

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

Informe final Documento 1

Código de Proyecto CONICIT: FI-084-13

Código de Proyecto de la Institución: 1401035

Nombre del proyecto o actividad: Impulso tecnológico para la producción, transformación y uso de la biomasa para energía y biomateriales a partir de los cultivos forestales lignocelulósicos en el contexto del mecanismo de desarrollo limpio

Departamento Académico responsable:

Escuela de Ingeniería Forestal

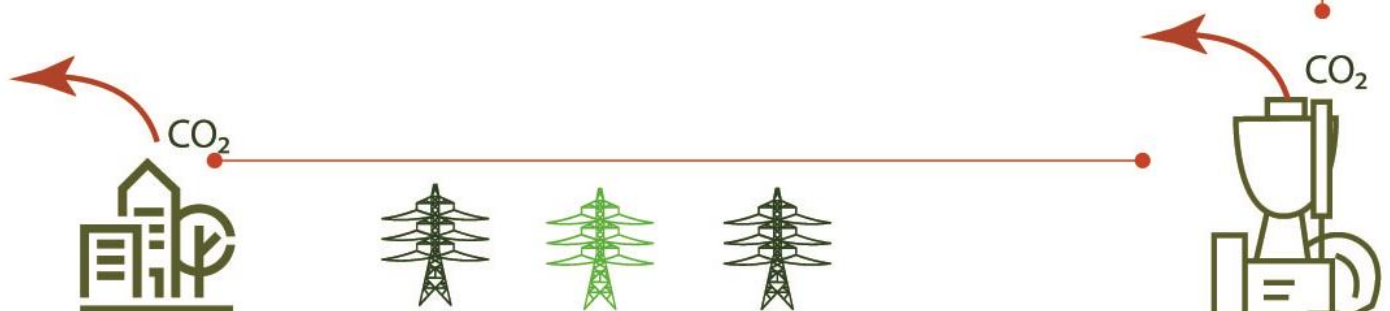
Centro de Investigación en Innovación Forestal.

Investigador responsable. Dagoberto Arias Aguilar, Ph. D (coordinador)

Investigadores asociados:

Dr. Edwin Esquivel, Dr. Elemer Briceño, M. Sc. Mario Guevara

Setiembre, 2017



CONTENIDO

I	Presentación.....	4
II	Objetivo 1. Efecto de las densidades de siembra y las especies lignocelulósicas en la producción de biomasa en sitios piloto.....	13
IIa	Principales productos: publicaciones y tesis.....	13
IIb	Síntesis de hallazgos técnico-científicos del proyecto según este objetivo.....	15
III	Objetivos 2 y 3 Efecto de las especies y densidades de siembra en la dinámica de nutrientes, carbono y agua tanto en la biomasa como en el suelo y evaluación de la sustentabilidad productiva de estas plantaciones desde el punto de vista social, económico y ambiental.....	19
IIIa	Principales productos: publicaciones y tesis.....	19
IIIb	Síntesis de hallazgos técnico-científicos del proyecto según este objetivo.....	22
IV	Objetivo 4. Factibilidad técnica y económica de la utilización de la biomasa forestal en la generación eléctrica	26
IVa	Principales productos: publicaciones y tesis.....	26
IVb	Síntesis de hallazgos técnico-científicos del proyecto según este objetivo.....	31
V	Objetivo 5. Prácticas de manejo de los cultivos en altas densidades, forma de cosecha, control efectivo de malezas, monitoreo de plagas y enfermedades.....	38
Va	Principales productos: publicaciones y tesis.....	38
Vb	Síntesis de hallazgos técnico-científicos del proyecto según este objetivo.....	41
VI	Objetivo 6. Difusión y transferencia de resultados a nivel nacional y regional.....	46
VII	Principales productos y resultados.....	59
VIII	Agradecimientos.....	61

El proceso de la dendroenergía





OPORTUNIDADES PARA LA TRANSFORMACIÓN

DE LA BIOMASA FORESTAL EN ENERGÍA Y
LAS POSIBILIDADES MEDIANTE PROCESOS DE GASIFICACIÓN

I. Presentación

En Costa Rica, el consumo eléctrico para uso residencial es equivalente al promedio mundial. Estimaciones recientes sobre su evolución muestran una tendencia al incremento, que pasará de 750 kWh/habitante por año a cerca de 900 kWh/habitante por año en el 2030. Esto implica preparar al país para la creciente necesidad de energía: por un lado incrementar los esfuerzos para educar a la población en una cultura de ahorro y eficiencia energética; y por otro, asegurar el suministro de energía en forma sostenible.

Una sociedad que le apuesta al desarrollo requiere energía en forma de electricidad y combustibles; por tanto es un reto inmediato lograr el suministro de electricidad y combustibles para uso doméstico e industrial que nos permita mayor competitividad con tarifas más favorables respecto a los países de la región.

La forma tradicional de lograr el abastecimiento energético en el país ha sido principalmente mediante la instalación de proyectos hidroeléctricos y geotérmicos, lo cual nos ha beneficiado enormemente. Nuestra matriz energética es casi 100% renovable en la producción de electricidad y ha permitido una cobertura eléctrica de las más avanzadas en la región, con índices cercanos al 100%. Sin embargo, los próximos proyectos de mayor escala que procuran la seguridad energética implican la concentración de los impactos ambientales y sociales (caso del proyecto hidroeléctrico El Diquís) y la oposición de la sociedad a este tipo de desarrollos.

Una alternativa es la instalación de sistemas de generación eléctrica en los mismos lugares donde se consume la energía, que van desde lo doméstico hasta lo industrial y pueden aprovechar las diversas fuentes disponibles en esos sitios; tal es el caso de paneles fotovoltaicos en viviendas o edificios.

Pero también existen otras fuentes que pueden ser aprovechadas, como la biomasa o la energía eólica. Este concepto de nueva aplicación es conocido como generación distribuida, que en la actualidad enfrenta restricciones técnicas, entre ellas los límites para que los afiliados tomen para su consumo la energía que ellos mismos aportan a la red y el costo de los equipos.

En el 2014 inició en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) el proyecto de investigación denominado **“Impulso tecnológico para la producción, transformación y uso de la biomasa para energía y biomateriales a partir de los cultivos forestales lignocelulósicos”**, financiado con fondos MICITT-CONICIT y por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE) del TEC. Se trabajó directamente con empresas y organizaciones para generar un nuevo concepto: las plantaciones dendroenergéticas y el uso de tecnologías de transformación de biomasa en energía mediante el uso de calderas y gasificadores.

¿Por qué escogimos trabajar también con la biomasa forestal?

Diversos estudios en el país han mostrado que la biomasa tiene un enorme potencial de generación de energía limpia. Para el período 2015-2016, la biomasa transformada en energía no representa ni el 1 % de la producción de energía nacional, pero representa el 6,5% de lo producido mediante el uso del viento. Desde el último censo nacional de la biomasa, llevado a cabo en el 2006, se evidenció el potencial que tiene para la generación de energía; desde entonces se destacan los avances en la implementación de biodigestores a mayor escala y el uso de astillas y pellets en calderas; pero son escasos los estudios sobre otras tecnologías para la transformación de la biomasa en energía.

El uso de pellets, aserrín que luego es comprimido, constituye una excelente opción para sustituir los derivados del petróleo (Figura 1). La realidad es que hay empresas que han demostrado la factibilidad de su uso: Del Oro, Pelón de la Bajura, Hotel

Punta Leona, Compañía Nacional de Chocolates, Hotel Marriott, Abopac, Plantas y Flores Ornamentales, Florida Bebidas, Bridgestone y Hotel Real Intercontinental, entre otras, utilizan biomasa como fuente de energía renovable. Estas reportan un ahorro de hasta 30 % en su factura eléctrica o mayores beneficios al sustituir bunker por biomasa con un retorno de la inversión alrededor de cinco años. Falta todavía adicionar el beneficio ambiental por concepto de reducción de emisiones y la generación de empleos indirectos.



Figura1. Combustible sólido tipo pellets que puede ser utilizado en calderas y gasificadores

Nueva modalidad de cultivo forestal

La biomasa forestal ha sido asociada al uso de residuos de cosechas y aserrín de los aserraderos. No obstante, hay modalidades para cultivar y producir exclusivamente biomasa leñosa. A simple vista, este tipo de cultivos es igual a plantaciones agrícolas tradicionales como son yuca, palmito y caña de azúcar, en cuanto a sembrar una mayor cantidad de plantas por unidad de área; pero las plantaciones dendroenergéticas poco se parecen a los cultivos agrícolas y tienen otro objetivo que los cultivos comerciales para madera.

Aunque las nuevas plantaciones con propósitos energéticos utilizan especies como la teca, la melina y los eucaliptos y otras especies autóctonas como el madero negro,

el guácimo y el sotacaballo, su finalidad es suministrar materia prima para bioenergía orientada al consumo doméstico o industrial.

Este nuevo modelo que propone el TEC ofrece un abastecimiento más seguro de la biomasa porque es planificado, representa una biomasa más homogénea respecto a la que se comercializa en la actualidad (leña, astillas) y se trata de árboles plantados que disminuyen la presión por el uso de la leña en los bosques. La modalidad es una alternativa de negocio dentro del sector forestal, que daría uso a terrenos marginales que están sin utilización y así ofrece una opción para recuperar los suelos, no compite con cultivos ni superficies agrícolas ni pone en riesgo bosques naturales y zonas protegidas.

En general, se emplean especies con capacidad de rebrote. Se aconseja dejar dentro del sistema árboles que serán cuidados para producir madera a los cinco o seis años (en el caso de la melina o más tiempo en el caso de otras especies). Para crecer mucho en poco tiempo, los árboles son exigentes. Se usan plantas genéticamente mejoradas y de alta calidad llamadas clones, el país reporta grandes avances en este campo. La silvicultura también es intensiva e incluye un adecuado control de malezas y fertilización en los primeros meses. El éxito está en saber cuáles sitios son apropiados, qué especie plantar y con cuánta densidad de siembra para obtener el máximo rendimiento sin incurrir en mayores gastos (Figura 2).

Cuando se habla de alta densidad, significa que las plantaciones mantienen entre 2 500 y 15 000 árboles o tallos por hectárea, con poco espaciamiento entre individuos y, dado que los árboles se plantan en superficies pequeñas y fácilmente accesibles, los costos de la cosecha dependen del uso de la mano de obra.

Hay empresas en el país que ofrecen el servicio de astillado en la plantación (máquinas que convierten las ramas en partículas más pequeñas). El tema del transporte es también importante ya que el negocio es el cultivo y para que sea rentable las plantaciones deben estar cerca de los lugares o industrias de procesamiento para no gastar más de la cuenta. El concepto que se busca desarrollar son los núcleos de producción forestal para bioenergía que incluye el aprovechamiento en el campo de los residuos forestales (podas y raleos) en combinación con las plantaciones para producción de biomasa.

¿Dónde ver plantaciones dendroenergéticas en el país?

El TEC ha sido pionero en el estudio y establecimiento de plantaciones dendroenergéticas. En el campus de Cartago, un visitante puede conocer las plantaciones, ver su transformación en astillas y cerrar el ciclo con la operación de un gasificador que las convierte en electricidad. En el canal "Dendroenergía TEC" de Youtube se puede ver el bloque de plantaciones establecido en los terrenos del TEC en Cartago y que son un logro muy importante del proyecto, ver en el siguiente link: <https://youtu.be/TudHhY-NoRc>



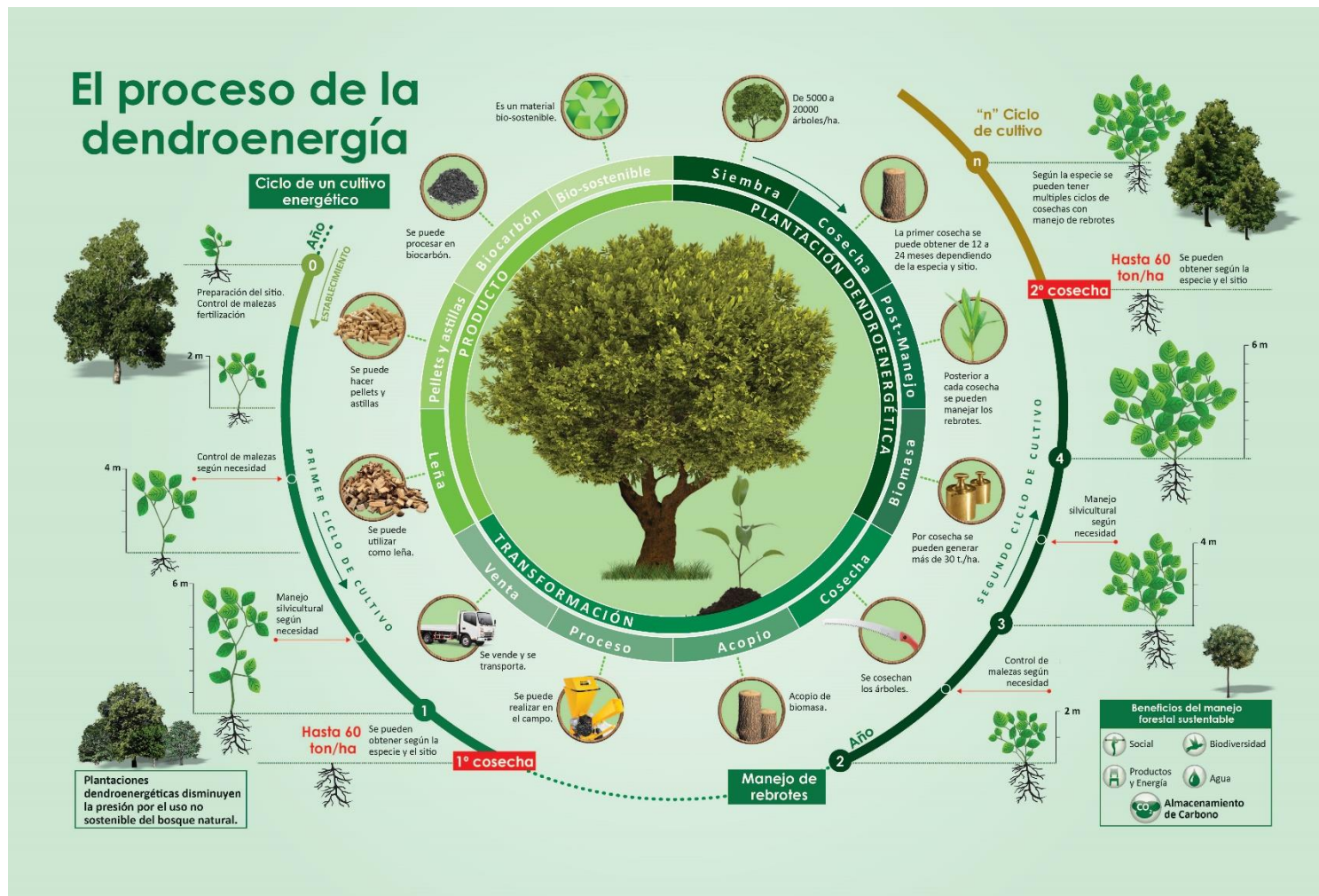


Figura 2. Esquema del ciclo de producción de una plantación dendroenergética según el modelo del TEC (esta infografía se ha impreso en formato amplio estilo poster y se ha distribuido entre los interesados). Ver enlace: <https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLdGRuTVhwYWNvbms>

El TEC ha sumado otras empresas y organizaciones a esta iniciativa y existen plantaciones en varios sitios del país: Ingenio Taboga en Guanacaste, Puro Verde en Upala, Maderas Cultivadas en San Carlos (Figura 3), el CATIE en Turrialba, Coopetarrazú, COOPEAGRI en Pérez Zeledón y la Universidad Nacional en sitios en la Zona Sur, entre otras.

El futuro de las plantaciones dendroenergéticas se presenta como una oportunidad en el país si se considera que la demanda por energía a un costo razonable y el potencial de desarrollo del sector forestal, generan un escenario favorable y aseguran una rentabilidad en proyectos de autoabastecimiento de energía y en la venta de excedentes; esto, siempre y cuando se mejoren las condiciones del esquema de tarifas para la venta de la energía a partir de biomasa forestal distinta del uso del bagazo. Recientemente se anunció que la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS) debe invertir 3 mil millones de colones para reparar sus calderas, la mayoría de las cuales utilizan búnker; este es un ejemplo de la oportunidad para hacer un cambio y que las nuevas calderas sean de biomasa.



Figura 3. Vista de una plantación dendroenergética en San Carlos. Empresa Maderas Cultivadas S.A.

Gasificación de biomasa: tecnología en estudio

El segundo logro más significativo del proyecto fue la apuesta a la adquisición de tecnología que no se había utilizado en el país. Gracias al proyecto existente y con el apoyo financiero del MICITT-CONICIT y una contrapartida importante de la VIE-TEC (7 millones de colones), se adquirió un gasificador que a su vez permitió generar un nuevo proyecto de investigación financiado totalmente por la VIE-TEC, con un aporte de ₡8.409.170,00 sin incluir el salario de los investigadores (los detalles del nuevo proyecto se pueden ver en el siguiente link:

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLUFdUa2ICenpnNmM>

Este gasificador fue equipado con sensores que lo hacen único para fines de investigación y desarrollo y permitirá el estudio sobre los procesos de gasificación de las biomásas lignocelulósicas de mayor potencial para el país. La información generada en este nuevo proyecto (con vigencia 2017-2018) será un logro más del proyecto financiado por el MICITT-CONICIT.

La gasificación no es un proceso de incineración ni de combustión. Es un proceso de conversión termoquímico que genera varios productos de valor agregado provenientes de la materia prima gasificada. La gasificación puede usarse tanto para la calefacción como para la generación de energía. Es altamente escalable, lo que significa que pueden emplearse sistemas tan pequeños como los caseros y tan grandes como los de plantas de alto rendimiento, con centenares de megavatios de potencia, como el caso de la planta Ironbridge en el Reino Unido, con 740 MW.

La técnica genera una degradación térmica en presencia de un agente oxidante externo, para convertir la biomasa en una mezcla de gases combustibles que contiene varios hidrocarburos. El gas inflamable se llama gas de síntesis y después de pasar por una serie de filtros puede utilizarse en motores para la generación de energía. En Costa Rica la utilización de esta tecnología es incipiente; no obstante, es necesario generar conocimientos locales sobre las oportunidades y posibilidades.

En el TEC se ha acondicionado un espacio para la unidad de gasificación de 20 kW (Figura 4) para el estudio completo de la gasificación de la madera; utiliza como combustible astillas de árboles de plantaciones dendroenergéticas y mediante un motor normal se produce electricidad que, a su vez, es utilizada para el funcionamiento de maquinaria de alto consumo eléctrico. En el siguiente link se puede observar la unidad de gasificación en funcionamiento:

<https://www.facebook.com/298455377006201/videos/745255568992844/>

En un modelo sencillo, se busca demostrar que una empresa o institución puede utilizar el gasificador para autoabastecerse de electricidad y reducir su factura eléctrica; a mayor escala se podría generar toda la electricidad que requiera una empresa u organización, con el beneficio adicional de que el cultivo forestal nos acerca a la meta de convertirnos en una universidad carbono neutro. Hay conversaciones adelantadas con el ICE para la factibilidad de un proyecto de abastecimiento de electricidad de 2MW.



Figura 4. Unidad de gasificación adquirida con fondos del proyecto, contrapartida del MICITT-CONICIT y de aporte de fondos de la VIE-TEC

II. Objetivo 1. Efecto de las densidades de siembra y las especies lignocelulósicas en la producción de biomasa en sitios piloto

II.a. Principales productos: publicaciones y tesis

El proyecto estableció una red extensa de ensayos y sitios piloto en diferentes regiones del país. Se contó con la colaboración de diferentes empresas e instituciones, entre las que destacan: Ingenio Taboga en Guanacaste, Puro Verde en Upala, Maderas Cultivadas en San Carlos, el CATIE en Turrialba, Coopetarrazú, COOPEAGRI en Pérez Zeledón y la Universidad Nacional en sitios en la Zona Sur, productores privados en Siquirres. Se emplearon diferentes especies (3 especies de eucaliptos, madero negro, teca, melina, almendro, bambú guadua y especies herbáceas lignocelulosicas).

Los estudios sobre el efecto de densidades y especies se resumen en dos publicaciones en revistas indexadas en SCOPUS. En los siguientes enlaces se da acceso en extenso al detalle de las publicaciones:

Industrial Crops and Products 82 (2016) 63–73

Contents lists available at ScienceDirect

Industrial Crops and Products

Journal homepage: www.elsevier.com/locate/indcrop

Biomass yield and energy potential of short-rotation energy plantations of *Gmelina arborea* one year old in Costa Rica

Carolina Tenorio, Roger Moya*, Dagoberto Arias-Aguilar, Elemer Briceño-Elizondo

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, P.O. Box: 159-7050, Cartago, Costa Rica

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:
Received 17 September 2015
Received in revised form 24 November 2015
Accepted 6 December 2015
Available online 22 December 2015

Keywords:
Tropical species
Bioenergy
Firewood
Energy potential

Short-rotation woody plantations have been recently established in Costa Rica and *Gmelina arborea* has gained popularity. The present work assesses tree diameter and height, biomass distribution, specific gravity, green density, moisture content, calorific value, ash content, volatile materials, carbon, nitrogen, extractives and production of energy in one-year-old short-rotation energy plantations of *G. arborea* in three different sites in Costa Rica, planted under three spacings (0.5 × 0.5 m, 1.0 × 1.0 m and 2.0 × 2.0 m). The results showed that the properties evaluated presented little variation due to spacing. The variations by site and spacing in the properties of the biomass and its characteristics could be easily observed by multivariate analysis. According to this analysis, one site excelled with the best energy characteristics, while spacings of 0.5 × 0.5 m and 1.0 × 1.0 m show higher energy and biomass production in the three sites. Regarding the study of the characteristics and distribution of biomass in different parts of the tree, differences were found in initial moisture content, calorific value and volatile materials between the trunk, branches or bark. The highest percentage of biomass is concentrated in the trunk and branches. Finally, it was concluded that the species *G. arborea* produces similar amounts of biomass compared to other short-rotation energy crops.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLSThGVUpwbkh5TnM>

Waste Biomass Valor
DOI 10.1007/s12649-017-9896-y

ORIGINAL PAPER

Evaluation of Changes in Tree Morphology Parameters, Biomass Yield, Chemical and Energy Properties at Three Spacings of Short Rotation Energy Plantations of *Gmelina arborea* in Costa Rica, from 1 to 2 Years of Age

Carolina Tenorio¹ · Roger Moya¹ · Dagoberto Arias-Aguilar¹

Received: 6 December 2016 / Accepted: 5 March 2017
© Springer Science+Business Media Dordrecht 2017

Abstract
Propose Tree diameter and height, yield and chemical and energy properties increment throughout two different ages (1- and 2-year-old) were evaluated in *Gmelina arborea* trees growing in short rotation woody crops at three sites and three spacings (0.5 × 1.0, 1.0 × 1.0 and 2.0 × 1.0 m).
Results The results showed great variation in parameters evaluated in relation to site, whereas for spacing the

SRWC conditions, and in the Site 3 the changes produced improved the quality of biomass for energy purposes.


Keywords Fast growth · Tropical species · Crown · Bark · Spacing · Stand density

Introduction

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLVGIKc1JzVzJabHM>

Adicionalmente dos artículos fueron publicados en la Revista Forestal Mesoamericana Kuru. Dicha revista se encuentra indexada en el Sistema Regional de Información para las Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (Latindex), en la Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico (REDIB), así como en

el índice bibliográfico por parte de Dialnet, en la Matriz de Información para el Análisis de Revistas (MIAR) y recientemente en Actualidad Iberoamericana. A continuación se presentan los enlaces respectivos:



REVISTA FORESTAL MESOAMERICANA KURU

Revista Forestal Mesoamericana Kuru (Costa Rica) Volumen 12, No. 29, Julio, 2015 ISSN: 2215-2604

Recibido: 10/04/2015 Aceptado: 21/04/2015

Biomass assessment, volume equations and crown architecture of *Eucalyptus pellita* F. Muell in a commercial plantation in Mexico

Maria Rodriguez-Solis¹
Elemer Briceño-Elizondo²
Jose Pablo Gamboa-Zuriga³
Dagoberto Arias-Aguilar⁴

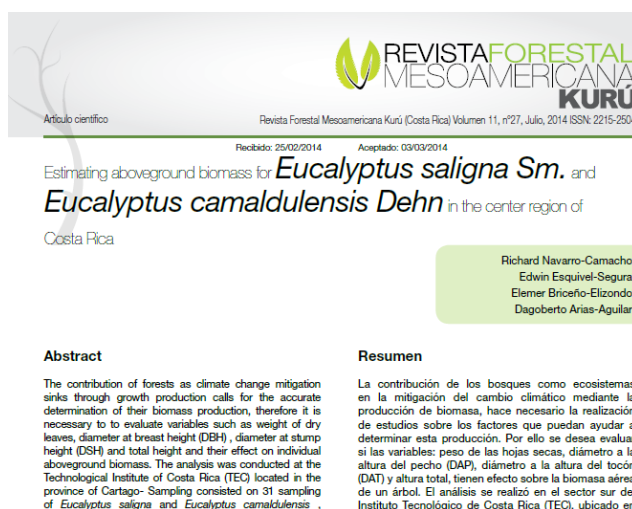
Abstract

A fixed number of 6 trees from a provenance study were selected at random in a commercial plantation of *Eucalyptus pellita*, from different diameter classes. Each tree was separated by components: stem, leaves, branches, which were then weighed to obtain green weight. Linear regressions were carried out to obtain straight forward biomass models for the aerial component, using DBH as the independent variable.

Resumen

En un ensayo de procedencia se seleccionaron seis árboles de *Eucalyptus pellita* F. Muell, de diferentes clases de diámetro; para obtener el peso verde en campo cada árbol fue separado en sus componentes: tallo, hojas, ramas. Se llevaron a cabo regresiones lineales para obtener modelos de biomasa para el componente aéreo, utilizando el diámetro a la altura del pecho (DAP) como la variable independiente. Posteriormente se realizaron

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLS2ZoazFodFgxZIE>



REVISTA FORESTAL MESOAMERICANA KURU

Revista Forestal Mesoamericana Kuru (Costa Rica) Volumen 11, n°27, Julio, 2014 ISSN: 2215-2604

Recibido: 25/02/2014 Aceptado: 03/03/2014

Estimating aboveground biomass for *Eucalyptus saligna* Sm. and *Eucalyptus camaldulensis* Dehn in the center region of Costa Rica

Richard Navarro-Camacho¹
Edwin Esquivel-Segura²
Elemer Briceño-Elizondo³
Dagoberto Arias-Aguilar⁴

Abstract

The contribution of forests as climate change mitigation sinks through growth production calls for the accurate determination of their biomass production, therefore it is necessary to evaluate variables such as weight of dry leaves, diameter at breast height (DBH), diameter at stump height (DSH) and total height and their effect on individual aboveground biomass. The analysis was conducted at the Technological Institute of Costa Rica (TEC) located in the province of Cartago. Sampling consisted on 31 sampling of *Eucalyptus saligna* and *Eucalyptus camaldulensis*.

Resumen

La contribución de los bosques como ecosistemas en la mitigación del cambio climático mediante la producción de biomasa, hace necesario la realización de estudios sobre los factores que puedan ayudar a determinar esta producción. Por ello se desea evaluar si las variables: peso de las hojas secas, diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro a la altura del tocón (DAT) y altura total, tienen efecto sobre la biomasa aérea de un árbol. El análisis se realizó en el sector sur del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), ubicado en

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLYU9wMVg2dmVPckU>

Estos son los artículos más importantes que ya están publicados; sin embargo hay una edición especial de la Revista Forestal Mesoamericana Kuru, dedicada a la dendroenergía, que saldrá publicada en el primer semestre del 2018 con 7 nuevos artículos a partir de las tesis realizadas en el proyecto.

II.b Síntesis de hallazgos técnico-científicos del proyecto según este objetivo

Objetivo específico	Hallazgos, conclusiones y recomendaciones para productores	Interrogantes para futuras investigaciones
<p>1. Evaluar el efecto de densidades y especies lignocelulósicas para la producción de biomasa en sitios piloto de 2 a 5 has</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Conclusión: Utilizando espaciamientos de 0,5 x 0,5, 1 x 1 y 2 x 2, el análisis estadístico muestra que hay una clara interacción entre sitio y espaciamiento para la mayoría de los parámetros morfológicos y propiedades físicas, exceptuando la densidad de la madera y el contenido de humedad de la corteza. Recomendación: utilizar densidades de plantación cercanas a 10.000 árboles/ha. - Conclusión: Para las propiedades energéticas, el efecto del sitio no fue significativo para la especie <i>Gmelina arborea</i> en el poder calórico del fuste. Por otra parte, no se encontró efecto significativo del espaciamiento en el porcentaje de materiales volátiles de los componentes del tallo y ramas. Tampoco hay evidencia estadística de una interacción sitio-espaciamiento en el poder calórico y compuestos volátiles en los tallos y corteza. - Conclusión: Para las propiedades químicas, especialmente la relación carbono/nitrógeno, el análisis estadístico indicó que no hay efecto del espaciamiento en los contenidos de C y N y que tampoco hay interacción sitio-densidad para C. En el caso de los contenidos de nitrógeno en la biomasa, se encontraron diferencias entre sitios y densidades. Recomendación: Se sugieren más estudios sobre el efecto del nitrógeno en la acumulación de biomasa con respecto a la edad. 	<ul style="list-style-type: none"> - No sabemos el efecto que causa el sitio y las densidades de siembra en los parámetros de la transformación de la biomasa sometida a procesos de gasificación. Esto significa que son necesarios nuevos estudios con control experimental sobre el efecto del sitio y la densidad en la calidad del proceso de gasificación. - Se evidencia un comportamiento estable de las propiedades calóricas independiente del sitio, o al menos se evidencia que las posibles diferencias entre sitios y espaciamiento son mínimas. - Los contenidos de carbono en la biomasa se mantienen muy estables entre sitios y densidades. El nitrógeno como era esperado depende del sitio y la densidad.

- **Conclusiones:** Con respecto a la distribución de la biomasa en sus diferentes componentes, hay un orden que sigue la siguiente secuencia de almacenamiento: fustes/ramas/hojas/corteza. En los sitios estudiados, los espaciamientos de 0,5 x 0,5 m presentan la mayor acumulación de la biomasa en el fuste y la corteza. Hay un efecto del sitio y del espaciamiento en la distribución y producción de la biomasa. Es importante remarcar que la utilización de las ramas en los procesos de combustión presentan una desventaja comparada con la biomasa proveniente de los fustes. La biomasa de las ramas tiene menor poder calórico, mayor contenido de humedad y mayor concentración de cenizas, por lo tanto su potencial para energía es menor aunque comparable con otras especies bioenergéticas utilizadas a nivel tropical. **Recomendaciones:** Es importante considerar que hay condiciones de sitio que favorecen la acumulación de la biomasa especialmente en el fuste, lo cual puede permitir mayores detalles en la selección de sitios para plantaciones dendroenergéticas según las especies. De este estudio se recomienda no utilizar en los procesos de extracción, el componente de las hojas, ya que es el compartimento que contiene la mayor cantidad de nutrimentos y son la base del ciclaje de los nutrimentos en el sistema de cultivo.

- **Conclusiones:** Los resultados obtenidos sobre los nutrimentos en tejidos son muy importantes para los cálculos de la extracción de nutrimentos especialmente en la corteza. Un árbol de melina de un año de edad en las condiciones de este estudio puede absorber 0,13 kg de nutrimentos. A la edad de un año el 99,4% de los nutrimentos totales absorbidos corresponden a macronutrimentos y 0,6% corresponde a micronutrimentos. El

- Se requieren mayores estudios sobre el efecto de la corteza en los procesos de transformación de la biomasa y en la reserva de nutrientes en el suelo, así como el análisis financiero del descortezado en campo. Así mismo hace falta medir el efecto de la utilización de las ramas, ya que normalmente con las técnicas de extracción actuales se extraen solamente los fustes.

- Se requieren estudios más específicos por especie para elaborar las curvas de absorción de nutrimentos para diferentes tipos de suelo y recomendar los programas de fertilización para el cultivo dendroenergético.

orden de absorción de los nutrimentos varia con la edad de la plantación y el único nutrimento que mantiene una posición de absorción total invariable es el Fe. En general, el 41,4% de los macronutrimentos absorbidos corresponden al Ca, el 26,3% al N, el 24,2% al K, el 4,8% al Mg, el dos por ciento al P y el 1,3% al S. En general, el 77,6% de los micronutrimentos absorbidos corresponden al Fe, el 13,8% al Mn, el 4,6% al B, el dos por ciento al Zn, el dos por ciento al Cu. La absorción de K en las hojas y en las ramas primarias son las menores de todos los componentes de la biomasa aérea. **Recomendaciones:** Utilizar especies poco demandantes de nutrientes en sitios de baja fertilidad

- **Conclusión:** El uso de especies como *Gmelina arborea* en plantaciones dendroenergéticas, promete una producción de biomasa muy considerable en el orden de 4.2 a 22.6 ton/ha y de 53.2 a 499.4 GJ/ton/ha, respectivamente. Estos resultados son comparables con los reportes de Naugraiya and Shaw (2014) para plantaciones de alta densidad con algunas especies del género *Eucalisptus*, *Alnus*, *Salix* y *Pinus* en condiciones europeas. **Recomendación:** utilizar *Gmelina arborea* para producción de biomasa con fines bioenergéticos

- **Conclusión:** Quedó demostrado en el estudio que la cantidad de biomasa y las características morfológicas de los árboles, creciendo en la modalidad de cultivos dendroenergéticos, presentan variación de un año al otro. En el caso de *Gmelina arborea*, esta especie presenta características altamente deseables para fines energéticos y alta

- Son necesarios más estudios de productividad de especies y especialmente monitorear los cambios de la productividad a través del tiempo. A pesar que el proyecto finalizó, el monitoreo por parte de las empresas continua y permitirá completar estos estudios.

- Se hace necesario probar nuevas especies tanto nativas como exóticas, caso de la *Leucaena megalocarpa*

producción de biomasa. La especie más recomendada para las zonas bajas es *Gmelina arborea*

- Se estudiaron los patrones de acumulación de la biomasa en plantaciones de alta densidad de *Eucalyptus saligna* and *Eucalyptus camaldulensis*. A partir de estos estudios se generaron modelos alométricos para estudiar y predecir la biomasa, dichos modelos pueden ser empleados en condiciones de plantaciones de alta densidad. Para los productores existen modelos alométricos para calcular la biomasa, lo cual permite mejorar los estudios de factibilidad del uso de la biomasa forestal.

- Faltan más estudios sobre modelos de estimación de biomasa en astillas o las relaciones a conversión hasta pellets.

III. Objetivos 2 y 3 Efecto de las especies y densidades de siembra en la dinámica de nutrientes, carbono y agua tanto en la biomasa como en el suelo y evaluación de la sustentabilidad productiva de estas plantaciones desde el punto de vista social, económico y ambiental

III.a Principales productos: publicaciones y tesis

La siguiente tesis de maestría aborda en extenso el tema del efecto de las especies, las densidades en los nutrientes en la sostenibilidad ecológica de las plantaciones, la cual se presenta a continuación:



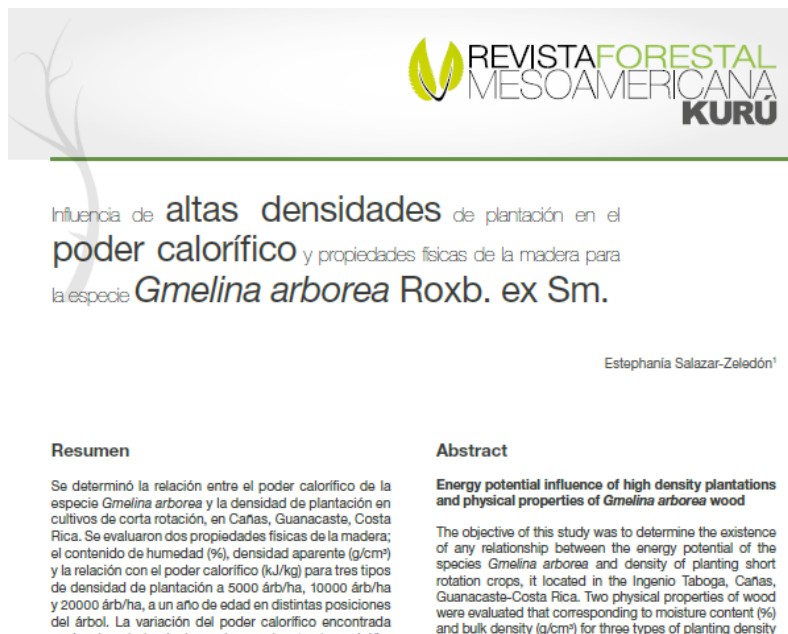
<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLZFILZGpQd1RpVFk>

A partir de esta tesis se preparó un artículo que actualmente está en proceso de edición, resume los principales resultados sobre el efecto de las especies, densidades en la dinámica de nutrientes y carbono. Se trata del artículo "*Growth, carbon and nutrients dynamics in Eucalyptus saligna Sm. and Eucalyptus teriticornis Sm short rotation plantations in the highlands of Costa Rica*" sometido a la revista indexada Journal of Tropical Forest Science, a continuación se adjunta el detalle de la publicación en proceso:

El artículo en <https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLb2FlcHFiSDZ3S2s>

La carta del editor en: <https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLMIZwRU1td21PQVU>

Un artículo científico sobre el efecto de las densidades en el poder calorífico fue publicado en la Revista Forestal Mesoamericana Kuru y a continuación se proporciona el enlace:



<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLcTg2OXBwRGNMSHM>

Sobre los aspectos hídricos se realizó otro trabajo de tesis denominado "*Caracterización fisiológica e hidráulica de Eucaliptus tereticornis, Eucaliptus camedulensis y Gliricidia sepium en plantaciones de alta densidad para la producción de biomasa en Costa Rica*", en el siguiente enlace se direcciona el trabajo:



PROYECTO:

Impulso tecnológico para la producción, transformación y uso de la biomasa para energía y biomateriales a partir de los residuos lignocelulosicos



TEC | Tecnológico de Costa Rica



Contrato F1084-13 Financiamiento otorgado por MICITT, CONICIT y VIE (TEC)

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLOGq5RnF0eEtNUms>

III.b Síntesis de hallazgos técnico-científicos del proyecto según este objetivo

Objetivo específico	Hallazgos, conclusiones y recomendaciones para productores	Interrogantes para futuras investigaciones
<p>2 y 3. Efecto de las especies y densidades de siembra en la dinámica de nutrientes, carbono y agua tanto en la biomasa como en el suelo y evaluación de la sustentabilidad productiva de estas plantaciones desde el punto de vista social, económico y ambiental</p>	<p>- Conclusiones: En plantaciones de alta densidad de <i>Eucalyptus saligna</i> y <i>Eucalyptus teriticornis</i>, el carbono en el suelo mostró diferencias estadísticamente significativas a las distintas profundidades, no así entre las densidades de siembra. Se obtuvieron valores de hasta 66,00 Mg C ha⁻¹ en el tratamiento de 10000 árboles ha⁻¹, en los primeros 20 cm de suelo. En la profundidad de 20 a 40 cm los resultados obtenidos muestran un máximo de 40,34 Mg C ha⁻¹. Queda demostrado que estas plantaciones tienen una dinámica de nutrientes y de almacenamiento de carbono muy significativa. Recomendación: Incluir la acumulación de carbono en el suelo en los estudios sobre plantaciones de alta densidad</p> <p>- Conclusiones: La materia orgánica es un importante indicador de la condición de calidad del suelo. En ambas especies de eucaliptos, el comportamiento de la materia orgánica fue muy similar para las tres densidades de plantación (5000, 10000 y 20000 árboles/ha), siendo <i>E. saligna</i> la especie que presenta los valores más elevados (pasando de 4,8 al momento de la siembra hasta 7,5%). En la profundidad de 20 a 40 cm, el porcentaje de materia orgánica presentó interacciones especie-densidad. Para el tratamiento de 5 000 árboles/ha, el <i>E. teriticornis</i> presentó un porcentaje de materia orgánica similar al registrado en el momento de siembra, no así en el caso de <i>E. saligna</i>, que en este mismo tratamiento sí registró aumento en el porcentaje de materia orgánica.</p>	<p>- No sabemos el efecto de la tasa de degradación de la fracción orgánica en el suelo, ni tampoco las tasas de descomposición de la materia orgánica para el sistema especie-sitio.</p> <p>- Hacen falta más estudios sobre la dinámica y movilidad de los nutrimentos en el suelo.</p>

Recomendaciones: La materia orgánica como indicador de la sustentabilidad productiva permite de una manera fácil y rápida, analizar la dinámica del aporte orgánico al suelo,

- **Conclusiones:** El análisis nutricional del suelo muestra diferencias estadísticamente significativas entre las profundidades evaluadas; siendo que las concentraciones mayores de los nutrientes se localizan en los primeros 20 centímetros de suelo. El efecto de la densidad de siembra sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo fue estudiado, se muestran cambios en los contenidos de nutrientes según la densidad de siembra, siendo para los eucaliptos, más sensible la cantidad de Ca y Zn. El análisis estadístico no mostró diferencias estadísticamente significativas entre las especies con respecto a la extracción de nutrientes del suelo.

Recomendaciones: Analizar la disponibilidad de nutrientes en los primeros 40 cm de suelo y comparar con las tasas de absorción de la biomasa.

- **Conclusiones:** En el caso de la distribución de los nutrientes en la biomasa, la sección del fuste es la que presenta las concentraciones más bajas en todos los elementos, similares resultados obtuvo Brañas et al. (2000) y Pérez (2006). Alvarado y Raigosa (2012), indican que en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus* el reciclaje de nutrientes se caracteriza por una demanda elevada de nutrientes para la formación de la copa, sin que haya retorno por caída de hojas, en este caso las necesidades nutricionales de los árboles dependen de la disponibilidad de nutrientes en el

- Los resultados sobre extracción de nutrientes en la biomasa y su incorporación por la materia orgánica, son estudios a largo plazo. Se requieren más estudios a través de los ciclos de cosecha de las plantaciones. Proyectos de tan corta duración que no han llegado a una tercera o cuarta rotación no hacen posible un estudio más integral del impacto ambiental y social. Se deben hacer estudios más específicos.

- Hay marcadas diferencias entre la acumulación de nutrientes por tejidos en la biomasa, lo cual sugiere más estudios sobre el ciclo del cultivo.

suelo y de la adición de fertilizantes. Las especies de eucaliptos a diferencia de la melina, tienen menos acumulación de nutrientes en el fuste y la corteza.
Recomendaciones: Seleccionar las especies según la fertilidad del sitio y las necesidades nutricionales de las especies.

- **Conclusiones:** Las especies de eucalipto extraen diferentes cantidades de nutrientes y los acumulan de diferentes formas en los tejidos. En edades juveniles de plantaciones de eucalipto, presentan una relación de hasta 7,5% de corteza con respecto al fuste (floema funcional) misma que acumula la mayor cantidad de N, P, K, Ca y Mg que las ramas. En el caso del presente estudio se evaluó el fuste como: madera+corteza, donde se observa un comportamiento similar de absorción en ambas especies de eucaliptos; sin embargo, *E. saligna* produjo mayor cantidad de biomasa que *E. teriticornis*, lo anterior podría indicar que esta última presenta una demanda mayor de nutrimentos por unidad de biomasa producida.
Recomendación: En sitios menos fértiles seleccionar *E. saligna*

- **Recomendación:** Desde el punto de vista de producción de biomasa y nutricional, se encontró que una densidad de siembra cercana a 10000 árboles ha⁻¹ puede ser muy adecuada; sin embargo se debe considerar que sistemas de menor densidad pueden ser económicamente más rentables, para los intereses financieros de una empresa.

- Faltan más estudios de acumulación de nutrientes especialmente en la corteza y su efecto cuando es sacada del sistema.

- Falta aún definir densidades óptimas para cada especie-sitio, esto implica ensayar densidades intermedias a las de este estudio que se concentró en 5000, 10000 y 20000 árboles/ha.

- **Conclusiones:** La sostenibilidad ambiental fue analizada mediante el uso del coeficiente de utilización biológica (CUB), el cual tuvo variaciones desde 26 hasta 87, presentando variaciones entre especies y según la cantidad de biomasa producida y/o su capacidad de absorción. Para este estudio, el CUB de ambas especies de eucalitos se comportó de forma muy similar en las densidades evaluadas a excepción de *E. tereticornis* en el tratamiento de 5 000 árboles ha⁻¹, relacionado a la baja producción de biomasa de este tratamiento. **Recomendaciones:** En este sentido los eucaliptos muestran coeficientes de CUB más favorables que la melina y la teca por la extracción de nutrientes en la corteza.
- Se estudió el efecto de las densidades y las especies en la fisiología e hidráulica de *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus camedulensis* y *Gliricidia sepium* en plantaciones de alta densidad, para ello se desarrolló de un modelo no destructivo de predicción del Índice de Área Foliar, luego se realizó la caracterización de la copa fotosintéticamente productiva del árbol. Con esta información se evaluó la perspectiva fisiológica de los árboles en 3D lo cual permitió tener un panorama de las áreas con mayor y menor actividad fisiológica a considerar en el manejo silvicultural de la especie. También se evaluó la resistencia de las plantas al estrés hídrico como indicador de su capacidad de soporte de las mismas a condiciones climáticas adversas
- Falta incorporar más variables de estudio sobre la sostenibilidad ambiental que relacione el uso eficiente de nutrientes y agua.
- Sobre los aspectos de la fisiología de las especies faltan más estudios incorporando las técnicas más recientes sobre estudios de vulnerabilidad al embolismo.

IV. Objetivo 4. Factibilidad técnica y económica de la utilización de la biomasa forestal en la generación eléctrica

IV.a Principales productos: publicaciones y tesis

En el 2016 se finalizaron las primeras tres tesis que cubren las actividades diversos estudios sobre oferta y demanda de biomasa, la factibilidad financiera del uso de la biomasa y otros estudios sobre la utilización de la biomasa forestal. Una de las tesis es de un estudiante de maestría del CATIE y que fue apoyada por el proyecto, lleva como título: *Plan de Mercadeo para el reposicionamiento de biomasa forestal como fuente de generación de energía, por la empresa Biomass Costa Rica International S.A.*



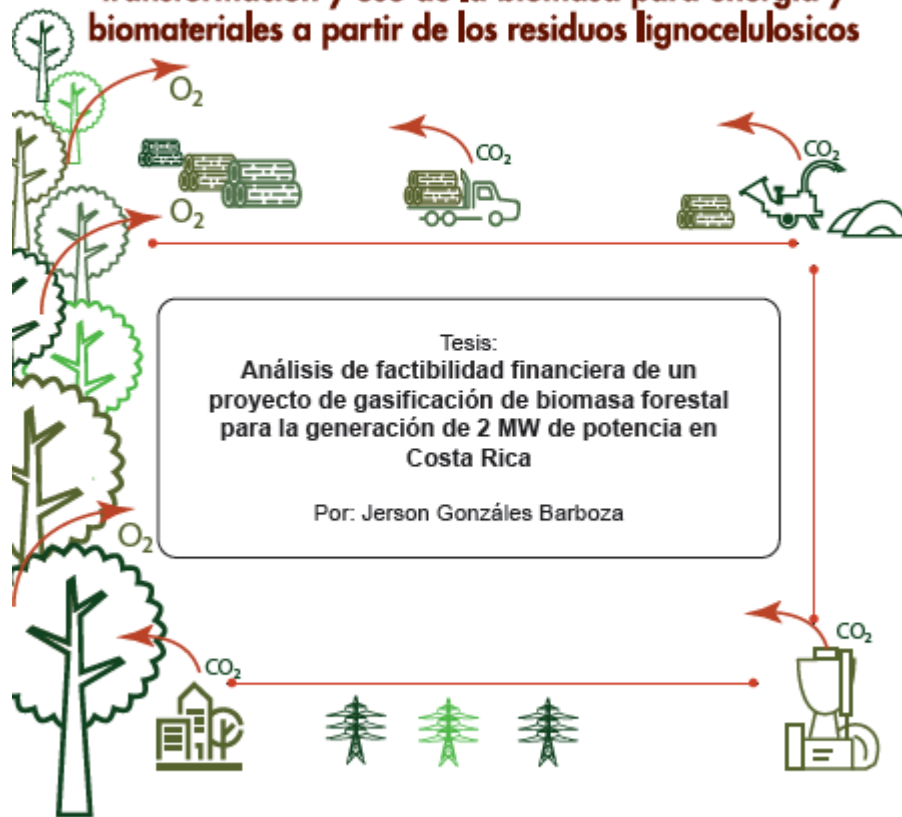
<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLeUtFcVdkcHhqeTQ>

La otra tesis es de un estudiante de licenciatura del TEC y lleva como título: *“Análisis de factibilidad financiera de un proyecto de gasificación de biomasa forestal para la generación de 2 MW de potencia en Costa Rica”*.



PROYECTO:

Impulso tecnológico para la producción, transformación y uso de la biomasa para energía y biomateriales a partir de los residuos lignocelulosicos



TEC | Tecnológico de Costa Rica



Contrato FI084-13 Financiamiento otorgado por MICITT, CONICIT y VIE (TEC)

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLc0tRTIVIZ1IGWHM>

Esta tesis a su vez fue editada para producir un artículo científico que lleva como título "Evaluación financiera de generación eléctrica de 2 MW a partir de biomasa forestal en Costa Rica" y que forma parte de la edición especial de la Revista Forestal Mesoamericana Kuru, dedicada a la dendroenergía. En los siguientes enlaces se muestra la carta del editor y el artículo en extenso:

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLb2xmWUZLVnd6WEk>

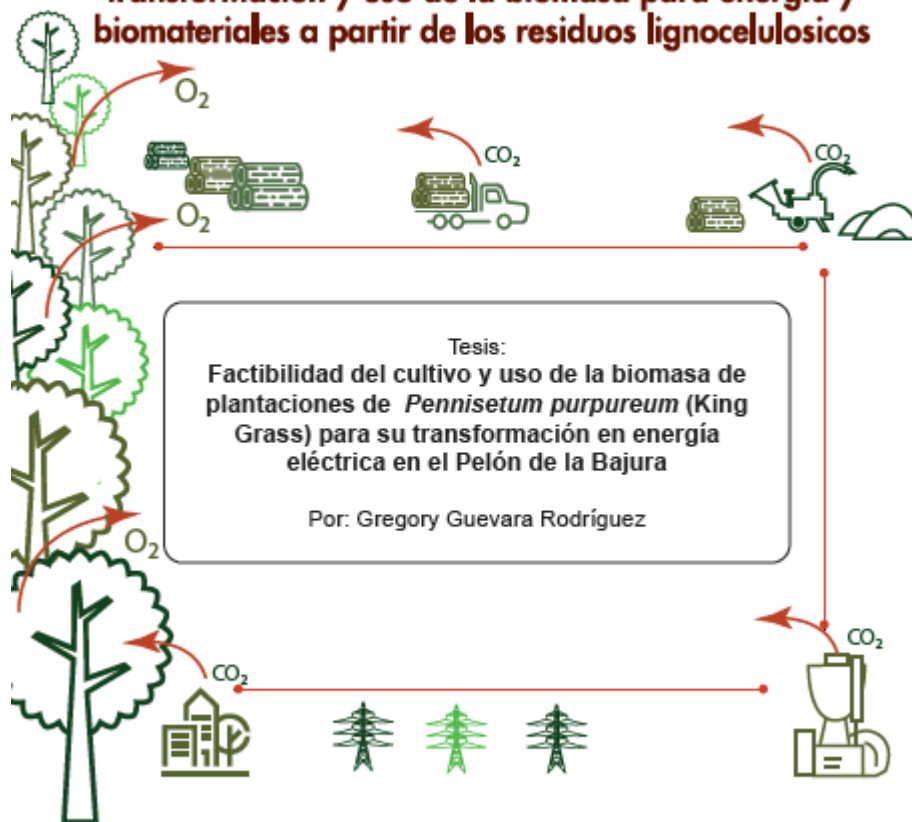
<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLdFI1N1JGcGYtYTQ>

La tercera tesis trata de un estudio de factibilidad del cultivo y uso de la biomasa de plantaciones de *Pennisetum purpureum* (King Grass) para su transformación en energía eléctrica en el Pelón de la Bajura.



PROYECTO:

Impulso tecnológico para la producción, transformación y uso de la biomasa para energía y biomateriales a partir de los residuos lignocelulosicos



TEC | Tecnológico de Costa Rica



Contrato FI084-13 Financiamiento otorgado por MICITT, CONICIT y VIE (TEC)

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLdHpILTIOZ0J0RkE>

De manera similar a lo anterior, esta tesis a su vez fue editada para producir un artículo científico que lleva como título "*Factibilidad técnica y financiera del cultivo de *Pennisetum purpureum* (Schumach) para la producción de biomasa con el fin de generación eléctrica*" y que forma parte de la edición especial de la Revista Forestal Mesoamericana Kuru, dedicada a la dendroenergía. En los siguientes enlaces se muestra la carta del editor y el artículo en extenso:

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLR2pDSVVud3VKbFU>

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLSDZCUHN5LXh5SIE>

Adicionalmente un artículo científico fue publicado en la Revista Forestal Mesoamericana Kuru y se denomina "*Propiedades energéticas de biomasa torrefaccionada de Dipteryx panamensis Pittier y Gmelina arborea Roxb. ex Sm.*", a continuación el enlace:

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLSFRCZnh4NzJFV0k>

Como complemento a los estudios de factibilidad técnica y económica, se desarrollaron otros temas a nivel de tesis que reforzaron la factibilidad técnica del uso de la biomasa para energía. A continuación se presenta una agrupación de estas tesis y se brindan los enlaces correspondientes:



6 nuevos trabajos de tesis concluidos:

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLd3ppbTdpWjRsM2s>

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLSDhuc18zNy1Fa1U>

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLbVRwakVEaUg1X1U>

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLTFVmYW5XdzVPck0>

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLSnNXXzBCXzZ5S0E>

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLV2g0SFR6bmRaXzQ>

De las tesis anteriores, dos de los estudios fueron editados para presentar dos nuevos artículos científicos que forman parte de la edición especial de la Revista Forestal Mesoamericana Kuru, dedicada a la dendroenergía. En los siguientes enlaces se muestra la carta del editor y el artículo en extenso:

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

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLREViUDFzc2x3dEk>

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLTTBHWXV1R2VUUUE>

"Ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa arbórea a partir de residuos de plantaciones de Gmelina arborea y Tectona grandis en Guanacaste, Costa Rica"

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLaDRqWkN2YkE3Wkk>

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLX0hVRm1wVzIYcTg>



IV.b Síntesis de hallazgos técnico-científicos del proyecto según este objetivo

Objetivo específico	Hallazgos, conclusiones y recomendaciones para productores	Interrogantes para futuras investigaciones
<p>4. Factibilidad técnica y económica de la utilización de la biomasa forestal en la generación eléctrica</p>	<p>- Dentro del proyecto se realizó el plan de mercadeo para el reposicionamiento de biomasa forestal como fuente de generación de energía, por la empresa Biomass Costa Rica International S.A.</p> <p>Conclusiones: El mercado actual de la empresa son las industrias que utilizan biomasa para la generación de energía térmica (en casi todos los casos) excepto la compañía Pelón de la bajura quienes generan además energía eléctrica. Existe un segmento que demuestra interés en los servicios de Biomass, son las organizaciones demandantes de 1MW de energía eléctrica a través de equipos gasificadores generadores de energía eléctrica con fuente dendroenergética. Las compañías actuales en el rubro de biomasa forestal son muy pocas y relativamente nuevas (no pasan los 10 años de actividad) a comparación de su competidor directo más grande RECOPE (refiriéndose directamente a la sustitución de bunker por biomasa en procesos industriales o generación de energía térmica) esto crea una falta de confianza y credibilidad en el consumidor, lo cual conlleva a estas compañías biomásicas duplicar esfuerzos para poder ganarse reputación y prestigio, sin mencionar que se está compitiendo contra todo un aparato político/económico consolidado por décadas además de empresa pública que genera ingresos solo en bunker de 42'000.000.- USD al estado. (RECOPE; 2015). Los equipos generadores de electrógenos alimentado con biomasa (gas de madera) o gasificadores a pequeña escala y de manera experimental han sido puestos en marcha en ICAFE y el TEC y consisten en plantas de</p>	<p>- Faltan más estudios sobre la factibilidad del uso de tecnologías como la gasificación. No hay un ente especializado a excepción de la venta de servicios que realiza el ICE, para que un productor/empresario tenga facilidades para el estudio de factibilidad se su proyecto dendroenergético.</p>

poder que aprovechan el “syngas” de la biomasa (mezcla de gases combustibles) a través de procesos químicos que generan energía eléctrica. Existen distribuidores representantes de distintas marcas y fabricación, sin embargo, por razones de garantías, todavía generan desconfianza en el consumidor, ya que esta tecnología no ofrece la suficiente credibilidad y confianza como lo hacen las energías convencionales encontradas en el mercado nacional. Estas tecnologías todavía buscan un proyecto piloto a escala que pueda ser referencia y poder cubrir un espacio dentro del mercado energético. Entre los posibles usuarios de estas tecnologías pueden ser Hoteles, edificios, condominios, industrias, es decir, infraestructuras fijas que demanden un consumo eléctrico por encima del 1MG para poder hacer medianamente rentable la operación del proveedor de biomasa.

- Se analizó la viabilidad financiera de generación de 2 MW a partir de biomasa arbórea. El estudio evaluó el mejor sistema de generación eléctrica con biomasa (combustión directa y gasificación), la fuente abastecimiento de biomasa óptima (autogeneración, compra en el mercado o mixto) y la factibilidad financiera de la energía producida en dos escenarios (venta electricidad al ICE y autoconsumo). Encontrando que la implementación de gasificadores de tipo vertical (“downdraft”) mostraron mayor viabilidad debido a su alta eficiencia, poca generación de residuos y menor consumo de biomasa en el tiempo; por otra parte se determinó que la mejor fuente de abastecimiento de biomasa es con la compra en el mercado nacional (40 USD/ton seca) debido su bajo costo actual de adquisición, sin embargo sería recomendable en el largo plazo disponer un sistema mixto (autoabastecimiento y

- Hacen falta más estudios considerando distintas condiciones y comparación entre el uso de diferentes tecnologías (calderas/gasificadores).

compra en el mercado) para disponer menor dependencia a los cambios de precios en el mercado. Finalmente, los análisis financieros mostraron viabilidad de generación para autoconsumo (VAN de 5 %; TIR de 17,68 % y RB/C de 1,82), en cambio para venta energía al ICE no se encontró viabilidad (VAN de -2,0 %; TIR de -21,15 % y R B/C de 1,07) debido al bajo valor de compra energética de esta entidad.

- Se evaluó la factibilidad técnica y económica de la especie *Pennisetum purpureum* dentro de condiciones de una plantación de alta densidad; para lo cual se estableció una plantación piloto de 12 hectáreas en Guanacaste, Costa Rica y se manejó con un ciclo productivo de 159 días y limitando su manejo a aplicaciones de tres dosis nutricionales de nitrógeno (85, 131 y 17 kg ha⁻¹); posterior de la cosecha se evaluó la biomasa acumulada, el poder calórico y su viabilidad financiera para ser implementada en una caldera de 2 MW de potencia. **Conclusiones:** Los resultados mostraron una cosecha de: 85 a 110 ton ha⁻¹ de biomasa seca, encontrado los mayores valores en el tratamiento que usó mayor dosis de nitrógeno; también, se encontró que la biomasa seca de la especie es apenas del 24 % de la biomasa total, pero con un poder calórico superior a 3800 cal g⁻¹, que incidió en que el potencial eléctrico real fuera de 1,33 MWh ton⁻¹ (considerando una caldera con una eficiencia del 30 %) suficiente para que una plantación de 200 ha con dos ciclos de cosecha al año y a una distancia inferior de 45 km de la planta pueda generar electricidad con una rentabilidad financieramente aceptable. **Recomendaciones:** el análisis financiero evidenció que este tipo proyecto es viable siempre y cuando la producción de biomasa no sea menor a 120 ton ha⁻¹, el costo del kilowatt hora sea inferior

- Adicional a la biomasa forestal, hacen falta más estudios sobre el uso de otras especies lignocelulósicas que considere los parámetros tecnológicos, el cultivo y los aspectos financieros.

0,10 USD y la plantaciones no estén a más de 45 km de la planta

- 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. **Conclusiones:** 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 98000 ton. en el caso de *T. grandis* y de 44000 ton. en *G. arborea*. En cambio, la demanda mostró una capacidad superior a 250000 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.

- Falta realizar más estudios en diferentes regiones del país para generar la información sobre demanda de biomasa para diferentes usos.

- Se evaluó un carbonizador portátil de bajo costo, diseñado y construido en el ITCR en el 2012, de 0,208 m³ de capacidad, para ellos se utilizaron dos residuos lignocelulósicos localmente comunes: el residuo de la producción de tarimas y el residuo maderable de la construcción. Se realizaron 3 ensayos de carbonización por residuo y se determinaron el rendimiento de producción de carbón, el consumo de leña, las temperaturas en el reactor, los tiempos y los procesos, la generación de humo, y la calidad del carbón. Esta última se evaluó considerando propiedades organolépticas, densidades, contenido de humedad, resistencia a la compresión, contenido de volátiles, contenido de cenizas, poder calórico, inhibición de la germinación y rechazo por lombrices. Las pruebas se seleccionaron en vista de los dos principales usos previstos para el carbón: fuente de energía limpia, y enmienda de suelo. **Conclusiones:** Los rendimientos de carbón fueron 32% masa/masa (relativo al sustrato) para el residuo de tarimas, y 29% masa/masa para el de la construcción, los cuales son mejores que los rendimientos esperados para este tipo de carbonizador. La leña necesaria para generar el calor requerido en el proceso fue de 34% masa/masa en promedio (relativo al total). El tiempo promedio por carbonización fue de 5 horas. El requerimiento de leña y el tiempo de proceso pueden ser reducidos combinando 2 o más reactores. El carbón obtenido tuvo buena calidad para combustible. Para enmienda de suelo, los resultados de las pruebas de rechazo por lombrices y de germinación sugieren que no contenía sustancias dañinas. **Recomendaciones:** El desempeño del carbonizador fue muy bueno; no obstante, se identificaron oportunidades de mejora tendientes al aprovechamiento del calor residual, a la combustión completa
- Hacen falta más proyectos de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías hechas en Costa Rica para la transformación de la biomasa forestal, caso concreto un prototipo de gasificador desarrollado en Costa Rica.

de los gases, al mantenimiento del reactor, y al empacado de la biomasa. El carbonizador demostró ser una herramienta útil para la valorización de residuos biomásicos lignocelulósicos y permite obtener un carbón de calidad. Se estimó el costo de disposición en rellenos sanitarios en 18 millones de colones para tarimas y entre 35 y 40 millones de colones para el de construcción. El valor del carbón obtenible de los residuos de las dos fuentes se estimó en aproximadamente 146 millones de colones y 218 millones de colones respectivamente.

- Un estudio realizado en Abangares, Cañas consideró las plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) en los cantones de Hojancha y Nandayure, Guanacaste, Costa Rica. El objetivo general fue determinar la producción potencial de biomasa forestal en un radio de 20 Km de la empresa Biomass Internacional de Costa Rica y desarrollar modelos alométricos que relacionen el diámetro a la altura del pecho (dap) con el volumen Smalian comercial y el peso de residuos aprovechables en plantaciones de teca y melina como uno de los objetivos específicos. En la metodología se utilizaron programas de información satelital como Quantum Gis 2.4 o Google Earth para localizar sitios productores y el programa estadístico SAS para generar las ecuaciones de predicción de residuos. **Conclusiones:** Se detectó un total de 5611.55 hectáreas de sitios productores, de los cuales el: 44% del territorio son plantaciones forestales, el 31% charrales arbolados mientras que los potreros arbolados constituyen el 25%. La producción total de biomasa por tipo de cobertura se estimó en lo siguiente: 10992.96 toneladas de biomasa corresponden a áreas de potrero arbolado, 96584.62 toneladas a charral arbolado y un total de

- Este tipo de estudios considera el concepto del desarrollo de núcleos de producción de biomasa forestal y se requieren más estudios similares en otras regiones del país.

43423.66 toneladas de biomasa provenientes de plantaciones forestales. En cuanto a la predicción de peso seco de residuos se generaron 3 ecuaciones para melina de 5 a 35 cm de y 3 ecuaciones para árboles de teca de diámetros de 5 a 15 cm. Se concluye que la mayoría del área de producción se concentra dentro de 10 kilómetros de radio desde la empresa Biomass y que las plantaciones forestales representan la mayoría del área del área dentro de este radio. **Recomendaciones:** Se proporciona la sugerencia del uso de la ecuación preliminar generada en el estudio.

- Se cuantificó la oferta y demanda potencial de biomasa como combustible para calderas industriales del Gran Área Metropolitana, determinando el consumo de combustible en calderas y la cantidad de residuos de biomasa generados por la industria de aprovechamiento de la madera. **Conclusiones:** De 22 calderas seleccionadas y estudiadas, se obtuvo una demanda total de 6.696,67 ton de biomasa al mes. La oferta total de residuos en el área de estudio se estimó en 1.992,86 ton de biomasa al mes. El faltante teórico de 4.703,81 ton de biomasa al mes presenta una oportunidad para el establecimiento de plantaciones forestales dendroenergéticas dedicadas a suplir la demanda, lo cual contribuiría a la economía rural, a la recuperación de suelos degradados, la reducción en emisiones de gases de efecto invernadero, y la estimulación de economías locales.

- Faltan los estudios de factibilidad de conversión de las calderas de las empresas interesadas en incursionar en el campo de la biomasa, ejemplo caso Bridgestone.

V. Objetivo 5. Prácticas de manejo de los cultivos en altas densidades, forma de cosecha, control efectivo de malezas, monitoreo de plagas y enfermedades

V.a Principales productos: publicaciones y tesis

Mediante tres tesis se desarrollaron los estudios sobre cosecha, control de malezas y plagas. La primera tesis titulada "Sostenibilidad ecológica de plantaciones dendroenergéticas de *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus teriticornis* smith, en el cantón de Tarrazú" (ver enlace <https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLZFILZGpQd1RpVFk>).

La segunda tesis se denomina "Efecto de herbicidas pre emergentes sobre la siembra directa de semillas pregerminadas de las especies melina (*Gmelina arborea*) y madero negro (*Gliricidia sepium*) para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas", ver el siguiente enlace:



<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLcXc3Rjd1X2NrMk0>

A su vez esta tesis fue editada para publicar los resultados en un artículo científico que forma parte de la edición especial de la Revista Forestal Mesoamericana Kuru, dedicada a la dendroenergía. En los siguientes enlaces se muestra la carta del editor y el artículo en extenso:

Carta: <https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLTXF4Z1JQOjY0YjQ>

Artículo: <https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLNIyZ04zUXJQRIE>

La tercera tesis abordó la temática de cosecha y comercialización de la biomasa, así como el manejo de rebrotes y se denomina "Evaluación de la biomasa y leña en una plantación de melina *Gmelina arborea* Roxb con manejo de rebrotes, Turrialba, Cartago", a continuación el enlace correspondiente:



<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLNmG0R0hCYU5nOVE>

Los efectos sobre plagas y enfermedades fue una labor continua y se están evaluando aún los resultados. Un estudio preliminar está siendo sometido a un simposio que se llevará a cabo a finales de setiembre. A continuación se muestra el poster con los resultados más importantes:

Efectos en el desarrollo hidráulico y fisiológico del ataque de *Atta* sp en árboles juveniles de *G. arborea* en condiciones controladas

TEC

Dawa Méndez 1; Juan Carlos Valverde 1; Dagoberto Arias 1

RESUMEN

El estudio evaluó los cambios fisiológicos e hidráulicos en árboles juveniles de *Gmelina arborea* desfoliados por *Atta* sp. Tradicionalmente se ha limitado a afectación del *Atta* sp en pérdida parcial o total de la cobertura foliar y con ello disminución del crecimiento producto del estrés mecánico generado; sin embargo, los efectos fisiológicos e hidráulicos como: turgencia foliar (Pp), transpiración (E) y movimiento flujos de savia (SFM) han sido poco estudiados. Por cual, el estudio implementó 12 plantas de *G. arborea* de 6 meses de edad (tres de ellas no se expusieron al *Atta* sp y se consideraron como testigos) y se evaluaron cada 20 días, analizando el índice de área foliar (IAF), E (con un Leaf porometer), Pp (con un Zim probe) y SFM (con un Sap flow meter). El estudio encontró que antes del ataque de *Atta* sp el IAF fue de 1.48 m²m⁻², con un Pp de 33.2 kPa, SFM de 12 cm³día⁻¹; el efecto inmediato de la defoliación total de las plantas generó una reducción del 100 % de Pp y E, con SFM la disminución fue del 50 %, producto al estrés que se expusieron las plantas que al perder la cobertura foliar se inhibe la capacidad fotosintética de las plantas y con ello un detenimiento de movimiento de agua para soportar dicha actividad fisiológica. El proceso de recuperación de las plantas mostró ser lento, en 240 días el IAF mostró una recuperación del 43,7 % que incidió que la recuperación del SFM del 75,1 %, debido que generación nuevas hojas reactivó el movimiento hidráulico con fines de fotosintéticos, en cuanto Pp la recuperación fue del 84,8 % y de E del 42,2 %, le proceso se debió que la generación foliar ha sido limitada por lo cual la hojas presentes individuos son juveniles que no han alcanzado sus nivel de madurez óptimas para fotosíntesis y movimiento hídrico.

OBJETIVO

"Analizar los efectos de la defoliación generada por Atta sp. en el desarrollo hidráulico de árboles juveniles de G. arborea"

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

- 📍 **Cartago**, Costa Rica
- 🏔️ **1390** m.s.n.m
- 🌡️ **26 - 35** °C
- 🌱 **12** plantas (4 plantas testigos)
- 📅 **260** días de estudio
- 📐 **Simple aleatorio** el diseño experimental

Evaluación hídrica realizada

Turgencia foliar evaluada con un Zim probe cada hora.

Transpiración se analizó semanalmente con un medidor tipo "leaf porometer"

Movimientos de flujo de savia evaluados mediante fluxímetros de calor

Índice de área foliar se analizó con fotografías hemisféricas

RESULTADOS

Posterior a la defoliación

- 100 % de pérdida de valores de turgencia foliar, transpiración e IAF
- 50 % de pérdida de movimiento de flujo de savia

Estrés mecánico inmediato es la estrategia de respuesta de la planta ante la pérdida del área foliar

Retardamiento fisiológico incide que el crecimiento se estanque ya que la energía del individuo se centra recuperar las hojas

240 días posterior a la defoliación

Variable	Recuperación (%)
IAF (cm ² m ⁻²)	43,7 %
Movimiento de flujo de savia	75,1 %
Turgencia foliar (kPa)	84,8 %
Transpiración (E)	42,2 %

CONCLUSIÓN

"La afectación desfoliada de Atta sp incidió inmediatamente en un estrés total de las planta debido que pierde transpiración, turgencia y transpiración de forma total, mientras el movimiento de flujo de savia se disminuye a la mitad, esta recuperación en 240 días es parcial en la planta siendo movimiento savia y turgencia lo más beneficiados"

1 Escuela de Ingeniería Forestal, Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. (damez@tec.ac.cr; javalverde@tec.ac.cr; dagoberto@tec.ac.cr)

Una cuarta tesis quedó pendiente y está en ejecución y terminará en el mes de noviembre del 2017 sobre métodos de cosecha en las plantaciones dendroenergéticas establecidas en el CATIE, Turrialba.

V.b Síntesis de hallazgos técnico-científicos del proyecto según este objetivo

Objetivo específico	Hallazgos, conclusiones y recomendaciones para productores	Interrogantes para futuras investigaciones
<p>5. Prácticas de manejo de los cultivos en altas densidades, forma de cosecha, control efectivo de malezas, monitoreo de plagas y enfermedades</p>	<p>- Se realizó un estudio para atender la necesidad de encontrar herbicidas pre-emergentes para la siembra directa de semillas de especies forestales dedicadas para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas. Se evaluaron 12 diferentes herbicidas pre-emergentes sobre la siembra directa de dos especies forestales con gran potencial para la producción de biomasa para bioenergía. Uno de los aspectos limitantes de las plantaciones dendroenergéticas es el alto costo de establecimiento por concepto de adquisición de plantas, por lo que se buscaron las mejores opciones para la siembra directa de semillas pregerminadas de <i>Gmelina arborea</i> (melina) y <i>Gliricidia sepium</i> (madero negro), y ofrecer una alternativa en la disminución de los costos. El experimento se realizó en un invernadero (ITCR, Cartago), durante 10 semanas, analizando cada especie por separado. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar. Las semillas fueron sometidas al mejor tratamiento pre germinativo y sembradas en macetas, inmediatamente fueron atomizadas por los diferentes herbicidas pre emergentes siguiendo u protocolo descrito en la metodología.</p> <p>Conclusiones: Al final del experimento se determinó que los herbicidas pre emergentes con el ingrediente activo de Linuron y Oxifluorfen pueden ser utilizados en la siembra directa de melina, ya que no causaron daño en el rendimiento de las plantas, además de obtener la mayoría de los parámetros con resultados estadísticamente superiores. En el caso de madero negro el pre emergente Linuron obtuvo los mejores resultados, concluyendo que puede ser útil para usarse en la siembra directa. El herbicida pre emergente con el</p>	<p>- Faltan más estudios métodos de siembra directa de especies dendroenergéticas y realizar ensayos de campo de validación. En el proyecto se establecieron varios sitios de esta manera y se obtuvieron buenos resultados.</p>

ingrediente activo de Pendimetalina obtuvo los menores resultados de rendimiento en casi todos los parámetros analizados; para ambas especies produjo la muerte total de las arvenses antes de la semana 7. **Recomendaciones:** es necesario identificar herbicidas preemergentes en combinación con plantas establecidas en el campo (caso de los eucaliptos).

- Sobre los esquemas de manejo, se analizó un sistema de aprovechamiento de rebrotes que tiene el CATIE. **Conclusiones:** Se determinó la producción de biomasa área en una plantación de *Gmelina arborea* bajo manejo de rebrotes en una tercera rotación, alcanzando un rendimiento 214,85 Mg/ha en condición de peso fresco lo que se traduce en un incremento de 71,61 Mg/ha/año. La plantación mostró un índice de densidad del rodal (IDR) de 635 que corresponde a la zona autoraleo con un diámetro promedio de 7,90 cm, bajo estas condiciones la plantación presentó un promedio de 4,94 ejes por tocón o cepa y una densidad de 6.190 ejes/ha, la cual se aproxima a las densidades propuestas para el manejo de plantaciones dendroenergéticas. La producción de leña según los requerimientos del mercado local fue de 494,5 mst/ha lo cual se traduce en un ingreso bruto de USD 5.934,0. El estudio analizó la producción de biomasa en función del número de ejes a conservar por tocón. Los resultados ayudan al productor a decidir cuántos ejes conservar en función de las dimensiones del producto.

- Las plantaciones establecidas están en la etapa de aprovechamiento y falta continuar los estudios de productividad y manejo en una segunda, tercera y más rotaciones.

Un estudio evaluó los cambios fisiológicos e hidráulicos en árboles juveniles de *Gmelina arborea* típicos de un sistema dendroenergético, desfoliados por *Atta* sp. que representa el principal problema de plagas en este tipo de cultivos. Tradicionalmente se ha estudiado la afectación del *Atta* sp en pérdida parcial o total de la cobertura foliar y con ello una disminución del crecimiento producto del estrés mecánico generado; sin embargo, los efectos fisiológicos e hidráulicos como: turgencia foliar (Pp), transpiración (E) y movimiento flujos de savia (SFM) han sido poco estudiados. Por cual, el estudio implementó un diseño experimental en árboles de *G. arborea* de 6 meses de edad y se consideraron árboles testigo sin ataque) y se evaluaron cada 20 días, analizando el índice de área foliar (IAF), E (con un Leaf porometer), Pp (con un Zim probe) y SFM (con un Sap flow meter).

Conclusiones: El estudio encontró que antes del ataque de *Atta* sp el IAF fue de 1,48 m²m⁻², con un Pp de 33,2 kPa, SFM de 12 dm³día⁻¹; el efecto inmediato de la defoliación total de las plantas generó una reducción del 100 % de Pp y E, con SFM la disminución fue del 50 %, producto al estrés que se expusieron las plantas que al perder la cobertura foliar se inhibe la capacidad fotosintética de las plantas y con ello un detenimiento de movimiento de agua para soportar dicha actividad fisiológica. El proceso de recuperación de las plantas mostró ser lento, en 240 días el IAF mostró una recuperación del 43,7 % que incidió que la recuperación del SFM del 75,1 %, debido que generación nuevas hojas reactivó el movimiento hidráulico con fines de fotosintéticos, en cuanto Pp la recuperación fue del 84,8 % y de E del 42,2 %, el proceso se vió limitado por la generación foliar ya que las hojas presentes en individuos son juveniles y no han alcanzado sus niveles de madurez

- Hace falta más estudios comprensivos de la fisiología de las especies con mayor potencial para la producción de madera y biomasa.

óptimas para la fotosíntesis y el movimiento hídrico.
Recomendaciones: las especies utilizadas para fines dendroenergéticos (teca, melina, eucaliptos) son muy susceptibles al ataque de la hormiga arriera por lo que se recomienda un plan de control permanente en los primeros meses de la plantación

VI. Objetivo 6. Difusión y transferencia de resultados a nivel nacional y regional

Los investigadores han mostrado un alto grado de compromiso en la divulgación de los resultados del proyecto y se dio una participación muy activa en diversos foros nacionales e internacionales.

A continuación una muestra de los trabajos presentados en el 2015:

Actividad III Congreso Iberoamericano de Microrredes Eléctricas con Generación Distribuida de Renovables. Valorización Energética de Residuos



The image shows the cover of a report. At the top right, the logo for 'TEC Tecnológico de Costa Rica' is displayed. The title 'Experiencias y resultados en el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas en Costa Rica' is centered in red text. On the left side, there is a circular logo for 'Ing. forestal TEC'. The author's name 'Edwin A. Esquivel S.' is centered below the title. The date 'Diciembre 2015' is centered at the bottom. On the right side, a list of names is provided: Dagoberto Arias, Elemer Briceño, Mario Guevara, Adrián Chavarría, Diego Camacho, Ileana Moreira, Elizabeth Arnáez, and Rodolfo Canessa.

TEC | Tecnológico de Costa Rica

Experiencias y resultados en el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas en Costa Rica

Ing. forestal TEC

Edwin A. Esquivel S.

Diciembre 2015

Dagoberto Arias
Elemer Briceño
Mario Guevara
Adrián Chavarría
Diego Camacho
Ileana Moreira
Elizabeth Arnáez
Rodolfo Canessa

Jornada Forestal

Potencial del uso de la biomasa forestal para fines energéticos

TEC | Tecnológico de Costa Rica

CATIE
Soluciones para el ambiente y desarrollo

micitt

CONICIT

Forestal
TEC

12 Noviembre del 2015

Auditorio Biblioteca TEC-Cartago

Hora	Charla	Expositor
08:15 - 08:30	Palabras de Bienvenida	Dagoberto Arias (TEC)
08:30 - 09:00	Por qué pensar en biomasa forestal como fuente de energía	Ronnie de Camino (CATIE)
09:00 - 09:30	Experiencias y resultados en el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas en Costa Rica	Edwin Esquivel (Tec)
09:30 - 10:00	El rol de las compañías de biomasa en el país, experiencias, retos y mercado existente	William Rojas Araya (BIOMASS)
10:00 - 10:15	<i>Refrigerio</i>	
10:15-10:45	Valoración energética de las especies utilizadas en plantaciones energéticas	Estefanía Salazar (TEC)
10:45 - 11:15	Experiencias de uso de biomasa: Caso Coopetarrazú	Gustavo Elizondo (Coopetarrazú)
11:15 - 11:45	Gasificación: características de materia prima y eficiencia del proceso	Jaime Quesada (Tec)
11:45 - 12:15	Innovación en el uso de Biomasa Forestal	Tomás de Camino (Fundación Costa Rica para la innovación)
12:15-12:30	Cierre de actividad: Reflexión sobre biomasa Forestal y cierre	Elemer Briceño (Tec)

Actividad IV Foro Anual Energías Alternativas UTN-2015: Bioenergía Forestal: Paquetes silviculturales en plantaciones de alta densidad; Resultados de primeros ciclos de rotación de plantaciones dendroenergéticas en cuatro zonas productivas de Costa Rica



Rectoría
Subprograma de Energías Limpias UTN



IV Foro Anual Energías Alternativas UTN-2015 "Bioenergía Forestal"

"Fomentar espacios para discusión e intercambio de experiencias sobre Bioenergía Forestal en Costa Rica."

Programa

Energías Alternativas UTN-2015 "Bioenergía Forestal"	1:00 p.m.	Registro de Participantes.
	1:30 p.m.	Palabras de Bienvenida: Dr. Francisco Romero Royo. Vicerrector de Investigación.
	1:45 p.m.	<p>1° Bloque: Producción de biomasa en sistemas de alta densidad. Ponencia 1: "Paquetes silviculturales en plantaciones de alta densidad". Expositor: M.Sc. Mario Guevara Bonilla. Master Universidad UEF, Finlandia. (ITCR) Ponencia 2: "Resultados de primeros ciclos de rotación de plantaciones dendroenergéticas en cuatro zonas productivas de Costa Rica". Expositor: Ph.D Elemer Briceño Elizondo. Doctorado Universidad UEF, Finlandia. (ITCR)</p>
	2:45 p.m.	Refrigerio.
	3:15 p.m.	<p>2° Bloque: Biomasa. Ponencia: "Por qué pensar en biomasa como fuente de energía en Costa Rica". Expositor: MSc. Jean Pierre Morales Aymerich. Master en Socioeconomía Ambiental. (CATIE)</p>
	3:50 p.m.	<p>3° Bloque: Panel: Generación eléctrica a partir de biomasa. Moderador: Ph.D. Dagoberto Arias Aguilar. Doctorado Universidad Göttingen, Alemania. (ITCR) Ponencia 1: "Factibilidad del cultivo y uso de la biomasa de plantaciones de Pennisetum purpureum (King Grass) para su transformación en energía eléctrica". Expositor: M.Sc. Gregory Guevara Rodríguez. Ingeniero Agrícola, Máster en Recursos Naturales. (ITCR) Ponencia 2: "Cuantificación de la oferta y demanda de biomasa forestal para generación eléctrica renovable en el GAM". Expositor: B.Sc. Andrés Ávila Aguilar. Biólogo. (ITCR) Ponencia 3: "Transformación de biomasa por pirólisis y gasificación". Expositor: Ph.D. Jaime Quesada Kimzey. Doctorado Universidad de Gutenberg, Alemania. (CEQIATEC)</p>
	4:50 p.m.	Sesión: preguntas y respuestas.
	5:10 p.m.	Palabras de clausura: M.Sc. Dyalah Calderón De La O. Vicerrectoría de Docencia.

Diseño e Impresión: Editorial Universitaria EUTN





Resultados de primeros ciclos de rotación de plantaciones dendroenergéticas en cuatro zonas productivas de Costa Rica

Ph.D. Elemer Briceño Elizondo.
Escuela de Ing. Forestal Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Doctorado Universidad UEF, Finlandia

Foro: Energías Alternativas UTN 2015
“Bioenergía Forestal” 25/09/2015.
Auditorio de la Administración Universitaria . UTN

Diferencia en la captura de Carbono entre especies exóticas y nativas de Costa Rica

The infographic features a stylized tree with a brown trunk and branches. Three circular bubbles are attached to the branches: a large teal bubble at the top containing the chemical formula CO_2 , a medium green bubble on the left containing O_2 , and a medium green bubble on the right containing H_2O . The background is a light beige world map. At the bottom, there is a brown ground area with a green horizontal bar above it.

Sara Molina Quesada
10:15am Biblioteca
General

Actividad XVI Congreso de Ciencia, Tecnología y Sociedad: "Uso de árboles para energía, una realidad sustentable para Costa Rica"; teniendo como co-autores a Elemer Briceño, Dagoberto Arias, Diego Camacho, Rodolfo Canessa y Adrián Chavarría, del TEC.

Uso de árboles para energía, una realidad sustentable en Costa Rica.

Edwin Esquivel, Sara Molina, Elemer Briceño, Dagoberto Arias, Diego Camacho, Rodolfo Canessa, Adrián Chavarría.

Bioenergía sustentable a partir de plantaciones forestales para el beneficiado de café en Zonas Altas de Costa Rica caso Coopetarrazú

TEC Tecnológico de Costa Rica

Edwin Esquivel¹, Elemer Ericeño¹, Mario Guevara¹, Dagoberto Arias¹, Maureen Calvo².

1. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela Ingeniería Forestal. 2. Coopetarrazú
eesquivel@itcr.ac.cr

Resumen y Objetivos

En Costa Rica el café carbono neutral puede obtener mejores precios en el mercado, y claramente el proceso de beneficiado requiere calor que tradicionalmente ha sido obtenido de la quema de leña con una amplia variabilidad en cuanto a su procedencia, lo que causa dificultades a nivel industrial en las calderas, por lo que contar con biomasa para la generación de energía que provenga de una fuente sustentable y a la vez se le pueda medir su huella de carbono es beneficioso para el beneficiado de café. La Cooperativa de Productores Coopetarrazú procesa el café utilizando leña, contando con terrenos que podrían producir a partir de árboles la energía necesaria en su beneficiado. Los objetivos principales de este proyecto son el producir sustentablemente la biomasa para la energía y lograr estabilidad en la biomasa para permitir una proceso industrial estable.

Metodología

Se estableció un ensayo con de tres bloques completos al azar y seis tratamientos combinando dos especies de Eucalipto (*Eucalyptus tereticornis* y *E. saligna*) a tres densidades (5 000, 10 000 y 20 000 árboles ha⁻¹) en parcelas de 100m². Se ha evaluado periódicamente la extracción de nutrientes y el carbono del suelo así como el diámetro y la altura de los árboles.



Figura 1. Establecimiento de la plantación.

Resultados

Como se puede observar en los gráficos la altura y el diámetro sugieran que las altas densidades podría producir mayor cantidad de biomasa, este resultado ha sido consistente a lo largo de los demás ensayos realizados en Costa Rica.



Figura 2. Diámetro y altura para *Eucalyptus tereticornis* y *E. saligna* a los 18 meses de edad.



Figura 3. Desarrollo de *Eucalyptus saligna* 10000 arb ha⁻¹ a los 18 meses.

No se han evidenciado diferencias entre los niveles nutricionales, este resultado ha sido consistente en los demás ensayos, posiblemente debido a que el efecto del cierre de copas aún no se ha producido.

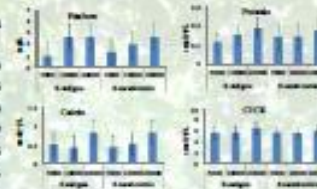


Figura 3. Niveles nutricionales del suelo a los 18 meses para cada tratamiento.

Conclusiones y Recomendaciones

- Las plantaciones dendroenergéticas han mostrado ser susceptibles a la maleza por lo que el utilizar altas densidades mejora el rendimiento en biomasa.
- Esta es una opción de energía sustentable para las empresas cafetaleras.
- Continuar investigando en este tipo de bioenergía por la posible contribución a la meta de la carbono neutralidad del país.

Agradecimientos

A Coopetarrazú por ser pioneros en esta nueva forma de generar energía; a la VIE y al CIIBI del ITCR por el financiamiento otorgado.

"Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO."

Cambios en carbono en el suelo en plantaciones dendroenergéticas en la Zona Norte de Costa Rica



TEC Instituto Tecnológico de Costa Rica

Mario Guevara-Bonilla, Edwin Esquivel, Elemer Briceño,
Dagoberto Arias, Sara Molina.

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela Ingeniería Forestal



INTRODUCCIÓN

•La biomasa forestal como fuente de energía proveniente de plantaciones dendroenergéticas, al compararla con combustibles fósiles, podría producir energía limpia lo cual para la estrategia de carbono neutralidad del país es sumamente importante. Estas plantaciones estarían secuestrando carbono (C) tanto en la biomasa producida así como en el suelo. El objetivo del trabajo es evaluar periódicamente la cantidad de carbono presente en el suelo en plantaciones de corta duración.

OBJETIVO

Objetivo principal

Producir sustentablemente energía a partir de plantaciones dendroenergéticas.

Objetivos específicos:

Quantificar el efecto de las especies y densidades de plantaciones dendroenergéticas en la dinámica de carbono del suelo.

Producir biomasa sustentablemente con el fin de ser utilizada en la matriz energética de Costa Rica.



Figura 2 Desarrollo de las plantaciones de *Tectona grandis* (A) y *Gmelina arborea* (B) a los 14 meses.

MATERIALES Y MÉTODOS

Area de estudio

El estudio se realizó en Upala, en la Zona Norte de Costa Rica. La precipitación es de 4500 mm anuales y la temperatura promedio 24 °C

Diseño experimental

El ensayo se estableció en Setiembre del 2013, con un diseño de bloques completos al azar con parcelas de 100 m² combinando 2 especies forestales exóticas (*Tectona grandis* y *Gmelina arborea*) y una nativa (*Dipteryx panamensis*) a tres densidades diferentes: (5000, 10000, 20000 árboles por hectárea).

El muestreo de carbono en el suelo se realizó a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm.) La determinación de materia orgánica se realizó mediante pérdidas de peso por ignición a 450 °C por 24 horas

RESULTADOS



Figura 2 Niveles de materia orgánica para los distintos años en las distintas densidades para *Tectona grandis* (a) 0-20 cm y (b) 20-40 cm de profundidad.

Para las tres especies, se ha observado un leve incremento en la acumulación de C, sin embargo, no se han detectado diferencias que permitan dilucidar cual de las especies y densidades será más conveniente en la captura de carbono a nivel de suelo permitiendo contribuir a la estrategia de carbono neutralidad del país.

CONCLUSIONES

Con el tiempo transcurrido no se han observado efectos de los tratamientos aplicados en los niveles de carbono del suelo, posiblemente debido a que el cierre de copas aún no se ha producido en todas las parcelas.

AGRADECIMIENTOS

Puro Verde Paraiso Forestal S.A.
Centro de Investigación en Integración Bosque – Industria, VIE del ITCR

“Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.”



Figura 1 Muestreo de suelo en *Dipteryx panamensis* los 14 meses.


Actividad VIII Congreso Nacional de Suelos. Energía sustentable en Costa Rica producida por el Ingenio Taboga a partir de biomasa proveniente de plantaciones dendroenergéticas




Actividad XXIV IUFRO World Congress. Initial yield of biomass production in wood energy plantations in the Guanacaste province, Costa Rica.

Initial yield of biomass production in wood energy plantations in Guanacaste province, Costa Rica

Sara Molina, Edwin Esquivel, Dagoberto Arias, Elemer Briceño, Diego Camacho, Rodolfo Canessa, Adrián Chavarría
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela Ingeniería Agrícola.



TEC
Tecnológico de Costa Rica



TABOGA
INGENIERO

Abstract

With an increase in energy demand, a steady sustainable supply is of increasing importance for emerging countries. Paralelly, industrialized countries propose changes in traditional energy sources shifting towards zero emission alternatives. Energy from forest biomass provides an important option in degraded areas with limited water supply. In cooperation between Private Enterprise (Sugar cane mill, Taboga) and the Technological Institute of Costa Rica (Public University) high density plantations were established at selected sites. Taboga generates power from sugar cane bagasse, however, this crop is seasonal and the company needs a complementary supply at off season time.

To determine the performance of high-density plantations a three-block experimental design was established using six treatments, combining two species (*Gliricidia sepium* and *Gmelina arborea*) and three stocking densities (5000, 10 000 and 20 000 trees ha⁻¹) in 900 m² plots periodically evaluating soil nutrients, biomass accumulation and individual development carbon storage in soil. After a year of growth, evidence of differentiated yields was achieved per treatments, which could preliminarily suggest the more favorable species and density, becoming such knowledge of great importance for Taboga and other energy consuming companies.

Methodology

Sugar Mill Taboga, Cañas, Guanacaste, Costa Rica, located within the Tropical Dry Forest, 0-600 m.a.s.l. The temperature ranges are between 27 and 33 °C, with characteristic dry period of 6-8 months. Deciduous vegetation is predominantly, trees lose leaves during the dry season to avoid water loss by evapotranspiration.

The experiment consists in tree-block experimental design, with six treatments combining three stockings (5000, 10000 and 20000 arb ha⁻¹) and two species (*Gmelina arborea* and *Gliricidia sepium*).

Trees were measured when they were established and after a year. Diameter, height and soil sampling for two depths were measurement.

Organic matter was determinate by weight-loss-on-ignition.

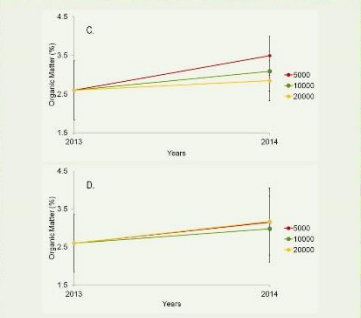


Figure 2. Organic matter in soil 0-20 cm (C), 20-40 cm (D)

Objectives

Main Objective

- To innovate sustainable production of biomass from forest species growing at high stocking in the country.

Specific objectives

- To assess the effect of forest species stocking and biomass production for different sites.
- To quantify carbon sequestration in both, biomass and soil.
- To evaluate the sustainability of production for these plantations by nutrient dynamics and water balance.
- To evaluate the economic and market feasibility for sustainably produced biomass.
- To produce sustainable biomass energy assessment that allows the production of electricity.
- To transfer knowledge and experiences generated by the target groups.

Results

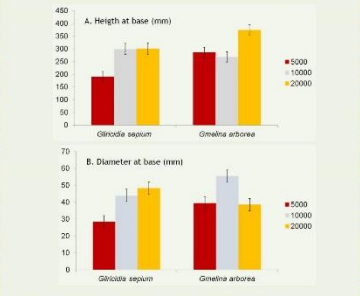


Figure 1. Increase in height (A) and diameter (B).

Conclusions


The observed increase in diameter and height trees was significant, however height presented higher differences among densities. Height growth of *Gmelina arborea* increased with higher density, but the greatest increase in diameter was found to 10000 trees per ha, due to reduced competition.


Gliricidia sepium was subject to rodent infestation and growth information was inconclusive.

The presence of organic matter follows an increasing trend after one year of plantation establishment, however to observe greater effects a longer period must be evaluated. Organic matter quantification is important to calculate the carbon sequestration in soil.

Acknowledgments


Vicerrectoría de Vida Estudiantil y Servicios Académicos, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Ingenio (Sugar Mill) Taboga, Cañas, Guanacaste.






Sustainable Energy for coffee mills from wood energy plantations

Coopetarrazú



Tecnológico de Costa Rica



Edwin Esquivel¹, Sara Molina¹, Dagoberto Arias¹, Elemer Briceño¹, Maureen Calvo², Rodolfo Canessa¹, Diego Camacho¹, Adrián Chavarría³.

1. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela Ingeniería Forestal; 2. Cooperativa de Caficultores y Servicios Múltiples de Tarrazú, Gerencias: Investigación y Desarrollo y, Asistencia Técnica y Campo; 3. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela Ingeniería Agrícola.

ABSTRACT

The market value price has a distinction for coffee that is produced sustainably; processing requires heat that traditionally has been obtained from wood burning, however, supply comes from different sources of various species, age, heat capacities, etc., creating difficulties in boilers at industrial level; this justifies obtaining a source of biomass of a standard quality necessary for the industry's coffee processing. Coopetarrazú coffee industry is located within an area where land use for coffee is inadequate, therefore in certain farmsteads, forestry use would be more appropriate.

Using high-stocking plantations we established a three-block experimental design with six treatments combining two Eucalyptus species (*Eucalyptus tereticornis* and *E. saligna*) at three stockings (5000 , 10 000 and 20 000 trees ha⁻¹) in 100 m² plots. Through periodic evaluation of soil nutrients, biomass, stage of development, and carbon sequestered in soil and biomass we have identified suitable planting stocking and species combinations for energy production, which is of great importance to Coopetarrazú and other coffee companies.

OBJECTIVES


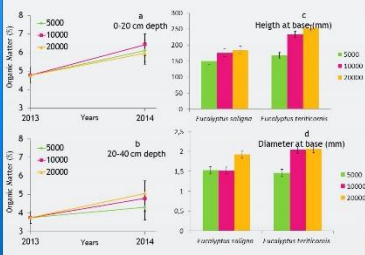
Main Objective
To innovate sustainable production of biomass from forest species growing at high stocking in the country.

Specific objectives

- To assess the effect of forest species stocking and biomass production for different sites.
- To quantify carbon sequestration in both, biomass and soil.
- To evaluate the sustainability of production for these plantations by nutrient dynamics and water balance.
- To evaluate the economic and market feasibility for sustainably produced biomass.
- To produce sustainable biomass energy assessment that allows the production of electricity.
- To transfer knowledge and experiences generated by the target groups.

RESULTS

The principal results in organic matter soil and diameter and height.


CONCLUSION

This plantation shows some early effects in the level of organic matter. This effect was evidenced in other sites. In Costa Rica, FONAFIFO pays the environmental services in traditional stocking of the forests plantation. This results could be of use to justify Government funding to pay for this high stocking plantation.

The uncertainty about the amount of soil carbon sequestration for this plantation holds interest in this early results.

Although the plantation is still on an early stage, it is interesting to note that both species present the same pattern, where the highest stocking shows the highest values for height and diameter; most likely due to a self-weed control, which regulates root competition with herbaceous species and enhances tree species growth in search of light.

This project is under financing running on its first of three years; the results are most awaited in terms of future clean sustainable energy supply, where not only environmental aspects are being considered but also its economical and social success.



ACKNOWLEDGEMENTS

Vicerrectoría de Investigación del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Cooperativa de Caficultores de Tarrazú R.L.
Centro de Investigación en Integración Bosque - Industria del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En el 2016 los investigadores del proyecto continuaron muy activos presentando los resultados en eventos internacionales y en eventos nacionales. Se participó en el II. Foro Nacional de Energía Biomásica el día 25 de febrero del 2016 y un Workshop internacional denominado "Sustainable Rural Energy Supply Solutions for Costa Rica", organizado por HTW Berlin, TU Hamburg Harburg y la EARTH, los días 21 al 23 de marzo 2016. Destaca nuevamente la participación en un evento organizado por la UTN sobre el uso de la biomasa forestal para bioenergía, llevado a cabo el 5 de octubre del 2016.

En asocio con la empresa Biomass de Costa Rica, se tuvo la oportunidad de llevar la divulgación de los resultados del proyecto a la feria forestal más grande del país. Se trata de la Feria Viva la Madera, llevada a cabo los días del 4 al 6 de noviembre 2016. En esta oportunidad se llevó una exposición de resultados con material divulgativo en un stand de 16 metros cuadrados y se logró financiar el transporte del gasificador desde el TEC hasta el campo ferial, para mantenerlo en exposición en los días de la feria.

El evento más importante de divulgación de resultados del proyecto se llevó a cabo el 19 de julio del 2017, se organizó un evento de proyección internacional en el que asistieron 124 personas de sectores muy diversos que incluyó a la academia, las empresas, organizaciones y público en general. Este evento se denominó "*Seminario Internacional: oportunidades para la transformación de la biomasa en energía y las posibilidades mediante procesos de gasificación*" (Figura 5). La cobertura fue nacional e internacional. Varios medios de comunicación le dieron amplia difusión al proyecto mediante entrevistas de radio y publicaciones en diversos canales. En particular, el periódico La Nación le dedicó una página completa al tema (Figura 6) y diversos medios divulgaron diferentes aspectos de los resultados del proyecto.

Un informe completo y muy detallado sobre los alcances de este seminario internacional puede ser consultado en el siguiente enlace:



<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLN2dCMFlwVWJwakU>



Figura 5. Logo utilizado en el evento internacional



Figura 6. Página completa en La Nación, día lunes 24 de julio 2017

Las presentaciones del seminario pueden ser revisadas desde los siguientes enlaces:

Links de las presentaciones en ISSUU:

1- Gasificación de biomasa: estudios experimentales y teóricos: Juan Fernando Pérez-Bayer: http://issuu.com/alteacomunicacion/docs/gasificaci_n-2

2- Torrefacción como pretratamiento de mejora del biocombustible sólido: Juan Fernando Pérez-Bayer: http://issuu.com/alteacomunicacion/docs/torrefacci_n-2

3- Producción de biomasa en plantaciones dendroenergéticas en Costa Rica: Dagoberto Arias-Aguilar: http://issuu.com/alteacomunicacion/docs/3_producci_n_de_biomasa_dagoberto

4- Costos de generación de energía eléctrica bajo gasificación: Juan Fernando Pérez-Bayer: http://issuu.com/alteacomunicacion/docs/6_costos_de_generaci_n_de_electric

5- Estudio de pre-factibilidad para una planta de cogeneración a partir de biomasa lignocelulósica seca: Ana Catalina Villalobos González: http://issuu.com/alteacomunicacion/docs/ana_catalina-2

6- Experiencias en el uso de la biomasa dendroenergética en la empresa Incal: Javier Gutiérrez-Bardales: http://issuu.com/alteacomunicacion/docs/8_experiencias_en_el_uso_de_la_biom

7- Experiencias en gasificación de especies forestales en Costa Rica: Marco Chaves-Flores: http://issuu.com/alteacomunicacion/docs/marco_chaves-2

El proyecto tiene un alcance de más de 1000 personas que siguen las publicaciones y la información que semanalmente se divulga. El enlace al perfil es el siguiente:

Página de Facebook:

<https://www.facebook.com/Dendroenerg%C3%ADa-TEC-298455377006201/>

Dendroenergía TEC

Crear nombre de usuario de la página

Inicio

Información

Fotos

Eventos

Vídeos

Publicaciones

Comunidad

Promocionar

Administrar promociones

Te gusta

Siguiendo

Compartir

+ Añadir un botón

Personas a las que también les gusta

Artisan Brew Pub Bar

Revista Forestal Mesoamericana... Revista

Escuela de Ciencias Ambientale... Universidad

Español (España) · Español · English (US) · Português (Brasil) · Français (France)

Privacidad · Condiciones · Publicidad · Gestión de anuncios LP · Cookies · Más · Facebook © 2017

Chat (desactivado)

VII. PRINCIPALES RESULTADOS ALCANZADOS

Entre los principales resultados se enumeran los siguientes:

1. Existe un amplio conocimiento del proyecto y sus implicaciones. La biomasa forestal ya está siendo considerada por su potencial en la generación de calor y electricidad. También ha crecido el interés por el uso de la biomasa, la conversión de calderas y las posibilidades que se ofrecen a través de la gasificación. Se invita a escuchar esta entrevista sobre el tema:

<https://youtu.be/Me6Opvp34wA>

2. Participación en al menos 5 eventos nacionales e internacionales para la divulgación de los resultados del proyecto.
3. El proyecto brindó el apoyo para que 15 estudiantes de licenciatura y de maestría realizaran sus trabajos de investigación e intercambio de experiencias. Al menos 20 estudiantes participaron como asistentes de investigación en las distintas fases del proyecto.
4. Se han generado publicaciones científicas en revistas ISI y también en Latindex y DAOJ.
5. Mediciones de todos los sitios experimentales y demostrativos. Se cuenta con las bases de datos actualizadas y se continúa trabajando en nuevos artículos científicos para publicación, lo cual significa que el proyecto sentó una plataforma de investigación de alto valor e impacto que trasciende el período de ejecución.
6. La Editorial Tecnológica de Costa Rica tiene en diagramación dos libros sobre la temática del proyecto, los cuales estarán disponibles a los interesados de manera gratuita. Las obras llevan con título : "*Biomasa forestal como alternativa energética*" y "*Biodiesel*" en el siguiente link se adjunta la carta de la Editorial del TEC: <https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLaDITVEY2RWZwr1U>
7. Una nueva obra denominada "*Aprovechamiento energético de residuos*" está en análisis y evaluación en la Editorial de la UNED. En el siguiente link se da el acceso al manuscrito que está bajo evaluación en la UNED: <https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLZmp3SEZ3S0ZzQ0U>
8. Nuevas empresas han iniciado procesos de establecimiento de ensayos con plantaciones dendroenergéticas (específicamente Ethical Forest, Los Nacientes y Pelletics, que no formaron parte del proyecto inicialmente).
9. Incorporación de nuevas áreas de experimentos en el CATIE y en el TEC-Cartago. Estos sitios demostrativos son de alto valor para futuras capacitaciones, seminarios y de apoyo a la docencia a todo nivel (desde escolar hasta universitaria).
10. Se logró la aprobación y financiamiento de un nuevo proyecto por parte de la VIE-TEC para continuar las investigaciones sobre gasificación. Esta nueva propuesta tiene una contrapartida de 60 millones en salarios y ₡8.409.170,00

en gastos de operación. Esto es muy importante porque asegura la continuidad de las iniciativas del proyecto durante todo el 2017 y 2018.

11. Se logró gestionar una modalidad de intercambio de experiencias a nivel regional, específicamente con Honduras en donde se está realizando capacitación y transferencia de los resultados a los profesores de la Universidad de Ciencias Forestales (UNACIFOR).
12. El tema de la biomasa seca se logró integrar en los foros de discusión a nivel de Ministerio de Ambiente y Energía y forma parte de las alternativas energéticas que se impulsarán. Se participó activamente en un grupo de trabajo con el propósito de recibir insumos para la actualización del Programa Nacional de Biocombustibles y su Plan de Acción. Los talleres fueron organizados por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), mediante la Dirección Sectorial de Energía (DSE) y la Friedrich-Ebert-Stiftung (FES).
13. Se logró un financiamiento adicional del fondo de pasantías del CONICIT para intercambio de experiencias en Alemania (ver informe presentado al CONICIT en el siguiente link:

<https://drive.google.com/open?id=0B2QI5V-aWALLdS1sX0gwdFpIU0E>

14. Se logró el intercambio de experiencias con el grupo de investigación en manejo eficiente de la energía (GIMEL) de la Universidad Nacional de Colombia. Con ellos se lograron los acuerdos para publicar un libro denominado "Biomasa forestal como alternativa energética" y será una de las publicaciones del proyecto para las distribución gratuita entre los actores clave.



VIII. Agradecimientos



Se agradece a la VIE-TEC y al MICITT-CONICIT por el aporte financiero otorgado mediante contrato FI-084-13, así como todo el apoyo material y humano brindado. Al personal de la Escuela de Ingeniería Forestal y al Centro de Innovación Forestal por todas las facilidades y apoyo logístico durante los años de ejecución del proyecto. A los investigadores del TEC por su participación en diferentes componentes del proyecto: Edwin Esquivel, Mario Guevara, Elemer Briceño, Diego Camacho, Marcela Arguedas, Roger Moya, Carolina Tenorio, Rodolfo Canessa, Adrián Chavarría, Juan Carlos Valverde, Olman Murillo, Ileana Moreira, Elizabeth Arnáez, Carlos Roldán, Jaime Quesada y Jesús Mora; y a todos los estudiantes que participaron como asistentes de investigación y como tesaristas. También a las diferentes empresas e instituciones que nos facilitaron los ensayos de campo y nos brindaron apoyo económico.

Firma del investigador principal

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, representing the name of the principal investigator.

Dr. Dagoberto Arias Aguilar