

**INSTITUTO DE INGENIERÍA**

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



***“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS DE BAJA CALIFORNIA: PODAS DE VID, CÁSCARA Y TORTA DE HIGUERILLA”***

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS  
PRESENTA**

**MARIA FRANCIS BANQUEZ SANMARTIN**

**DIRECTORA DE TESIS  
DRA. GISELA MONTERO ALPÍREZ**

**CODIRECTORA DE TESIS  
DRA. ANA MARÍA VÁZQUEZ ESPINOZA**

Mexicali, B.C.

Agosto de 2017

## DEDICATORIA

*Este trabajo se lo dedico a Dios, porque todo lo que he sido, soy y seré se lo debo a Él. A mi hermosa madre, valiente y esforzada como ninguna otra mujer... Gran ejemplo de vida, disciplina y progreso.*

---

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, el Proveedor de Todo y quien ha permitido el cumplimiento de esta nueva etapa. A mí amada madre Meiver Sanmartín Tovar, quien con su amor, dedicación y esfuerzo ha apoyado cada parte de este sueño. Agradezco a mi hermano y toda mi familia, por brindarme continuo apoyo y palabras de orgullo.

Agradezco a Conacyt, a la Universidad Autónoma de Baja California, al Instituto de Ingeniería, a la Dra. Gisela Montero, Dr. Benjamín Valdez, a la Universidad de Cartagena, Dra. Beatriz Jaramillo. Porque su aporte fue trascendental e indispensable para la realización de este proyecto de vida.

Agradezco a mi novio Gustavo por alentarme cada día y Bendecir siempre mi vida. A mis amados Amigos: Jaidys Ruiz, Geiner Corpas, Yenifer Mindiola, Kerly Lastre, Shirley Castell, Yan Carlos Corpas, Greicy Gomez. Por todo su cariño, apoyo y motivación a seguir adelante en medio de este gran reto, lejos de casa pero con grandes deseos de ser mejor cada día.

A mi querida Roomie Cristina, por ser parte muy importante de esta experiencia. Por su aprecio, cariño y confianza. ¡Gracias Cris!

Gracias a Abby, noble y muy servicial amiga que me llevo de este bonito País. Gracias por tu ayuda Abby. Gracias a Ricard, Hernán, Laura, Marcos, Carlos, Mary Triny, Erick Romero, Sra. Josefina, Ricardo Salinas, Cruz. Dios Les Bendiga Grandemente y muchas gracias por el apoyo brindado.

Agradezco a los Prs. Carlos Johnys y Diana Ruiz, Pastor Ronald Mondol, Sra. Luz Emma Gil, Prs. Jose Montes y Mercedes Arroyo y a todos aquellos entrañables amigos y hermanos de la Iglesia Ekklesia Cartagena, que creyeron y decidieron sembrar en mí, sus oraciones y recursos materiales. Muchas Gracias...

Al grupo Impulso Fc, Heber, Rosalba, Gerardo, Aida, Sra. Maru, Kike, Shava, Yared, Angel y Minnie, Ricardo Leal, Eloísa y a todos los que hacen parte de esa hermosa comunidad cristiana que me acogieron y me llenaron de alegría estos 2 años en la muy cálida y solidaria ciudad de Mexicali.

## TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE FIGURAS .....	VI
LISTA DE TABLAS .....	VIII
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	XI
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.2 ANTECEDENTES .....	13
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	15
1.4 OBJETIVOS.....	16
1.4.1 Objetivo General .....	16
1.4.2 Objetivos específicos.....	16
CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO .....	17
2.1 ASPECTOS GENERALES .....	17
2.1.1 Residuos agrícolas.....	17
2.1.2 Residuos agroindustriales.....	17
2.1.3 Cultivo de vid.....	18
2.1.4 Cultivo de higuera.....	22
2.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS.....	25
2.2.1 Análisis próximo .....	25
2.2.2 Análisis elemental .....	28
2.2.3 Análisis de composición química.....	29
2.2.4 Poder Calorífico .....	34
2.3 RUTAS DE APROVECHAMIENTO .....	36
2.3.1 Producción fermentativa de metabolitos de interés.....	37
2.3.2 Generación de bioenergía.....	37
2.3.3 Rutas bioquímicas .....	43
2.4 RUTAS DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA .....	45
2.5 ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO .....	47
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	48
3.1 RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA .....	48
3.2 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA .....	49

3.2.1	Podas de vid, orujo de uva y cáscara de higuera	49
3.2.2	Torta de higuera	49
3.3	ANÁLISIS PRÓXIMO	51
3.4	ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA	51
3.5	ANÁLISIS ELEMENTAL	54
3.6	DETERMINACIÓN DE GRASAS	55
3.7	DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS	55
3.8	DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS)	56
3.9	ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO	57
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		58
4.1	RESULTADOS	58
4.1.1	Análisis próximo	58
4.1.2	Análisis de composición estructural y PCS	60
4.1.3	Detoxificación de la torta de higuera	61
4.1.4	Análisis elemental	62
4.1.5	Determinación de Proteínas	62
4.1.6	Determinación de grasas	63
4.1.7	Análisis termogravimétrico	63
4.2	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	66
CONCLUSIONES		68
REFERENCIAS		69
ANEXOS		78

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Planta de vid y sus partes. ....	18
Figura 2. Mapa de Municipios del Estado de Baja California con actividad vitícola. ....	19
Figura 3. Podas de vid. ....	21
Figura 4. Orujo de uva. ....	22
Figura 5. Planta de higuera. ....	23
Figura 6. Esquema de generación de residuos de higuera. ....	25
Figura 7. Fracciones proximales de biomasa: (a.r) Como se recibe, (w.b.) base húmeda en las condiciones de laboratorio; (D.d.) base seca, (d.a.f.) base libre de cenizas secas; (FC) carbono fijo, (VM) materia volátil; (A), ceniza; (M) contenido de humedad especificado como a.r. o w.b. ....	26
Figura 8. Estructuras fibrilares de la celulosa. ....	31
Figura 9. Unidades estructurales de lignina. ....	32
Figura 10. Estructura de la lignina. ....	33
Figura 11. Relación entre el PCS y PCI. ....	35
Figura 12. Procesos y productos termoquímicos de biomasa. ....	38
Figura 13. Productos de la pirólisis de biomasa. ....	40
Figura 14. Sistema de pirólisis rápida. ....	41
Figura 15. Etapas de la gasificación. ....	42
Figura 16. Proceso de digestión anaeróbica. ....	44
Figura 17. Diagrama de flujo de la producción de metil-éster de biodiesel y glicerina. ....	45
Figura 18. Principales tecnologías de conversión energética de la biomasa. ....	46
Figura 19. Recolección de la muestra. ....	48
Figura 20. Preparación de la muestra. ....	49
Figura 21. Detoxificación de la torta de higuera. ....	50
Figura 22. Montaje para determinación de extraíbles. a: Extracción con acetona; b: extracción con agua caliente. ....	52
Figura 23. Montaje para determinación de lignina; b: Montaje para determinación de holocelulosa. ....	53

Figura 24. a: Digestión de la muestra en el digestor Digeshdal, b: Preparación de la muestras, c: Lectura en espectrofotómetro UV-VIS.....	56
Figura 25. Bomba calorimétrica. ....	56
Figura 26. Muestras de podas de vid. 1: libre de humedad, 2: posterior al análisis de cenizas.	58
Figura 27. Muestras de cáscara de higuera. 1: libre de humedad, 2: posterior al análisis de material volátil; 3: posterior al análisis de cenizas. ....	60
Figura 28. Resultados del análisis de composición química de las podas de vid y la cáscara de higuera. ....	61
Figura 29. Torta de higuera. A: Sin detoxificar; b: detoxificada. ....	62
Figura 30. Análisis termogravimétrico de las podas de vid. ....	63
Figura 31. Análisis termogravimétrico de la cáscara de higuera. ....	64
Figura 32. Análisis termogravimétrico de la torta de higuera. ....	65

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Conversión de aceite a biodiesel de cada cultivo o materia prima.....	23
Tabla 2. Condiciones de operación para los análisis de humedad, materia volátil y cenizas.....	51
Tabla 3. Resumen de metodologías y normas utilizadas en el análisis de composición química. .....	52
Tabla 4. Ecuaciones utilizadas en la determinación del análisis próximo y de composición química. ....	53
Tabla 5. Análisis próximo de las podas de vid. ....	58
Tabla 6. Análisis próximo de orujo de uva.....	59
Tabla 7. Análisis próximo de la cáscara de higuera. ....	59
Tabla 8. Análisis próximo de la torta de higuera. ....	59
Tabla 9. Análisis de composición estructural y PCS de la cáscara y torta de higuera. ....	60
Tabla 10. Análisis de composición estructural y PCS de las podas de vid y orujo de uva. ....	61
Tabla 11. Resultados del análisis elemental .....	62



## RESUMEN

Baja California, es una región agrícola activa e importante en México. Sus principales cultivos, la ubican a nivel nacional en los primeros lugares de producción agrícola; desarrollándose principalmente en el Valle de Mexicali y Valle de Guadalupe. A través de esta actividad se generan residuos vegetales, los cuales son tradicionalmente quemados a cielo abierto *in situ*, como mecanismo de remoción de residuos y liberación de campos agrícolas. Esta práctica tiene un claro impacto ambiental, por causa de la emisión de contaminantes, hecho que repercute sobre las comunidades aledañas a los campos y que no representa aprovechamiento alguno de la biomasa residual. La producción de estos residuos vegetales, hacen que el estado de Baja California y el municipio de Mexicali, tengan una importante oportunidad para el suministro energético a partir de fuentes renovables.

La biomasa de origen vegetal presenta variabilidad en su composición. Lo que dificulta aplicar de forma eficiente un sistema de conversión energética, por lo que se hace necesario previo a esta operación, el conocimiento de las diferentes propiedades que presenta el material biomásico. Por lo tanto, para proponer aplicaciones energéticas, es preciso cuantificar las propiedades fisicoquímicas de cada residuo, con el propósito de elegir el sistema y la tecnología de conversión más adecuada. El objetivo de este proyecto de investigación es determinar los parámetros más importantes y características fisicoquímicas de los residuos agrícolas: podas de vid, cáscara y torta de higuera, generados en cultivos de Baja California. Los análisis que se realizaron están regidos bajo estándares internacionales, como son las normas ASTM y las TAPPI. La caracterización fisicoquímica comprendió las siguientes determinaciones: poder calorífico superior; análisis próximo (humedad, materia volátil, carbono fijo, cenizas); análisis de composición química (extraíbles, lignina, celulosa, hemicelulosa); análisis termogravimétricos.

Los resultados del análisis próximo para las podas de vid fueron 9.14% de humedad 73.05% de material volátil, 3.70% de cenizas y 23.25% de carbono fijo y para la cáscara de higuera fueron 7.74% de humedad, 62.47% de material volátil, 19.57% de cenizas y 17.95% de carbono fijo. Para el análisis de composición química para las podas de vid se obtuvo lo siguiente: extracción en cetona 11.46%, extracción en agua caliente 19.72%, lignina 17.66%,

holocelulosa 78.09%, celulosa 48.68% y hemicelulosa 29.41%; así mismo para la cáscara de higuierilla corresponden los siguientes valores: extracción en cetona 9.57%, extracción en agua caliente 51.24%, lignina 10.41%, holocelulosa 70.35%, celulosa 28.90% y hemicelulosa 41.46%. Se determinó el poder calorífico superior, para las podas fue de 18,023 J/kg y para la cáscara 15.275 J/kg.

## ABSTRACT

Baja California is an active and important agricultural region in Mexico. Its main crops, located at the national level in the first places of agricultural production. This activity generates plant residues, which are traditionally burned outdoor *in situ*, as a mechanism of removal of waste and release of agricultural fields. This practice has a clear environmental impact, due to the emission of pollutants, a fact that affects the communities nearby to the fields and does not represent any utilization of residual biomass. The production of these vegetal residues, make the state of Baja California and the municipality of Mexicali, have an important opportunity for the energy supply from renewable sources. Biomass of vegetal origin presents variability in its composition. This makes it difficult to efficiently apply an energy conversion system, so it is necessary prior to this operation, the knowledge of the different properties of the biomass material. Therefore, in order to propose energy applications, it is necessary to know the physico-chemical properties of each residue, in order to choose the most suitable conversion technology and system.

The objective of this research project is to determine the most important parameters and physicochemical characteristics of the agricultural residues: vine pruning, cake and shell castor, generated in Baja California. The analyzes to be carried out are governed by international standards, such as ASTM and TAPPI standards. The physicochemical characterization comprised the following determinations: superior calorific value; proximate analysis (moisture, volatile matter, fixed carbon, ash); Analysis of chemical composition (extractables, lignin, cellulose, hemicellulose); Thermogravimetric analysis.

The results of proximate analysis for vine pruning were 9.14% moisture 73.05% volatile material, 3.70% ash and 23.25% fixed carbon and for the castor shell were 7.74% moisture, 62.47% volatile material, 19.57 % Ash and 17.95% fixed carbon. For the analysis of chemical composition for the pruning of vine the following was obtained: extraction in ketone 11.46%, extraction in hot water 19.72%, lignin 17.66%, holocellulose 78.09%, cellulose 48.68% and hemicellulose 29.41%; likewise for the castor shell correspond the following values: ketone extraction 9.57%, extraction in hot water 51.24%, lignin 10.41%, holocellulose 70.35%, cellulose 28.90% and hemicellulose 41.46%. The higher heating value was determined for pruning was 18,023 J/kg and for castor shell 15,275 J/kg.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 INTRODUCCIÓN

La agroindustria se define como una actividad económica que combina el proceso productivo agrícola con el industrial, para generar alimentos o materias primas destinadas al mercado. Asimismo, se dice que forma una parte del sector industrial que se dedica a producir y/o transformar, almacenar y comercializar productos provenientes del campo [1]. Durante los últimos años ha aumentado el interés por el uso de residuos agroindustriales, lo cual se le atribuye a la abundancia y disponibilidad de estos materiales a nivel mundial. Debido a que se originan a partir de la cosecha y procesamiento de diferentes productos agrícolas de alta demanda social, junto con la necesidad de disminuir el impacto ambiental provocado por la disposición de los mismos [2].

En México, los residuos provenientes del procesamiento de alimentos derivados la industria azucarera, agricultura, pesca, industria animal y fabricación de bebidas son considerados sectores contaminadores potenciales del medio ambiente [3]. La agroindustria en Baja California representa parte importante en el desarrollo económico del estado, siendo relevantes la producción agrícola del Valle de Mexicali y la producción de vid e industria vitivinícola en el Valle de Guadalupe [4]. La composición química de un residuo depende de factores como la variedad, características del suelo y los métodos de cultivo, cosecha y procesamiento industrial. Por tanto, la búsqueda de aplicaciones para estos materiales, requiere de la determinación de sus componentes y diferentes propiedades, logrando con esto desarrollar tecnologías más apropiadas para obtener mayor efectividad en su aprovechamiento [2].

La biomasa residual hace referencia a subproductos que se derivan de transformaciones naturales o industriales que se llevan a cabo en la materia orgánica [5]. Los residuos agrícolas se pueden dividir en herbáceos y leñosos. Los de origen leñoso proceden principalmente de las podas de los olivos, viñedos y frutales. La vid es podada anualmente. El agricultor realiza distintos cortes y supresiones en que se ejecutan los sarmientos, brazos y tronco, por lo que su producción, tiene un carácter estacional [6]. Así mismo, las plantas oleaginosas como la higuera, poseen un potencial para la producción de aceite de ricino de excelente calidad

como insumo para la obtención de biodiesel [7]. A partir de la extracción del aceite contenido en la semilla de higuera, se producen residuos que pueden ser aprovechables, como lo son la cáscara y la torta de higuera.

Las podas de vid, el orujo de uva, la cáscara y torta de higuera, son fuentes de residuos agrícolas y agroindustriales de composición heterogénea. Frente a esta diversidad en su composición, la caracterización de estos residuos, permite obtener una previsión de su comportamiento ante las diferentes aplicaciones y etapas involucradas en cada proceso de transformación. Es necesario determinar las propiedades de dichos residuos, para evitar su disposición a cielo abierto, y con esto disminuir los efectos adversos que ésta acción produce; se promueve un enfoque de responsabilidad ambiental y se valorizan los residuos agropecuarios, lo cual incentiva la economía rural de la región [8].

## **1.2 ANTECEDENTES**

La caracterización fisicoquímica de la biomasa consiste en la determinación de la composición física, química, energética y estructural presente en la misma. Al buscar oportunidades de aprovechamiento de residuos, se hace necesaria su caracterización para determinar su composición, la calidad de sus componentes y la cantidad que se genera, con esto se pueden definir las tecnologías más apropiadas para su aprovechamiento y posterior tratamiento [1]. Existen trabajos a nivel internacional que anteceden a la investigación que se realizó sobre la biomasa residual generada en Baja California: podas de vid, orujo de uva, cáscara y torta de higuera, a continuación se citarán algunos.

Ntalos y Grigoriou (2002) analizaron la idoneidad de las podas de vid como materia prima para la fabricación de tableros de madera aglomerada, por medio de la evaluación de las propiedades fisicoquímicas de este residuo [9]. En el estudio realizado por Jiménez, et al. (2004), los sarmientos fueron caracterizados como materia prima alternativa en la obtención de pastas celulósicas para fabricación de papel [10]. Barragán, et al. (2008) evaluaron la adición de cenizas procedentes de la combustión de podas de vid en calderas, sobre las tierras de cultivo como material fertilizante [11]. Yasar, et al. (2010) estudian la relación entre las características químicas y las proporciones de resina UF en las propiedades físicas y mecánicas de aglomerados de podas de vid [12]. Hernandez, et al. (2010) determinaron la

composición química, la capacidad energética y el comportamiento térmico de residuos de podas de vid, para su posterior uso como materia prima en una planta piloto de gasificación [13]. Ruales (2015) trabajó en el análisis del potencial energético y bioactivo de los residuos generados por la producción y transformación de uva en Colombia [14].

Demiral y Ayan (2011) tuvieron como objeto de estudio, la pirólisis del bagazo u orujo de uva [15]. Toscano, et al. (2013) realizaron una amplia revisión sobre las propiedades energéticas de residuos de vinicultura [16]. Sousa, et al. (2014) caracterizaron los orujos en términos de composición química, contenido mineral y las propiedades funcionales, también determinaron su calidad microbiológica y potencial tóxico, para la evaluación la viabilidad de su uso en la industria alimentaria y mejora del valor nutricional de los alimentos y calidad de vida de los consumidores [17]. Corbin, et al. (2015) y Achkar, et al. (2016) propusieron al orujo de uva como materia prima para la producción de bioetanol y biogás, respectivamente [18], [19].

Ospina, et al. (2014) establecen la caracterización de la torta de higuera y utilizan el residuo para la obtención de carbón activado [20]. Magriotis, et al. (2014) cuantificaron la composición elemental de la torta de higuera y evaluaron su capacidad como material adsorbente para la remoción de los colorantes malaquita verde y tropaeolin [21]. Chambi, et al. (2014) y Oliveira, et al. (2015) a través del análisis de los diferentes parámetros, composición de la torta de higuera y extracción de proteínas de la misma, elaboraron una alternativa para la producción de biopelículas y éstas a su vez ser utilizadas en la fabricación de bolsas para siembra [22], [23]. Mohammed, et al. (2014) y Kalogiannis, et al. (2016) analizaron la composición proximal, elemental y energética de residuos de higuera con el objetivo de valorizar estos residuos por medio de un proceso de pirólisis [24], [25]. Nwigbo, Okafor y Atuanya (2013) y Guimarães, et al. (2016) mediante la determinación de propiedades mecánicas, térmicas y composición química, valoraron la cáscara y torta de higuera para el desarrollo de biocompuestos [26], [27].

Esta investigación está ampliamente direccionada por el trabajo realizado sobre la caracterización de residuos agrícolas del Valle de Mexicali: la paja de trigo y vara de algodón [8].

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

El Estado de Baja California, situado en la región noroeste de México, desarrolla una importante actividad agrícola. Entre los principales cultivos de la región se encuentra la uva. Importante cultivo de tipo perenne que requiere para su desarrollo vegetativo, procesos de poda. Tradicionalmente, las podas de vid se eliminan a través de la quema al aire libre, liberando una gran variedad de contaminantes [8]. La uva (*Vitis vinifera*) es una de las frutas más cosechadas en el mundo, obteniéndose en la actualidad más de 60 millones de toneladas (t) y es cultivada principalmente para la producción de vino. El orujo de uva es el residuo sólido obtenido tras la extracción del zumo de la uva y constituye el principal subproducto del proceso de elaboración del vino. Uno de los principales problemas de las bodegas y las destilerías es la generación de grandes cantidades de este residuo en cortos periodos de tiempo al año. Además, el orujo de uva presenta algunas características contaminantes como son un bajo pH y un alto contenido en sustancias fenólicas fitotóxicas y antibacterianas, que dificultan su degradación biológica; por esto se recomienda la estabilización de éste antes de su uso [28].

Así mismo, las plantas oleaginosas constituyen un tema de interés para el estado. Entre las cuales se encuentra la higuera, planta que se da en forma silvestre y es utilizada como materia prima para la obtención de biodiesel. A partir de la extracción mecánica del aceite de ricino contenido en la semilla de higuera, se producen residuos que pueden ser energéticamente aprovechables, como lo son: la cáscara y la torta de higuera.

Cuando los residuos agrícolas y agroindustriales son dispuestos sobre el suelo sin tratamiento previo y permanecen a la intemperie, su descomposición los puede convertir en residuos peligrosos, principalmente por la presencia de agentes infecciosos, que pudieran causar a al ser humano, animales y a los recursos naturales. De modo que si no se aplican medidas de remediación oportunas el problema de contaminación se vuelve un pasivo ambiental y como consecuencia se da la dispersión de contaminantes [1].

Los cultivos de vid e higuera de Baja California son una fuente importante residuos, que pueden ser aprovechados para el abastecimiento de la región, haciendo uso de alguno de los procesos de conversión existentes. Sin embargo, la selección de la tecnología de conversión depende significativamente de las características físicas, químicas y termodinámicas del

material biomásico. Características que dependen del tipo de biomasa, condiciones climáticas de la región, técnicas de cultivo y tipo de suelo, entre otros. Por tanto, para proponer aplicaciones a partir de podas de vid, orujo de uva, cáscara y torta de higuera, es imprescindible efectuar la caracterización fisicoquímica, es decir, el análisis próximo, análisis elemental, análisis de composición química, análisis de proteína y grasas, y determinación del poder calorífico, en el material vegetal. La realización de este estudio, por medio de la determinación dichas propiedades permite: evitar la disposición a cielo abierto de los residuos, y con esto disminuir los efectos adversos que ésta acción produce; promover el enfoque de responsabilidad ambiental y revalorizar los residuos agropecuario e incentivar la economía rural de la región.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Caracterizar y determinar las propiedades fisicoquímicas de los residuos agrícolas y agroindustriales: podas de vid, orujo de uva, cáscara y torta de higuera, procedentes de cultivos de Baja California, México.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- ✓ Determinar el poder calorífico superior e inferior de las podas de vid, cáscara y torta de higuera.
- ✓ Realizar el análisis próximo, que incluye la determinación del contenido humedad, ceniza, material volátil y carbono fijo.
- ✓ Efectuar el análisis elemental, que comprende la determinación de carbono, hidrógeno, oxígeno, azufre y nitrógeno en estado elemental.
- ✓ Llevar a cabo el análisis de la composición química, que abarca la determinación de lignina, celulosa, hemicelulosa y sustancias extractivas.
- ✓ Determinar el contenido de proteína y grasas presente en los materiales objeto de estudio.
- ✓ Ejecutar análisis termogravimétricos.



## **CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO**

### **2.1 ASPECTOS GENERALES**

#### **2.1.1 Residuos agrícolas**

Los residuos agrícolas conforman los residuos que se producen durante los procesos de recolección y transformación de las cosechas [5]. Los residuos agrícolas más representativos son los procedentes de cultivos herbáceos, como la paja de los cereales, restos de cultivos hortícolas o restos de cultivos oleaginosos como algodón, tabaco, etc.; y los procedentes de cultivos leñosos como los restos de podas de viñas u olivos [29].

Su disponibilidad depende de la época de recolección y de la variación de la producción agrícola por lo que es recomendable la existencia de centros de acopio de biomasa donde centralizar su distribución [30].

#### **2.1.2 Residuos agroindustriales**

La agroindustria constituye una parte del sector industrial que se dedica a producir y/o transformar, almacenar y comercializar productos provenientes del campo. Entre los principales productos que se industrializan están: frutas, verduras, raíces, semillas, hojas, tubérculos y vainas; algunos se comercializan en fresco y otros son transformados en néctares, jugos, mermeladas, ensaladas, harinas, aceites, vinos, concentrados en polvo y conservas, [1] A nivel mundial existe interés por la conservación del medio ambiente, los recursos renovables y no renovables, y el aprovechamiento de residuos generados en los procesos agroindustriales [31].

Diferentes tipos de industrias generan los siguientes residuos: la industria cervecera solo utiliza el 8% de los componentes del grano (92% residuo), la industria del aceite de palma utiliza el 9% (91% residuo), la industria del café utiliza el 9.5% (90.5% residuo), la industria del papel utiliza menos del 30%, el resto es residuo [1]. Para la industria del vino se estima más del 20% de residuos de poda por cada kilo de uva para vino [32]. Así mismo, de la

obtención de aceite de ricino a partir de la semilla de higuera, la torta y cáscara restantes representan aproximadamente 50% y 30% del peso de la semilla [33], [24].

### 2.1.3 Cultivo de vid

La vid es una de las más importantes plantas arbóreas, su cultivo está sometido a una evolución constante, cada día más rápida por la disponibilidad de conocimientos para una mejor gestión de los viñedos. La uva (*Vitis vinífera*) es el nombre que recibe el fruto que crece formando racimos de la vid. Pertenece al género *Vitis* de la familia de las Vitáceas, que incluye unas 600 especies de arbustos, por lo general trepadores y que producen frutos en baya. Existen muchas variedades de uvas con grandes diferencias entre sí en la forma, tamaño, tonalidad de los frutos, productividad, calidad, entre otras [34].

En la Figura 1 [35] se observa una planta de vid y sus partes.

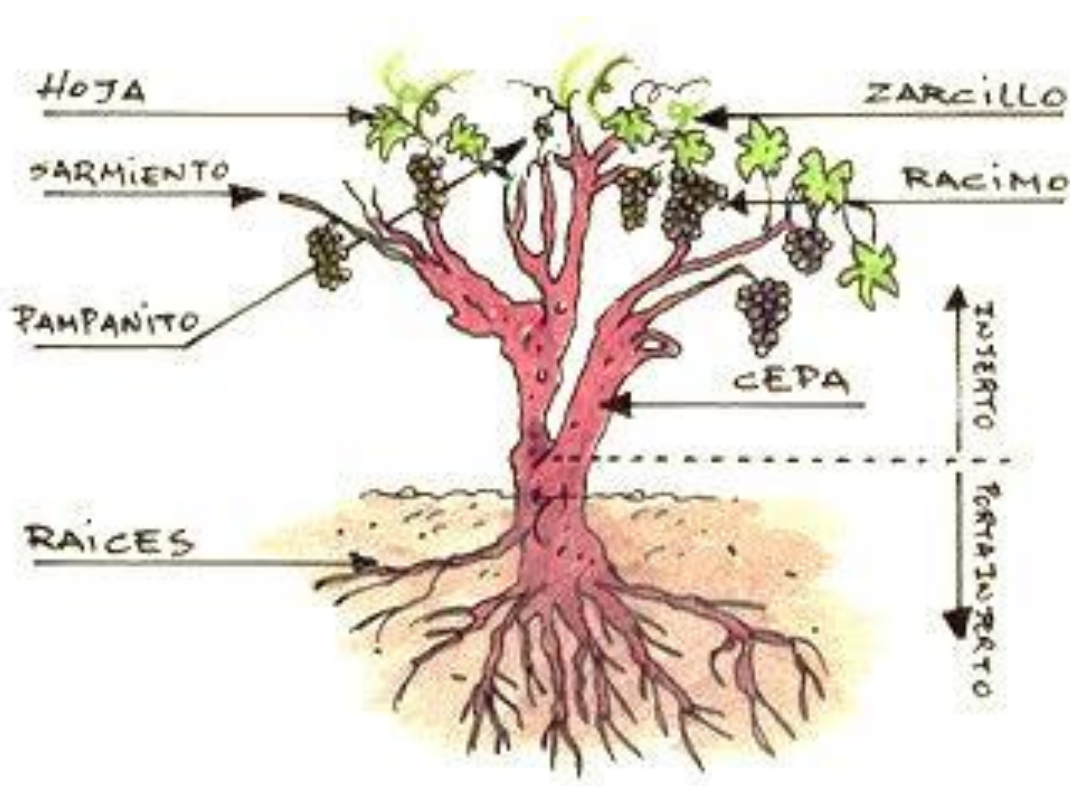


Figura 1. Planta de vid y sus partes.

El cultivo de la vid en Baja California se extiende a cuatro municipios, principalmente para la producción de vino y en segundo lugar para uva de mesa y uva pasa. Por su clima mediterráneo y la influencia de los vientos frescos y húmedos del Pacífico, asociados en parte a la corriente fría de California. El principal productor de vino y uva para vino en el estado es el municipio de Ensenada, localizado al oeste de las sierras de Baja California [36]. En la Figura 2 [36] se muestran las principales zonas de producción de uva en Baja California.

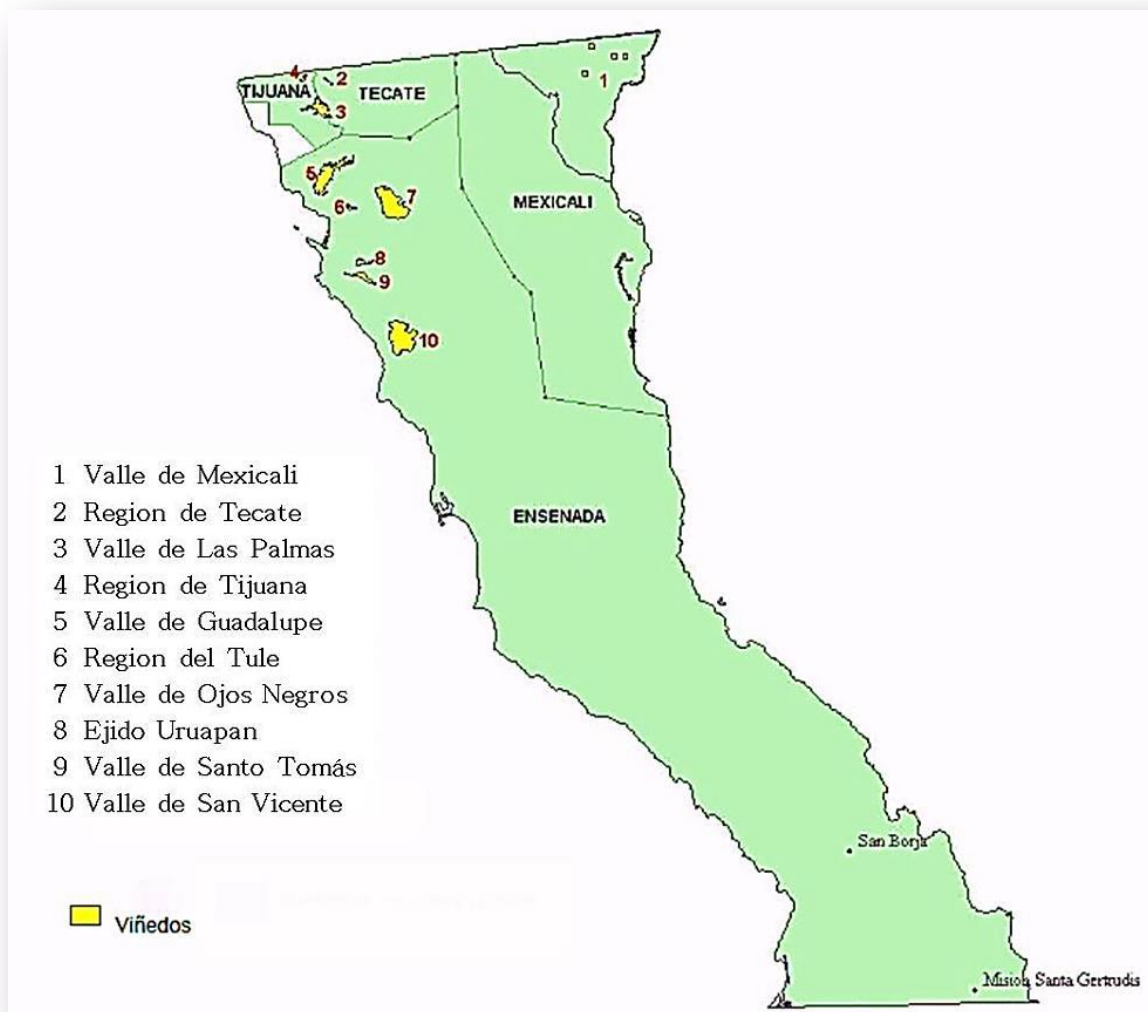
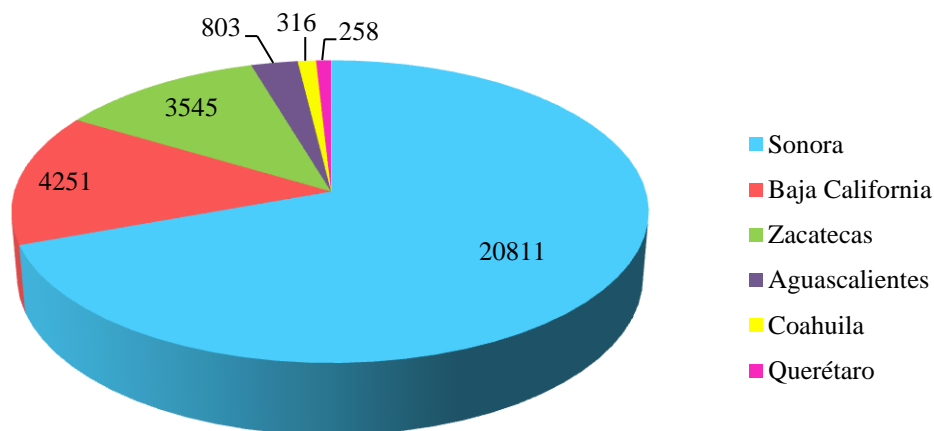


Figura 2. Mapa de producción de vid de Baja California

En México, la superficie cosechada de uva durante el año 2015 fue 28,355.07 ha. En este período, Baja California fue el segundo estado productor de uva, con un área cultivada de

4,250.63 ha, que representó el 14.18% de la superficie nacional, como se muestra en la Gráfica 1 [37].

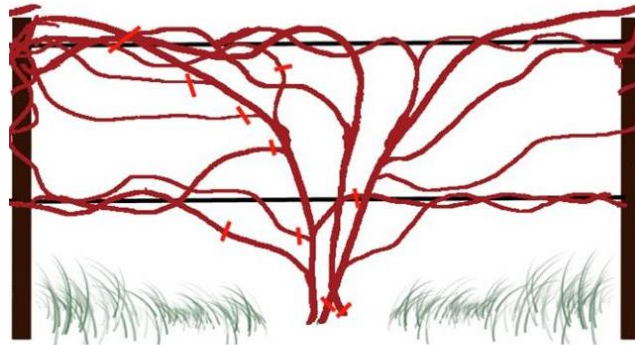


Gráfica 1. Principales estados cultivadores de uva en México en el año 2015.

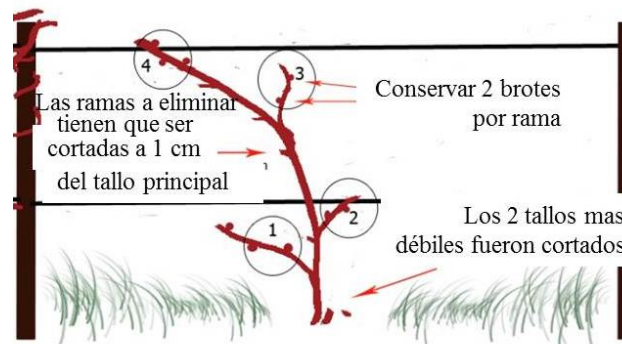
### 2.1.3.1 Residuos de la vid: podas de vid y orujo de uva

En los procesos de producción y transformación de la uva se generan diferentes residuos como los sarmientos y el orujo.

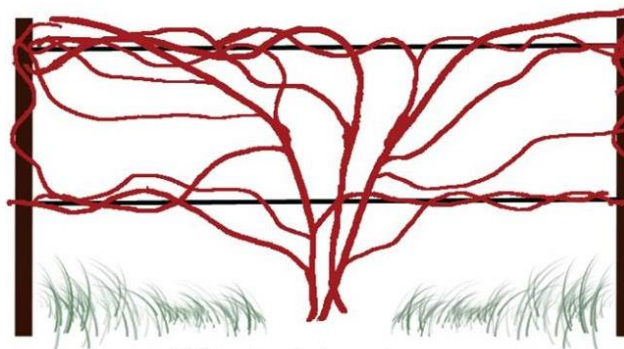
Los sarmientos son vástagos delgados, flexibles y nudosos, de donde brotan las hojas y los racimos de uva. Los sarmientos resultan de las podas que se realizan a las plantas de vid después de la cosecha con la finalidad de limitar su crecimiento natural, y mejorar el rendimiento y la calidad de las uvas [14]. Generalmente la cantidad de este residuo oscila entre 2 a 4 t de podas o sarmientos en un viñedo al año [38]. En la Figura 3 se observan las podas vid.



Las 10 líneas rojas representan los 10 cortes de poda



La vid después de la poda.



Vid antes de la poda

Figura 3. Podas de vid.

El cultivo de uva es uno de los más importantes en el mundo, con casi 60 millones t producidas a nivel mundial. La mayor parte de la producción total de uva (75%) se utiliza para vinicultura. Aproximadamente el 20% del peso de las uvas, constituye uno de los residuo más relevantes del proceso de fabricación de vino, el orujo de uva [39]. Este residuo se muestra en

la Figura 4 [40] y consiste en el residuo que queda al exprimir fuertemente la uva, para sacar el licor o zumo. Está conformado por el raspón, hollejo o piel y semillas de uva [41].



Figura 4. Orujo de uva.

#### **2.1.4 Cultivo de higuera**

La higuera *Ricinus communis*, de la familia *Euphorbiaceae*, planta herbácea de porte arbustivo, ligeramente leñosa [42]. Se caracteriza por su rusticidad y adaptabilidad a diversas condiciones topográficas y climatológicas, crece comúnmente en regiones áridas, con suelos arenosos y es conocida como maleza sin relevancia económica. Sin embargo debido a las características específicas de su aceite se ha perfilado como cultivo prometedor generador de materia prima de alta calidad para diversas industrias a nivel mundial [43]. En la Figura 5 [44] se representa la planta de higuera. El aceite de higuera o aceite de ricino, es uno de los que genera mayor rendimiento en peso con relación a la semilla, variando entre 51-55% [43].



Figura 5. Planta de higuera.

La conversión de aceite en biodiesel para la higuera, duplica el obtenido para la soja, este hecho se describe en la Tabla 3 [45].

Tabla 1. Conversión de aceite a biodiesel de cada cultivo o materia prima.

<b>Cultivo</b>	<b>Conversión a biodiesel (L/tonelada)</b>
Sésamo	440
Girasol	418
Ricino	393
Colza	392
Mostaza	370
Maní	309
Aceite de palma	223
Soja	183
Cocotero	130
Algodón	103

Además, la calidad de este aceite es destacada por ser soluble en alcohol y poseer alta viscosidad y densidad, lo que le da propiedades únicas para algunas industrias especializadas [43].

México cuenta con condiciones agroecológicas propicias para el cultivo de higuierilla con una superficie potencial de 3'940,991 ha, esta superficie se ubica mayormente en las entidades del Sur Sureste como Oaxaca, Veracruz y Chiapas, entre otros. El estado de Oaxaca cuenta con 183,000 ha distribuidas principalmente en las regiones de Valles Centrales, Istmo y Costa [42]. La higuierilla se presenta de forma silvestre en el estado de Baja California, sin embargo se adelantan y desarrollan proyectos que la establecerán como cultivo energético para la región [46].

#### **2.1.4.1 Residuos de higuierilla: cáscara y torta de higuierilla**

La cáscara y la torta de higuierilla son materiales residuales que se generan del proceso de extracción de aceite de ricino. Por lo general, después de la eliminación de la cápsula que contiene la semilla y que posterior al proceso de extracción estos restos se convertirá en residuos acumulados y sin provecho alguno. La cáscara constituye aproximadamente el 30% del peso de una semilla de ricino. Estos residuos generalmente son descartados a la tierra, causando contaminación en los suelos, o por otro lado son quemados en los campos lo que conduce a la contaminación del aire [47]. En la Figura 6 se describe a través de un esquema la generación de residuos de higuierilla.





Figura 6. Esquema de generación de residuos de higuera.

## 2.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS

Para establecer oportunidades de aprovechamiento o vías de transformación de los residuos agrícolas y agroindustriales, se necesita determinar su composición y propiedades, de modo que sea el paso inicial y más importante durante la investigación y aplicación de dicho material. La composición de un determinado residuo es única y esta estipula las propiedades, calidad, aplicaciones potenciales y problemas ambientales relacionados con cualquier. La caracterización puede realizarse a varios niveles, en función de lo que se pretenda, siendo los más usuales el análisis próximo o inmediato, análisis elemental, análisis de composición química o estructural y análisis de contenido energético (poder calorífico) [48].

### 2.2.1 Análisis próximo

Considerando la conversión térmica de biomasa, el análisis inmediato es uno de los métodos de caracterización más importantes. Consiste en determinar la humedad, materia volátil,

ceniza, y carbono fijo presente en el biocombustible. Estos valores son esenciales para determinar si la humedad, la materia volátil y el carbono fijo afectan tanto el comportamiento del material durante la combustión como el diseño de una planta. De esta forma, alto contenido de humedad disminuye el rendimiento de la combustión, mientras que las altas proporciones de materia volátil/carbono fijo están relacionadas con la reactividad del combustible. Por otro lado, el contenido de ceniza influye en procesos de corrosión y formación de escorias [49]. En la Figura 7 [50] se representa la composición próxima presente en una muestra de biomasa.

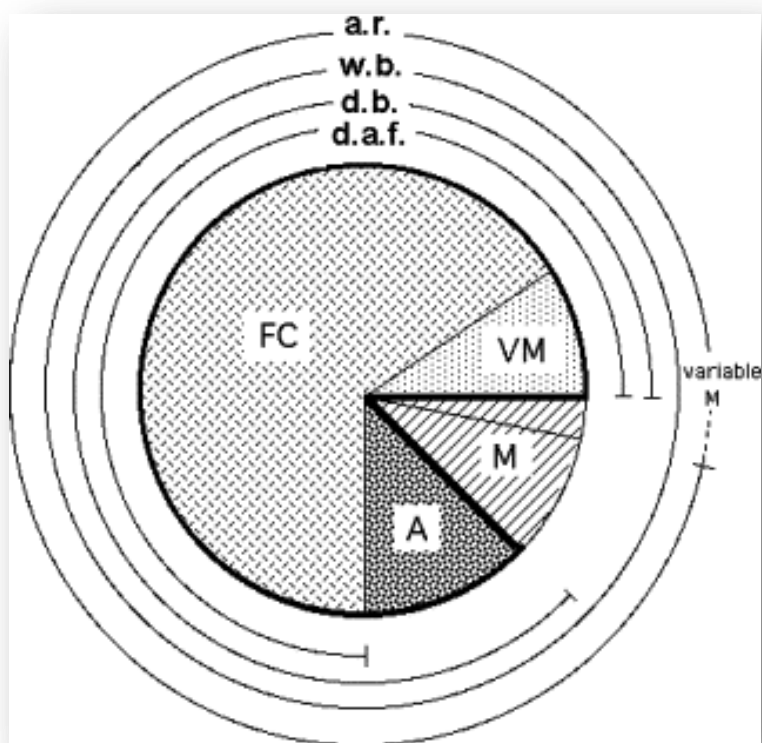


Figura 7. Fracciones proximales de biomasa: (a.r) Como se recibe, (w.b.) base húmeda en las condiciones de laboratorio; (D.d.) base seca, (d.a.f.) base libre de cenizas secas; (FC) carbono fijo, (VM) materia volátil; (A), ceniza; (M) contenido de humedad especificado como a.r. o w.b.

### **2.2.1.1 Humedad**

Se define como la cantidad total de agua contenida en una muestra de biomasa. Existen dos tipos de humedad, la que se encuentra en la superficie exterior de la biomasa, y la que se encuentra embebida en su interior (inherente). La humedad superficial es el agua presente en la superficie de la biomasa y se desprende fácilmente por secado al aire. La humedad inherente es aquella que corresponde al porcentaje de pérdida de peso que experimenta una muestra de biomasa cuando se seca a 105°C hasta que alcance peso constante. Este parámetro es muy variable en los biocombustibles sólidos, debido a que depende de la especie, zona geográfica, tiempo transcurrido desde la recolección de la biomasa y de las condiciones ambientales existentes durante su almacenamiento. El contenido de humedad en la biomasa es esencial para determinar la tecnología de conversión más adecuada para cada caso, para el caso de los procesos de conversión térmica se requieren niveles de humedad (< 50%) de humedad [50]. La importancia del análisis y control de la humedad de un combustible en la aplicación de este tipo de procesos, reside en factores como: capacidad energética, consumo de energía en los pretratamientos, densidad aparente y calidad del combustible. En la aplicación de tecnologías de conversión bioquímica se pueden emplear recursos con un contenido de humedad superior al 50% [51].

### **2.2.1.2 Materia volátil**

La materia volátil presente en la biomasa corresponde a los compuestos liberados cuando el material combustible (excepto la humedad) se calienta a altas temperaturas en ausencia de aire. Comprende una parte combustible (gases  $C_xH_y$ , CO o  $H_2$ ) y una fracción no combustible ( $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ , o  $SO_3$ ) [50]. La biomasa tiene generalmente alto contenido de volátiles, con valores de 75-86% [52]. Debido a ese alto contenido de volátiles, los biocombustibles son fáciles de encenderse incluso a temperaturas relativamente bajas, en comparación con algunos combustibles fósiles como el carbón, lo cual implica alta reactividad de la biomasa y enriquecimiento del proceso de combustión [50] [53].

### **2.2.1.3 Cenizas**

La descomposición química de la biomasa, ya sea por procesos termoquímicos o bioquímicos, produce un residuo sólido. Cuando se produce por combustión en presencia de aire, este residuo sólido se le llama ceniza y forma una medida de control estándar para combustibles sólidos y líquidos. Durante la conversión bioquímica, el porcentaje de residuos sólidos será mayor que el contenido de cenizas formado por combustión del mismo material. Esto se debe a que este residuo representa la cantidad de carbono no degradable de la biomasa por vía biológica pero que podría quemarse durante una conversión termoquímica. La energía disponible del combustible se reduce proporcionalmente a la magnitud del porcentaje de ceniza que contenga la biomasa. La composición química de la ceniza puede presentar problemas operacionales significativos. Esto ocurre especialmente en combustión, donde la ceniza puede reaccionar formando una escoria, una fase líquida creada a temperaturas elevadas, lo que puede reducir el rendimiento de la planta y dar lugar a mayores costos operativos [54].

### **2.2.1.4 Carbono fijo**

El carbono fijo es la fracción que permanece después de haberse desprendido completamente la materia volátil. El carbono fijo se utiliza como índice de producción de coque a partir de la madera o del carbón y como una medida del material combustible que queda tras la volatilización de los compuestos ligeros [51]. La relación materia volátil/carbono fijo aumenta el grado de reactividad de la biomasa. Cuanto más alto sea este factor, más fácil será la ignición y menor será la etapa de residencia hasta que se complete la combustión [50].

## **2.2.2 Análisis elemental**

El análisis elemental permite evaluar la proporción de los principales elementos que componen la biomasa. Este análisis se utiliza para determinar el contenido de carbono (C), nitrógeno (N), azufre (S), hidrógeno (H) y oxígeno (O) y generalmente se realiza mediante equipos automáticos denominados analizadores elementales. También es frecuente la determinación del contenido de cloro (Cl), fósforo (P), potasio (K) y sodio (Na). A partir del contenido de C, H y O se puede obtener por fórmulas empíricas una estimación del poder

calorífico de la biomasa. El contenido de los elementos restantes de la biomasa se suele realizar aplicando métodos específicos a extractos obtenidos de la biomasa o de la cenizas. Los métodos más utilizados para esta finalidad se basan en calorimetría, fotometría de llama y absorción atómica [48].

### **2.2.3 Análisis de composición química**

La biomasa está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina (compuestos estructurales). Y como constituyentes minoritarios se encuentra la humedad, la materia inorgánica no extraíble y los extraíbles (no estructurales) [55]. La combinación de celulosa, hemicelulosa y lignina se denomina lignocelulosa, la cual comprende alrededor de la mitad de la materia vegetal producida por la fotosíntesis y representa el recurso orgánico renovable más abundante en la tierra. La celulosa, hemicelulosa y la lignina están fuertemente entrelazadas en lignocelulosas por medio de entrecruzamientos covalentes. La celulosa es el mayor componente de los materiales lignocelulósicos. La celulosa y la hemicelulosa son macromoléculas construidas a partir de diferentes azúcares; la lignina es un polímero aromático sintetizado a partir de precursores del fenilpropanodio. El análisis estructural de la biomasa es importante para el desarrollo de procesos para la producción de biocombustibles y productos químicos así como en el estudio de fenómenos de combustión. El análisis de composición química o estructural también puede ser útil en la determinación del poder calorífico superior [56].

#### **2.2.3.1 Extractivos**

Los extraíbles o extractivos son un grupo heterogéneo de sustancias que pueden extraerse de la madera mediante disolventes de naturaleza polar y no polar. Incluyen una variedad de compuestos orgánicos como ceras, alcaloides, proteínas, fenoles simples y complejos, azúcares simples, pectinas, mucílagos, pistolas, resinas, terpenos, almidones, glucósidos, saponinas, etc. Los extractivos constituyen 4-10% del peso del material seco. Entre sus funciones más importantes se encuentran actuar como intermediarios en procesos metabólicos, mecanismo de defensa y reserva de energía [57]. Estas sustancias contribuyen en algunas

propiedades de la madera tales como: color, olor, durabilidad, adhesión, secado y decoloración [8].

### **2.2.3.2 Celulosa**

La celulosa está presente en mayor cantidad en la biomasa lignocelulósica. Es un polímero lineal formado por unidades de  $\beta$ -glucosa unidas entre sí por enlaces  $\beta$ -1,4-glucosídicos. Además, posee una estructura fibrosa en la que se forman enlaces tipo puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de las cadenas de glucosa alternadas, haciéndola resistente e insoluble en agua [58]. Organismos fotosintéticos como plantas, algas y algunas bacterias producen más de 100 millones t de biomasa al año, donde aproximadamente la mitad está compuesta por celulosa. La celulosa se encuentra con mayor frecuencia en el reino vegetal, en materiales como la madera, semillas y residuos agrícolas [29]. Las plantas sintetizan moléculas individuales de  $\beta$ -glucosa, que se van ensamblando en el mismo lugar en el que se producen, formando la celulosa. Así mismo, las moléculas de celulosa se unen formando moléculas más largas conocidas como fibras elementales que se empaquetan en unidades mayores denominadas microfibras. Las estructuras fibrilares están estabilizadas lateralmente por puentes de hidrógeno entre grupos hidroxilos intra e intermoleculares y todos los átomos de carbono están fijados en una posición concreta respecto a los otros, como se ilustra en la Figura 8 [59].

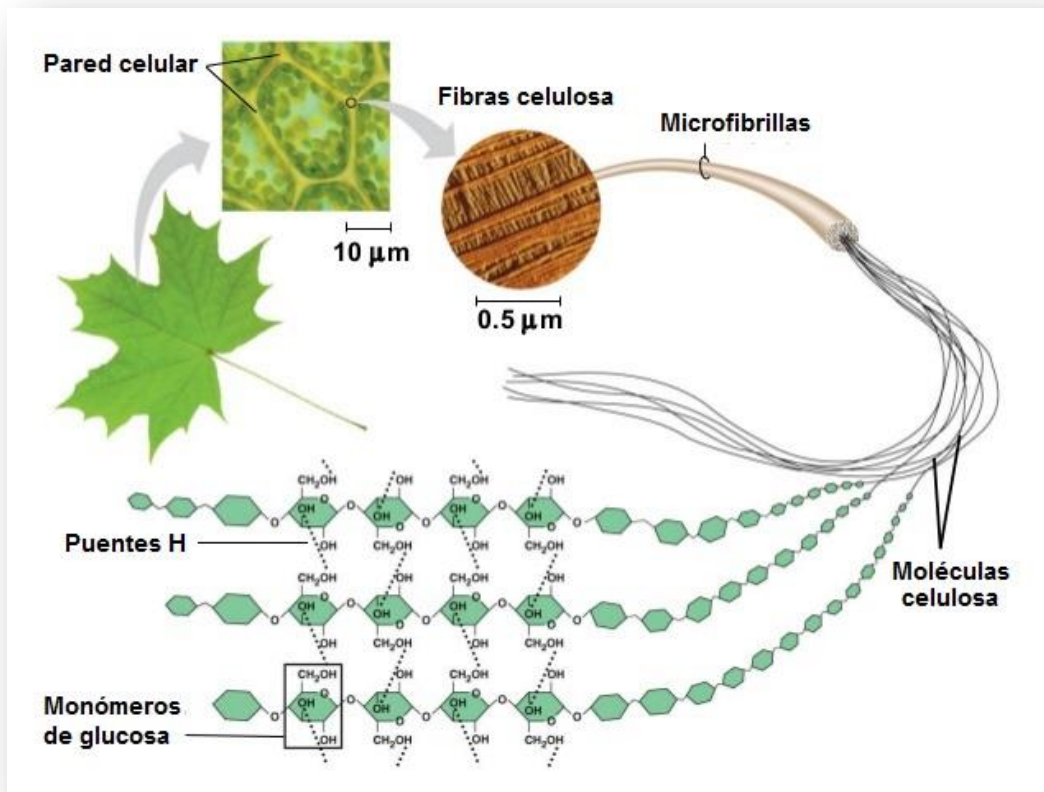


Figura 8. Estructuras fibrilares de la celulosa.

Las regiones donde las microfibras presentan una estructura altamente ordenada se llaman regiones cristalinas, esta región es muy estable y resistente al ataque químico y a la tracción mecánica. Las regiones que presentan estructuras menos ordenadas, se denominadas regiones amorfas, estas son más soluble y de fácil degradación por enzimas como la celulasa. En general las regiones cristalinas son más abundantes que las regiones amorfas, sin embargo, se considera a la celulosa como un polímero semicristalino. Cuanto más ordenada y cristalina es la celulosa es menos soluble y degradable, lo cual dificulta la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos. En cuanto a los procesos termoquímicos, cuando la celulosa se quema por combustión directa esta se descompone formando  $\text{CO}_2$ . Pero, cuando su transformación se realiza a través de procesos de gasificación, la celulosa contribuye a la formación de alquitrán [8].

### 2.2.3.3 Hemicelulosa

La hemicelulosa es un polímero complejo de heteropolisacáridos formado por pentosas (D-xilosa y L-arabinosa) y hexosas (D-glucosa, D-manosa y D-galactosa) que forman cadenas ramificadas y los ácidos 4-O-metilglucurónico, D-galacturónico y D-glucurónico, los azúcares están unidos por enlaces  $\beta$ -1,4 y ocasionalmente por enlaces  $\beta$ -1,3 [60]. Mientras que la celulosa tiene una estructura cristalina, la hemicelulosa tiene una estructura amorfa, aleatoria, ramificada, de menor grado de polimerización (100-200) y puede ser representada por la fórmula genérica  $(C_5H_8O_4)_n$ . La hemicelulosa se solubiliza en soluciones alcalinas débiles y se hidroliza fácilmente por ácidos diluidos o bases, también tiende a producir más gases y menos alquitrán que la celulosa [8].

### 2.2.3.4 Lignina

Después de la celulosa, es el segundo recurso natural renovable más abundante. Una macromolécula polifenólica presente en la pared celular de las plantas. La lignina se crea por polimerización enzimática de tres monómeros, denominados alcohol coniferílico, alcohol sinapílico y alcohol *p*-cumárico que conducen, respectivamente, a unidades de tipo guayacil (G), sirngil (S) y *p*-hidroxifenilpropano como se observa en la Figura 9 [61]. La estructura resultante es una macromolécula compleja, mostrada en la Figura 10 [62], con variedad de grupos funcionales y diferentes de enlaces [63].

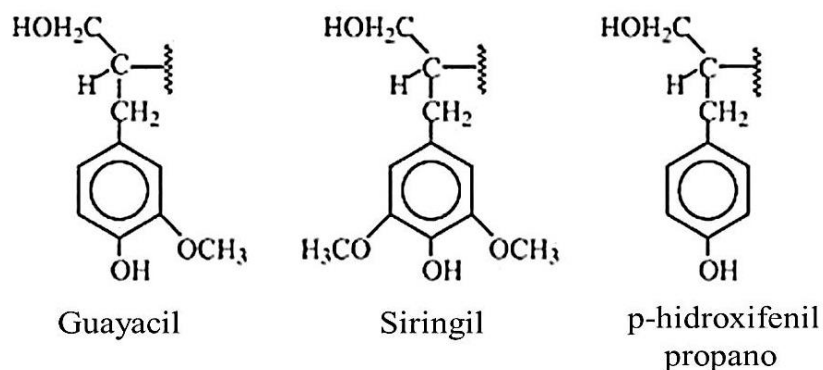


Figura 9. Unidades estructurales de lignina.



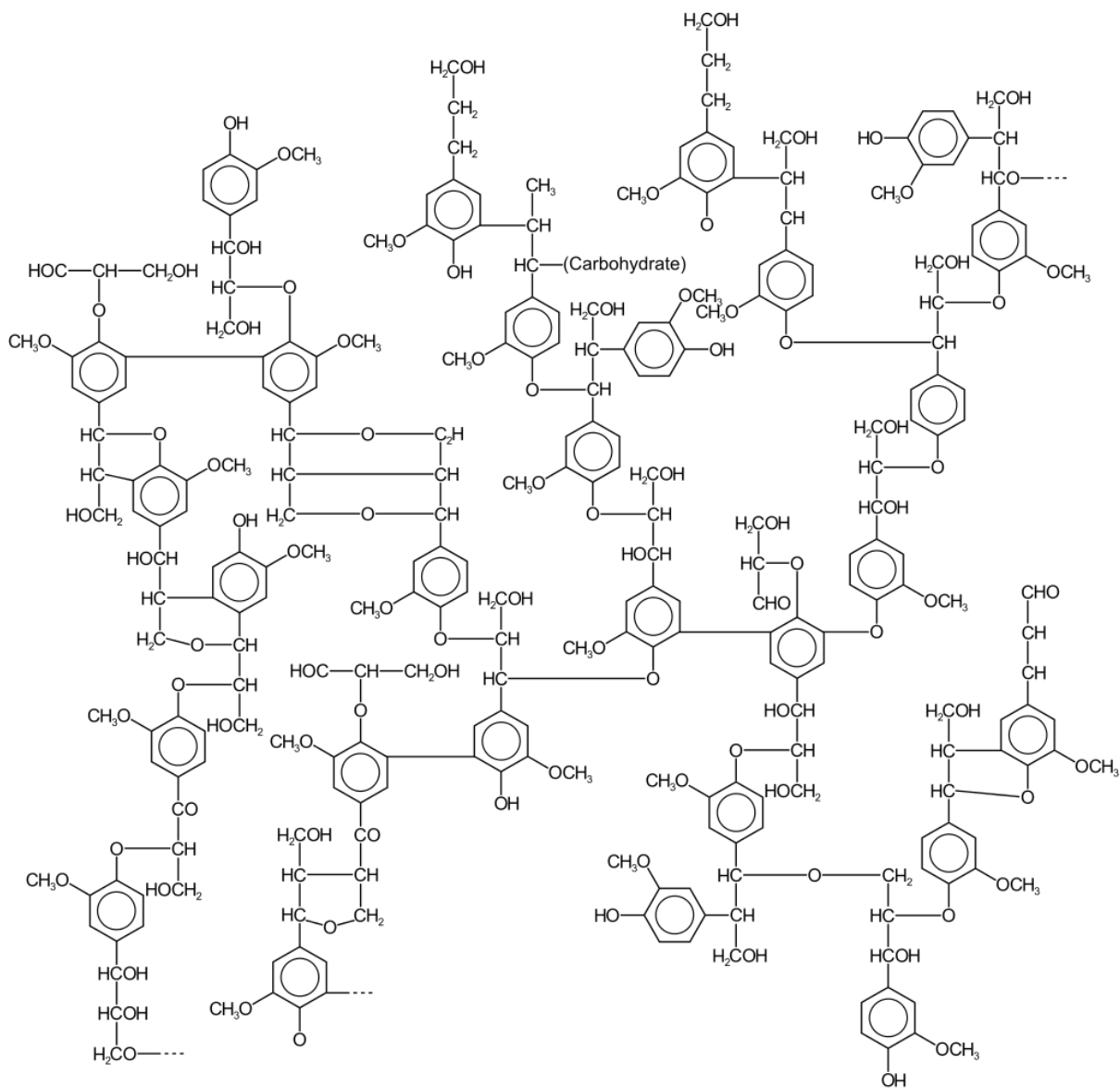


Figura 10. Estructura de la lignina.

Las principales funciones de la lignina son: proteger a la celulosa de ataques microbianos; conferir resistencia, rigidez e impermeabilidad al material; mantener unidas las fibras celulósicas. La lignina es más resistente a la degradación enzimática que la celulosa y hemicelulosa, y está unida a ambas formando una barrera impermeable que dificulta el ataque enzimático. La lignina tiene gran importancia energética, gracias a su elevado poder calorífico. El aprovechamiento energético se puede realizar a partir de la lignina que se genera como

subproducto en los procesos de deslignificación realizados por la industria papelera y en la producción de bioetanol lignocelulósico [8].

#### **2.2.4 Poder Calorífico**

El poder calorífico es un parámetro importante que debe determinarse en la evaluación del potencial energético de cualquier combustible y es útil para analizar y diseñar sistemas de bioenergía [64]. El poder calorífico de un combustible es la cantidad de calor generado por la combustión completa de una masa unitaria del material en condiciones estándar, 1 atm y 25°C. Por lo general, se mide en términos de contenido energético por unidad de masa o volumen, dependiendo del estado físico del combustible estudiado: por kilogramo de combustible sólido, por litro de combustible líquido o por metro cúbico de combustible gaseoso [65]. El poder calorífico se puede clasificar como superior o inferior. El poder calorífico superior (PCS) se refiere a la energía total liberada en el proceso de combustión dividido por la masa de combustible. El poder calorífico inferior (PCI) se obtiene restando al PCS el calor de vaporización del agua producida en la combustión [66]. El poder calorífico de la biomasa se puede determinar experimentalmente empleando una bomba calorimétrica adiabática, que mide el cambio de entalpía entre los reactivos y los productos [67]. Otra forma de estimar el poder calorífico es realizar análisis próximo y elemental y posteriormente utilizar los datos resultantes para determinar el valor de calentamiento a través de correlaciones empíricas establecidas [68].

Durante la combustión parte de la energía del material combustible se escapa del sistema. Esta energía está asociada al calor en el vapor de agua formado durante la combustión, el cual no se aprovecha, puesto que se libera por las chimeneas de las cámaras de combustión. Por esto, como se muestra en la Figura 11 [69], el valor del PCI es menor que el PCS [8].

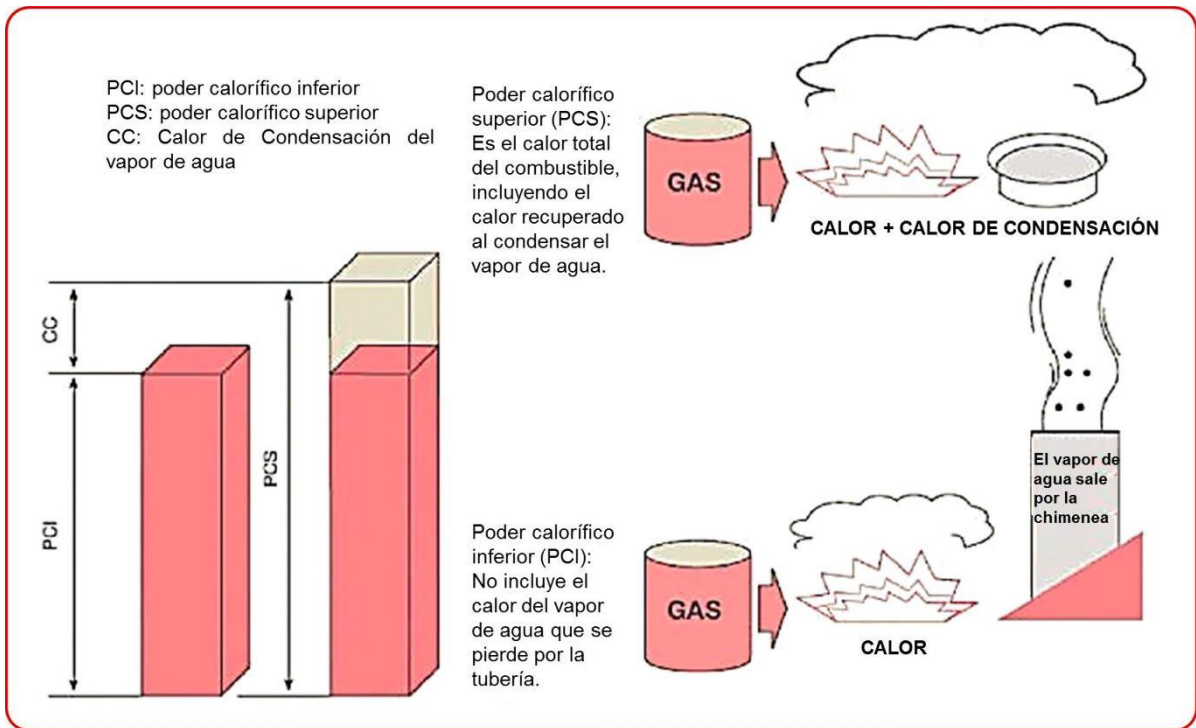
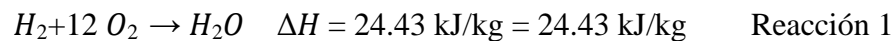


Figura 11. Relación entre el PCS y PCI.

La relación que existe entre el PCS y PCI es la entalpía de vaporización del agua formada en la combustión. La entalpía másica de vaporización del agua a 25°C es 24.43 kJ/kg. Esta agua proviene de la humedad y contenido de hidrógeno en el combustible. La reacción de oxidación del hidrógeno a agua, se muestra en la Reacción 1.



De los pesos atómicos de las especies relacionadas en la reacción anterior, se deduce que por cada kg de hidrógeno existente se producen 9 kg de agua. La Ecuación 1 permite calcular el PCI de un combustible a partir del PCS, ambos parámetros expresados en base seca.

$$PCI = PCS - (9 \times 24.43 \times H) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde H es la fracción másica del hidrógeno en el combustible en base seca y los poderes caloríficos están expresado en kJ/kg [8].

## 2.3 RUTAS DE APROVECHAMIENTO

La diversidad de residuos agrícolas y agroindustriales existentes aunado al desarrollo de distintas tecnologías de transformación de éstos permiten plantear una gran cantidad de posibles aplicaciones o rutas de aprovechamiento de los mismos. Se han definido criterios de selección de los residuos para ser aprovechados, algunos de ellos son [1]:

- ✓ Que el componente principal del residuo pueda ser utilizado como sustrato para la producción fermentativa de insumos de procesos industriales, o bien, que el material pueda ser sometido a extracciones para recuperar alguno de sus componentes que cuente con un mercado demandante.
- ✓ Disponibilidad local o regional del residuo y en las cantidades necesarias para asegurar la fabricación de un producto de interés.
- ✓ Que no presente otros usos que compitan con el proceso que se pretende promover.
- ✓ Que no requiera pretratamiento, y en caso de requerirlo, que éste sea sencillo y económico.
- ✓ Estabilidad del residuo, es decir, que no se descomponga fácilmente bajo las condiciones ambientales del sitio donde se genera.
- ✓ Con el marco de referencia anterior, se resumen ejemplos de los diferentes usos que se le han dado a diversos tipos de residuos agroindustriales, con base en la siguiente clasificación:
  - Como mejoradores o acondicionadores de suelo obtenidos mediante composteo.
  - Como sustrato para la producción fermentativa de metabolitos de interés.
  - Como sustrato para la generación de bioenergía.
  - Como suplemento alimenticio para animales

### **2.3.1 Producción fermentativa de metabolitos de interés**

Subproductos y residuos provenientes de distintas agroindustrias, contienen celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina, los cuales son sustratos atractivos para la producción de enzimas de aplicación industrial, principalmente las celulasas, hemicelulasas, xilanasas y las pectinasas [1]. Siendo estas últimas de gran interés y aplicación en la industria vinícola y en muy usadas para la clarificación de jugos.

### **2.3.2 Generación de bioenergía**

La biomasa residual hace referencia a los subproductos que se derivan de las transformaciones naturales o industriales que se llevan a cabo en la materia orgánica. La composición de la biomasa presenta en mayor proporción carbono, oxígeno e hidrógeno. La valoración energética está dada por la energía contenida y que será liberada al someterse a un proceso de conversión energética. Los análisis fisicoquímicos son los más importantes para determinar el potencial de la biomasa, los cuales son expresados en base seca. Con el análisis elemental se determina el contenido de compuestos simples que se pueden gasificar y aportar energía en las reacciones de combustión. El análisis de incluye la determinación del porcentaje de azufre, carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno. El análisis proximal donde se establece el contenido de humedad, material volátil, cenizas y carbono fijo; además de incluir el análisis de contenido de proteínas, grasas y el análisis estructural para determinar los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina. Los combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad volumen, los que tienen baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte. La transformación energética es afectada por el contenido de humedad presente en la biomasa, si es inferior a 50%, puede ser convertida por procesos de combustión directa, pirólisis o gasificación. Para residuos con mayor contenido de humedad al mencionado, antes de ser sometido a conversión energética se deben implementar tratamientos de secado, hecho que incrementa los costos de aplicación del proceso; por esto para residuos húmedos, es decir, con humedad mayor al 50% se suelen usar vías de transformación bioquímica como la fermentación o digestión anaerobia [70].

Dentro de las rutas de transformación energética están las rutas termoquímica y bioquímica. A su vez, en la vía termoquímica se encuentran cuatro tecnologías ampliamente utilizadas:

combustión, pirólisis y gasificación. Estas rutas de conversión y los productos generados a partir de aplicación de las mismas se observan en la Figura 12 [71].

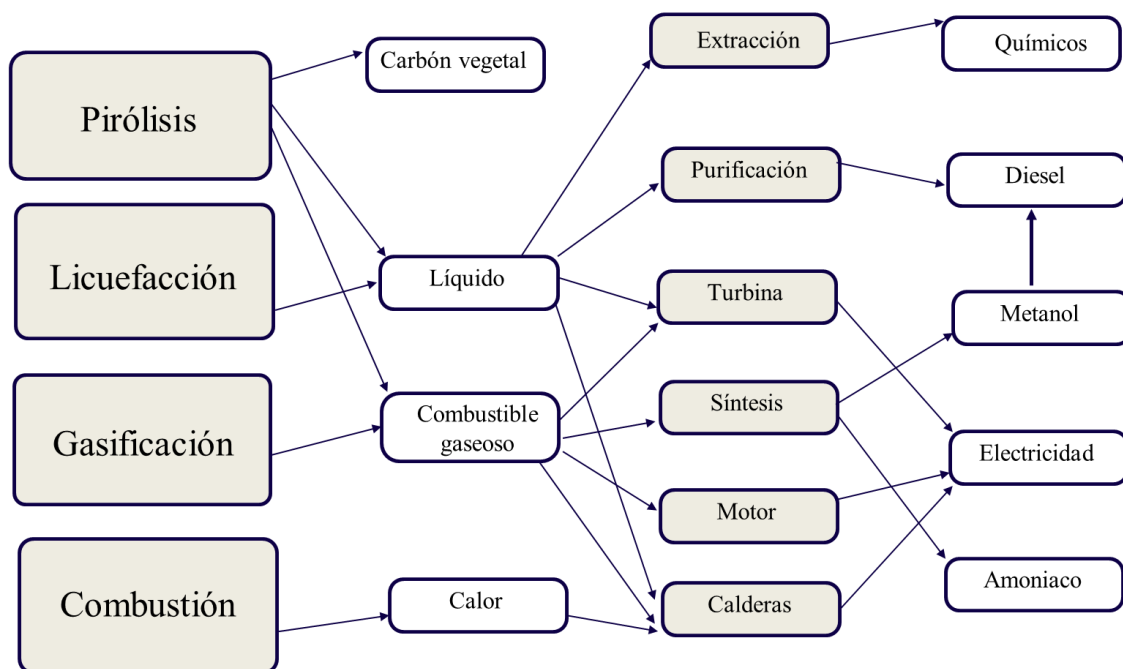


Figura 12. Procesos y productos termoquímicos de biomasa.

### 2.3.2.1 Combustión

La combustión es el proceso más utilizado para la conversión de biomasa. Contribuye a más del 97% de la producción de bioenergía en el mundo. En algunos países subdesarrollados, la combustión de biomasa tradicional desempeña un papel importante en la vida cotidiana de las personas, ya que es la principal fuente de energía disponible para cocinar y calentar. Considerada como una tecnología probada de bajo costo, pero altamente confiable, la combustión está relativamente bien comprendida y comercialmente disponible [72]. La combustión de biomasa se utiliza en una amplia gama de productos, donde se convierte la energía química almacenada en la biomasa, en forma de calor, energía mecánica o electricidad. La combustión de biomasa produce gases calientes a temperaturas alrededor de 800-1000°C. La escala de plantas de combustión varía desde muy pequeña escala por ejemplo, sistemas para calefacción doméstica, hasta plantas industriales a gran escala en el rango de 100-3000 MW [73].

Las principales etapas que se producen durante la combustión de la biomasa son: secado, pirólisis y reducción, y la combustión de gases volátiles y sólidos. La combustión de gases volátiles contribuye a más del 70% de la generación total de calor. Tiene lugar por encima del lecho de combustible y es generalmente evidente por la presencia de llamas amarillas. La combustión de biomasa a gran escala todavía se considera un proceso complejo con desafíos técnicos asociados con las características de los combustibles de biomasa, los tipos de combustores y los retos de los procesos de co-combustión [71].

### 2.3.2.2 Pirólisis

La pirólisis es la descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno o cuando hay menos cantidad del oxígeno requerido para que se dé una combustión completa. La pirólisis de la biomasa es una ruta prometedora para la producción de sólidos (carbón), líquidos (alquitrán) y productos gaseosos como posibles fuentes alternativas de energía. La reacción principal de pirólisis es [74]:



Hay tres etapas para un proceso típico de pirólisis. La primera fase, la pre-pirólisis, se produce entre 120-200°C con una ligera pérdida de peso observada, cuando se producen algunos reordenamientos internos, como el rompimiento de enlaces, la aparición de radicales libres y la formación de grupos carbonilo. Liberación correspondiente de pequeñas cantidades de agua (H<sub>2</sub>O), monóxido de carbono (CO) y CO<sub>2</sub>. La segunda etapa es el principal proceso de pirólisis, durante el cual se produce la descomposición sólida, acompañada de una importante pérdida de peso de la biomasa inicialmente alimentada. La última etapa es la devolatilización continua del carbón, causada por la ruptura adicional de los enlaces C-H y C-O. Dependiendo de la temperatura de reacción y del tiempo de residencia, la pirólisis se puede dividir en pirólisis rápida, pirólisis intermedia y pirólisis lenta [71]. A continuación, en la Figura 13 [74], se observan los productos más importantes que son generados a partir del proceso de pirólisis.

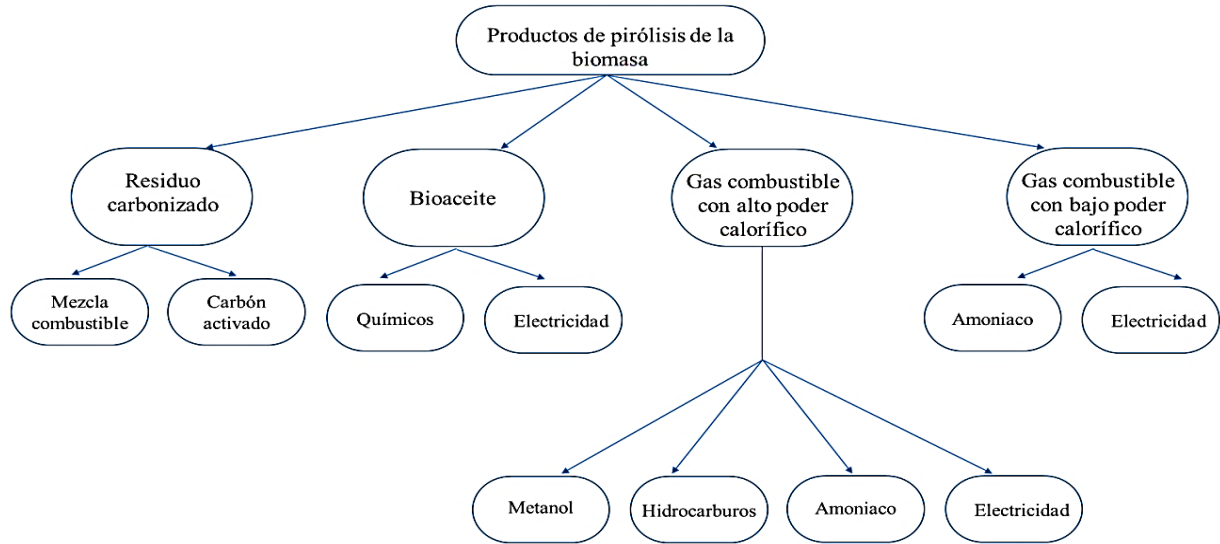


Figura 13. Productos de la pirólisis de biomasa.

Dependiendo de las condiciones de funcionamiento, la pirólisis se puede dividir en dos subclases: pirólisis convencional, pirólisis rápida.

La pirólisis convencional se produce a una velocidad de calentamiento lenta. Esta condición genera productos de pirólisis sólidos, líquidos y gaseosos en porciones significativas. La pirólisis lenta de la biomasa se asocia con un contenido de carbón alto, pero la pirólisis rápida se asocia con la producción de alquitrán, a baja temperatura (675-775 K) o producción de gas, a altas temperaturas. En la actualidad, la tecnología preferida es la pirólisis rápida con tiempos de residencia muy cortos. La pirólisis rápida, también definida como termólisis, es un proceso en el que el material, se calienta rápidamente a altas temperaturas en ausencia de aire (específicamente oxígeno). En la Figura 14 [74] se muestra el sistema de pirólisis rápida. Si el objetivo es la generación de productos principalmente líquidos y/o gaseosos, se recomienda aplicar pirólisis rápida. En los últimos años, el proceso de pirólisis rápida para la biomasa ha atraído mucha atención para maximizar los rendimientos de productos líquidos. Los procesos de pirólisis rápida producen 60-75% en peso de bioaceite líquido, 15-25% en peso de carbón sólido y 10-20% en peso de gases no condensables, dependiendo de la materia prima utilizada [74].



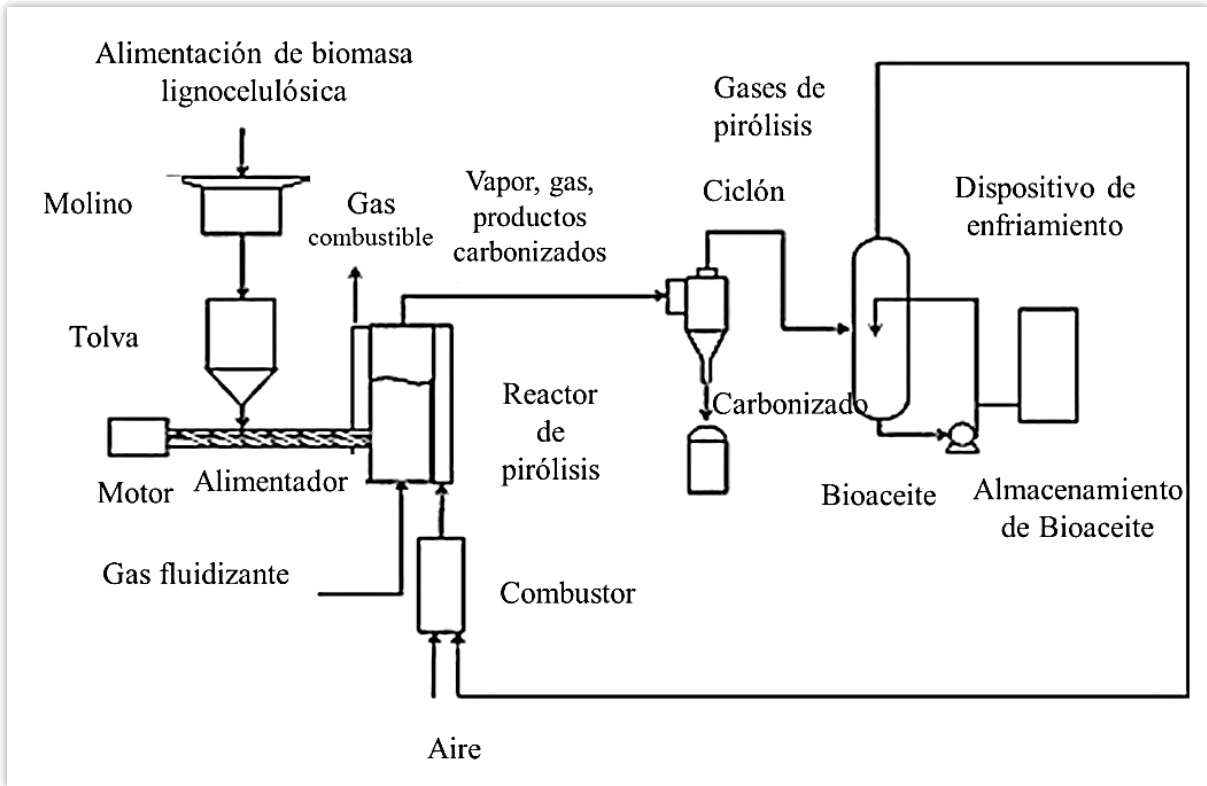


Figura 14. Sistema de pirólisis rápida.

### 2.3.2.3 Gasificación

La gasificación es la conversión térmica de biomasa en una mezcla de gas combustible ( $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  y  $CH_4$ ) por la oxidación parcial de la biomasa a altas temperaturas, típicamente en el intervalo de  $800^{\circ}C$ - $900^{\circ}C$ . La gasificación es un proceso que se lleva a cabo en 4 etapas como se ilustra en la Figura 15 [8]. En cada etapa se produce un cambio en la estructura química del combustible mediante diversas reacciones químicas homogéneas y heterogéneas. De la gasificación se pueden obtener alquitranes y aceites, sin embargo, su principal objetivo es la obtención de un gas, llamado gas de síntesis. Este gas puede ser usado como combustible, esencialmente, en calderas para la generación de calor, en motores de combustión interna o en turbinas de gas para generar electricidad [8].

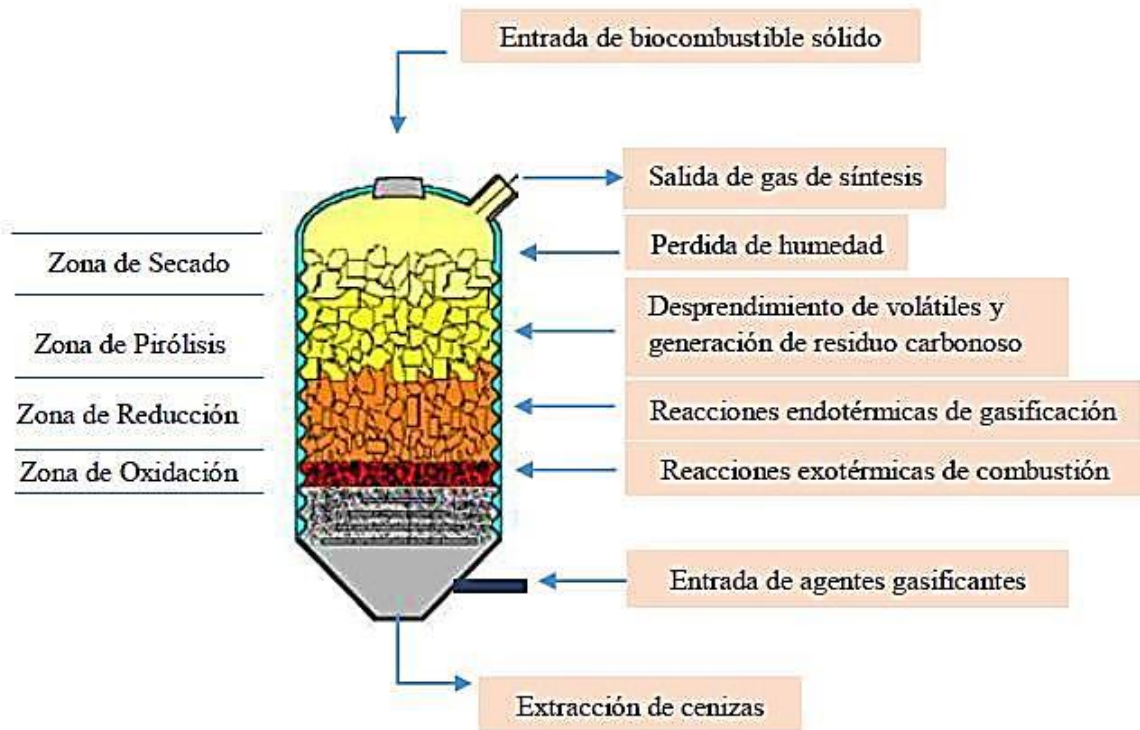


Figura 15. Etapas de la gasificación.

El gas de síntesis está compuesto básicamente por  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y otros hidrocarburos. La calidad, composición y poder calorífico del gas depende de las condiciones del proceso, tales como: lecho de gasificación, agente de gasificación, temperatura, presión, entre otros [8].

#### 2.3.2.4 Licuefacción

La licuefacción es un proceso termoquímico que se ejecuta a baja temperatura y alta presión, durante el cual la biomasa se descompone en fragmentos de pequeñas moléculas disueltas en agua u otro disolvente adecuado. Estos fragmentos inestables y reactivos, pueden volver a polimerizarse en compuestos aceitosos con diversos rangos de pesos moleculares. La licuefacción tiene cierta similitud con la pirólisis en términos de los productos objetivo (productos líquidos). Sin embargo, son diferentes en términos de condiciones operacionales. Específicamente, la licuefacción directa requiere temperaturas de reacción más bajas pero presiones más altas que la pirólisis (5-20 MPa para licuefacción frente a 0.1-0.5 MPa para pirólisis). Además, el secado de la materia prima no es un paso necesario para la licuefacción,

pero es crucial para la pirólisis. Los catalizadores son siempre esenciales para la licuefacción, mientras que no son tan críticos para la pirólisis. En comparación con la pirólisis, la tecnología de licuefacción es más difícil ya que requiere reactores más complejos y costosos, y sistemas de alimentación de combustible. Los materiales lignocelulósicos de biomasa son la clase de biomasa más ampliamente utilizada para la producción de bioaceites a través de procesos de licuefacción, debido a que estos materiales son ricos en grupos hidroxilo, por lo que pueden convertirse en intermediarios por licuefacción para la producción de biopolímeros, resinas epoxi, espumas de poliuretano, adhesivos para madera contrachapada [71].

### **2.3.3 Rutas bioquímicas**

La transformación bioquímica de la biomasa se realiza principalmente mediante dos procesos: digestión y la fermentación.

#### **2.3.3.1 Fermentación**

La fermentación se utiliza comercialmente a gran escala en varios países para producir etanol a partir de cultivos con alto contenido de azúcar, tales como: la caña de azúcar y remolacha azucarera. Cultivos de almidón como el maíz y el trigo. La biomasa es molida y el almidón convertido por las enzimas en azúcares, y con la levadura los azúcares son transformados a etanol. El residuo sólido proveniente del proceso de fermentación puede utilizarse como alimento para el ganado y en el caso de la caña de azúcar, el bagazo puede utilizarse como combustible para calderas o para una posterior gasificación. La conversión de la biomasa lignocelulósica es más compleja, debido a la presencia de polisacáridos de cadena larga, por lo que se requiere ejecutar pretratamientos de hidrólisis ácida o enzimática antes de que los azúcares resultantes puedan fermentarse a etanol [73].

#### **2.3.3.2 Digestión anaeróbica**

Consiste en convertir el material orgánico directamente a un gas, denominado biogás, que corresponde a una mezcla principalmente de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  con pequeñas cantidades de otros gases como el  $\text{H}_2\text{S}$ . La biomasa es convertida por bacterias en un ambiente anaerobio, produciendo un gas con un contenido de energía de aproximadamente el 20-40% del poder

calorífico inferior de la materia prima. La digestión anaeróbica es una tecnología probada comercialmente y se usa ampliamente para tratar desechos orgánicos de alto contenido de humedad, es decir, con valores entre 80-90% [73]. El proceso de digestión anaeróbica se desarrolla en tres etapas principalmente: hidrólisis, fermentación y metanogénesis, como se ilustra en la Figura 16 [8].

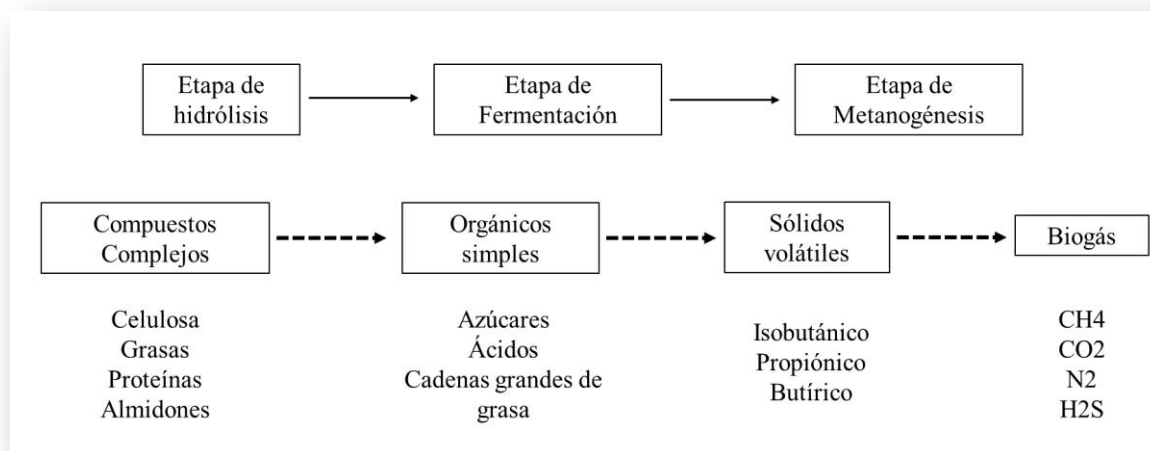


Figura 16. Proceso de digestión anaeróbica.

En la hidrólisis, las moléculas orgánicas complejas son divididas por acción de bacterias en moléculas más simples y solubles; en la etapa de fermentación otro tipo de bacterias convierten las moléculas simples en alcoholes, ácidos acéticos, ácidos volátiles y gases como H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>; en la etapa de metanogénesis, estos productos son metabolizados y convertidos esencialmente en CH<sub>4</sub> (60%-70%), CO<sub>2</sub> (30%-40%), entre otros gases. Las bacterias utilizadas en la digestión anaeróbica son afectadas por las condiciones en que se desarrolla el proceso de conversión, así mismo, la rapidez y calidad de la digestión es afectada por la temperatura, acidez y concentración de ciertos elementos de reacción como carbono, nitrógeno y oxígeno [8].

### 2.3.3.3 Extracción mecánica

La extracción es un proceso de conversión mecánica que se utiliza para producir aceite a partir de las semillas de diversos cultivos oleaginosos, como la colza, el algodón y los cacahuets,

higuerilla, jatrofa, etc. El proceso produce no sólo aceite sino también un sólido residual conocido como torta, que es usualmente se utiliza para alimento de animales. Se requieren 3 t de colza por tonelada de aceite de colza producido. El aceite de colza se puede procesar adicionalmente haciéndolo reaccionar con alcohol usando un proceso denominado esterificación para obtener biodiesel. El biodiesel se usa en algunos países de Europa como combustible suplementario de transporte. La Figura 17 [73] representa un diagrama de flujo general de la producción de éster metílico de biodiesel y glicerina.

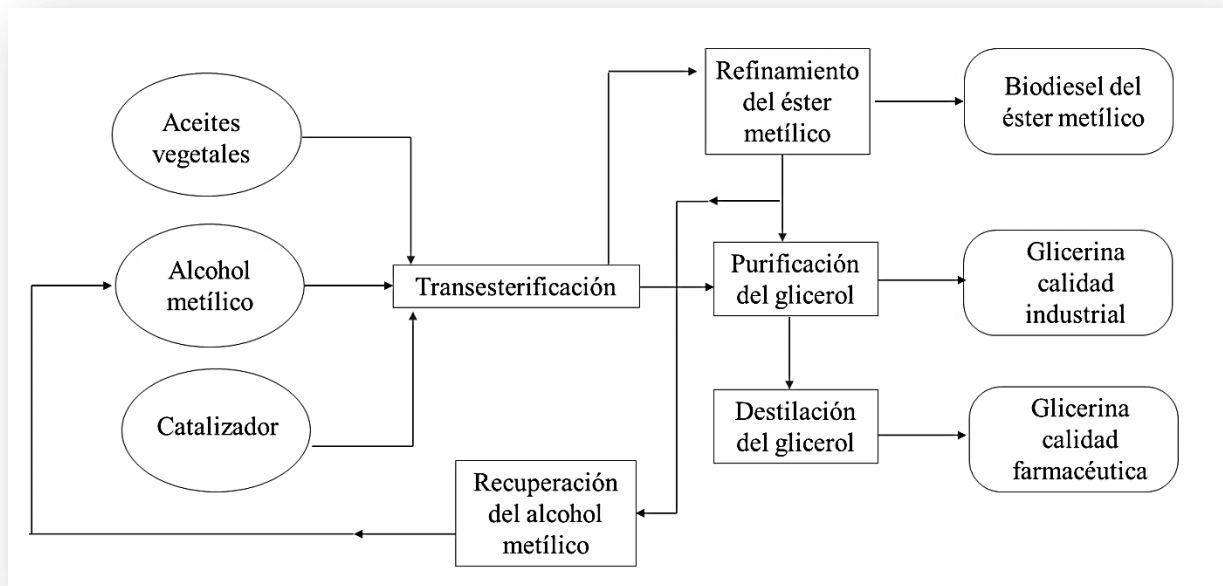


Figura 17. Diagrama de flujo de la producción de metil-éster de biodiesel y glicerina.

## 2.4 RUTAS DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA

La biomasa es una fuente potencial de energía renovable y la conversión del material vegetal en una forma adecuada de energía, generalmente electricidad o combustible para un motor de combustión interna, puede lograrse utilizando una serie de rutas diferentes, cada una con ventajas y desventajas específicas. Las Principales tecnologías de conversión energética de la biomasa se representan en la Figura 18 [70] [71] [75].

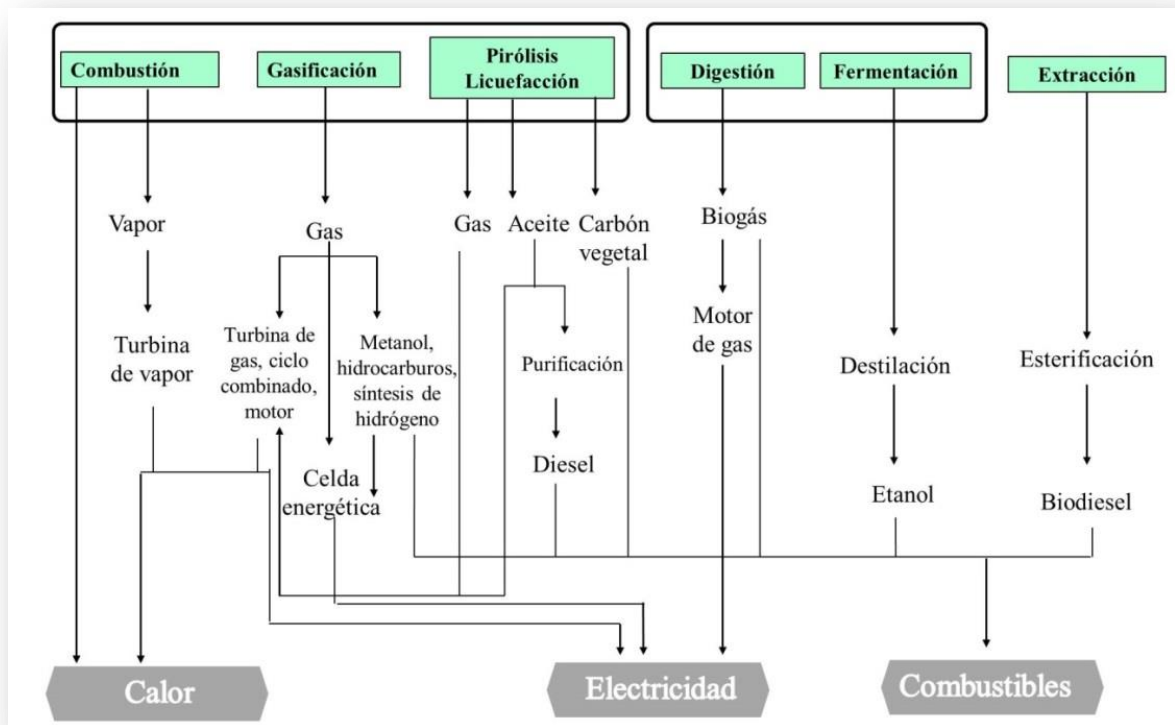


Figura 18. Principales tecnologías de conversión energética de la biomasa.

Los factores que influyen en la elección del proceso de conversión son: el tipo y la cantidad de materia prima de biomasa, la forma deseada de la energía, normatividad ambiental, condiciones económicas y factores específicos de cada proyecto. En muchos casos lo que más determina la ruta del proceso es la forma en que se requiere la energía, seguido de los tipos y cantidades disponibles de la biomasa. Entre las tecnologías de conversión energética se encuentran: termoquímica, bioquímica o biológica, y en tercer lugar se encuentra la extracción mecánica (con esterificación). Dentro de la conversión termoquímica están disponibles cuatro opciones de proceso: combustión, pirólisis y gasificación. La conversión bioquímica abarca dos opciones de proceso: digestión y la fermentación [73].

## 2.5 ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO

El análisis termogravimétrico (TGA) es una técnica comúnmente utilizada para estudiar las reacciones de descomposición de materiales, determinación de las características de la devolatilización y parámetros cinéticos, tales como la energía de activación y el factor pre-exponencial, así como la influencia de la temperatura y velocidad de calentamiento en el desarrollo de las reacciones de descomposición térmica y los mecanismos de reacción. En los procesos de termoconversión la información relativa a la distribución de los productos y el desarrollo cinético se obtiene generalmente a partir de una curva de pérdida de masa, o curva termogravimétrica.

El análisis térmico ha sido definido como un grupo de técnicas en el cual una propiedad de una muestra es monitoreada con relación al tiempo o temperatura, en una atmósfera determinada, a un régimen programado de temperatura. En el análisis termogravimétrico se registra la pérdida de peso de una muestra en la medida en que se incrementa la temperatura, hasta temperaturas de 1200 °C, bajo condiciones controladas de velocidad de calentamiento y diferentes atmósferas de reacción; obteniéndose por esta ruta las curvas denominadas TG o termogramas y las curvas de análisis termogravimétrico diferencial DTG [76]. Con el análisis termogravimétrico es posible determinar otras características como la temperatura de máxima reactividad, tiempo total de pirólisis o de combustión de un material. De modo que se tiene la información necesaria para estimar la eficacia de la pirólisis o combustión, el tiempo de residencia o el exceso de aire (en caso de combustión).

Debido a que el desarrollo del análisis próximo de un material combustible establece básicamente el calentamiento de una muestra bajo diferentes condiciones específicas y la determinación es por diferencia de peso de la misma, el análisis termogravimétrico puede utilizarse como una herramienta en la determinación del análisis próximo. Por factores como ahorro de tiempo y reducción de la cantidad de muestra [49].

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

### 3.1 RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

Las muestras de cáscara de higuera fueron suministradas por el Instituto de Ingeniería de la UABC, Campus Mexicali; procedentes de una tesis de maestría. Las muestras de podas de vid fueron recolectadas en el viñedo de la Escuela de Enología y Gastronomía de la UABC, Campus Sauzal, Ensenada, Baja California. Lo anterior se representa en la Figura 19.

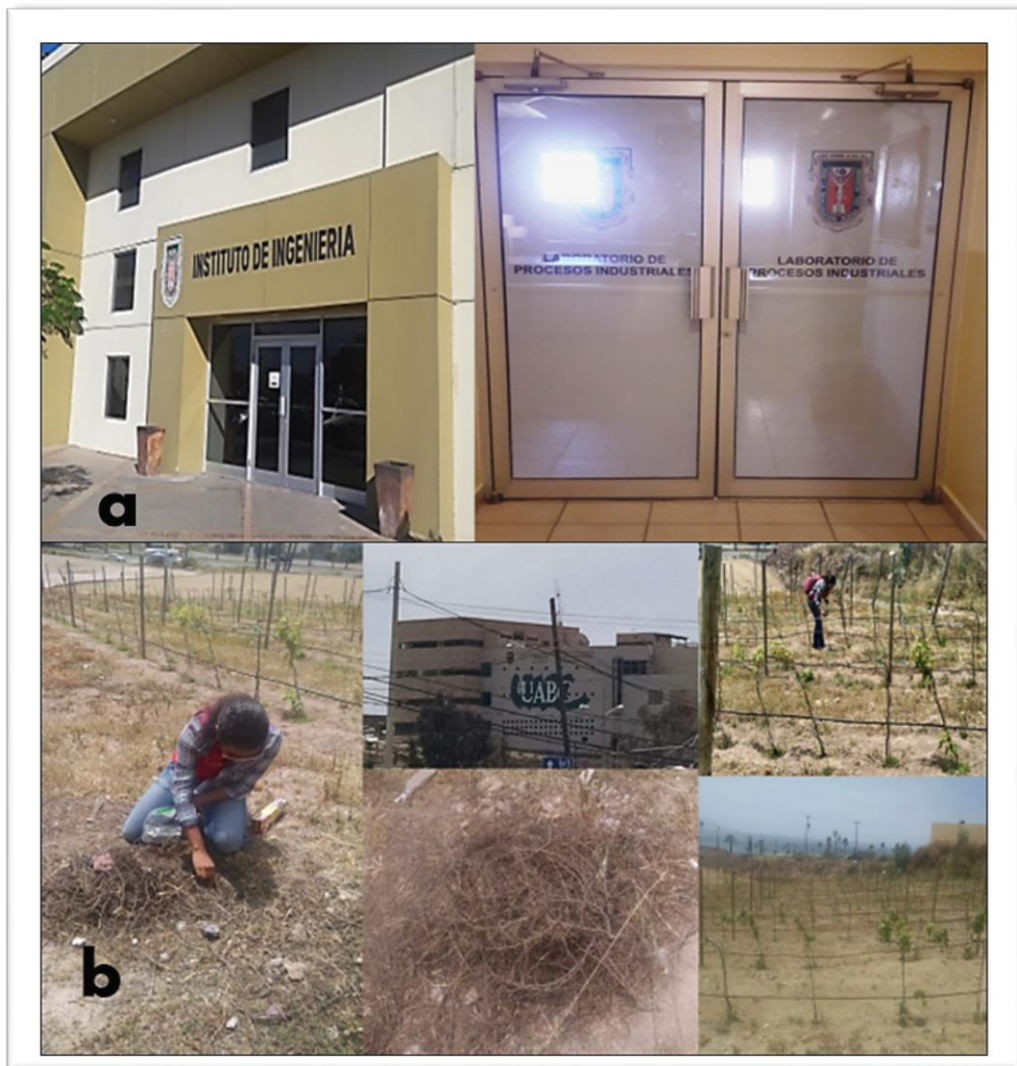


Figura 19. Recolección de la muestra.



## 3.2 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

### 3.2.1 Podas de vid, orujo de uva y cáscara de higuera

Las muestras fueron preparadas de la siguiente manera:

- ✓ Molienda: las muestras fueron molidas en un molino manual.
- ✓ Tamizado: posterior a la molienda, las muestras fueron tamizadas en un tamiz N°35.

El proceso descrito anteriormente se encuentra esquematizado en la Figura 20.



Figura 20. Preparación de la muestra.

### 3.2.2 Torta de higuera

- ✓ Detoxificación: se toman 10 g de muestra y se colocan en un erlenmeyer de 250 mL que contiene 100 mL de agua hirviendo a 100 °C durante 30 minutos. Posteriormente se

filtró por gravedad utilizando un embudo de vidrio en el cual se introdujo un paño de algodón [33].

- ✓ Secado: la muestra se colocó en un crisol y luego se llevó a la mufla a una temperatura de 105°C por un período de 4h hasta alcanzar peso constante [25].
- ✓ Homogeneización: la muestra fue macerada en un mortero de porcelana, hasta obtener uniformidad.

El montaje del proceso de detoxificación se observa en la Figura 21.

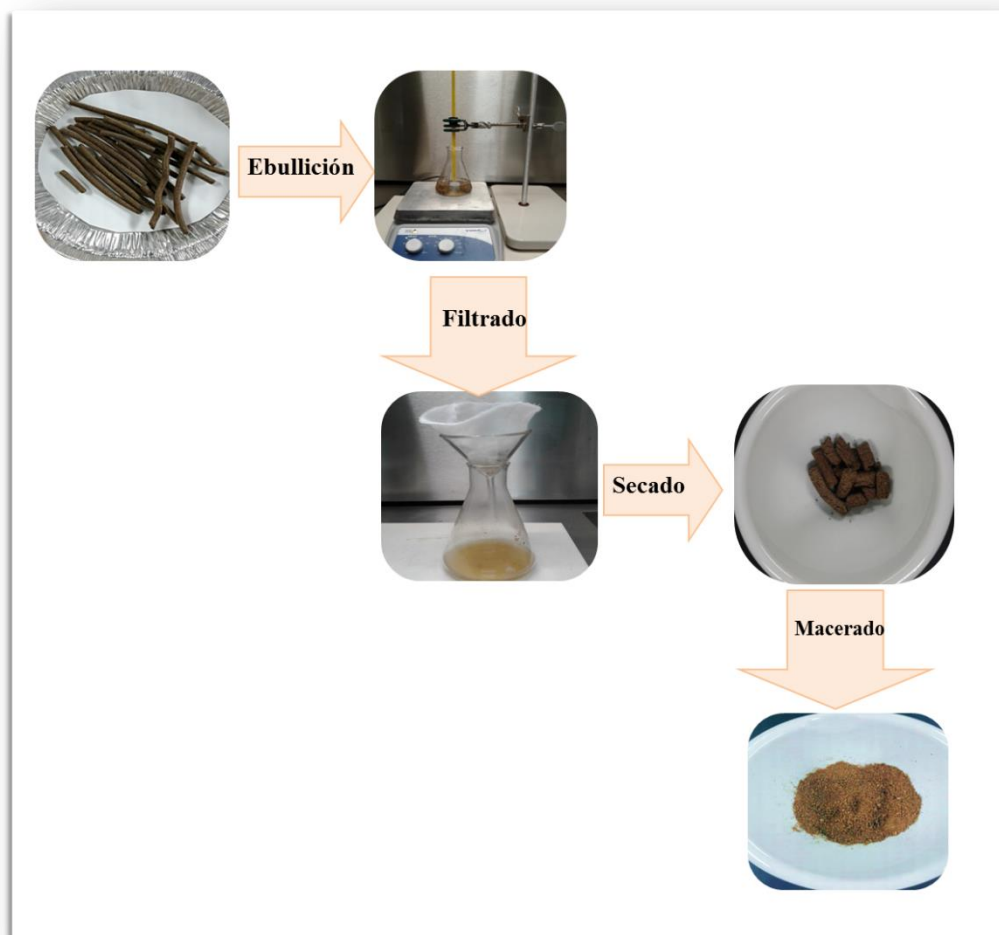


Figura 21. Detoxificación de la torta de higuera.

### 3.3 ANÁLISIS PRÓXIMO

Posterior a la preparación de las muestras se realizó el análisis próximo. Se determinó el porcentaje de humedad (%H), material volátil (%MV), cenizas (%C). El porcentaje de carbono fijo (%CF) se calcula por diferencia. Las determinaciones se realizaron por triplicado. Para ello, se tomó 1g de muestra y se colocó en un crisol seco y previamente pesado. Después de esto se siguió la metodología establecida en las normas ASTM 870-82 [77] . Los crisoles que contenían las muestras se sometieron a calentamiento controlado en la mufla. Las condiciones de temperatura y tiempo para cada análisis se muestran en la Tabla 4.

Tabla 2. Condiciones de operación para los análisis de humedad, materia volátil y cenizas.

<b>Análisis</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Norma</b>	<b>Referencia</b>
% Humedad	105	6 horas (hasta alcanzar peso constante)	ASTM E871-82 (2006)	[78]
% Materia Volátil	950	7 minutos	ASTM E872-82(2006)	[79]
% Cenizas	580	4 horas	ASTM E830-87(2004)	[80]

### 3.4 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

El análisis de composición química de las podas de vid, orujo de uva, torta y cáscara de higuera se realizó por duplicado y se describen en la siguiente Tabla 5.

Tabla 3. Resumen de metodologías y normas utilizadas en el análisis de composición química.

	<b>Determinación</b>	<b>Norma</b>	<b>Referencia</b>
<b>Análisis de composición química</b>	Extraíbles en solvente orgánico (cetona)	TAPPI T264	[81]
	Extraíbles en agua caliente	TAPPI 207	[82]
	Lignina	ASTM D1106-96(2007)	[83]
	Holocelulosa	ASTM D 1104	[84]
	Celulosa	ASTM D1103-60(1977)	[85]
	Hemicelulosa	Por diferencia	-

Los montajes de los experimentos realizados para las extracciones en acetona y agua caliente, y las determinaciones de lignina y holocelulosa se ilustran en las Figuras 22 y 23 respectivamente.

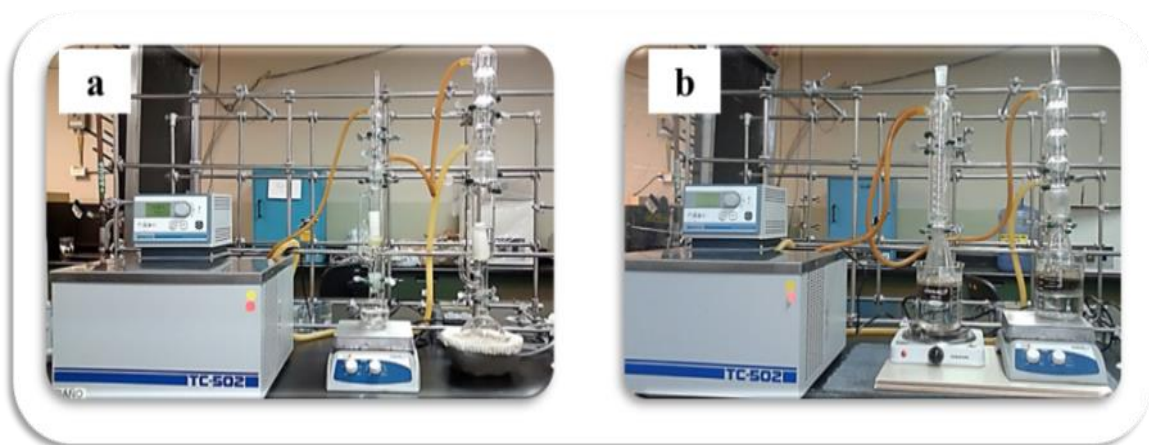


Figura 22. Montaje para determinación de extraíbles. a: Extracción con acetona; b: extracción con agua caliente.

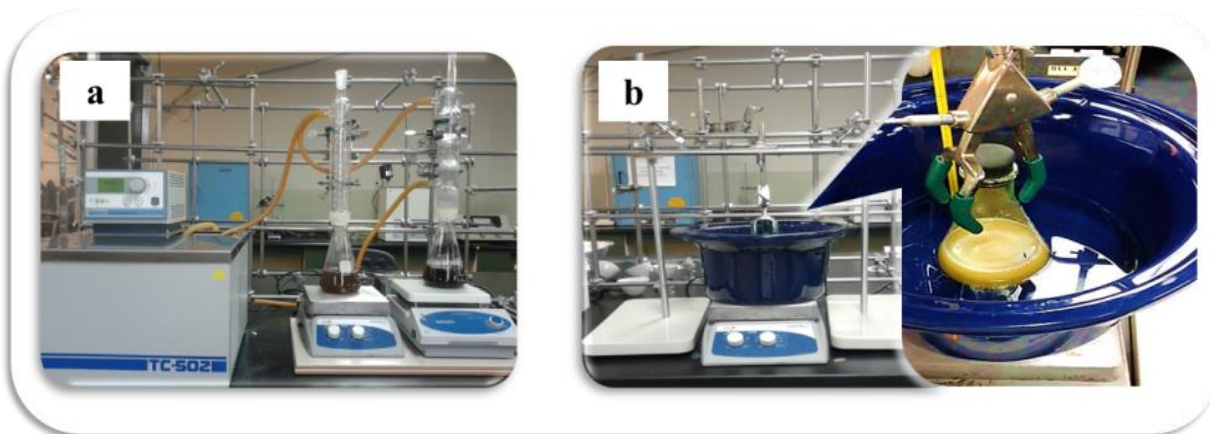


Figura 23. a: Montaje para determinación de lignina; b: Montaje para determinación de holocelulosa.

Los porcentajes de cada parámetro analizado fueron calculados por diferencia de peso, utilizando las ecuaciones descritas en la siguiente Tabla 4.

Tabla 4. Ecuaciones utilizadas en la determinación del análisis próximo y de composición química.

Parámetro	Ecuación	Variables
Humedad %Hum	$[(M_i - M_f)/M_i] \times 100$ (2)	$M_i$ = masa inicial de la muestra (g) $M_f$ = masa de la muestra después del calentamiento (g)
Materia volátil %MV	$\%P = [(M_i - M_f)/M_i] \times 100$ (3) $\%MV = \%P - \%H$ (4)	$\%P$ = porcentaje de peso perdido $M_i$ = masa de la muestra inicial(g) $M_f$ = masa de la muestra después del calentamiento (g)
Cenizas %CE	$\left[\frac{M_r}{M_i}\right] * 100$ (5)	$M_r$ = masa del residuo después del calentamiento (g) $M_i$ = masa de la muestra inicial (g)
Carbono fijo	$100 - [\%MV + \%CE]$ (6)	-

%CF		
Extraíbles en cetona EC%	$[(M_i - M_f) / M_i] * 100$ (7)	$M_f$ = masa de la muestra seca (g) $M_f$ = masa de la muestra después de extracción (g)
Extraíbles en agua caliente %EAC	$[(M_i - M_f) / M_i] * 100$ (8)	$M_i$ = masa seca de la muestra (g) $M_f$ = masa de la muestra después de extracción (g)
Lignina %Lig	$\frac{M_r - pf}{M_{LE}} * 100$ (9)	$M_r$ = peso del residuo secado al horno y el papel filtro (g) pf = peso del papel filtro seco (g) $M_{LE}$ = peso de la muestra seca libre de extraíbles (g)
Holocelulosa %Hol	$\frac{M_r - pf}{M_{LE}} * 100$ (10)	$M_r$ = peso del residuo secado al horno y el papel filtro (g) pf = peso del papel filtro seco (g) $M_{LE}$ = peso de la muestra seca libre de extraíbles (g)
Celulosa %Cel	$\frac{M_r - pf}{M_{Hol}} * 100$ (11)	A = peso del residuo secado al horno y el papel filtro (g) B = peso del papel filtro secado al horno (g) $M_{Hol}$ = peso de holocelulosa (g)
Hemicelulosa %Hem	$\%Hol - \%Cel$	-

### 3.5 ANÁLISIS ELEMENTAL

El análisis elemental para las podas de vid y cáscara de higuera fueron llevados a cabo en la Facultad de Química de la Universidad Nacional de Colombia; utilizando las siguientes

condiciones: Equipo Thermo Flash-2000 ECHNS-O, reactor 900C y oxido de vanadio como catalizador para CHNS reactor a 1060 C para oxígeno.

Para el orujo y de uva se realizaron en la Facultad de Química de la UNAM en la Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación y a la Industria (U.S.A.I.I). Con las siguientes condiciones de operación: Analizador elemental Perkin Elmer modelo PE2400, gas de acarreo Helio, detector de conductividad térmica, temperatura del reactor de combustión 975°C, temperatura del reactor de reducción 501°C.

### **3.6 DETERMINACIÓN DE GRASAS**

Se pesaron 2 g de muestra de torta de higuera y de orujo de uva. Las muestras fueron colocadas en dedales de celulosa previamente secos y pesados. Posteriormente son transferidos al equipo extractor Soxhlet, agregando una cantidad de solvente, para este caso hexano, suficiente para 2 ó 3 descargas. La extracción se efectuó por 6 horas, posterior a esto los dedales fueron secados a 100°C hasta peso constante, determinando el contenido de grasas por diferencia de peso [86].

$$\% \text{ Grasas} = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100 \text{ Ecuación (12)}$$

### **3.7 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS**

Se pesaron 0.2 g de muestra y se colocaron en un matraz, luego se le adicionaron 3mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado. Inmediatamente se sometió a calentamiento en un equipo digestor Digesdahl, a una temperatura de 430°C por 3 min, sin que la muestra llegara a sequedad. Luego se adicionó 10 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 50% (refrigerado) y se dejó reaccionar por 2 min más o hasta que no se observó efervescencia. Finalmente se retiró el matraz de digestión y se dejó enfriar por 15min, para luego completar con agua desionizada. De allí se tomó una alícuota de 1 mL y se llevó a un matríz aforado de 50mL. Inmediatamente se prepararon las muestras para su posterior análisis del contenido de nitrógeno total como NO<sub>3</sub>, a 460nm en un espectrofotómetro Hach DR 5000. Este procedimiento fue realizado en el Laboratorio de Química del Instituto Tecnológico de Mexicali y se describe detalladamente en la Figura 24.

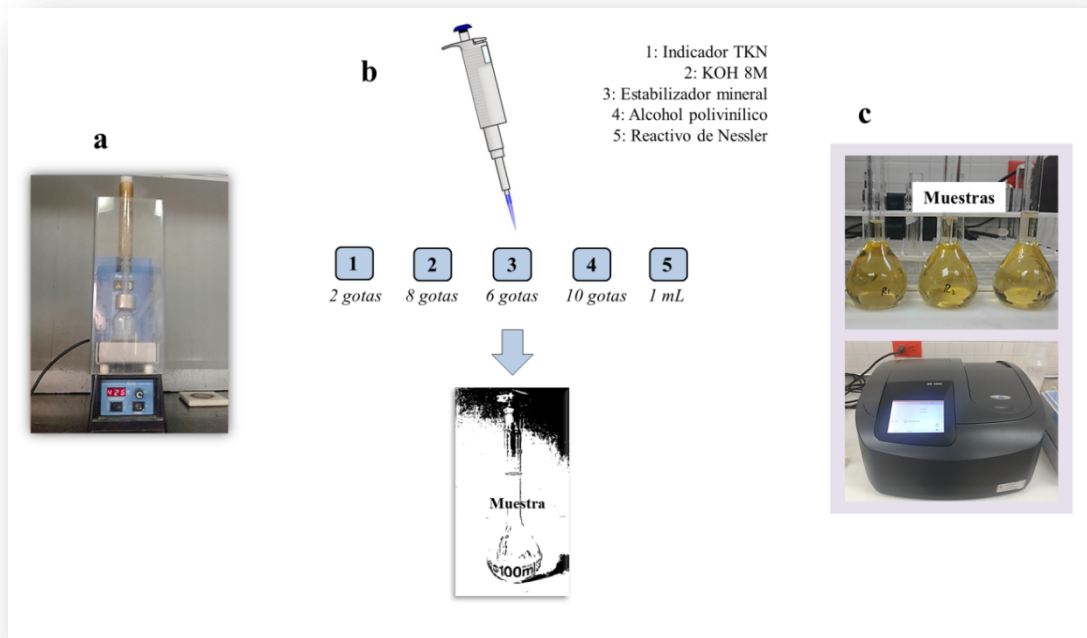


Figura 24. a: Digestión de la muestra en el digester Digeshdal, b: Preparación de la muestras, c: Lectura en espectrofotómetro UV-VIS.

### 3.8 DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS)

El PCS de las podas de vid, orujo de uva, torta y cáscara de higuera se determinó por duplicado, pesando 0.5 g de muestra. El experimento se llevó a cabo en una bomba calorimétrica IKA C2000, mostrada en la Figura 21. Para la determinación del PCS se siguió la metodología propuesta en la ASTM 711.



Figura 25. Bomba calorimétrica.



### **3.9 ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO**

Las muestras previamente preparadas (sección 3.2.1 y 3.2.2) fueron llevadas a un analizador térmico diferencial STA 6000 Perkin Elmer localizado en el Laboratorio de Corrosión y Materiales del Instituto de Ingeniería de UABC, campus Mexicali.

## CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS

#### 4.1.1 Análisis próximo

Los resultados obtenidos del análisis próximo para las podas de vid y orujo de uva se detallan en la Tabla 5 y 6 y las Figuras 26 y 27 ilustran el procesamiento de estos residuos. Así mismo para la torta y cáscara de higuera en la Tabla 7 y 8. Los datos correspondientes al %MV, %C y %CF están expresados en base seca.

Tabla 5. Análisis próximo de las podas de vid.

Muestra	%Hum	%MV	%CE	%CF
1	9.1971	72.,8738	4.4022	22.7240
2	9.2513	73.2275	3.6859	23.0866
3	8.9839	73.0587	3.0157	23.9256
<b>Promedio</b>	9.1441	73.0534	3.7013	23.2454
<b>Desviación estándar</b>	0.1414	0.1769	0.6934	0.6164



Figura 26. Muestras de podas de vid. 1: libre de humedad, 2: posterior al análisis de cenizas.

Tabla 6. Análisis próximo de orujo de uva.

<b>Muestra</b>	<b>%Hum</b>	<b>%MV</b>	<b>%CE</b>	<b>%CF</b>
<b>1</b>	63.2050	79.7320	7.1560	13.1120
<b>2</b>	62.9724	79.6782	7.2694	13.6411
<b>3</b>	63.4204	79.5078	7.6502	13.2701
<b>Promedio</b>	63.1993	79.6393	7.3585	13.3411
<b>Desviación estándar</b>	0.2241	0.1170	0.2589	0.2716

Tabla 7. Análisis próximo de la cáscara de higuera.

<b>Muestra</b>	<b>%Hum</b>	<b>%MV</b>	<b>%CE</b>	<b>%CF</b>
<b>1</b>	7.9237	62.3833	19.7055	17.9112
<b>2</b>	7.4417	62.4766	19.5689	17.9545
<b>3</b>	7.8586	62.5572	19.4469	17.9959
<b>Promedio</b>	7.7410	62.4720	19.5740	17.9540
<b>Desviación estándar</b>	0.2615	0.0870	0.1294	0.0423

Tabla 8. Análisis próximo de la torta de higuera.

<b>Muestra</b>	<b>%Hum</b>	<b>%MV</b>	<b>%CE</b>	<b>%CF</b>
<b>1</b>	6.5896	73.6553	7.7437	18.6010
<b>2</b>	6.6921	73.1535	7.7372	18.1629
<b>3</b>	6.3184	73.5862	7.6490	18.3544
<b>Promedio</b>	0.1931	0.2720	0.0529	0.2196
<b>Desviación estándar</b>	6.5896	73.6553	7.7437	18.6010

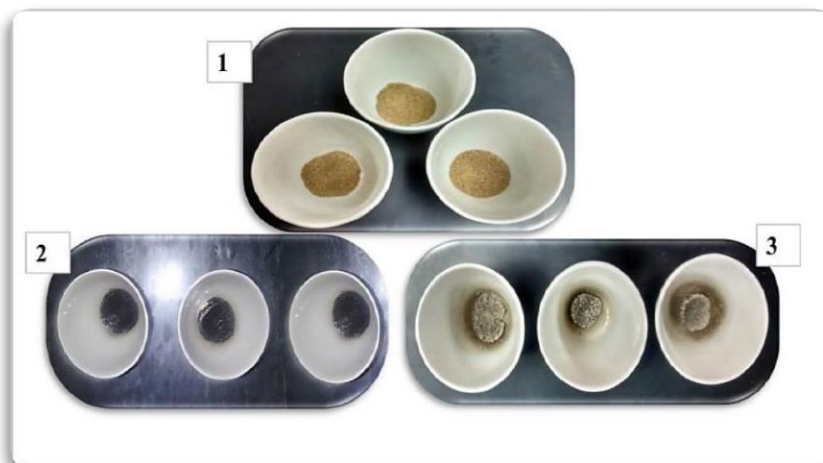


Figura 27. Muestras de cáscara de higuera. 1: libre de humedad, 2: posterior al análisis de material volátil; 3: posterior al análisis de cenizas.

#### 4.1.2 Análisis de composición estructural y PCS

Los resultados obtenidos del análisis de composición estructural de la torta y cáscara de higuera, y orujo de uva y podas de encuentran en las Tablas 9 y 10 respectivamente. Así mismo se pueden observar en la Figura 28 los distintos extractos y residuos correspondientes a cada etapa de extracción.

Tabla 9. Análisis de composición estructural y PCS de la cáscara y torta de higuera.

Cáscara de higuera		Torta de higuera	
Análisis	Obtenido	Análisis	Obtenido
%EC	9.57	%EC	3.3704
%EAC	51.24	%EAC	6.3859
%Lig	10.41	%Lig	32.3479
%Hol	70.35	%Hol	63.3236
%Cel	28.9	%Cel	42.4646
%Hem	41.46	%Hem	20.859
PCS (J/kg)	15,275	PCS (J/kg)	20,0280

Tabla 10. Análisis de composición estructural y PCS de las podas de vid y orujo de uva.

Podas de vid		Orujo de uva	
Análisis	Obtenido	Análisis	Obtenido
%EC	11.46	%EC	11.2897
%EAC	19.72	%EAC	13.2184
%Lig	17.66	%Lig	36.9406
%Hol	78.09	%Hol	58.6917
%Cel	48.68	%Cel	16.7591
%Hem	29.41	%Hem	41.9327
PCS (J/kg)	17,023	PCS (J/kg)	20,7415

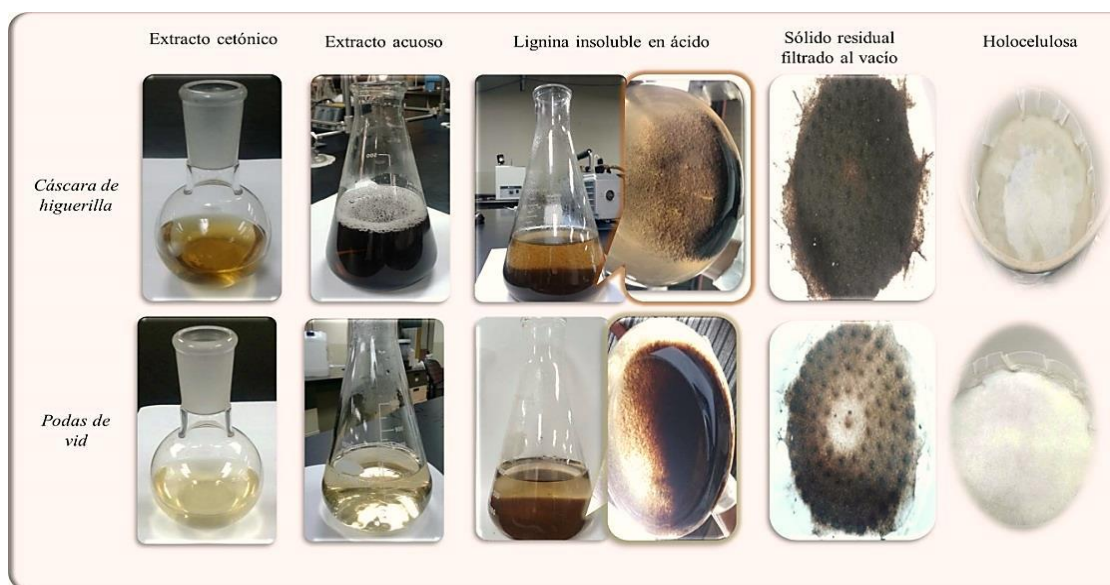


Figura 28. Resultados del análisis de composición química de las podas de vid y la cáscara de higuera.

#### 4.1.3 Detoxificación de la torta de higuera

Al detoxificar la torta de higuera en agua caliente, este residuo presentó cambios en su apariencia lo cual se muestra en la Figura 29.



Figura 29. Torta de higuera. a: Sin detoxificar; b: detoxificada.

#### 4.1.4 Análisis elemental

Los resultados del análisis elemental se encuentran descritos en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados del análisis elemental

Residuo	Análisis elemental				
	%C	%H	%O	%N	%S
Podas de vid	43.0753	5.3131	40.9393	0.7883	-
Orojo de uva	49.317	6.067	-	3.547	0.550
Cáscara de higuera	38.5479	4.8043	37.9372	3.283	0.2645
Torta de higuera	48.167	6.310	-	5.760	0.530

#### 4.1.5 Determinación de Proteínas

El contenido de proteína hallado para cada residuo se observan en la Tabla 12.

Tabla 12. Contenido de Proteína

Residuo	% Proteína / g muestra seca
Orojo	30.4856
Podas	5.5176
Cáscara	18.4500
Torta	58.2954

#### 4.1.6 Determinación de grasas

En la Tabla 13 se muestran los resultados de porcentaje de grasas en el orujo de uva y torta de higuera.

Tabla 13. Contenido de Grasas en orujo de uva y torta de higuera

Residuo	% Grasas
Orujo de uva	4.4847
Torta de higuera	2.7338

#### 4.1.7 Análisis termogravimétrico

Los resultados del análisis termogravimétrico están representados en las Figuras 30, 31 y 32.

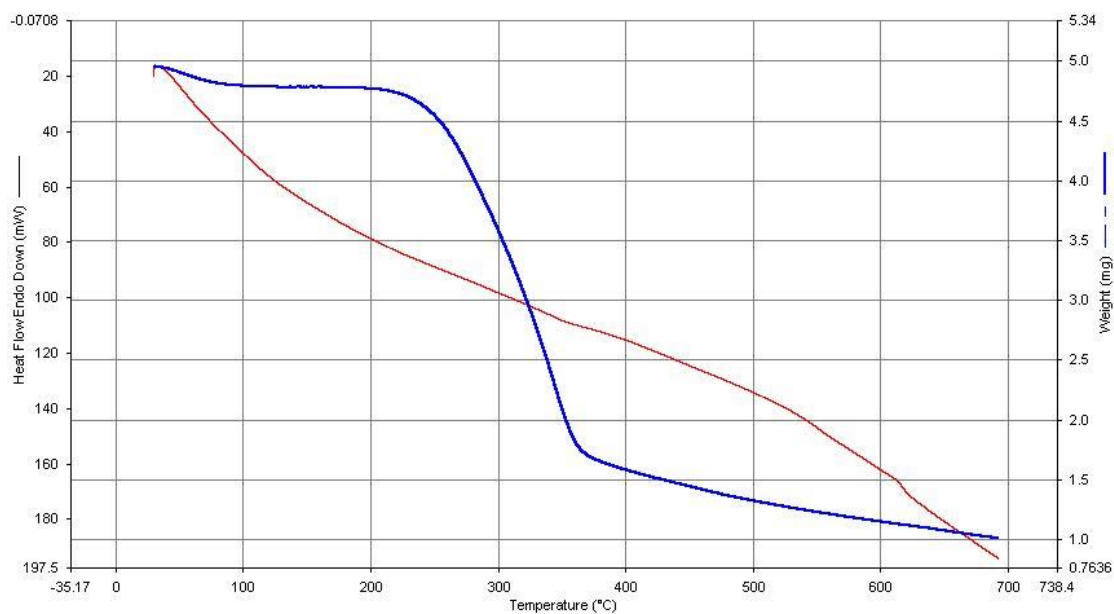


Figura 30. Análisis termogravimétrico de las podas de vid.

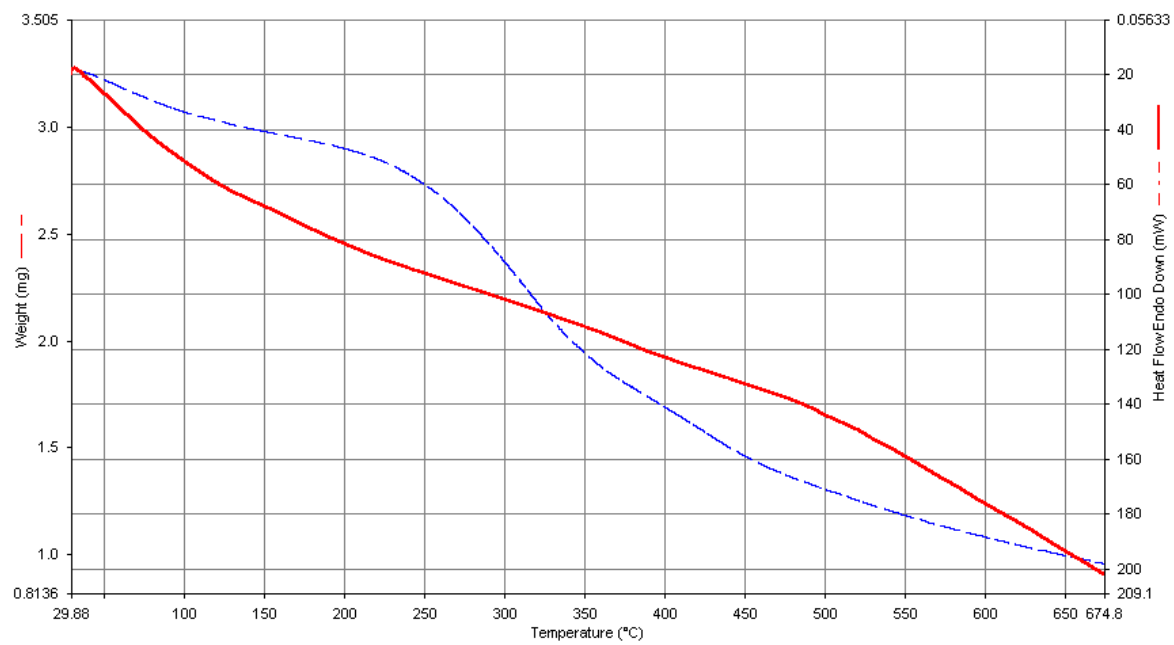


Figura 31. Análisis termogravimétrico de las podas de vid.

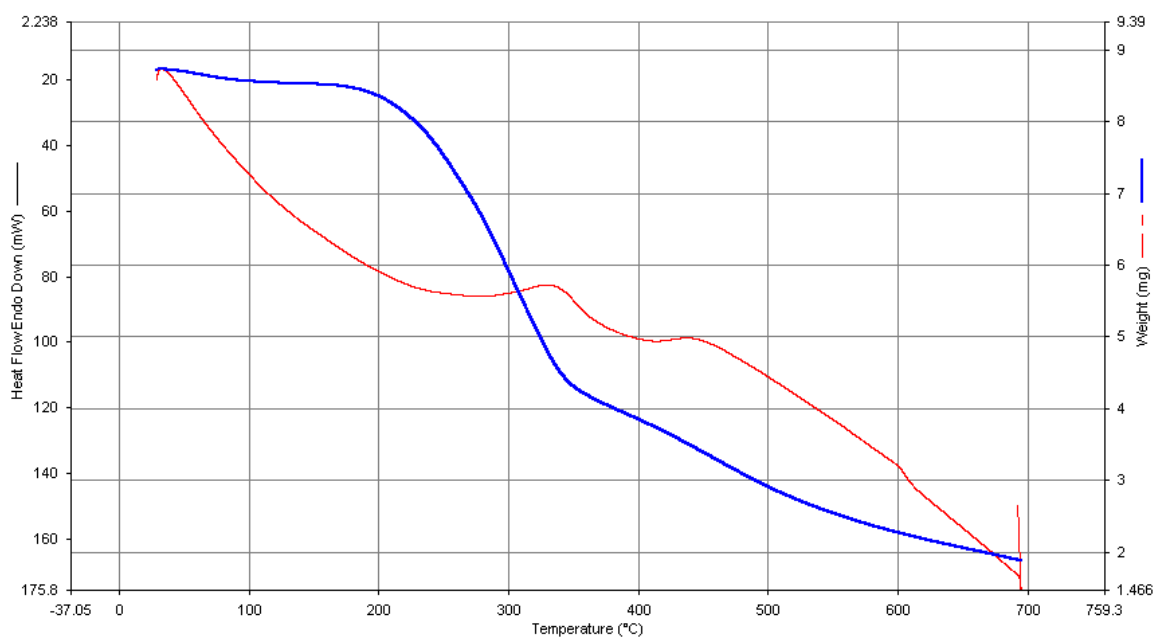


Figura 32. Análisis termogravimétrico de la cáscara de higuera.



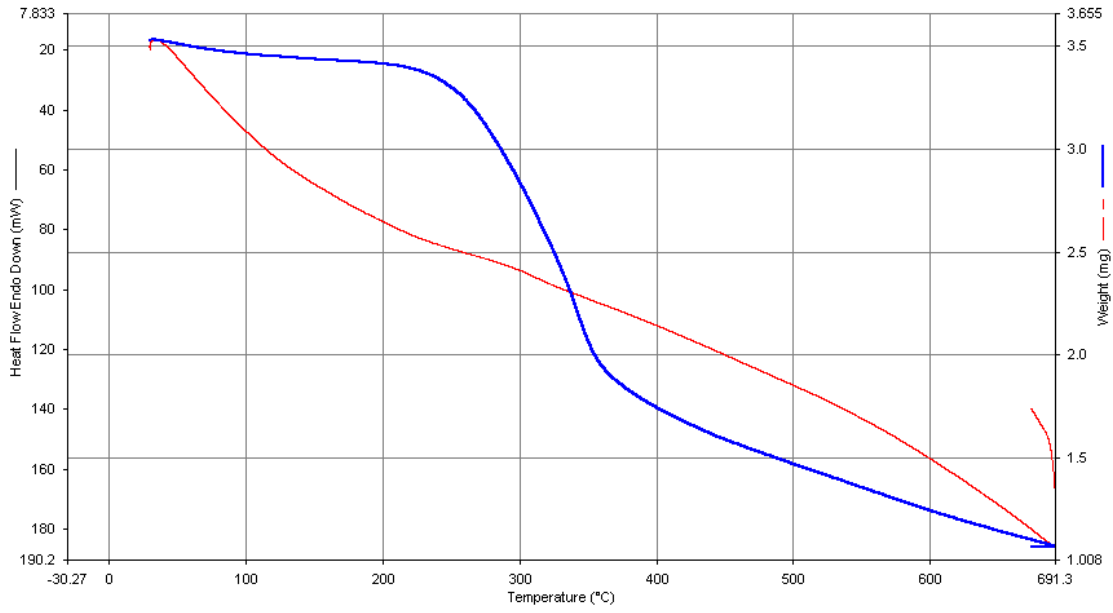


Figura 33. Análisis termogravimétrico de la torta de higuera.

## 4.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La cáscara de higuera y las podas de vid presentan bajo porcentaje de humedad. Para la cáscara de higuera se obtuvo 7.74%, dato que difiere del contenido de humedad reportado 12.01% [87], hecho que se atribuye al clima extremadamente cálido y seco de Mexicali. Las podas de vid presentaron una humedad de 9.14%, dato que no sobrepasa el porcentaje reportado 17.6% [88]. Estas muestras corresponden al tipo de poda de invierno y fueron muestreadas a mediados del mes de mayo, sumado a esto, la baja densidad que presenta este residuo, favorece el secado natural y la pérdida de humedad en la muestra.

La cáscara y las podas presentaron alto porcentaje de material volátil, hecho que indica la reactividad de los mismos y facilita su ignición. El contenido de cenizas fue de 19.57% y 3.70% para la cáscara y podas respectivamente, en ambos casos superior al contenido de cenizas es superior al porcentaje citado anteriormente. El alto contenido de cenizas en la cáscara sugiere la presencia de compuestos que pueden causar problemas en la aplicación de métodos de conversión termoquímica. El carbono fijo determinado para la cáscara fue de 17.95%, valor menor al reportado; caso contrario en las podas, donde se encuentra por encima con un porcentaje de 23.25%. La proporción de material volátil y carbono fijo presentes en la biomasa, permite establecer la facilidad con la que el residuo reacciona, oxida y se gasifica. Dependiendo del tipo de proceso utilizado para el aprovechamiento energético de la biomasa, se dará una u otra reacción [5].

Los extraíbles en acetona provenientes de las podas, mostraron un color menos intenso respecto a los extractos cetónicos de la cáscara, como se observa en la Figura 16. Así mismo se presentó para los extraíbles en agua caliente, siendo estos de coloración más fuerte que los extraíbles cetónicos. Esto implica que ambos residuos contienen más compuestos hidrosolubles. En la determinación del contenido de lignina, se observó insolubilidad de la lignina en medio ácido, depositándose en el fondo del recipiente como un residuo sólido con el transcurrir del tiempo. Los resultados obtenidos del análisis de composición estructural, muestran cierta diferencia con algunos valores de los datos reportados en la literatura, mostrados en las Tablas 7 y 8. Este hecho indica lo importante que es determinar las características fisicoquímicas de los residuos agrícolas generados en una zona específica. Las propiedades de la biomasa de origen vegetal, son afectadas por las características de la región

donde se desarrolló, tales como: condiciones atmosféricas, tipo de suelo, etc. Las podas presentaron un PCS de 17,023 J/kg superando a la cáscara con 15,275 J/kg, vara de algodón con 16,910 J/kg y paja de trigo con 14,860 J/kg; residuos agrícolas también generados en la región.

La torta de higuera y orujo de uva presentaron lo más altos contenidos de proteína. Por otro lado, las distintas biomasa vegetales se caracterizan por contenido diverso de celulosa, hemicelulosa, lignina y componentes extractables como terpenos, taninos, ácidos grasos, aceites y resinas; humedad y materia mineral [89]. Estos componentes son importantes para la distribución y composición de los productos de los procesos de termoconversión de la biomasa, que se alcanzan a determinadas condiciones de temperatura, régimen de calentamiento, atmósfera de reacción, etc. En las curvas de pérdida de masa en función de la temperatura (TG) se pueden identificar cinco zonas fundamentales: zona I a temperatura inferior a 100 °C, etapa en la cual inicia la pérdida de humedad en la muestra. Luego se observó una etapa (zona II) con intervalo de temperatura de 100 - 250 °C, donde inicia la descomposición de los extraíbles. Posteriormente se identifica la zona III (250 – 350°C) donde se predomina la descomposición de la hemicelulosa; luego la zona IV (350 – 500 °C) donde se da principalmente la descomposición de la celulosa y lignina. Por último, se encuentra la zona V, a una temperatura mayor de 500°C impera la descomposición de la lignina presente en la biomasa [90].

## CONCLUSIONES

La determinación del análisis próximo de las podas de vid, orujo de uva, cáscara y torta de higuera aunado con los análisis de composición química, permitirán seleccionar la tecnología de conversión energética adecuada para estos residuos. El aprovechamiento de la biomasa seca ( $\%H < 50\%$ ) a través de procesos termoquímicos depende de parámetros como el contenido de humedad, relación del contenido de material volátil y carbono fijo, la composición de las cenizas y el poder calorífico. Asimismo, por medio de la evaluación del porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina, también se pueden establecer vías de conversión bioquímica. A partir de los resultados de composición estructural de la cáscara y podas se concluye, que estos residuos pueden transformados en energía a través de procesos bioquímicos. Los valores del PCS contenido en los residuos, junto con la determinación del análisis elemental y por tanto poder calorífico inferior, permitirá estimar el potencial energético de la región. El análisis termogravimétrico, constituye una ruta para la caracterización térmica de diferentes tipos de biomasa así como evaluar su reactividad y determinar parámetros cinéticos. El proceso de detoxificación de la torta de higuera, unido a los análisis de contenido de proteico, permite establecer a este residuo como un producto de valor agregado y de interés para la industria de producción de alimentos para ganado porcino y vacuno.

## REFERENCIAS

- [1] S. Saval, "Aprovechamiento de residuos agroindustriales: Pasado, presente y futuro," *BioTecnología*, vol. 16, no. 2, pp. 14-46, 2012.
- [2] E. Cabrera Rodríguez, V. León Fernández, A. d. I. C. Montano Pérez, and D. Dopico Ramírez, "Caracterización de residuos agroindustriales con vistas a su aprovechamiento," *Centro Azúcar*, vol. 43, no. 4, pp. 27-35, 2016.
- [3] H.-C. AS and D.-B. MI, "Residuos Agroindustriales con potencial de compostaje," *Agroproductividad*, vol. 9, no. 8, 2016.
- [4] (2015). *Agenda de Innovación de Baja California*.
- [5] H. Escalante, J. Orduz, H. Zapata, M. Cardona, and M. Duarte, "Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia," *Bucaramanga, Colombia. Ediciones Universidad Industrial de Santander*, 2011.
- [6] A. E. d. I. Energía, "Los residuos agrícolas de poda," 2013. [Online]. Available: <http://www.agenex.net/images/stories/deptos/residuos-agricolas-de-poda.pdf>.
- [7] J. G. R. Rojas, M. M. Santoyo, and G. M. López, "Identificación de especies de Higuierilla (*Ricinus communis* L.) en los municipios de Silao de la Victoria y Romita de Liceaga, Gto."
- [8] Torres, "Caracterización fisicoquímica de residuos agrícolas del Valle de Mexicali: paja de trigo y vara de algodón," Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Ingeniería, 2015.
- [9] G. A. Ntalos and A. H. Grigoriou, "Characterization and utilisation of vine prunings as a wood substitute for particleboard production," *Industrial Crops and Products*, vol. 16, no. 1, pp. 59-68, 2002.
- [10] L. Jiménez, V. Angulo, E. García, and A. Rodríguez, "Obtención de pastas celulósicas a partir de sarmientos de vid," *Afinidad*, vol. 61, no. 511, pp. 194-203, 2004.
- [11] L. T. Barragán, Alonso, Arias, "Uso de cenizas procedentes de calderas de biomasa como insumo orgánico en los suelos agrícolas," pp. 168-172
- [12] S. Yasar, E. Guntekin, M. Cengiz, and H. Tanriverdi, "The correlation of chemical characteristics and UF-Resin ratios to physical and mechanical properties of particleboard manufactured from vine prunings," *Scientific Research and Essays*, vol. 5, no. 8, pp. 737-741, 2010.
- [13] J. Hernandez, G. Aranda, G. San Miguel, and A. Bula, "Gasification of grapevine pruning waste in an entrained-flow reactor: gas products, energy efficiency and gas conditioning alternatives," *Global NEST Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 215-27, 2010.

- [14] A. V. Ruales Salcedo, "Evaluación del potencial energético y bioactivo de residuos generados en la producción y transformación de la uva," Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales.
- [15] E. A. A. Demiral Ilknur, "Pyrolysis of grape bagasse: effect of pyrolysis conditions on the product yields and characterization of the liquid product," *Bioresource technology*, vol. 102, no. 4, pp. 3946-3951, 2011.
- [16] G. Toscano, G. Riva, D. Duca, E. F. Pedretti, F. Corinaldesi, and G. Rossini, "Analysis of the characteristics of the residues of the wine production chain finalized to their industrial and energy recovery," *Biomass and bioenergy*, vol. 55, pp. 260-267, 2013.
- [17] E. C. Sousa *et al.*, "Chemical composition and bioactive compounds of grape pomace (*Vitis vinifera* L.), Benitaka variety, grown in the semiarid region of Northeast Brazil," *Food Science and Technology (Campinas)*, vol. 34, no. 1, pp. 135-142, 2014.
- [18] K. R. Corbin *et al.*, "Grape marc as a source of carbohydrates for bioethanol: Chemical composition, pre-treatment and saccharification," *Bioresource Technology*, vol. 193, pp. 76-83, 2015/10/01/ 2015.
- [19] J. H. El Achkar *et al.*, "Anaerobic digestion of grape pomace: Biochemical characterization of the fractions and methane production in batch and continuous digesters," *Waste Management*, vol. 50, pp. 275-282, 2016/04/01/ 2016.
- [20] V. M. Ospina-Guarín, R. Buitrago-Sierra, and D. P. López-López, "Preparación y caracterización de carbón activado a partir de torta de higuera," *Tecno Lógicas*, vol. 17, no. 32, 2014.
- [21] Z. M. Magriotis, M. Z. Carvalho, F. Priscila, F. C. Alves, R. F. Resende, and A. A. Saczk, "Castor bean (*Ricinus communis* L.) presscake from biodiesel production: an efficient low cost adsorbent for removal of textile dyes," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 2, no. 3, pp. 1731-1740, 2014.
- [22] H. N. Chambi, R. S. Lacerda, G. L. Makishi, A. M. Q. Bittante, C. A. Gomide, and P. J. Sobral, "Protein extracted from castor bean (*Ricinus communis* L.) cake in high pH results in films with improved physical properties," *Industrial Crops and Products*, vol. 61, pp. 217-224, 2014.
- [23] T. Oliveira, G. Makishi, H. Chambi, A. Bittante, R. Lourenço, and P. Sobral, "Cellulose fiber reinforced biodegradable films based on proteins extracted from castor bean (*Ricinus communis* L.) cake," *Industrial Crops and Products*, vol. 67, pp. 355-363, 2015.
- [24] T. H. Mohammed, R. Lakhmiri, A. Azmani, and I. I. Hassan, "Bio-oil from pyrolysis of castor shell," *Int J Basic Appl Sci*, pp. 1-5, 2014.

- [25] K. G. Kalogiannis, S. D. Stefanidis, C. M. Michailof, and A. A. Lappas, "Castor bean cake residues upgrading towards high added value products via fast catalytic pyrolysis," *Biomass and Bioenergy*, vol. 95, pp. 405-415, 2016.
- [26] O. Nwigbo, Atuanya, "The Mechanical Properties of Castor Seed Shell-polyester Matrix Composites," vol. 5, pp. 3159-3164
- [27] J. L. Guimarães, A. C. Trindade Cursino, C. Ketzer Saul, M. R. Sierrakowski, L. P. Ramos, and K. G. Satyanarayana, "Evaluation of Castor Oil Cake Starch and Recovered Glycerol and Development of "Green" Composites Based on Those with Plant Fibers," *Materials*, vol. 9, no. 2, p. 76, 2016.
- [28] A. B. D. Sanchez, "Reciclado del orujo de uva como medio solido de fermentacion para la produccion de enzimas hidroliticas de interes industrial," Universidad de Cádiz, 2009.
- [29] (2012). Biomasa, Biocombustibles y sostenibilidad.
- [30] J. de Andalucía, "Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía, 2008," *Consejería de Agricultura y Pesca*.
- [31] M. Deyanira, A. J. Pantoja, and M. F. Cuatin, "Aprovechamiento de residuos agroindustriales como biocombustible y biorefinería," vol. 12, pp. 10-19
- [32] H. Fernández-Puratich, D. Hernández, and C. Tenreiro, "Analysis of energetic performance of vine biomass residues as an alternative fuel for Chilean wine industry," *Renewable Energy*, vol. 83, pp. 1260-1267, 2015.
- [33] S. Anandan, G. A. Kumar, J. Ghosh, and K. Ramachandra, "Effect of different physical and chemical treatments on detoxification of ricin in castor cake," *Animal feed science and technology*, vol. 120, no. 1, pp. 159-168, 2005.
- [34] A. M. V. Osorio, "Estudio de diversidad en variedades de uva de mesa (" Vitis vinifera" L.) y su aplicación al análisis de asociación para caracteres de calidad," Universidad de Alcalá, 2009.
- [35] "Guía básica de vinos," in *Wattpad*, ed.
- [36] M. T. C. Pérez, "Situación actual y bajo escenarios de cambio climático de la industria vitivinícola de Baja California, México."
- [37] SIAP. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola [Online]. Available: [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp)
- [38] R. E. D. E. De Compostaje, *Residuos agrícolas I.I*. Mundi-Prensa, 2014.
- [39] J. García-Lomillo and M. L. González-SanJosé, "Applications of wine pomace in the food industry: approaches and functions," *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 16, no. 1, pp. 3-22, 2017.
- [40] E. Szymanski, "Pomace to Pours, Preservatives, and Power: Dealing with Winery Waste," in *Palate Press*, ed, 2012.

- [41] M. Martínez Rubio, X. d. P. Usaquén Castro, and G. González Martínez, "Evaluación del efecto de pre-tratamientos con ultrasonido sobre nivel de extracción y la actividad de sustancias antioxidantes contenidas en el bagazo de uva (*Vitis vinifera*)," 2012.
- [42] R. R. Hernández and A. Z. Colmenero, "Competitividad de la higuierilla (*Ricinus communis*) para biocombustible en relación a los cultivos actuales en el Edo. de Oaxaca, México," *Revista Mexicana de Agronegocios*, vol. 17, no. 32, pp. 306-318, 2013.
- [43] M. I. Sánchez, R. D. Castañeda, and M. J. Castañeda, "Usos y potencialidad de la Higuierilla (*Ricinus communis*) en sistemas agroforestales en Colombia," *PUBVET*, vol. 10, pp. 448-512, 2015.
- [44] R. D. Luchi, "Plantas del planeta Marte XII según William Lilly," in *Urandia Investigación y Astrología*, ed.
- [45] P. Solera-Steller, I. Moreira-González, and J. Hernández-López, "Descriptores botánicos para caracterizar germoplasmas de *Ricinus communis* de diferentes zonas de Costa Rica," *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 28, no. 1, pp. 37-46, 2015.
- [46] "Higuierilla fuente energética alternativa para producir biodiesel," in *La Crónica*, ed, 2016.
- [47] N. Abdullah, G. F. Najmuldeen, and M. Sakinah, "Cellulose Extraction from Castor Shell," *International Journal of Engineering Sciences and Research Technology*, vol. 2, no. 12, pp. 3463-3466, 2013.
- [48] J. F. González *et al.*, *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética*. Mundi-Prensa Libros, 2015.
- [49] R. García, C. Pizarro, A. G. Lavín, and J. L. Bueno, "Biomass proximate analysis using thermogravimetry," *Bioresource Technology*, vol. 139, pp. 1-4, 7// 2013.
- [50] R. García, C. Pizarro, A. G. Lavín, and J. L. Bueno, "Spanish biofuels heating value estimation. Part II: Proximate analysis data," *Fuel*, vol. 117, pp. 1139-1147, 2014.
- [51] F. S. Nogués, *Energía de la Biomasa (volumen I)*. Universidad de Zaragoza, 2010.
- [52] I. Obernberger and G. Thek, "Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour," *Biomass and Bioenergy*, vol. 27, no. 6, pp. 653-669, 12// 2004.
- [53] R. García, C. Pizarro, A. G. Lavín, and J. L. Bueno, "Characterization of Spanish biomass wastes for energy use," *Bioresource Technology*, vol. 103, no. 1, pp. 249-258, 1// 2012.
- [54] P. McKendry, "Energy production from biomass (part 1): overview of biomass," *Bioresource Technology*, vol. 83, no. 1, pp. 37-46, 5// 2002.
- [55] A. Álvarez Rodríguez, "Caracterización química de biomasa y su relación con el poder calorífico," 2013.



- [56] R. Saidur, E. Abdelaziz, A. Demirbas, M. Hossain, and S. Mekhilef, "A review on biomass as a fuel for boilers," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 5, pp. 2262-2289, 2011.
- [57] C. Telmo and J. Lousada, "The explained variation by lignin and extractive contents on higher heating value of wood," *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 5, pp. 1663-1667, 5// 2011.
- [58] A. Álvarez, C. Pizarro, R. García, and J. L. Bueno, "Spanish biofuels heating value estimation based on structural analysis," *Industrial Crops and Products*, vol. 77, pp. 983-991, 12/23/ 2015.
- [59] E. Castaños, "Lidia con la química," ed, 2015.
- [60] L. Cuervo, J. L. Folch, and R. E. Quiroz, "Lignocelulosa como fuente de azúcares para la producción de etanol," *BioTecnología*, vol. 13, no. 3, pp. 11-25, 2009.
- [61] E. Adler, "Lignin chemistry—past, present and future," *Wood Science and Technology*, journal article vol. 11, no. 3, pp. 169-218, 1977.
- [62] A. N. Glazer and H. Nikaido, *Microbial biotechnology: fundamentals of applied microbiology*. Cambridge University Press, 2007.
- [63] A. Tejado, C. Peña, J. Labidi, J. M. Echeverria, and I. Mondragon, "Physico-chemical characterization of lignins from different sources for use in phenol–formaldehyde resin synthesis," *Bioresource Technology*, vol. 98, no. 8, pp. 1655-1663, 5// 2007.
- [64] D. R. Nhuchhen and P. Abdul Salam, "Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach," *Fuel*, vol. 99, pp. 55-63, 9// 2012.
- [65] G. Montero *et al.*, "Higher heating value determination of wheat straw from Baja California, Mexico," *Energy*, vol. 109, pp. 612-619, 8/15/ 2016.
- [66] E. S. Domalski, T. L. Jobe Jr, and T. A. Milne, "Thermodynamic data for biomass conversion and waste incineration," National Bureau of Standards, Washington, DC (US); Solar Energy Research Inst., Golden, CO (US)1986.
- [67] C. Sheng and J. L. T. Azevedo, "Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data," *Biomass and Bioenergy*, vol. 28, no. 5, pp. 499-507, 5// 2005.
- [68] C.-Y. Yin, "Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses," *Fuel*, vol. 90, no. 3, pp. 1128-1132, 2011.
- [69] A. B. Pérez, "Estado del arte de la calefacción," *Anales de mecánica y electricidad*, 2013.
- [70] N. Camargo and D. Williams, "Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta," *Tecnura*, vol. 16, no. 34, 2012.

- [71] L. Zhang, C. Xu, and P. Champagne, "Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass," *Energy Conversion and Management*, vol. 51, no. 5, pp. 969-982, 5// 2010.
- [72] A. Demirbas, "Combustion of Biomass," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 29, no. 6, pp. 549-561, 2007/04/15 2007.
- [73] P. McKendry, "Energy production from biomass (part 2): conversion technologies," *Bioresource Technology*, vol. 83, no. 1, pp. 47-54, 5// 2002.
- [74] M. Balat, M. Balat, E. Kırıtay, and H. Balat, "Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 1: Pyrolysis systems," *Energy Conversion and Management*, vol. 50, no. 12, pp. 3147-3157, 12// 2009.
- [75] A. Faaij, "Modern Biomass Conversion Technologies," *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, journal article vol. 11, no. 2, pp. 335-367, 2006.
- [76] E. Manals-Cutiño, M. Penedo-Medina, and G. Giralt-Ortega, "Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales," *Tecnología Química*, vol. 31, no. 2, pp. 36-43, 2011.
- [77] *ASTM 870-82. Standard Test Methods for Analysis of Wood Fuels.*, 2013.
- [78] *ASTM E871-82. Standard test method for moisture analysis of particulate wood fuels*, 2006.
- [79] *ASTM E872-82. Standard test method for volatile matter in the analysis of particulate wood fuels*, 2006.
- [80] *ASTM E830-87. Standard test method for ash in the analysis sample of refuse derived fuel*, 2004.
- [81] *TAPPI 264 cm-07. Preparation of wood for chemical analysis.*, 2007.
- [82] *TAPPI T 207 cm – 99. Water solubility of wood and pulp.*, 1999.
- [83] *ASTM D1106-96. Standard test method for acid-insoluble lignin in wood*, 2007.
- [84] *ASTM D1104-56. Method of Test for Holocellulose in Wood*, 1978.
- [85] *ASTM D1103-60. Method of test for alpha-cellulose in wood*, 1977.
- [86] N. MEXICANA, "NMX-F-089-S-1978," *Determinación de extracto etéreo (método Soxhlet) en alimentos*.
- [87] O. F. C. Becerra, "Evaluación del potencial energético de la biomasa residual proveniente de cultivos energéticos," Facultad de Fisicoquímica, Universidad Industrial de Santander, 2008.

- [88] E. Biagini, F. Barontini, and L. Tognotti, "Gasification of agricultural residues in a demonstrative plant: Vine pruning and rice husks," *Bioresource Technology*, vol. 194, pp. 36-42, 10// 2015.
- [89] J. E. White, W. J. Catallo, and B. L. Legendre, "Biomass pyrolysis kinetics: A comparative critical review with relevant agricultural residue case studies," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 91, no. 1, pp. 1-33, 5// 2011.
- [90] G. Raveendran, Khilar, *Fuel*. 1996.

## OTROS PRODUCTOS ACADÉMICOS

1. **Banquez M.**, Montero G., Vázquez A., Coronado M., García C., Camarena A. Caracterización fisicoquímica de residuos agrícolas de baja california: cáscara de higuera y podas de vid. XVII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería.
2. **Banquez M.**, Montero G., Coronado M., García C., Buendía H., Moreno A., Cervantes L. Análisis próximo de cáscara de higuera y podas de vid. Memorias del XIX Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas.
3. **Banquez M.**, Montero G., Coronado M., García C., Buendía H., Moreno A., Cervantes L. Análisis próximo de cáscara de higuera y podas de vid. Certificado de Registro Público del Derecho de Autor.
4. Buendía H., Montero G., García C., Coronado M., **Banquez M.**, Moreno A., Cervantes L. Caracterización fisicoquímica de las podas de eucalipto. Memorias del XIX Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas.
5. Buendía H., Montero G., García C., Coronado M., **Banquez M.**, Moreno A., Cervantes L. Caracterización fisicoquímica de las podas de eucalipto. Certificado de Registro Público del Derecho de Autor.
6. Cervantes L., Coronado M., García C., Montero G., Moreno A., **Banquez M.**, Buendía H. Simulación en aspen plus® de un ciclo rankine para la generación de energía eléctrica a partir de paja de trigo. Memorias del XIX Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas.
7. Cervantes L., Coronado M., García C., Montero G., Moreno A., **Banquez M.**, Buendía H. Simulación en aspen plus® de un ciclo rankine para la generación de energía eléctrica a partir de paja de trigo. Certificado de Registro Público del Derecho de Autor.

8. Moreno A., Coronado M., Montero G., García C., **Banquez M.**, Buendía H., Cervantes L. Análisis próximo y determinación del poder calorífico superior del bagazo cervecero.
9. Moreno A., Coronado M., Montero G., García C., **Banquez M.**, Buendía H., Cervantes L. Análisis próximo y determinación del poder calorífico superior del bagazo cervecero. Certificado de Registro Público del Derecho de Autor.
10. **Banquez M.**, Montero G., Coronado M., García C. Valoración de residuos agroindustriales. X semana de aniversario “En el Valle formando profesionistas para transformar la sociedad”. Escuela de Ingeniería y Negocios, Guadalupe Victoria.

## ANEXOS



### XVII CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA

La Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C.  
otorga la presente

## Constancia

A

María Francis Banquez Sanmartín, Gisela Montero Alpírez, Ana María Vázquez Espinoza, Marcos Alberto Coronado Ortega, Conrado García González, Abigail Moreno Camarena

por su participación con la Presentación en Cartel

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS DE BAJA CALIFORNIA: CÁSCARA DE HIGUERILLA Y PODAS DE VID

Puerto Vallarta, Jal., 25 al 30 de junio de 2017.



Dr. Carlos Regalado González  
Presidente de la SMBB 2016 - 2018



Dr. Adolfo Escalante Lozada  
Presidente del Comité Organizador 2016 - 2018



Dr. Nicolás Oscar Soto Cruz  
Presidente del Comité Científico 2016 - 2018





# XVII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería

25 al 30 de junio de 2017, Puerto Vallarta, Jalisco

## CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS DE BAJA CALIFORNIA: CÁSCARA DE HIGUERILLA Y PODAS DE VID.

**María Banquez,** Gisela Montero, Ana Vázquez, Marcos Coronado, Conrado García, Abigail Moreno. Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali C.P. 21260, [marbanq12@gmail.com](mailto:marbanq12@gmail.com).

**Palabras clave:** Caracterización, cáscara de higuera, podas de vid.

**Introducción.** La cáscara de higuera (Chig) y las podas de vid (Pvid) son fuentes heterogéneas de biomasa. Su caracterización físicoquímica permite determinar su composición física, química y energética. Se realiza con el propósito de analizar y evaluar su comportamiento como material combustible y con ello, se promueve la valorización los residuos agrícolas y se evita su disposición a cielo abierto (1).

Este trabajo tuvo como objetivo determinar las propiedades físicoquímicas de los residuos agrícolas: cáscara de higuera y podas de vid, procedentes de cultivos de Baja California, México.

**Metodología.** Las muestras se prepararon según Torres (2). Para su caracterización se determinó el análisis próximo, análisis de composición química y poder calorífico superior (PCS). El análisis próximo se realizó por triplicado a partir de 1g de muestra, bajo la norma ASTM 870-82. El análisis de composición química se llevó a cabo por duplicado, bajo las normas TAPPI para contenido de material extraíble y ASTM para lignina, hemicelulosa y celulosa. Para obtener el PCS se utilizó una bomba calorimétrica IKA C2000, bajo la norma ASTM 711.

**Resultados.** Los resultados obtenidos del análisis próximo de la Chig y Pvid se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis próximo de la cáscara de higuera y podas de vid

Análisis	Chig		Pvid	
	Obtenido	Rep (3)	Obtenido	Rep (4)
%H	7.74	12.01	9.14	17.60
%MV <sup>a</sup>	62.47	65.61	73.05	80.84
%CE <sup>a</sup>	19.57	6.42	3.70	2.62
%CF <sup>a,b</sup>	17.95	27.97	23.25	16.54

H: humedad, MV: material volátil, CE: cenizas, CF: carbono fijo. Rep: datos reportados en la literatura. a: base seca, b: por diferencia.

Los resultados del análisis de composición química y PCS se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis de composición química y PCS

Análisis	Chig	Pvid
Extraíbles		
Cetona	9.57	11.46
Agua Caliente	51.24	19.72
Lignina	10.41	17.66
Libre de extraíbles		
Hemicelulosa	70.35	78.09
Celulosa	28.90	48.68
Hemicelulosa <sup>a</sup>	41.46	29.41
Contenido energético (J/kg)	PCS	15,275
		17,023

a: por diferencia

En la Figura 1 se observan los distintos extractos y residuos correspondientes en cada etapa de extracción.

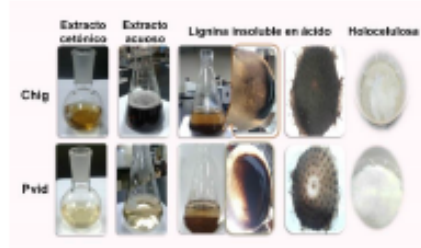


Fig. 1. Análisis de composición química de la Chig y Pvid.

**Conclusiones.** La caracterización físicoquímica de la cáscara de higuera y las podas de vid, mediante la determinación del análisis próximo, análisis de composición química y PCS, permiten seleccionar tecnologías de conversión energética adecuadas para estos residuos. El aprovechamiento energético de la biomasa seca a través de procesos termoquímicos depende de parámetros como el poder calorífico, %H, relación del contenido de MV/CF y composición de CE. Asimismo, por medio de la evaluación del porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina, también es posible establecer vías de transformación bioquímica.

**Agradecimiento.** Se agradece a CONACYT y a UABC por el apoyo en la realización de este proyecto de investigación.

### Bibliografía.

- Nogués F. (2010). Caracterización de los biocombustibles sólidos. En: Energía de la biomasa. Pressas Universitarias de Zaragoza, España. 125-154.
- Torres R. (2015). Caracterización físicoquímica de residuos agrícolas del Valle de Mexicali: paja de trigo y vara de algodón. Tesis de Maestría. Instituto de Ingeniería (UABC), México.
- Corredor O. (2008). Evaluación del potencial energético de la biomasa residual proveniente de cultivos energéticos. Tesis de Licenciatura. Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Biagini E, Barontini F, & Tognotti L. (2015). Gasification of agricultural residues in a demonstrative plant: Vine pruning and rice husks. *Bioresource Technology*. Vol (194):36-42.



**XIX** CONGRESO INTERNACIONAL EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PRODUCCIÓN Y PROTECCIÓN EN PLANTAS



Otorgan la presente  
**CONSTANCIA**

**A: Maria Francis Banquez Sanmartin**

POR SU PARTICIPACIÓN COMO PONENTE CON EL TEMA "ANÁLISIS PRÓXIMO DE CÁSCARA DE HIGUERILLA Y PODAS DE VID".

Mexicali, Baja California, 27 y 28 de octubre de 2016  
"Por la realización plena del hombre"

  
**Dr. Roberto Soto Ortiz**  
Director del Instituto de Ciencias Agrícolas

  
**Dr. Alejandro Manelik Garcia López**  
Presidente

Instituto de Ciencias Agrícolas



## ANÁLISIS PRÓXIMO DE CÁSCARA DE HIGUERILLA Y PODAS DE VID

Banquez Sanmartín María Francis<sup>1</sup>, Montero Alpírez Gisela<sup>1</sup>, Coronado Ortega Marcos<sup>1</sup>, García González Conrado<sup>1</sup>, Buendía Vergara Hernán de Jesús<sup>1</sup>, Moreno Camarena Abigail<sup>1</sup>, Cervantes Ramos Laura<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal S/N, Col. Insurgentes Este, Mexicali, Baja California, CP 21280, México. Email: marbanq12@hotmail.com

### Resumen

La identificación y caracterización de la composición química de un combustible sólido determinado es el paso inicial y más importante durante la investigación y aplicación del mismo. En este trabajo se realizó la determinación del análisis próximo de la cáscara de higuera y las podas de vid, residuos agrícolas de Baja California. De modo que se obtuvo el contenido de humedad, material volátil, cenizas y carbono fijo presente en cada residuo. Para la ejecución de cada análisis se siguieron las metodologías descritas en las normas ASTM. Los porcentajes determinados para la cáscara de higuera fueron, humedad 7.74%, material volátil 62.47%, cenizas 19.57% y carbono fijo 17.95% y para las podas de vid fueron, humedad 9.14%, material volátil 73.05%, cenizas 3.70% y carbono fijo 23.25%.

**Palabras clave:** Análisis próximo, cáscara de higuera, podas de vid.

### Abstract

The identification and characterization of the chemical composition of a solid fuel is the initial step and the most important during the research and application. In this work it was carried out the determination of the proximate analysis from castor shell and vine pruning, agricultural residues of Baja California. Therefore, the moisture content, volatile matter, ash and fixed carbon for each residue were determined. All the analysis were performed according to the methodologies described in the corresponding ASTM standards. The results for castor shell highlighted, moisture 7.74%, volatile matter 62.47%, ash 19.57% and fixed carbon 17.95% and for vine pruning were, moisture 9.14%, volatile matter 73.05%, ash 3.70% and 23.25% fixed carbon.

**Key words:** Proximate analysis, castor shell, vine prunings.

## CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS PODAS DE EUCALIPTO

Buendía Vergara Hernán de Jesús<sup>1</sup>, Montero Alpírez Gisela<sup>1</sup>, García González Conrado<sup>1</sup>, Coronado Ortega Marcos<sup>1</sup>, Banquez Sanmartín María Francis<sup>1</sup>, Moreno Camarena Abigail<sup>1</sup>, Cervantes Ramos Laura Karina<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal S/N, Col. Insurgentes Este, Mexicali, Baja California, CP 21280, México. [mahanayin@gmail.com](mailto:mahanayin@gmail.com)

### Resumen

El eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), es un árbol de rápido crecimiento cuyas podas pueden ser utilizadas para la gasificación. Entre los años 2003 al 2007 se registró en Mexicali un promedio anual de 71.4 hectáreas sembradas. El Instituto de Ingeniería de la UABC, posee un gasificador que se alimenta con residuos agrícolas, como las podas, para producir gas de síntesis y adicionalmente, energía eléctrica como subproducto. La caracterización fisicoquímica del material biomásico a procesar, es de gran importancia debido a que influye directamente sobre la calidad del gas de síntesis. Los resultados del análisis próximo de las podas de eucalipto muestran un 8.08% de humedad, 72.53% de materia volátil, 22.34% de carbono fijo y un 5.13% de cenizas. Además, el análisis de la composición química indica 15.81% de extraíbles totales, 25.58% de lignina y 64.09% de holocelulosa.

**Palabras claves:** análisis próximo, lignocelulosa, gasificación

### Abstract

*Eucalyptus* (*Eucalyptus camaldulensis*) is a fast-growing tree whose branches can be used for gasification. From 2003 to 2007 an annual average of 71.4 hectares was recorded in Mexicali. The Institute of UABC engineering, has a gasifier that uses agricultural wastes to produce syngas and electricity as a byproduct. The physicochemical characterization of the biomass, is very important because this directly affects the quality of the syngas. The results of the proximate analysis of eucalyptus branches show 8.08% moisture, 72.53% volatile matter, 22.34% fixed carbon and 5.13% ash. Moreover, the chemical composition analysis indicated 15.81% of total extractable, 25.58% 64.09% lignin and holocellulose.

**Keywords:** proximate analysis, lignocellulose, gasification.

## ANÁLISIS PRÓXIMO Y DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO SUPERIOR DEL BAGAZO CERVECERO

Moreno Camarena Abigail<sup>1</sup>, Coronado Ortega Marcos A.<sup>1</sup>, Montero Alpírez Gisela<sup>1</sup>,  
García González Conrado<sup>1</sup>, Banquez Sanmartín María Francis<sup>1</sup>, Buendía Vergara  
Hernán de Jesús<sup>1</sup>, Cervantes Ramos Laura K.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, Laboratorio de Biocombustibles. Blvd.  
Benito Juárez s/n, C.P. 21250, Mexicali, Baja California, México. [moreno.abigail@uabc.edu.mx](mailto:moreno.abigail@uabc.edu.mx)

### Resumen

La industria cervecera genera como principal subproducto el bagazo cervecero. En Mexicali, Baja California, se generaron más de 54 toneladas de bagazo en 2015 y se estima que la cifra se cuadruplicará en 2017. El bagazo cervecero es un material lignocelulósico disponible durante todo el año y de bajo costo. Este tipo de biomasa puede ser transformada en productos de valor agregado tales como el bioetanol o el biogás, entre otros. Con la finalidad de elegir el tipo de conversión más adecuado, fue necesario evaluar las propiedades fisicoquímicas de la biomasa. Es por ello, que, en el presente trabajo se realizó el análisis próximo y se determinó el poder calorífico superior del bagazo cervecero. Se obtuvieron los siguientes resultados del análisis próximo: 72.32% de humedad, 78.47% de materia volátil, 17.48% de carbono fijo y 4.05% de cenizas. El poder calorífico superior obtenido experimentalmente fue 18.70 MJ/kg. Tal resultado de humedad, sugiere que las técnicas de conversión bioquímicas, como la fermentación y digestión, son adecuadas para transformar el bagazo cervecero en un biocombustible.

**Palabras Clave:** Biomasa residual, revalorización, biocombustible.

### Abstract

Brewer spent grain is the main byproduct of the brewer industry. By 2015 more than 54 tons of brewer spent grain were generated in Mexicali, Baja California and it is estimated that this number will quadruple by 2017. The brewer spent grain is a low-cost lignocellulosic material available throughout the year. This biomass resource can be transformed into value-added products such as bioethanol, biogas, among others. For the selection of the most appropriate type of conversion of biomass it is necessary to evaluate its physicochemical properties. Therefore, the proximate analysis and the higher heating value of the brewer spent grain were determined. The results of the proximate analysis highlighted 72.32% moisture, 78.47% volatile matter, fixed carbon 17.48% and 4.05% ash. The experimental higher heating value of the

# CERTIFICADO

## Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la OBRA cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

**AUTORES:** BANQUEZ SANMARTIN MARIA FRANCIS  
BUENDIA VERGARA HERNAN DE JESUS  
CERVANTES RAMOS LAURA KARINA  
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
GARCIA GONZALEZ CONRADO  
MONTERO ALPIREZ GISELA  
MORENO CAMARENA ABIGAIL

**TITULO:** ANALISIS PROXIMO DE CASCARA DE HIGUERILLA Y PODAS DE VID

**RAMA:** COMPILACION DE DATOS (BASE DE DATOS)

**TITULARES:** BANQUEZ SANMARTIN MARIA FRANCIS  
BUENDIA VERGARA HERNAN DE JESUS  
CERVANTES RAMOS LAURA KARINA  
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
GARCIA GONZALEZ CONRADO  
MONTERO ALPIREZ GISELA  
MORENO CAMARENA ABIGAIL

Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracciones I, II y III de la Ley Federal del Derecho de Autor, el presente certificado no ampara: las ideas en sí mismas, las fórmulas, soluciones, conceptos, métodos, sistemas, principios, descubrimientos, procesos e invenciones de cualquier tipo; el aprovechamiento industrial o comercial de las ideas contenidas en las obras; los esquemas, planes o reglas para realizar actos mentales, juegos o negocios.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 107 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las bases de datos o de otros materiales legibles por medio de máquinas o en otra forma, que por razones de selección y disposición de su contenido constituyan creaciones intelectuales, quedarán protegidas como compilaciones. Dicha protección no se extenderá a los datos y materiales en sí mismos.

Con fundamento en el artículo 13 último párrafo de la Ley Federal del Derecho de Autor, las obras que por analogía puedan considerarse obras literarias o artísticas se incluirán en la rama que les sea más afín a su naturaleza.

Con fundamento en el artículo 237 de la Ley Federal del Derecho de Autor, los afectados por los actos y resoluciones emitidos por el Instituto que pongan fin a un procedimiento administrativo, a una instancia o resuelvan un expediente, podrán interponer recurso de revisión en los términos de la Ley Federal del Procedimiento Administrativo.

Con fundamento en el artículo 9 fracción I del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, corresponde al Director del Registro del Derecho de Autor expedir los certificados de registro de las obras que establece la Ley y su Reglamento, así como determinar la rama en que deberán registrarse las obras que por su analogía puedan considerarse literarias o artísticas.

03-2016-120610525400-01

Página 1 de 2

CULTURA  
SECRETARÍA DE CULTURA



*[Firma manuscrita]*  
SECRETARÍA DE CULTURA

# CERTIFICADO

## Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la OBRA cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

**AUTORES:** BANQUEZ SANMARTIN MARIA FRANCIS  
BUENDIA VERGARA HERNAN DE JESUS  
CERVANTES RAMOS LAURA KARINA  
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
GARCIA GONZALEZ CONRADO  
MONTERO ALPIREZ GISELA  
MORENO CAMARENA ABIGAIL

**TITULO:** CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LAS PODAS DE EUCALIPTO

**RAMA:** COMPILACION DE DATOS (BASE DE DATOS)

**TITULARES:** BANQUEZ SANMARTIN MARIA FRANCIS  
BUENDIA VERGARA HERNAN DE JESUS  
CERVANTES RAMOS LAURA KARINA  
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
GARCIA GONZALEZ CONRADO  
MONTERO ALPIREZ GISELA  
MORENO CAMARENA ABIGAIL

Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracciones I, II y III de la Ley Federal del Derecho de Autor, el presente certificado no ampara las ideas en sí mismas, las fórmulas, soluciones, conceptos, métodos, sistemas, principios, descubrimientos, procesos e invenciones de cualquier tipo; el aprovechamiento industrial o comercial de las ideas contenidas en las obras; los esquemas, planes o reglas para realizar actos mentales, juegos o negocios.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 107 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las bases de datos o de otros materiales legibles por medio de máquinas o en otra forma, que por razones de selección y disposición de su contenido constituyan creaciones intelectuales, quedarán protegidas como compilaciones. Dicha protección no se extenderá a los datos y materiales en sí mismos.

Con fundamento en el artículo 13 último párrafo de la Ley Federal del Derecho de Autor, las obras que por analogía puedan considerarse obras literarias o artísticas se incluirán en la rama que les sea más afín a su naturaleza.

Con fundamento en el artículo 237 de la Ley Federal del Derecho de Autor, los afectados por los actos y resoluciones emitidos por el Instituto que pongan fin a un procedimiento administrativo, a una instancia o resuelvan un expediente, podrán interponer recurso de revisión en los términos de la Ley Federal del Procedimiento Administrativo.

Con fundamento en el artículo 9 fracción I del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, corresponde al Director del Registro del Derecho de Autor expedir los certificados de registro de las obras que establece la Ley y su Reglamento, así como determinar la rama en que deberán registrarse las obras que por su analogía puedan considerarse literarias o artísticas.

03-2016-120610513100-01

Página 1 de 2



# CERTIFICADO

## Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 166, 168, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la OBRA cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

**AUTORES:** BANQUEZ SANMARTIN MARIA FRANCIS  
BUENDIA VERGARA HERNAN DE JESUS  
CERVANTES RAMOS LAURA KARINA  
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
GARCIA GONZALEZ CONRADO  
MONTERO ALPIREZ GISELA  
MORENO CAMARENA ABIGAIL

**TITULO:** SIMULACION EN ASPEN PLUS DE UN CICLO RANKINE PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA A PARTIR DE PAJA DE TRIGO

**RAMA:** COMPILACION DE DATOS (BASE DE DATOS)

**TITULARES:** BANQUEZ SANMARTIN MARIA FRANCIS  
BUENDIA VERGARA HERNAN DE JESUS  
CERVANTES RAMOS LAURA KARINA  
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
GARCIA GONZALEZ CONRADO  
MONTERO ALPIREZ GISELA  
MORENO CAMARENA ABIGAIL

Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracciones I, II y III de la Ley Federal del Derecho de Autor, el presente certificado no ampara las ideas en sí mismas, las fórmulas, soluciones, conceptos, métodos, sistemas, principios, descubrimientos, procesos e invenciones de cualquier tipo; el aprovechamiento industrial o comercial de las ideas contenidas en las obras; los esquemas, planes o reglas para realizar actos mentales, juegos o negocios.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 107 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las bases de datos o de otros materiales legibles por medio de máquinas o en otra forma, que por razones de selección y disposición de su contenido constituyan creaciones intelectuales, quedarán protegidas como compilaciones. Dicha protección no se extenderá a los datos y materiales en sí mismos.

Con fundamento en el artículo 13 último párrafo de la Ley Federal del Derecho de Autor, las obras que por analogía puedan considerarse obras literarias o artísticas se incluirán en la rama que les sea más afín a su naturaleza.

Con fundamento en el artículo 237 de la Ley Federal del Derecho de Autor, los afectados por los actos y resoluciones emitidos por el Instituto que pongan fin a un procedimiento administrativo, a una instancia o resuelvan un expediente, podrán interponer recurso de revisión en los términos de la Ley Federal del Procedimiento Administrativo.

Con fundamento en el artículo 9 fracción I del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, corresponde al Director del Registro del Derecho de Autor expedir los certificados de registro de las obras que establece la Ley y su Reglamento, así como determinar la rama en que deberán registrarse las obras que por su analogía puedan considerarse literarias o artísticas.

03-2016-120610565300-01

Página 1 de 2

CULTURA  
SECRETARÍA DE CULTURA



*[Firma manuscrita]*

# CERTIFICADO

## Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

**AUTORES:** BANQUEZ SANMARTIN MARIA FRANCIS  
BUENDIA VERGARA HERNAN DE JESUS  
CERVANTES RAMOS LAURA KARINA  
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
GARCIA GONZALEZ CONRADO  
MONTERO ALPIREZ GISELA  
MORENO CAMARENA ABIGAIL

**TITULO:** ANALISIS PROXIMO Y DETERMINACION DEL PODER CALORIFICO SUPERIOR DEL BAGAZO CERVECERO

**RAMA:** COMPILACION DE DATOS (BASE DE DATOS)

**TITULARES:** BANQUEZ SANMARTIN MARIA FRANCIS  
BUENDIA VERGARA HERNAN DE JESUS  
CERVANTES RAMOS LAURA KARINA  
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
GARCIA GONZALEZ CONRADO  
MONTERO ALPIREZ GISELA  
MORENO CAMARENA ABIGAIL

Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracciones I, II y III de la Ley Federal del Derecho de Autor, el presente certificado no ampara las ideas en sí mismas, las fórmulas, soluciones, conceptos, métodos, sistemas, principios, descubrimientos, procesos e invenciones de cualquier tipo; el aprovechamiento industrial o comercial de las ideas contenidas en las obras; los esquemas, planes o reglas para realizar actos mentales, juegos o negocios.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 107 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las bases de datos o de otros materiales legibles por medio de máquinas o en otra forma, que por razones de selección y disposición de su contenido constituyan creaciones intelectuales, quedarán protegidas como compilaciones. Dicha protección no se extenderá a los datos y materiales en sí mismos.

Con fundamento en el artículo 13 último párrafo de la Ley Federal del Derecho de Autor, las obras que por analogía puedan considerarse obras literarias o artísticas se incluirán en la rama que les sea más afín a su naturaleza.

Con fundamento en el artículo 237 de la Ley Federal del Derecho de Autor, los afectados por los actos y resoluciones emitidos por el Instituto que pongan fin a un procedimiento administrativo, a una instancia o resuelvan un expediente, podrán interponer recurso de revisión en los términos de la Ley Federal del Procedimiento Administrativo.

Con fundamento en el artículo 9 fracción I del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, corresponde al Director del Registro del Derecho de Autor expedir los certificados de registro de las obras que establece la Ley y su Reglamento, así como determinar la rama en que deberán registrarse las obras que por su analogía puedan considerarse literarias o artísticas.

03-2016-120610553900-01

Página 1 de 2

CULTURA  
SECRETARÍA DE CULTURA



*[Handwritten signature]*  
E. N. N. N. N. N.



Universidad Autónoma de Baja California  
Escuela de Ingeniería y Negocios, Guadalupe Victoria



Otorga la presente  
**CONSTANCIA**

A:


*Q. María Francis Banquez Sanmartin*

Por su valiosa participación en impartir la conferencia:  
"Valoración de Residuos Agroindustriales"

Dentro del marco de la 10ma. Semana de Aniversario:  
"En el Valle formando profesionistas para transformar la sociedad"

Mexicali, B.C., a 17 de noviembre de 2016  
"Por la realización plena del hombre"



  
Dra. Ana María Yáñez Espinoza  
Directora de la Escuela de Ingeniería y Negocios,  
Guadalupe Victoria

