

## **TENDENCIAS ACTUALES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL**



**OLGA ISABEL PECHENÉ NAVARRO**

**Propuesta de Monografía para optar al título de Ingeniero Agroforestal**

**UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**CEAD POPAYÁN  
2018**

**TENDENCIAS ACTUALES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL**



**OLGA ISABEL PECHENÉ NAVARRO**

**Asesor**

**Ing. NELLY MERCEDES CAMUES**

**UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**CEAD POPAYÁN  
2018**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Popayán, \_\_ de \_\_\_\_\_ de 2018

**Dedicatoria**

Este trabajo lo dedico, desde el fondo de mi corazón, a mi madre Mariana, a mi padre Antonio, a mi amado hijo Javier Andrés y a mi esposo Carlos Alberto.

Olga Isabel Pechené Navarro

## Índice

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>14</b>
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
OBJETIVO GENERAL .....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>ANÁLISIS DEL PANORAMA ACTUAL DE LAS FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA .....</b>	<b>17</b>
FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA .....	18
ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y TECNOLOGÍA.....	24
<i>Energía eólica.....</i>	<i>26</i>
<i>Biomasa.....</i>	<i>29</i>
<i>Biocombustibles.....</i>	<i>35</i>
<b>ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA BIOMASA COMO FUENTE PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL..</b>	<b>39</b>
GENERALIDADES.....	39
BIORREFINERÍAS .....	42
<b>EL CULTIVO DE <i>SECHIUM EDULE</i> COMO FUENTE DE BIOMASA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL</b>	<b>51</b>
<b>SECHIUM EDULE .....</b>	<b>52</b>
INFORMACIÓN BÁSICA .....	52
DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	55
ECOLOGÍA Y NECESIDADES.....	56
REQUERIMIENTOS EDAFOLÓGICOS .....	57

SECHIUM EDULE COMO FUENTE DE BIOETANOL .....	57
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>60</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>62</b>

**Lista de figuras**

Figura 1 Gráfica de Keeling de concentración de CO <sub>2</sub> en la atmósfera .....	20
Figura 2. concepto de triada energética .....	33
Figura 3.Áreas de una biorrefinería.....	44
Figura 4, catálisis en el procesamiento de la biomasa .....	49
Figura 5. Concepto de biorrefinería para procesar lignocelulosa para obtener bioenergía .....	50

**Lista de Fotografías**

Fotografía 1. Turbina de viento Fuente: EWEA,2009, p.7 .....	28
Fotografía 2. Montón de compost(biomasa), .....	31
Fotografía 3. Semillas de Jaropha .....	47
Fotografía 4. Planta de Sechium edule .....	54



**Lista de Tablas**

Tabla 1. Composición de polisacáridos de <i>Sechium edule</i> .....	54
Tabla 2. Composición de fibra y carbohidratos del chayote.....	55

## Resumen

En este documento se aborda la revisión bibliográfica sobre el estado actual de las fuentes alternativas de energía, particularmente bioetanol, como respuesta a las necesidades energéticas de la economía de mercado y a los retos medioambientales que el calentamiento global plantea hoy al mundo.

Se analizó en primer término el panorama actual de las fuentes alternativas en el mundo, enfatizando en la energía eólica, la biomasa y los biocombustibles y los avances tecnológicos realizados para generarlas. Luego, profundizó en el concepto de biorrefinería como centro integral de producción sostenible de biomasa, analizando cómo se procesa en éstas.

Entonces, se analizó como la biomasa utiliza las cadenas biológicas y químicas para la obtención sostenible de bioetanol, un combustible de segunda generación, simple de producir y cuya fuente de biomasa se ajusta a los recursos existentes en los trópicos, si bien se aborda también la producción a partir de algas marinas, es decir, los retos y posibilidades de la cuarta generación de biocombustibles.

Finalmente, se discute la manera en que la papa cidra (*Sechium edule*) puede ser fuente alternativa de biomasa para producir bioetanol con significativo plus, para el suelo, la economía y el ambiente, en las regiones tropicales.

### *Palabras Claves*

Bioetanol, Biomasa, Biorrefinería, Energía Alternativa, *Sechium Edule*

## Abstract

This document addresses the literature review on the current status of alternative energy sources, particularly bioethanol, in response to the energy needs of the market economy and the environmental challenges that global warming poses to the world today. The current panorama of alternative sources in the world was analyzed first, emphasizing on wind energy, biomass and biofuels and the technological advances made to generate them. Then, he delved into the concept of bio refinery as an integral center of sustainable biomass production, analyzing how it is processed in them. Then, it was analyzed how biomass uses the biological and chemical chains for the sustainable obtaining of bioethanol, a second generation fuel, simple to produce and whose biomass source adjusts to the existing resources in the tropics, although the production from marine algae, that is, the challenges and possibilities of the fourth generation of biofuels. Finally, the way in which the citron potato (*Sechium edule*) can be an alternative source of biomass to produce bioethanol with significant plus, for the soil, the economy and the environment, in the tropical regions is discussed.

### *Keywords*

Alternative Energy, Bioethanol, Biomass, Bio 4refinery, , *Sechium Edule*

## **Introducción**

Las actuales presiones que sobre el medio ambiente ejerce el uso de combustibles fósiles no renovables han llevado a un debate continuo entre quienes luchan por proteger el capital natural y quienes, desde el poder transnacional pretenden minimizar los efectos nocivos del aparato industrial y del cambio climático, confrontación que se está inclinando a favor de los primeros porque los efectos y alcance a gran escala del cambio climático saltan a la vista y existe una amenaza real de crisis del agua al ir desapareciendo las reservas de este líquido en zonas estratégicas como los polos.

En este orden de ideas, la búsqueda de fuentes de energía limpias que permitan migrar hacia una economía que no dependa de los combustibles fósiles y de los derivados de estos es una apremiante necesidad para la supervivencia de la humanidad.

Así, se ha desplegado un enorme interés por proyectos de investigación en tecnologías diversas que permitan obtener energía de forma eficiente a partir de fuentes alternas, especialmente para usos relacionados con la generación de electricidad y el transporte, una de las actividades que es una de las que más genera costos y contaminación en la cadena de suministros de las grandes empresas de los más importantes sectores industriales del mundo.

Entonces, ante las proyecciones crecientes de demanda de energía por un planeta con una gran explosión demográfica, grandes necesidades de alimentos, un impacto profundo del efecto invernadero y disminución de las exploraciones de yacimientos de combustibles fósiles, así como ante presiones por las explotaciones a cielo abierto de la minería del carbón, tecnologías como la energía solar, la eólica, la geotérmica, las celdas

de hidrógeno, y los biocombustibles, han entrado al escenario en lo que respecta a tecnología energética.

Sin embargo, existen limitaciones de costos y de otro tipo para el desarrollo de algunas de estas alternativas en la práctica. Por ejemplo, la energía solar a gran escala en la actualidad es costosa porque, en primer lugar, requiere de dispositivos de almacenamiento y en segundo, se depende de qué tanta radiación solar es aprovechable en un determinado lugar del globo. De igual manera, la energía eólica requiere de diseños más eficientes que abaraten los costos para su implementación lo que una vez logrado le puede permitir masificarse en regiones de países como Estados Unidos. (Daniels Becker, 2010, p. 13)

Por otra parte, existe una marcada tendencia hacia el aprovechamiento de la biomasa proveniente de residuos orgánicos de las basuras, de aquellos que se desechan en industrias como la de la caña de azúcar, así como de otros subproductos biodegradables, fundamentalmente porque a diferencia de las dificultades por espacio cultivable, existentes en el hemisferio norte, en los países con menor desarrollo, existe abundante tierra y además gran biodiversidad, particularmente de plantas, además de ser países productores de materias primas de orden agrícola, de modo que esta fuente de energía se hace importante en regiones como la India, Malasia, Brasil y países latinoamericanos como Colombia.

En este documento se exponen las tendencias que existen sobre la producción de bioetanol a partir de biomasa, como una fuente de energía alternativa que ayuda en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera y para aprovechar recursos vegetales del trópico.

Así, en el primer capítulo se exponen el problema, la formulación, los objetivos, la justificación; en el segundo se realiza el estado del arte discutiendo las tendencias referentes a las energías alternativas en el mundo, así como las tendencias relacionadas con la producción de bioetanol; en el tercer capítulo se realiza una propuesta de producción de bioetanol utilizando la papa cidra como materia prima para demostrar la viabilidad de la producción de bioetanol a partir de una planta tropical; finalmente en el cuarto capítulo se plasman las conclusiones y recomendaciones referentes al proceso de producción de bioetanol.

Este documento de monografía se enmarca dentro de la línea de investigación de ECAPMA denominada Gestión y Manejo Ambiental y Biotecnología porque busca dar a conocer las tendencias actuales en la producción de Bioetanol y articularlas en un caso concreto de aplicación práctica con impactos ambientales positivos deviniendo en una producción limpia y económica de biocombustible.

### **Planteamiento del problema**

#### **Descripción del problema**

La sociedad actual posindustrial necesita grandes volúmenes de combustibles para mover el aparato productivo, especialmente el transporte, con lo cual se utiliza de forma preponderante los combustibles fósiles que contaminan severamente el medio ambiente, a través de emisiones de gas carbónico, derrames de combustible que se vierten a fuentes de agua, o sobre el suelo, y además son recursos no renovables.

Por otra parte, los combustibles fósiles se utilizan para la generación de electricidad y de calefacción, aumentando la intensidad de las emisiones de gas carbónico a la atmósfera creando el efecto invernadero que es el responsable del calentamiento global, efecto que de

no controlarse producirá consecuencias catastróficas para el ser humano, los ecosistemas y la supervivencia de la vida en la tierra.

Para enfrentar esta crisis ambiental causada por el empleo de combustibles fósiles se ha considerado como estrategia mitigadora la producción de bioetanol a partir de biomasa con lo cual se obtiene combustible de forma limpia y sostenible puesto que la biomasa es un recurso renovable.

Así, profundizar el estado del arte sobre las tendencias actuales para la producción de bioetanol es muy importante para las áreas del conocimiento relacionadas con la energía y la agricultura, así como para determinar el impacto sobre el mercado de los combustibles y buscar alternativas específicas con base en biomasa de origen tropical.

### **Justificación**

La biomasa es una fuente de energía alternativa que está siendo discutida de forma explícita y general desde los años 1990, de tal manera que en la actualidad se saben sus impactos sobre la cadena alimenticia, sus bondades como materia prima para la elaboración de bioetanol, y sus limitaciones. Sin embargo, es la fuente más empleada de energía alternativa en el tercer mundo porque en estos existen fuentes de ella y además es barata, paliándose sus efectos adversos al existir mayor capacidad de tierras aptas para cultivo destinados a ella y que no son adecuados para la producción de alimentos.

(Mckendry,2002)

Así, desde la perspectiva teórica que tiene que ver con las fuentes renovables de energía, discutir las fuentes, los sistemas, las aplicaciones, disponibles para obtener la biomasa que se utiliza en la producción de bioetanol con las características adecuadas para su uso en el

transporte y la industria, es de gran interés y por tanto, justifica plenamente esta monografía.

Por otra parte, desde la perspectiva práctica, encontrar fuentes de biomasa que sean abundantes, de rápido crecimiento, con pocos impactos ambientales negativos y que su procesamiento no exija una alta complejidad, es fundamental y en esta monografía se postula la papa cidra (*Sechium edule*) como una fuente con estas características para la producción de bioetanol, lo que justifica el proceso investigativo actual.

Finalmente, desde la óptica personal esta monografía sirve para propósitos de titulación académica y es de interés para un profesional en Ingeniería Agroforestal porque permite conocer las tendencias actuales de la producción de biomasa para producir etanol y explorar una alternativa práctica, aplicable en el entorno tropical de nuestro país, lo que trae como consecuencia un mayor conocimiento del campo específico de los biocombustibles y su valor económico, social y ambiental

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Profundizar el estado del arte sobre las tendencias actuales para la producción de bioetanol.

### **Objetivos Específicos**

1. Analizar el panorama actual de fuentes de energía alternativa, sus implicaciones y desarrollo, especialmente las fuentes de biomasa, aprovechables en el campo de la ingeniería agroforestal.
2. Identificar los aspectos fundamentales para la obtención y procesamiento de biomasa como recurso para la extracción de bioetanol.



3. Analizar la papa cidra (*Sechium edule*) como fuente alternativa para la producción de bioetanol en ambientes tropicales, siguiendo los lineamientos trazados por las tendencias actuales en la producción de bioetanol.

### **Análisis del panorama actual de las fuentes alternativas de energía**

Para Smith & Taylor(2008) los combustibles fósiles basados en la descomposición o decaimiento , durante centurias, de residuos de animales y plantas, atrapados en depósitos geológicos, han sido masivamente utilizados, dejando de lado fuentes antiguas de energía como la madera, el sol, el agua, el viento, que son renovables, porque derivan de fuentes de muy larga duración como el sol, las mareas, el calor bajo la superficie terrestre, la biomasa, que se puede considerar muy extensa porque las plantas son esencialmente su fuente y la energía del sol está atrapada en ellas debido a la fotosíntesis. Estas fuentes renovables son el eje de la planeación seria sobre energía alternativa, iniciada por Estados Unidos sólo a fines del siglo XX, con el propósito de cambiar la distribución de fuentes de energía, que para 2007 implicaba un 34% del consumo mundial perteneciente al petróleo, 24% al carbón y 21% al gas natural, en tanto que la biomasa apenas llegaba a 11%.

Además, Ngo & Natowitz(2009) opinan que las necesidades de energía humanas son cada vez mayores, siendo la razón de su necesidad, la invariancia de las leyes físicas, en particular la ley de conservación de la energía que permite la transformación de unas formas en otras, si bien la cantidad disponible será siempre la misma. De hecho, el sol es la fuente primaria de las fuentes renovables secundarias como la biomasa, y el empleo de toda la energía que se necesita en el mundo está distribuido en un 30% para propósitos térmicos, 20% para el transporte y 10% para generar electricidad, desperdiándose un 40%.

Por tanto, se discuten las fuentes alternativas de energía de mayor importancia, enfatizando en la solar, la biomasa, los biocombustibles como el bioetanol, la energía eólica, así como las razones de su necesidad, particularmente el aspecto de la prevención de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, evento que ha causado la crisis del aceleramiento del calentamiento global.

### **Fuentes alternativas de energía**

Según Wynell (2011) se ha acuñado el término energía alternativa para designar cualquier fuente de energía utilizable que pretenda remplazar las fuentes de combustible sin las consecuencias indeseables de los combustibles remplazados, hecho que se enfatiza con el término “alternativa”, indicando además los problemas que las nuevas fuentes deben resolver. (p.3)

Entonces, la denominación de energía alternativa ha cambiado en su alcance con el tiempo porque lo ha hecho también el tipo de fuente de energía dominante, de manera que se debe tener cuidado cuando se considera una fuente como alternativa. En este sentido Wynell (2011) manifiesta que “en general en la sociedad contemporánea, energía alternativa es aquella en la que se produce ésta sin las consecuencias indeseables de la combustión de los combustibles fósiles: altas emisiones de dióxido de carbono, el mayor factor en el calentamiento global” (p.3).

La relación entre calentamiento global y las emisiones de invernadero fue predicha hace más de 50 años por los científicos Roger Revelle y Hans Suess, quienes en un documento publicado en 1957 manifestaban sus preocupaciones sobre los efectos futuros de las emisiones a la atmósfera de dióxido de carbono, un gas de invernadero, generado por las actividades humanas.

De acuerdo con Hay (2016), dentro del documento de los científicos se establecía el hecho que en pocos siglos se estaba liberando a la atmósfera y a los océanos el carbono orgánico concentrado que había estado atrapado en las rocas sedimentarias durante siglos, lo que a largo plazo afectaría el clima y el tiempo atmosférico. Sin embargo, pensaban que el impacto sería menor porque no consideraron otros cambios que la actividad humana había hecho y estaba haciendo al planeta durante los últimos siglos, lo que implicaba un fenómeno mucho más complejo de lo que ellos habían imaginado. (p.xi)

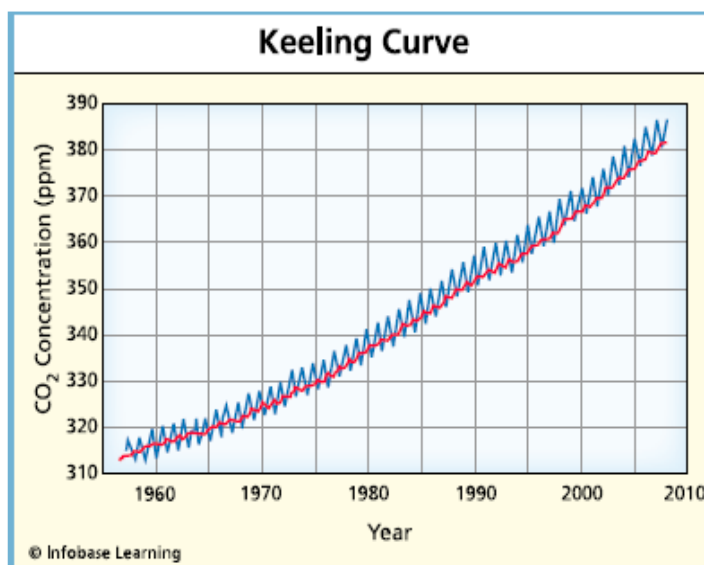
De acuerdo a Hay (2016), es desde la Revolución industrial que:

Las actividades humanas han tenido cada vez mayor impacto sobre las condiciones de la superficie de la tierra. Son cinco los factores que promueven el cambio ambiental global: mayores niveles de gases invernadero en la atmósfera; desmonte de bosques para la construcción de edificios y carreteras a tal escala que se afecta la cantidad de energía solar absorbida o reflejada por nuestro planeta; el remplazo de plantas que transpiran libremente y devuelven agua a la atmósfera, por plantas que conservan agua y que crecen más rápido y que ahora forman la base de la cadena alimenticia en muchas partes del mundo; el uso desmesurado de fertilizantes y pesticidas en la agricultura, y la minería de minerales y la extracción de petróleo, gas natural, carbón, con la entrega adjunta de nutrientes y materiales venenosos al entorno.(p. xi)

Por otra parte, puesto que existe una relación entre el tiempo atmosférico, concebido como las condiciones cambiantes de la atmósfera en algún lugar de la tierra en función de factores como la celeridad y dirección del viento, la temperatura del aire, la cubierta de nubes, la humedad y la precipitación, y, el clima, que incluye muchos de estos factores pero abarca el promedio de comportamiento del tiempo atmosférico de un área extensa de la tierra, tomando como base un periodo de tiempo prolongado.

Esto implica, como afirma Tomecek (2012), que “el cambio climático no es nada nuevo. La tierra hace 15000 años era más fría que hoy y durante el Cretáceo, hace 70 millones de

años, poseía una temperatura unos cuantos grados más elevada de lo que es hoy” (p.8). La mayoría de científicos concuerda en que los sistemas climáticos del mundo están cambiando y también el ciclo del ciclo del carbono, al liberarse dióxido de carbono e incorporarse a la atmósfera donde forma una capa que refleja la luz ultravioleta proveniente del suelo y la reemite a la superficie impidiendo que se disipe, causando el denominado efecto de invernadero. Para medir la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera se utiliza la denominada curva de Keeling, utilizada desde 1958.



**Figura 1 Gráfica de Keeling de concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera**

Fuente. Tomecek, 2012, p.25.

En este orden de ideas, cuando se habla de prevenir el cambio climático, o de mitigar el efecto de invernadero y el calentamiento global, se está haciendo referencia principalmente al ritmo acelerado en que éste sucede debido a las actividades humanas, a la emisión descontrolada de CO<sub>2</sub>, de Metano, de óxido nitroso, entre otros, pero también a atender aspectos como las alteraciones del balance energético de la tierra, a los efectos de los compuestos con flúor sobre la capa de ozono. Este es un problema debido a las actividades humanas, si se tiene en cuenta que Hong y Lugg (2013) manifiestan que:

El cambio climático es uno de los retos más importantes y apremiantes que enfrenta la comunidad internacional. [...] Sin embargo, no es fácil alcanzar un acuerdo para enfrentarlo porque los problemas son complejos y la política inherentemente decisiva. Muchos gobiernos son reacios a sacrificar su crecimiento económico actual porque las más severas consecuencias del cambio climático serán evidentes a largo plazo, en tanto que los costos económicos de la prevención son elevados y deben pagarse por adelantado. (p.4)

En consecuencia, el mundo se está dando cuenta que enfrentar el acelerado cambio climático no sólo es difícil sino costoso, además de ser exasperante porque, como manifiesta Van Kooten (2013):

La atmósfera es un recurso compartido al que no todos tienen acceso, siendo el beneficio de quemar combustibles fósiles de carácter individual, pero los costos de las emisiones son soportados por todos, lo que hace a este problema el de mayor acción colectiva, requiriendo la cooperación de todos los países, con sus diferentes intereses e incentivos; además los costos y beneficios de su mitigación están desigualmente distribuidos. (p.2)

Así mismo, aunque se dejara de emitir CO<sub>2</sub> a la atmósfera, el gas acumulado perduraría por un siglo y continuaría el calentamiento del globo, o peor aún, al ritmo que las economías emergentes emiten gases de invernadero a la atmósfera, para sustentar su crecimiento económico, especialmente China, el problema se agravará porque para ellas los combustibles fósiles son baratos y ubicuos, a pesar que se comprometan a cortar sus emisiones y a aumentar esfuerzos para usar fuentes de energía que no contengan carbono. ( Van Kooten, 2013, p.2)

Ante esta situación, los países comprometidos con prevenir el cambio climático para migrar la economía mundial hacia un modelo limpio, sostenible, seguro y beneficioso para todos, están en mayor o menor medida comprometidos con la promoción de las energías alternativas, o en su defecto, si el acceso a ellas es restringido, con el mejoramiento de las

tecnologías existentes, si bien el ideal es que todos se comprometan a enfrentar seriamente el cambio climático.

En particular, según Hong et al., (2013) se persigue una industria de la energía limpia que cubre sectores como la energía solar, la eólica, biomasa y biocombustibles, células de combustible, la construcción de edificios ecológicos eficientes en el uso de energía y en los servicios de carbono (p. 13).

Según Miller (2011), los científicos hacia principios de este siglo consideraban que si se mantenían las emisiones totales de gases de invernadero en la atmósfera en el rango de 450-550 ppm, entonces la temperatura global aumentaría solo 2 ° C sobre aquella de la era preindustrial. Sin embargo, el hecho del rápido deshielo del hielo ártico sugiere que las estimaciones estaban equivocadas y que ese deshielo es el inicio de drásticos e irreversibles impactos al medio ambiente debido a un aumento acelerado del calentamiento global. (p.12)

Luego, para responder a la cada vez mayor demanda de energía en el siglo actual se enfrentan retos que implican buscar nuevas fuentes y formas de generarla porque los combustibles fósiles que cubren hoy el 85% de las necesidades mundiales son limitados sino también poseen impactos adversos sobre la naturaleza, siendo el panorama energético mundial bajo estas condiciones insostenible en el futuro. Es por esta razón que se buscan nuevas fuentes de energía evaluándolas mediante el concepto de disponibilidad que mide cuánta cantidad máxima de trabajo se puede obtener de una fuente específica. Así, se da importancia a la energía solar, de fusión de las estrellas, eólica, geotérmica, hídrica y de la biomasa, entre otras (Efstathios, 2012).

Entonces, se puede decir que la energía alternativa es el conjunto de opciones de energía disponibles, desde la solar hasta la eólica, para hacer mejor el mundo evitando empeorar el calentamiento global, implicando implementaciones a pequeña escala, por los individuos, o a mayor, por los gobiernos. Los cambios se deben dar en el sector del transporte principalmente, que es el que más consume combustibles fósiles. Entonces, una fuente alternativa de energía es aquella que es una alternativa a la energía producida a partir de los residuos fósiles (DeGunther, 2009).

En líneas generales, las estrategias para enfrentar el problema del calentamiento global acelerado empiezan por reducir el consumo de combustibles fósiles, buscar fuentes de energía con bajas emisiones, lo que implica desarrollar un sector de generación de electricidad renovable y limpio, una red de transporte propulsada por energías limpias, así como la migración a una economía basada en energías alternativas, hecho que exige invertir en tecnologías como la solar, eólica, geotérmica y biomasa, que están en fase de desarrollo, para que se puedan emplear en la producción en masa e implementarse a gran escala.

Además, esto exige un compromiso político de los países desarrollados, especialmente de China que es la nación que más contamina en la actualidad, y acciones en el sentido correcto por parte de países del tercer mundo, como Colombia, para utilizar tecnologías como la biomasa, que están a su alcance y tienen menores limitaciones, para propulsar su sistema de transporte y reducir las emisiones de gases de invernadero, entrando en el esfuerzo de la energía limpia mundial, abaratando los combustibles..

## **Energías alternativas y tecnología**

Fuentes alternativas de energía como la eólica, la solar, los biocombustibles están compitiendo por convertirse en parte del futuro energético del mundo en su búsqueda por fuentes limpias y sostenibles, y eso está siendo posible a medida que se avanza en tecnología y estas fuentes son más baratas y confiables.

### **Energía solar**

La energía proveniente del sol llega a la tierra en una cantidad aproximada de  $1.8 \times 10^{17}$  W, casi un millón de veces el consumo de energía global actual, puede ser aprovechada utilizando celdas solares, que convierten directamente la energía solar en energía eléctrica, mediante paneles, o celdas fotovoltaicas, que complementan la acción de las primeras

Siguiendo a Chwieduk, (2014) la posibilidad de utilizar la energía solar depende de la tecnología de construcción de sistemas activos de conversión foto-térmica y fotovoltaica, cuya eficiencia pueda satisfacer la creciente demanda de energía por parte de edificios o sistemas de micro riego en transporte etc. Por otra parte, la energía solar es una fuente renovable y sostenible muy versátil que con los esfuerzos de ingeniería, biotecnología y bioquímica puede utilizarse en procesos requeridos para la reproducción de otras fuentes alternativas especialmente biohidrógeno, como lo describen Miyake, Igarashi, Rogner, (2004), utilizando cianobacterias a través de la aplicación de un modelo de producción de hidrógeno mediante sistemas vivos que utilizan la energía solar.

Además, ante la creciente demanda de energía, en los hogares, especialmente de Europa, se puede citar a Reda (2017) que manifiesta que:

En la actualidad la energía térmica solar se utiliza principalmente para calentar el agua doméstica y la calefacción de espacios, siendo los sistemas de enfriamiento térmicos solares prometedores. Sin embargo, para penetrar el mercado



deberán perfeccionar los sistemas de termosifón y bombeo que difieren en el flujo de circulación. (p. xvii)

También, de acuerdo a Rabiul & Rahman (2016) los avances en plantas de energía solar fotovoltaicas, como resultado de los esfuerzos de los científicos del mundo por mejorar la tecnología solar fotovoltaica (PV) permitirán en el futuro plantas de energía viables porque “se ha avanzado en criterios de costo efectividad y eficiencia en el diseño de inversores PV, especialmente con la introducción de inversores sin transformador” (p. xiv).

Así mismo, según afirman Mohanty, Muneer, Kolhe (2016)

En el contexto de la electrificación fuera del sistema eléctrico tradicional la tecnología solar fotovoltaica ha surgido como una de las opciones más preferidas, debido a que esta tecnología posee la versatilidad y flexibilidad para diseñar sistemas para diversas regiones, especialmente aquellas aplicaciones remotas. (p. vii)

De la misma forma, Suresh & Rakshit (2016) ponderan que:

Para la obtención de energía fundamental para la sociedad y ante el agotamiento de las fuentes convencionales más importantes que han llevado a la crisis actual al acabarse estos recursos naturales limitados, han aparecido varios métodos para la conversión de energía lumínica en energía eléctrica, los que utilizan celdas fotoelectroquímicas, celdas solares con pigmentos sensibles, celdas fotovoltaicas orgánicas, celdas fotogalvánicas, etc. cada método posee ventajas y desventajas, que exigen una continua investigación para mejorar, lo que ha producido una nueva generación de celdas que combinan o modifican estas tecnologías existentes. Algunos ejemplos son las celdas solares plasmónicas, híbridas, biohíbridas, de perovskita, en tándem invertido, etc. algunas son prometedoras como fuentes de energía. (p.vii)

En este orden de ideas, toma sentido lo expuesto por Carter (2017) para quien la extracción y consumo indiscriminado de las fuentes de combustibles fósiles afectan las principales esferas de la actividad humana, desplazando el interés hacia fuentes renovables de energía tales como la solar, eólica y biomasa. De allí, que la producción de bioetanol se haya incrementado desde 1990 con un pico pronunciado en el año 2000. parafraseando a

este autor puede decirse que en la producción de bioetanol, fuente alternativa atractiva, por ser un combustible a baja temperatura, fácilmente obtenible en grandes cantidades a partir de desperdicios Agrícolas y de biomasa, es de gran importancia la aplicación de la tecnología PV, donde aporta la energía del reactor que se utiliza para la sacarificación y fermentación simultanea de la glucosa a través del método de fermentación de estado sólido para producir bioetanol.

Por otra parte, se puede acotar que la energía solar es una fuente alternativa de los sistemas de energía solar concentrada a cerca de los cuales dice Heller (2017) que:

Son sistemas que se caracterizan por enfocar la radiación solar sobre un receptor con la ayuda de reflectores, donde la radiación solar se absorbe y se transforma en calor. El calor es transferido desde un fluido hasta una máquina de vapor que está conectada a un generador de energía eléctrica. (p, i)

Finalmente, esto lleva a la gran oportunidad que representa el uso de arreglos fotovoltaicos para la concentración de la radiación solar, sistemas que se pueden integrar a los edificios de la manera descrita por Parkin (2017), quien afirma que

Desde 1998 varias compañías comenzaron a utilizar métodos para concentrar la energía del sol sobre arreglos de celdas fotovoltaicos, usando como concentradores espejos, lentes y reflectores parabólicos que necesitan mecanismos de orientación ya sea que utilicen para el componente parabólico uno o dos ejes. Cada concentrador posee su eje de tal manera que sigue la elevación del sol, si bien se necesitan dos ejes para obtener altas concentraciones. De esta manera se pueden crear arreglos fotovoltaicos que típicamente dan por celda alrededor de 0,5 voltios, de modo que un arreglo de 34 a 36 piezas en serie proporciona 18 voltios que sirven para cargar una batería de 12 voltios. (p. 497;507)

### **Energía eólica**

De acuerdo a la Asociación Europea de Energía Eólica(EWEA,2009), desde 2004 se ha disparado el crecimiento del sector europeo de generación de energía a partir del viento, pasando de 40000 MW a 94000 MW, de modo que en 2007 en ese continente está

instalado el 60% de la energía eólica mundial, demostrando los grandes avances tecnológicos realizados en este campo, especialmente en las turbinas, prefiriéndose aquellas de tres aspas, puestas a favor del viento, con velocidad variable, ángulo de ataque al viento regulado , de pequeño tamaño.

De igual forma, Johnson (2014) describe las experiencias que se han adelantado en los Estados Unidos desde 2005, cuando en Virginia se establecieron más de 100 turbinas eólicas en el vecindario de Cold Knob, para generar electricidad, dando continuidad a la tendencia que hacia 1920 se tenía en las granjas de generar electricidad con los molinos de viento, y a la dada en Texas hacia 2000, donde era frecuente en las fincas encontrar generación eólica de electricidad.

Esto demuestra que la energía eólica en los Estados Unidos está creciendo, a pesar de los inconvenientes ambientales, como la muerte de pájaros ocasionada a las bandadas que pasan en California, o los efectos sobre los murciélagos ocasionados por las turbinas en los Apalaches, o aquellos impactos negativos sobre las tortugas que anidan en las playas de Florida. Esto implica que los sistemas de turbinas eólicos en esta zona deben construirse con sostenibilidad y minimización de los impactos ambientales si se quiere una energía eólica libre de problemas con las comunidades.

Además, Pinz & Morita(2017) describen los esfuerzos realizados por Hawái para obtener una generación de energía eléctrica limpia, rompiendo la dependencia de la isla de las importaciones de petróleo, aprovechando los lugares donde existen corrientes de aire importantes para instalar sistemas de generación de electricidad movidos por el viento, existiendo la necesidad de recolectar la electricidad dispersa mediante una línea de

transmisión submarina, lo que implica un compromiso de inversión de stakeholders privados.



**Fotografía 1. Turbina de viento**  
Fuente: EWEA,2009, p.7

Por otra parte, el diseño de las turbinas de viento es complejo porque no sólo debe tomar en cuenta temas como la vorticidad, sino también aspectos de dinámica de fluidos implicando la viscosidad, la circulación y leyes físicas como las de Biot-Savart, de modo que se presentan cambios de vorticidad en el rotor, que es visto entonces como un disco actuador de vorticidad, en el que se emplea preferiblemente la vorticidad de tipo débil (Branlard,2017).

Así mismo, los avances en las aspas de las turbinas de viento se concentran hoy en la reducción de su peso y el tema de la eficiencia de la generación de energía eléctrica, con lo que se buscan nuevos materiales, para que el tamaño sea mayor, pero el peso menor, de modo que el diseño de las aspas es un compromiso entre aspectos aerodinámicos y estructurales, cuidando de tener en cuenta los efectos de los componentes geométricos no lineales (Nijssen &Bronsted,2013).

Entonces, la energía eólica es prometedora en muchos lugares, en especial Europa, pero es complicado el diseño de turbinas y se tiene que ver el costo-efectividad de su implementación cuando se tengan que hacer implementaciones competitivas.

### **Biomasa**

Más de un tercio de la actual población mundial utiliza la madera, el detritus animal y otras materias orgánicas para adquirir la energía que necesitan las actividades diarias, lo que permite afirmar que la biomasa es la principal fuente de energía. Además, en la actualidad existe interés en ella para la generación de electricidad y para sustituir los combustibles fósiles convencionales., razón por lo que la industria ligada a ella es una de las de más rápido crecimiento, debido a que la biomasa tiene versatilidad de usos y una alta disponibilidad, siendo fuentes comunes los árboles, los cultivos, las hierbas, los desechos, entre otros. Por tanto, la biomasa, que antes se limitaba a la calefacción y la cocción de los alimentos se vuelve cada vez más atractiva para usos alternativos (DeGunther, 2009).

La biomasa empezó a cobrar importancia desde la crisis energética de los años 1970 y ha crecido el interés sobre ella debido a los problemas medioambientales y al aumento de la demanda de energía a nivel mundial, con lo cual muchos países empezaron a considerar fuentes renovables de energía que redujeran el impacto al entorno y promovieran el desarrollo de la agricultura, ante cuya perspectiva se vio que la biomasa es una importante alternativa de energía sostenible.

La biomasa se puede considerar como una forma de energía solar en el sentido que las plantas que convierten esa energía la acumulan en forma de energía química, permitiendo que esté disponible de forma continua, sin intermitencias, problema que si tiene el

aprovechamiento directo de la energía solar que depende de factores como: que esté de día, que no haya nubes, etc.

Además, Fanchi(2005) ya enfatiza la importancia de la biomasa, como materia que se ha formado como producto de la fotosíntesis y pone como ejemplo a un montón de compost, destacando que una de las mayores ventajas de la biomasa es su biodisponibilidad porque la energía está almacenada hasta que se necesita, siendo importante también que es utilizable en estado sólido, líquido o gaseoso, si bien un kilogramo de biomasa tiene menos densidad de energía que el petróleo crudo o el carbón, de manera que produce menos calor que estos, pero, cuando se convierte a etanol esto mejora porque este alcohol tiene una densidad de energía un poco más del doble que la madera seca, es decir, 28 MJ/kg.

De allí que, la obtención de bioetanol sea uno de los procesos deseables para utilizar la biomasa a gran escala, si bien un asunto capital es seleccionar el residuo de biomasa que se va a utilizar para tal fin, ya que esto implica aspectos logísticos y tecnológicos como el área de almacenamiento necesaria, los requisitos de pretratamiento, con ácido a altas temperaturas; aquellos pretratamientos que liberan azúcares, así como el proceso de separación de las partes líquidas de los residuos sólidos, así como los procedimientos de neutralización y lavado para evitar impactos ambientales negativos del ácido, y la capacidad de los recipientes de fermentación anaerobia necesarios para obtener el etanol, siendo necesario destilar si se utilizan materiales como el maíz como fuente de biomasa.



**Fotografía 2. Montón de compost(biomasa),**

Fuente: Fanchi,2005, p.119

Así, la energía almacenada en la biomasa se puede liberar en cualquier momento cuando esta entra en combustión, proceso que se puede realizar a conveniencia del usuario.

Además, la eficiencia de la fotosíntesis, mecanismos por medio del cual las plantas convierten energía solar en energía química, necesita la transformación de dióxido de carbono y agua en glucosa y oxígeno, en presencia de la luz solar, en el espectro visible, por cuya razón solamente el 50% de la luz que llega del sol es aprovechada por este proceso (Tabak, 2009)

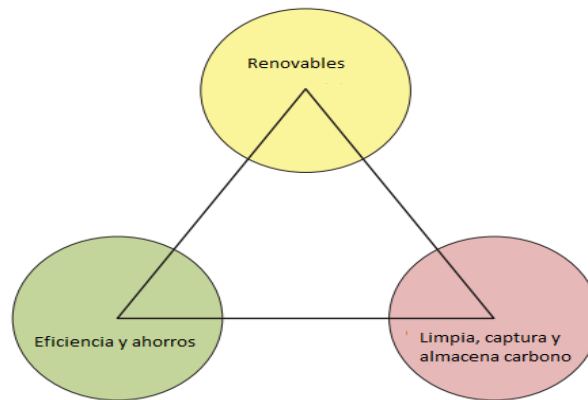
La biomasa es una fuente renovable de energía porque es un derivado del proceso de fotosíntesis por el que las plantas transforman la energía del sol en energía química. Puede definirse como cualquier tipo de materia orgánica, sea de origen forestal, agrícola, desperdicios animales. Así, involucra la transformación de materia orgánica en energía utilizable, siendo pequeños los impactos a la naturaleza. se hacen esfuerzos para aprovecharla con la más alta eficiencia. En particular para la producción de combustibles semejantes a la gasolina se utilizan plantas con almidón como el trigo o el maíz (Gibilisco, 2007).

De igual manera, considerando los aportes de Ehimen & Holm(2016) puede decirse que el debate sobre la sensibilidad de las biomásas para distintos propósitos entre los que están: alimentos, forrajes, combustibles para obtener energía, calefacción y sistemas de enfriamiento así como productos de biorrefinerías que reemplazan a los químicos basados en fósiles, establecen que cuando se cosecha la biomasa se deben tener en cuenta los problemas de conservación de la naturaleza, de manera que la utilización futura de ésta se compara teniendo en cuenta su potencial energético de producción de 196-5030EJ.

Además, la biomasa es renovable cuando cumple los cinco criterios siguientes: es leñosa, originada de cosechas o pastizales; de tierras de labranza que tienen bosques; es una fracción no fósil de un desperdicio industrial o municipal; es un residuo de biomasa que no involucra una disminución de las reservas de carbono, o es biomasa no leñosa, originada de cultivos o pastizales (Ehimen et al.,2016, p,4).

De igual forma, De Jong & Van Ommen (2015) sostienen que, para la obtención de una energía sostenible a partir de biomasa, es decir, para producir bioenergía, se debe cumplir el principio que llama “triada energética”: que sean renovables; que proporcionen ahorros y eficiencia; que sean limpias, capturando y almacenando carbono. Por tanto, la biomasa, proveniente de orígenes orgánicos, posee ventajas como: ser una fuente de almacenamiento de energía solar, utilizable de forma indirecta; ser una especie de batería natural, siempre sostenible y a disposición; poder ser co-procesada con combustibles fósiles en sistemas de conversión de energía existentes; ser, en términos generales, una fuente libre de carbono, y poseer subproductos valiosos que se pueden procesar para obtener energía, calor o químicos.





**Figura 2. concepto de triada energética**  
Fuente: De Jong & Van Ommen, 2015, p.16.

Por otro lado, de acuerdo con Cheng (2010), la biomasa que procede de cosechas agrícolas y residuos herbáceos, así como de materiales leñosos y residuos orgánicos pueden ser directamente utilizados para la producción de energía o procesarse para obtener productos como bioetanol y biogás, que son entonces empleados para el sistema de transporte o generación eléctrica o de calefacción.

Además, Chiras (2011) implica que la madera es una forma de biomasa que es una fuente de energía principalmente aplicable para la generación de calor, si bien es posible transformarla en biocombustibles, pero lo que más importa en estas fuentes renovables de energía es la eficiencia.

Por este motivo Ptasinski (2016) enfatiza en la eficiencia de los sistemas de producción de biomasa, considerada como la cuarta fuente de energía del mundo en la actualidad, siendo la primera renovable, con la facilidad para transformarse en electricidad, calor, combustible para transporte, además que tiene un impacto neutro de dióxido de carbono, aunque se tienen que enfrentar dificultades relacionadas con la disponibilidad de tierras y la competencia por agua respecto a la producción de alimentos, así como con los altos

costos logísticos debido a su baja densidad de energía, siendo también su eficiencia de conversión de energía solar en energía química a través de fotosíntesis, muy baja, por cuyo motivo es importante establecer métricas precisas sobre la eficiencia de los sistemas basados en biomasa, para asegurar que son competitivos respecto a los basados en combustibles fósiles.

De igual forma, Singh & Chandra(2017) exponen que por estar las plantas en todas partes, siendo los productores básicos de casi todas las cosas que necesitan los seres vivos, con la mediación de microbios, es importante estudiar el rol de aquellos involucrados en la degradación de los desperdicios, particularmente los microbios muy hidrolíticos requeridos en tratamientos enzimáticos, puesto que facilitan los procesos termoquímicos encaminados a la conversión de la biomasa en biocombustibles como bioetanol, biogás o biodiesel.

Además, la biomasa puede procesarse de diferentes formas, siendo fuente de hemicelulosa, si es proveniente de desperdicios con lignocelulosa, o ser procesada para gasificación, e incluso transformarse para la producción de bioetanol, proceso que es el que interesa aquí en esta investigación, y que involucra tres etapas fundamentales: pretratamiento para remover la lignina; hidrólisis para obtener azúcares fermentables; fermentación de estos azúcares para la obtención de bioetanol, biogás, entre otros.

Así mismo, Suresh, Kumar, Shukla, Singh & Krishna(2017), exponen avances realizados en la Conferencia Internacional BICE 2016, realizada en Bhopal, India, siendo de interés la transformación de los desechos de biomasa en fuentes alternativas de energía útiles, a través de diferentes tecnologías de conversión termoquímica tales como combustión, gasificación, pirólisis, torrefacción y licuefacción, usando desperdicios agrícolas como estopa de coco, cáscara de arroz, desperdicios de maíz, de algodón, bagazo

de caña de azúcar, entre otros; la gasificación posee menos problemas que la combustión , siendo la biomasa oxidada para producir gas que se usa para mover turbinas que producen electricidad, con una pureza del 85-90%, respecto a aquel gas obtenido por gasificación del carbón, lo que se puede mejorar utilizando mejores gasificadores; la pirólisis de la biomasa se centra en mejorar la producción de contenido líquido con la alteración de las condiciones de operación, de forma que la variación sea de 65-75% en los productos de bioaceite obtenidos.

### **Biocombustibles**

Los biocombustibles han sido desarrollados para sustituir a la gasolina y el diésel, pero solamente han sido útiles en la práctica solo algunos tales como el metano, el propano y el etanol. Los motores impulsados por metano son más eficientes que los de gasolina y existen distintos desechos a partir de los cuáles se puede generar lo que hace posible producirlo en plantas de pequeño tamaño sirviendo además para el consumo en el hogar (Gibilisco, 2007).

Por otra parte, el propano se puede almacenar en forma líquida, lo que es más aceptable, con un poder energético equivalente al de un 67% del de la gasolina, por galón, con la ventaja que disminuye la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera y los costos de distribución y producción son mucho menores que los de la gasolina.

Finalmente, el etanol, es un biocombustible que se puede obtener de la fermentación de granos o plantas vegetales, partiendo de la celulosa, para obtener la biomasa necesaria, de manera que ésta debe reemplazarse para consumir el dióxido de carbono que causa la combustión del etanol.

A pesar de ello, es más económico que la gasolina, menos explosivo y más resistente a las bajas temperaturas. Los detractores argumentan que su producción requiere cosechas que deberían ser destinadas a los humanos y que libera dióxido de carbono a la atmósfera. Esto significa que debe utilizarse de forma equilibrada y responsable (Gibilisco, 2007).

En este orden de ideas, un biocombustible es aquel derivado de la biomasa, sea ésta vegetal o desperdicio animal, siendo una alternativa benéfica en costo y que contribuye a frenar el calentamiento global, aunque para ciertos tipos existen reservas relacionadas con su costo de refinamiento, así como sobre posible impacto ambiental negativo por la devastación de grandes áreas de tierra cultivable que se dedicaba a la producción de alimentos. Entre los de más interés están aquellos que son líquidos y particularmente el bioetanol que se elabora por la fermentación de almidón o azúcar, siendo actualmente los líderes mundiales Brasil, donde se utiliza como combustible en proporción de 100% u 85%, y los Estados Unidos, país en que se fabrica a partir del maíz y se mezcla con gasolina para transformarlo en gasol, es decir, una gasolina con un 10% de etanol (Curley, 2012).

Otro biocombustible líquido popular es el biodiesel que se elabora principalmente de plantas oleaginosas como la soya o la palma de aceite y en menor grado desde residuos de cocina que contengan aceite. Su aceptación es muy amplia en Europa donde se emplea en los motores diésel mezclado con petróleo diésel en diversos porcentajes.

En otros biocombustibles se utiliza gas metano obtenido de la descomposición de la biomasa en medio anaerobio, así como metanol, butanol y dimetileter, en desarrollo. En la actualidad el enfoque más importante en el desarrollo de métodos para producir etanol se centra en biomasa que posea altos contenidos de celulosa. Así, el etanol de origen

celulósico puede producirse a partir de material abundante de escaso valor como astillas de madera, residuos forestales, hierbas y desperdicios municipales (Curley, 2012).

En la producción de biocombustibles, un primer interés es el apoyo que los estamentos le den a su producción porque esto puede impulsar su desarrollo; también, es necesario definir las prácticas de agricultura biológica, de manejo de los recursos de donde se va a tomar esta bioenergía, especialmente las técnicas agroforestales que potencien la sostenibilidad y el surgimiento de nuevas fuentes o cosechas dedicadas a este objeto con el fin de tener combustibles sólidos y mejorados, así como de tipo líquido como el bioetanol(Stevens,2004).

Además, con referencia a los materiales para elaborar biocombustibles, es de anotar que su clasificación atiende a las propiedades físicas y químicas de las moléculas que constituyen la biomasa, la cual idealmente debe satisfacer criterios como alta producción de materia seca por hectárea, con energía muy baja para hacerlo y costos moderados, con composición lo menos contaminante posible ,bajo requerimiento de nutrientes que permita usar suelos de segunda categoría, lo que depende igualmente del clima; por ejemplo, las hierbas tropicales tienen un tiempo de reciclaje de 1-25 años, con una producción sostenible de biomasa de 157.5 Ton/Ha, lo que hace las biomásas tropicales deseables( Ragauskas,2014).

Por otro lado, la producción de biomasa con destino a obtener biocombustibles, alcanzaba en 2014 el valor de 220000 millones de toneladas secas o 4500 EJ, o sea 8.3 veces el consumo mundial de energía de esa época (543 EJ), lo que indica que en 2050 la biomasa podría suministrar hasta el 50% de los requerimientos mundiales del futuro, siendo los biocombustibles como el etanol, de suma importancia (Fang & Smith,2016).

Sin embargo, se debe anotar que los biocombustibles de los que habla Feng et al., (2016), son a base de lignina, que es una sustancia de biopolímeros que ayuda en las paredes celulares de la planta, encontrándose junto con la celulosa y la hemicelulosa, siendo del 15-40% de la biomasa de lignocelulosa, de modo que se tiene una estructura tridimensional compleja con intrincadas interacciones intermoleculares, y con el inconveniente que en la etapa de pretratamiento no es posible aplicarle los procedimientos tradicionales.

En este sentido, se plantea que la biomasa lignocelulósica es una importante fuente de combustibles para los motores de combustión interna porque permiten la producción de combustibles alternativos a través de la vía de la pirólisis, proceso que define Boot (2016) como:

Un proceso rápido de calentamiento en el orden de  $1000^{\circ}\text{C/s}$ , en ausencia de oxígeno hasta  $400\text{-}600^{\circ}\text{C}$  que causa la descomposición de la biomasa, siendo el producido de líquido a partir de ésta de hasta 80% del peso neto inicial, con un contenido de hasta 75% del contenido energético de la biomasa. (p.189)

De otro lado, Vertés, Qureshi, Blaschek &Yukawa (2010) plantean la posibilidad de biorrefinerías en las que, partiendo de la integración de las tecnologías para convertir derivados de lignocelulosa en biocombustibles con aquellas que emplean conversión biológica en las que el pretratamiento de los polisacáridos en las paredes celulares de la planta para volverlos accesibles para la conversión, la despolimerización de estos y la conversión microbiana de azúcares en biocombustibles, es posible obtener beneficios económicos, porque en comparación con los procedimientos basados en sacarosa y almidones los retos son menos formidables, permitiendo además la recuperación del biocombustible producido y de las enzimas producidas en el sitio. Así, se tiene un balance

entre el aspecto económico y las exigencias medioambientales, además de una gran eficiencia en la producción de biocombustibles porque se obtienen elevados rendimientos de los azúcares, minimizando también los flujos de desecho de las fases sólido-líquido, con lo cual se ahorra agua y energía. Sin embargo, la optimización de los procesos involucrados será crucial para la competitividad de los biocombustibles derivados de la lignocelulosa en el futuro.

### **Aspectos fundamentales de la biomasa como fuente para la obtención de Bioetanol**

#### **Generalidades**

Ya desde la década de los años 80 del pasado siglo existía la propuesta de producir combustibles sintéticos a partir de la biomasa y también etanol, particularmente para suplir las necesidades de expansión de la industria pesada y el crecimiento de centros urbanos del tercer mundo, siendo la biomasa producida en las áreas rurales, para estas necesidades urbanas pero también para cubrir las propias, que abarcan, entre otras, las de irrigación, fertilización, preparación de la tierra, plantación, recolección y manipulación de las cosechas, los procesos agrícolas, las necesidades de transporte de los productos. Además, el etanol tiene la ventaja de ser un combustible de alta calidad para los motores de combustión interna, siendo Brasil el líder en la producción de esta bioenergía, a partir de los residuos de caña de azúcar, con una producción que en 1976 fue de aproximadamente 2 millones de litros de bioetanol (Manassah & Briskey, 1981).

De igual forma, Lu (2014) considera que el bioetanol es uno de los más firmes candidatos para obtener biocombustibles viables para los sistemas de transporte del futuro ya que existe una tecnología de producción establecida que tiene efectos mínimos sobre la estructura de la cadena de suministro existente, en particular cuando se le utiliza como

una adición, lo que soporta el hecho que la producción mundial haya incrementado de 340 PJ a 2045 PJ en el período de 2000-2012, gracias a esfuerzos gubernamentales en los combustibles renovables.

Así mismo, Lu(2014) considera que existen dos tecnologías importantes para la generación de bioetanol; el etanol de la primera generación(1G) que utiliza cosechas que contienen almidón o azúcar, siendo productores Brasil, a partir de la caña de azúcar y Estados Unidos, que utiliza el maíz, primer productor mundial desde 2005; el etanol de la segunda generación(2G), que utiliza la lignocelulosa, el material carbonáceo más abundante en el planeta tierra, siendo las fuentes de ésta clasificadas en tres grandes grupos: residuos agrícolas( fibras cereales, bagazo de caña, sorgo y residuos forestales);residuos limpios de provenientes de los desperdicios sólidos municipales, y cosechas dedicadas, como herbáceas, plantas de corta rotación y cultivos energéticos como el sorgo y el triticale.

También, Lu (2014) apunta que si bien la lignocelulosa es abundante, la comercialización del bioetanol derivado de ella enfrenta retos principalmente debido a la recalcitrancia de la celulosa y a la falta de tecnologías de bajo costo que venzan este obstáculo, siendo una posible solución la utilización de procesos biomasa a líquido (BTL), gasificación combinada con síntesis como la de Fisher-Tropsch, o pirólisis rápida a líquido seguida de mejoramiento químico, utilizando los residuos no convertidos de lignina como materia prima; la gasificación de la lignocelulosa seguida de la fermentación de syngas a etanol, con el empleo de organismos microbianos tales como *Clostridium ljungdahlii*, *Clostridium autoethanogenum* *Acetobacterium woodii*, *Clostridium*



*carboxidivorans* y *Peptostreptococcus productus* es un método mezcla entre las conversiones termoquímica y biológica la lignocelulosa.

Además, la fermentación con syngas, derivado de los residuos de lignocelulosa por gasificación, llevados a etanol por esta descomposición bacteriana es una oportunidad para usar la biomasa completa, inclusive la lignina, porque puede utilizar catálisis microbiana sin envenenar excesivamente el entorno.

Por otra parte, con respecto a la producción sostenible de bioetanol afirma Bajpai (2013) que:

Producción sostenible de bioetanol requiere programas de desarrollo bien planeados y razonados para asegurarse que los distintos aspectos ambientales, sociales y económicos relacionados con su uso, se están atendiendo adecuadamente. La clave para producir etanol de forma competitiva es hacerlo a partir de biomasa de bajo costo. Muchos países en el mundo están empeñados en el desarrollo de nuevas tecnologías para la producción de etanol a partir de biomasa, de la que la más prometedora es la lignocelulosa. (p. vi)

El etanol como combustible, es un compuesto que es soluble en gasolina y en agua, es más inflamable que el isoctano, incoloro, de alto octanaje, sus mezclas reducen la emisión de monóxido de carbono y los compuestos que contribuyen a la formación del smog, pudiendo soportar temperaturas mucho más bajas que la gasolina, de hasta  $-40^{\circ}\text{C}$ , lo que hace posible su uso como anticongelante en los radiadores; es un alcohol que tiene como punto de fusión  $-114.1^{\circ}\text{C}$ , punto de ebullición  $78.5^{\circ}\text{C}$ , densidad de  $0.789\text{ g/ml}$  a  $20^{\circ}\text{C}$ ; su fórmula es  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  y un peso molecular de  $46.07$ , sin tener propiedades básicas o ácidas(Bajpai,2013).

## **Biorrefinerías**

Las biorrefinerías se plantean como los centros donde se procesa la biomasa y se transforman en bioetanol, se almacena éste, para luego transportarlo a los distribuidores, quienes lo hacen llegar a los puntos de venta a los clientes, configurando una cadena de suministros limpia porque se emplea en los mismos vehículos que lo transportan bioetanol.

Para Ramaswamy, Huang & Ramarao (2013) en la conversión bioquímica de la biomasa se utilizan los procesos de hidrolisis y sacarificación y entonces los azúcares resultantes, incluyendo hexosas (glucosa, manosa y galactosa) y pentosas (xilosas y arabinosas) se convierten en biocombustibles como etanol y butanol, productos químicos y materiales por ejemplo en el proceso de conversión de biomasa celulósica a etanol se tienen las siguientes áreas de proceso principales:

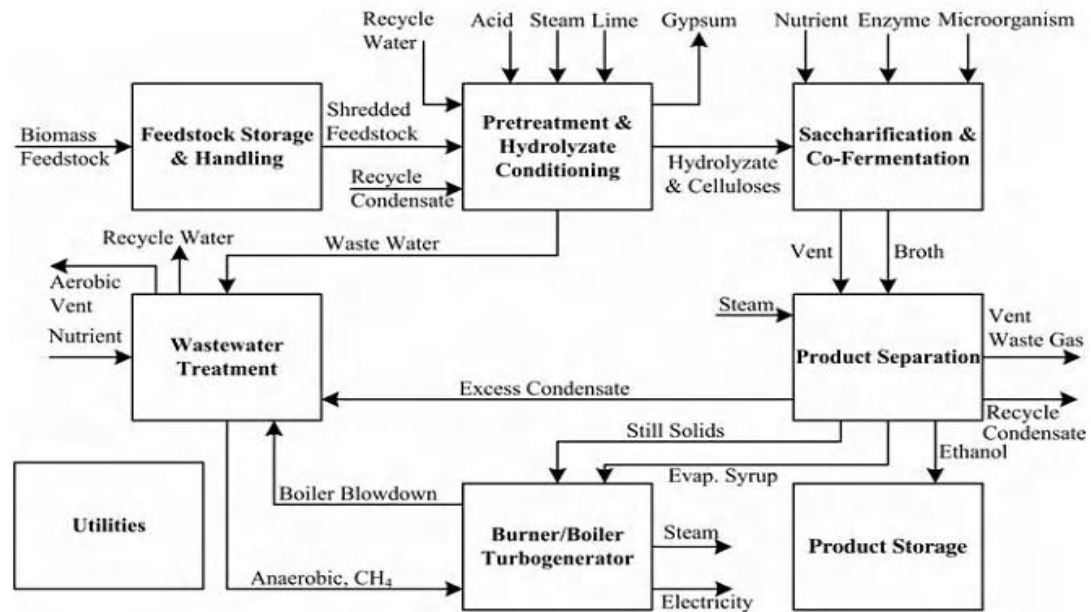
1. Manejo de materia prima que incluye el almacenamiento de biomasa y reducción de tamaño
2. Pretratamiento e hidrolización condicionada o destoxificación. Aquí, la biomasa se trata con ácido sulfúrico a alta temperatura utilizando vapor, y la mayoría de la hemicelulosa se hidroliza para obtener monosacáridos fermentables mientras que el glucano y alguna celulosa se convierte en glucosa. Además, el hidrolisis libera ácido acético a partir del acetato en la biomasa, furfural e hydroxymethylfurfural a partir de la degradación de la pentosa y la hexosa respectivamente sustancias que son removidas del proceso. La masa hidrolizada después de la separación de los sólidos, se lleva a un pH 10 para remover los inhibidores restantes seguido de neutralización y precipitación del yeso. Una vez filtrado éste, la masa hidrolizada destoxificada y la celulosa se envían a las áreas de sacarificación y co-fermentación. En esta etapa también se

solubiliza parte de la lignina de la biomasa haciendo la celulosa accesible a hidrolisis enzimática posterior.

3. Sacarificación y co-fermentación en los tanques de hidrolisis continua mediante la enzima celulasa la celulosa hidrolizada o sacarificada se vuelve glucosa, mientras que el componente hidrolizado descodificado sufre co-fermentación en tanques de fermentación anaerobia bajo la acción del microorganismo *Zymomonas mobilis*. Después de varios días de acción conjuntas y separadas de los procesos de sacarificación y co-fermentación el material en su mayor parte se ha convertido en etanol
4. Purificación y separación del producto. La cerveza primero se preconcentra mediante destilación seguida por una separación molecular en fase de vapor para deshidratar el etanol. La post destilación del fluido del fondo de la destilación se separa en sólidos y líquidos. El líquido se evapora y separa en un jarabe concentrado, y el agua condensada es reciclada en el proceso. Los sólidos y el jarabe obtenido se envían al combustor.
5. Tratamiento del agua residual. Parte del condensado del evaporador, junto con el agua residual del área de pretratamiento, se tratan mediante digestión anaerobia. El biogás (rico en metano) de la digestión anaerobia se envía al combustor para recobrar la energía. El agua tratada se recicla para usarse en el proceso.
6. Almacenamiento del producto.
7. Combustión de solidos (lignina) para obtener calor (vapor) y energía. Los sólidos de destilación, el jarabe concentrado del evaporador y el biogás de la digestión anaerobia y aerobia se queman en un combustor de cama fluida para producir vapor a alta presión para la producción de electricidad y el calor del proceso. Generalmente, se genera

vapor en exceso que se convierte en electricidad para las turbinas de vapor de la planta y para su venta al sistema de distribución eléctrica.

## 8. Utilidades.



**Figura 3. Áreas de una biorrefinería**

Fuente: Huang et al. 2013, p.5

Entre las técnicas que se pueden usar en biorrefinerías para aumentar la eficiencia de la energía, disminuir el tiempo de reacción y mejorar la producción, se pueden aplicar procesos de intensificación como la irradiación con ultrasonidos. Los ultrasonidos tienen un contenido energético relativamente bajo debido a la pequeña amplitud de la oscilación de los elementos del fluido por lo que esto es insuficiente para inducir una reacción química en el medio, por lo que no es posible utilizar sonicación para hacer resonar las moléculas químicas o los átomos como en otros métodos como las microondas, pues el ultrasonido tiene frecuencias en el rango de 10000 a 100000 Hertz, De allí que la cavitación acústica se utiliza para concentrar y liberar de forma explosiva la energía del

sonido por lo que se emplea en los sistemas de producción de bioetanol, en particular la denominada cavitación multiburbuja en la cual intervienen aproximadamente  $10^4$  burbujas/ mml de agua para una sonicación a 20 KHz.

Los ultrasonidos tienen su aplicación en el pretratamiento de la biomasa para la obtención de bioetanol porque en este proceso se requiere la liberación de los azúcares a través de varios procesos físicos y químicos. Estos procesos se acoplan con ácidos álcalis para remover las hemicelulosas y la lignina respectivamente, con el fin de hacer desaparecer las capas densas de lignina que previenen la accesibilidad a la celulosa mediante la hidrólisis enzimática para liberar hexosas, en tanto que, la hidrólisis de la hemicelulosa se realiza bajo condiciones de por el tratamiento ácido liberándose pentosas; luego, la biomasa pretratada, despojada de la lignina y la hemicelulosa se hidroliza utilizando enzimas. Los tres pasos del pretratamiento, es decir, Hidrolisis ácida, deslignificación alcalina e hidrólisis enzimática se han intensificado utilizando ultrasonidos.

Según Fang (2013) al referirse al pretratamiento dice que:

Es la primera etapa más crucial para el empleo efectivo de la biomasa y para desarrollar nuevas rutas para producir biocombustibles y productos de valor agregado. El pretratamiento es un proceso intensivo y, por ejemplo, es el único de mayor costo en la producción de etanol celulósico, llegando a constituir hasta 20-40% del costo total (p. v).

En la actualidad existe interés dentro del campo de la biología de sistemas en comprender mejor la fisiología de la producción del etanol, es decir la forma en que se produce la degradación de los polisacáridos, las rutas fermentativas, la importancia de la síntesis de hidrógeno para la producción de etanol así como la destoxificación de los hidrolizadores previa a la fermentación, el control el PH Y la temperatura y la tolerancia

del etanol, aspectos que son claves para la aplicación exitosa de los avances de ingeniería genética referentes a las bacterias termófilicas (*Thermoanaerobacter*, *Thermoanaerobacterium* y *Clostridium*) en la producción de bioetanol Gosset (2017).

Parafraseando a Lichtfousse (2010) desde la perspectiva de la agricultura biológica la medición de la sostenibilidad agrícola, la producción de bioenergía sostenible para proteger el suelo y obtener una productividad adecuada con un empleo el nitrógeno equilibrado, requiere de técnicas de producción limpia de energía en las que se utilice la biomasa remanente que no es utilizada para beneficiar el suelo en la forma de una capa vegetal protectora, o también la biomasa que es destinada exclusivamente a la producción de bioenergía, teniendo en cuenta que ya en 2005 13.4% de la energía mundial provenía de biomasa, producida con técnicas forestales sostenibles, siendo el etanol lignocelulósico, el biobutanol, el biogás y el procesamiento de desperdicios de cultivos de corta duración , de interés en la segunda generación de biocombustibles. En particular la biotecnología verde será capaz de proporcionar cosechas con más ácidos grasos, más biomasa por hectárea, resistencia a las sequías y otros factores, permitiendo superar una de las barreras de la expansión del uso de bioetanol consistente en que su producción necesita suelos fértiles, de modo que ahora se podrán utilizar suelos de segunda categoría, siendo prometedor el uso de la *Jatropha* , a partir de cuyas semillas se obtiene aceite no comestible pero apropiado como biocombustible.



**Fotografía 3. Semillas de Jaropha**

Fuente: Lichtfousse. 2010, p.130

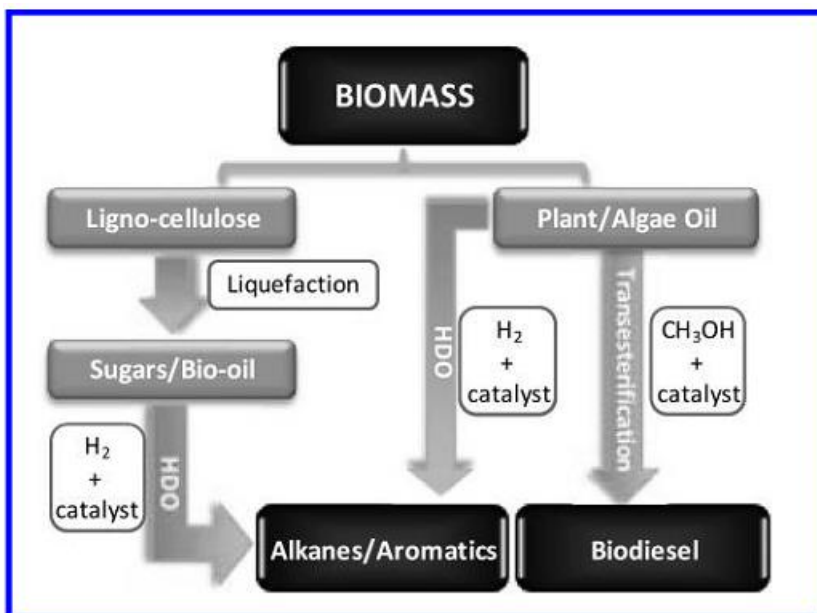
Por otra parte, dado que la idea central detrás de la producción de bioetanol es el aprovechamiento de la energía solar almacenada en la biomasa en forma de energía química, la química de los biocombustibles inicia con la fotosíntesis, pero existen tres maneras de procesar la biomasa en bruto para obtener moléculas ricas en energía: síntesis directa por organismos capaces de fotosíntesis; fermentación de la biomasa por microorganismos heterótrofos y conversión química de la biomasa para obtener combustibles. En este orden de ideas, se puede decir que existen dos áreas de avance en la producción de bioetanol: el uso de lignocelulosa y la creación de moléculas combustibles con propiedades óptimas, las cuales desafortunadamente no se producen de forma natural mediante microbios en concentraciones suficientes para que sea factible económicamente la producción de etanol (Kamm ,2015).

Por otro lado, en la producción de biocombustibles se ha ido desde aquellos de primera generación como bioalcoholes, biodiesel o biogás hasta la tercera generación en la que destacan los combustibles a partir de algas denominadas *oilgae* que son prometedores por que las algas son un material de bajo consumo y alta producción (proporciona treinta veces más energía por acre que el suelo) pero requiere para producir bioetanol una tecnología más avanzada. En la actualidad se gesta la cuarta generación de biocombustibles basada en la combustión de biodiesel y aceites vegetales a biogasolina utilizando la tecnología más avanzada (Demirbas,2010).

También según Waldron (2014) manifiesta que el concepto de biorrefinación hoy en día ha sido estimulado por la necesidad de sostenibilidad y la aspiración actual es que los materiales renovables se puedan procesar para reemplazar de forma parcial a los combustibles fósiles pero el concepto, así como la explotación de la biomasa no son nuevos sí no a los anteriores a la revolución industrial.

En la producción de biocombustibles una de las mayores dificultades radica en la remoción de oxígeno de la biomasa y la recuperación del carbono, cuestión que se aborda mediante la catálisis que ha demostrado ser una manera sostenible, eficiente y barata de remover el oxígeno de la biomasa especialmente para la segunda generación de biocombustibles con la ventaja de que se mejora la densidad de energía y se minimizan los costos, además de hacer el proceso sostenible como lo ha demostrado la generación de biocombustibles a partir de la *Jatropha*. Por tanto, es importante tener en cuenta las rutas de conversión química para el procesamiento de la biomasa, donde destacan los procesos catalíticos (Serrano ,2015).





**Figura 4, catálisis en el procesamiento de la biomasa**

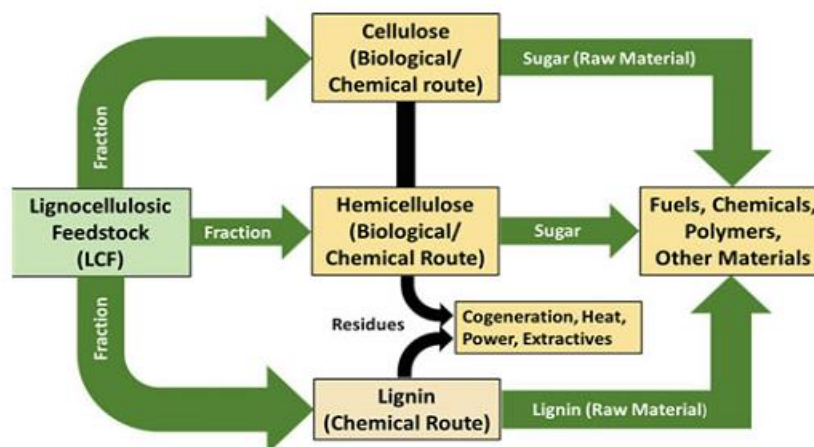
Fuente: Serrano Ruiz. 2015, p.5

De otra parte, la viabilidad económica de la producción de bioetanol es mucho mejor a partir de biomasa derivada de desechos agrícolas, dado que el 20% del costo de este proceso se atribuye a la materia prima, si bien los márgenes de ganancia de las plantas procesadoras para obtener etanol no son muy altos; una de las dificultades está en la fermentación del etanol que puede hacerse a nivel industrial vía la isomerasa de exylosa, capaz de convertir la xylosa en xylulosa, azúcar que se puede fermentar utilizando *S. Cerevisiae*, proceso que en la práctica no es viable dada la diferencia de pH entre la isomerasa y la fermentación de etanol. En consecuencia, uno de los mayores retos actuales en la producción de etanol es la tolerancia del etanol y sus inhibidores a los microorganismos fermentadores, la velocidad de la fermentación y bajas concentraciones de azúcar. Existe necesidad de desarrollar microorganismos etanologénicos estables y robustos capaces de tolerar altas concentraciones de etanol y de bioinhibidores que puedan que puedan convertir altos niveles de concentraciones de azúcar con contenidos sólidos de

20% o más; la viabilidad económica del etanol mejorara si estos microorganismos producen enzimas que degraden la celulosa y el xylan y fermenten las mezclas de azúcares (Christopher ,2013).

De igual forma, dentro de la producción sostenible de químicos utilizados para recuperar la bioenergía, en la actualidad en países como la India se apuesta al procesamiento de biomasa en biorrefinerías donde se transforma la materia prima de lignocelulosa en productos con valor agregado a través de una transformación secuencial donde los bloques de construcción o moléculas tales como los ácidos succínico, fumárico, y málico (1,4-diacidos), el ácido 2,5-furan di carboxílico, el ácido 3-hidroxipropionico, el aspártico, el glucárico, glutámico, itacónico, levulimico, la 3-hidroxibutirolactona, el glicerol, el sorbitol, el silictol y el arabinitol son sometidos a procesamiento bioquímico secuencial para recuperar los azúcares presentes en la biomasa, como se indica en la figura

5



**Figura 5. Concepto de biorrefinería para procesar lignocelulosa para obtener bioenergía**

Fuente. Kumar et al. 2017, p.9

Finalmente, es de interés anotar que en países del Sur como la India, donde tradicionalmente la producción de biocombustibles se ha realizado a partir de molasas obtenidas de la industria azucarera proveniente en un 60% de los estados de Mahashtra y Uttar Pradesh existen barreras al desarrollo de nuevas generaciones de etanol debido a falta de esfuerzo y coherencias políticas, una producción inestable de las molasas, falta de un mercado para los residuos, costos económicos de conversión, carencia de capital, conflicto de intereses de diversas partes interesadas y barreras técnicas que implican demostrar cual es la mezcla optima entre etanol y gasolina para poder formular un acuerdo común internacional sobre esta temática (Sukumaran & Chandel,2017)

### **El cultivo de *Sechium Edule* como fuente de biomasa para la producción de bioetanol**

La papa cidra o Chayote (*Sechium edule*) es una fuente adecuada de biomasa para la producción de bioetanol porque tiene importante contenido de azúcares, muy estables, además de almidón (12%), fibra aproximadamente 5%), y muy poco contenido de lignina asociado a hemicelulosa o celulosa, lo que es una gran ventaja puesto que es posible aplicar técnicas integradas para producir etanol.

Así mismo, la capacidad de adaptación y facilidad de cultivo de la especie de cucurbitácea *Sechium edule*, más conocida en nuestro entorno como “papa cidra”, y el alto contenido de almidón, fibra y azucares de esta especie, además de los diversos usos de sus frutos la hacen atractiva para la producción de etanol.

La hidrólisis enzimática de *Sechium edule* para la producción de etanol es un proceso de dos o tres fases que se debe optimizar para obtener alcohol etílico con eficiencia a bajo costo. Así, de acuerdo a las tendencias actuales de producción de etanol, discutidas antes en este documento, ya que la papa cidra (*Sechium edule*) permite fitorremediación de los

suelos contaminados, necesita suelos ricos en materia orgánica para sobrevivir, pero los costos de su cultivo son muy bajos, por lo que se convierte en una especie autóctona de América ideal para la producción sostenible, limpia y barata de etanol, a pesar de pertenecer a la segunda generación de biocombustibles. Además, se pueden aplicar en su cultivo prácticas de agricultura biológica como abonos orgánicos logrando impactos benéficos sobre el medio ambiente, generando espacios para la creación de plantaciones extensas de *Sechium edule* en el Cauca y en Colombia.

Por otra parte, la extracción de etanol de *Sechium edule* permite aprovechar en el proceso productivo a una serie de subproductos como el fruto y demás partes de la planta, para producción de artesanías, empaques de fibra, alimentación humana y medicina. El proyecto también beneficia a poblaciones rurales, su producción es óptima en climas tropicales, adaptable a todo tipo de ecosistemas americanos, es sostenible, limpio y no requiere de abonos químicos.

La alternativa que se presenta como objeto de estudio es una oportunidad económica para las comunidades latinoamericanas. Además, es una posibilidad viable para el desarrollo investigativo y tecnológico de un profesional en manejo agroforestal, porque genera espacios

## **Sechium edule**

### **Información básica**

La *Sechium edule* se conoce en Colombia como cidrayota o papa cidra; en Centroamérica recibe el nombre de chayote. Perteneció al reino planta, clase

magnoliopsida, orden de las cucurbitales, familia cucurbitácea, genero *Sechium*, especie *edule*.

Taxonómicamente se puede decir que pertenece a la Familia: Cucurbitaceae; Especie: *Sechium edule* (Jacq.) Sw.; es originaria de Mesoamérica y en la actualidad el mayor productor y consumidor mundial es México, donde se usa el fruto; posee usos medicinales potenciales como medicamento contra la hipertensión arterial, la diabetes y se está investigando su potencialidad como agente utilizado en fitorremediación, especialmente de contaminantes como el clordecone (CLD) pues como afirman Clostre, Letourmy, Turpin, Carles, & Lesueur-Jannoyer (2014) “ las cucurbitáceas toman los contaminantes hidrofóbicos resistentes que están en el suelo y los trasladan a sus brotes. *Sechium edule* traslada muy pocos contaminantes a sus frutos, pero los acumula en sus raíces” (p.2). Además, la composición del chayote, es muy importante, porque, según Shiga, Gonçalves, Carpita, Lajolo, & Cardenunsi (2015)

Las frutas, hojas, y raíces del chayote contienen complejos carbohidratos como fibra dietética y almidones, vitaminas y minerales. Los complejos polisacáridos (paredes celulares y almidón) están presentes en los frutos verdes o maduros y también hay monosacáridos con pectinas homogalacturonas y los husos de ramnogalacturonas I constituyen alrededor de 15-20% de la pared celular, pero son sustituidos hasta en un 60% por arabinosas neutrales, galactanos, arabino-galactanos, siendo el resto compuesto por xyloglucano, glucomanoisa y galactoglucomanosas. Los polisacáridos de la pared celular son muy estables, y la raíz es valiosa como fuente de almidones y fibra. (p.155)

**Tabla 1. Composición de polisacáridos de *Sechium edule***

Sample	Glucose g 100 g <sup>-1</sup> (dry weight)	Fructose	Sucrose	Maltose	Total free sugars	Starch	WIP	WSP	NSP	Moisture g 100 g <sup>-1</sup>
Green fruit	10.2±1.4	11.5±2.1	0.3±0.2	0.2±0.1	22.1±3.5	10.9±2.0	18.0±1.8	7.8±1.7	26.2±3.1	93.2±0.0
Black fruit	9.7±1.7	11.1±2.5	0.1±0.0	0.1±0.1	20.8±4.1	10.2±2.1	20.3±4.5	7.9±1.5	28.2±4.7	92.8±0.1
Root	4.6±0.2	4.8±0.2	2.7±0.1	0.1±0.0	9.0±0.4	66.9±0.5	7.4±0.8	8.5±0.9	15.9±0.7	82.3±0.1

WIP; non-starch water insoluble polysaccharides. WSP; non-starch water soluble polysaccharides. NSP; Total non-starch polysaccharides. N= 9.

Fuente. Shiga et. al.,2015, p.58

Así mismo, respecto al contenido de carbohidratos y minerales de *Sechium edule*, Modgil, Modgil, & Kumar(2004) señalan que

Existen más azúcares y minerales en el almidón de la fibra cruda de chayote que en la calabaza de peregrino a pesar que ambas sean vegetales. El chayote es muy rico en calcio con respecto a la calabaza, lo que necesita investigaciones adicionales.( p. 159)



**Fotografía 4. Planta de *Sechium edule***

Fuente. [www.google.com.co](http://www.google.com.co)

Modgil et al.(2004) realizaron el análisis de la composición de carbohidratos de chayote y calabaza, tanto con cáscara como sin ella, encontrando para el chayote en particular un 17.28% y 16.42% de celulosa, para la papa cidra (*Sechium edule*), con y sin cáscara. El contenido de lignina es muy bajo en ambas condiciones del chayote.

**Tabla 2. Composición de fibra y carbohidratos del chayote**

<i>Attributes</i>	<i>Chayote</i>	
	<i>With Peel</i>	<i>Without Peel</i>
Total Sugard	6.09	6.69
Reducing Sugars	5.32	6.42
Non-reducing Sugars	0.77	0.47
Starch	1.22	1.56
Curd Fiber	5.59	4.41
NDF	25.73	24.19
ADF	17.55	16.65
Hemicelluloses	6.16	7.55
Cellulose	17.28	16.42
Legnin	0.267	0.230

Fuente. Modgil et al.,2004, p.155

El fruto del chayote, sus tallos y hojas tiernas, lo mismo que las porciones tuberizadas de las raíces son consumidas como vegetal, tanto solas, hervidas, como ingredientes de numerosos estofados. Debido a su flexibilidad y fortaleza, los tallos han sido usados en la fabricación artesanal de canastas y sombreros. En la India, el fruto y las raíces no solamente se usan para consumo humano sino también como alimento para el ganado (Sum-Quijivix, 2007).

### **Descripción botánica**

El chayote es una planta perenne monoica, es decir que sobre la misma planta posee flores masculinas y flores femeninas; las masculinas de color amarillo pálido agrupadas en inflorescencias racimosas, mientras que las flores femeninas son verdosas. Sus raíces son engrosadas y ramas delgadas de hasta 10 m de largo. Presenta zarcillos con los que trepa en forma de enredadera. Las hojas son simples, de gran tamaño, ligeramente lobuladas (con 3 a 5 lóbulos); tienen un pecíolo bien desarrollo. (Sum-Quijivix, 2007)

## Ecología y necesidades

El chayote es cultivado tradicionalmente en muchas regiones del mundo, preferiblemente entre 800 y 1800 m de altitud. En muchas regiones hay variantes adaptadas a su cultivo al nivel del mar (en Río de Janeiro y Yucatán); en otras regiones se presenta por encima de los 2000 m (en Bolivia y en los estados de Oaxaca y Chihuahua en México).

Necesita para su cultivo un clima tropical con temperaturas entre 18 y 30 °C. En América Central crece bien en zonas de altura variable (300 a 1200 m). En las zonas bajas, se desarrolla mejor con un poco de sombra ya que cuando los rayos solares son muy intensos tanto las hojas como los tallos tiernos se "queman".

Requiere de una buena pluviosidad, frecuente pero moderada (900 a 1400 milímetros por año). Para obtener una producción permanente se debe dar un riego complementario durante la temporada seca.

La polinización se hace por medio de los insectos. Entre los polinizadores más eficientes se encuentran las especies de abejas nativas del género *Trigona*, principalmente en las áreas bajas y de altitud media y donde no se usan insecticidas, y las abejas de miel (*Apis mellifera*) en plantaciones comerciales, donde es frecuente el uso de insecticidas. (Chayote la papa del futuro (2008). chayotelapapadelfuturo. blogspot.com.co. Recuperado de: <http://chayotelapapadelfuturo.blogspot.com.co/2008/06/historia-del-chayote.html>).



### **Requerimientos edafológicos**

El chayote muestra un buen crecimiento y desarrollo en suelos profundo fértiles y ricos en materia orgánica, con pH que oscila entre 7.0. En suelos pobre esta planta se desarrolla bien, si se le adiciona al suelo suficiente materia orgánico. (Gamboa, 2005).

Si se desea cultivar esta especie en suelos arcillosos e indispensable realizar un buen sistema de drenaje, aunque su variabilidad genética le permite resistir cambios drásticos en el clima y como menciona Gamboa (2005) citando a Vieira et al., (2001), menciona que tolera suelos de cualquier textura, siempre que sean bien drenados. Los mejores son aquellos de textura cercana a franca o un poco más arcillosa, con profundidades mayores a 0.5m.

Además, es una planta exigente en nitrógeno (N) y fósforo (P), aunque mucho puede causar exceso de follaje, responde bien a la fertilización orgánica y su producción óptima es de 5.5 a 6.7.

La topografía, como la pedregosidad no son factores limitantes para este cultivo, ya que normalmente no se hace una previa preparación del terreno, siguiendo principios de agricultura biológica. Además, es muy importante tener en cuenta que sembrar al chayote en suelos arcillosos o con alta retención de humedad, favorecen la incidencia de las enfermedades “fusarium” que causa la muerte de las plantas.

### ***Sechium edule* como fuente de bioetanol**

Para aprovechar la *Sechium edule* como fuente de biocombustible, sin que sea necesario utilizar su parte comestible, es necesario dar un uso apropiado a la raíz de esta planta la cual, puede transformarse en almidón, es decir utilizar la amilasa como materia prima, a

través de un proceso de conversión en el cual se sigue la transformación del mismo de forma directa en moléculas que contienen solamente carbono y oxígeno después de haber fragmentado la biomasa en pedazos tridimensionales por medio del proceso de catálisis.

Básicamente, la vía propuesta tiene en cuenta que en la naturaleza las raíces de una planta tienen una función estructural y por tanto son ricas en celulosa es decir que están conformadas rígidas de moléculas entrelazadas para proporcionar soporte. Por esta razón el enlace de estas moléculas difícilmente puede romperse y por tanto es necesario primero realizar un fraccionamiento a través de un método de desconstrucción mediante temperatura si se utiliza un método de baja temperatura entre (50 a 200 grados centígrado) su azúcar que se pueden fermentar para producir etanol y otros combustibles de la misma forma que se procesan hoy el maíz y la caña de azúcar. Si se utiliza una desconstrucción a altas temperaturas (300 a 600 grados centígrados se obtienen un bioaceite que se puede refinar para producir gasolina o diésel la desconstrucción a temperaturas muy elevadas (sobre 700 grados centígrados produce gas que se puede convertir en combustible líquido).

Se investiga los diferentes enfoques metodologías para convertir mayor cantidad de energía almacenada en combustible líquido a los precios más bajos. Es posible que sean necesarias diferentes vías para los materiales de biomasa diferentes con contenido e celulosa. El procesamiento a alta temperatura probablemente sea mejor para la madera mientras que los de baja temperaturas probablemente trabajen mejor para las hierbas.

El método syngas a alta temperatura es la manera más tecnificada para generar biocombustible syngas es una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno que se puede obtener de cualquier fuente que tenga carbono. se puede transformar en forma típica en

combustible diésel, gasolina o etanol a través de un proceso denominado síntesis de Fischer –Tropsch (FTS).

El primer paso en la creación de un syngas se denomina gasificación. La biomasa se alimenta a un reactor y se calienta a temperaturas sobre 700 grados centígrados se mezcla luego con vapor u oxígeno para producir un gas que contiene monóxido de carbono gas hidrógeno y materiales viscosos, aceitosos oscuros que contiene en su mayoría hidrocarburos. Estos materiales deben retirarse y el gas debe comprimirse desde 20 hasta 70 atmósferas de presión. El syngas comprimido entonces fluye sobre un catalizador diseñado especialmente, un material solido que mantiene unidas las moléculas individuales del reactante que preferencialmente favorece reacciones químicas particulares los catalizadores de conversión de syngas han sido desarrollados por la química del petróleo principalmente para convertir gas natural y syngas derivado del carbón en combustibles, pero funcionan muy bien también con la biomasa.

Si bien la tecnología se comprende bien los reactores son caros como lo demuestra el hecho que una planta FTS construida en Catar en 2006 para convertir gas natural en 34 mil barriles diarios de combustibles líquidos cuestan mil seiscientos millones de dólares; otro problema consiste en las exigencias de biomasa para la planta ya que existe la necesidad de producir suficiente combustible para pagar la inversión. La importancia y logística económica de los retos implicados por el transporte de esta cantidad de biomasa un solo lugar, se debe reducir los costos de capital de syngas.

## Conclusiones

De acuerdo a la revisión de la literatura realizada, la biomasa es una forma de energía solar condensada en el entramado molecular de las plantas, mediante la fotosíntesis, que sobresale sobre las demás fuentes de energía alternativa porque es abundante, económica y limpia.

Según este estudio, los principales avances en energías alternativas que utilizan la biomasa como materia prima radican en el uso de biorrefinerías, donde se procesa la lignocelulosa con la intervención de microorganismos específicamente utilizados en tareas catalíticas, y la manera en que se aprovechan los distintos subproductos para generar la energía requerida en el funcionamiento de las distintas componentes de la planta de procesamiento.

Conforme a la información recopilada aquí, la biomasa correspondiente a la cuarta generación de biocombustibles es la que plantea los mayores retos y las mayores oportunidades hacia el futuro ya que se tienen que cultivar grandes extensiones de algas marinas y combinar las rutas químicas con las biológicas para obtener rendimientos adecuados en la producción de bioetanol, situación que hace esta alternativa de difícil aplicación a gran escala en nuestro medio.

En concordancia con la revisión realizada, para el entorno tropical, una de las fuentes de biomasa más adecuadas para la producción de bioetanol, en suelos de baja fertilidad, como los del Cauca, y en general del país, con excepción de las regiones donde existe caña de azúcar como fuente de biomasa, es la papa cidra (*Sechium edule*) no sólo por ser americana en su origen, conocida por el campesinado colombiano, por su facilidad de producción en suelos de poco rendimiento, los pocos cuidados necesarios para su cultivo, la adaptabilidad

que posee a los climas, la menor exigencia de las rutas de transformación para producir bioetanol, sino también porque sus subproductos son de aplicaciones médicas, y sus raíces capaces de efectuar la fitorremediación de los suelos en los que está siendo cultivada.

La papa cidra o chayote (*Sechium edule*) como materia prima para la producción de biocombustible (etanol) en Colombia, Cauca, municipio de Popayán, es una posibilidad real en la medida en que:

La producción de chayote (papa cidra) tiene todas las condiciones de clima, geografía, adaptación ambiental, cultura, y posibilidades productivas.

La raíz del chayote tiene todas las características necesarias y la capacidad productiva de almidones que contienen la glucosa suficiente para la producción de etanol.

Se requiere la sustitución de los combustibles de origen fósil dado su agotamiento y su alto grado de contaminación ambiental.

La utilización del chayote no altera ni afecta la producción de alimentos tradicionales ni requiere de suelos especialmente planos o fértiles para desarrollar grandes cultivos para convertirse en materia prima para la producción de combustibles.

Los estudios iniciales de la capacidad calórica de los almidones del chayote indican que ese proceso puede ser altamente eficiente, rentable, sostenible y sustentable desde el punto de vista social y ambiental.

Se requiere, a partir de esta monografía, realizar estudios técnicos de mayor especialidad para desarrollar las tecnologías aplicadas a los cultivos y al procesamiento de la raíz del chayote para convertirlo en celulosa capaz de ser transformada en etanol de origen vegetal.

Un proyecto de esa naturaleza puede convertirse no sólo en una alternativa para generación de bioenergía sino en una fuente de empleo y desarrollo productivo de la región, dado que el chayote puede ser utilizado, además de materia prima para el biocombustible, para alimentación de ganado y elaboración de artesanías con los diferentes subproductos que genera en el proceso productivo.

La idea que se presenta inicialmente en esta monografía está íntimamente ligada a una propuesta de tipo ambiental y agroforestal, dada la necesidad de diseñar sistemas productivos que propendan por el cuidado y la preservación de los ecosistemas naturales.

Se incentive a los productores económicamente, se les apoye en iniciativas de agricultura sostenible y se procese de forma integrada el chayote en una biorrefinería en la que se aproveche al máximo el potencial del chayote no sólo para la producción de bioetanol sino también para la fitorremediación y la generación de medicamentos antihipertensivos entre otros.

### Referencias

- Ameta, S., & Ameta, R. (2016) *Solar Energy Conversion and Storage* . CRC Press .
- Bajpai, P. (2013). *Advances in Bioethanol*. New Delhi: Springer .
- Boot, M. (2016). *Biofuels from Lignocellulosic Biomass; Innovations Beyond Bioethanol*. Wiley-VCH.
- Branlard, E. (2017). *Wind Turbine Aerodynamics and Vorticity-Based Methods*. Roskilde : Springer.
- Brondsted, P., & Nijssen, R. (2013). *Advances in Wind Turbine Blade Design and Materials*. Philadelphia: Woodhead.
- Buxton, G. (2015). *Alternative Energy Technologies*. Boca Raton FL: CRC press.

- Carter, J. (2017). *Solar Energy and Solar Panels*. New York: Nova.
- Cheng, J. (2010). *Biomass to Renewable Energy Processes*. Boca Raton : CRC Press.
- Chiras, D. D. (2011). *The Homeowner's Guide to renewable Energy* . Gabriola Island: New Society .
- Christopher, L. (2013). *Integrated Forest Biorefineries: Challenges and Opportunities*. RSC Publishing .
- Chwieduk, D. (2014). *Solar Energy in Buildings: Thermal Balance for Efficient Heating and Cooling* . waltham: Elsevier .
- Clostre, F., Letourmy, P., Turpin, B., Carles, C., & Lesueur-Jannoyer, M. (2014). Soil Type and Growing Conditions Influence Uptake and Traslocation of Organochlorine(Chlordechone) by Cucurbitaeae Species. *Water Air Soil Pollutant*, 1-11:2153.
- Cornelis, G. (2013). *Climate Change, Climate Sciense and Economics*. Victoria : Springer .
- Cruden, G. (2005). *Energy Alternatives*. New York: Lucent.
- Curley, R. (2012). *Renewable and Alternative Energy*. New York: Britannica Educational Publishing.
- Curley, R. (2012). *Renewable and Alternative Energy* . New York : Rosen .
- Daniels Becker, P. (2010). *Alternative Energy*. New York: Cengage.
- Daniels-Becker, P. (2010). *Alternative Energy* . Greenhaven .
- De Gunther, R. (2009). *Alternative Energy for Dummies*. New York: Wiley.
- DeGunther, R. (2009). *Alternative Energy for Dummies*. Wiley & Sons.
- De-Jong, W., & Van-Ommen, J. R. (2015). *Biomass as a Sustainable Energy Source for the Future*. Hoboken: Wiley & Sons .

- Demirbas, A. (2010). *Biorefineries: For Biomass Upgrading Facilities*. Trabzon: Springer.
- Efstathios E, M. (2012). *Alternative Energy Sources*. New York: Springer.
- Fanchi, J. (2005). *Energy in the 21st Century* . World Scientific .
- Fang, Z. (2013). *Pretreatment Techniques for Biofuels and Biorefineries*. Kunming: Springer .
- Fang, Z., & Smith, R. (2016). *Production of Biofuels and Chemicals from Lignin* . Sendai : Springer .
- Fang, Z., Smith, R. L., & Qi, X. (2015). *Production of Biofuels and Chemicals with Ultrasound*. Tianjin: Springer .
- Gamboa, W. (2005). *Produccion agroecologica una opcion para el desarrollo del cultivo del chayote (Sechium edule (jacq.) SW.)*. San José: Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, CRC.
- Gibilisco, S. (2007). *Alternative Energy demystified*. New York: McGraw Hill.
- Gibilisco, S. (2007). *Alternative Energy Demystified* . Mc Graw Hill .
- Gosset, G. (2017). *Engineering of Microorganisms for the Production of Chemicals and Biofuels from Renewable Resources*. Cuernavaca: Springer .
- Grammelis, P. (2011). *Solid Biofuels for Energy*. London: Springer.
- Graves, W. (2011). *Alternative Energy*. Delhi: The English Press.
- Hay, W. W. (2016). *Experimenting on a Small Planet: A History of Scientific Discoveries, a Future of Climate Change and Global Warming*. Bulder, CO: Springer.
- Heller, P. (2017). *The Performance of Concentrated Solar Power (CSP) Systems*. Woodhead.



- historia-del-chayote.html*. (2008). Retrieved from  
[http://chayotelapapadelfuturo.blogspot.com.co:](http://chayotelapapadelfuturo.blogspot.com.co)  
<http://chayotelapapadelfuturo.blogspot.com.co/2008/06/historia-del-chayote.html>
- Holm, J., & Augustine, E. (2016). *Biomass Supply Chains for Bioenergy and Biorefining* . Woodhead .
- Hong, M., & Lugg, A. (2013). *Asia's Energy Trends and Developments: Innovations and Alternative Energy Supplies*. World Scientific.
- Hong, M., & Lugg, A. (2013). *Asia's Energy Trends and Developments: Innovations and Alternative Energy Supplies* . London: World Scientific.
- Johnson, R. (2014). *Chasing the Wind: Inside the Alternative Energy Battle*. Knoxville: The University of Tennessee .
- Kamm, B. (2015). *Microorganisms in Biorefineries*. Teltow: Springer .
- Kumar-Agarwal, A., Avinash-Agarwal, R., Gupta, T., & Ram-Gurjar, B. (2017). *Biofuels: Technology, Challenges and Prospects*. Kanpur: Springer .
- Lichtfouse, E. (2010). *Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture*. France : Springer .
- Lu, X. (2014). *Biofuels: From Microbes to Molecules*. Caister Academic.
- Manassah, J. (1981). *Alternative Energy Sources: Part B*. London: Kuwait Foundation for de Advancement of Sciences.
- Mckendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83, 37-46.
- McKendry, P. (2002). Energy Production from Biomass (part 2): Conversion Technologies. *Bioresource Technology*, 47-54.

- Michaelides, E. (2012). *Alternative Energy Sources*. Springer.
- Miller, D. A. (2011). *Energy Production and Alternative Energy*. New York: Gale Cengage Learning.
- Miller, D., & Mann, M. (2011). *Energy Production and Alternative Energy*. Greenhaven .
- Modgil, M., Modgil, R., & Kumar, R. (2004). Carbohydrate and Mineral Content of Chyote (*Sechium edule*) and Bottle Gourd (*Lagenaria Siceraria*). *J. H. E.*, 57-159.
- Ngo, C., & Natowiz, J. (2009). *Our Energy Future*. Wiley & Sons .
- Parimita, M., Muneer, T., & Kolhe, M. (2016). *Solar Photovoltaic System Applications*. Springer.
- Parkin, R. E. (2017). *Building-Integrated Solar Energy Systems*. Boca Raton: CRC Press .
- Pintz, W. S., & Morita, H. (2017). *Clean Energy from the Earth, Wind and Sun: Learning from Hawaii's Search for a Renewable Energy Strategy*. kauai : Springer .
- Ptasinski, K. J. (2016). *Efficiency of Biomass Energy: An Exergy Approach to Biofuels, Power, and Biorefineries*. Hoboken: Wiley & Sons .
- Qureshi, N., Hodge, D. B., & Vertès, A. A. (2014). *Biorefineries: Integrated Biochemical Processes for Liquid Biofuels*. Amsterdam: Elsevier .
- Rabiul, M., Rahman, F., & Xu, W. (2016). *Advances In Solar Photovoltaic Power Plants*. Springer .
- Ragauskas, A. (2014). *Materials for Biofuels*. World Scientific .
- Ramaswamy, S., Huang, H.-J., & Ramarao, B. v. (2013). *Separation and Purification Technologies in Biorefineries*. Chichester: Wiley & Sons .
- Reda, F. (2017). *Solar Assisted Ground Source Heat Pump Solutions*. Espoo: Springer .

- Serrano-Ruiz, J. C. (2015). *Advances Biofuels: Using Catalytic Routes for the Conversion of Biomass Platform Molecules*. Oakville: Apple Academic Press.
- Shiga, T., Gonçalves, F., Carpita, N., Lajolo, F., & Cardenunsi, B. (2015). Polysaccharide composition of raw and cooked chayote (*Sechium edule* Sw.) fruits and tuberous roots. *Carbohydrate Polymers* , 155–165.
- Singh, L., & Chandra Kalia, V. (2017). *Waste Biomass Management – A Holistic Approach*. New Delhi : Springer .
- Smith, Z. A., & Taylor, K. D. (2008). *Renewable and Alternative Energy Resources*. Santa Barbara, CA: ABC Clío.
- Speight, K., & Singh, K. (2014). *Environmental management from biofuels and biofeedstocks*. Salem, MA: Wiley.
- Steveens, C. V., & Verhé, R. (2004). *Renewable Bioresources: Scope and Modification for Non-food Applications*. Chichester: John Wiley & Sons .
- Sum-Quijivix, M. E. (2007). *Automatización de una planta de biodiesel de 40 litros, comunidad Nueva Alianza, El Palmar, Quetzaltenango*. San Carlos: Universidad San Carlos de Guatemala.
- Suresh, S., Kumar, A., Shukla, A., & Singh, R. (2016). *Biofuels and Bioenergy* . Bhopal : Springer .
- Tabak, J. (2009). *Biofuels*. New York: Infobase Publishing.
- The European Wind Energy Association . (2009). *Wind Energy The Facts* . Earthscan .
- Tomecek, S. (2012). *Global Warming and Climate Change* . Chelsea House .
- Tomecek, S. M. (2012). *Global Warming and Climate Change*. New York: Chelsea House.

Van Kooten, G. C. (2013). *Climate Change, Climate Science and Economics*. London: Springer.

Waldron, K. (2014). *Advances in Biorefineries: Biomass and Waste Supply Chain Exploitation*. Langford Lane: Elsevier.