

Revista Cubana de
Ciencias Forestales

CFORES

Volumen 9, número 3; 2021

Artículo original

Metodología para la zonificación del potencial de biomasa con fines energéticos orientada a empresas forestales. Caso empresa agroforestal La Palma, Pinar del Río

Methodology for the zoning of biomass potential for energy purposes oriented to forestry enterprises. Case of La Palma agroforestry enterprise, Pinar del Río

Metodologia para o zoneamento do potencial de biomassa para fins energéticos orientada para empresas florestais. Caso da empresa agroflorestal La Palma, Pinar del Río

Laritzta Daylen Zequeira Pérez^{1*}  <https://orcid.org/0000-0002-2986-1061>

Bárbara Idalmis Garea Moreda²  <https://orcid.org/0000-0002-3625-0138>

Alfredo José Curbelo Alonso³  <https://orcid.org/0000-0003-2672-6881>

¹Dirección Forestal, Flora y Fauna Silvestres. Ministerio de la Agricultura de Cuba. Cuba.

²Cátedra UNESCO "Medio Ambiente y Desarrollo". Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de La Habana. La Habana, Cuba.

³Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGIA). La Habana, Cuba.

*Autor para la correspondencia: dforestal5@oc.minag.gob.cu

Recibido: 07/07/2021.

Aprobado: 27/10/2021.



RESUMEN

El uso de biomasa forestal para la producción de energía representa una de las alternativas actuales que considera el país para su desarrollo energético. No obstante, aún no se dispone de toda la información de las potencialidades reales de este recurso a nivel de empresa, lo que limita la planificación oportuna del manejo y su aprovechamiento sostenible. El presente trabajo contribuye a solventar esta situación, al desarrollar una metodología para la zonificación y evaluación de las potencialidades de la biomasa forestal residual con fines energéticos a nivel de empresa. Esta metodología integra datos, criterios de restricción de manejo, resultados de investigaciones precedentes y herramientas de Sistema de Información Geográfica, lo que permite procesar, analizar y actualizar la información de las áreas forestales y su potencial energético, a partir de los datos generados por la ordenación forestal. La validación de la metodología, en sus tres etapas, se realiza en la empresa agroforestal La Palma, provincia de Pinar del Río. Se determina el 76 % de las áreas con índice de aprovechamiento viable, el cual se clasifica de muy alto el 54,27 %, alto el 0,35 %, y medio el 12,14 %, un potencial de biomasa forestal residual anual de 82 048,94 toneladas y un potencial energético de 22 205 toneladas equivalentes de petróleo. Se definen tres zonas de alto potencial para fines energéticos: zona norte y sur de la Unidad Empresarial de Base Viñales, y la parte sur de La Jagua. Los resultados de la validación de la metodología, muestran su viabilidad, pertinencia y novedad para la gestión de la empresa en lo económico, ambiental y social.

Palabras clave: Biomasa forestal residual; Gestión; Metodología; Potencial energético; Zonificación.

ABSTRACT

The use of forest biomass for energy production represents one of the current alternatives considered by the country for its energy development. However, not all the information on the real potential of this resource is available at the enterprise level, which limits the timely planning of its management and sustainable use. The present work contributes to solve this situation by developing a methodology for the zoning and evaluation of the potential of residual forest biomass for energy purposes at the enterprise level. This methodology integrates data, management restriction criteria, results of previous research and Geographic Information System tools, which allows processing, analyzing and updating information on forest areas and their energy potential, based on data generated by forest management. The validation of the methodology, in its three stages, is carried out in the agroforestry enterprise La Palma, province of Pinar del Río. Seventy-six percent of the areas with a viable harvesting index are determined, 54.27 % of which are classified as very high, 0.35 % as high and 12.14 % as medium, with an annual residual forest biomass potential of 82,048.94 tons and an energy potential of 22,205 tons of oil equivalent. Three zones of high potential for energy purposes are defined: north and south of the Unidad Empresarial de Base Viñales, and the southern part of La Jagua. The results of the validation of the methodology show its viability, relevance and novelty for the company's economic, environmental and social management.



Keywords: Residual forest biomass; Management; Methodology; Energetic potential; zoning.

RESUMO

O uso de biomassa florestal para a produção de energia representa uma das alternativas atuais consideradas pelo país para seu desenvolvimento energético. Entretanto, ainda não há todas as informações disponíveis sobre o real potencial deste recurso em nível de empresa, o que limita o planejamento oportuno de sua gestão e uso sustentável. O presente trabalho contribui para resolver esta situação desenvolvendo uma metodologia para o zoneamento e avaliação do potencial da biomassa florestal residual para fins energéticos a nível empresarial. Esta metodologia integra dados, critérios de restrição do manejo, resultados de pesquisas anteriores e ferramentas do Sistema de Informação Geográfica, o que permite processar, analisar e atualizar informações sobre áreas florestais e seu potencial energético, com base nos dados gerados pelo manejo florestal. A validação da metodologia, em suas três etapas, é realizada na empresa agroflorestal La Palma, na província de Pinar del Río. Setenta e seis por cento das áreas com um índice de colheita viável são determinadas, 54,27 % das quais são classificadas como muito altas, 0,35 % como altas e 12,14 % como médias, com um potencial anual de biomassa florestal residual de 82.048,94 toneladas e um potencial energético de 22.205 toneladas de óleo equivalente. Três áreas de alto potencial para fins energéticos são definidas: norte e sul da Unidade de Negócios da Base Viñales, e a parte sul de La Jagua. Os resultados da validação da metodologia mostram sua viabilidade, relevância e novidade para a gestão da empresa em termos econômicos, ambientais e sociais.

Palavras-chave: Biomassa florestal residual; Manejo; Metodologia; Potencial energético; Zoneamento.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales son la fuente más importante de biomasa lignocelulosa en el mundo. En la mayoría de los casos se valoran fundamentalmente por el volumen de biomasa aprovechable por la industria. De esta forma, hay una cantidad real de biomasa que queda subestimada. Ésta tiene el potencial de ser una importante fuente de energía actual y futura. Se puede transformar en combustible sólido, líquido o gaseoso para sustituir los combustibles fósiles a bajos niveles de inversión y alta rentabilidad (Guyat *et al.*, 2019).

Una solución reconocida a esta problemática es incorporar estos residuos forestales en las cadenas de valor para la bioenergía. La cadena de bioenergía, a partir de biomasa forestal, tiene cuatro eslabones principales: producción de la materia prima; procesos de transformación de ese insumo principal en biocombustible; biocombustible con características y propiedades específicas y finalmente uso de ese biocombustible en la obtención de bioenergía para dar diferentes servicios energéticos, (Curbelo, A. *et al.*, 2020).



Aunque cada eslabón es clave, la producción del insumo principal determina la realización de la cadena. Hacia este eslabón se centra el trabajo desarrollado. Con esta información, la empresa puede evaluar las opciones para su extracción, manipulación, transporte, transformación y la inserción de nuevos productos en la cadena de bioenergía, considerando los costos, ingresos y repercusiones ambientales y sociales.

Las políticas encaminadas al desarrollo energético del país (Consejo de Estado, 2019), las nuevas facilidades en la inversión extranjera y los principios dirigidos a potenciar el aprovechamiento de la biomasa forestal como fuente renovable de energía, con diferentes usos, incluida la producción de energía eléctrica, planteados en la política forestal nacional, abren alternativas para un mayor y mejor aprovechamiento de los recursos forestales.

Sobre la base de estas condiciones y llevando a la par el manejo sostenible de los recursos forestales, se plantea como objetivo de este trabajo: Desarrollar una metodología que contribuya a la planificación, manejo y aprovechamiento de la biomasa forestal residual, en particular con fines energéticos, para el fortalecimiento de las capacidades en la toma de decisiones por las empresas forestales en Cuba. Como parte de la validación de la metodología, se ejemplifica su aplicación en la Empresa Agroforestal La Palma, perteneciente a la provincia de Pinar del Río.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo realizado se basa en el análisis de varias metodologías empleadas para la distribución espacial de biomasa forestal residual, entre ellas las realizadas por Altamirano, A., *et al.*, (2015), Estrada-Torres, D., *et al.*, (2017), Villela-Suárez, JM. *et al.*, (2018) y Hernández-Ramos, J *et al.*, (2020), específicamente para fines energéticos. Estas metodologías coinciden en la utilización de ecuaciones alométricas, sensores remotos y uso de SIG, para obtener mejores resultados. También incluyen factores para la zonificación de las áreas de acuerdo, principalmente, a las condiciones y distribución geográfica de la biomasa, la accesibilidad y las regulaciones legales para el aprovechamiento del recurso.

La metodología que se desarrolla en este trabajo introduce un índice que cuantifica el efecto combinado de factores restrictivos de manejo y que indica la viabilidad de extracción de la biomasa residual, a partir de la representación cartográfica.

Se utiliza como herramienta principal de trabajo el Plan de ordenación forestal a nivel de tenente. Esta herramienta está regulada por un grupo de legislaciones del sector forestal precedidas por la Ley Forestal No 85.

La caracterización energética se realiza sobre la base del cálculo de la energía asociada al poder calórico de las especies de forestales predominantes en cada área. Teniendo en cuenta la dependencia de esta magnitud de la humedad de la biomasa y con el propósito de estandarizar los resultados se utiliza como referencia el valor del poder calórico de cada especie forestal a una humedad del 25 %. Le energía de



la biomasa forestal se expresa finalmente en unidades de toneladas equivalentes de petróleo (tep) para facilitar su comparación con otros combustibles.

En el caso del procesamiento de la información espacial, aun considerando que, en la ordenación forestal se emplea la herramienta de recopilación de información y análisis SIFOMAP, asociada al software GVSIG de plataforma libre, por sus ventajas se utiliza el software QGIS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La metodología desarrollada incorpora tres etapas (Figura 1).



Figura 1. - Esquema metodológico general

A continuación, una descripción general de los rasgos principales de las etapas.

Etapa I. Caracterización

Esta etapa constituye la base informativa, legal y espacial necesaria para el desarrollo de las etapas posteriores. En ella se describen las características físico-geográficas y socioeconómicas del territorio y se incorporan criterios de restricción de manejo de acuerdo a tres aspectos principales: según la legislación vigente, características morfológicas del área y principal infraestructura de accesibilidad al recurso. Se definieron tres factores de restricción para la obtención de estas áreas: grado de pendiente (P) debido a la marcada dependencia geográfica de la biomasa, densidad de camino (DC) de acuerdo a la accesibilidad al recurso y categoría de bosques (CB), como marco regulatorio para el aprovechamiento. Estos no son excluyentes y pueden agregarse o modificarse al existir mejoras de infraestructura, cambios tecnológicos o existir otros intereses del tenente para la evaluación de sus zonas.

Etapa II. Zonificación

Se generan las zonas de distribución geográfica para que el tenente pueda, sin cometer violaciones, centrar su actividad en los lugares con mayores posibilidades de aprovechamiento de los residuos forestales como resultado del manejo forestal.



Con el propósito de cuantificar el efecto de la combinación de los factores restrictivos, se introduce el índice de aprovechamiento (IAv) (Ecuación 1).

$$IAv = (CB - 1) \times (P - 1) \times (DC - 1) \quad (1)$$

Donde:

CB: Categoría de bosque.

P: Pendiente.

DC: Densidad de camino.

Para su cálculo, a los criterios de restricción se le asignan valores de uno (mínimo) a tres (máximo) según la posibilidad real para el aprovechamiento de los residuos y según normas establecidas. Se utiliza como supuestos en la formulación de este índice que, cuando alguno de esos criterios se corresponde con situaciones que no permite el aprovechamiento (valor 1), entonces no es viable la explotación del área y el índice es cero. Estos criterios pueden cambiar en dependencia del cambio tecnológico, de la infraestructura de caminos y de la existencia de biomasa forestal, que están asociados fundamentalmente a decisiones de la empresa, a proyectos de desarrollo en el territorio y también por fenómenos meteorológicos. Además, se considera que todas las restricciones tienen igual peso. Conformándose así, la matriz de índice de aprovechamiento. De forma espacial, se puede representar cada uno de los criterios, diferenciando su valor y finalmente mostrar un mapa de áreas según el índice de aprovechamiento (IAv), clasificado en Muy Alto, Alto, Medio, Bajo y No viable.

Las ecuaciones incorporadas para el cálculo de biomasa se derivan de referencias realizadas por [Guyat et al., \(2019\)](#), [Vidal et al., \(2001\)](#), [Rodríguez et al., \(2018\)](#) y el método basado en densidad de biomasa, determinado por [Brown, S. \(1997\)](#), en los cuales la biomasa del volumen inventariado se calcula a partir del producto del volumen y la densidad de la especie. Los valores de densidad de las especies utilizados fueron tomados de [Guyat et al., 2019](#). Dada la incertidumbre en las realizaciones de las cortas sanitarias, por depender de factores externos, no se tienen en cuenta para la obtención de estos resultados.

Etapa III. Estimación del potencial energético

En esta etapa el potencial de producción de biomasa residual estimado, se expresa en términos del potencial energético que posee para sustituir combustibles derivados del petróleo. Con este fin, se caracteriza desde el punto de vista energético a las especies predominantes en cada rodal, por su densidad y poder calórico, asumiendo una humedad del 25 %.

El cálculo del potencial energético se basa en la multiplicación del poder calórico por la cantidad de biomasa residual estimada en la unidad espacial mínima (el rodal), ([Torres O, y Peña-Cortés, F. 2011](#)). Este potencial energético se expresa en unidades de toneladas equivalente de petróleo (tep). En el caso de la temporalidad con la que se aplique la metodología, depende del período a realizar las actividades planificadas por la empresa, para el caso de la tala, el ciclo de corta establecido según edad del rodal y de igual forma en los tratamientos, por tanto, se realizan los cálculos anualmente y se actualiza la base de datos.



Pinar del Río, resalta por su alto potencial de biomasa, con una disponibilidad de 213,1 Mm³ al cierre de 2015, (Guyat *et al.*, 2019), es así, una de las provincias que mayor potencialidad de generación de biomasa con fines energéticos posee. Se consideró pertinente validar la metodología en una empresa de esta provincia. Se seleccionó la Empresa Agroforestal La Palma, la cual realizó la ordenación forestal para el período 2016-2026.

Aplicación de la metodología en un caso de estudio

La empresa agroforestal La Palma ocupa una superficie total de 82 232 ha. La organización territorial de la Empresa se compone de cuatro unidades empresariales de base silvícola (UEB) Viñales, La Jagua, Los Palacios y Marbajita, que ocupan el 50,5 %, 18,3 %, 15,8 % y 15,4 % del área total de la empresa respectivamente. En la Figura 2, se muestra la representación geográfica de la empresa y sus unidades silvícolas (Figura 2).

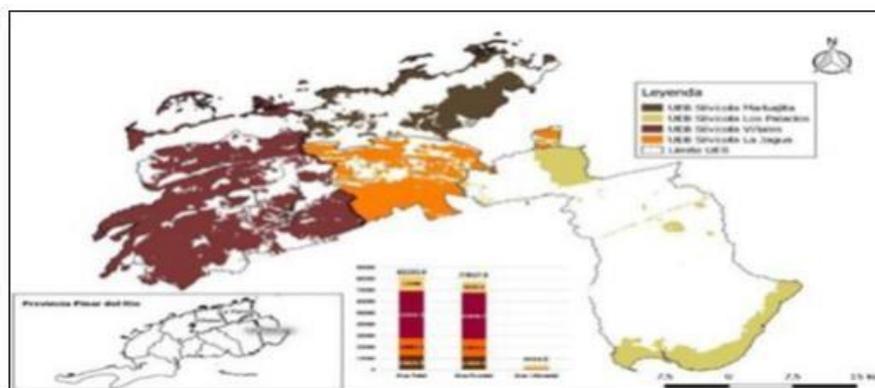


Figura 2. - Localización geográfica de la Empresa Agroforestal La Palma, por UEB Silvícola y área ocupada

La superficie ocupada por categoría de bosque a nivel de empresa ocupa un área de 33 435,8 ha, resalta a los bosques productores, los cuales están representados principalmente por formaciones de encinar y pinar, siendo esta última sobre la que se orienta el desarrollo actual y prospectivo de la empresa. Prácticamente el 81 % de los bosques productores de la empresa están ubicados en áreas de las UEB silvícolas Viñales y La Jagua.

Etapa II. Zonificación

A continuación, los resultados de la etapa de zonificación, considerando sus dos componentes principales, la determinación índice de aprovechamiento y el análisis del potencial de residuos.

Determinación índice de aprovechamiento

Al aplicar la matriz de aprovechamiento en las áreas de la empresa, se generaron zonas potenciales categorizadas según el índice de aprovechamiento (IAV) para cada UEB y empresa (Figura 3).



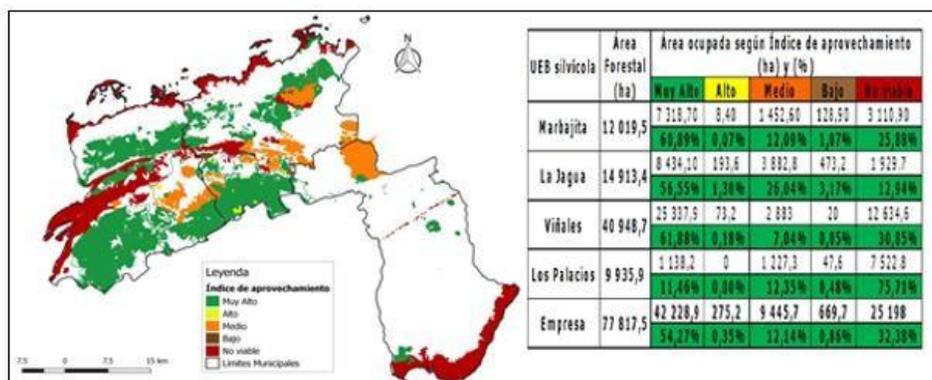


Figura 3. - Área forestal según índice de aprovechamiento (IAv) y distribución geográfica

Del área forestal de la empresa el 54,27 % tiene un nivel muy alto de potencial para ser utilizada como materia prima para la obtención de biocombustibles y coincide mayormente con la formación de pinar. El 76 % de sus áreas están catalogadas con IAv muy alto, alto y medio. Las áreas no viables, 32,38 %, distribuidas principalmente en las zonas litorales.

Para la UEB silvícola Viñales resulta que más del 60 % de sus áreas se catalogan con un IAv muy alto, lo que es razonable según la relación que existe entre el área total y ocupada por bosques productores y el 30,85 % es no viable, asociado al sistema de mogotes con la categoría de manejo especial. La Jagua y Marbajita muestran áreas favorables, tanto al sur como al norte del territorio y específicamente con IAv muy alto el 60,89 y 56,55 % respectivamente. Las zonas no viables corresponden principalmente a la franja perteneciente a la Sierra de los Órganos para La Jagua, y en Marbajita la extensa zona de manglares.

En el caso de Los Palacios, su extensa zona de manglares, categorizados de protector de litoral, así como la franja hidrorreguladora de los afluentes presentes en la zona, elevan las áreas no viables de la UEB a un 75,71 % respecto a su área forestal, lo que indican potencialidades muy bajas de aprovechamiento de biomasa residual, considerando además la distribución distante de las que tienen IAv muy alto.

Análisis del potencial de residuos

Con respecto a la obtención del potencial de biomasa residual el 32,13 % de las áreas forestales no pudo ser consideradas en este análisis, ya que existen zonas donde los rodales no tienen toda la información, ya que la misma hace referencia a los datos actuales de las áreas en el momento de concluido todo el trabajo de la ordenación. Por tanto, la base de datos se irá actualizando de acuerdo a las actividades planificadas a realizar en el bosque anualmente. En la Figura 4, se muestra la distribución de las áreas no evaluadas por UEB y a nivel de empresa. Es positivo que solo el 15,10 % de las áreas no evaluadas a nivel de empresa tienen un IAv muy alto, siendo en este sentido la UEB más afectada Marbajita con un 40,49 %. El 66,78 % del área no evaluada a nivel de empresa tiene un IAv no viable, y



para Viñales y Los Palacios esta relación es de 90,91 % y 83,73 % respectivamente (Figura 4).

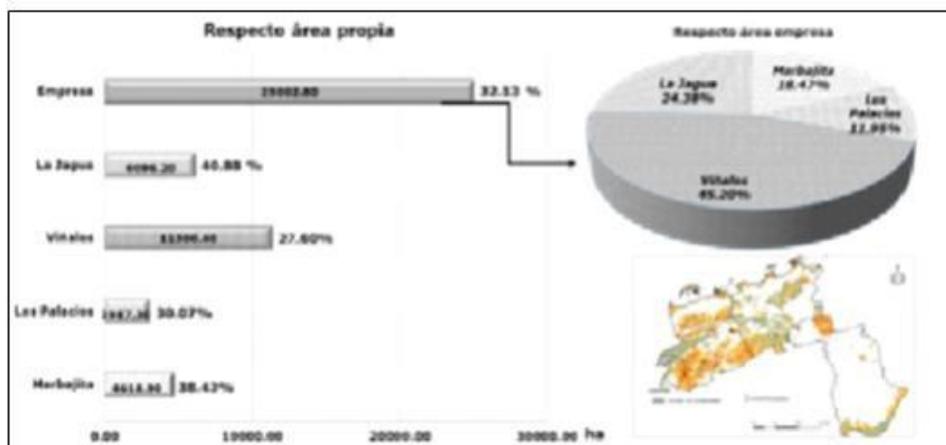


Figura 4. - Área forestal no evaluada en el análisis de potencial de residuos forestales, a nivel Empresa y por UEB silvícola

El área evaluada de la empresa alcanza al 67,86% que incluyen al 87 % de los bosques productores y el 91% de las áreas con índice de aprovechamiento muy alto. La tendencia para la zona no evaluada se incrementa según clasificación del IAv bajo y no viable (Figura 5), que están asociado fundamentalmente a bosques de manejo especial, protector de flora y fauna y otros bosques protectores. No obstante, la empresa como parte de su estrategia deberá considerar en sus acciones el completamiento sistemático de las bases de datos, como vía de aprovechar la biomasa residual disponible en zonas como por ejemplo con IAv alto y medio.

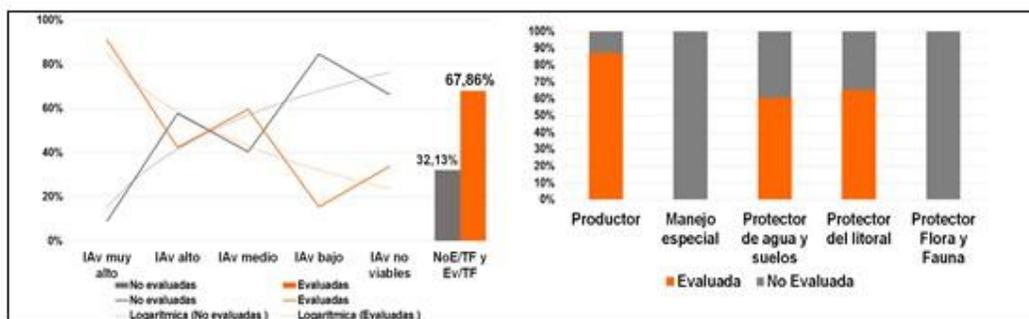


Figura 5. - Área forestal (TF) de la Empresa, evaluada (Ev) y no evaluada (NEv) en el análisis de potencial de residuos forestales, según IAv y clasificación de bosques

Basado en el ordenamiento, se puede estimar que, para las áreas evaluadas la empresa tiene un potencial de 82 048,94t de biomasa residual anual. Este valor se irá actualizando anualmente en la base de datos, al aplicar nuevamente la metodología, de acuerdo a las actividades recomendadas para cada año del período. En la Figura 6, se muestra la distribución de esta estimación a nivel de Empresa y UEB silvícola en las áreas evaluadas, considerando el índice de aprovechamiento (Figura 6).



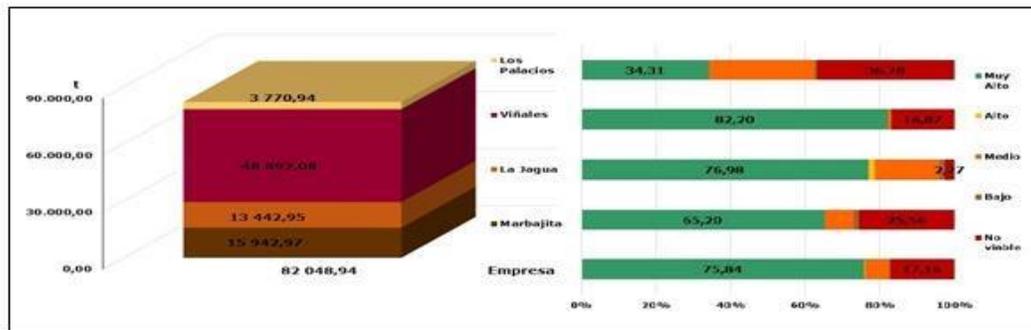


Figura 6.- Biomasa residual estimada (anual) a nivel de empresa y UEB silvícola y por IAv, en áreas evaluadas

El 75,84 % del potencial de biomasa residual estimado para la empresa, se ubican en las zonas categorizadas con IAv muy alto. La UEB silvícola Viñales aporta el mayor potencial de biomasa residual a nivel de empresa (48 892,08 t), y con respecto a su propia área forestal el 82,20 % este potencial está en áreas con IAv muy alto. El caso de la UEB silvícola La Jagua es interesante, ya que siendo un potencial 3.6 veces menor que el de Viñales, solo el 2,77 % se ubica en zonas con IAv no viable.

En el caso de los rodales con una significativa presencia de potencial residual, el 76 % pertenecen a la categoría de bosques productores, concentrados principalmente en todo el sur de la UEB Viñales y parte de UEB La Jagua. Los valores más representativos están en el rango menor de 4 t/ha, (Figura 7), presentes en esas zonas, antes mencionadas y a todo lo largo de la vertiente norte de la cadena de mogotes, donde se evidencian rodales con valores mayor, que pueden llegar a 8 t/ha.

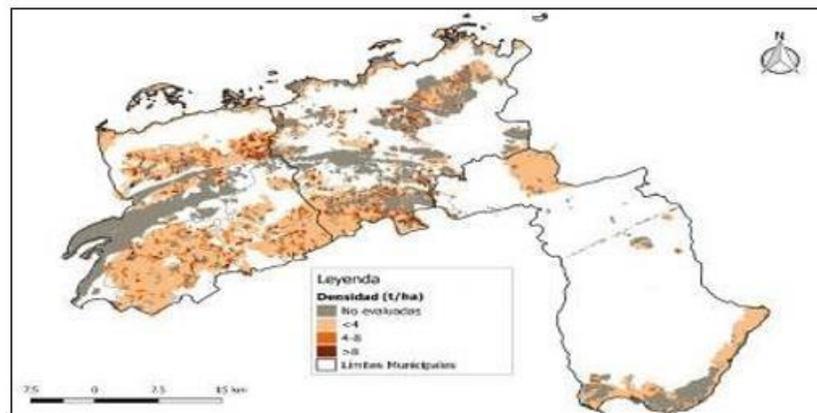


Figura 7. - Valor medio, densidad de biomasa residual estimada (t/ha) en las áreas evaluadas

Etapa III. Potencial energético

En esta etapa y final de la metodología, se caracteriza energéticamente las especies predominantes por rodal y se estima el potencial energético en tep.



Caracterización energética de las especies predominantes

Fueron calculados los valores de poder calórico a un 25 % de humedad, considerando lo reportado para la biomasa forestal seca de pino, de latifolia y forestal general como 21,52, 18,67 y 18,84 MJ/kg respectivamente (Guyat, M. et al., 2019). Con estos valores se pueden realizar los cálculos correspondientes, de acuerdo al grupo de especie predominante del rodal. En el caso de la empresa predominan principalmente los de pino.

Estimación del potencial energético

En la Figura 8, está representado lo calculado según biomasa residual anual, para cada UEB silvícola y Empresa. La línea negra discontinua señala los valores máximos posibles. El valor estimado calculado para la empresa en su conjunto es de 22 205 tep, concentrado en un 76 % en zonas con IAv muy alto y el 65 % en la UEB silvícola Viñales. En la UEB Los Palacios, tiene un potencial muy bajo y el valor más alto, 375.40 tep, se obtiene para zonas con IAv no viable. La Jagua, aunque con potencial energético total menor que el de Marbajita, con respecto a su área forestal evaluada, concentra el 77 % en zonas con IAv muy alto y respecto a la empresa, esas zonas aportan el 26 % (Figura 8).

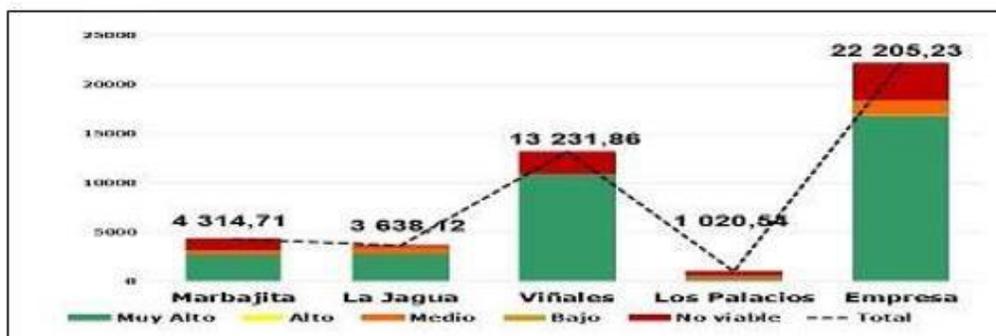


Figura 8. - Potencial energético (tep) calculado para cada UEB silvícola y Empresa según zonas clasificadas por el Índice de Aprovechamiento (IAv)

Estos resultados reafirman, la necesidad de aprovechar este potencial energético en la sustitución de petróleo. A manera de ejemplo se toman los valores estimamos para la segunda edición³ del Atlas de Bioenergía (Curbelo, A. al., 2018), que indican, que, para la Provincia de Pinar del Río, se necesitan 1 271,6 t/año de diésel para cubrir las siguientes actividades de la industria alimentaria: cárnico: 419,9 t/año, lácteo 760,7 t/año y pan 90,0 t/año. En caso de fuel oíl se estima para el cárnico 306 t/año.

En la Figura 9 se muestra el potencial energético por rodal del área de estudio, donde los rodales con mayores valores pertenecen principalmente a bosques productores, con la formación de pinar como grupo de especie predominante. De las áreas definidas el 67,6 % están en el rango menor de 10 tep. La mayor zona de concentración es en todo el sur del municipio Viñales, perteneciente a la UEB de igual nombre, que continúa extendiéndose a áreas de la UEB La Jagua. Estos resultados refuerzan que coinciden las áreas de mayor potencial a ser explotadas por la empresa, con las potencialidades energéticas de los residuos que se generan.



A pesar de que las áreas con mayores valores se ubican en parte del noreste y sureste de la UEB Los Palacios, la baja disponibilidad de áreas, su distancia y en algunos casos baja accesibilidad, sitúan a esta UEB, como la de menor probabilidad para el aprovechamiento energético de biomasa forestal residual (Figura 9).

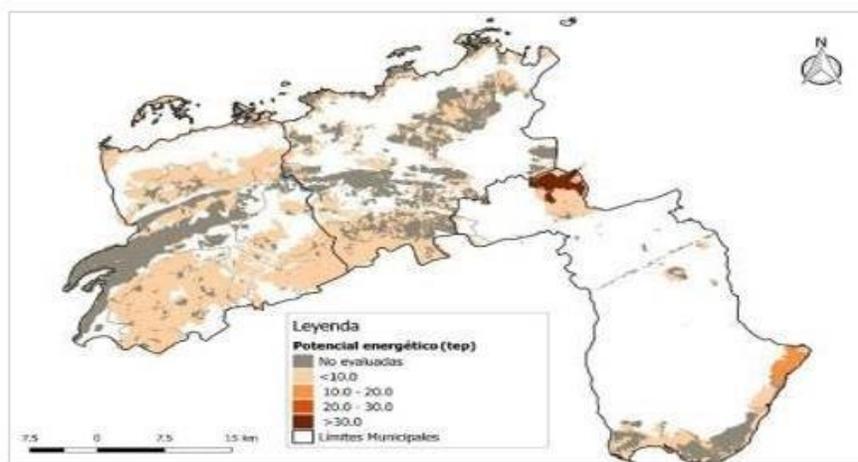


Figura 9. - Potencial energético por rodal

La UEB Viñales es la estructura administrativa con mayor potencial en todos los aspectos evaluados: índice de aprovechamiento, potencial de biomasa residual y potencial energético, lo que posibilita la creación de centros de acopio y menores costos en el transporte. La UEB Los Palacios, es la de menores posibilidades de aprovechamiento, debido mayormente a la distancia entre sus áreas y la accesibilidad.

CONCLUSIONES

La metodología desarrollada es factible para la planificación, manejo y aprovechamiento de la biomasa forestal residual con fines energéticos en la empresa forestal cubana. En la misma se introducen indicadores de potencial de residuos, energético y el índice de aprovechamiento que permiten identificar y clasificar zonas viables.

La aplicación de la metodología en la EAF "La Palma" determina que el 75.84 % del potencial de biomasa residual anual, estimado para la empresa, se ubican en las zonas categorizadas con IAv muy alto y el potencial energético anual es de 22 205, 23 tep, lo que representa una ventaja para la formulación de estrategias de gestión y aprovechamiento.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTAMIRANO, A., SCHLEGEL, B., THIERS, Ó., MIRANDA, A., PILQUINAO, B., ORREGO, R., Y ROCHA, C. 2015. Disponibilidad y potencial energético de la biomasa del bosque nativo para el desarrollo de la dendroenergía en el centro-sur de Chile. *Bosque*, vol 36 no. 2, pp 223-237. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173141111008>
- BROWN, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Department of Natural Resources and Environmental Sciences. University of Illinois, Urbana, Illinois, USA. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e07.htm#TopOfPage>
- CURBELO, A. et al. 2020. Oportunidades y limitaciones para el desarrollo de la Bioenergía por pequeños y medianos productores agrícolas. Informe, documento del Proyecto Bioenergía (GEF-PNUD), Cubaenergía y Estación Experimental Indio Hatuey. La Habana, 40 pp. CURBELO, A. et al. 2018. Atlas de Bioenergía de Cuba. Sector Agropecuario y Forestal. Versión preliminar. CUBAENERGIA. ISBN 978 959 7231 07 3.
- ESTRADA-TORRES, D., ORDÓÑEZ-PRADO, C., BUENDÍA-RODRÍGUEZ, E., Y ÁGUILARSÁNCHEZ, P. 2017. Determinación de áreas aptas para el aprovechamiento de Biomasa Forestal Residual en la Umafor 1008: "El Salto", Durango, México. *Revista de Aplicación Científica y Técnica*, 1. Disponible en https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica/vol3num9/Revista_de_Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica_V3_N9.pdf#page=8
- GUYAT- DUPUY, MARÍA A., PLÁ-DUPOUÉL, MANUEL Y ARANGO-HERNANDEZ, MIRTA. 2019. Evaluación de la biomasa disponible para la generación de energía en Cuba. *Revista Forestal Baracoa* vol. 38 no. 2, mayo/agosto 2019, pp. 712. Disponible en <https://doi.org/10.5281/zenodo.4632274>
- HERNÁNDEZ-RAMOS, JONATHAN, GARCÍA-CUEVAS, XAVIER, PERÉZ-MIRANDA, RAMIRO, GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, ANTONIO, Y MARTINEZ-ÁNGEL, LUIS. 2020. Inventario y mapeo de variables forestales mediante sensores remotos en el estado de Quintana Roo, México. *Madera y bosques*, vol. 26 no. 1, e2611884. Epub 30 de junio de 2020. Disponible en <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611884>
- RODRÍGUEZ, MAINOR, ARIAS, DAGOBERTO, VALVERDE, JUAN CARLOS, Y CAMACHO, DIEGO. 2018. Ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa arbórea a partir de residuos de plantaciones de *Gmelina arborea* Roxb. y *Tectona grandis* L.f. en Guanacaste, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 15 (Supl. 1), pp 61-68. Epub 19 de julio de 2019. Disponible en <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/3723>
- TORRES-ÁLVAREZ, OSCAR, Y PEÑA-CORTÉS, FERNANDO. 2011. Zonificación del potencial energético de la biomasa residual forestal en la cuenca del lago Ranco, Chile: Antecedentes para la planificación energética regional. *Bosque* (Valdivia), vol. 32 no. 1, pp. 77-84. Disponible en <https://dx.doi.org/10.4067/S071792002011000100009>



VIDAL, A. et al., 2001. Compendio de tablas para el pronóstico de Biomasa de Copa de Especies Forestales para diversos fines Económicos y Ambientales. Instituto de Investigaciones Agroforestales, La Habana, Cuba.

VILLELA-SUÁREZ, JUAN MARTÍN, AGUIRRE-CALDERÓN, OSCAR ALBERTO, TREVIÑO GARZA, EDUARDO JAVIER, Y VARGAS-LARRETA, BENEDICTO. 2018. Disponibilidad de residuos forestales y su potencial para la generación de energía en los bosques templados de El Salto, Durango. Madera y bosques, vol. 24 no. 3, e2431529. Epub 01 de noviembre de 2018 Disponible en <https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/e2431529>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Laritz Daylen Zequeira Pérez: Concepción de la idea, búsqueda y revisión de literatura, confección de instrumentos, aplicación de instrumentos, recopilación de la información resultado de los instrumentos aplicados, análisis estadístico, confección de tablas, gráficos e imágenes, confección de base de datos, asesoramiento general por la temática abordada, redacción del original (primera versión), revisión y versión final del artículo, corrección del artículo, coordinador de la autoría, traducción de términos o información obtenida, revisión de la aplicación de la norma bibliográfica aplicada.

Bárbara Idalmis Garea Moreda: Concepción de la idea, búsqueda y revisión de literatura, confección de instrumentos, aplicación de instrumentos, recopilación de la información resultado de los instrumentos aplicados, análisis estadístico, confección de tablas, gráficos e imágenes, confección de base de datos, asesoramiento general por la temática abordada, redacción del original (primera versión), revisión y versión final del artículo, corrección del artículo, coordinador de la autoría, traducción de términos o información obtenida, revisión de la aplicación de la norma bibliográfica aplicada.

Alfredo José Curbelo Alonso: Concepción de la idea, búsqueda y revisión de literatura, confección de instrumentos, aplicación de instrumentos, recopilación de la información resultado de los instrumentos aplicados, análisis estadístico, confección de tablas, gráficos e imágenes, confección de base de datos, asesoramiento general por la temática abordada, redacción del original (primera versión), revisión y versión final del artículo, corrección del artículo, coordinador de la autoría, traducción de términos o información obtenida, revisión de la aplicación de la norma bibliográfica aplicada.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional. Copyright (c) 2021 Laritz Daylen Zequeira Pérez, Bárbara Idalmis Garea Moreda, Alfredo José Curbelo Alonso

