

GUÍA METODOLÓGICA

Para el desarrollo de productos de
apropiación social del conocimiento en

BIOMASA VEGETAL

Convenio N° 3054342



**GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DESARROLLO DE PRODUCTOS DE
APROPIACIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO EN BIOMASA VEGETAL**

**Convenio Específico de Ciencia y Tecnología No. 3054342 celebrado entre
Ecopetrol S.A y el Instituto Universitario de la Paz-UNIPAZ**

Autores UNIPAZ

Oscar Orlando Porras Atencia
Kelly Cristina Torres Angulo
Miguel Arturo Lozada Valero
Julián Andrés Gaviria Carvajal
Cristian Giovanni Palencia Blanco
Oswaldo Canchila Roa
Arley Yesid Beltrán Osma
Leandro Badillo Severiche
Emiro Rafael Canchila Asencio
Fernando Corredor Barrios
Nadim Alberto Cruz Tang
Kelter Alfredo Villalobos Monsalve
Sergio Antonio Rodríguez Arrieta

Autores ECOPETROL S.A

Walter Humberto Rodríguez Alfonso
Oscar Mauricio Casas Leuro
Mónica Andrea Gualdrón Mendoza
Jaime Arturo Orejarena Cuartas
Luis Fernando Prado Castillo



**Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ
Barrancabermeja – 2025**

www.unipaz.edu.co

**GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DESARROLLO DE PRODUCTOS DE
APROPIACIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO EN BIOMASA VEGETAL**

**Convenio Específico de Ciencia y Tecnología No. 3054342 celebrado entre
Ecopetrol S.A y el Instituto Universitario de la Paz-UNIPAZ**

Cita sugerida: Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ, & Instituto Colombiano del Petróleo y Energías de la Transición (ICPET). (2025). Guía metodológica para el desarrollo de productos de apropiación social del conocimiento en biomasa vegetal. Convenio Específico de Ciencia y Tecnología No. 3054342 celebrado entre Ecopetrol S.A. y el Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ. 71 págs. Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ. ISBN 978-958-5542-96-9.

ISBN: 978-958-5542-96-9

Fechas de publicación: 11 de julio de 2025

Tipo de soporte: Digital

Editor: Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ

Los trabajos son de responsabilidad de cada autor. Prohibida la reproducción total o parcial de este libro, por cualquier medio, sin permiso expreso de la editorial. Se puede acceder a una versión en PDF en www.unipaz.edu.co, Editorial UNIPAZ

Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ
Barrancabermeja – 2025
www.unipaz.edu.co



TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. GLOSARIO	4
4. CAPÍTULOS.....	8
4.1. CAPÍTULO 1. ¿QUÉ DEBEMOS SABER SOBRE LA BIOMASA VEGETAL? 8	
4.1.1. ¿Qué son las Energías Renovables?	9
4.1.2. ¿Qué es la Biomasa?.	11
4.1.2.1. Biomasa Forestal.....	12
4.1.2.2. Biomasa Agrícola.....	13
4.1.2.3. Biomasa Ganadera y Agropecuaria.....	14
4.1.2.4. Biomasa Industrial.	14
4.1.2.5. Biomasa Urbana.	15
4.1.2.6. Biomasa Acuática.	16
4.1.3. ¿Qué es la biomasa vegetal?.	17
4.1.3.1. Tipos de biomasa vegetal.....	18
4.1.4. Análisis fisicoquímico de la biomasa.....	19
4.1.4.1. Análisis Elemental.	20
4.1.4.2. Análisis Próximo.	20
4.1.4.3. Análisis Lignocelulósico.....	22
4.1.4.4. Poder Calorífico.	22
4.2. CAPÍTULO 2. ¿QUÉ PRODUCTOS SE OBTIENEN DE LA BIOMASA VEGETAL?	24
4.2.1. Biocombustibles.....	25
4.2.1.1. Biocombustibles sólidos.....	26
4.2.1.2. Biocombustibles líquidos.	28
4.2.1.3. Biocombustibles gaseosos.	30
4.3. CAPÍTULO 3. ¿CUÁLES SON LOS CRITERIOS Y CARACTERÍSTICAS PARA LA SELECCIÓN DE LA BIOMASA VEGETAL?	32
4.3.1. Propiedades Físicas y Químicas de la Biomasa.....	33

4.3.1.1.	Contenido de humedad.....	33
4.3.1.2.	Poder calorífico.....	33
4.3.1.3.	Composición química.	33
4.3.2.	Factores de Adaptabilidad y Productividad.....	34
4.3.2.1.	Adaptabilidad al entorno.	34
4.3.2.2.	Resistencia a plagas y enfermedades.	34
4.3.2.3.	Facilidad de propagación.....	34
4.3.2.4.	Alto rendimiento o producción.	34
4.3.3.	Disponibilidad y Accesibilidad.....	35
4.3.3.1.	Fuentes locales.....	35
4.3.4.	Compatibilidad con los Procesos de Producción.	35
4.3.4.1.	Procesos termoquímicos (gasificación, combustión y pirólisis).	35
4.3.4.2.	Fermentación.....	35
4.3.4.3.	Transesterificación.....	35
4.3.4.4.	Densificación.	35
4.3.5.	Sostenibilidad Ambiental.....	36
4.3.5.1.	Aprovechamiento de residuos.	36
4.3.5.2.	Reducción del impacto ambiental.	36
4.3.5.3.	Economía circular.	36
4.3.5.4.	Mitigación de emisiones.....	36
4.3.6.	Factores Económicos.	36
4.3.6.1.	Costo de adquisición.	36
4.3.6.2.	Costos logísticos.....	37
4.3.6.3.	Costos de pretratamiento.....	37
4.3.7.	Fuentes de Biomasa Vegetal.....	38
4.3.7.1.	Cultivos o residuos agrícolas.	38
4.3.7.2.	Cultivos o residuos forestales.	38
4.3.8.	Ejemplo Práctico.	39
4.4.	CAPÍTULO 4. ¿CÓMO SE TRANSFORMA LA BIOMASA VEGETAL EN ASTILLAS Y PELLETS?.....	40
4.4.1.	Diseño de producción de Astillas y Pellets.	41

4.4.1.1.	Recolección y transporte de biomasa.	43
4.4.1.2.	Reducción de tamaño de partícula.	44
4.4.1.3.	Secado.....	45
4.4.1.4.	Densificación de los pellets.....	46
4.4.1.5.	Almacenamiento y empaque.	47
4.5.	CAPÍTULO 5. ¿CUÁLES SON LOS ESTÁNDARES NORMATIVOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ASTILLAS Y PELLETS?.....	48
4.5.1.	Normativa relacionada con la producción de pellets.	49
4.5.2.	Normativa relacionada con la producción de astillas	52
4.6.	CAPÍTULO 6. ¿QUÉ BENEFICIOS Y DESAFÍOS AMBIENTALES IMPLICA EL USO DE BIOMASA VEGETAL?	54
4.6.1.	Impactos ambientales del uso de biomasa.	55
4.6.1.1.	Impactos positivos.	55
4.6.1.2.	Impactos negativos potenciales.....	56
4.6.1.3.	Estrategias para minimizar impactos.	57
4.6.2.	Componente de aspectos legales.	57
4.6.3.	Componente biótico y abiótico.	59
4.6.4.	Componente económico.....	60
4.7.	CAPÍTULO 7. ¿CUÁLES SON LAS APLICACIONES DE LOS PRODUCTOS DE BIOMASA VEGETAL?.....	62
4.7.1.	Aplicaciones energéticas.	63
4.7.1.1.	Generación de energía térmica y eléctrica	63
4.7.1.2.	Producción de biocombustibles líquidos.....	63
4.7.1.3.	Biogás.....	63
4.7.2.	Aplicaciones industriales.....	64
4.7.2.1.	Producción de materiales sostenibles	64
4.7.2.2.	Obtención de químicos verdes	64
4.7.2.3.	Aplicaciones en la construcción	64
4.7.3.	Aplicaciones agrícolas.	64
4.7.3.1.	Fertilizantes y compost	64
4.7.3.2.	Alimentación animal.....	65

4.7.3.3.	Biopesticidas y bioestimulantes	65
4.7.4.	Aplicaciones domésticas.....	65
4.7.4.1.	Uso en calefacción y cocción.....	65
4.7.4.2.	Energía descentralizada	65
4.7.5.	Tecnologías de conversión de biomasa en energía.....	65
5.	CONCLUSIONES	67
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre biomasa agrícola y residual agrícola.....	39
Tabla 2. Especificaciones de las clases de pellets de madera para aplicaciones comerciales y residenciales.....	50
Tabla 3. Especificaciones de las clases de pellets de madera para uso industrial.....	51
Tabla 4. Especificaciones de pellets producidos a partir de biomasa herbácea, biomasa de frutos, biomasa acuática y conjuntos y mezclas de biomasa	52
Tabla 5. Especificaciones de astillas de madera.....	53
Tabla 6. Variables del componente económico.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principales energías renovables	10
Figura 2. Tipos de biomasa	12
Figura 3. Biomasa forestal	13
Figura 4. Cultivos energéticos	13
Figura 5. Residuos agrícolas	14
Figura 6. Biomasa ganadera y agropecuaria	14
Figura 7. Biomasa industrial	15
Figura 8. Biomasa urbana	15
Figura 9. Biomasa acuática	16
Figura 10. Ejemplo de ciclo del carbono de la biomasa vegetal	17
Figura 11. Fotosíntesis de las plantas	18
Figura 12. Clasificación de la biomasa vegetal	19
Figura 13. Astillas	26
Figura 14. Briquetas	27
Figura 15. Pellets	27
Figura 16. Biochar o carbón vegetal	28
Figura 17. Ciclo del bioetanol	29
Figura 18. Ciclo del biodiésel	29
Figura 19. Producción de biogás	30
Figura 20. Gas de síntesis	31
Figura 21. Propiedades de la biomasa	34
Figura 22. Procesos de producción	36
Figura 23. Sostenibilidad ambiental	37
Figura 24. Costos asociados	38
Figura 25. Diagrama de flujo del proceso de astillado	42
Figura 26. Diagrama de flujo del proceso de peletizado	43
Figura 27. Equipo astilladora	44
Figura 28. Diagrama del proceso de reducción de tamaño	45
Figura 29. Secado de la biomasa al aire y secado mecánico	46
Figura 30. Equipo peletizadora	46
Figura 31. Marco base normativo ambiental de Colombia	58
Figura 32. Elementos en la revisión del marco normativo u aspectos legales.	59
Figura 33. Tecnologías de conversión de biomasa en energía	66

1. RESUMEN

Esta guía metodológica tiene como objetivo proporcionar un marco estructurado para el desarrollo de productos basados en biomasa vegetal, abarcando desde la selección de materia prima hasta la evaluación de calidad del producto final. Se encuentra diseñada para apoyar a productores, técnicos, emprendedores y comunidades y busca no solo optimizar procesos e incorporar buenas prácticas, sino también fomentar la apropiación social del conocimiento, promoviendo que las comunidades comprendan y aprovechen el potencial de la biomasa vegetal para generar valor económico, social y ambiental. Su contenido incluye aspectos técnicos y ambientales clave, desde los principios básicos de la biomasa hasta la implementación de procesos de producción y evaluación de calidad, sin profundizar en el diseño específico de maquinaria ni tecnologías avanzadas fuera del alcance de proyectos a pequeña y mediana escala.

Los productos derivados de biomasa vegetal representan una solución clave frente a los desafíos energéticos actuales, ya que su producción contribuye al aprovechamiento eficiente de recursos naturales, fomenta el desarrollo económico en comunidades rurales y promueve la sostenibilidad ambiental. Con esta guía, se pretende proporcionar herramientas prácticas y conocimientos que aseguren que los proyectos relacionados con biomasa vegetal se desarrollen de manera eficiente, sostenible y alineada con las demandas del mercado actual.

2. INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más consciente de la necesidad de transitar hacia un modelo energético sostenible, la biomasa vegetal emerge como un recurso estratégico con el potencial de transformar sectores clave de nuestra sociedad. Su capacidad para generar energía renovable, reducir emisiones de gases de efecto invernadero y aprovechar residuos agrícolas y forestales la convierte en una alternativa prometedora frente a los combustibles fósiles y otros recursos no renovables.

Esta guía metodológica ha sido concebida como un instrumento práctico y técnico para acompañar a productores, investigadores, comunidades rurales y otros actores en el proceso de desarrollo, producción y aplicación de productos derivados de la biomasa vegetal. Desde una perspectiva integral, este documento aborda desde los conceptos de la biomasa hasta la implementación de procesos sostenibles que cumplen con normativas internacionales, con especial énfasis en la calidad y la competitividad de los productos obtenidos.

El contenido de esta guía no solo busca optimizar el aprovechamiento energético de la biomasa, sino también fomentar una economía circular, promover la sostenibilidad ambiental y contribuir al desarrollo de comunidades locales mediante la creación de oportunidades económicas y el fortalecimiento del tejido productivo. Con un enfoque técnico y académico, este documento incluye información sobre aplicaciones energéticas, industriales, agrícolas y domésticas, además de explorar las implicaciones normativas, ambientales y económicas asociadas al uso de la biomasa vegetal.

Se espera que esta guía sea una fuente de inspiración y conocimiento que motive la implementación de prácticas sostenibles y el desarrollo de proyectos que impacten positivamente en las personas y el planeta. Se plantea como objetivo contribuir al fortalecimiento de una bioeconomía basada en principios de sostenibilidad, innovación y responsabilidad, ayudando a construir un futuro más verde y resiliente.

El desarrollo de productos de valor agregado a partir de biomasa vegetal representa una oportunidad estratégica para promover la sostenibilidad económica, social y ambiental de una región. Este enfoque aprovecha los recursos naturales de manera eficiente y responsable. Una de las estrategias para la apropiación social del conocimiento en el desarrollo de productos de valor es la construcción de una guía metodológica que integre los diversos elementos clave del proceso, desde los fundamentos de la biomasa hasta la evaluación de calidad y sostenibilidad ambiental. En primer lugar, los fundamentos en biomasa constituyen la base técnica y conceptual para comprender las propiedades de los recursos vegetales y su potencial de

aprovechamiento. Este conocimiento permite identificar las características esenciales de la biomasa vegetal, como su composición química, contenido energético y capacidad de captura de carbono. Estas propiedades no solo determinan su viabilidad como materia prima, sino también su contribución al desarrollo de sistemas productivos sostenibles y al cumplimiento de objetivos globales como la mitigación del cambio climático. Por otra parte, la descripción de los procesos de producción de productos de valor a partir de biomasa vegetal es un componente esencial de esta guía, ya que estos deben optimizar el aprovechamiento de la biomasa, minimizando pérdidas y garantizando la eficiencia energética. Esto implica la incorporación de tecnologías que permitan transformar la biomasa vegetal en productos de alto valor agregado. Asimismo, es necesario implementar controles que aseguren la calidad del producto final y su competitividad en el mercado.

La normativa y evaluación de calidad son aspectos transversales en este tipo de proyectos, ya que garantizan el cumplimiento de estándares legales y técnicos que regulan tanto el uso de recursos naturales como la producción y comercialización de los productos derivados de biomasa. Este enfoque asegura que los proyectos se desarrollen dentro del marco legal y normativo aplicable, minimizando riesgos y promoviendo la aceptación social. Finalmente, los aspectos ambientales y de sostenibilidad son el núcleo de cualquier iniciativa basada en biomasa vegetal. Desde la evaluación del carbono hasta la conservación de la biodiversidad, los proyectos deben ser diseñados para generar beneficios ambientales claros, fomentando un equilibrio entre desarrollo económico y preservación de los recursos naturales. Esto incluye incorporar, la restauración de suelos degradados y el diseño de estrategias que permitan la coexistencia armoniosa entre la producción y los ecosistemas locales.

Todos estos elementos conforman un enfoque integral que permite abordar las oportunidades y desafíos inherentes al desarrollo de productos a partir de biomasa vegetal. La implementación de esta guía no solo facilita la toma de decisiones informadas en cada etapa del proceso, sino que también contribuye a la creación de modelos de negocio sostenibles que promuevan el bienestar ambiental y social, fortaleciendo la economía circular y la resiliencia de las comunidades locales.

3. GLOSARIO

Apropiación Social del Conocimiento: Es un proceso intencionado de comprensión e intervención de las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad, construido a partir de la participación activa de los diversos grupos sociales que generan conocimiento.

Astillado: Proceso de reducir el tamaño de la biomasa en fragmentos más pequeños, como virutas, mediante el uso de equipos especializados.

Biochar: Residuo sólido rico en carbono obtenido mediante la pirólisis de biomasa, utilizado como mejorador del suelo y sumidero de carbono.

Biocombustible: Material derivado de la biomasa que se utiliza como fuente de energía renovable.

Bioeconomía: Modelo económico basado en la producción y uso sostenible de recursos biológicos renovables para generar productos, energía y servicios.

Biomasa: Materia orgánica de origen vegetal o animal que se utiliza como fuente de energía.

Briquetas: Bloques compactos de biomasa comprimida, similares a los pellets pero de mayor tamaño, utilizados como biocombustible sólido.

Carbono neutral: Condición en la que un proceso, producto o actividad no incrementa la cantidad neta de carbono en la atmósfera.

Celulosa: Componente principal de las paredes celulares de las plantas, utilizado como materia prima en la producción de bioplásticos, papel y biocombustibles.

Cenizas: Residuos sólidos incombustibles que permanecen después de la combustión de la biomasa, útiles como fertilizantes agrícolas.

Ciclo de vida: Conjunto de etapas por las que pasa un producto, desde la recolección de materia prima hasta su disposición final.

Ciclo de carbono: Es el conjunto de procesos naturales en los que el carbono circula entre la atmósfera, los seres vivos y el suelo, incluyendo la absorción de dióxido de carbono (CO₂) por las plantas durante la fotosíntesis y su liberación al ambiente mediante la respiración, descomposición o combustión.

Dendroenergía: Es la energía obtenida a partir de biomasa leñosa, como troncos, ramas, astillas o residuos forestales, utilizada para generar calor, electricidad o biocombustibles sólidos.

Densificación: Proceso mediante el cual se incrementa la densidad energética y física de la biomasa mediante técnicas como compactación, peletización o briqueteado.

Densidad energética: Cantidad de energía que se puede almacenar en una unidad de volumen o peso de un material.

Digestión anaeróbica: Proceso biológico en el que microorganismos descomponen biomasa en ausencia de oxígeno, generando biogás y un subproducto rico en nutrientes.

Fertilizantes orgánicos: Productos obtenidos a partir de residuos de biomasa, como compost o cenizas, que mejoran las propiedades del suelo.

Fibras lignocelulósicas: Componentes estructurales de la biomasa vegetal (celulosa, hemicelulosa y lignina) utilizados en biocombustibles y materiales compuestos.

Fotosíntesis: Proceso biológico mediante el cual las plantas, algas y algunas bacterias convierten la energía solar en energía química almacenada en forma de azúcares, utilizando dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O), y liberando oxígeno (O_2) como subproducto.

Gasificación: Proceso termoquímico que convierte la biomasa en gas combustible mediante la aplicación de altas temperaturas en un entorno controlado.

GEI – Gases Efecto Invernadero: Son gases presentes en la atmósfera que tienen la capacidad de absorber y emitir radiación infrarroja, lo que contribuye al efecto invernadero. Este fenómeno natural es esencial para mantener la temperatura de la tierra; sin embargo, el aumento en la concentración de GEI debido a actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y la deforestación, ha intensificado el calentamiento global. Los principales GEI incluyen el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y los gases fluorados (como los HFC y PFC).

Hemicelulosa: Polisacárido presente en la biomasa vegetal, más fácil de descomponer que la celulosa, útil en la producción de bioquímicos.

Huella de carbono: Medida de la cantidad total de gases de efecto invernadero emitidos, directa o indirectamente, por una actividad o producto.

Humedad: Contenido de agua presente en la biomasa, que afecta su calidad y eficiencia como combustible.

Lignina: Polímero orgánico complejo que da rigidez a las paredes celulares de las plantas, utilizado en bioplásticos y como combustible sólido.

Peletización: Proceso de compactación de biomasa en pequeñas partículas densas con forma cilíndrica para su uso como biocombustible.

Pellets: Pequeños cilindros densos y uniformes fabricados a partir de biomasa comprimida, utilizados como combustible.

Pirólisis: Proceso de descomposición de la biomasa mediante altas temperaturas en ausencia de oxígeno.

Poder calorífico: Cantidad de calor que se libera durante la combustión completa de una unidad de biomasa.

Refinado de biomasa: Proceso de transformación de biomasa en productos de alto valor agregado, como bioplásticos o biocombustibles avanzados.

Residuos agrícolas: Materiales sobrantes de la producción agrícola, como paja, tallos y cáscaras, utilizados como fuente de biomasa.

Residuos forestales: Restos de madera y vegetación sobrantes de actividades forestales, como ramas y corteza.

Secado: Eliminación de la humedad de la biomasa para mejorar su eficiencia energética y facilitar su procesamiento.

Secuestro de carbono: Proceso mediante el cual la biomasa captura y almacena dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera, ayudando a mitigar el cambio climático.

Silvicultura energética: Manejo forestal especializado en la producción de biomasa para fines energéticos.

Sostenibilidad: Uso eficiente de recursos naturales para satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las de futuras generaciones.

Tamaño de partícula: Dimensión promedio de las partículas de biomasa, que influye en el proceso de compactación y combustión.

Termólisis: Descomposición química de la biomasa bajo altas temperaturas, generalmente utilizada en procesos como pirólisis y gasificación.

Transesterificación: Reacción química utilizada para convertir aceites vegetales en biodiésel, un biocombustible líquido.

Valor agregado: Incremento del valor de la biomasa mediante procesos de transformación que generan productos con mayor utilidad o demanda en el mercado.

CAPÍTULOS

¿QUÉ DEBEMOS SABER SOBRE LA BIOMASA VEGETAL?

Convenio N° 3054342

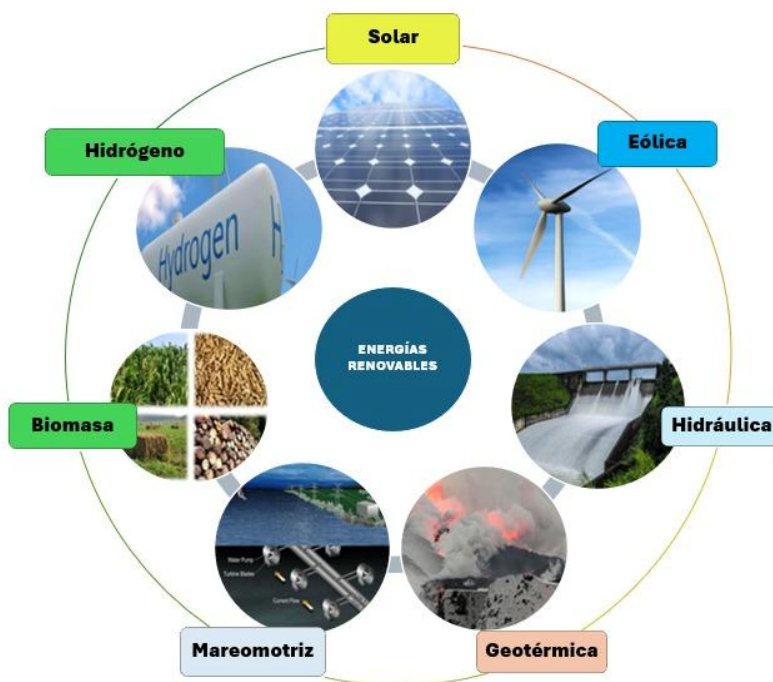
La biomasa vegetal es un recurso natural que ha acompañado al ser humano desde tiempos remotos, desempeñando un papel importante en la provisión de energía, materiales y otros productos esenciales. En la actualidad, este recurso ha cobrado relevancia como una alternativa renovable que puede contribuir significativamente a la mitigación del cambio climático, al desarrollo económico sostenible y a la diversificación de las fuentes energéticas. Sin embargo, para entender plenamente el rol de la biomasa vegetal en el contexto actual, es necesario situarla dentro del marco de las energías renovables, que son la base de la transición hacia modelos más sostenibles. Pero entonces, ¿qué son las energías renovables?

4.1.1. ¿Qué son las Energías Renovables? Las energías renovables son aquellas obtenidas de fuentes naturales que tienen la capacidad de regenerarse de forma continua o en un período de tiempo relativamente corto, lo que garantiza su disponibilidad de manera indefinida. Estas fuentes de energía se caracterizan por su bajo impacto ambiental, ya que su generación produce mínimas emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con las fuentes de energía no renovables, como los combustibles fósiles. Las principales fuentes de energía renovable son:

- Energía Solar
- Energía Eólica
- Energía Hidráulica
- Energía Geotérmica
- Energía de la Biomasa (bioenergía)
- Energía Mareomotriz
- Energía del Hidrógeno

Por el contrario, los combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas, constituyen fuentes de energía no renovables que tardan cientos de millones de años en formarse. Los combustibles fósiles generan energía a través de su combustión, un proceso que libera grandes cantidades de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2). Estas emisiones tienen un impacto significativo en el cambio climático, ya que contribuyen al aumento de la concentración de gases en la atmósfera, intensificando el calentamiento global y sus efectos adversos en el medio ambiente.

Figura 1. Principales energías renovables



Fuente: Autores

Por ello, una transición desde los combustibles fósiles, que actualmente son responsables de la mayor parte de las emisiones globales, hacia fuentes de energía renovable es primordial para enfrentar la crisis climática y mitigar sus impactos en el medio ambiente y la sociedad.

Así las cosas, las energías renovables están llamadas a convertirse en la fuente más eficiente y rentable para el planeta, impulsando el desarrollo económico global. Su verdadero potencial sostenible se logra cuando su producción se lleva a cabo con una visión integral que abarca toda la cadena de valor, desde el origen de la generación hasta los proveedores, y que prioriza la mitigación de los impactos sobre los territorios y las comunidades involucradas.

A partir de este enfoque, la bioenergía se posiciona como una de las formas más versátiles y prometedoras de energías renovables. Se obtiene a partir de la biomasa, que incluye materia orgánica de origen vegetal o animal, y se genera mediante procesos biológicos, químicos o termoquímicos que transforman esta biomasa en calor, electricidad o combustibles como biogás, bioetanol, biodiésel y pellets. Su carácter renovable radica en que la biomasa forma parte de un ciclo natural en el que el carbono liberado durante su uso es compensado por el carbono absorbido por las plantas

durante su crecimiento, contribuyendo así a una reducción neta de emisiones de gases de efecto invernadero.

Este carbono neutro se refiere al equilibrio entre la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) que se libera a la atmósfera durante la combustión de biomasa y la cantidad de CO_2 que es absorbida por las plantas durante su crecimiento. En un sistema de carbono neutro, la cantidad de CO_2 emitida durante la combustión de la biomasa es aproximadamente igual a la cantidad de CO_2 que la biomasa absorbió mientras crecía. Esto significa que, en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, el uso de biomasa puede considerarse sostenible, ya que no contribuye a un aumento neto de CO_2 en la atmósfera. Por otra parte, el otro valor de la bioenergía radica en su capacidad para integrarse en la economía circular. Al aprovechar residuos agrícolas, forestales, industriales y urbanos, la bioenergía no solo reduce la dependencia de los combustibles fósiles, sino que también minimiza la generación de desechos, promoviendo un uso más eficiente de los recursos naturales. Esto resulta especialmente relevante para las comunidades rurales, donde el acceso a fuentes de energía renovable puede transformar economías locales y mejorar la calidad de vida.

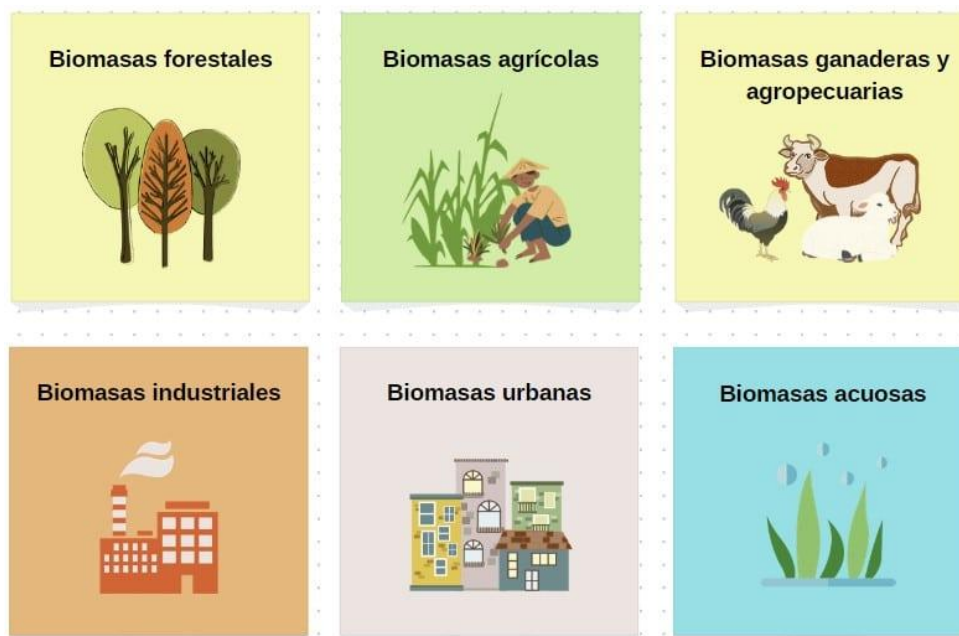
Además, la bioenergía es única entre las renovables por su flexibilidad. Puede producirse y utilizarse en formas sólidas, líquidas y gaseosas, como biocombustibles sólidos (pellets y briquetas), bioetanol y biodiésel, o biogás y biometano. Esta versatilidad permite su aplicación en una amplia gama de sectores, desde la generación de energía en plantas industriales hasta el transporte y la calefacción doméstica. Sin embargo, para garantizar la sostenibilidad de la bioenergía, es fundamental abordar su desarrollo con una visión integral. Esto implica seleccionar cuidadosamente las materias primas, optimizar los procesos de conversión energética y garantizar que su producción no compita con la seguridad alimentaria ni comprometa los ecosistemas locales. De esta manera, la bioenergía no solo se convierte en una solución energética viable, sino también en una herramienta para mitigar el cambio climático y fomentar un desarrollo económico inclusivo y sostenible.

4.1.2. ¿Qué es la Biomasa?. La biomasa es materia orgánica de origen vegetal o animal que puede ser utilizada como fuente de energía o materia prima en procesos industriales. El término “biomasa” está compuesto por el prefijo «bio-» (del griego, βιο-, ‘vida’) y el sustantivo «masa» (del latín, massa, ‘masa’), por lo que engloba una amplia variedad de elementos como plantas, animales, microorganismos y los productos resultantes de sus actividades biológicas (Krylova & Zaitchenkob, 2018).

Además, la biomasa incluye una amplia variedad de materiales como residuos agrícolas, forestales, industriales y urbanos, así como cultivos energéticos

específicamente destinados a la producción de energía (Talero et al., 2019). Cada categoría presenta composiciones y propiedades únicas, determinadas por los tipos de organismos involucrados y las condiciones ambientales en las que se desarrollan. Además de su variabilidad en formas, la biomasa también exhibe diferencias en su composición química, lo cual cambia sus características de combustión, densidad energética y potencial de transformación en diversos productos, como biocombustibles. La adaptabilidad de la biomasa a diferentes contextos y aplicaciones la convierte en un recurso versátil y con un potencial considerable para satisfacer diversas necesidades energéticas y ambientales (Rivera et al., 2023). Los tipos de biomasa pueden ser:

Figura 2. Tipos de biomasa



Fuente: Autores

4.1.2.1. Biomasa Forestal. La biomasa forestal incluye principalmente los bosques gestionados de manera sostenible y los residuos y subproductos generados en actividades forestales y silvicultura. Estos materiales, que no tienen un uso comercial directo, son aprovechados como fuente de energía (térmica o eléctrica) o materia prima para productos industriales. Algunos ejemplos son:

Figura 3. Biomasa forestal



Fuente: Autores

4.1.2.2. Biomasa Agrícola. La biomasa agrícola comprende los cultivos energéticos diseñados específicamente para generar biomasa así como los residuos orgánicos resultantes de la producción y cosecha de cultivos agrícolas. Incluye materiales sobrantes de las cosechas y el procesamiento agrícola, como paja, tallos, bagazo y cáscaras, además de cultivos energéticos como la caña de azúcar, la remolacha azucarera, o el maíz que se cultivan para la producción de biocombustibles. Algunos ejemplos son:

Figura 4. Cultivos energéticos



Fuente: Autores

Figura 5. Residuos agrícolas



Fuente: Autores

4.1.2.3. Biomasa Ganadera y Agropecuaria. Este tipo de biomasa proviene de las actividades ganaderas y agropecuarias, principalmente en forma de residuos orgánicos generados por animales y procesos de producción agropecuaria. Se caracteriza por su alto contenido de nutrientes y capacidad para producir biogás mediante digestión anaeróbica. Algunos ejemplos son:

Figura 6. Biomasa ganadera y agropecuaria



Fuente: Autores

4.1.2.4. Biomasa Industrial. La biomasa industrial incluye los residuos y subproductos generados en procesos de transformación industrial, especialmente en los sectores agroalimentario, maderero y papelerero. Estos materiales, que de otro modo

serían desechados, son reutilizados para la generación de energía o como insumos en la producción de biocombustibles. Algunos ejemplos son:

Figura 7. Biomasa industrial



Fuente: Autores

4.1.2.5. Biomasa Urbana. La biomasa urbana se refiere a los residuos orgánicos biodegradables generados en áreas urbanas y municipales. Esto incluye los restos de alimentos, residuos de jardinería y poda, lodos de depuradoras y otros desechos biodegradables que se generan en hogares, comercios e instalaciones públicas. Su gestión adecuada permite su aprovechamiento energético o su transformación en compost. Algunos ejemplos son:

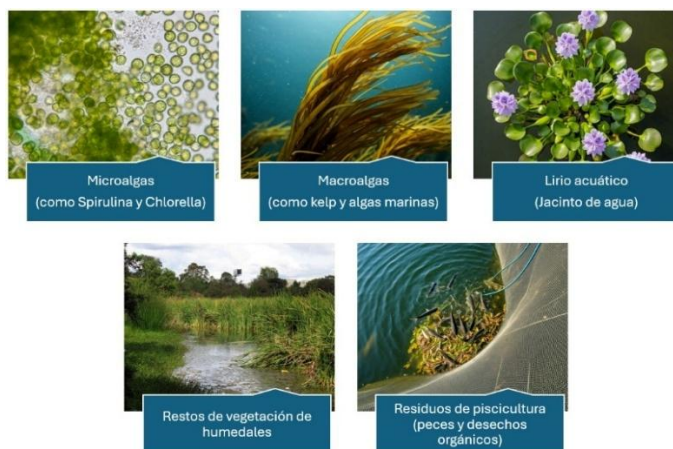
Figura 8. Biomasa urbana



Fuente: Autores

4.1.2.6. Biomasa Acuática. La biomasa acuática se compone de materiales orgánicos provenientes de ecosistemas acuáticos, como algas y plantas acuáticas, o de subproductos generados en actividades piscícolas. Este tipo de biomasa se utiliza principalmente para la producción de biocombustibles líquidos como biodiésel o bioetanol, además de productos industriales y alimenticios. Algunos ejemplos son:

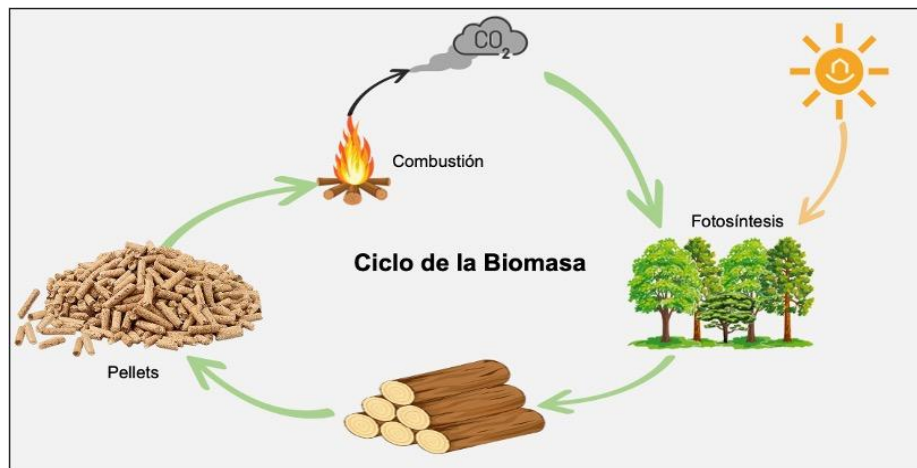
Figura 9. Biomasa acuática



Fuente: Autores

Sin embargo, aunque existen diversos tipos de biomasa, la biomasa vegetal emerge como una de las opciones más versátiles y ampliamente utilizadas en el aprovechamiento energético y productivo. Este tipo de biomasa, compuesta por materia orgánica de origen vegetal, incluye residuos agrícolas, forestales, cultivos energéticos y subproductos industriales derivados de plantas. Su abundancia, renovabilidad y diversidad de aplicaciones la convierten en un recurso clave para la generación de biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos, así como para la producción de calor y electricidad. Además, la biomasa vegetal forma parte de un ciclo natural en el que el carbono liberado durante su uso es compensado por el carbono absorbido por las plantas durante su crecimiento, posicionándola como una alternativa sostenible en la transición hacia modelos energéticos más limpios y responsables.

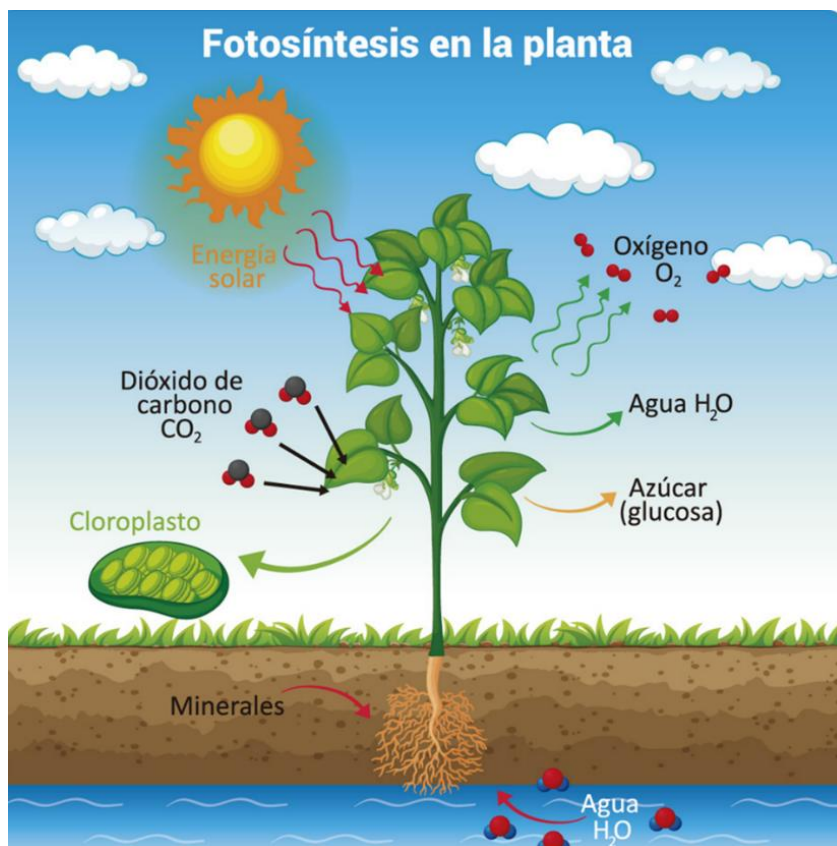
Figura 10. Ejemplo de ciclo del carbono de la biomasa vegetal



Fuente: Autores

4.1.3. ¿Qué es la biomasa vegetal? La biomasa vegetal se refiere a toda materia orgánica de origen vegetal que puede ser utilizada como fuente de energía renovable o como materia prima en procesos industriales. Su formación está intrínsecamente ligada al proceso de la fotosíntesis, mediante el cual las plantas capturan la energía solar y la convierten en energía química almacenada en forma de azúcares (glucosa). Este proceso, representado en figura 11, muestra cómo las plantas utilizan dióxido de carbono (CO_2) del aire, agua (H_2O) del suelo y minerales absorbidos por sus raíces para generar glucosa, liberando oxígeno (O_2) como subproducto.

Figura 11. Fotosíntesis de las plantas



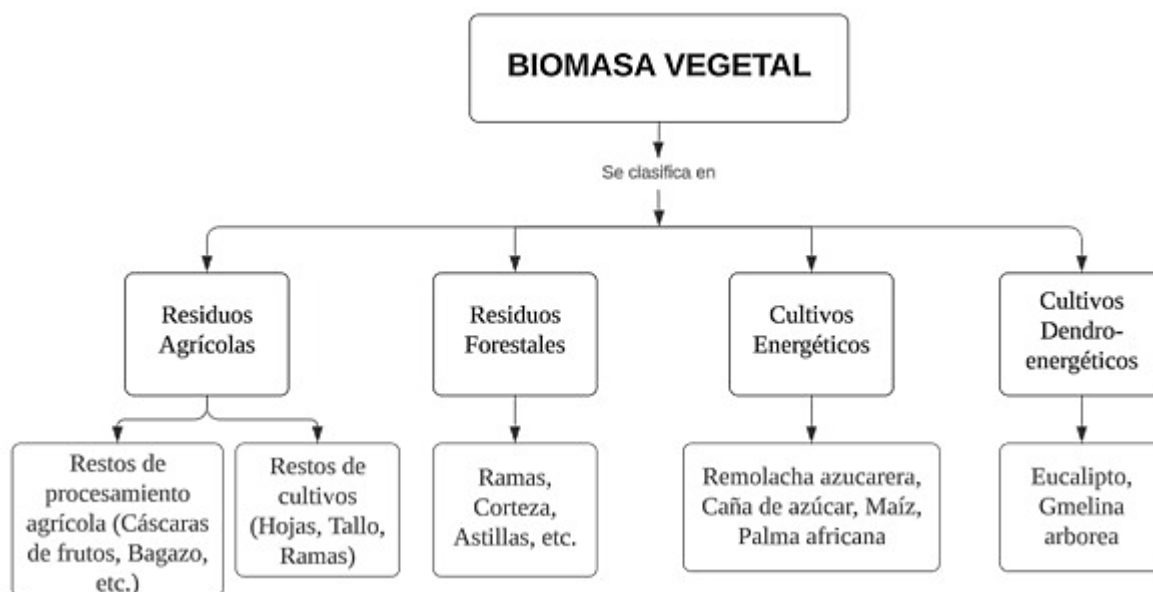
Fuente: Revista ABC (2022)

El cloroplasto, la estructura responsable de la fotosíntesis, desempeña un papel clave al convertir la luz solar en energía química, que luego es almacenada en las moléculas orgánicas de la planta. Esta energía química es la que puede ser aprovechada en forma de biomasa para generar biocombustibles sólidos, líquidos o gaseosos, o para producir electricidad y calor. De este modo, la biomasa vegetal se convierte en un recurso renovable que forma parte del ciclo natural de captura y liberación de carbono, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad y la transición energética global.

4.1.3.1. Tipos de biomasa vegetal. La biomasa vegetal con fines energéticos puede clasificarse en residuos agrícolas, residuos forestales, cultivos energéticos y cultivos dendroenergéticos como se muestra en la figura 12. Los residuos agrícolas comprenden materiales sobrantes de las actividades agrícolas, los cuales se subdividen en dos tipos principales. Por un lado, los restos de procesamiento agrícola, que incluyen subproductos como las cáscaras de frutos, el bagazo y otros desechos resultantes de la transformación de cultivos. Por otro lado, están los restos de cultivos, compuestos por elementos como hojas, tallos y ramas, que son generados directamente en el

campo durante las etapas de cosecha y manejo de cultivos. Los residuos forestales, por su parte, son subproductos derivados de las actividades de manejo forestal, tales como ramas, corteza y astillas. Estos materiales suelen ser abundantes y se utilizan comúnmente en aplicaciones industriales y energéticas por su densidad y contenido energético.

Figura 12. Clasificación de la biomasa vegetal



Fuente: Autores

Los cultivos energéticos incluyen plantas específicamente cultivadas para la producción de biomasa, entre estos destacan la remolacha azucarera, la caña de azúcar, el maíz y la palma africana, los cuales son seleccionados por su capacidad para generar altos rendimientos de biomasa en un corto periodo de tiempo, además de ser fuentes versátiles para la producción de biocombustibles. Finalmente, los cultivos dendroenergéticos se centran en especies arbóreas cultivadas con el propósito de producir madera y biomasa de manera sostenible. Ejemplos de estos cultivos son el eucalipto y la Gmelina arborea, que se caracterizan por su rápido crecimiento y su capacidad para adaptarse a diversas condiciones climáticas, siendo esenciales en la generación de energía y en la industria maderera.

4.1.4. Análisis fisicoquímico de la biomasa. Los análisis fisicoquímicos de la biomasa vegetal contribuyen a determinar su eficiencia y aplicación en procesos energéticos o industriales. Estos análisis incluyen:

4.1.4.1. Análisis Elemental. Es una técnica que determina la composición cuantitativa de los elementos básicos presentes en la biomasa. Es fundamental para evaluar las propiedades químicas y energéticas del material, así como para entender su comportamiento durante procesos como la combustión, la gasificación o la pirólisis (Méndez-Zetina et al., 2023).

- **Carbono (C).** Es uno de los principales componentes de la biomasa y una medida clave de su potencial energético. Durante la combustión, el carbono se oxida a dióxido de carbono (CO_2), liberando energía. El contenido de carbono se mide mediante técnicas como la combustión elemental, donde la muestra se quema y el CO_2 generado se cuantifica.
- **Hidrógeno (H).** En la biomasa contribuye al contenido energético, ya que durante la combustión se combina con el oxígeno para formar agua (H_2O) y liberar energía. Al igual que el carbono, el hidrógeno se mide mediante combustión elemental, con el H_2O producido siendo cuantificado.
- **Oxígeno (O).** Es un componente principal de la biomasa, pero no contribuye directamente al valor calorífico, ya que se oxida. Sin embargo, es esencial para la estructura molecular del material. El contenido de oxígeno generalmente se calcula por diferencia, restando el porcentaje de carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y cenizas del 100%.
- **Nitrógeno (N).** En la biomasa proviene de proteínas y otros compuestos nitrogenados. Aunque no es un gran contribuyente al contenido energético, su presencia es importante por sus implicaciones ambientales, ya que puede formar óxidos de nitrógeno (NO_x) durante la combustión, que son contaminantes. El nitrógeno se mide usando métodos como la combustión elemental, donde el nitrógeno se convierte a N_2 o NO_x , que luego se cuantifican.
- **Azufre (S).** El azufre está presente en pequeñas cantidades en la biomasa y puede formar dióxido de azufre (SO_2) durante la combustión, un contaminante que contribuye a la lluvia ácida. Por ello, su cuantificación es importante para evaluar el impacto ambiental. El contenido de azufre se mide generalmente mediante combustión elemental, donde el azufre se convierte a SO_2 y se cuantifica.

4.1.4.2. Análisis Próximo. Es un método estándar utilizado para caracterizar la composición de la biomasa y otros materiales orgánicos. Este análisis determina el contenido de varios componentes principales: humedad, material volátil, carbono fijo y

cenizas. Proporciona una visión general de la calidad y propiedades de la biomasa (Rodríguez-Romero et al., 2022).

- **Porcentaje de humedad.** El porcentaje de humedad (o contenido de humedad) es la cantidad de agua presente en la biomasa, expresada como un porcentaje del peso total de la muestra antes del secado (López et al., 2013). Es un parámetro crucial porque la humedad afecta la eficiencia energética y el almacenamiento de la biomasa. Esta propiedad ayudará en el control de calidad del producto puesto que el agua puede afectar el proceso de transformación física o química de la materia, además de aumentar el riesgo de crecimiento de microorganismos no deseados (Carrión-Prieto, 2016).

$$\text{Porcentaje de Humedad (\%)} = \left(\frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso seco}}{\text{Peso inicial}} \right) * 100$$

- **Porcentaje de material volátil.** El material volátil se refiere a los compuestos que se liberan cuando la biomasa se calienta en ausencia de oxígeno (pirólisis). Estos compuestos incluyen gases y líquidos que se volatilizan a temperaturas relativamente bajas antes de que la combustión completa ocurra. Se mide calentando una muestra a una temperatura específica (generalmente alrededor de 950°C) y pesando el residuo.

$$\text{Material volátil (\%)} = \left(\frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso del residuo tras la volatilización}}{\text{Peso inicial}} \right) * 100$$

- **Porcentaje de cenizas.** Las cenizas son los residuos inorgánicos que quedan después de la combustión completa de la biomasa. Representan los minerales y otros materiales no combustibles (UDELAR, 2018). El contenido de cenizas se mide calentando la muestra a una temperatura alta (por ejemplo, 550°C) hasta que todo el material orgánico se haya quemado.

$$\text{Cenizas (\%)} = \left(\frac{\text{Peso de la muestra después de la combustión}}{\text{Peso inicial}} \right) * 100$$

- **Porcentaje de carbono fijo.** El carbono fijo es la fracción de la biomasa que permanece después de la volatilización y la eliminación de cenizas. Representa el material carbonoso que no se volatiliza a altas temperaturas y contribuye directamente a la combustión. Es un indicador importante del potencial energético de la biomasa.

$$\text{Carbono fijo (\%)} = 100\% - (\% \text{ Humedad} + \% \text{ Material volátil} + \% \text{ Cenizas})$$

4.1.4.3. Análisis Lignocelulósico. Es una técnica que se utiliza para determinar la composición de los componentes principales de la biomasa vegetal: lignina, celulosa y hemicelulosa. Estos componentes son los polímeros estructurales primarios que forman la pared celular de las plantas y son elementales para comprender las propiedades y el potencial de la biomasa para aplicaciones energéticas y de materiales (Carrión-Prieto, 2016; Díez et al., 2017; Bimestre et al., 2023).

- **Lignina.** Es un polímero complejo y tridimensional compuesto de fenilpropanoides. Es responsable de la rigidez y resistencia de las paredes celulares de las plantas, y proporciona protección contra la degradación microbiana y mecánica. La lignina es difícil de degradar biológicamente y tiene un alto contenido energético, lo que la hace relevante para la producción de bioenergía. Se determina mediante métodos químicos que incluyen la digestión con ácidos fuertes (como ácido sulfúrico). Dos fracciones se pueden medir, la primera es conocida como Lignina Klason la cual es determinada por el residuo insoluble tras la hidrólisis con ácido sulfúrico concentrado; la segunda es la Lignina soluble, determinada mediante métodos espectrofotométricos después de la hidrólisis.
- **Celulosa.** Es un polisacárido lineal compuesto de unidades de glucosa unidas por enlaces β -1,4-glicosídicos. Es el componente más abundante en la pared celular vegetal y es vital para la producción de biocombustibles y otros bioproductos debido a su alto contenido de carbono. La celulosa se determina mediante métodos que incluyen la extracción química seguida de la cuantificación por hidrólisis y medición de glucosa. Uno de los métodos comunes es la extracción con ácido acético y nitrato de sodio, seguido de una medición espectrofotométrica o cromatográfica.
- **Hemicelulosa.** Es un grupo heterogéneo de polisacáridos ramificados que incluyen xilanos, mananos, glucuronoxilanos y otros. A diferencia de la celulosa, la hemicelulosa tiene una estructura amorfa y es más fácilmente degradable. La hemicelulosa se determina mediante la extracción con soluciones alcalinas (como hidróxido de sodio) que disuelven la hemicelulosa, seguida de la cuantificación de los azúcares monoméricos liberados mediante hidrólisis ácida y análisis cromatográfico o espectrofotométrico.

4.1.4.4. Poder Calorífico. Es una medida de la cantidad de energía liberada cuando una sustancia se quema por completo. Es una propiedad clave para evaluar el potencial energético de combustibles, incluyendo la biomasa. Se puede dividir en dos

tipos: poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI) (Díez et al., 2017; Silva et al., 2023).

- **Poder Calorífico Superior.** Es la cantidad total de energía liberada durante la combustión completa de una sustancia, incluyendo la energía contenida en el vapor de agua producido por la combustión. Este valor asume que todos los productos de la combustión son enfriados a la temperatura inicial y que el vapor de agua se condensa completamente, liberando su calor latente de vaporización. El PCS se puede determinar experimentalmente usando una bomba calorimétrica, donde la muestra se quema en una atmósfera de oxígeno puro y la energía liberada se mide (Bimestre et al., 2023).
- **Poder Calorífico Inferior.** Es la cantidad de energía liberada durante la combustión completa de una sustancia, excluyendo la energía contenida en el vapor de agua producido. Este valor no incluye el calor de condensación del vapor de agua, ya que asume que los productos de la combustión no se enfrían lo suficiente para condensar el agua. El PCI se puede calcular a partir del PCS si se conoce el contenido de hidrógeno en el combustible, ya que el hidrógeno se convierte en vapor de agua durante la combustión. La ecuación para calcular el PCI es:

$$PCI = PCS - (mH_2O * \Delta H_{vap})$$

Donde:

mH_2O es la masa de agua producida por la combustión.

ΔH_{vap} es el calor latente de vaporización del agua (aproximadamente 600 kcal/kg).

En términos prácticos, si el contenido de hidrógeno H en el combustible se conoce (como porcentaje en peso), la ecuación puede simplificarse a:

$$PCI = PCS - 600 * (9H + H_2O) \quad kcal/kg$$

Donde: 9 son los kg de agua formada al oxidar 1 kg de H_2 , H es el porcentaje de hidrógeno en el combustible y H_2O es el porcentaje de humedad del combustible.

¿QUÉ PRODUCTOS SE OBTIENEN DE LA BIOMASA VEGETAL?

Convenio N° 3054342

La biomasa vegetal, al ser una de las fuentes de energía renovable más accesibles y versátiles, ofrece un amplio rango de productos que contribuyen al desarrollo sostenible en diversos sectores. Estos productos, derivados tanto de residuos como de cultivos especialmente diseñados para este fin, destacan no solo por su capacidad para sustituir fuentes de energía no renovables, sino también por su potencial para promover una economía circular y reducir el impacto ambiental. Entre los principales productos de la biomasa vegetal se encuentran los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, que desempeñan un papel esencial en la generación de energía. Asimismo, materiales como pellets, briquetas y biocarbón son cada vez más utilizados en aplicaciones industriales y domésticas, mientras que biocombustibles líquidos como el etanol y biodiésel se consolidan como alternativas sostenibles en el transporte. Por otro lado, subproductos como aceites esenciales, fertilizantes orgánicos y bioplásticos amplían las posibilidades de aprovechamiento de la biomasa vegetal, demostrando su flexibilidad para adaptarse a las demandas de mercados emergentes.

Este capítulo explorará en detalle los distintos tipos de productos que se pueden obtener de la biomasa vegetal, sus características, aplicaciones principales y los procesos que los hacen posibles. A través de esta perspectiva integral, se busca resaltar el valor de la biomasa vegetal como un recurso clave para fomentar la transición hacia una economía más verde y sostenible.

4.2.1. Biocombustibles. Son combustibles obtenidos a partir de materia orgánica o biomasa, que pueden ser de origen vegetal o animal. Se consideran una fuente de energía renovable, ya que se producen a partir de recursos que pueden regenerarse en un ciclo relativamente corto, en comparación con los combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural o el carbón (Andreu et al., 2020).

Los biocombustibles pueden ser de tres tipos, biocombustibles líquidos (etanol, biodiésel y aceite vegetal), biocombustibles gaseosos (biogás y gas de síntesis) y biocombustibles sólidos (madera combustible, carbón vegetal, briquetas y pellets). Estas formas de bioenergía utilizan distintos tipos de materia que se pueden cultivar en diversos entornos y que se convierten a través de diferentes tecnologías y vías de procesamiento a bioenergía, caracterizando así el específico tipo de bioenergía. Los biocombustibles líquidos son combustibles producidos a partir de biomoléculas de origen vegetal y otros tipos de materia prima. Estos pueden ser usados para sustituir los combustibles fósiles en el sector de transporte o mejorar el acceso a la energía local cuando se utiliza para remplazar el diésel en los generadores diésel. Los biocombustibles gaseosos son producidos a partir de residuos agropecuarios o residuos de madera. Los biocombustibles sólidos son producidos a partir de biomasa maderera y residuos de cultivos. Estas formas de bioenergía pueden ser usadas para

la generación de electricidad, por ejemplo, iluminación, potencia rotativa, electrificación rural y para los servicios de calefacción y cocina (FAO, 2014).

4.2.1.1. Biocombustibles sólidos. Son combustibles no fósiles compuestos por materia orgánica de origen vegetal o animal, densificada mediante procesos físicos como la conversión en astillas, aserrín, pellets o briquetas o procesos termoquímicos como la conversión a carbón vegetal (Ruan et al., 2019). Estos biocombustibles son utilizados en aplicaciones energéticas a través de la combustión directa, o mediante procesos como la gasificación o pirólisis, para la producción de calor, electricidad o su empleo en procesos industriales. Representan una opción atractiva en el marco de la transición energética, ya que permiten el aprovechamiento de residuos orgánicos y otras matrices de origen biológico, promoviendo la economía circular y la sostenibilidad. Además, son una fuente de energía renovable que contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, ofreciendo una alternativa más limpia frente a los combustibles fósiles.

- **Astillas.** Son empleados en muchas operaciones, desde labores en los hogares hasta aplicaciones en plantas generadoras de energía a gran escala. Las astillas, son obtenidas por trituradoras y en términos energéticos son comparables con el carbón (Carrillo, 2015).

Figura 13. Astillas



Fuente: Forestry Equipment, 2019

- **Briquetas.** Similares a los pellets, pero con mayor tamaño. Las briquetas tienen diámetros de 2,5 cm o mayores, y están formados de biomasa altamente comprimida que pasa por una matriz, debido a la acción de un pistón o tornillos sinfín. Se emplea también matrices con calentadores para favorecer la compresión de la briqueta (Carrillo, 2015).

Figura 14. Briquetas



Fuente: GEMCO, 2024

- **Pellets.** Poseen una alta densidad. Son más fáciles de manejar que otras biomasa densificadas. Normalmente son cilíndricos con diámetros del orden del centímetro y largos superiores a los 3 cm (Carrillo, 2015).

Figura 15. Pellets



Fuente: GEMCO, 2024

- **Biochar o carbón vegetal.** Es un material sólido similar al carbón que se obtiene mediante la pirólisis de biomasa, es decir, la descomposición térmica de materia orgánica en ausencia de oxígeno o con muy poco oxígeno. Una de sus principales propiedades es su capacidad para mejorar la retención de agua y aumentar la fertilidad del suelo, lo que ayuda a optimizar las condiciones de crecimiento de las plantas y mejorar la estructura física del suelo (Olugbade y Ojo, 2020). Además, el biochar es altamente estable, lo que le permite capturar carbono de la atmósfera y almacenarlo en el suelo durante largos periodos, convirtiéndose en una herramienta

efectiva para el secuestro de carbono y la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), lo que lo hace relevante en la lucha contra el cambio climático.

Figura 16. Biochar o carbón vegetal

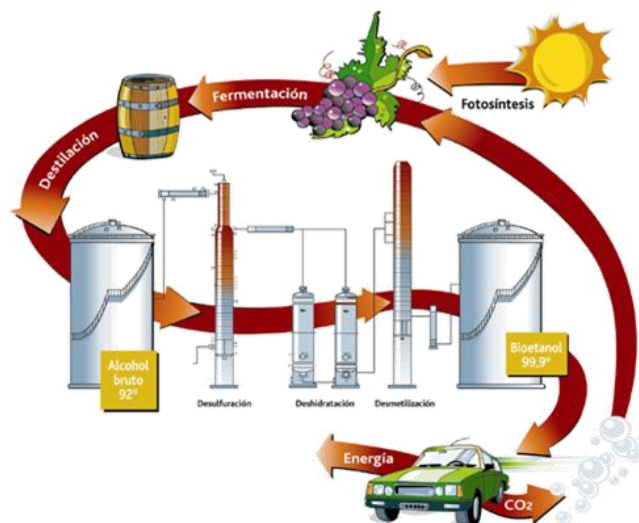


Fuente: Chen et al., 2022

4.2.1.2. Biocombustibles líquidos. Son combustibles renovables derivados de la biomasa vegetal o animal, producidos mediante procesos biológicos, químicos o termoquímicos. Estos combustibles representan una alternativa sostenible frente a los combustibles fósiles líquidos como la gasolina y el diésel, y son ampliamente utilizados en sectores como el transporte, la generación de energía y la industria. Los biocombustibles líquidos no solo contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también promueven el aprovechamiento de residuos orgánicos y cultivos energéticos, fomentando la economía circular y la transición hacia fuentes de energía más limpias.

- **Bioetanol.** El bioetanol es un biocombustible líquido producido principalmente a partir de materiales ricos en carbohidratos, como caña de azúcar, maíz y remolacha, a través de procesos de fermentación. Este combustible se utiliza comúnmente como aditivo en las gasolinas (E10 que corresponde a una mezcla que contiene 10% de bioetanol y 90% de gasolina, y E85 que corresponde a una mezcla que contiene hasta un 85 % de bioetanol y un 15% gasolina), mejorando el rendimiento energético y reduciendo las emisiones contaminantes. Además, su producción fomenta el aprovechamiento de residuos agrícolas como las melazas y los almidones de baja calidad.

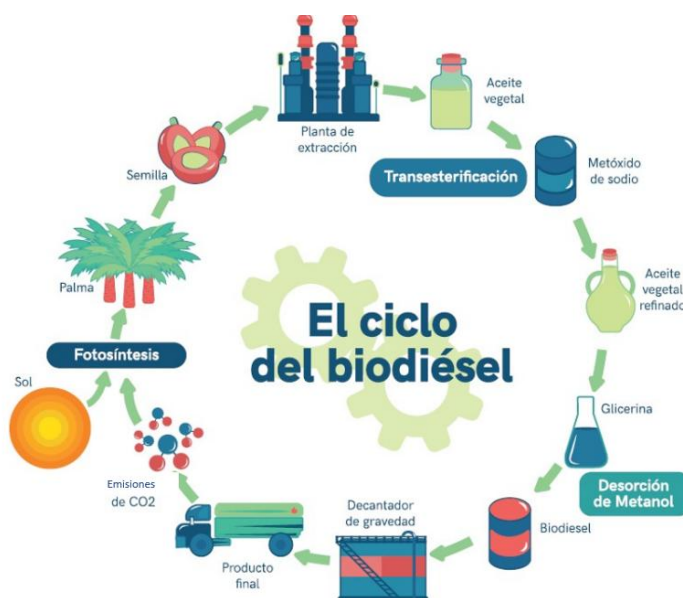
Figura 17. Ciclo del bioetanol



Fuente: Martín, 2023

- **Biodiésel.** Se produce mediante un proceso químico llamado transesterificación, en el que aceites vegetales (soja, palma, colza) o grasas animales se convierten en ésteres metílicos o etílicos. Es utilizado como sustituto o complemento del diésel convencional en motores diésel, destacándose por ser biodegradable, menos contaminante y con menor contenido de azufre. Además, su producción permite el aprovechamiento de aceites usados provenientes de la industria alimentaria.

Figura 18. Ciclo del biodiésel

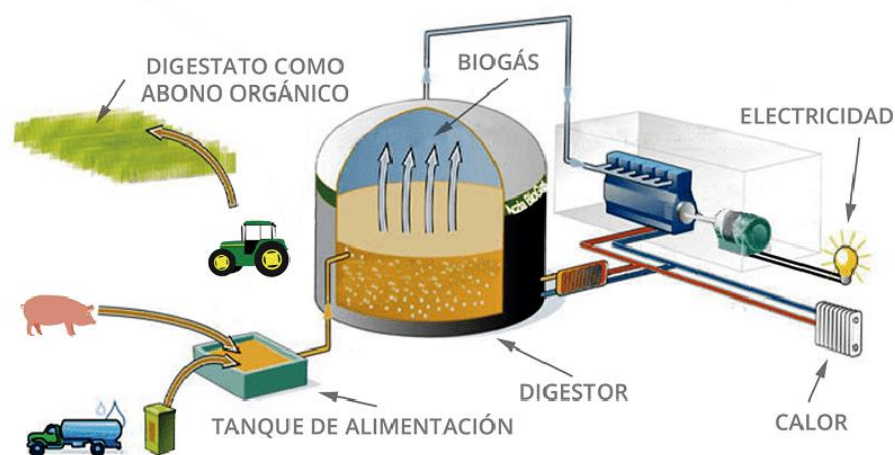


Fuente: Fundación Solón, 2023

4.2.1.3. Biocombustibles gaseosos. Son combustibles obtenidos a partir de la biomasa mediante procesos biológicos, químicos o termoquímicos, y se presentan en forma de gases. Representan una fuente renovable de energía con aplicaciones en la generación de electricidad, calor y como combustible vehicular. Entre los biocombustibles gaseosos más destacados se encuentran el biogás, el biometano y el hidrógeno renovable, cada uno con características únicas que los hacen útiles en diversos contextos energéticos.

- **Biogás.** Producido mediante la digestión anaeróbica de residuos orgánicos, como estiércol, residuos agrícolas, lodos de depuradora y desechos alimentarios. Este gas está compuesto principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), y puede utilizarse directamente en motores, calderas o para generar electricidad. Su producción también ayuda a reducir la acumulación de residuos y las emisiones de metano en vertederos.

Figura 19. Producción de biogás

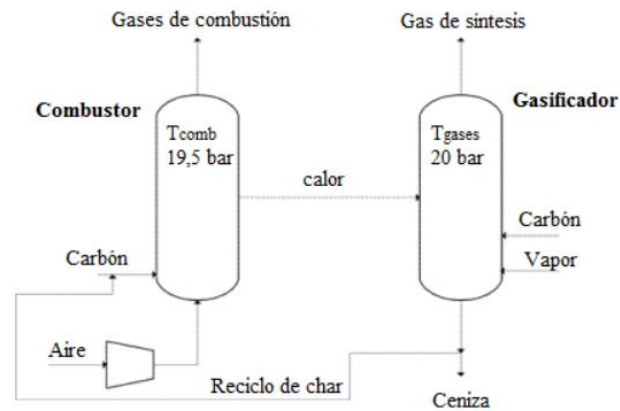


Fuente: Navarro, 2014

- **Hidrógeno renovable.** También conocido como hidrógeno verde, se produce a partir de biomasa o mediante electrólisis del agua utilizando energía renovable. Es un combustible limpio que, al quemarse, solo produce agua como subproducto. Este biocombustible tiene aplicaciones prometedoras en la industria, el transporte pesado y la generación de energía.
- **Gas de síntesis.** También conocido como syngas, es una mezcla de gases combustibles obtenida a través de la gasificación de materiales carbonosos como la biomasa. Su composición principal incluye monóxido de carbono (CO), hidrógeno

(H₂) y dióxido de carbono (CO₂), aunque también puede contener pequeñas cantidades de metano (CH₄), nitrógeno (N₂) y otros compuestos menores.

Figura 20. Gas de síntesis



Fuente: Navarro, 2014

¿CUÁLES SON LOS CRITERIOS Y CARACTERÍSTICAS PARA LA SELECCIÓN DE LA BIOMASA VEGETAL?

Convenio N° 3054342

La selección de la materia prima adecuada es un paso crucial en el desarrollo de productos de alto valor agregado a partir de biomasa vegetal. Este proceso no solo define la viabilidad técnica, económica y ambiental del proyecto, sino que también influye directamente en la calidad del producto final, la eficiencia de los procesos de producción y la sostenibilidad general del sistema. La elección de la biomasa requiere un enfoque integral que contemple criterios técnicos, como las propiedades físicas y químicas del material; económicos, como los costos de adquisición y transporte; y ambientales, como el impacto sobre los recursos naturales y las emisiones generadas. A continuación, se mencionan los criterios más relevantes para la selección de la materia prima en la obtención de productos de valor a partir de biomasa vegetal.

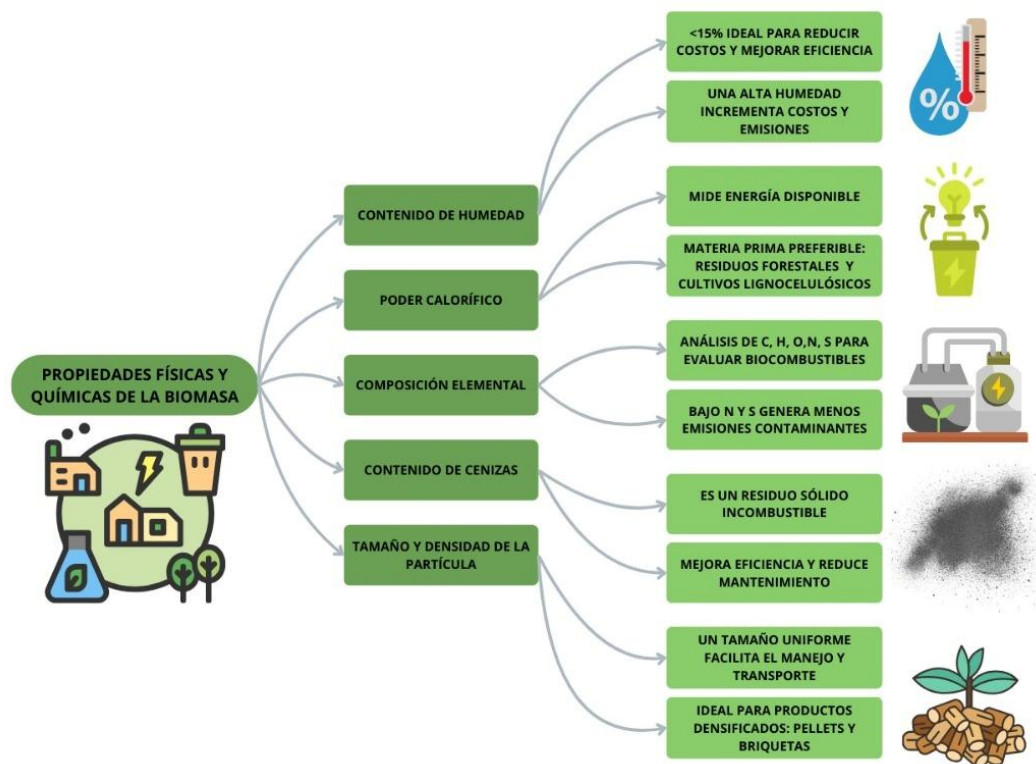
4.3.1. Propiedades Físicas y Químicas de la Biomasa. La biomasa seleccionada debe cumplir con propiedades específicas que permitan optimizar los procesos de transformación y garantizar la calidad del producto final. Entre las propiedades más relevantes se encuentran:

4.3.1.1. Contenido de humedad. Un bajo contenido de agua (generalmente <10%) facilita la combustión y reduce los costos de secado. La biomasa con alto contenido de humedad genera emisiones adicionales y disminuye la eficiencia energética.

4.3.1.2. Poder calorífico. Indica la cantidad de energía que puede liberar la biomasa durante la combustión. Una biomasa rica en carbono y con bajas cenizas tiene un mayor poder calorífico, lo que la hace ideal para biocombustibles sólidos. Se determina en unidades de MJ/t, kJ/kg o Kcal/kg.

4.3.1.3. Composición química. La biomasa debe contener bajos niveles de contaminantes como azufre, cloro u otros elementos no deseados que puedan dañar equipos o generar emisiones nocivas. Además, los elementos como carbono, hidrógeno y oxígeno determinan su potencial energético.

Figura 21. Propiedades de la biomasa



Fuente: Autores

4.3.2. Factores de Adaptabilidad y Productividad. Las especies vegetales seleccionadas deben ser altamente adaptables a diferentes entornos y productivas en términos de generación de biomasa:

4.3.2.1. Adaptabilidad al entorno. Especies capaces de tolerar variaciones en las condiciones climáticas y suelos, asegurando su viabilidad en diferentes regiones.

4.3.2.2. Resistencia a plagas y enfermedades. Una biomasa resistente reduce las pérdidas en producción y asegura un suministro constante.

4.3.2.3. Facilidad de propagación. Especies con métodos de propagación eficientes, como esquejes o rizomas, reducen los costos de cultivo.

4.3.2.4. Alto rendimiento o producción. Especies con rápido crecimiento y alta capacidad de producción de biomasa, son ideales para maximizar la eficiencia. Se mide en t/ha.

4.3.3. Disponibilidad y Accesibilidad. La viabilidad de los proyectos de biomasa depende en gran medida de la disponibilidad y el acceso constante a la materia prima:

4.3.3.1. Fuentes locales. La biomasa proveniente de fuentes cercanas reduce los costos de transporte y la huella de carbono, haciéndola más sostenible.

4.3.3.2. Estacionalidad. Planificar el almacenamiento de biomasa en temporadas de mayor producción asegura un suministro constante y reduce costos en épocas de baja oferta. Algunas materias primas, como los residuos agrícolas, tienen una producción estacional, lo que requiere estrategias de almacenamiento o la diversificación de fuentes para garantizar un suministro constante.

4.3.3.3. Volumen disponible. La biomasa seleccionada debe estar disponible en cantidades suficientes para satisfacer la demanda del proyecto sin interrumpir su operación a largo plazo.

4.3.4. Compatibilidad con los Procesos de Producción. No todas las materias primas son adecuadas para todos los procesos de producción. La biomasa seleccionada debe estar alineada con las tecnologías disponibles y el producto final deseado:

4.3.4.1. Procesos termoquímicos (gasificación, combustión y pirólisis). Requieren biomasa lignocelulósica, como residuos forestales, con bajo contenido de humedad y alta densidad energética.

4.3.4.2. Fermentación. Es ideal para biomasa rica en azúcares o almidones, como la caña de azúcar o el maíz, utilizados en la producción de bioetanol.

4.3.4.3. Transesterificación. Aceites y grasas vegetales o animales son esenciales para la producción de biodiésel.

4.3.4.4. Densificación. Para pellets o briquetas, se requiere una biomasa homogénea y con un tamaño de partícula uniforme.

Figura 22. Procesos de producción



Fuente: Autores

4.3.5. Sostenibilidad Ambiental. La sostenibilidad es un criterio clave que debe guiar la selección de biomasa para minimizar el impacto ambiental y promover prácticas responsables:

4.3.5.1. Aprovechamiento de residuos. Utilizar residuos agrícolas, forestales o industriales reduce la generación de desechos y fomenta la economía circular.

4.3.5.2. Reducción del impacto ambiental. Es importante evitar la deforestación o la competencia con cultivos alimentarios, priorizando fuentes renovables y sostenibles.

4.3.5.3. Economía circular. Materias primas como el bagazo de caña, pulpas de frutas o aceites usados fomentan el reciclaje y reducen la dependencia de insumos primarios.

4.3.5.4. Mitigación de emisiones. Seleccionar biomasa con características que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero, como bajo contenido de azufre y cloro.

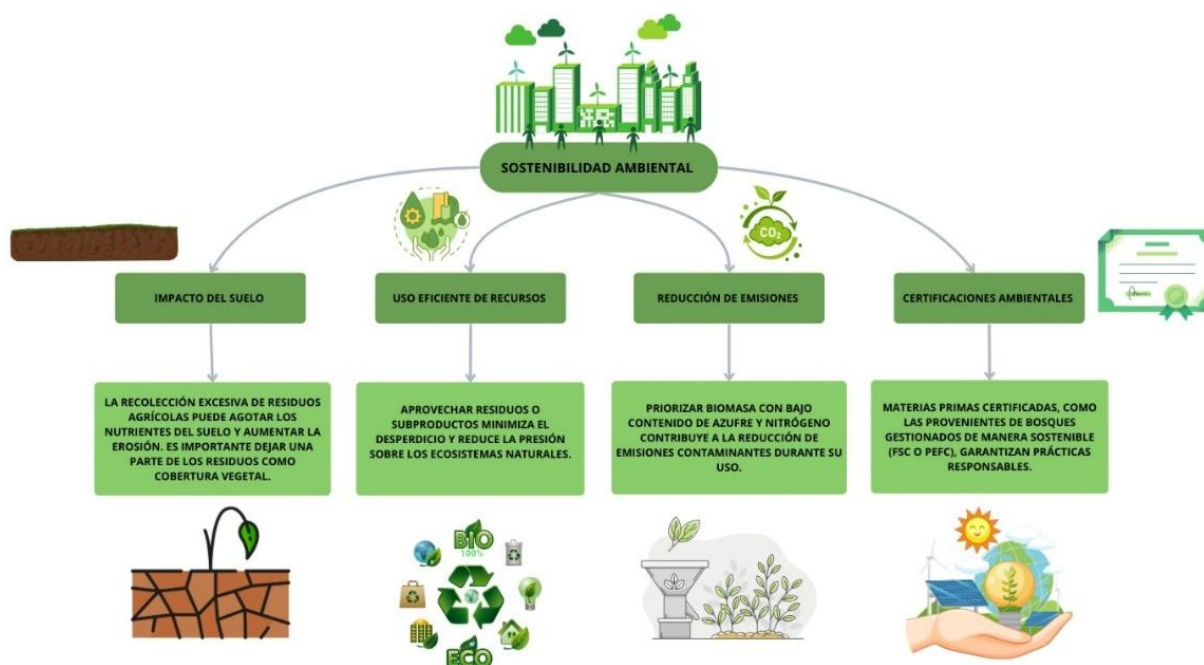
4.3.6. Factores Económicos. Los costos asociados a la biomasa seleccionada son determinantes para la viabilidad económica del proyecto. Se deben considerar:

4.3.6.1. Costo de adquisición. Algunas fuentes de biomasa, como cultivos energéticos, pueden ser más costosas que residuos agrícolas o industriales.

4.3.6.2. Costos logísticos. La proximidad de la biomasa a las instalaciones de procesamiento es clave para reducir gastos de transporte y almacenamiento.

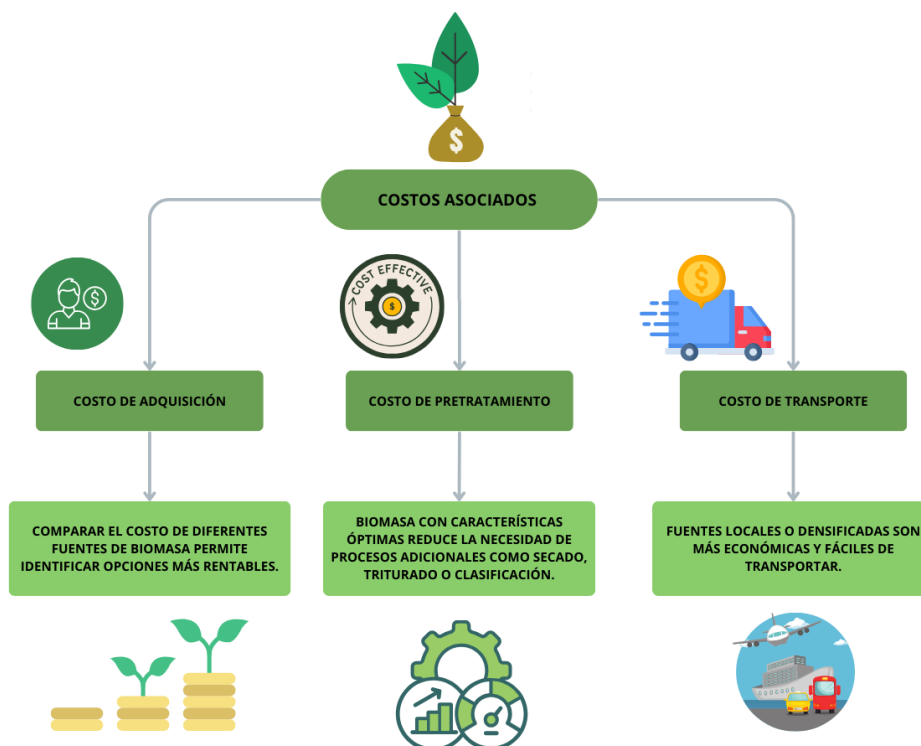
4.3.6.3. Costos de pretratamiento. La biomasa homogénea y con propiedades óptimas reduce la necesidad de procesos adicionales, como trituración o secado, disminuyendo los costos operativos.

Figura 23. Sostenibilidad ambiental



Fuente: Autores

Figura 24. Costos asociados



Fuente: Autores

4.3.7. Fuentes de Biomasa Vegetal. Las fuentes de biomasa vegetal pueden clasificarse según su origen, lo que facilita su selección de acuerdo con los requisitos del proyecto (ver subcapítulo 6.2.3.1) :

4.3.7.1. Cultivos o residuos agrícolas. Incluyen paja, tallos, cáscaras y bagazo. Son abundantes, de bajo costo y sostenibles.

4.3.7.2. Cultivos o residuos forestales. Comprenden ramas, cortezas y astillas, ideales para biocombustibles sólidos.

En la siguiente tabla se presentan las principales características de la biomasa agrícola y la biomasa residual agrícola, comparándolas de manera que se puedan dimensionar aspectos clave como la sostenibilidad de los procesos, las demandas y requerimientos en términos de costos y tecnología, así como su origen. Este ejercicio permite resaltar las fortalezas distintivas de cada tipo de biomasa según su origen y tipología.

Tabla 1. Comparación entre biomasa agrícola y residual agrícola

Aspecto	Biomasa Agrícola	Biomasa residual agrícola
Origen	Cultivos específicos	Residuos agrícolas, forestales e industriales
Competencia con alimentos	Alta	Baja
Sostenibilidad	Menos sostenible debido al uso intensivo de recursos	Más sostenible por aprovechar residuos
Costos	Generalmente más altos	Relativamente bajos
Requerimientos tecnológicos	Menos complejos	Altos, especialmente para pretratamientos

Fuente: Autores

4.3.8. Ejemplo Práctico. Para una planta de producción de pellets, la biomasa ideal tendría las siguientes características:

- Baja humedad (menos del 15%) para reducir costos de secado.
- Alto poder calorífico para maximizar la eficiencia energética.
- Baja cantidad de cenizas para evitar problemas en los equipos.
- Disponibilidad local para reducir costos logísticos y huella de carbono.

¿CÓMO SE TRANSFORMA LA BIOMASA VEGETAL EN ASTILLAS Y PELLETS?

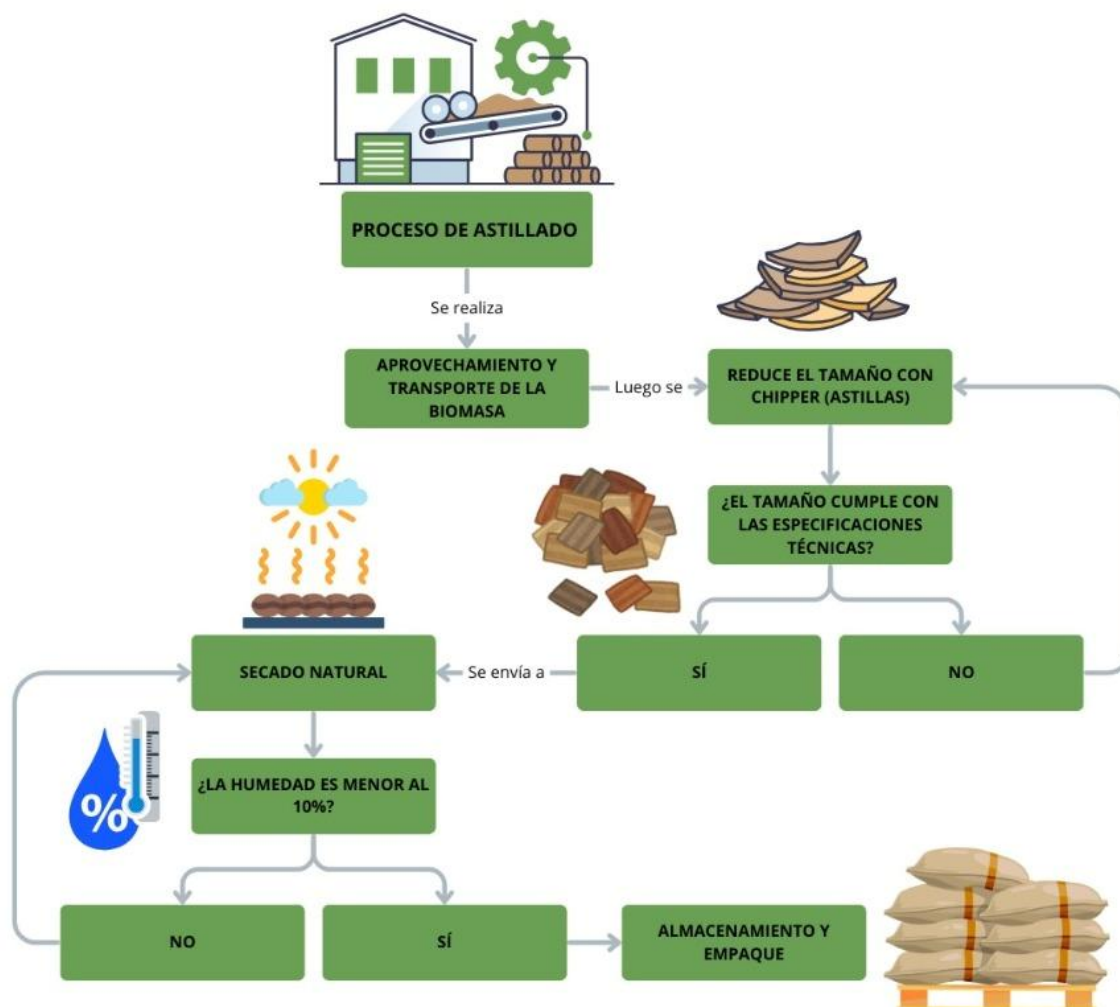
Convenio N° 3054342

En este capítulo podrás encontrar una guía paso a paso sobre cómo transformar biomasa vegetal en astillas y pellets, productos que son fuentes sostenibles de energía y calor. Con esta información, podrás entender las etapas clave del proceso y cómo aprovecharlas en tu comunidad para generar alternativas de bioenergía. La información a continuación te será útil para identificar formas de recolectar, procesar y almacenar biomasa de manera eficiente. Desde la recolección manual o mecanizada hasta la compactación en pellets, el proceso está diseñado para maximizar la calidad del producto y minimizar el impacto ambiental. Por ejemplo, el secado es esencial para garantizar que los pellets sean duraderos y liberen energía de manera eficiente.

4.4.1. Diseño de producción de Astillas y Pellets. El diseño del proceso de producción es una etapa fundamental en el desarrollo de productos de biomasa vegetal, ya que permite transformar materias primas en productos finales de manera eficiente, sostenible y alineada con los estándares de calidad requeridos. Este proceso involucra una serie de etapas técnicas, desde la recolección de la biomasa hasta su transformación y almacenamiento, optimizando cada fase para maximizar el rendimiento energético y minimizar los impactos ambientales.

En este capítulo se abordan los aspectos clave del diseño del proceso de producción, incluyendo el análisis de las características de la materia prima, la selección de equipos y tecnologías, y la implementación de estrategias para garantizar la eficiencia del sistema. Asimismo, se incluye un enfoque en la sostenibilidad, promoviendo prácticas que reduzcan los desechos y maximicen el aprovechamiento de recursos. La figura 25 muestra un diagrama de flujo que ilustra los pasos involucrados en el procesamiento de biomasa para la producción de astillas. Este diagrama detalla las etapas clave recopiladas durante el muestreo de los procesos empleados para la obtención del producto de valor agregado, cada etapa representa un componente fundamental en la cadena de transformación de la biomasa, destacando los procedimientos necesarios para maximizar su aprovechamiento y su conversión en recursos energéticos y materiales sostenibles.

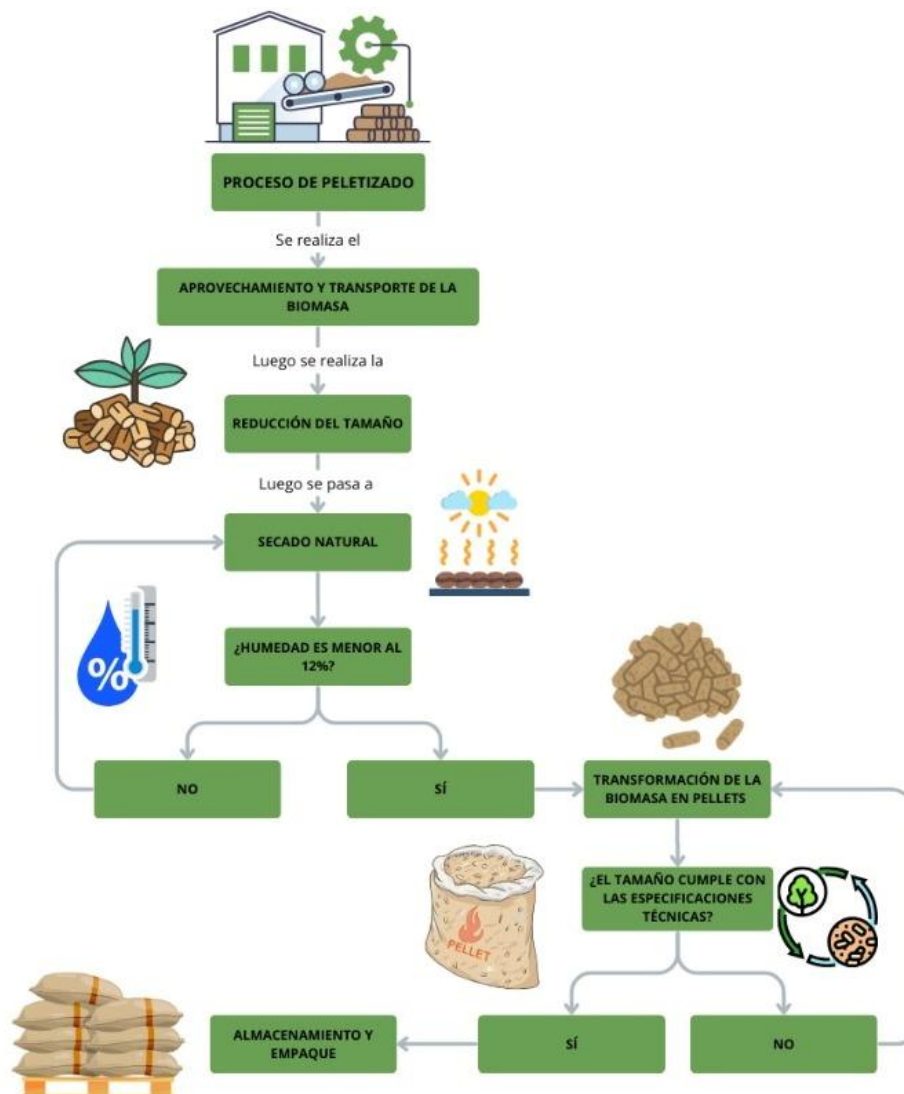
Figura 25. Diagrama de flujo del proceso de astillado



Fuente: Autores

Los pellets, por lo general, tienen un diámetro de entre 6 y 10 mm, mientras que las briquetas pueden variar entre 30 y 100 mm de diámetro. Los pellets se caracterizan por su uniformidad en tamaño, fluidez y contenido de humedad, lo que los hace ideales para su uso en calderas de biomasa. Por otro lado, las briquetas suelen emplearse como fuente de calefacción, especialmente en aplicaciones donde se requiere una combustión más prolongada (Van Loo y Koppejan, 2010). Para la producción de pellets o briquetas, se seguirían los mismos pasos empleados en la producción de astillas, con la adición de una etapa clave: la densificación de la biomasa. Esta etapa tiene como objetivo transformar materiales de baja densidad, como biomasa herbácea o residual, en un combustible biomásico homogéneo y de alta densidad energética.

Figura 26. Diagrama de flujo del proceso de peletizado



Fuente: Autores

4.4.1.1. Recolección y transporte de biomasa. El aprovechamiento de biomasa vegetal para la generación de bioenergía comienza con una serie de operaciones que aseguran el manejo eficiente de la materia prima desde su origen hasta su procesamiento. Estas operaciones se dividen en dos categorías principales:

- **Operaciones manuales:** Se utilizan herramientas de corte como machete para realizar la cosecha o desbroce de la biomasa vegetal; posteriormente, la materia prima es trasladada al centro de acopio, siguiendo los métodos tradicionales, se usan accesorios como lazos o cabrestantes para mover y organizar los materiales recolectados de manera eficiente, dicha biomasa se asegura con

lazos y se transporta mediante caballos, aprovechando su adaptabilidad en terrenos difíciles y minimizando la huella ambiental en esta fase del proceso.

- **Operaciones mecanizadas:** En esta categoría, se utilizan herramientas como lazos, cabrestantes y guadañas para garantizar la manipulación, organización y corte eficiente de la biomasa recolectada. Para su transporte al centro de molienda, la carga se asegura con lazos y se traslada en camiones con contenedores o descarga automática; una vez la biomasa se encuentra en el centro de molienda, inicia su procesamiento para valorización, transformándose en productos de mayor valor agregado, como pellets, briquetas o astillas.

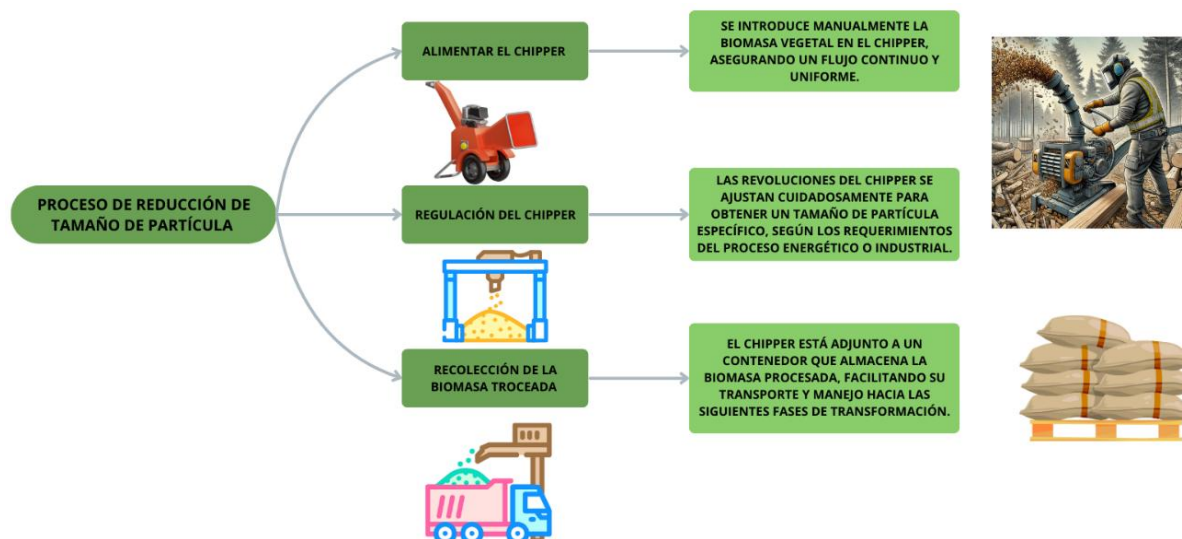
4.4.1.2. Reducción de tamaño de partícula. En esta etapa del aprovechamiento de biomasa vegetal para la generación de bioenergía, se emplea un astilladora o trituradora (figura 27) como herramienta clave para reducir y homogenizar el tamaño de las partículas de la materia prima. Este proceso es fundamental para garantizar la uniformidad del material y optimizar las etapas posteriores de transformación.

Figura 27. Equipo astilladora



Fuente: Autores

Figura 28. Diagrama del proceso de reducción de tamaño



Fuente: Autores

4.4.1.3. Secado. Es una etapa crítica en la preparación de la biomasa para la producción de pellets. Es necesario reducir el contenido de humedad de la materia prima a un rango de 10 - 12 %, ya que niveles superiores de humedad pueden causar problemas en la peletizadora y afectar la calidad del producto final. Existen varios métodos comunes de secado entre ellos están:

- **Secado al aire:** Requiere un espacio ventilado y condiciones climáticas favorables como se puede observar en la figura 29.
- **Secadores mecánicos:** Utiliza aire caliente o tecnología de deshidratación para garantizar un control preciso del contenido de humedad.
- **Secado solar:** Alternativa sostenible que emplea radiación solar en combinación con ventilación natural o asistida.

Figura 29. Secado de la biomasa al aire y secado mecánico



Fuente: Autores

4.4.1.4. Densificación de los pellets. La densificación de biomasa se realiza utilizando una peletizadora (prensa) como la mostrada en la figura 30, que es un equipo especializado que compacta la materia prima previamente seca en pellets de alta densidad y tamaño uniforme. Este proceso mejora las propiedades físicas y energéticas de la biomasa, facilitando su manejo, transporte y almacenamiento.

Figura 30. Equipo peletizadora



Fuente: Autores

4.4.1.5. Almacenamiento y empaque. La etapa final en el proceso de aprovechamiento de biomasa vegetal consiste en el almacenamiento y empaque del material ya compactado se deposita en áreas diseñadas específicamente para protegerlo de la humedad, la contaminación y otros factores ambientales, para lo cual se utilizan silos, contenedores cerrados o cubiertas impermeables para garantizar su conservación. Dependiendo de las necesidades del cliente, la biomasa puede empacarse en sacos, big bags (bolsas de gran tamaño) o directamente en contenedores a granel. Finalmente, un camión especializado se utiliza para trasladar la biomasa ya valorizada desde el centro de almacenamiento hasta el cliente, asegurando que el material esté adecuadamente protegido para evitar derrames o deterioro durante su transporte. Los sistemas logísticos se planifican para garantizar entregas eficientes y puntuales, reduciendo costos y tiempos.

¿CUÁLES SON LOS ESTÁNDARES NORMATIVOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ASTILLAS Y PELLETS?

Convenio N° 3054342

El aprovechamiento de la biomasa vegetal como recurso energético y material exige el cumplimiento de estándares de calidad que garanticen su eficiencia, seguridad y sostenibilidad. La calidad de los productos derivados de la biomasa no solo influye en su desempeño en aplicaciones industriales y domésticas, sino también en su aceptación dentro de mercados competitivos y en su contribución a objetivos ambientales globales. Las normativas y regulaciones desempeñan un papel fundamental al establecer parámetros claros que rigen aspectos como las características fisicoquímicas de la biomasa, su poder calorífico, el contenido de humedad y cenizas, así como las emisiones asociadas a su uso. Además, la certificación de productos de biomasa asegura la trazabilidad y confianza del consumidor, promoviendo prácticas sostenibles en toda la cadena de valor. En la búsqueda de proporcionar una comprensión integral de la importancia de la calidad y el marco normativo en el desarrollo de una industria de biomasa más eficiente y responsable, este capítulo explora los principales estándares internacionales y nacionales aplicables a la biomasa vegetal, como las normativas y las directrices de UNE-EN-ISO, junto con sus implicaciones prácticas.

4.5.1. Normativa relacionada con la producción de pellets. La producción y comercialización de pellets, tanto de origen leñoso como no leñoso, están reguladas por normativas específicas que garantizan su calidad, seguridad y sostenibilidad. Estas normativas establecen criterios técnicos sobre propiedades como el poder calorífico, contenido de humedad, densidad y emisión de contaminantes, además de requisitos para su trazabilidad y etiquetado. Dada la creciente demanda de pellets como alternativa energética renovable, el cumplimiento de estas regulaciones es esencial para asegurar su aceptación en mercados internacionales y fomentar prácticas sostenibles en toda la cadena de valor. Este apartado aborda las normativas clave que aplican a estos productos y su relevancia en el contexto de la bioenergía.

En las tablas 2, 3 y 4 se muestran las especificaciones de calidad para evaluar los pellets de origen leñoso como no leñoso (herbáceos, cáscaras de frutos, etc.). Las clases de propiedad A1, A2, I1 e I2 representan madera virgen y residuos/restos de madera no tratada químicamente. Los pellets A1 y A2 son pellets de alta calidad, adecuados para su uso a escala pequeña como estufas o chimeneas y I1 e I2 son pellets de alta calidad adecuados para su uso industrial. En la tabla 4, la clase A1 representa combustibles con bajo contenido de ceniza y nitrógeno, mientras que la clase A2 tiene algo más de ceniza y nitrógeno. Las clases de propiedad I1 e I2 tienen un contenido de ceniza y nitrógeno similar al de la A2. Las clases de propiedad B e I3 permiten subproductos y residuos/restos industriales de madera tratada químicamente y madera usada no tratada químicamente.

Tabla 2. Especificaciones de las clases de pellets de madera para aplicaciones comerciales y residenciales

Clase de propiedad / Normativa	Unidades	Calidad del Pellet a nivel residencial		
		A1	A2	B
Origen y fuente, ISO 17225-1		1.1.3 Fuste 1.2.1 Residuos/restos de madera no tratada químicamente	1.1 Árboles enteros sin raíces 1.1.3 Fuste 1.2.1 Residuos/restos de madera no tratada químicamente	1.1 Bosque, plantaciones y otra madera virgen 1.3.1 Madera usada no tratada químicamente
Diámetro, D y longitud, L ISO 17829	mm	D06, 6 ± 1 ; $3,15 \leq L \leq 40$ D08, 8 ± 1 ; $3,15 \leq L \leq 40$	D06, 6 ± 1 ; $3,15 \leq L \leq 40$ D08, 8 ± 1 ; $3,15 \leq L \leq 40$	D06, 6 ± 1 ; $3,15 \leq L \leq 40$ D08, 8 ± 1 ; $3,15 \leq L \leq 40$
Humedad, M ISO 18134-1, ISO 18134-2	% en masa base húmeda	$M10 \leq 10$	$M10 \leq 10$	$M10 \leq 10$
Ceniza, A ISO 18122	% en masa en base seca	$A \leq 0,7$	$A \leq 1,2$	$A \leq 2,0$
Durabilidad mecánica, DU, ISO 17831-1	% en masa	DU 98,0 $\geq$ 98,0 para D06 DU 97,5 $\geq$ 97,5 para D08	DU 97,5 $\geq$ 97,5	DU 96,5 $\geq$ 96,5
Finos, F	% en masa	$F1,0 \leq 1,0$	$F1,0 \leq 1,0$	$F1,0 \leq 1,0$
Aditivos	% en masa	≤ 2	≤ 2	≤ 2
Poder calorífico neto, Q, ISO 18125	MJ/kg o kWh/kg según ISO 18125	$Q \geq 16,5$ o $Q \geq 4,6$	$Q \geq 16,5$ o $Q \geq 4,6$	$Q \geq 16,5$ o $Q \geq 4,6$
Densidad a granel, BD, ISO 17828	kg/m ³	$600 \leq BD \leq 750$	$600 \leq BD \leq 750$	$600 \leq BD \leq 750$
Nitrógeno, N, ISO 16948	% en masa en base seca	$N \leq 0,3$	$N \leq 0,5$	$N \leq 1,0$
Azufre, S, ISO 16994	% en masa en base seca	$S \leq 0,04$	$S \leq 0,04$	$S \leq 0,05$

Fuente: UNE-EN ISO 17225-2, 2021

Tabla 3. Especificaciones de las clases de pellets de madera para uso industrial

Clase de propiedad / Normativa	Unidades	Calidad de pellet a nivel industrial		
		I1	I2	I3
Origen y fuente, ISO 17225-1		1.1 Bosque, plantaciones y otra madera virgen 1.2.1 Residuos/restos de madera no tratada químicamente	1.1 Bosque, plantaciones y otra madera virgen 1.2.1 Residuos/restos de madera no tratada químicamente	1.1 Bosque, plantaciones y otra madera virgen 1.2 Subproductos y residuos/restos de la industria del procesamiento de la madera 1.3.1 Madera usada no tratada químicamente
Diámetro, D y longitud, L, ISO 17829	mm	D06, 6 ± 1 ; $3,15 \leq L \leq 40$ D08, 8 ± 1 ; $3,15 \leq L \leq 40$	D06, 6 ± 1 ; $3,15 \leq L \leq 40$ D08, 8 ± 1 ; $3,15 \leq L \leq 40$ D10, 10 ± 1 ; $3,15 \leq L \leq 40$	D06, 6 ± 1 ; $3,15 \leq L \leq 40$ D08, 8 ± 1 ; $3,15 \leq L \leq 40$ D10, 10 ± 1 ; $3,15 \leq L \leq 40$ D12, 12 ± 1 ; $3,15 \leq L \leq 40$
Humedad, M ISO 18134-1, ISO 18134-2	% en masa base húmeda	$M10 \leq 10$	$M10 \leq 10$	$M10 \leq 10$
Ceniza, A ISO 18122	% en masa en base seca	$A \leq 1,0$	$A \leq 1,5$	$A \leq 3,0$
Durabilidad mecánica, DU, ISO 17831-1	% en masa	$97,5 \leq DU \leq 99,0$	$97,0 \leq DU \leq 99,0$	$96,5 \leq DU \leq 99,0$
Finos, F	% en masa	$F4,0 \leq 4,0$	$F5,0 \leq 5,0$	$F6,0 \leq 6,0$
Aditivos	% en masa	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Poder calorífico neto, Q, ISO 18125	MJ/kg o kWh/kg según ISO 18125	$Q 16,5 \geq 16,5$	$Q 16,5 \geq 16,5$	$Q 16,5 \geq 16,5$
Densidad a granel, BD, ISO 17828	kg/m ³	$BD 600 \geq 600$	$BD 600 \geq 600$	$BD 600 \geq 600$
Nitrógeno, N, ISO 16948	% en masa en base seca	$N 0,3 \leq 0,3$	$N 0,3 \leq 0,3$	$N 0,6 \leq 0,6$
Azufre, S, ISO 16994	% en masa en base seca	$S0,05 \leq 0,05$	$S0,05 \leq 0,05$	$S0,05 \leq 0,05$

Fuente: UNE-EN ISO 17225-2, 2021

Tabla 4. Especificaciones de pellets producidos a partir de biomasa herbácea, biomasa de frutos, biomasa acuática y conjuntos y mezclas de biomasa

Clase de propiedad / Método de análisis	Unidades	A	B
Origen y fuente, ISO 17225-1:2021, tabla 1*		Biomasa herbácea Biomasa de frutos Biomasa acuática Conjuntos y mezclas	Biomasa herbácea Biomasa de frutos Biomasa acuática Conjuntos y mezclas
Diámetro, D y Longitud L ISO 17829 Según la figura 1*	mm	D06 a D25, $D \pm 1$; $3,15 \leq L \leq 40$ (desde D06 a D10) $3,15 \leq L \leq 50$ (desde D12 a D25)	D06 a D25, $D \pm 1$; $3,15 \leq L \leq 40$ (desde D06 a D10) $3,15 \leq L \leq 50$ (desde D12 a D25)
Humedad, M ISO 18134-1, ISO 18134-2	% en masa base húmeda	$M12 \leq 12$	$M15 \leq 15$
Cenizas, A ISO 18122	% en masa en base seca	$A \leq 6$	$A \leq 10$
Durabilidad mecánica, DU ISO 17831-1	% en masa	$DU97,5 \geq 97,5$	$DU96,0 \geq 96,0$
Finos, F ISO 18846	% en masa	$F2,0 \leq 2,0$	$F3,0 \leq 3,0$
Aditivos	% en masa	≤ 5	≤ 5
Poder calorífico neto, Q ISO 18125	MJ/kg o kWh/kg	$Q14,5 \geq 14,5$ o $Q4,0 \geq 4,0$	$Q14,5 \geq 14,5$ o $Q4,0 \geq 4,0$
Densidad a granel, BD ISO 17828	kg/m ³	$BD600 \geq 600$	$BD550 \geq 550$
Nitrógeno, N ISO 16948	% en masa en base seca	$N1,5 \leq 1,5$	$N2,0 \leq 2,0$
Azufre, S ISO 16994	% en masa en base seca	$S0,2 \leq 0,2$	$S0,3 \leq 0,3$

* Según las tablas y figuras de la norma UNE-EN ISO 17225-6

Fuente: UNE-EN ISO 17225-6

4.5.2. Normativa relacionada con la producción de astillas. Las astillas de madera como fuente energética renovable están sujetas a normativas específicas que aseguran su calidad, sostenibilidad y eficiencia en aplicaciones energéticas e industriales. Estas regulaciones establecen estándares técnicos relacionados con el tamaño de partícula, contenido de humedad, poder calorífico y niveles de contaminantes, además de lineamientos para su almacenamiento, transporte y etiquetado. El cumplimiento de estas normativas no solo garantiza un rendimiento óptimo de las astillas en sistemas de combustión, sino que también promueve la sostenibilidad ambiental y facilita su comercialización en mercados nacionales e internacionales.

Este apartado explora las principales normativas aplicables a las astillas de biomasa, destacando su importancia para fomentar un uso eficiente y responsable de este recurso. En la tabla 5 se muestran las especificaciones de calidad para evaluar las astillas de madera. Las clases de propiedad A1 y A2 representan madera virgen y

residuos/restos de madera no tratada químicamente. A1 representa combustibles con bajo contenido de humedad, mientras que la clase A2 tiene algo más de humedad. La clase de propiedad B1 aumenta el origen y la fuente de la clase A para incluir otros materiales, tales como cultivos leñosos de turno corto provenientes de suelo contaminado, madera de jardines y plantaciones, etc. La clase de propiedad B2 también incluye subproductos y residuos/restos industriales de madera tratada químicamente (1.2.2) y madera usada no tratada químicamente (1.3.1), según la tabla 1 de la Norma ISO 17225-1:2021.

Tabla 5. Especificaciones de astillas de madera

Clase de propiedad / Método de análisis	Unidades	A		B	
		A1	A2	B	B2
Origen y fuente, ISO 17225-1		1.1.1 Árboles completos sin raíces 1.1.3 Fuste 1.1.4 Residuos/restos de corte 1.2.1 Residuos/restos y subproductos de madera no tratada químicamente	1.1.1 Árboles enteros sin raíces 1.1.3 Fuste 1.1.4 Residuos/restos de corte 1.2.1 Residuos/restos y subproductos de madera no tratada químicamente	1.2 Bosque, plantaciones y otra madera virgen	1.2 Subproductos y residuos/restos de industria de la madera 1.3.1 Madera usada no tratada químicamente
Tamaño de partícula, P ISO 17827-1	mm	P16: 3,15 mm ≤ m < 16 mm P31: 3,15 mm ≤ m < 31,5 mm P45: 3,15 mm ≤ m < 45 mm P63: 3,15 mm ≤ m < 63 mm	P16: 3,15 mm ≤ m < 16 mm P31: 3,15 mm ≤ m < 31,5 mm P45: 3,15 mm ≤ m < 45 mm P63: 3,15 mm ≤ m < 63 mm	P16: 3,15 mm ≤ m < 16 mm P31: 3,15 mm ≤ m < 31,5 mm P45: 3,15 mm ≤ m < 45 mm P63: 3,15 mm ≤ m < 63 mm	P16: 3,15 mm ≤ m < 16 mm P31: 3,15 mm ≤ m < 31,5 mm P45: 3,15 mm ≤ m < 45 mm P63: 3,15 mm ≤ m < 63 mm
Humedad, M ISO 18134-2	% en masa	≤ 25	> 25 y ≤ 55	≤ 35	> 15 y ≤ 55
Ceniza, A ISO 18122	% en masa en base seca	A1,5 ≤ 1,5	A1,5 ≤ 1,5	A3,0 ≤ 3,0	A3,0 ≤ 3,0
Nitrógeno, N ISO 16948	% en masa en base seca	No aplica	No aplica	N1,0 ≤ 1,0	No aplica
Azufre, S ISO 16994	% en masa en base seca	No aplica	No aplica	S ≤ 0,1	No aplica
Densidad a granel, BD, ISO 17828	kg/m ³	180 ≥ 160	200 ≥ 180	225 ≥ 200	270 ≥ 225
Poder calorífico neto, Q, ISO 18125	MJ/kg o kWh/kg	≥ 16,5	≥ 16,5	≥ 16,5	≥ 16,5

Fuente: UNE-EN ISO 17225-4, 2021

¿QUÉ BENEFICIOS Y DESAFÍOS AMBIENTALES IMPLICA EL USO DE BIOMASA VEGETAL?

Convenio N° 3054342

La biomasa vegetal se posiciona como un recurso clave en la transición hacia un modelo energético más sostenible, al reducir emisiones de gases de efecto invernadero, promover el uso eficiente de recursos naturales y disminuir la dependencia de combustibles fósiles. Sin embargo, su aprovechamiento plantea desafíos ambientales, sociales y técnicos que deben abordarse para garantizar un equilibrio entre desarrollo económico y preservación ambiental. Este análisis es esencial en proyectos que buscan desarrollar productos de valor agregado a partir de biomasa vegetal, ya que permite evaluar aspectos técnicos, ecológicos, sociales y normativos, además de identificar limitaciones inherentes al territorio, como las condiciones edafoclimáticas, la biodiversidad y el uso del suelo.

Un enfoque integral incluye el análisis del contexto físico y biótico de las áreas de interés, garantizando un uso sostenible de los recursos naturales y minimizando impactos negativos sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. También se deben evaluar posibles conflictos en el uso del suelo y la compatibilidad con actividades económicas locales, proponiendo estrategias como la integración de la producción de biomasa con prácticas agropecuarias existentes, lo que puede diversificar la matriz energética, fortalecer economías circulares y preservar tradiciones locales.

Desde una perspectiva normativa, es crucial garantizar el cumplimiento de regulaciones ambientales para minimizar riesgos legales y sociales, especialmente en áreas protegidas o prioritarias para la conservación. Este capítulo ofrece una visión integral, abordando tanto los beneficios como las limitaciones del uso de biomasa vegetal, y propone buenas prácticas para fomentar un modelo de desarrollo verdaderamente sostenible, que incluya la mitigación del cambio climático, la mejora de la seguridad energética y el fortalecimiento de las economías locales.

4.6.1. Impactos ambientales del uso de biomasa. El uso de la biomasa como recurso energético y material ofrece numerosos beneficios ambientales, como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, el aprovechamiento de residuos y la sustitución de combustibles fósiles. Sin embargo, su aprovechamiento también puede generar impactos negativos si no se gestiona de manera adecuada. Entre estos se encuentran la deforestación, la degradación del suelo, emisiones contaminantes durante la combustión y el uso intensivo de recursos como agua y fertilizantes. Este apartado explora tanto los beneficios como los desafíos ambientales asociados al uso de la biomasa, destacando la importancia de implementar prácticas sostenibles para maximizar sus ventajas y minimizar sus impactos negativos.

4.6.1.1. Impactos positivos. El uso de la biomasa vegetal tiene una serie de beneficios ambientales que la convierten en una alternativa atractiva frente a los combustibles fósiles:

- **Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI):** La biomasa es considerada carbono neutro, ya que el CO₂ liberado durante su combustión fue previamente absorbido durante el crecimiento de las plantas. Esto contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático.
- **Aprovechamiento de residuos:** El uso de residuos agrícolas, forestales e industriales evita que estos materiales se acumulen y se conviertan en fuentes de contaminación, como la generación de lixiviados o emisiones de metano en vertederos.
- **Sustitución de combustibles fósiles:** Al reemplazar recursos no renovables como el carbón o el petróleo, la biomasa ayuda a disminuir la extracción y el impacto ambiental asociado a estas actividades.
- **Fomento de economías circulares:** La biomasa promueve la reutilización y reciclaje de recursos, cerrando ciclos productivos y reduciendo la necesidad de nuevas materias primas.
- **Reforestación y uso de cultivos energéticos:** En áreas degradadas, los cultivos de biomasa pueden restaurar suelos y evitar la desertificación, además de crear sumideros de carbono que capturan CO₂ atmosférico.

4.6.1.2. Impactos negativos potenciales. A pesar de sus beneficios, el uso de la biomasa puede generar impactos negativos si no se gestiona de manera adecuada:

- **Deforestación y pérdida de biodiversidad:** La recolección excesiva de biomasa forestal o la conversión de bosques naturales en plantaciones de cultivos energéticos puede provocar la degradación de ecosistemas y la pérdida de especies.
- **Degradación del suelo:** La extracción continua de residuos agrícolas (como paja o restos de cultivos) sin dejar material orgánico en el campo puede agotar los nutrientes del suelo, reducir su fertilidad y aumentar la erosión.
- **Emisiones durante la combustión:** Aunque las emisiones de biomasa son menores que las de los combustibles fósiles, la combustión incompleta puede liberar contaminantes como partículas finas (PM2.5) y compuestos orgánicos volátiles (COVs), que afectan la calidad del aire y la salud humana.

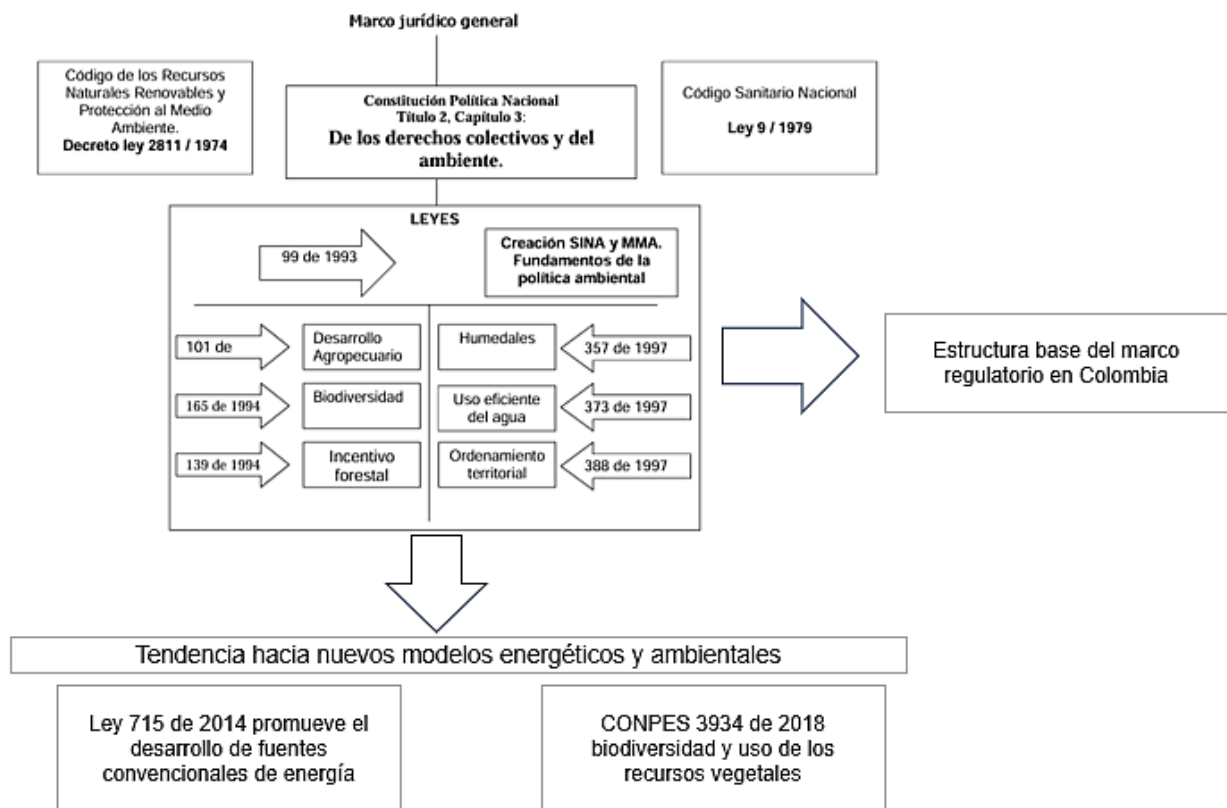
- **Uso intensivo de agua y fertilizantes:** Los cultivos energéticos requieren recursos hídricos y agroquímicos que, si no se gestionan correctamente, pueden competir con la agricultura alimentaria y generar contaminación por escorrentías.
- **Cambios en el uso del suelo:** La expansión de cultivos energéticos en tierras destinadas a la producción de alimentos puede generar inseguridad alimentaria y aumentar la presión sobre los ecosistemas naturales.

4.6.1.3. Estrategias para minimizar impactos. Se pueden incluir medidas que promuevan el manejo responsable de la biomasa, como por ejemplo:

- Promover prácticas sostenibles de recolección y uso de residuos.
- Implementar sistemas de monitoreo y certificación de sostenibilidad.
- Incentivar el uso de tecnologías limpias para mejorar la eficiencia en la combustión y reducir las emisiones contaminantes.
- Fomentar la reforestación y el uso de cultivos energéticos en áreas marginales o degradadas.
- Establecer políticas que regulen el uso de recursos hídricos y el impacto de los cultivos energéticos en la seguridad alimentaria.

4.6.2. Componente de aspectos legales. El análisis ambiental debe incluir una evaluación de la legislación vigente a nivel nacional, regional y local que regula el uso de los recursos naturales, el manejo de residuos y las actividades económicas relacionadas con la biomasa. Asimismo, es crucial identificar las áreas destinadas a la protección ambiental y la conservación de la biodiversidad, asegurando que las iniciativas se desarrollen en concordancia con las normativas ambientales y contribuyan al equilibrio entre aprovechamiento económico y sostenibilidad ecológica. A continuación, se presenta un esquema que revisa la normativa ambiental nacional inherente y transversal al proceso de biomasa vegetal y sus productos.

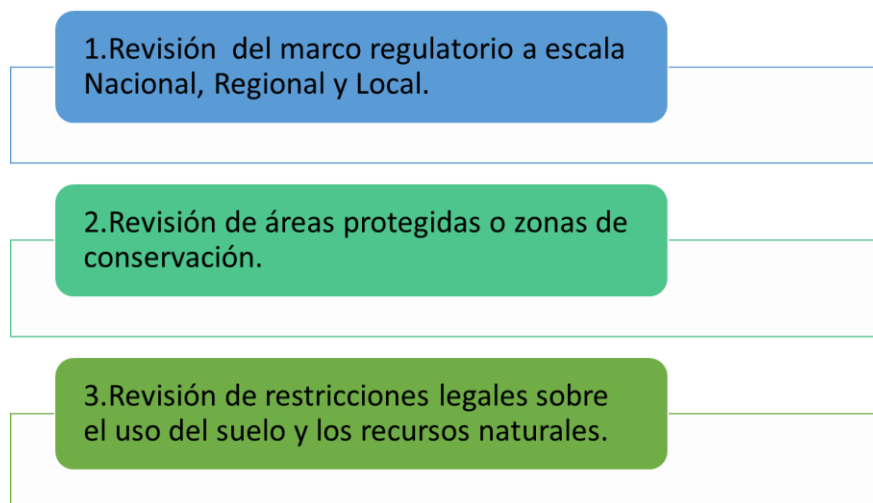
Figura 31. Marco base normativo ambiental de Colombia



Fuente: MADS, 2021

En ese sentido de acuerdo con los intereses y necesidades específicas que se busquen desarrollar en los proyectos de biomasa vegetal y en lo referenciado con el desarrollo de los productos de valor agregado se recomiendan los siguientes elementos para la revisión normativa y de aspectos legales.

Figura 32. Elementos en la revisión del marco normativo u aspectos legales.



Fuente: Autores, 2024

Se recomienda representar el paso a paso anterior mediante una matriz de búsqueda o revisión que facilite la identificación de la escala normativa, el alcance y las restricciones de área o uso en determinados territorios. Esto permitirá excluir dichas áreas de los procesos de establecimiento de modelos integrales para la generación, aprovechamiento y transformación de biomasa vegetal.

4.6.3. Componente biótico y abiótico. Para evaluar este componente, se recomienda que la revisión de los elementos bióticos y abióticos se realice considerando las particularidades y especificidades de cada territorio o área donde se planeen iniciativas de generación, aprovechamiento y transformación de biomasa agrícola y biomasa residual agrícola. Este enfoque es importante para garantizar la viabilidad del proyecto, así como para identificar posibles impactos ambientales. De esta manera, será posible formular medidas de acción compensatorias o correctivas mediante los correspondientes planes de manejo ambiental.

Lo anterior que permite comprender la interacción entre los factores vivos (flora y fauna) y los no vivos (suelo, agua, clima, etc.) en los ecosistemas involucrados. Evaluar el componente biótico ayuda a identificar las especies presentes, su estado de conservación y el impacto potencial del proyecto sobre la biodiversidad, lo cual es clave para prevenir daños ecológicos y promover la protección de los recursos naturales. Por otro lado, analizar el componente abiótico permite entender las características del entorno, como la calidad del suelo, el régimen hídrico y las condiciones climáticas, asegurando que las condiciones ambientales sean compatibles con el desarrollo del proyecto.

Para llevar a cabo este análisis, se recomienda iniciar con un diagnóstico basado en fuentes secundarias, que permita identificar los principales aspectos y variables relevantes para el proyecto. No obstante, el nivel de detalle del análisis dependerá de los recursos asignados a cada iniciativa. En caso de contar con los recursos necesarios, es posible realizar análisis primarios más exhaustivos mediante la implementación de inventarios de flora, fauna y otras variables ambientales clave. El objetivo es obtener información precisa sobre las características del área donde se planea desarrollar el proyecto. Estas revisiones y análisis contribuirán a identificar de manera clara los ecosistemas presentes, las especies de flora y fauna y las dinámicas ecológicas que influyen en el entorno del proyecto, proporcionando una base sólida para una planificación sostenible y adaptada a las condiciones locales.

Por este motivo, la identificación de los aspectos bióticos y abióticos deben integrarse en una matriz de análisis que permita la integración y correlación de los datos obtenidos, permitiendo realizar los respectivos juicios de valor y la identificación preliminar de posibles impactos ambientales para la toma de decisiones en los procedimientos y protocolos a seguir, lo anterior permite tener un enfoque holístico que asegura la sostenibilidad ambiental del proyecto, contribuyendo al cumplimiento de normativas y la conservación del capital natural de los territorios.

4.6.4. Componente económico. El componente económico de un proyecto de biomasa vegetal que busca el desarrollo de productos de valor agregado adquiere una relevancia estratégica al integrarse con las actividades productivas locales y regionales del territorio en donde se desarrolle, las cuales constituyen un pilar fundamental para garantizar su viabilidad, sostenibilidad y aceptación comunitaria. Esta integración permite aprovechar las fortalezas económicas de la región, y optimizar el uso de recursos disponibles, generar sinergias con sectores productivos establecidos y potenciar las oportunidades de desarrollo socioeconómico. Por lo anterior para el desarrollo del análisis del componente económico, se recomienda tener en cuenta las siguientes variables de análisis que permita identificar los principales aspectos a desarrollar de acuerdo con las características propias de cada uno de los territorios y regiones, las cuales se describen en la siguiente tabla.

Tabla 6. Variables del componente económico

Variable	Especificación
Centros urbanos	Identificación de los principales centros urbanos de los territorios.
Áreas Mineras	Identificación de actividades extracción, explotación o refinación de minerales.
Vías	Identificación de las vías primarias, secundarias, terciarias, además de la existencia de vías férreas.
Sistemas productivos	Identificación de los sistemas agrícolas cultivos transitorios y permanentes, Sistemas forestales Existencia sistemas forestales agroforestales u silvopastoriles, pastos existencias de especies forrajeras, sistemas acuícolas, entre otras actividades productivas relevantes del territorio.
Proyectos o actividades energéticas.	Identificación de los principales proyectos energéticos que se pueden encontrar en la zona de estudio, tanto de energía convencional como no convencional.

Fuente: Autores, 2024

La identificación de los principales centros urbanos permite evaluar la proximidad del proyecto a mercados potenciales, infraestructura y servicios básicos, lo cual es esencial para optimizar la logística de transporte y comercialización de los productos derivados de la biomasa, reduciendo costos y tiempos. Asimismo, la identificación de áreas mineras, donde se desarrollan actividades de extracción, explotación o refinación de minerales, representa una oportunidad para implementar tecnologías energéticas basadas en biomasa, ya que estas pueden complementar o incluso sustituir fuentes de energía convencionales en sectores con alta demanda energética. Por otro lado, la existencia de infraestructura vial, incluyendo vías primarias, secundarias, terciarias y férreas, se posiciona como un factor determinante para la logística del proyecto. Una buena conectividad contribuye a reducir costos de transporte, mejorar el acceso a mercados y facilitar la implementación de iniciativas a gran escala. La diversidad de sistemas productivos, que abarca sistemas agrícolas, forestales, silvopastoriles y acuícolas, constituye una fuente valiosa de biomasa residual que puede utilizarse como insumo para la generación de energía o productos de valor agregado. Además, integrar estas actividades al modelo del proyecto fomenta sinergias económicas y promueve la sostenibilidad en la región o territorios. Finalmente, la identificación de proyectos energéticos existentes, tanto convencionales como no convencionales, permite comprender el contexto energético del territorio, identificar posibles competidores, explorar oportunidades para complementar proyectos existentes y establecer alianzas estratégicas que fortalezcan la viabilidad técnica y económica de la iniciativa. Por esto, evaluar estas variables de forma integral asegura que el proyecto de biomasa no solo sea económicamente viable, sino también adaptable a las dinámicas y necesidades locales, maximizando su impacto en el desarrollo regional.

¿CUÁLES SON LAS APLICACIONES DE LOS PRODUCTOS DE BIOMASA VEGETAL?

Convenio N° 3054342

En los últimos años, la biomasa vegetal se ha destacado como un recurso clave en la búsqueda de soluciones sostenibles para la generación de energía, la industria, la agricultura y el uso doméstico. Gracias a su versatilidad y capacidad de adaptación, los productos derivados de la biomasa, como pellets, astillas, biocombustibles líquidos y biogás, se han convertido en alternativas viables frente a los combustibles fósiles y otros materiales de origen no renovable. Estas aplicaciones no solo contribuyen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la economía circular, sino que también fomentan el desarrollo económico en comunidades rurales al generar empleo y diversificar las actividades productivas. Desde la generación de energía térmica y eléctrica hasta su uso en la agricultura como fertilizantes y biopesticidas, los productos de biomasa vegetal están transformando sectores clave de la sociedad. En este capítulo se explorarán las principales áreas de aplicación de los productos de biomasa vegetal, sus beneficios asociados y su papel en la transición hacia modelos más sostenibles.

4.7.1. Aplicaciones energéticas. La biomasa vegetal es una de las fuentes renovables más utilizadas para la generación de energía térmica, eléctrica y biocombustibles. Productos como pellets, briquetas, biogás y bioetanol han demostrado ser alternativas sostenibles a los combustibles fósiles, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y promoviendo sistemas energéticos más limpios. Esta sección aborda las diversas aplicaciones energéticas de la biomasa vegetal y su papel en la transición hacia una economía baja en carbono.

4.7.1.1. Generación de energía térmica y eléctrica

- Uso de pellets, briquetas y astillas como combustibles sólidos en sistemas de calefacción doméstica y calderas industriales.
- Generación de electricidad en plantas de biomasa mediante combustión directa o cogeneración (calor y energía).

4.7.1.2. Producción de biocombustibles líquidos

- Uso de cultivos energéticos para producir bioetanol y biodiésel como alternativas sostenibles para el transporte.
- Aplicaciones en vehículos y maquinaria agrícola.

4.7.1.3. Biogás

- Producción de biogás a partir de la digestión anaeróbica de residuos agrícolas, forestales o industriales.

- Uso en generación de electricidad, calefacción y como gas vehicular.

4.7.2. Aplicaciones industriales. La industria ha encontrado en la biomasa vegetal un recurso versátil para la producción de materiales sostenibles, bioplásticos, químicos verdes y biocombustibles avanzados. Además, el uso de subproductos de biomasa en procesos industriales contribuye a la economía circular al reducir los desechos y sustituir materias primas no renovables. Esta sección explora cómo los productos de biomasa están transformando sectores clave como el químico, el de materiales y el de la construcción.

4.7.2.1. Producción de materiales sostenibles

- Uso de subproductos de biomasa (como celulosa o lignina) para fabricar bioplásticos, papel y embalajes biodegradables.
- Sustitución de materiales derivados del petróleo.

4.7.2.2. Obtención de químicos verdes

- Producción de productos químicos como bioetanol, ácido láctico o furfural para la industria química y farmacéutica.

4.7.2.3. Aplicaciones en la construcción

- Uso de biocombustibles y materiales derivados de biomasa (por ejemplo, madera, fibras naturales) en la construcción de edificaciones sostenibles.

4.7.3. Aplicaciones agrícolas. En el sector agrícola, la biomasa vegetal se utiliza no solo como fuente de energía, sino también como un recurso valioso para la producción de fertilizantes, compost, alimentos para ganado y biopesticidas. Estas aplicaciones fomentan prácticas agrícolas sostenibles al mejorar la calidad del suelo, reducir los desechos y promover alternativas naturales a los productos químicos convencionales. En esta sección se examinan las principales contribuciones de la biomasa a la agricultura y su impacto en la sostenibilidad del sector.

4.7.3.1. Fertilizantes y compost

- Uso de cenizas y residuos de biomasa como enmiendas orgánicas para mejorar la calidad del suelo.

4.7.3.2. Alimentación animal

- Utilización de subproductos de biomasa, como pulpas y bagazo, en la formulación de alimentos para ganado.

4.7.3.3. Biopesticidas y bioestimulantes

- Desarrollo de productos naturales a partir de extractos de biomasa para la protección y mejora de cultivos.

4.7.4. Aplicaciones domésticas. En el ámbito doméstico, la biomasa vegetal es una solución práctica y sostenible para calefacción, cocción y generación de energía en áreas rurales y urbanas. Productos como pellets, briquetas y sistemas de biogás han mejorado la eficiencia energética y reducido la dependencia de fuentes de energía contaminantes como la leña tradicional. Esta sección analiza cómo las aplicaciones domésticas de la biomasa están mejorando la calidad de vida y promoviendo un uso responsable de los recursos naturales.

4.7.4.1. Uso en calefacción y cocción

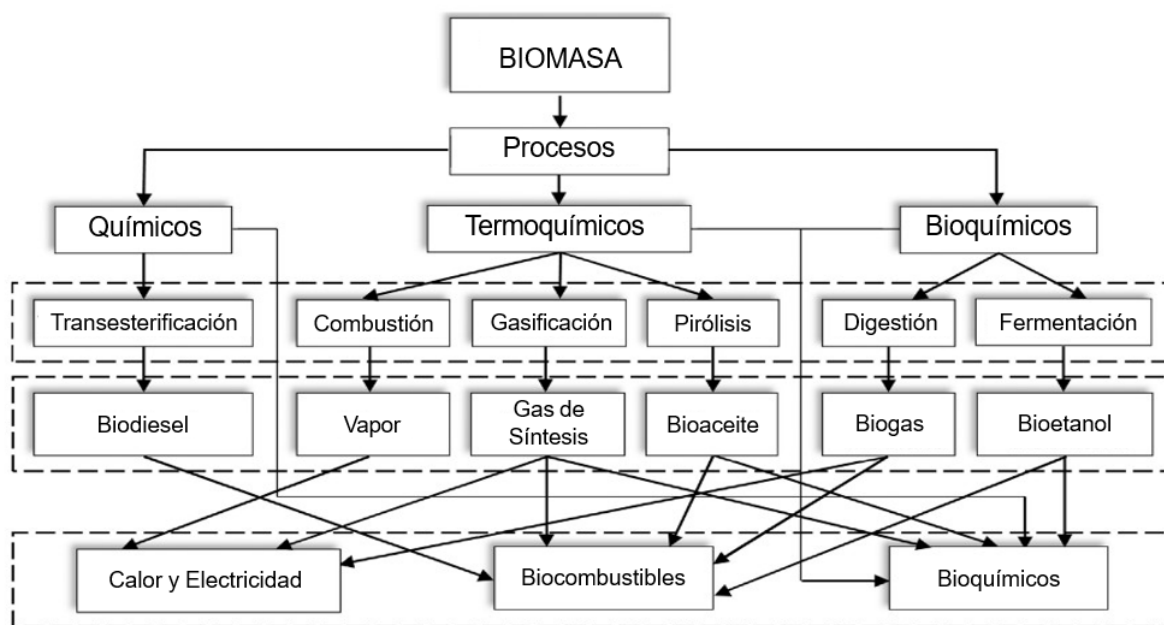
- Pellets, briquetas y astillas como combustibles para estufas y chimeneas domésticas.
- Sustitución de leña tradicional en áreas rurales, reduciendo emisiones contaminantes.

4.7.4.2. Energía descentralizada

- Uso de sistemas de biogás doméstico en comunidades rurales para generar energía y cocinar.

4.7.5. Tecnologías de conversión de biomasa en energía. Las tecnologías de conversión de biomasa en energía son procesos que transforman la biomasa en formas utilizables de energía como calor, electricidad o biocombustibles. Estas tecnologías permiten aprovechar recursos renovables para la producción de energía, ofreciendo una alternativa sostenible a los combustibles fósiles. Se pueden dividir en tres procesos como se muestra en la figura.

Figura 33. Tecnologías de conversión de biomasa en energía



Fuente: Cardona et al., 2018

5. CONCLUSIONES

- Esta guía metodológica ha sido desarrollada pensando en un público diverso, que incluye a productores, técnicos, investigadores, emprendedores y comunidades interesadas en el aprovechamiento sostenible de la biomasa vegetal. Está diseñada para ofrecer herramientas prácticas y conocimientos técnicos que puedan ser aplicados en proyectos de pequeña y mediana escala. Al proporcionar un marco estructurado que abarca desde la selección de materia prima hasta la evaluación de calidad y el cumplimiento de normativas, la guía pretende facilitar la implementación de procesos que sean eficientes, competitivos y responsables con el medio ambiente. Un elemento clave de esta guía es su contribución a la apropiación social del conocimiento (ASC). Al presentar de manera clara y accesible conceptos técnicos, normativos y prácticos, este documento fomenta que las comunidades y actores locales comprendan y aprovechen el potencial de la biomasa vegetal. La ASC permite democratizar el conocimiento y asegurar que este sea adoptado y aplicado por personas en diferentes contextos, promoviendo la innovación desde la base social y fortaleciendo capacidades locales. Además, la guía se articula con los principios de la apropiación social del conocimiento al facilitar el acceso a herramientas que potencien la participación activa de las comunidades en la toma de decisiones relacionadas con el uso sostenible de recursos naturales. Esto no solo promueve el desarrollo económico y social, sino que también refuerza el sentido de pertenencia y empoderamiento en torno a proyectos basados en biomasa vegetal.
- A lo largo de la guía se ha destacado la importancia de seleccionar cuidadosamente la materia prima, optimizar cada etapa del proceso de producción de pellets y astillas y garantizar la calidad de los productos mediante el cumplimiento de normativas técnicas. La selección de materia prima debe basarse en criterios claros, como la disponibilidad, propiedades fisicoquímicas y compatibilidad con los procesos tecnológicos, asegurando un aprovechamiento óptimo de los recursos. Asimismo, el diseño del proceso de producción debe considerar todas las etapas, desde la recolección hasta la comercialización, integrando buenas prácticas que reduzcan costos y minimicen el impacto ambiental. Finalmente, la evaluación de calidad permite que los productos cumplan con estándares internacionales, asegurando su competitividad en los mercados y su aceptación por parte de los consumidores. Esta guía no solo proporciona un marco técnico, sino que promueve soluciones renovables que contribuyen a la sostenibilidad ambiental, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el avance de la bioeconomía.

- Este documento fomenta los fundamentos necesarios para el desarrollo de iniciativas comunitarias, en los diferentes territorios que buscan modelos de desarrollo territorial resilientes y sostenibles. La biomasa vegetal, como recurso renovable, se presenta no solo como una solución técnica frente a los desafíos energéticos actuales, sino también como una herramienta para dinamizar economías locales, generar oportunidades económicas y fortalecer las capacidades de las comunidades. Al promover prácticas sostenibles y la apropiación social del conocimiento, esta guía impulsa la implementación de modelos de economía circular que integren la generación de valor agregado con la conservación de los ecosistemas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andreu, V., Boix, P., Campo, J., Carrasco, P. (2020). Presente y futuro de las tecnologías verdes: Contribución desde La Universitat de Valencia. ISBN: 978-84-9133-316-6

Bimestre, T. A., Silva, F. S., Tuna, C. E., dos Santos, J. C., de Carvalho Jr, J. A., & Canettieri, E. V. (2023). Physicochemical Characterization and Thermal Behavior of Different Wood Species from the Amazon Biome. *Energies*, 16(5), 2257. <https://doi.org/10.3390/en16052257>

Cardona Alzate, C. A., Solarte Toro, J. C., & Peña, Á. G. (2018). Fermentation, thermochemical and catalytic processes in the transformation of biomass through efficient biorefineries. *Catalysis Today*, 302(September 2017), 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2017.09.034>

Carrillo, T. (2015). Caracterización de pellets con fines energéticos elaborados a partir de residuos forestales. Trabajo de pregrado en Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

Carrión-Prieto, P. (2016). Caracterización fisicoquímica y aprovechamiento de dos especies pirófilas mediterráneas: *Cistus Ladanifer* L. Y *Erica Arborea* L. Tesis Doctoral, Programa de doctorado en ciencia e ingeniería agrícola y de biosistemas, Universidad de Valladolid, Valladolid, España.

Chen, W. H., Hoang, A. T., Nižetić, S., Pandey, A., Cheng, C. K., Luque, R., ... & Nguyen, X. P. (2022). Biomass-derived biochar: From production to application in removing heavy metal-contaminated water. *Process Safety and Environmental Protection*, 160, 704-733. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.02.061>

Diez, J. P., Varela, S. A., Martinez Meier, A., Caballé, G., Claps, L., Andreassi, L., & Salvaré, F. (2017). Aprovechando residuos forestales: una alternativa de manejo integral de plantaciones de pino ponderosa en la cuenca de arroyo del medio. Ediciones INTA.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). Bioenergía y seguridad alimentaria. Evaluación Rápida BEFS. Obtenido de: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/0cf57bc9-be8f-4446-aeb3-0ebb3a63fbe1/content>

Forestry equipment. (2019). Wood Chip Uses — An Array of Possibilities. Obtenido de: <https://www.forestryequipmentguide.com/article/43683-what-are-wood-chips-used-for>

Fundación Solón. (2023). Los agrocombustibles, el biodiésel y el diésel renovable (HVO). Obtenido de: <https://fundacionsolon.org/2023/05/26/los-agrocombustibles-el-biodiesel-y-el-diesel-renovable-hvo/>

GEMCO Energy. (2024). What affect the molding effect of biomass pellets?. Obtenido de: <https://www.pellet-making.com/blog/biomass-pellets-molding-effect.html>

Krylova, A. Y., & Zaitchenko, V. M. (2018). Hydrothermal carbonization of biomass: a review. *Solid Fuel Chemistry*, 52(2), 91-103. <https://doi.org/10.3103/s0361521918020076>

López, L., Sarmiento, A., Fajardo, J., Valarezo, L., & Gallego, R. Z. (2013). Determinación del porcentaje de humedad, solubles e insolubles en agua de la fibra de Carludovica Palmata (paja toquilla). *Ingenius*, (9), 23-27. <http://revistas.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/363>

Martín, C. (2023). Biomasa. Procesos de conversión en energía. Obtenido de: <https://tecnoblogsanmartin.wordpress.com/2011/02/21/biomasa-procesos-de-conversion-en-energia/>

Méndez-Zetina, F. D., Pintor-Ibarra, L. F., Rutiaga-Quñones, J. G., & Alvarado-Flores, J. J. (2023). Capítulo 6: Análisis elemental en la biomasa con fines energéticos. *Aplicaciones Energéticas de la biomasa*, 117. https://www.researchgate.net/publication/376956362_Capitulo_6_Analisis_elemental_en_la_biomasa_con_fines_energeticos

Navarro, E. (2014). Análisis del proceso de síntesis de gas natural de sustitución (SNG) a partir de biomasa. Trabajo de pregrado, programa de Ingeniería Química, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

Olugbade, T. O., & Ojo, O. T. (2020). Biomass torrefaction for the production of highgrade solid biofuels: a review. *BioEnergy Research*, 13(4), 999-1015. <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10138-3>

Revista ABC. (2022). Función de fotosíntesis. Características y fases. Editorial AZETA S.A. Asunción – Paraguay. <https://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/escolar/2022/07/05/funcion-de-fotosintesis-caracteristicas-fases/>

Rivera, A. M. P., Toro, C. R., Londoño, L., Bolivar, G., Ascacio, J. A., & Aguilar, C. N. (2023). Bioprocessing of pineapple waste biomass for sustainable production of bioactive

compounds with high antioxidant activity. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(1), 586–606. <https://doi.org/10.1007/S11694-022-01627-4>

Rodríguez-Romero, L. A., Gutiérrez-Antonio, C., García-Trejo, J. F., & Feregrino-Pérez, A. A. (2022). Estudio comparativo de modelos matemáticos para predecir el poder calorífico de residuos agrícolas mexicanos. *Tecnológicas*, 25(53). <https://www.redalyc.org/journal/3442/344270031001/html/>

Ruan, R., Zhang, Y., Chen, P., Liu, S., Fan, L., Zhou, N., Li, B. (2019). Biofuels: introduction. In *Biofuels: Alternative feedstocks and conversion processes for the production of liquid and gaseous biofuels* (pp. 3-43). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816856-1.00001-4>

Silva, J. P., Teixeira, S., & Teixeira, J. C. (2023). Characterization of the physicochemical and thermal properties of different forest residues. *Biomass and Bioenergy*, 175, 106870. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106870>

Talero, G., Rincón, S., & Gómez, A. (2019). Biomass torrefaction in a standard retort: A study on oil palm solid residues. *Fuel*, 244, 366–378. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2019.02.008>

UDELAR - Universidad de la República de Uruguay. (2018). Combustión de la Biomasa. Montevideo, Uruguay. https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/193714/mod_resource/content/1/Analisis_Proximo.pdf

UNE-EN ISO, Asociación Española de Normalización. (2021). Biocombustibles sólidos Especificaciones y clases de combustibles Parte 2: Clases de pellets de madera (ISO 17225-2:2021). España.

UNE-EN ISO, Asociación Española de Normalización. (2021). Biocombustibles sólidos Especificaciones y clases de combustibles Parte 6: Clases de pellets de origen no leñoso (ISO 17225-6:2021). España.

UNE-EN ISO, Asociación Española de Normalización. (2021). Biocombustibles sólidos Especificaciones y clases de combustibles Parte 4: Clases de astillas de madera (ISO 17225-4:2021) España.

Van Loo, S., Koppejan, J. (2010). *The handbook of biomass combustion and co-firing*, Earthscan-Taylor & Francis Group, New York, NY, USA.



