REDEL
Vol.8 No.4 (2024): octubre-diciembre
Revista Granmense de Desarrollo Local
ISSN: 2664-3065 RNPS: 2448
redel@udg.co.cu https://redel.udg.co.cu
Universidad de Granma, Cuba

Potencial sostenible de la biomasa de *Pinus maestrensis* Bisse como producción subordinada del aprovechamiento forestal (Revisión)

Sustainable potential of *Pinus maestrensis* Bisse biomass as a subordinate production of forest harvesting (Review)

Alexey Rosabal Quintana. Ingeniero Forestal. Máster en Gestión Ambiental. Profesor Auxiliar. Universidad de Granma. Bayamo. Granma. Cuba. arosabalq@udg.co.cu

Imilsi Virelles Espinosa. Licenciada en Geografía. Máster en Educación. Profesor Auxiliar. Universidad de Granma. Bayamo. Granma. Cuba. iverellese@udg.co.cu

Alberto Vidal Corona. Ingeniero Tecnólogo Forestal. Doctor en Ciencias Forestales. Investigador Titular. Profesor Titular. Estación Experimental Agroforestal Camagüey. vidal56@nauta.cu

Rebeca Pérez Rosabal. Ingeniera Forestal. Máster en Educación. Profesor Auxiliar. Universidad de Granma. Bayamo. Granma. Cuba. rperezr@udg.co.cu

Recibido: 28-04-2024/Aceptado: 12-07-2024

Resumen

El artículo tiene como objetivo reflexionar acerca del potencial de uso sostenible de la biomasa del *Pinus maestrensis* Bisse como producción subordinada del aprovechamiento forestal. Con ese fin se emplearon los métodos teóricos de investigación, entre los que se destacan el análisis-síntesis, el histórico-lógico y el inductivo-deductivo. Como método empírico se utilizó el análisis y crítica de fuentes, con la revisión de diferentes literaturas científicas y con énfasis en los clásicos del tema. Fueron asumidos los conceptos con mayor pertinencia y relevancia. En cada caso, los autores realizaron su valoración sobre los temas tratados y llegaron a la conclusión de que el proceso productivo de la biomasa forestal carece de un análisis sistémico, así como de

medidas que minimicen el efecto negativo de los medios técnicos y del hombre en general, sobre los ecosistemas forestales.

Palabras clave: biomasa; producción subordinada; aprovechamiento forestal; ecosistema forestal.

Abstract

The objective of this article is to reflect on the potential for sustainable use of the biomass of *Pinus maestrensis* Bisse as a subordinate production of forest harvesting. To this end, theoretical research methods were used, among which the analysis-synthesis, historical-logical and inductive-deductive methods stand out. The empirical method used was the analysis and critique of sources, with the review of different scientific literatures and with emphasis on the classics of the subject. The most pertinent and relevant concepts were assumed. In each case, the authors made their assessment of the issues discussed and concluded that the forest biomass production process lacks a systemic analysis, as well as measures to minimize the negative effect of technical means and man in general, on forest ecosystems.

Keywords: biomass; subordinate production; forest harvesting; forest ecosystem.

Introducción

La madera ha jugado un papel importante en la evolución del ser humano, ya que por sus grandes bondades, ha incidido en las civilizaciones y en el desarrollo urbanístico. Actualmente se realizan investigaciones en las que se confirma su valor y utilidad para el presente y el futuro de las generaciones.

La explotación de los bosques trae aparejada la implementación de un grupo de labores que no son compatibles con el medio; como consecuencia, con el proceso de aprovechamiento forestal se producen residuos que no son utilizados de forma directa por la industria. En el caso

del aprovechamiento forestal de las coníferas, actividad de importancia económica, laboral y social en Cuba, los gestores forestales requieren de información actualizada que les permita predecir los tiempos de corte, estimar el volumen de biomasa de las masas forestales y tomar decisiones sobre los manejos a emplear (Alcolea, 2022).

Los residuos forestales primarios son los restos procedentes del aprovechamiento maderable de los bosques y de los tratamientos silvícolas que en ellos se practican, tales como: cortas, podas, desbroces, apertura de vías, acciones para la prevención de incendios, cortas intermedias, cortes de saneamiento, entre otros.

> La extracción de los residuos forestales está condicionada a las características y la existencia de diversas variables, que influyen de manera directa en la logística de extracción, costos económicos e impactos ambientales, una de ellas es la cantidad de biomasa forestal, que está relacionada con la superficie forestal y el tipo de vegetación presente. (García et al., 2011, citados por Estrada et al., 2017, p. 2)

Para Estrada et al. (2017): "Ante el creciente interés sobre la utilización de la biomasa de residuos provenientes del aprovechamiento forestal, es necesario realizar estudios que permitan conocer la disponibilidad, distribución, así como la factibilidad para la gestión de los mismos (…)" (p. 3). Autores como Fonseca et al. (2021) clasifican el por ciento de biomasa de la siguiente forma:

> El fuste tiene el mayor aporte (65. 6 %) a la biomasa total del árbol, seguido por la raíz y las ramas, la contribución de las hojas fue muy baja (3. 15 %). La variabilidad observada entre el aporte porcentual de cada componente a la biomasa total fue alta, más baja en hojas y ramas, con cifras muy similares; en el fuste y la raíz se presenta mayor variabilidad, ambos con valores prácticamente iguales. (p. 147)

Brañas (2020, citado por Rosabal et al., 2024) es de la opinión que todas estas circunstancias han llevado a que, en las últimas décadas, el número e importancia de los estudios sobre la producción de biomasa forestal hayan crecido de forma continuada, hasta alcanzar cada vez más relevancia, y abarcar un gran número de especies y estructuras de masas diferentes. Para el aprovechamiento de las fracciones de biomasa arbórea, es necesario poseer información dirigida hacia criterios de sostenibilidad de las masas forestales.

Entre estas especies de crecimiento rápido, está el género *Pinus,* el cual resulta de gran importancia económica para las diferentes comunidades debido a la calidad de su madera y al amplio uso en plantaciones comerciales (Cervantes et al., 2023). El *Pinus maestrensis* Bisse es una especie endémica del oriente de Cuba y una de las más empleadas por sus características. Aunque son abundantes los residuos forestales que se producen actualmente, en su mayoría no están siendo aprovechados.

Rosabal (2017) evaluó que 339 árboles de esta especie fueron objeto de tala, los que provocaron la muerte de 1 313, causando esto que un 7,7 % del área de aprovechamiento quedara impactada por pistas o claros. La riqueza y la diversidad de especies mantuvieron valores promedio de 4,19 y 2,95, los cuales descendieron después de la tala hasta 1,85 y 1,65 respectivamente.

Toirac (2014) desarrolló estudios, en plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse de la Empresa Forestal Integral Granma, para la estimación de la biomasa aérea total, así como del carbono y del nitrógeno retenidos en el fuste y la corteza, proponiendo utilizar las tablas para determinar dichos elementos.

Por su parte, Pérez (2016) llegó a la conclusión que en áreas de manejo de la Unidad Silvícola Guisa, la estructura del pinar de *Pinus maestrensis* Bisse antes del aprovechamiento,

mostró una diversidad en el estrato arbóreo inadecuada, por la carencia de tratamientos silviculturales. El efecto del aprovechamiento es negativo, con pérdida de la vegetación acompañante y del sotobosque, con afectaciones al suelo y con la subvaloración de productos subordinados.

Figueredo et al. (2020) también realizó una investigación con el objetivo de caracterizar elementos de las operaciones en el aprovechamiento forestal de la especie *Pinus maestrensis* Bisse, concluyendo que las vías de arrastre no se ajustan en su totalidad a las características geométricas establecidas para los caminos forestales: "Los acopiaderos presentan un esquema en anillos, con abandono de trozas de dimensiones comerciales y uso de técnicas de manipulación de la madera que ocasionan problemas de salud y seguridad evidenciando un sistema de aprovechamiento insuficientemente planificado" (p. 204).

Documentos que rigen la actividad productiva del país como la *Guía práctica para el aprovechamiento forestal en Cuba*, el *Manual de Procedimiento para el Aprovechamiento de Impacto Reducido de los bosques de Cuba* del proyecto "Desarrollo del Sector Forestal de Cuba" y la *Guía para el monitoreo y evaluación del manejo forestal*, perteneciente al proyecto Cuba-Canadá "Para el desarrollo del sector forestal en Cuba", no tienen entre sus premisas la producción subordinada del *Pinus maestrensis* Bisse, lo que provoca que no se generen ingresos por este concepto y que reste un alto nivel de biomasa en el bosque que puede tener fines comerciales. Por lo tanto, en el presente artículo se realiza un análisis del potencial de uso sostenible de la biomasa del *Pinus maestrensis* Bisse como producción subordinada del aprovechamiento forestal.

Biomasa

Numerosas han sido las definiciones realizadas sobre la biomasa forestal. La Food and Agriculture Organization (FAO, 1998), refiere que la biomasa es un elemento principal para determinar la cantidad de carbono almacenado en el bosque y, a su vez, permite elaborar previsiones sobre el ciclo mundial del carbono, elemento de importancia en los estudios sobre el cambio climático.

En la Directiva 2009/28/CE (citada por Mínguez, 2019), se define la biomasa como:

> La fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biológica degradable de los residuos industriales y municipales. (p.11)

Para Kessler (2020): "La biomasa es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que se derive de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético". Mamani y Medina (2024) crearon una metodología aplicada a la recolección de datos relacionados con los residuos producidos por la industria maderera, utilizando un diseño de investigación descriptivo para el cálculo de la disponibilidad de biomasa, la producción de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a los desechos de maderas en la industria. En el estudio se destacó la importancia de la biomasa forestal como una fuente de energía renovable viable: "con potencial para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la sostenibilidad ambiental" (p. IX).

Ormachea (2024) refiere que actualmente se emplea la inteligencia artificial (IA) en la estimación de la biomasa forestal:

> Este desarrollo de capacidades implicaría un currículo más exigente en matemática, estadística y ciencias informáticas para los ingenieros forestales; así como la instalación de una extensa red de parcelas permanentes para la creación de una sólida base de datos de las variables que intervienen en el desarrollo de la biomasa forestal. (p.11)

De forma general, se puede resumir que la biomasa es considerada por muchos como una alternativa de futuro, en el que la humanidad no dependerá de los combustibles fósiles y donde existirá un aprovechamiento más integral de los recursos naturales.

Biomasa forestal

Gómez y Vergara (2013) consideran que: "La biomasa forestal se define como la materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal, tanto por encima como por debajo del suelo" (p.1). Para Gutiérrez (2014): "Se puede clasificar en: biomasa residual de Industrias de la Madera (IM) y biomasa proveniente del bosque (desechos de cosecha forestal, manejos intermedios y madera desclasificada)" (p.5).

La biomasa forestal consiste en los residuos generados durante las operaciones de raleo, clareo y recogida de madera en los bosques y en aquellos producidos por las industrias de la madera como aserríos y carpinterías. Están compuestos principalmente por ramas, astillas y aserrín. En los procesos industriales se produce aproximadamente un 45 % de residuos durante el procesamiento de 1 000 kg de madera. El aserrín resulta del cortado y clasificado de la madera, mientras que las astillas provienen del proceso de desbaste (Bhatia et al., 2018).

Según Ferreira et al. (2018), los residuos consisten en todo el material que queda en la colección de la madera, tanto en los bosques naturales como en la silvicultura, en el aserrado y en el corte producido en el procesamiento de la madera.

En Cuba, Toirac (2014) desarrolló una investigación con el objetivo de estimar, de la biomasa aérea total, el carbono y nitrógeno retenido en plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse. La investigación se realizó en plantaciones de esta especie en áreas de la Unidad Silvícola Guisa, perteneciente a la Empresa Forestal Integral Granma. Se emplearon técnicas estadístico-matemáticas y se obtuvieron los modelos para la estimación de la biomasa total aérea por componentes, el factor de expansión de biomasa de los árboles en pie, así como el carbono y el nitrógeno retenido.

Producción preferente

Numerosos son las definiciones sobre el término producción preferente, como aquella producción secundaria en la industria que se obtiene de los residuos, sobrantes o restos después de elaborar la producción predestinada. En el ámbito forestal, los primeros conceptos encontrados vienen dados por Jiménez et al. (1998) en estudios sobre introducción a la valoración forestal. En los bosques tropicales, se le da un valor comercial al bosque después del aprovechamiento de la producción preferente. Es muy usual encontrar estudios de despiece comercial que emplean este término en trabajos relacionados con la valoración forestal de las masas, entre ellos se encuentra, el de Rodríguez (1978) y el de Bravo (2022).

Aprovechamiento de impacto reducido

Para Armenteras et al. (2018, citados por Agudelo et al*.,* 2022): "En general, el aprovechamiento de madera de bosque natural está enmarcado en un modelo de negocio en el cual subyace la sensación de ilegalidad, lo que implica principalmente la ausencia de estándares de calidad en la madera como materia prima" (p. 106).

Arce (2020) establece que:

> Hasta ahora el manejo forestal se sustenta en un paradigma ontológico disyuntivo que separa al ser humano de la naturaleza, considera al bosque como fuente de recursos de productos forestales y oportunidades de generación de ingresos económicos aun cuando hayan avanzado significativamente a nivel legal y técnico conceptos de conservación que se traducen en distintos grados de compromisos (…). (p.186)

Espinoza (2022) es de la opinión que el manejo forestal tiene carácter destructivo, alto porcentaje de cambio de uso de la tierra, escasa integración bosque-industria, empleo de maquinaria obsoleta y subutilizada, baja utilización del potencial del bosque, operaciones durante la época de menor precipitación, desperdicio excesivo y malas condiciones de trabajo para los operarios.

El aprovechamiento forestal con criterios de sostenibilidad está siendo visto ahora como una alternativa que busca conciliar desarrollo y conservación. La destrucción acelerada del medioambiente motivó que, en 1983, la Asamblea General de las Naciones Unidas creara la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, la cual organizó la Cumbre de la Tierra (Río de Janeiro, 1992) y otra serie de acuerdos internacionales sobre los bosques. Como consecuencia de estas acciones, se están dando importantes cambios que denotan una creciente preocupación por los valores ambientales, sociales y culturales de los bosques.

Lo antes planteado llevó a que especialistas y entendidos del manejo sostenible emplearan el término aprovechamiento de impacto reducido (AIR), también conocido como aprovechamiento de bajo impacto, el cual apareció por primera vez en las publicaciones forestales a principios de los 80: "El AIR consiste en la implementación de operaciones de extracción cuidadosamente planificadas y controladas en el campo, a fin de reducir al mínimo el impacto sobre el bosque residual y el suelo" (Bull et al. 2001, citado por Seas, 2016, p.10).

Machfudh et al. 2001 y Dykstra 2001(citados por Seas, 2016) exponen que:

El AIR implica pequeños cambios en relación con el aprovechamiento convencional, pero con grandes repercusiones en cuanto a la disminución del impacto negativo al bosque remanente. Aunque varía un poco con la situación específica de cada lugar, en términos generales el AIR toma en cuenta aspectos como los siguientes:

- Elaboración de mapas para ubicar los árboles que se van a extraer, las principales características del terreno y las áreas de protección.
- Planificación y construcción adecuada de caminos, pistas de arrastre y ubicación de patios de montaña.
- Corte de lianas y bejucos cuando se considere que su presencia puede incrementar los daños durante la extracción.
- Empleo de técnicas de tala dirigida y correcto troceo de los fustes.
- Arrastre de las trozas desde las pistas, tratando de reducir la presencia del tractor en el bosque. (p.10)

Por su parte, Orosco et. al., 2006 (citado por Seas, 2016) agrega como otros aspectos importantes:

Protección de la capa vegetal y de los cursos de agua mediante la reducción del uso de la pala del tractor, el establecimiento de drenajes transversales en la red vial y zonas de amortiguamiento cerca de los cursos de agua y la detención de las operaciones cuando llueve. (pp. 10-11)

El manejo forestal es el cerebro y el brazo de la ingeniería forestal. Es lo que, en el mismo bosque, permite usarlo sin destruirlo, asegurando la tan ansiada y promovida sustentabilidad ecológica, económica y social. Es el paquete de técnicas basadas en la

> ciencia, que permite extraer madera y otros bienes del bosque sin destruirlo ni menoscabar su productividad futura ni perjudicar los servicios ambientales que brinda (Young 1982 & FAO, 2020, citados por Dourojeanni, 2020, p. 82).

Es, pues, fundamentalmente a través del manejo forestal que se puede lograr: "la conservación, la protección, el incremento y el uso sostenible del patrimonio forestal", como manda la Ley (Dourojeanni, 2020, p. 82). Por otro lado, autores como Armijos (2013 citado por Tewari & Singh, 2018) es del criterio que a la aplicación de las distintas prácticas silvícolas, se necesitan herramientas técnico-científicas de fácil aplicación que permitan planificar los procesos de producción de manera estratégica; de tal modo, aumenta la precisión de las predicciones y con ello se contribuye a mejorar la rentabilidad de los negocios.

Planificación del aprovechamiento forestal en Cuba

El primer paso realizado en Cuba con el objetivo de establecer nuevas formas técnicas y organizativas en el aprovechamiento forestal con criterios de sostenibilidad, se realizó en la década de los años 70 del pasado siglo, cuando especialistas rusos y cubanos elaboraron el "Instructivo Técnico para las Talas de Explotación de los Bosques de Cuba" que nunca llegó a aprobarse formalmente, pero que los trabajadores forestales emplearon como guía por la cual orientar la actividad extractiva en el país.

La ordenación forestal sostenible no consiste en prohibir las actividades de producción, sino en ordenarlas para lograr que se aproveche tanto la madera como los bienes y servicios del bosque, de forma que estas labores se realicen de forma planificada, teniendo en cuenta las características de cada área y manteniendo los principios de sostenibilidad.

La voluntad política del gobierno y pueblo de la República de Cuba está permeada de la necesidad de cumplir estos preceptos y prueba de ello fue la promulgación, por la Asamblea

Nacional del Poder Popular, de la Ley 85 o Ley Forestal, el 21 de julio de 1998 y con posterioridad, la aprobación de la legislación complementaria por los órganos competentes.

A partir de esto se han elaborado una serie de documentos, ya mencionados con anterioridad, que rigen la actividad productiva forestal en el país, como son: *la Guía práctica para el aprovechamiento forestal en Cuba, el Manual de Procedimiento para el Aprovechamiento de Impacto Reducido de los bosques de Cuba y la Guía para el monitoreo y evaluación del manejo forestal* del proyecto Cuba-Canadá.

Sensores remotos para el cálculo de biomasa

Pisconte (2021, citado por Buleje & Chavez, 2022) expone que:

> LIDAR es la abreviatura de Light Detection And Ranging (detección y medición de la luz). Los sistemas LIDAR emiten un gran número de pulsos generados por láseres y grandes telescopios, y utilizan detectores ópticos sensibles para recoger los pulsos reflejados. Además, proporcionan datos topográficos de la superficie del terreno mediante el escaneo de elementos cercanos. (p.12)

Según Ruiz et al. (2020), los sensores remotos de resolución espacial media y alta permiten la cuantificación de la biomasa, en la medida en la que el área de bosque impactada tenga dimensiones suficientes para ser detectada y medida con estas tecnologías.

> Para que esto se logre, se requiere información adicional de campo que permita, por ejemplo, el uso de ecuaciones alométricas para estimar la biomasa extraída o afectada en las áreas de bosque (…) Esto a su vez facilita el monitoreo de la estructura del bosque en el tiempo para, de este modo, caracterizar la perturbación, la recuperación y los cambios naturales de sucesión. Así, estos perfiles verticales de vegetación podrían usarse también

> para generar ecuaciones alométricas y derivar el volumen de madera y la biomasa sobre el suelo. (Ruiz et al., 2020, p.36)

La deforestación incrementa la concentración de CO**2** en la atmósfera y, como consecuencia, se aceleran los procesos que inciden en el cambio climático. Ante esta realidad, el almacenamiento de carbono en la biomasa forestal aérea constituye una barrera natural en la mitigación del cambio climático.

Para Ruiz et al. (2020):

> Un estudio pionero en este sentido es el de Lau et al. (2019), quienes ensayaron el uso de LiDAR terrestre para la medición de la longitud, el diámetro y la tasa metabólica de una muestra de árboles en un bosque tropical en Guyana comparando con mediciones directas en campo. Aunque se encontraron sesgos debidos al procesamiento de los datos, los autores consideran que la tecnología es prometedora, por ser un método no destructivo y de bajo requerimiento de mano de obra y recomiendan replicar los ensayos a fin de comprender en su totalidad el potencial de esta tecnología para estudios forestales volumétricos y fisiológicos. (p.37)

Muchos especialistas señalan que el uso de sensores LiDAR es muy útil en bosques de coníferas, no así en otros tipos de bosques, donde la densidad de la vegetación, la diversidad de las especies y las diferentes formas de los árboles pueden inducir a errores importantes de estimación de biomasa. Para grandes extensiones de territorios también sería una tecnologñia sumamente complicada (Ruiz et al., 2020).

Conclusiones

1. El proceso productivo de la biomasa forestal carece de un análisis sistémico, así como de medidas que minimicen el efecto negativo de los medios técnicos y del hombre en general, sobre los ecosistemas forestales.

2. Existen numerosos estudios para la utilización de la biomasa forestal; sin embargo, en Cuba su aplicación es insuficiente.

Referencias bibliográficas

Agudelo, M., González, C., Yepes, A., Mora, E., Chaux, M., Santos, L. & Fernández, J. C. (2022). Costos de aprovechamiento del manejo forestal comunitario en Colombia: impactos, lecciones aprendidas y desafíos. *Colombia Forestal*, 25(2), 104-119. http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v25n2/0120-0739-cofo-25-02-104.pdf

Alcolea, A. (2022). *Determinar el potencial de uso sostenible de la biomasa del Pinus maestrensis Bisse como producción subordinada del aprovechamiento forestal en el área de manejo Colón, Guisa.* [Tesis de grado, Universidad de Granma].

Arce, R. (2020). Bioética en el aprovechamiento forestal maderero y sus impactos sobre la fauna. *Pluriversidad,* (5). https://revistas.urp.edu.pe/index.php/pluriversidad/article/view/3212

Bhatia, S. K., Joo, H. S. & Yang, Y. H. (2018). Biowaste to bioenergy using biological methods. A mini-review. *Energy Conversion and Management*, 177, 640-660. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.09.090

Bravo, J. L. (2022). *Valoración del recurso forestal del campus La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo ubicado en el cantón Mocache, provincia de Los Ríos* [Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].

https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/82afd7ba-13af-4d36-bcd7-e6f0cbc3d0c3/content

Buleje, B. J. & Chavez, E. W. (2022). *Levantamiento topográfico con scanner LiDAR Móvil IP-S2 para el mejoramiento y ampliación de los sistemas de agua potable y alcantarillado km 40 Antigua Panamericana Sur*. [Tesis de grado, Escuela Profesional de Ingeniería Civil]. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/6004/T030_76455841_T%20ERICK%20WILSON%20CHAVEZ%20FLORES

Cervantes, M. M., Rodríguez, G., Enríquez, J. R. & Rodríguez, M. E. (2023). Caracterización morfológica de semillas y eficiencia germinativa de *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*. *Revista e-CUCBA,* 10(20), 44-51. http://e-cucba.cucba.udg.mx/index.php/e-Cucba/article/view/295

Dourojeanni, M. J. (2020). ¿Es sostenible el aprovechamiento maderero de bosques naturales en el Perú? *Revista Forestal del Perú,* 35(2), 80-93. https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/download/1577/pdf_51

Espinoza, D. S. (2022). *Eficiencia de los planes de manejo forestal en la conservación de los bosques de pinares en los municipios de Dipilto, San Fernando y Jalapa*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria]. https://repositorio.una.edu.ni/4484/1/tnk10e77p.pdf

Estrada, D., Ordóñez, C., Buendía, E. & Aguilar, 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*, 3(9), 1-9.

https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica/vol3num9/Revista_de_Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica_V3_N9_1.pdf

Ferreira, L. R., Otto, R. B., Silva, F. P., De Souza, S. N. M., De Souza, S. S. & Ando, O. H. (2018). Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed generation in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 440- 455.

Figueredo, J. L., Barrero, H. & Vidal, A. M. (2020). Caracterización de elementos del aprovechamiento maderero de *Pinus maestrensis* Bisse en El Franco, Guisa. *Revista Cubana de Ciencias Forestales, CEFORES*, 8(2), 204-219. http://scielo.sld.cu/pdf/cfp/v8n2/2310-3469-cfp-8-02-204.pdf

Fonseca, W., Murillo, R., Ávila, C., Rojas, M. & Spínola, R. M. (2021). Modelos de biomasa y carbono para árboles de Gmelina arborea en plantaciones clonales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(1), 143-159. https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/14822

Food and Agriculture Organization. (FAO). (1998). *Directrices para la evaluación en los países tropicales y subtropicales*. https://www.fao.org/4/ae218s/AE218S06.htm

Gómez, T. & Vergara, M. (2013). *Biomasa Forestal.* Seminario de Electrónica Industrial. http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/InformeBiomasa.pdf.

Gutiérrez, D. L. (2014). *Análisis de la situación actual y futura del consumo de biomasa forestal para generación en Chile.* [Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile]. http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/fifg984a/doc/fifg984a.pdf

Jiménez, S., Alfaro, M. & Araya, J. (1998). *Introducción a la valoración forestal.* Universidad Nacional de Costa Rica.

Kessler, L. (2020, mayo 19). *La biomasa resuelve el dilema de alimentos o combustibles.* https://afinidadelectrica.com/2020/05/19/la-biomasa-resuelve-el-dilema-de-alimentos-o-combustibles/

Mamani, Y. J. & Medina, F. J. (2024). *Uso de la biomasa de los residuos forestales como fuente de energía renovable en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa, 2023.* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo] https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/146060/Mamani_CYJ-Medina_CFJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mínguez, C. (2019). *Estudio para el análisis y localización de la biomasa potencial del sector agrícola y ganadero en Castilla y León.* [Tesis de maestría, Universidad de Valladolid] https://uvadoc.uva.es/handle/10324/37389

Ormachea, A. (2024). Importancia de la inteligencia artificial en la evaluación de la biomasa forestal en el Perú. *Revista Forestal del Perú*, 39(1), 11-21. https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/view/2065/2923

Pérez, M. (2016). *Sistema de aprovechamiento maderero de impacto reducido para plantaciones de Pinus maestrensis Bisse, en la Unidad Empresarial de Base Silvícola de Guisa, Granma.* [Tesis de maestría, Universidad d Granma].

Rodríguez, J. (1978). Introducción al estudio y valoración de recursos forestales y arbustivos para el ciervo, en el área ecológica de Sierra Morena. 1. Estudio de la dieta del ciervo. *Archivos de Zootecnia*, 27(105). https://helvia.uco.es/handle/10396/3025

Rosabal, A. (2017). Influencia del aprovechamiento forestal sobre la masa remanente y el suelo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales, CEFORES,* 5(3), 318-329. https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/187/pdf

Rosabal, A., Cruz, Y., Vidal, A., Virelles, I. & Rosabal, D. (2024). Propuesta de un esquema de aprovechamiento para la producción subordinada del Pinus maestrensis Bisse caso de estudio Colón, Guisa. *Explorador Digital*, 8(1), 58-71. https://doi.org/10.33262/exploradordigital.v8i1.2846

Ruiz, N., Delgado, D. & Carrera, F. (2020). *Tecnologías para el monitoreo de impactos y emisiones de carbono del aprovechamiento forestal y de la trazabilidad de la madera de bosques naturales en Latinoamérica y el Caribe.* CATIE, fmam, BID. https://cdi.mecon.gob.ar/bases/docelec/az4807.pdf

Seas, J. C. (2016). *Impacto en superficie de cobertura vegetal por tala, arrastre, acopio de trozas y apertura de caminos forestales, Iñapari –Madre de Dios*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú] https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3485/Seas%20Solis.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tewari, V. P. & Singh, B. (2018). Total Wood Volume Equations for Tectona Grandis Linn F. Stands in Gujarat, India. *Journal of Forest and Environmental Science*, 34(4), 313-320. https://doi.org/10.7747/JFES.2018.34.4.313

Toirac, W. (2014). *Estimación de la biomasa aérea total, carbono y nitrógeno retenido en plantaciones de Pinus maestrensis Bisse en la provincia Granma.* [Tesis de doctorado, Universidad Pinar del Río] https://rc.upr.edu.cu/jspui/bitstream/DICT/2201/1/Wilmer%20Toirac%20Arguelle.pdf