado oferente

En el área de estudio se encontraron registros oficiales de 139 proyectos de reforestación con extensiones que variaron de 4 a 1 390 ha, las especies que se han implementado en dichos proyectos son variadas; dominando la *T. grandis* con el 40,5 % de los cultivos forestales, seguido por *G. arborea* con el 13,2 % y especies nativas como *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*, *Pachira quinata*, entre otros que en conjunto formaron el 46,3 % de los proyectos inscritos pero con un valor porcentual individual de cada especie inferior al 6,1 %.

El proceso de oferta de biomasa al mercado en áreas de reforestación con múltiples especies, Hofsetz y Silva (2012), recomiendan como estrategia de mercado, centrarse en las especies que presenten la mayor reforestación, esto debido a que son una fuente estable de materia prima en el tiempo, permiten ofertar en el mercado cantidades continuas y significativas de biomasa que facilita la acogida del mercado y permite

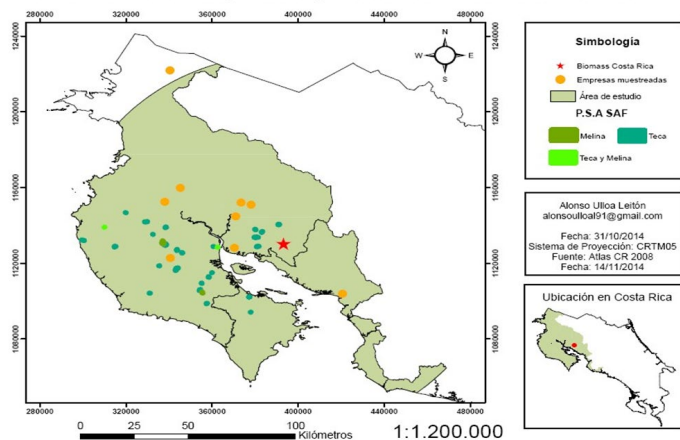


Figura 2. Ubicación geográfica de las plantaciones de *T. grandis* y *G. arborea* con potencialidad de obtención de biomasa forestal en la zona de Guanacaste.

Figure 2. Geographic location of the plantations of *T. grandis* and *G. arborea* with potential to obtain forest biomass in the Guanacaste area.

el desarrollo de un plan operativo bajo escenarios de costos claros para el desarrollo de actividades de obtención y transporte de la biomasa. En este estudio se encontró que la biomasa más funcional para ofertar en el mercado del área de influencia, es la proveniente de las especies *T. grandis* y *G. arborea*.

Suzuki et al. (2017) recomienda que la oferta se concentre en dos especies principales debido a que se facilita, al demandante, la estandarización de los equipos de transformación y la infraestructura en sincronía con las propiedades de las especies, disminuyendo los costos en el uso de la tecnología y la adaptación de la misma a las condiciones variables de la biomasa.

Al ubicar espacialmente las plantaciones de *T. grandis* y *G. arborea* (figura 2), se encontró que la mayoría de las plantaciones se ubicaron en el lado sur de la Península de Nicoya en rangos de distancia de 15 a 90 km entre plantaciones, lo cual se ajusta a las recomendaciones según la metodología de Cardona et al. (2016), con una distribución cerrada (con distancia entre plantaciones inferiores a 250 km), la cercanía entre las mismas facilitaría el proceso de aprovechamiento, movimiento de equipo y personal, además que la planificación del transporte es más simple y con ello los costos de la materia prima se pueden disminuir de un 10 a 20 % (Bilgili et al., 2017). A su vez, la logística de la cosecha de biomasa en el tiempo es más simple debido a que los ritmos de crecimiento se pueden programar sistemáticamente y con ello se pueden obtener proyecciones de acumulación de biomasa por regiones facilitando una proyección más precisa de la biomasa en función la edad (Gonzalez-Salazar et al., 2016).

Cuadro 1. Potencial biomasa disponible de residuos procedentes de plantaciones de *T. grandis* y *G. arborea* en la zona de estudio en Guanacaste.

Table 1. Potential biomass of residues from plantations of *T. grandis* and *G. arborea* available in the study area in Guanacaste

Especie	Edad (años)	Potencial biomasa disponible (ton/año)
<i>T. grandis</i>	4	482,1
	8	993,9
	12	2615,8
	20	4600,9
<i>G. arborea</i>	2	325,5
	6	1188,8
	11	2956,5

Al analizar el potencial del volumen de biomasa de las dos especies con mayor representatividad de comercialización de la zona (cuadro 1), se muestra que el mayor potencial de extracción de biomasa para la especie *T. grandis* se puede obtener con los residuos de raleos y cosecha final superiores a 98 000 ton/año, mientras con *G. arborea* el potencial de residuos sería superior a las 44 000 ton/año; siendo para ambas especies, que los residuos procedentes de la cosecha final serían la mayor fuente de biomasa. Herbert y Krishnan (2016) mencionan que entre un 45 a 68 % de los residuos de biomasa que se pueden obtener con especies tropicales proceden de la cosecha final de las plantaciones, debido que tienden a ser arboles con gran porte y que por aspectos de calidad del fuste, una buena parte de la copa y trozas de las secciones más altas no son industrialmente viables y terminan siendo desechadas y dejadas en campo.

### Caracterización del potencial mercado demandante

Con respecto a los potenciales demandantes de biomasa, en el área de estudio se identificaron 63 empresas que han implementado calderas para abastecer entre el 20 y 50 % del consumo energético requerido para sus operaciones. Al analizar el combustible empleado anualmente, se encontró un consumo de 250 000 ton (figura 3), los combustibles fósiles (búnker y diesel) han sido los más empleados que representan un 49 %, seguido por el combustible de la biomasa de la caña con un 20 % y los residuos forestales con un 15 %; el restante 16 % de combustible procedieron de fuentes como: cascarilla de arroz, gas licuado de petróleo (GLP) y otros. La tendencia de alto consumo de combustibles fósiles se debe a dos razones principales según mencionan Kim y Park (2016): facilidad de adquisición en el mercado, transporte, seguridad, logística y la homogeneidad en la calidad del combustible. La potencialidad del uso

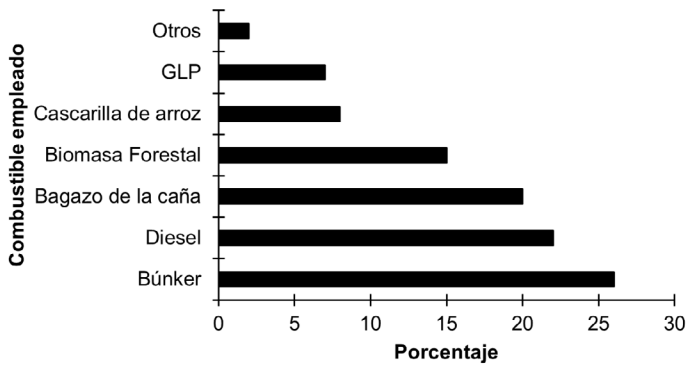


Figura 3. Porcentajes de combustibles empleados en la zona de estudio en Guanacaste.

Figure 3. Percentages of fuels used in the study area in Guanacaste.

de combustibles fósiles en comparación a la biomasa es su condición de funcionamiento bajo un esquema de mercado estructurado, con una calidad de los combustibles muy clara y normada por reglamentos, esto facilita al demandante la selección del combustible y la seguridad de su adaptación a los requerimientos técnicos en comparación a la biomasa que por su variabilidad afectan directamente la eficiencia de las caldera o tecnologías de transformación. Simangunsong et al. (2016) mencionan que la biomasa pueda competir con combustibles fósiles en el mercado energético, no se debe limitar en su costo de venta sino también en la uniformidad de producto y calidad del mismo, algo que en mercado biomásico del trópico es limitado, poco desarrollado y estudiado. Por otra parte, la reducción de emisiones efecto invernadero es una condición que solamente ofrece el uso de la biomasa renovable.

Al analizar la demanda actual de la biomasa forestal (figura 4), se identificaron las siguientes características: (i) hay una gran heterogeneidad en la presentación de la biomasa en el mercado, identificando 4 tipos dominantes (leña, astillas, pellets y aserrín y entre ellos variaciones); (ii) el mercado demandante no tiene un porcentaje de humedad de biomasa estándar, encontrando variaciones entre el 10 y 75 % de humedad, (iii) el mercado no cuenta con un requerimiento específico de especies de consumo, basándose en la oferta de biomasa indistintamente de la especie (o combinación de especies) y (iv) el valor de compra de la biomasa se basa únicamente en la necesidad y estabilidad de la biomasa en el tiempo, por consiguiente el precio en el mercado no es totalmente estable.

Las características de mercado identificadas son similares a las presentadas por Gonzalez-Salazar et al. (2016) identificaron que en mercados poco desarrollados la tendencia es el abastecimiento en el tiempo y aspectos

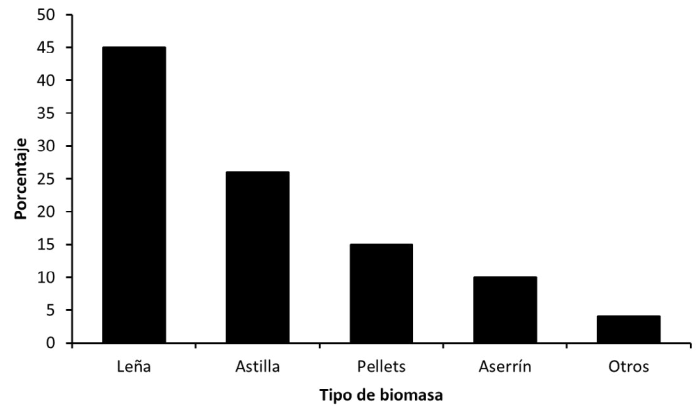


Figura 4. Relación porcentual de la biomasa forestal demanda y sus distintas presentaciones zona de estudio en Guanacaste.

Figure 4. Percentage ratio of forest biomass demand and its different presentations in the study area in Guanacaste.

tales como la uniformidad del material y la calidad del mismo, pasan a un segundo plano; por su parte Karkania et al. (2012) mencionan que la variabilidad de la demanda del mercado es una limitante para los oferentes debido a que dependiendo de las características de la materia prima que ofrezcan, así se limita a los potenciales demandantes, generando un mercado cerrado que permite la especulación de los precios de compra, que en muchos casos puede ser bajo. Simangunsong et al. (2016) mencionan que uno de los retos de los mercados tropicales de biomasa es la uniformidad del mercado demandante en aspectos como contenido de humedad, presentación de la biomasa y la definición de la especie (o combinación de especies), ya que disponer de reglas claras en el mercado permite aumentar la competitividad de venta y con ello generar negociaciones más justas.

### Impacto en el mercado demandante del cambio de combustibles por biomasa forestal

Al analizar el cambio de los tres principales combustibles implementados: búnker, diesel y bagazo de la caña por biomasa forestal (cuadro 2) se encontraron ahorros significativos en la conversión de búnker y diesel entre el 53 y 63 %; si bien se requiere de mayores volúmenes de biomasa, su costo menor representa un ahorro mayor en comparación con los combustibles fósiles, esto se debe a que la biomasa tiene costos menores en aspectos como transporte e impuestos algo que convierte a la biomasa en un combustible atractivo. En cambio, con el bagazo de la caña el cambio generaría aumentos en los costos debido a que en el mercado tradicional, la biomasa de bagazo de caña se comercializaría a un valor inferior, siendo lo normal su aprovechamiento inmediato en el sitio de transformación, caso contrario representaría un costo adicional su tratamiento para disminuir el impacto ambiental. Karkania et al. (2012) mencionan que en las conversiones de combustible se debe tener claro que

**Cuadro 2.** Impacto financiero conversión de combustibles fósiles y bagazo de caña a biomasa forestal en la zona de estudio en Guanacaste.

**Table 2.** Financial impact of converting fossil fuels and cane bagasse to forest biomass in the study area in Guanacaste.

Generación energética (kW/día)	Combustible	Consumo actual (ton/día)	Costo actual (USD/día)	Consumo potencial biomasa (ton/día)	Potencial costo consumo (USD/día)	Diferencia de costo (USD/día)
4800	Búnker	2,0	1000,0	4,9	500,0	500,0
14400		10,0	5000,0	22,6	1020,0	3980,0
28800		20,0	10000,0	46,6	4755,0	5245,0
4800	Diesel	2,0	3400,0	5,9	604,8	2795,3
14400		10,0	15000,0	25,5	2613,8	12386,3
28800		20,0	32000,0	51,4	5268,5	26731,5
4800	Bagazo de caña	30,0	810,0	24,02	2460,0	-1650,0
14400		50,0	1350,0	43,9	4498,8	-3149,8
28800		100,0	2700,0	96,2	9860,5	-7160,5

debe generar ahorros en el proceso en conjunto a un aumento o manutención de la eficiencia de proceso de transformación energético.

## Conclusiones

El estudio encontró una oferta de biomasa limitada en comparación al potencial mercado energético de la región, siendo que apenas se podría abastecer en un 38 % la demanda, debido a que en la actualidad la cantidad de plantaciones es limitada, hay una gran cantidad de especies plantadas pero en baja proporción de área, limitando la potencialidad de venta de biomasa a dos especies (*T. grandis* y *G. arborea*), con una situación adicional que los requerimientos energéticos de las empresas son amplios; si bien la biomasa forestal tiene un costo bajo con relación a los combustibles fósiles y un potencial de sustitución generaría ahorros diarios en el orden del 57 al 63 % en los costos por combustible, el mercado no dispone de la oferta suficiente, además que la estandarización de materia, contenido de humedad no es constante y con ello se disminuye la eficiencia de las calderas y de la generación eléctrica.

## Recomendaciones

Las empresas forestales y organizaciones deben prestar atención a la dinámica de la demanda de la biomasa por parte de las empresas agroindustriales y generar su propio modelo de abastecimiento de un nuevo producto que requiere de uniformidad y propiciar esquema

de venta de la biomasa basados en su contenido calórico. Para ello se recomienda que se acerquen a las universidades para generar los estudios específicos y caracterización del biocombustible sólido que puede ofrecer el sector forestal.

## Agradecimientos

Agradecemos a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE) del Tecnológico de Costa Rica, al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT), al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) por todo el apoyo logístico, técnico y financiero brindado durante la ejecución del presente estudio que formó parte del proyecto “Impulso tecnológico para la producción, transformación y uso de la biomasa para energía y biomateriales a partir de los residuos lignocelulósicos” (Contrato FI084-13).

## Referencias

- Bilgili, M., Koçak, E., Bulut, U., Ku kaya, S. (2017). Can biomass energy be an efficient policy tool for sustainable development?, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 2017: 830-845.
- Biddinika, M., Lestari, R., Indrawan, B., Yoshikawa, K., Tokimatsu, K., Takahashi, F. (2016). Measuring the readability of Indonesian biomass websites: The ease of understanding biomass energy information on websites in the Indonesian language. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59: 1349-1357.

- Cardona, E., Rios, L., Peña, J., Peñuela, M., Rios, L. (2016). King Grass: A very promising material for the production of second generation ethanol in tropical countries. *Biomass and Bioenergy*, 95: 206-213.
- Chinnici, G., D'Amico, M., Rizzo, M., Pecorino, B. (2015). Analysis of biomass availability for energy use in Sicily. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52: 1025-1030.
- Cuni-Sanchez, A., Pfeifer, M., Marchant, R., Calders, K., Sørensen, C., Pompeu, P., Lewis, S., Burgess, N. (2017). New insights on above ground biomass and forest attributes in tropical montane forests. *Forest Ecology and Management*, 399: 235-246.
- Gonzalez-Salazar, M., Venturini, M., Poganietz, W., Finkenrath, M., Ruggero, P. (2016). Methodology for improving the reliability of biomass energy potential estimation, *Biomass and Bioenergy*, 88: 43-58.
- Herbert, G., Krishnan, A. (2016). Quantifying environmental performance of biomass energy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59: 292-308.
- Hofsetz, K., Silva, M. (2012). Brazilian sugarcane bagasse: Energy and non-energy consumption. *Biomass and Bioenergy*, 46: 564-573.
- ICE. (2015). Potencialidad nuevas energías de producción eléctrica. San José, Costa Rica: ICE.
- Karkania, K., Fanara, E., Zabaniotou, A. (2012). Review of sustainable biomass pellets production – A study for agricultural residues pellets' market in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 1426-1436.
- Kim, K., Park, K. (2016). Financial development and deployment of renewable energy technologies, *Energy Economics*, 59: 238-250.
- MEIC. (2014). Industrias de mediana y alta productividad en Costa Rica con capacidad de exportación. San José, Costa Rica, 156 p.
- MINAE. (2011). Perspectiva nacional hacia la Carbono Neutralidad 2012 y sus respectivos restos. San José, Costa Rica: MINAE.
- Paolotti, L., Martino, G., Marchini, A., Boggia, A. (2017). Economic and environmental assessment of agro-energy wood biomass supply chains. *Biomass and Bioenergy*, 97: 172-185.
- Quintero, G. (2010). Determinación del potencial de captura de Carbono en cinco especies forestales de dos años de edad: cedro, caoba, bolaina, teca y capirona en la localidad de Alianza San Martín 2009. Tesis, UNSM, Moyobamba. 125 p.
- Searle, E., Chen, H. (2017). Tree size thresholds produce biased estimates of forest biomass dynamics. *Forest Ecology and Management*, 400: 468-474.
- Simangunsong, B., Sitanggang, V., Manurung, E., Rahmadi, A., Moore, G., Aye, L., Tambunan, A. (2016). Potential forest biomass resource as feedstock for bioenergy and its economic value in Indonesia. *Forest Policy and Economics*, 81: 10-17.
- Simangunsong, B., Sitanggang, V., Manurung, E., Rahmadi, A., Moore, G., Aye, L., Tambunan, A. (2017). Potential forest biomass resource as feedstock for bioenergy and its economic value in Indonesia. *Forest Policy and Economics*, 81: 10-17.
- Suzuki, K., Tsuji, N., Shirai, Y., Hassan, M., Osaki, M. (2017). Evaluation of biomass energy potential towards achieving sustainability in biomass energy utilization in Sabah, Malaysia. *Biomass and Bioenergy*, 97: 149-154.

**Este artículo debe citarse como:**

**Ulloa, A; Camacho, D; Arias, D; Valvede, JC. (2018). Análisis del mercado de biomasa forestal con fines energéticos en la zona de Guanacaste, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 15 (Suppl. 01): 45-52. doi. 10.18845/rfmk.v15i1.3722**