



PRONOSTICO DE BIOMASA DE COPA APROVECHABLE DE *PINUS CARIBAEA* POR M³ DE MADERA DE FUSTE ACOPIADA

FORECAST OF USABLE CANOPY BIOMASS OF *PINUS CARIBAEA* PER M³ OF STEM WOOD COLLECTED

ALBERTO MAXIMILIANO VIDAL CORONA^{1*}, ROLANDO QUERT², GERÓNIMO FERNANDO AVILÉS MARTÍNEZ³,
WILMER TOIRAC ARGUELLEZ⁴, ALEKSEY ROSABAL QUINTANA⁵

¹Unidad Científico Tecnológica de Base Estación Experimental Agro-Forestal Camagüey, Camagüey, Cuba.

²Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, La Habana, Cuba. E-mail: rquert@forestales.co.cu

³Unidad Científico Tecnológica de Base Estación Experimental Agro-Forestal Camagüey, Camagüey, Cuba.

⁴Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, La Habana, Cuba. E-mail: wilmer@forestales.co.cu

⁵Universidad de Granma, Granma, Cuba. E-mail: arosabalq@udg.co.cu

*Autor para la correspondencia: alberto.vidal@inaf.cmg.minag.cu

RESUMEN

La cuantificación de la biomasa forestal aprovechable es esencial para optimizar su uso como recurso energético y promover prácticas forestales sostenibles. Este estudio tuvo como objetivo pronosticar la biomasa de copa de *Pinus caribaea* por m³ de madera de fuste acopiada, además de diseñar una tecnología adecuada para su aprovechamiento. Se evaluaron áreas forestales en suelos Ferralíticos Cuarcíticos, con métodos cuantitativos-cualitativos y herramientas como forcípulas, balanzas y modelos de recolección. Los datos se procesaron con STATGRAPHICS Plus 5.1, mediante tablas de volumen y biomasa preestablecidas. Los resultados mostraron que por cada m³ de madera acopiada se obtuvieron 87,0 kg de ramas, 54,7 kg de manojos y 42,5 kg de acículas, con errores de muestreo inferiores al 10%. La tecnología propuesta incluyó adaptaciones a carretas-remolques para transportar la biomasa, con la integración de tres obreros adicionales en las brigadas extractivas. Se concluyó que estos valores son indicadores confiables para estimar la biomasa aprovechable, y que la tecnología diseñada es viable para su implementación en condiciones reales, lo que contribuye al uso energético e industrial de los residuos forestales.

Palabras clave: energía, sostenibilidad, residuos, transporte, adaptación

INTRODUCCIÓN

La estimación del potencial medio de biomasa foliar y biomasa maderable de madera de fuste es fundamental para su uso como portador energético. La biomasa foliar y maderable del fuste, al ser cuantificada, permite evaluar su viabilidad como recurso energético renovable, ya sea mediante combustión directa, producción de biocombustibles

ABSTRACT

Quantifying harvestable forest biomass is essential to optimize its use as an energy resource and promote sustainable forestry practices. This study aimed to predict *Pinus caribaea* crown biomass per m³ of harvested stem wood, in addition to designing an appropriate technology for its harvesting. Forest areas on quartzite ferralitic soils were evaluated using quantitative and qualitative methods and tools such as calipers, scales, and harvesting models. The data were processed with STATGRAPHICS Plus 5.1, using predefined volume and biomass tables. The results showed that for each m³ of harvested wood, 87.0 kg of branches, 54.7 kg of bunches, and 42.5 kg of needles were obtained, with sampling errors of less than 10%. The proposed technology included adaptations to trailers and carts to transport biomass, integrating three additional workers into the extraction crews. It was concluded that these values are reliable indicators for estimating harvestable biomass, and that the designed technology is viable for implementation in real-world conditions, contributing to the energy and industrial use of forest residues.

Keywords: energy, sustainability, waste, transportation, adaptation

o generación de bioenergía. Una estimación precisa de estos componentes no solo optimiza el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales, sino que también contribuye a la economía circular, lo que reduce el impacto ambiental y promueve alternativas verdes frente a los combustibles fósiles. Así, este análisis integral fortalece estrategias de manejo forestal sostenible y diversifica las aplicaciones de la biomasa en sectores industriales y energéticos.

Recibido: 18/4/2020

Aceptado: 29/5/2020

Conflictos de interés: Los autores declaran no existir conflictos de intereses.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Según Bailey (1970), el conocimiento del potencial de residuos en áreas completamente taladas es esencial para supervisar y monitorear adecuadamente las zonas aprovechadas. Además, este conocimiento permite planificar el uso integral de dichas áreas con diferentes fines. En Cuba, los estudios sobre el pronóstico de biomasa forestal para su aprovechamiento destacan los realizados por el Instituto de Investigaciones Agro-Forestales durante más de tres décadas.

Estas investigaciones se han centrado en especies como *Pinus caribaea* y *Pinus tropicalis* (Vidal, 1995; Vidal et al., 2017a; Vidal et al., 2017b); *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell (Rodríguez, 1999); *Casuarina equisetifolia* Forst (Benítez, 2007) y *Pinus maestrensis* Bisse (Toirac, 2014). Los resultados obtenidos en estos trabajos han sido fundamentales para el desarrollo de metodologías aplicables en la producción forestal.

Los resultados mencionados se integraron e implementaron mediante el “Método Multipropósito de Estimación de Biomasa de Copa para diversos fines Económicos y Ambientales” (Vidal et al., 2011; Vidal et al., 2017b). Este método incluye las especies de mayor relevancia económica dentro de los Planes de Desarrollo del Sector Forestal a nivel nacional. Permite calcular la biomasa en pie, las pérdidas durante el proceso tecnológico de aprovechamiento y estimar la biomasa aprovechable para distintos usos.

En la práctica, el método requiere compatibilizarse con las cifras directivas de los Planes Operativos de aprovechamiento forestal de las Empresas Agro-Forestales. Esta compatibilización debe extenderse hasta la unidad productiva más pequeña, que es la brigada de aprovechamiento. De esta manera, es posible ajustar el potencial de biomasa foliar aprovechable generado por la extracción diaria de madera con la capacidad de asimilación diaria requerida por la planta procesadora.

La combinación de estos elementos, junto con el estudio de la demanda del producto en el mercado, permite definir el tamaño óptimo de cualquier planta procesadora de follaje. Este enfoque garantiza que la adquisición de tecnología para la obtención de extracto alcohólico bioactivo y aceites esenciales sea eficiente y sostenible.

Según a lo antes expuesto, el presente estudio tiene como objetivos principales definir la biomasa aprovechable de copa de *Pinus caribaea* obtenida por metro cúbico de madera extraída y acopiada diariamente. Además, busca diseñar una tecnología adecuada para su aprovechamiento y entrega a las plantas procesadoras proyectadas. Este diseño debe adaptarse al nivel actual de mecanización existente en las Empresas Agroforestales de los municipios estudiados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones experimentales

El área objeto de estudio se localiza en suelos Ferralíticos Cuarcíticos Amarillo Rojizos Lixiviados, con una altitud entre

150 y 160 m.s.n.m. La zona presenta un relieve accidentado, un régimen de precipitaciones de 1765-1780 mm y una temperatura media anual de 25 °C (Hernández, 1975). Las principales características técnicas y tecnológicas de las áreas evaluadas se establecieron según las directrices del *Manual de Procedimiento para el Aprovechamiento de Impacto Reducido de los Bosques de Cuba* (García et al., 2012):

- Categoría de bosque: Productor
- Formación boscosa: Pinar
- Plantación y/o Bosque natural: Plantación
- Composición arbórea: 10 Pc
- Tipo de relieve: Accidentado
- Tipo de suelo en base a su capacidad de carga: Bueno
- Clasificación del terreno por su rugosidad: Muy fino
- Tipo de suelo en base a su resistencia: Resistentes
- Distancia media de acopio de la madera: 210 m
- Pendiente media del área: 20%
- Método de entrega de la madera a la industria: fustes enteros
- Método de entrega de la biomasa foliar de copa a la planta: Manojos fasciculares

Cuantificación de la biomasa aprovechable de copa de *Pinus caribaea* var. en función de la tecnología empleada

Materiales

Se utilizaron cintas métricas de 25 metros de largo, forcípulas, pie de rey y una balanza con capacidad de 50 kg. También se emplearon mantas de sacos de yute, tablillas y modelos para la recolección de datos de campo. Los datos se procesaron mediante sistemas automatizados de cómputo para asegurar precisión y eficiencia.

Método

El estudio analizó el proceso de acopio de árboles enteros por jornadas, desde la recolección en las áreas de tala hasta su traslado al acopiadero superior. Para este fin, se usó un tractor acopiador de esteras. El número de jornadas evaluadas se calculó mediante la fórmula:

$$N = (Cv \cdot t)^2 / E^2$$

donde: N= Número de jornadas necesarias a evaluar; Cv= Coeficiente de variación; t= Valor de Student para un nivel de significación del 90 % y E= Error máximo admisible propuesto del 10 %.

El procesamiento de los datos se realizó de forma automatizada con el programa estadístico STATGRAPHICS Plus, versión 5.1. El objetivo principal fue determinar la biomasa de copa que llega al acopiadero superior por jornada y por m³ de madera de fuste acopiada. Esto permitió establecer indicadores para estimar la biomasa a partir de los volúmenes diarios producidos por las brigadas de aprovechamiento.

Se aplicó el método cuantitativo-cualitativo de Vidal (1995), considerando variables como el tamaño de muestra requerido, nivel medio de la productividad en el acopio diario de la madera de fuste en el acopiadero superior, número de árboles por paquetes, número de paquetes, número de jornadas, número de paquetes por jornadas, diámetro medio de los árboles por paquete, longitud media de los árboles por paquete, volumen total de madera de fuste acopiada por jornada, volumen total de madera de fuste acopiada por paquete, peso y por ciento total de ramas por jornada y por rangos diamétricos, peso total de acículas por jornada, peso total de manojos por jornada, ramas por m³ de madera total de fuste acopiado, acículas por m³ de madera total de fuste acopiado, manojos / m³ de madera total de fuste acopiado, contenido de la masa maderable y de la masa foliar de los manojos y su relación masa foliar-masa maderable, masa volumétricas de las ramas y la masa volumétrica de los manojos.

El volumen de madera del fuste se calculó con las tablas de Gra et al. (1990), mientras que la biomasa de copa en pie se estimó mediante las tablas de Vidal et al. (2011) y (Vidal et al. 2017a). El volumen de madera del fuste se calculó con las tablas de (Vidal et al. 2017b). Estos métodos aseguraron una cuantificación precisa y reproducible de los componentes evaluados.

Propuesta de Tecnología para el aprovechamiento madera-biomasa de copa

Materiales

Los elementos básicos empleados para el diseño de la tecnología de aprovechamiento de esta materia prima incluyeron el Plan Operativo 2017 de las Empresas Agro-Forestales La Palma, Minas de Matahambre y Guanés. También se consideraron las cartas tecnológicas correspondientes y el listado del parque de maquinarias e implementos disponibles en dichas empresas. Estos documentos proporcionaron la información necesaria para establecer las bases del diseño tecnológico.

Método

Los materiales citados se analizaron para determinar las características edafoclimáticas en las que se realiza el aprovechamiento. Además, se evaluó el nivel de mecanización y el nivel medio diario de entrega de madera de fuste a la industria. Este estudio permitió adaptar la tecnología a las condiciones específicas de las empresas agroforestales.

La tecnología propuesta requiere modificar las carretas agrícolas tradicionales comercializadas en el país para transportar el follaje en forma de manojos fasciculares hasta la planta designada. Para ello, se diseñó en la Unidad Científico-técnica de base Estación Agroforestal de Camagüey una carreta-remolque con características similares a la fabricada por IMECA. La estructura se adaptó a las condiciones reales de trabajo en la actividad agroforestal.

La propuesta concreta se basa en los siguientes aspectos:

Primero

La carreta-remolque debe fabricarse con las mismas dimensiones de alto, ancho y largo que el modelo de IMECA. Sin embargo, se incorporará una tapa trasera basculante para evitar el derrame del material foliar durante el transporte. Esta modificación garantiza una mayor eficiencia en la manipulación de la biomasa.

Segundo

Se instalará un balcón para facilitar la carga manual de los contenedores llenos de manojos fasciculares. Este balcón podrá cerrarse una vez finalizada la operación, manteniendo un despeje mínimo de 40 cm entre su base y el NTN. El diseño optimiza el proceso de carga y descarga sin comprometer la seguridad.

Tercero

El sistema de volteo se sujetará en la parte frontal delantera de la carreta. Esta disposición reduce la distancia de recorrido de líquidos, mangueras, tuberías, válvulas y otros componentes. Como resultado, se logra un mayor control y eficiencia técnico-explotativa al acercar estos elementos a la bomba y al sistema de control.

RESULTADOS

Cuantificación de la biomasa aprovechable de copa de *Pinus caribaea*, en función de la tecnología empleada

La tecnología de aprovechamiento empleada en las empresas objeto de estudio se caracteriza por la entrega a la industria de fustes enteros. Se alcanza una productividad promedio de 17,2 m³ por jornada, lo que equivale a 1491,0 kg de ramas, 934,7 kg de manojos y 722,9 kg de acículas. Estos valores representan 87,0 kg de ramas, 54,7 kg de manojos y 42,5 kg de acículas por cada m³ de madera de fuste.

El contenido medio de masa maderable de los manojos es de 22,1%, mientras que el contenido medio de masa foliar alcanza un 77,9%. La relación media entre masa foliar y masa maderable es de 3,5. Estos datos reflejan la composición predominante de los residuos de copa y su potencial aprovechamiento.

El error medio de muestreo obtenido para cada uno de los parámetros evaluados fue inferior al 10% proyectado, con un rango entre 0,8% y 8,47%. En el caso específico de la biomasa foliar por m³ de madera de fuste acopiado en el acopiadero superior, el error fue de 3,2%. Estos resultados demuestran la precisión del análisis realizado (ver Anexo 1). Vidal (1995) obtuvo hallazgos similares en las localidades de Minas de Matahambre, Viñales y Guane, en la provincia de Pinar del Río.

Los residuos maderables de copa de *P. caribaea* presentan una buena aptitud para la fabricación de aglomerados

con cemento, destinados a la construcción de viviendas (Velázquez et al., 2018). Además, son adecuados para la elaboración de carbón vegetal (Guyat et al., 2018). Estos usos alternativos incrementan el valor económico y la sostenibilidad del aprovechamiento forestal.

Propuesta de Tecnología para el aprovechamiento madera-biomasa de copa

La tala de los árboles se realiza con motosierra Stihl, operada por un motosierrista y su ayudante. Posteriormente, los árboles enteros se acopian en paquetes hasta el acopiadero superior, con tractores acopiadores de esteras como el TDT-55 A o el TT4M, entre otros similares. Este proceso requiere un operador y dos ayudantes (Anexo 3).

El desrame de los árboles enteros se efectúa en el acopiadero superior, también con motosierra Stihl, a cargo de un operador. Los manojos fasciculares se preparan con machete, se envasan en contenedores de 30 kg de capacidad y se cargan manualmente en la carreta del tractor. Para esta etapa, se incorporan dos obreros adicionales a la brigada extractiva (Anexo 3).

El cargue de los paquetes de fustes enteros a los camiones se realiza en el acopiadero superior, con tractores cargadores frontales como el PL-2 u otros equivalentes, con un operador. La transportación de los fustes hacia la industria se lleva a cabo con camiones MAZ 509 y remolques TMZ 9381, manejados por un operador (Anexo 3).

La transportación de los manojos fasciculares y las ramas hasta la planta procesadora se efectúa en carretas-remolques tiradas por tractores sobre neumáticos. Esta operación requiere un operador adicional de tractor. La brigada propuesta puede gestionar tanto el aprovechamiento de la madera como el de la biomasa de copa (Anexo 3).

Para implementar este sistema, es posible incorporar tres obreros adicionales a la estructura tradicional de las brigadas extractivas de madera en la provincia. Otra alternativa consiste en formar una brigada independiente dedicada exclusivamente al aprovechamiento y entrega de manojos y ramas una vez finalizada la extracción del fuste. En ambos casos, la brigada debe incluir un tractor sobre neumáticos con dos carretas-remolques: una para los manojos y otra para las ramas (Figura 1).

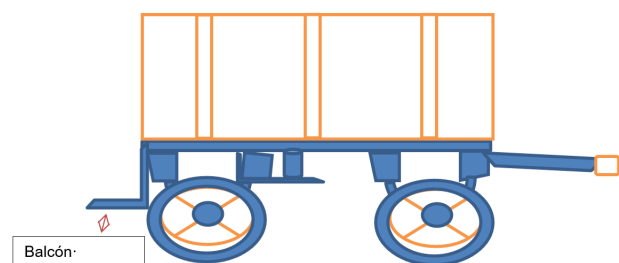


Figura 1. Carreta para follaje (Tracción Mecanizada y Sistema de levante Hidráulico).

CONCLUSIONES

1. La biomasa media maderable de copa, de manojos y foliar aprovechable de *Pinus caribaea*, obtenidas por metro cúbico de madera de fuste acopiada en el acopiadero superior diariamente por parte de las brigadas de aprovechamiento forestal resultó de 87,0 Kg; 54,7 Kg y 42,5 Kg, respectivamente.
2. Las cifras descritas anteriormente pueden ser empleadas como indicadores técnicos confiables para la estimación de estas biomásas, a partir del conocimiento de los m³ de madera de fuste que las brigadas de aprovechamiento alcanzan diariamente, como promedio.
3. La tecnología propuesta, en sus dos variantes, es adecuada para el aprovechamiento de la biomasa foliar de copa para la obtención de aceites esenciales y extracto alcohólico bioactivo, en función con el nivel actual de mecanización existente.
4. Las adaptaciones propuestas efectuar a la carreta-remolque producida por IMECA para la transportación de los manojos fasciculares y de la biomasa maderable de copa hasta las plantas de procesamiento son de fácil ejecución en cualquier taller de la provincia.
5. La biomasa maderable de copa, material residual obtenido en el aprovechamiento del follaje, puede emplearse como parte del potencial de portadores energéticos requerido por la planta propuesta para la obtención de extracto alcohólico bioactivo y aceites esenciales.

BIBLIOGRAFÍA

- Bailey, G. R. (1970). A Simplified Method of Sampling Logging Residue. *The Forestry Chronicle*, 46(4), 288-303. <https://doi.org/10.5558/tfc46288-4>
- Benítez, J. Y. (2007). *Estimación de la biomasa total en plantaciones de Casuarina equisetifolia Forst, de la provincia Camagüey, Cuba* [PhD Thesis, Universidad de Pinar del Río]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=114209>
- García, J. M., Vidal, A., Herrero, J. A., & Bautista, E. (2012). Manual de Procedimiento para el aprovechamiento de impacto reducido de los bosques de Cuba. *Proyecto "Desarrollo del Sector Forestal en Cuba". La Habana. Dirección Forestal.*
- Gra, H., Vidal, A. M., Montalvo, J. M., & Nacimiento, J. (1990). *Tablas dasométricas de Pinus caribaea* (p. 28) [Informe técnico]. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales.
- Guyat, M. A., Vidal, A. M., & Rodríguez, J. (2018). Biomasa de copa de *Pinus caribaea* var. *Caribaea* para la Producción de carbón vegetal. *Informe técnico. La Habana. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales*, 42.
- Hernández, A. (1975). II Clasificación genética de los suelos de Cuba. *Agricultura*, 3(1), 47-69.

- Rodríguez, J. (1999). *La estimación de la biomasa verde de copa de Eucalyptus saligna Smith y Eucalyptus Pellita F. Muell* [Tesis presentada en Opción al Grado Científico de Master en Ciencias]. Universidad de Pinar del Río.
- Toirac, W. (2014). *Estimación de la biomasa aérea total, carbono y nitrógeno retenido en plantaciones de PinusmaestrensisBisse en la provincia Granma* [PhD Thesis]. Tesis presentada (en opción al grado Científico de Doctor en Ciencias
- Velázquez, D., Vidal, A. M., & Rodríguez, J. (2018). *Biomassa de copa de Pinus caribaea var. Caribaea para la Producción de aglomerados con cemento* (p. 42). Instituto de Investigaciones Agro-Forestales.
- Vidal, A. (1995). *Estudio de las posibilidades de aprovechamiento de la biomasa de copa de coníferas de la provincia Pinar del Río* [Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales)]. Universidad de Pinar del Río.
- Vidal, A., Benítez, J. Y., Carlos, R., & Gra, H. (2017). Estimación de la biomasa de copa para árboles en pie de *Pinus caribaea* var. *Caribaea* en la EFI La Palma de la provincia de Pinar del Río, Cuba. *Revista Forestal Baracoa*, 60-66.
- Vidal, A. M., Toirac, W., & Rodríguez, J. (2017a). *Estimación de la biomasa de copa para árboles en pie de Pinus tropicalis Morelet*. Inédito.
- Vidal, A. M., Toirac, W., & Rodríguez, J. (2017b). Método multipropósito de estimación de biomasa de copa de especies forestales para diversos fines. *Memorias 7 Congreso Forestal de Cuba*.
- Vidal, A., Rodríguez, J., Estación Experimental Forestal Viñales, P. del, Benítez, J., Arguelles, W., & Estación Experimental Forestal Baracoa, B. (2011). Compendio de tablas para la determinación de la biomasa de copa de especies forestales. *Revista Forestal Baracoa*. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122590/records/6473565053aa8c8963067e2e>

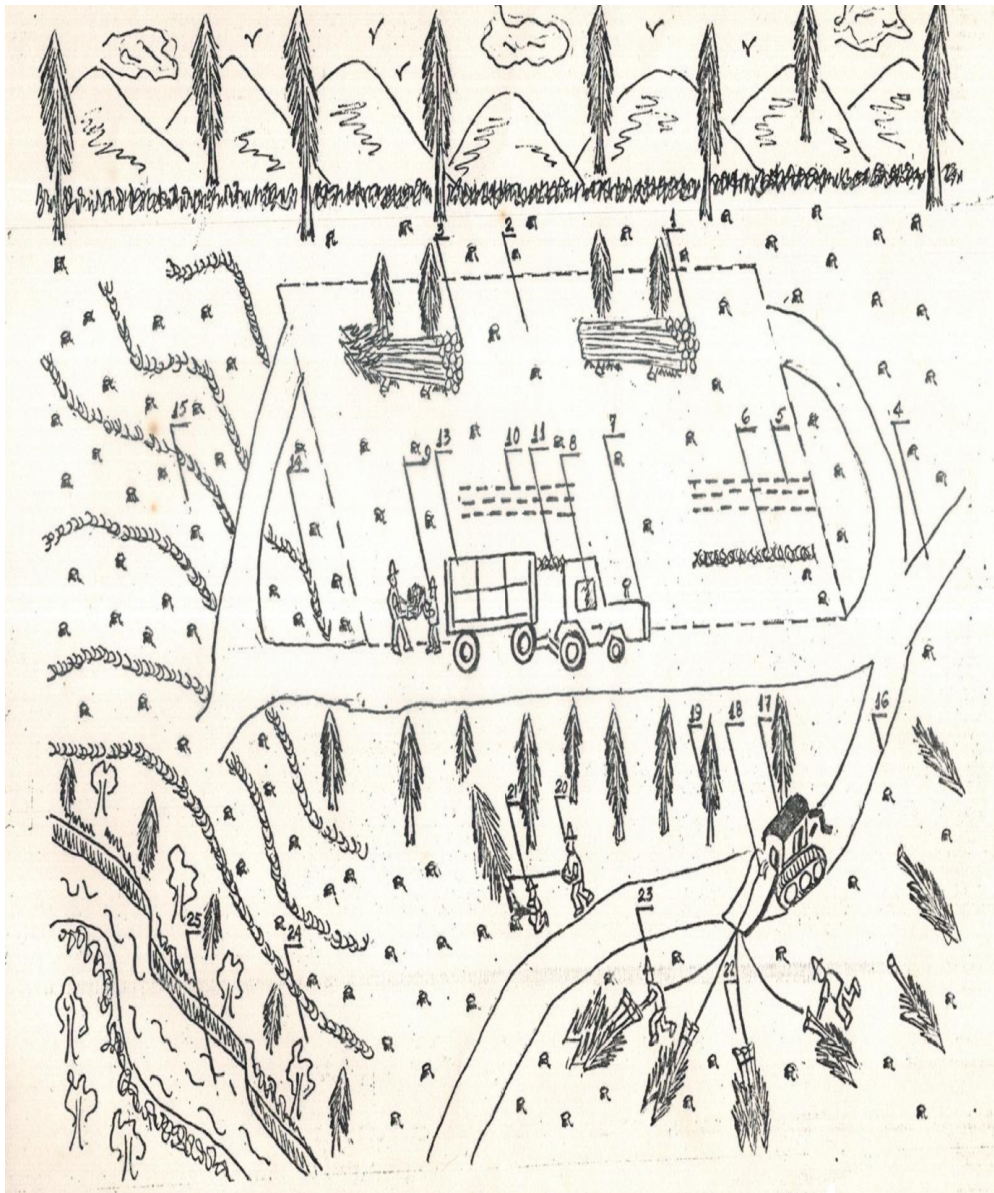
Anexo 1. Análisis cuantitativo de la biomasa aprovechable de copa en función de la tecnología empleada, por municipios. Especie: *Pinus caribaea*. var *caribaea*

Indicadores evaluados	Unidad de medida	Entrega a la industria de fustes enteros				
		Viñales	Guane	La Palma	Minas	Media P.
Número de árboles	Uno	1003,0	997,0	1151,0	1002,0	1038,3
Número de paquetes	Uno	160,0	172,0	164,0	160,0	164,0
Número de jornadas	Uno	19,0	20,0	21,0	19,0	19,8
Número de paquetes por Jornadas	Uno	8,42	8,6	7,8	8,4	
Número de árboles por paquete	Uno	6,26	5,8	7,0	6,3	6,3
Diámetro medio por paquete	cm	24,8	25,1	22,9	23,9	24,2
Longitud media por paquete	m	16,5	16,8	15,8	16,8	16,5
Volumen total de madera de fuste por jornada	m ³	18,5	18,6	15,3	16,4	17,2
Volumen total de madera de fuste por paquete	m ³	2,19	2,2	2,0	1,9	2,1
Peso y por ciento total de ramas por jornada y por rangos dimétricos:	Kg y %					
● Peso total de ramas	Kg	1678,0	1516,8	1551,8	1217,2	1491,0
● Por ciento total de ramas	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100
● ramas con diámetro < de 0,7 cm	Kg	17,1	26,8	25,0	18,7	21,9
● ramas con diámetro < de 0,7 cm	%	1,06	1,8	1,6	1,54	1,5
● ramas con 0,71 ≤ diámetro ≤ 2,5 cm	Kg	623,1	531,6	544,9	456,6	539,1
● ramas con 0,71 ≤ diámetro ≤ 2,5 cm	%	37,2	35,0	35,1	37,52	36,2
● ramas con 2,51 ≤ diámetro ≤ 4,0 cm	Kg	453,2	388,7	466,7	312,8	405,4
● ramas con 2,51 ≤ diámetro ≤ 4,0 cm	%	27,00	25,6	30,1	25,69	27,1
● ramas con diámetro > 4,0 cm	Kg	584,6	569,7	515,2	429,1	524,7
● ramas con diámetro > 4,0 cm	%	34,74	37,6	33,2	35,25	35,2
Peso total acículas por jornada	Kg	845,90	752,8	867,10	425,70	722,9
Biomasa de copa / jornada:						
● Ramas / m ³ de madera total de fuste acopiada	Kg	90,7	81,54	101,4	74,2	87,0
● Acículas / m ³ de madera total de fuste acopiada	Kg	45,7	40,5	56,7	27,2	42,5
● Manojos / m ³ de madera total de fuste acopiada	Kg	57,9	51,2	74,5	35,1	54,7
Peso total de manojos por jornada	Kg	1070,3	952,3	1140,0	576,2	934,7
Descomposición de los manojos:						
● Contenido de masa maderable	%	21,1	20,9	23,9	22,5	22,1
● Contenido de masa foliar	%	78,9	79,1	76,1	77,5	77,9
● Relación masa foliar masa maderable	uno	3,7	3,8	3,2	3,4	3,5
Masa volumétrica de los manojos:	Kg/m ³	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7
Masa volumétrica de las ramas:	Kg/m ³	272,1	272,1	272,1	272,1	272,1

Anexo 2. Error de muestreo obtenido para cada parámetro evaluado, en función de la tecnología empleada. Especie: *Pinus caribaea*.var *caribaea*

N	Parámetros evaluados	Error de muestreo				
		Viñales	Guane	La Palma	Minas	Prov. P. R
1	Diámetro en la base (cm)	1,14	1,31	2,34	1,23	0,81
2	Diámetro a la altura del pecho (cm)	1,07	1,17	2,33	1,24	0,8
3	Largo del fuste (m)	1,29	1,37	4,47	2,30	1,32
4	Volumen de madera por árbol (m ³)	2,21	2,05	3,55	2,73	1,38
5	Distancia de acopio recorrida en cada viaje (m)	8,12	8,32	8,47	8,12	4,13
6	Pendiente media por cada viaje (%)	7,64	7,37	7,70	7,64	3,79
7	Peso calculado de ramas en pie (Kg)	1,71	2,04	3,71	2,65	1,63
8	Pérdidas de ramas (kg/m ³)	4,25	4,30	5,26	5,42	2,58
9	Peso real de ramas (Kg)	2,11	2,35	3,97	2,50	1,73
10	Relación ramas volumen de madera de fuste (kg/m ³)	1,55	1,56	2,16	1,51	1,21
11	Distribución de la madera de las ramas por surtidos (cm):	3,92	3,71	5,50	2,47	2,61
	0,71 ≤ diámetro ≤ 2,5 cm	2,27	5,73	3,82	1,31	2,12
	0,71 ≤ diámetro ≤ 2,5 cm	4,34	2,32	4,34	2,55	2,12
	2,51 ≤ diámetro ≤ 4,0 cm	2,06	2,33	3,93	2,74	1,67
12	Peso calculado de acículas en pie (Kg)	1,61	4,89	2,15	2,92	2,70
13	Pérdidas de acículas ((kg/m ³)	4,27	5,18	5,22	5,61	3,27
14	Peso real de acículas en (Kg)	4,39	7,18	5,49	4,30	3,45
15	Peso real de manojos en (Kg)	4,40	7,18	5,49	4,31	3,45
16	Relación acículas volumen de madera de fuste (kg/m ³)	4,25	7,07	4,34	4,02	3,20
17	Relación manojos volumen de madera de fuste (kg/m ³)	4,25	7,07	4,34	4,02	3,20

Anexo 3. Esquema ilustrado del aprovechamiento integral madera de fuste-biomasa de copa



Leyenda 1. paquete de fustes acopiados; 2: área de acopio; 3: paquete de árboles enteros acopiados; 4: camino principal; 5: ramas acopiadas; 6: manojos fasciculares acopiados; 7: tractor MTZ-80; 8: operador de tractor; 9: obreros cargando los contenedores de manojos a la carreta; 10: ramas acopiadas; 11: manojos fasciculares acopiados; 12: contenedores de manojos; 13: carreta agrícola; 14: barrera de residuos de biomasa a curvas de nivel; 15: faja aprovechada; 16: vía de acopio; 17: tractor de acopio TDT-55A; 18: plataforma del tractor TDT-55A; 19: árbol en pie; 20: ayudante de operador de la motosierra; 21: operador talando; 22: amarre de paquetes de árboles enteros; 23: amarrador; 24:faja protectora; 25: arroyo.