

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**INSTITUTO DE INGENIERÍA**

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



**“Caracterización fisicoquímica e hidrólisis del bagazo  
cervecero para la obtención de azúcares reductores”**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA**

**PRESENTA**

**Abigail Moreno Camarena**

**DIRECTOR DE TESIS**

**Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega**

**CO-DIRECTORA DE TESIS**

**Dra. Gisela Montero Alpírez**

**Mexicali, Baja California**

**Noviembre de 2017**

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría.

Agradezco al Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, por recibirme, por apoyarme en la realización del presente trabajo y por la formación académica. En especial, a mis directores de tesis el Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega y la Dra. Gisela Montero Alpírez, por darme la oportunidad de ser su alumna, por su motivación y por su orientación.

De igual manera, agradezco a los Doctores; Héctor Enrique Campbell Ramírez, Conrado García González, Mónica Carrillo Beltrán y Tito Enrique Herrera Larrasilla. Porque sus consejos, siempre buenos, se ven reflejados en mi trabajo de tesis.

A mi querido Rafael González Mosqueda, por ser mi porrista #1, por inspirarme y por ser mi cervecero de cabecera.

# CONTENIDO

LISTADO DE TABLAS.....	v
LISTADO DE FIGURAS.....	vi
ABREVIATURAS.....	viii
RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
1 INTRODUCCIÓN .....	3
1.1 JUSTIFICACIÓN .....	4
1.2 OBJETIVOS.....	5
1.2.1 OBJETIVO GENERAL .....	5
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
1.3 HIPÓTESIS.....	5
2 MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 POTENCIAL DE LOS RECURSOS BIOMÁSICOS .....	6
2.1.1 COMPOSICIÓN DE LA BIOMASA .....	6
2.1.2 APLICACIONES POTENCIALES DE LA BIOMASA .....	7
2.2 IMPACTO DE LA INDUSTRIA CERVECERA .....	11
2.2.1 PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE CERVEZA.....	12
2.2.2 INDUSTRIA CERVECERA ARTESANAL MEXICANA .....	14
2.2.3 PROCESO GENERAL DE ELABORACIÓN DE CERVEZA .....	14
2.2.4 PRINCIPALES RESIDUOS DE LA INDUSTRIA CERVECERA .....	15
2.3 BAGAZO CERVECERO .....	16
2.3.1 APLICACIONES DEL BAGAZO CERVECERO.....	18
2.3.2 PRODUCCIÓN DE BIOETANOL Y XILITOL A PARTIR DEL BAGAZO CERVECERO.....	20
2.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL BAGAZO CERVECERO .....	21
2.4.1 ANÁLISIS PRÓXIMO .....	21
2.4.2 ANÁLISIS QUÍMICO .....	22
2.4.3 ANÁLISIS ÚLTIMO .....	24
2.4.4 PODER CALORÍFICO .....	24
2.5 OBTENCIÓN DE AZÚCARES DE LA BIOMASA .....	25
2.5.1 PRETRATAMIENTOS DE LA LIGNOCELULOSA.....	25

2.5.2	TÉCNICAS DE HIDRÓLISIS DE LA LIGNOCELULOSA PARA LA OBTENCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES .....	26
2.5.3	MÉTODO DNS PARA CUANTIFICACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES .....	27
3	ESTIMACIÓN DEL BAGAZO CERVECERO GENERADO EN MEXICALI, BAJA CALIFORNIA .....	28
4	CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL BAGAZO CERVECERO .....	30
4.1	RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DEL BAGAZO CERVECERO .....	31
4.2	MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
4.2.1	ANÁLISIS PRÓXIMO .....	31
4.2.2	ANÁLISIS QUÍMICO .....	33
4.2.3	ANÁLISIS ÚLTIMO .....	37
4.2.4	DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO SUPERIOR .....	37
4.2.5	ESTIMACIÓN DEL PODER CALORÍFICO INFERIOR .....	38
4.2.6	ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE CENIZAS .....	38
4.2.7	ANÁLISIS MORFOLÓGICO POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO .....	38
4.2.8	ANÁLISIS DE EXTRAÍBLES EN ACETONA POR ESPECTROSCOPÍA DE INFRARROJO .....	39
4.3	DISCUSIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES .....	39
4.3.1	ANÁLISIS PRÓXIMO .....	39
4.3.2	ANÁLISIS QUÍMICO .....	41
4.3.3	ANÁLISIS ÚLTIMO .....	42
4.3.4	DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO SUPERIOR .....	43
4.3.5	ESTIMACIÓN DEL PODER CALORÍFICO INFERIOR .....	43
4.3.6	ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE CENIZAS .....	46
4.3.7	ANÁLISIS MORFOLÓGICO POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO .....	46
4.3.8	ANÁLISIS DE EXTRAÍBLES EN ACETONA POR ESPECTROSCOPÍA DE INFRARROJO .....	48
5	HIDRÓLISIS DEL BAGAZO CERVECERO .....	50
5.1	DISEÑO DE EXPERIMENTOS .....	50
5.2	MATERIALES Y MÉTODOS .....	51
5.2.1	HIDRÓLISIS CON ÁCIDO DILUÍDO .....	51
5.2.2	CUANTIFICACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES MEDIANTE EL MÉTODO DNS .....	52
5.3	DISCUSIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA HIDRÓLISIS .....	55

5.3.1	PÉRDIDA DE MASA.....	55
5.3.2	CONCENTRACIÓN DE XILOSA.....	58
5.3.3	CONCENTRACIÓN DE FRUCTOSA.....	62
6	CONCLUSIONES .....	65
7	RECOMENDACIONES Y TRABAJO A FUTURO .....	67
	REFERENCIAS .....	68
	OTROS PRODUCTOS ACADÉMICOS .....	78
	ANEXOS .....	80

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la biomasa .....	6
Tabla 2. Ejemplos de aplicaciones de la biomasa como bioproductos [11], [12] .....	8
Tabla 3. Principales países productores de cerveza .....	13
Tabla 4. Estado actual de las cervecerías artesanales en México .....	14
Tabla 5. Estudios relacionados con las aplicaciones del bagazo cervecero.....	18
Tabla 6. Solubilidad de los extraíbles .....	22
Tabla 7. Comparación de pretratamientos de la lignocelulosa .....	25
Tabla 8. Métodos y condiciones de hidrólisis con ácido diluido de biomasa lignocelulósica.....	26
Tabla 9. Generación de bagazo cervecero en 2015.....	28
Tabla 10. Generación de bagazo cervecero en 2016 y proyección para el 2018 .....	29
Tabla 11. Procedimientos para la caracterización fisicoquímica del bagazo cervecero.....	30
Tabla 12. Resultados experimentales del análisis próximo del bagazo cervecero .....	40
Tabla 13. Comparación de análisis próximo del bagazo cervecero .....	40
Tabla 14. Resultados experimentales del análisis químico del bagazo cervecero .....	41
Tabla 15. Comparación de análisis químico del bagazo cervecero .....	42
Tabla 16. Análisis último del bagazo cervecero.....	42
Tabla 17. Poder calorífico superior del bagazo cervecero.....	43
Tabla 18. Comparación de poder calorífico superior e inferior entre diferentes materiales.....	44
Tabla 19. Análisis EDXRF de las cenizas del bagazo cervecero .....	46
Tabla 20. Factores y niveles del diseño de experimentos .....	50
Tabla 21. Diseño del experimento de hidrólisis del bagazo cervecero .....	50
Tabla 22. Variable de respuesta pérdida de masa .....	56
Tabla 23. Datos para el ANOVA de la variable de respuesta pérdida de masa .....	57
Tabla 24. Anova de la pérdida de masa.....	57
Tabla 25. Variable de respuesta concentración de xilosa .....	58
Tabla 26. Estimación del rendimiento de la hidrólisis del xilano.....	60
Tabla 27. Datos para el ANOVA de la variable de respuesta concentración de xilosa .....	60
Tabla 28. ANOVA de la variable de respuesta concentración xilosa .....	61
Tabla 29. Variable de respuesta concentración de fructosa .....	62
Tabla 30. Datos para el análisis de la variable de respuesta fructosa .....	63
Tabla 31. ANOVA de la variable de respuesta concentración de fructosa .....	63

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de las principales microcervecías en Mexicali, Baja California. Fuente: elaboración propia .....	4
Figura 2. Componentes lignocelulósicos en una planta. Fuente: modificado de Rubin [10] .....	7
Figura 3. Flujo conceptual de la bioenergía. Fuente: modificado de FAO [13] .....	9
Figura 4. Conversión de biomasa en bioenergía. Fuente: modificado de Saidur et al. [8].....	10
Figura 5. Representación de los volúmenes de producción y valores de los bioproductos y bioenergéticos en una biorrefinería. Fuente: modificación de Budzianowski et al. [12].....	11
Figura 6. Producción de cerveza a nivel mundial. Fuente: elaboración propia a partir de Statista [18] .....	12
Figura 7. Producción y consumo de cerveza en México. Fuente: Elaboración propia a partir de Cerveceros de México [20].....	13
Figura 8. Proceso de elaboración de cerveza. Fuente: modificación de Novozymes [22].....	15
Figura 9. Diagrama de los componentes de un grano de cebada. Fuente: modificación de Mallet [3] .....	16
Figura 10. Proceso de la generación del bagazo cervecero. Fuente: Elaboración propia .....	17
Figura 11. Enlace $\beta$ -1-4-glicosídico en la celobiosa, 4-o- $\beta$ -D-glucopiranosil-D-glucopiranosa, la unidad fundamental de la glucosa. Fuente: modificado de Bonechi et al. [75] .....	23
Figura 12. Estructura química de las unidades de hemicelulosa. Fuente: modificación de Wang & Luo [9] ...	24
Figura 13. bagazo cervecero a) sin tratamientos, b) seco, c) molido y tamizado a 0.5 mm. Fuente: elaboración propia .....	31
Figura 14. Análisis químico a) extraíbles en acetona, b) extraíbles en agua caliente, c) lignina. Fuente: elaboración propia .....	34
Figura 15. Determinación de holocelulosa a) montaje, b) holocelulosa sin filtrar, c) holocelulosa. Fuente: elaboración propia .....	36
Figura 16. Extraíbles en acetona del bagazo cervecero. Fuente: Elaboración propia .....	39
Figura 17. Análisis próximo a) bagazo sin humedad, b) bagazo sin materia volátil, c) cenizas. Fuente: elaboración propia .....	39
Figura 18. Comparación de combustibles en diagrama de Van Krevelen. Fuente: modificado de Basu [125]	45
Figura 19. Comparación entre biomásas en diagrama de Van Krevelen. Fuente: modificación de Strezov [126] .....	45
Figura 20. Micrografías a) grano de malta 2-row sin procesar, b) corte transversal del grano de malta, c) cáscara y endosperma almidonoso del grano de malta, d) grano de malta después de ser macerado, e) corte transversal del grano de malta macerado y f) cáscara del grano de malta macerado. Fuente: elaboración propia .....	47
Figura 21. Identificación de partes de un grano de malta 2-row. Fuente: elaboración propia.....	48
Figura 22. Espectro IR de los extraíbles en acetona del bagazo cervecero. ....	49
Figura 23. Análisis del espectro IR de los extraíbles en acetona. Donde todos los valores están dados en $\text{cm}^{-1}$ . Fuente: Elaboración propia .....	49
Figura 24. Proceso de hidrólisis y cuantificación de azúcares reductores. Fuente elaboración propia .....	51
Figura 25. Curva de referencia de la concentración de fructosa. Fuente: elaboración propia. Fuente: elaboración propia .....	53
Figura 26. Barrido espectral de concentración máxima y mínima de xilosa preparada por Método DNS. Fuente: elaboración propia .....	54
Figura 27. Curva de referencia de la concentración de xilosa. Fuente: elaboración propia .....	54
Figura 28. Cambio de coloración en muestras preparadas con solución DNS. Fuente: elaboración propia....	55
Figura 29. Residuos sólidos de la hidrólisis. Fuente: elaboración propia .....	55

Figura 30. Comparación de la pérdida de masa en diferentes condiciones .....	58
Figura 31. Comparación de la recuperación de xilosa .....	62
Figura 32. Comparación de la recuperación de fructosa.....	64

## ABREVIATURAS

°C	Grados Celsius
% v/v	Porcentaje volumen del soluto por volumen del solvente
ACERMEX	Asociación Cervecera de la República Mexicana
AFEX	Amonnia Fiber Expansion
ASTM	American Society for Testing and Materials
AX	Arabinosilano
BSG	Brewer's Spent Grain (bagazo cervecero)
cm <sup>-1</sup>	Centímetro recíproco
CG	Cromatografía de gases
DF	Dietary fiber (fibra dietética)
DNS	Ácido 3,5-Dinitrosalicílico
DOE	Design of Experiments (diseño de experimentos)
EDXRF	Energy Dispersive X-ray Fluorescence (Fluorescencia de Energía Dispersiva de rayos X)
FAN	Free Amino Nitrogen (Amino-Nitrógeno libre)
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier)
g	Gramo
g/L	Gramo por litro
h	Hora
hL	Hectolitro (10 <sup>2</sup> L)
HMF	Hidroximetilfurfural
HPLC	High-Performance Liquid Chromatography (Cromatografía Líquida de Alta Resolución)
HTU	Hydrothermal Upgrading
IEA	International Energy Agency
IR	Infrared Radiation (Radiación Infrarroja)
J	Joules
kg	Kilogramo (10 <sup>3</sup> g)
kJ/kg	Kilojoule por kilogramo
kV	kilovolt (10 <sup>3</sup> volts)
MJ/kg	Megajoule por kilogramo
min	Minuto
mL	Mililitro (10 <sup>-3</sup> L)
mm	Milímetro (10 <sup>-3</sup> m)
nm	Nanómetro (10 <sup>-9</sup> m)
NREL	National Renewable Energy Laboratory
Pa	Pascal
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior

RLS	Relación líquido: sólido
SEM	Scanning Electron Microscopy (Microscopía Electrónica de Barrido)
SPORL	Sulfite Pretreatment to Overcome Recalcitrance of Lignocellulose
t	toneladas ( $10^6$ g)
TAPPI	Technical Association of Pulp and Paper
UV-VIS	Espectroscopía Ultravioleta-Visible

## RESUMEN

La industria cervecera en Mexicali, Baja California, es un sector productor próspero compuesto de, al menos, 18 microcervecerías. La principal materia prima utilizada en la producción de cerveza es la malta. Ésta es molida, macerada y filtrada, generando como residuo biomásico el bagazo cervecero. Se estima que en 2016 fueron generadas 287.55 t de bagazo húmedo (65.22 t, bagazo seco) y se espera un aumento del 206% para el 2018. El bagazo cervecero es un material lignocelulósico abundante, disponible durante todo el año y de bajo costo. El bagazo es utilizado principalmente como alimento de ganado, sin embargo, éste puede ser aprovechado como materia prima para la producción de bioproductos y biocombustibles. La biomasa lignocelulósica puede ser procesada mediante hidrólisis y fermentación para la obtención de bioetanol y xilitol. La hidrólisis es una etapa clave, ya que a partir de ésta se obtienen los azúcares reductores, que son posteriormente fermentados. Es por ello, que el objetivo del presente trabajo fue realizar la caracterización fisicoquímica e hidrólisis del bagazo cervecero para la obtención de azúcares reductores. La metodología aplicada para la caracterización fisicoquímica incluye los análisis próximo (contenido de humedad, cenizas y poder calorífico), químico (porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina) y análisis último de acuerdo con las normas y procedimientos aplicables ASTM, TAPPI y NREL.

Entre los resultados más destacables de dicha caracterización se encontró que el bagazo cervecero tiene un contenido de humedad de 77.32% y en base seca su composición es materia volátil de 78.47%, cenizas de 4.05% y carbono fijo de 17.48%. Además, a partir del análisis químico se determinó que el bagazo contiene 5.23% de extraíbles en acetona, 50.25% de extraíbles en agua caliente, 17.13% de lignina, 26.80% de celulosa y 37.17% de hemicelulosa. Del análisis último se cuantificó que el bagazo contiene 43.59% C, 6.18% H, 37.22% O y 3.46% N. También, se determinó que los PCS y PCI del bagazo cervecero son 18.70 MJ/kg y 17.35 MJ/kg, respectivamente. Por otra parte, la hidrólisis del bagazo cervecero se llevó a cabo siguiendo un DOE factorial. Como resultado, se obtuvo que las variables de temperatura, tiempo y concentración de ácido afectan significativamente la obtención de azúcares reductores y la pérdida de masa durante la hidrólisis. Las condiciones óptimas encontradas dentro del diseño de experimentos fueron: 200°C, 20 min y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5% (v/v). Bajo esas condiciones se obtuvo 10.37 g/L de xilosa, 9.78 g/L de fructosa y 72.53% de consumo de masa de la muestra.

**Palabras clave:** bagazo cervecero, microcervecerías, caracterización fisicoquímica, bioetanol, xilitol.

## ABSTRACT

The brewing industry in Mexicali, Baja California, is composed of at least 18 microbreweries. Malt barley is one of the main ingredients in brewing. It is ground, macerated and filtered, generating as biomass residue the brewer's spent grain (BSG). In 2016, about 287.55 t of wet BSG (65.22 t, dry BSG) were generated and, by 2018, an increase of 206% is expected. BSG is an abundant lignocellulosic material, available at low cost throughout the year. The main use of BSG is cattle feed; however, it may be used as a feedstock for the bioproducts and biofuels production. Biomass can be processed into bioethanol and xylitol by hydrolysis and fermentation. Hydrolysis is a key step, since fermentable sugars are obtained at this stage. Therefore, the objective of the present work was to carry out the physicochemical characterization and to hydrolyze the BSG to obtain reducing sugars. The physicochemical characterization includes proximate analysis (moisture, ash, volatile matter, fixed carbon), chemical analysis (cellulose, hemicellulose and lignin) and ultimate analysis, according to the applicable standards and procedures ASTM, TAPPI and NREL.

Among the most outstanding results of the physicochemical characterization, it was found that the BSG has a moisture content of 77.32%, volatile matter of 78.47%, ash of 4.05% and fixed carbon of 17.48%. In addition, the BSG contains 5.23% of acetone extractives, 50.25% hot water extractives, 17.13% lignin, 26.80% cellulose and 37.17% hemicellulose. From the ultimate analysis it was determined that the BSG contains 43.59% of C, 6.18% H, 37.22% O and 3.46% N. Also, it was determined the HHV and LHV of the BSG, being these 18.70 MJ/kg and 17.35 MJ/kg, respectively. On the other hand, the hydrolysis of the BSG was carried out as stated in a factorial DOE. As a result, it was obtained that temperature, time and acid concentration are significant variables that affect the hydrolysis products. The optimal conditions found within the DOE were: 200°C, 20 min and 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (v/v). Under these conditions, 10.37 g/L of xylose, 9.78 g/L fructose and 72.53% mass loss were obtained.

**Keywords:** brewer's spent grain, microbreweries, physicochemical characterization, xylitol, bioethanol.

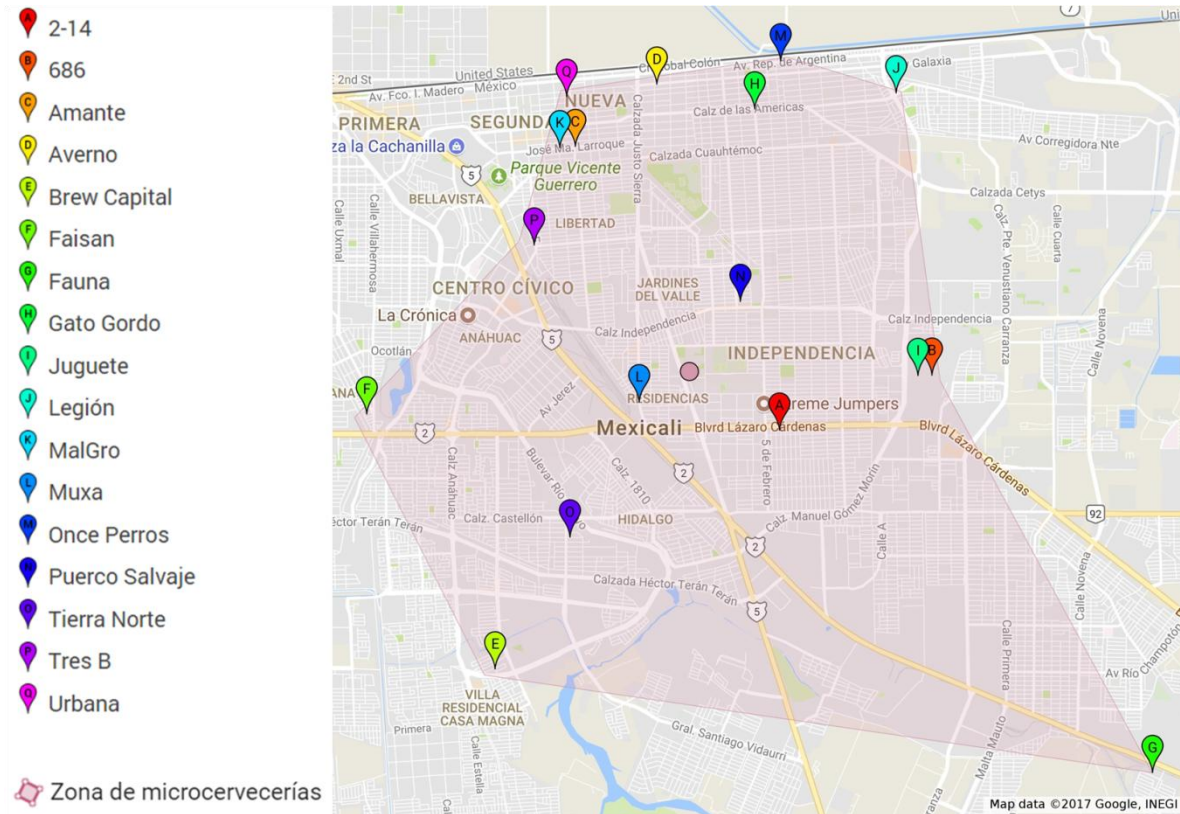
## 1 INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Mexicali, Baja California, la industria cervecera es un sector productor con no más de diez años, que ha venido creciendo de manera sobresaliente en los últimos dos años. En 2016, este sector estaba conformado por al menos 18 microcervecías, las cuales tienen intención y capacidad para aumentar su producción. A la vez que aumenta su producción, lo hacen los desechos generados por éstas. El principal desecho de la industria cervecera es el bagazo cervecero o bagazo de malta, representando aproximadamente el 85% y en menor cantidad la levadura y el lúpulo residual [1]. La disposición de este tipo de desechos hacia el ambiente causa daño en el ecosistema debido a su alto contenido de materia orgánica [2]. Lo cual conlleva a una búsqueda de alternativas sustentables para la disposición de los residuos generados por dicha industria, principalmente del bagazo cervecero.

El bagazo cervecero proviene del procesamiento de la malta, una de las principales materias primas en las cervecías. Ésta aporta azúcares fermentables y nutrientes, así como color, sabor y cuerpo en la cerveza [3]. Por cada 100 kg de malta procesada se generan entre 125 y 130 kg de bagazo, con un contenido de humedad que varía entre 50 y 85% según la técnica de filtrado usada. Se estima que por cada 100 L de cerveza producida se generan de 14 a 20 kg de bagazo [2].

A partir de la información proporcionada por las principales microcervecías ubicadas en Mexicali (ver Figura 1), se calcula que en 2015 fueron generadas 233.43 t de bagazo cervecero húmedo. Mientras que, en 2016 la generación fue de 287.55 t, lo cual representa un aumento mayor al 23%. Por otra parte, los cerveceros proyectan un aumento en la producción de 206% para 2018. A partir de lo cual se estarían generando 879.96 t de bagazo cervecero húmedo o 199.56 t en base seca, considerando una humedad de 77.32%.

Debido a que el bagazo cervecero es rico en proteína y fibra, la principal aplicación que se le da es la alimentación animal [4]. En Mexicali, el bagazo es regalado para alimentación de ganado, principalmente, y, secundariamente, para hornear o hacer compostaje. Cabe mencionar que la mayoría de los ranchos ganaderos se encuentran fuera de la «zona de microcervecías». Por lo que tienen que transportar el bagazo en un vehículo motorizado, durante un tiempo considerable como para tomarlo como un factor de riesgo para la calidad del aire.



**Figura 1. Ubicación geográfica de las principales microcervecías en Mexicali, Baja California. Fuente: elaboración propia**

## 1.1 JUSTIFICACIÓN

La caracterización fisicoquímica e hidrólisis del bagazo cervecero generado en Mexicali no tiene precedentes. Actualmente, el bagazo es tratado como material de desecho y donado a ranchos ganaderos. Sin embargo, existe interés por parte de la comunidad cervecera en una apropiada disposición de residuos, que no genere deterioro ambiental, así como en los posibles productos de valor agregado que se pueden generar a partir de sus desechos.

El bagazo cervecero es un material abundante en Mexicali, disponible durante todo el año y de bajo costo. El cual puede ser valorizado de forma más atractiva para las cerveceras, mediante la producción de energía o como fuente de productos de valor agregado. El presente trabajo tuvo como objetivo analizar las propiedades fisicoquímicas del bagazo cervecero, con la finalidad de elegir la ruta de aprovechamiento más adecuada. Debido al alto contenido de humedad y de azúcares, una alternativa a evaluar es la hidrólisis del bagazo cervecero para la obtención de azúcares reductores, tales como la xilosa, glucosa y fructosa. Estos azúcares son de gran interés ya que pueden ser bioconvertidos en otros productos valiosos, como lo son el bioetanol (biocombustible de segunda generación) o el xilitol (edulcorante bajo en calorías) [5].

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar la caracterización fisicoquímica e hidrólisis ácida del bagazo cervecero para la obtención de azúcares reductores, generado en Mexicali, Baja California.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el poder calorífico superior y poder calorífico inferior del bagazo cervecero, de acuerdo con el procedimiento o norma aplicable.
- Llevar a cabo el análisis próximo del bagazo cervecero. Dicho análisis incluye las determinaciones de humedad, materia volátil, ceniza y carbono fijo, de acuerdo con el procedimiento o norma aplicable.
- Efectuar el análisis químico del bagazo cervecero. El análisis consiste en cuantificar el contenido de extraíbles en solvente orgánico, extraíbles en agua caliente, lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa, de acuerdo con el procedimiento o norma aplicable.
- Realizar el análisis elemental del bagazo cervecero en el equipo Thermo Flash-2000 ECHNS-O.
- Analizar la morfología del bagazo cervecero, mediante micrografías obtenidas en el Microscopio Electrónico de Barrido JEOL JSM-6360.
- Elaborar un diseño de experimento factorial de la hidrólisis del bagazo cervecero que incluya los siguientes factores a dos niveles: tiempo de hidrólisis, temperatura de hidrólisis y concentración de ácido.
- Realizar el análisis del experimento de la hidrólisis del bagazo cervecero que evalúe las siguientes variables de respuesta: pérdida de masa, concentración de xilosa y concentración de fructosa.

## 1.3 HIPÓTESIS

La temperatura de hidrólisis, concentración de ácido y tiempo de hidrólisis son variables significativas que afectan el rendimiento de azúcares reductores obtenidas del bagazo cervecero mediante la hidrólisis ácida.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 POTENCIAL DE LOS RECURSOS BIOMÁSICOS

El término *biomasa* es definido por Nogués et al. como: «las sustancias orgánicas que tienen su origen en los compuestos de carbono formados en la fotosíntesis». Esta definición incluye a las sustancias que pudieron haber sido procesadas de forma natural o artificial [6]. La biomasa puede ser clasificada de diferentes formas dependiendo de su naturaleza o aplicaciones. En la Tabla 1, se muestra una clasificación de la biomasa en ocho categorías. Estas ocho categorías incluyen: bosques naturales, plantaciones forestales, plantaciones agro-industriales, árboles fuera de los bosques, cultivos agrícolas, residuos de cosecha, residuos procesados y desechos animales [7].

Tabla 1. Clasificación de la biomasa

Categoría	Descripción	Ejemplos
1 Bosques naturales	Toda la biomasa de bosques, ya sea con dosel arbóreo abierto o cerrado.	-
2 Plantaciones forestales	Incluyen plantaciones comerciales (pulpa, papel, muebles) y plantaciones energéticas (como carbón, entre otras).	-
3 Plantaciones agro-industriales	Plantaciones designadas para producir materias primas, donde la madera es un subproducto.	Árboles de goma, café, té, bambú, palmeras de coco
4 Árboles fuera de los bosques	Árboles crecidos fuera del bosque y son fuente de fruta, leña, etc.	Arbustos, árboles de finca, árboles urbanos
5 Cultivos agrícolas	Cultivos para usos como alimentos, forraje, fibras o producción de energía.	-
6 Residuos de cosecha	Residuos vegetales producidos en el campo.	Paja de cereal, hojas y tallos
7 Residuos procesados	Residuos resultantes del procesamiento agro-industrial de los cultivos.	Aserrín, bagazo, cáscara de nuez
8 Desechos de animales	Desechos de la ganadería intensiva y extensiva.	-

#### 2.1.1 COMPOSICIÓN DE LA BIOMASA

La composición de la biomasa es muy diversa y contiene, en su mayoría, una fracción orgánica. La cual se constituye de celulosa, hemicelulosa, lignina y pequeñas cantidades de compuestos libres llamados extraíbles e.g. resinas, almidón y pigmentos. Además

contiene una fracción de agua y componentes inorgánicos. La combinación de celulosa, hemicelulosa y lignina es llamada «lignocelulosa». La lignocelulosa comprende aproximadamente la mitad de la materia vegetal producida por la fotosíntesis y representa la fuente renovable orgánica más abundante del planeta [8]. Como se aprecia en la Figura 2, los principales componentes están distribuidos en las paredes celulares, formando el esqueleto y material de enlace. En general, el comportamiento físico y químico de la biomasa está relacionado con su composición y contenidos relativos de celulosa, hemicelulosa y lignina, así como los extraíbles y sales inorgánicas [9].

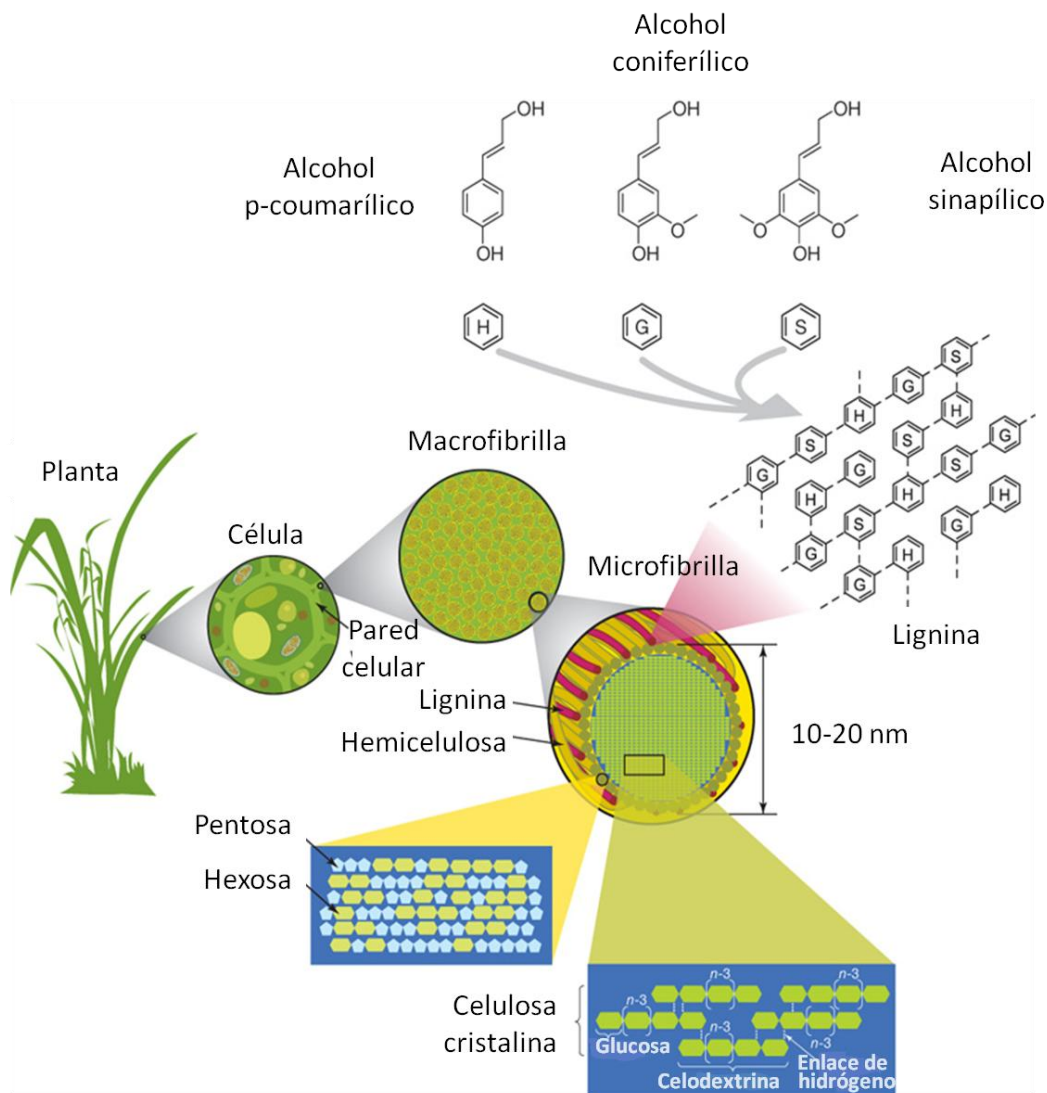


Figura 2. Componentes lignocelulósicos en una planta. Fuente: modificado de Rubín [10]

### 2.1.2 APLICACIONES POTENCIALES DE LA BIOMASA

Existen varios factores que influyen en el desarrollo de una economía de base biológica; como lo son el cambio climático, la producción de biocombustibles, el precio de los

combustibles fósiles, los sistemas financieros mundiales y la seguridad alimentaria [11]. Las aplicaciones de la biomasa tienen que ir enfocadas en soluciones que mejoren el desarrollo económico y en hacer un uso eficiente de la biomasa [12]. En la actualidad, se puede destacar el uso de la biomasa para la generación de bioproductos, biocombustibles y biorrefinerías [11].

#### 2.1.2.1 BIOPRODUCTOS

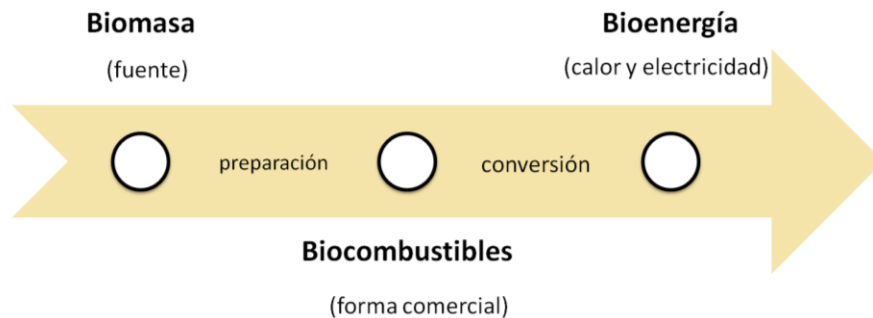
Ante la futura escasez de productos petroquímicos, se espera que la biomasa sea la principal materia prima de reemplazo. Los bioproductos son bienes provenientes del procesamiento de la biomasa que no es considerada alimento. Los cuales van desde productos químicos finos de alto valor agregado e.g. farmacéuticos, cosméticos y aditivos alimentarios, a productos de alto volumen e.g. enzimas, biopolímeros, biocombustibles y fibras. La Tabla 2 muestra algunos ejemplos potenciales de la biomasa para generación de bioproductos.

**Tabla 2. Ejemplos de aplicaciones de la biomasa como bioproductos [11], [12]**

Bioproductos	Descripción	Ejemplos
Farmacéuticos	Sustancias naturales con un alto contenido en plantas y con propiedades farmacéuticas.	Diarilheptanoides de la corteza de aliso, robinina a partir del kudzu, vitamina B2 vía fermentación de aceite vegetal por <i>Bacillus subtilis</i> .
Químicos	Productos químicos a granel con altos volúmenes y bajo costo. Productos químicos finos con pequeño mercado y alto valor agregado.	1,3-propanadiol de jarabe de maíz por <i>Escherichia coli</i> modificada, ácido succínico vía fermentación de glucosa.
Productos especiales	Adhesivos, solventes, surfactantes.	Glicolípidos de residuos agro-industriales vía fermentación.
Aceites industriales	Lubricantes de alta calidad y aceites hidráulicos.	Aceite de girasol, cártamo, carinata, crambe.
Biopolímeros	Bioplásticos como sustitutos de los plásticos utilizados a nivel mundial.	Éteres de amilosa como alternativa biodegradable del polietileno y poliestireno.
Fibras	Fibras naturales, telas, materiales compósitos.	Fibras y resinas a partir de lignina. Biotextiles a partir de hemicelulosa.

### 2.1.2.2 BIOCOMBUSTIBLES

La energía solar es interceptada por las plantas y es convertida en energía química vía fotosíntesis, la cual es almacenada en forma de vegetación terrestre y acuática [8]. Los combustibles generados directa o indirectamente de la biomasa son llamados «biocombustibles» y la energía liberada con el uso de estos, es conocida como «bioenergía» (ver Figura 3) [13].



**Figura 3. Flujo conceptual de la bioenergía. Fuente: modificado de FAO [13]**

Existe una gran variedad de tecnologías de conversión de biomasa a bioenergía y su selección dependerá del tipo y cantidad de biomasa disponible, estándares ambientales, condiciones económicas, entre otros. En la Figura 4 se presentan los principales combustibles líquidos y gaseosos derivados de la biomasa. Las tecnologías de conversión pueden clasificarse, a grandes rasgos, en dos categorías: conversión termoquímica y conversión bioquímica. Entre las principales tecnologías de conversión termoquímica destacan la combustión directa, gasificación, pirólisis, licuefacción y mejora hidrotérmica (HTU, por sus siglas en inglés). Por otro lado, entre las tecnologías de conversión bioquímica destacan la fermentación y la digestión anaerobia, en las cuales se utilizan microorganismos para la conversión de la biomasa. Otra tecnología es la extracción mecánica de aceites vegetales, los cuales pueden ser transformados en biodiesel [8].

#### 2.1.2.2.1 TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN TERMOQUÍMICA

En la combustión directa, la biomasa puede ser quemada directamente sin procesamiento de productos químicos, para la obtención de vapor, con la finalidad de generar electricidad. Sin embargo, esta tecnología puede ser fuente de contaminación [8].

La gasificación es la conversión termoquímica de la biomasa en combustibles gaseosos por medio de la oxidación parcial de la biomasa a altas temperaturas. Este proceso también permite la producción de metanol o hidrógeno. Un ejemplo de la composición del gas es la siguiente: hidrógeno (20-40%), monóxido de carbono (20-30%), metano (10-15%), etileno (1%), agua (6%), nitrógeno (1%) [8].

La pirólisis es la descomposición térmica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, en la cual la biomasa se convierte en una mezcla de gases ricos en hidrocarburos y un residuo sólido rico en carbono. Los principales productos dependen de la temperatura, velocidad de calentamiento, tamaño de partícula y catalizador usados. La principal reacción de la pirólisis es Biomasa → Carbón + Materia Volátil [8].

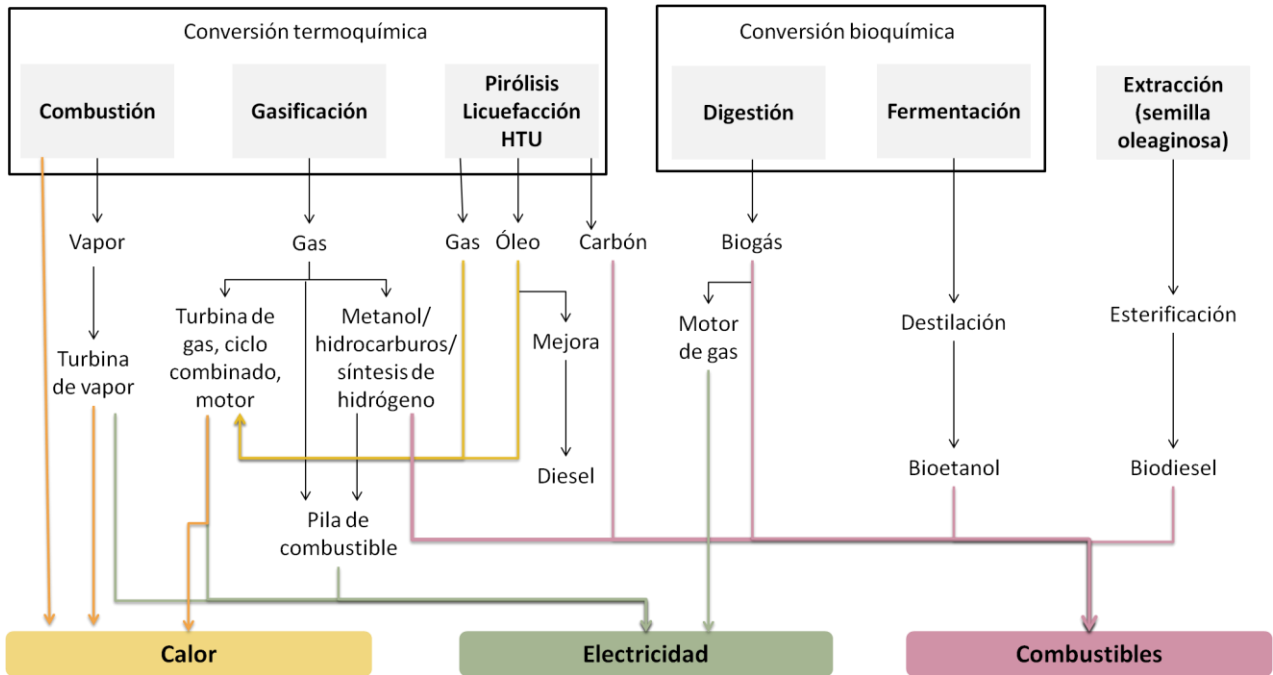


Figura 4. Conversión de biomasa en bioenergía. Fuente: modificado de Saidur et al. [8]

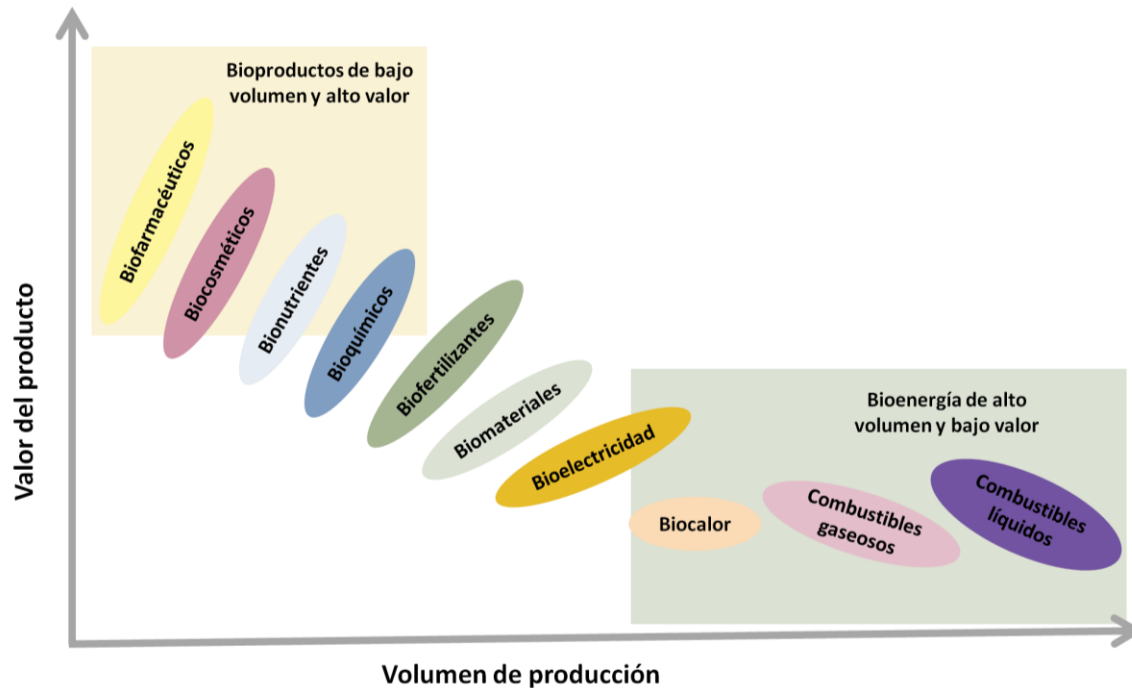
#### 2.1.2.2.2 TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN BIOQUÍMICA

Durante la fermentación de la biomasa se puede obtener bioetanol. Uno de los procesos más convencionales involucra el uso de levaduras para fermentar los almidones de la planta para obtener etanol, el cual puede ser utilizado como combustible en el sector transporte [8]. La materia prima utilizada en la producción de bioetanol puede clasificarse en tres grupos: 1) materia prima con sacarosa, tales como betabel, sorgo dulce, caña de azúcar; 2) materiales almidonosos como lo son el trigo, maíz, cebada; y 3) biomasa lignocelulósica como la madera, paja [14].

La digestión es la conversión termoquímica del material orgánico para producir biogás, el cual es una mezcla de metano y dióxido de carbono, principalmente. La biomasa es procesada por bacterias en condiciones anaerobias. Esta tecnología es ampliamente utilizada para el tratamiento de residuos orgánicos húmedos. El biogás puede ser tratado para obtener calidad de gas natural [8].

### 2.1.2.3 BIORREFINERÍAS

La Agencia Internacional de energía (IEA, por sus siglas en inglés) define el concepto de biorrefinería como «El procesamiento sostenible de la biomasa en un espectro de productos comercializables (alimentos, materiales, químicos) y energía (combustibles, electricidad, calor)». Las biorrefinerías son más complejas que las refinerías de petróleo convencionales, son «biofábricas» que convierten la biomasa en una variedad de bioenergías y bioproductos útiles (ver Figura 5) [12].



**Figura 5. Representación de los volúmenes de producción y valores de los bioproductos y bioenergéticos en una biorrefinería. Fuente: modificación de Budzianowski et al. [12]**

Los bioenergéticos incluyen biocombustibles de bajo valor, pero alto volumen, tales como biodiesel, biogás, bioetanol, entre otros. Mientras que los bioproductos son preferentemente de alto valor, pero obtenidos en bajo volumen e.g. biofarmacéuticos, biocosméticos, bionutrientes, bioquímicos, biofertilizantes y biomateriales. La intención de los bioproductos es aumentar la rentabilidad de las biorefinerías. Mientras que los bioenergéticos son generados *in situ* en altos volumen y sirven para uso interno y para proporcionar ingresos adicionales [12].

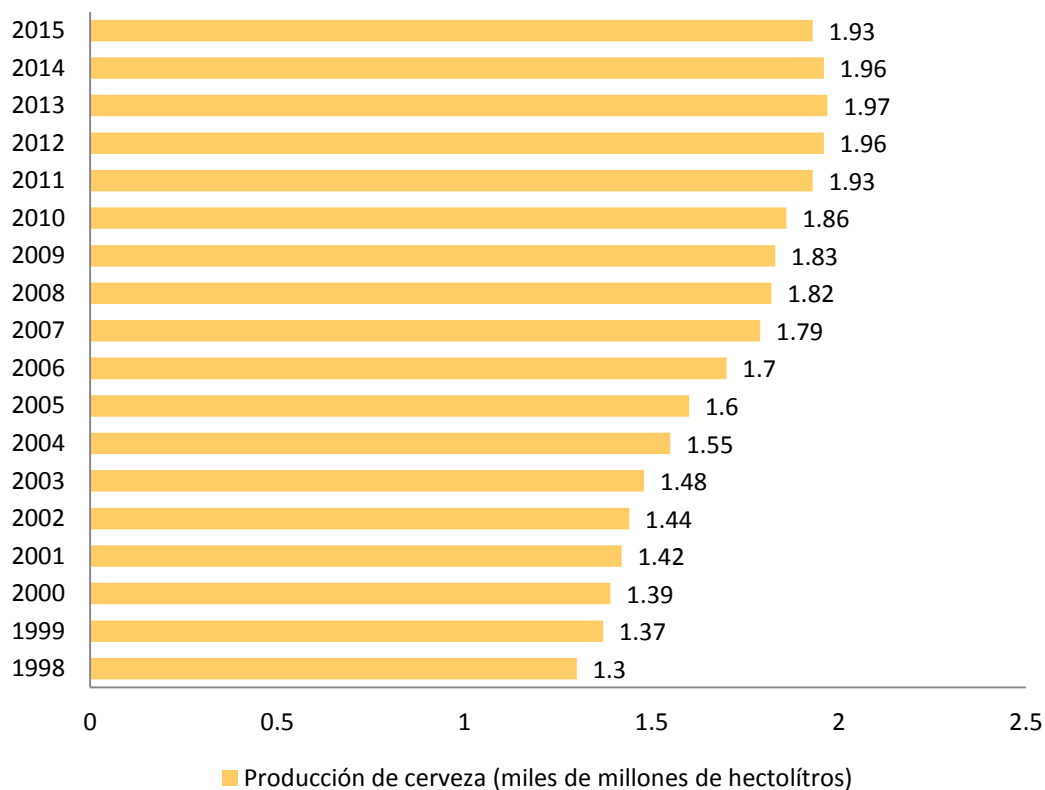
## 2.2 IMPACTO DE LA INDUSTRIA CERVECERA

Hoy en día, la producción de bebidas alcohólicas contribuye significativamente en la economía de muchos países [15]. Junto con el vino, la cerveza es la bebida alcohólica que ha experimentado un incremento significativo en su expansión en términos de producción

histórica, consumo y difusión a nivel mundial [16]. El impacto de la industria cervecera es tal que, en octubre de 2016, se firmó la tercera adquisición más grande la historia por parte de las dos compañías cerveceras más grandes del mundo. Anheuser-Busch InBev (AB InBev) y SABMiller realizaron una fusión de más de 100 billones de dólares, para operar bajo el nombre de Newbelco y esperan una venta anual de 55 mil millones de dólares [17]. Por otro lado, las pequeñas cervecerías se multiplican casi diariamente en algunos países, las cuales son conocidas como microcervecerías o cervecerías artesanales [16].

### 2.2.1 PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE CERVEZA

En 2015, la producción mundial de cerveza alcanzó los 1.93 miles de millones de hL. En la Figura 6 se puede apreciar la producción mundial de cerveza de 1998 a 2015. Es notable que hubo incremento constante en el periodo de 1998 a 2013, pero para 2014 la producción de cerveza disminuyó ligeramente [18].



**Figura 6. Producción de cerveza a nivel mundial. Fuente: elaboración propia a partir de Statista [18]**

Los países líderes productores de cerveza son China, Estados Unidos y Brasil. La Tabla 3 muestra los diez países con mayor producción de cerveza a nivel mundial. Se puede apreciar que México ocupa la sexta posición, generando el 3.85% de cerveza a nivel mundial en 2015 [19].

Tabla 3. Principales países productores de cerveza

Posición	País	Producción en 2014 (1,000 hL)	Producción en 2015 (1,000 hL)	Producción mundial en 2015 (%)
1	China	496,713	471,572	24.40%
2	Estados Unidos	226,099	223,513	11.56%
3	Brasil	141,370	138,575	7.17%
4	Alemania	95,274	95,623	4.95%
5	Rusia	82,188	78,200	4.05%
6	México	78,000	74,500	3.85%
7	Japón	56,450	53,800	2.78%
8	Vietnam	38,900	46,700	2.42%
9	Reino Unido	44,336	44,054	2.28%
10	Polonia	39,520	39,800	2.06%
Total Mundial		1,963,081	1,932,861	100.00%

Con esta sexta posición, se estima que México produjo 74.5 millones de hL de cerveza, tan solo en 2015. Sin embargo, en el informe «Estado de la Industria Cerveza Artesanal 2016-2017» elaborado por la asociación «Cerveceros de México», se observa que la producción de cerveza en 2015 fue de 96.9 millones de hL. En la Figura 7 se indica la tendencia de producción y consumo de cerveza en México de 2010 a 2015. En dicho documento, también, se informa que el ingreso derivado de la producción de cerveza en México fue de 2,316 millones de dólares [20].

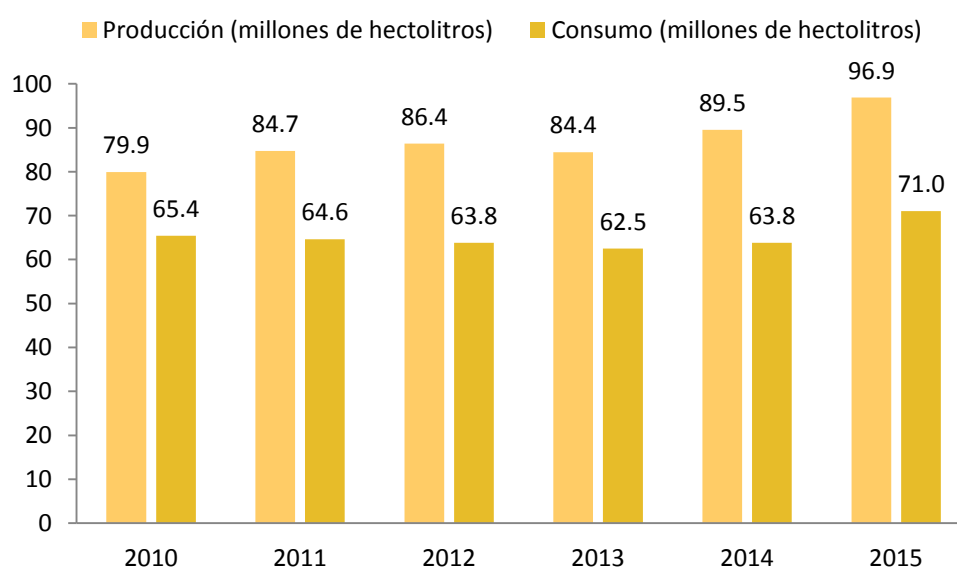


Figura 7. Producción y consumo de cerveza en México. Fuente: Elaboración propia a partir de Cerveceros de México [20]

### 2.2.2 INDUSTRIA CERVECERA ARTESANAL MEXICANA

En 2016, la Asociación Cervecera de la República Mexicana (ACERMEX) reportó la existencia de 400 productores formales de cerveza artesanal en México, las cuales tuvieron una producción de 65,200 hL. Los principales estados productores son Jalisco, Nuevo León y Baja California; con producciones nacionales de 34, 15 y 8%, respectivamente. La Tabla 4 muestra métricos del estado actual de las cervecerías artesanales del 2011 al 2016, tales como ventas anuales, crecimiento de la producción, número de cervecerías, apertura de nuevas cervecerías y empleados [20].

**Tabla 4. Estado actual de las cervecerías artesanales en México**

Año	Crecimiento de la producción (%)	Ventas anuales (hL)	Cervecerías (acumulado)	Nuevas cervecerías	Número de empleados
2011	-	10,594	26	12	150
2012	43%	15,179	55	29	325
2013	68%	25,509	80	25	464
2014	77%	45,200	137	57	848
2015	43%	64,561	256	119	1284
2016	-	-	400	144	2880

### 2.2.3 PROCESO GENERAL DE ELABORACIÓN DE CERVEZA

La cerveza se produce a partir de cuatro ingredientes básicos: malta, lúpulo, levadura y agua. Dependiendo del estilo de cerveza, se pueden añadir otros ingredientes adjuntos como cereales sin maltear, frutas, mieles, especias, entre otras. El proceso industrial para la elaboración de cerveza comienza con la molienda de la malta, para romper los granos. A continuación, la malta molida es remojada con agua caliente en un tanque de acero inoxidable llamado «macerador», para producir el líquido turbio «mosto». El mosto, junto con el lúpulo, es hervido en el tanque de hervor o «boil kettle». Esto con la finalidad de esterilizar el mosto y permitir que el lúpulo añada amargor, sabor o aroma a la cerveza, dependiendo del tiempo de hervor. Después, el mosto es enfriado y transferido a un tanque de fermentación, donde se le añade levadura, que convertirá el mosto en alcohol, CO<sub>2</sub> y otros productos. El líquido, ahora cerveza, es filtrado y transferido a un tanque de acondicionamiento, donde la cerveza es carbonatada naturalmente o de manera forzada. Por último, la cerveza es empacada y distribuida [21]. La Figura 8 muestra la secuencia para la elaboración de la cerveza, así como el principal equipamiento dentro de una cervecería.

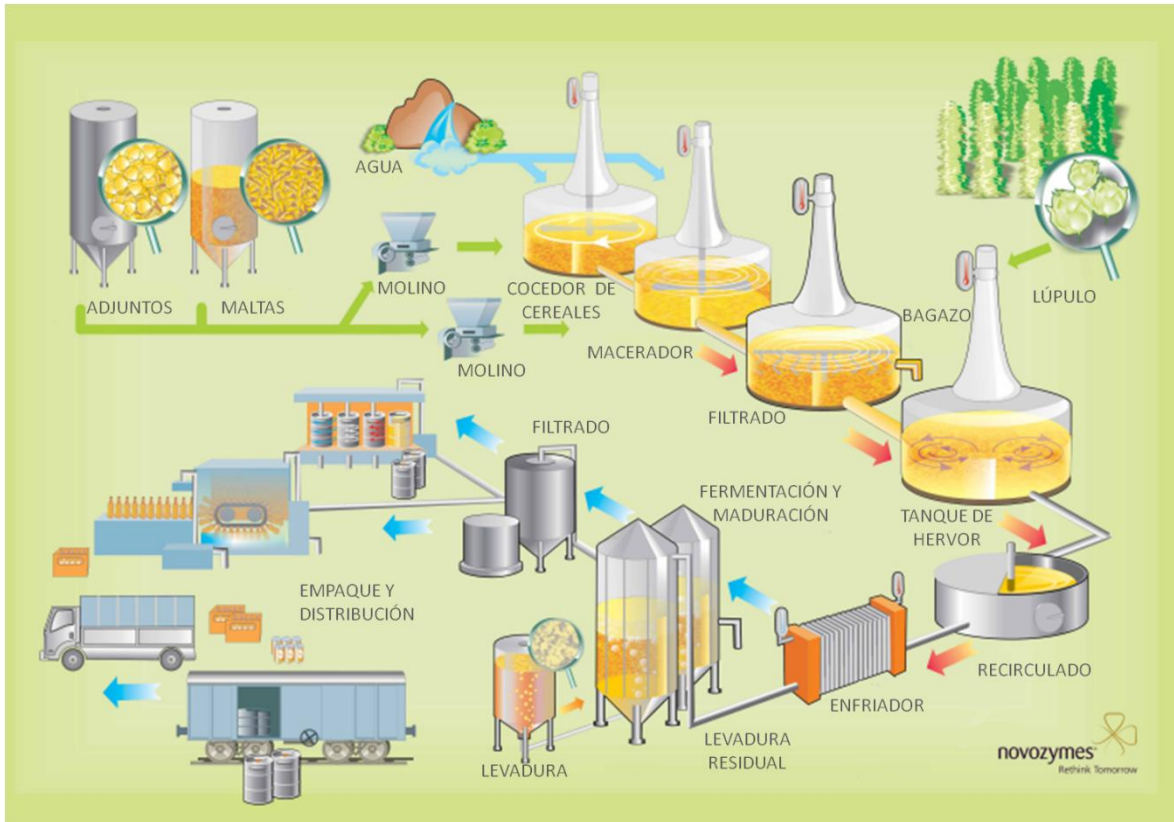


Figura 8. Proceso de elaboración de cerveza. Fuente: modificación de Novozymes [22]

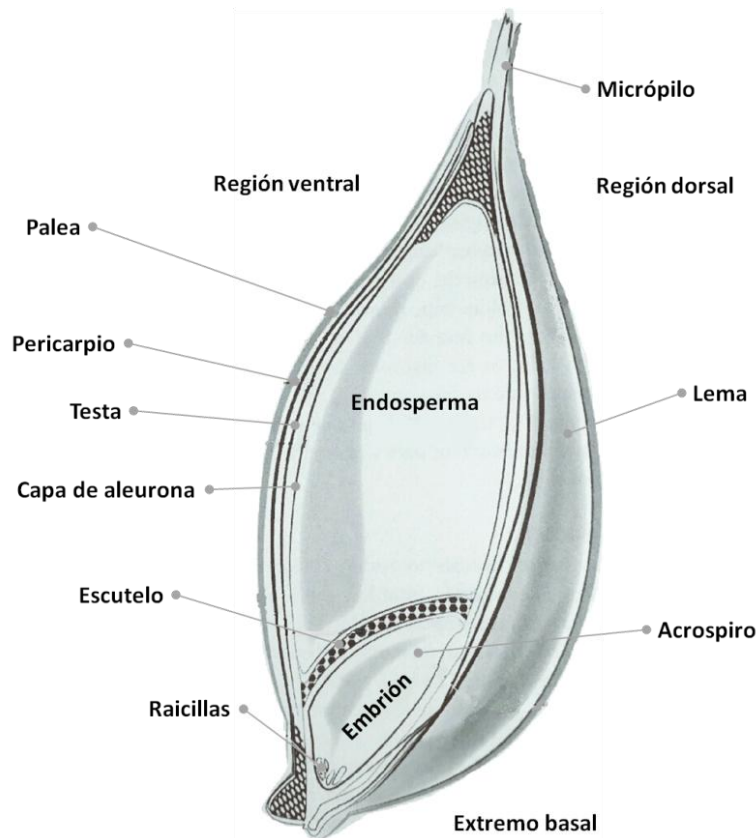
#### 2.2.4 PRINCIPALES RESIDUOS DE LA INDUSTRIA CERVECERA

Durante la elaboración de cerveza se generan algunos residuos tales como el bagazo cervecero, «trub», lúpulo y levadura residual. El 20% del agua utilizada para la fabricación de la cerveza se pierde en estos residuos, por lo que se trata de residuos con alto contenido de humedad. Mathias et al. reportaron las relaciones entre los residuos generados respecto al volumen de cerveza. Se generan 14-20 kg/hL de bagazo después del macerado y filtrado; 0.2-0.4 kg/hL de trub durante el hervor y adición de lúpulos, debido a la coagulación y formación de proteínas de alto peso molar y oxidación de compuestos fenólicos; y levadura residual como resultado de la multiplicación celular durante la fermentación [23].

Dichos residuos presentan una composición rica en materia orgánica, la cual contiene compuestos con importante valor nutricional, tales como fibras, carbohidratos, proteínas, aminoácidos, vitaminas, compuestos fenólicos y minerales [24]. Estos residuos presentan un área de oportunidad para su aprovechamiento sostenible y el bagazo es de especial interés, pues representa el residuo en mayor volumen.

## 2.3 BAGAZO CERVECERO

El bagazo proviene del procesamiento de los granos de cebada (*Hordeum vulgare*). En la Figura 9 se ilustra un grano de cebada y la identificación de sus principales componentes. Se pueden distinguir dos etapas del procesamiento del grano: el malteado y el macerado (ver Figura 10) [25]. El primero se lleva a cabo en una maltera, en donde llegan los granos que cumplen con criterios de calidad tales como: viabilidad, estar libres de enfermedades, habilidad para activarse, tener la cáscara intacta, tener niveles aceptables de proteína, tamaño uniforme del grano, entre otros [3].



**Figura 9. Diagrama de los componentes de un grano de cebada. Fuente: modificación de Mallet [3]**

Antes de comenzar el malteado, los granos son limpiados mediante la remoción de cuerpos extraños (paja suelta, semillas ajenas, polvo, grapas, etc.) y son separados de acuerdo con su tamaño. El malteado consiste en el remojo, germinación y «kilning» de los granos. El remojo tiene una duración aproximada de 40 h y su principal objetivo es limpiar e hidratar la cebada. La humedad inicial del grano es aproximadamente del 12% y después del remojo se eleva a 43-48%. Los granos son mezclados con agua, la cual es reemplazada por agua limpia comúnmente tres veces, con periodos de aireación. La aireación es muy importante, ya que el embrión del grano requiere oxígeno. Posteriormente, comienza la

germinación, siendo el brote de pequeñas «raicillas» el signo más visible. Después del periodo de remojo, el embrión viable comienza a desarrollarse y las raíces comienzan a emerger. Durante la germinación, las células de la capa de aurelona generan las enzimas que romperán el endosperma con la finalidad de liberar nutrientes, azúcares y nitrógeno amino libre (FAN, por sus siglas en inglés), los cuales son requeridos por el embrión del grano para poder desarrollarse. El *kilning* tiene como principal objetivo remover la humedad y detener la germinación del grano. Durante la fase *kilning*, la «malta verde» es secada a 76°C para las maltas del tipo «pale» o a 110°C para maltas más oscuras. El maestro maltero es capaz de generar una amplia variedad de sabores en la malta mediante reacciones Maillard, donde aminoácidos reaccionan con los azúcares a altas temperaturas. Después, se retiran las pequeñas raíces secas utilizando un equipo especializado y éstas son vendidas para alimento de ganado. Por último, la malta es madurada al menos 3 semanas, ya que la malta recién procesada tiene un bajo desempeño en las cervecerías. Como producto final se tiene una malta rica en carbohidratos fáciles de acceder y FAN. Se estima que de 45.36 kg de cebada de la granja, 36.29 kg se convierten en malta [3].



Figura 10. Proceso de la generación del bagazo cervecero. Fuente: Elaboración propia

En la cervecería la malta es molida y macerada. El maceramiento se refiere al remojo con agua caliente que hidrata la malta, gelatiniza sus almidones y libera sus enzimas naturales.

Durante el macerado, la malta se infundiona con agua pretratada (para olores y sabores indeseables y para la adición de minerales) manteniendo una temperatura de 65–68°C por 1 h, típicamente. Una relación utilizada de manera común es 4 L de agua por 4 kg de malta. Durante el macerado el almidón es convertido en azúcares fermentables y en dextrinas no fermentables por las enzimas diastasas. Como resultado del macerado se originan el mosto dulce y el bagazo cervecero, que son separados mediante el equipo «lautering». El bagazo permanece en un colector y el mosto es recirculado y drenado [26]. El mosto recuperado continúa el proceso de elaboración de cerveza, mientras que el bagazo es considerado un residuo.

### 2.3.1 APLICACIONES DEL BAGAZO CERVECERO

El bagazo cervecero puede ser utilizado como nutrimento animal o fuente de ingredientes de consumo humano, fuente de productos de alto valor agregado, producción de energía, en procesos biotecnológicos, entre otros [27] [1]. En la Tabla 5 se encuentran algunos trabajos relacionados con las aplicaciones del bagazo cervecero reportadas por diferentes autores. Una de las principales aplicaciones es la nutrición animal, debido a su alto contenido de proteína y fibra. Éste se usa principalmente para la alimentación del ganado, pero también se ha reportado para alimentación de aves, puercos y pescados [28]. Además, el bagazo ha servido como fuente de fibra dietética (DF, por sus siglas en inglés) para alimentos de consumo humano. El arabinosilano (AX), la lignina y los beta-glucanos son considerados DF y su consumo está asociado con beneficios para la salud [29] [4].

**Tabla 5. Estudios relacionados con las aplicaciones del bagazo cervecero**

<b>Estudios relacionados con la aplicación del bagazo cervecero</b>	<b>Referencias</b>
<b>Nutrición animal o ingrediente para consumo humano</b>	
Efecto de reemplazar el ensilaje de pasto por BSG en vacas	Duthie et al. [30]
Efectos del BSG en la calidad y cantidad de fibra dietética en galletas	Ozturk et al. [31]
Incorporación de BSG en bocadillos	Stojceska et al. [32]
Desarrollo de una fórmula para galletas enriquecida con BSG	Guo et al. [33]
Aplicación de la fermentación de «sourdough» para panes de BSG	Ktenioudaki et al. [34]
Uso del BSG en la producción de «Frankfurters» de res	Ozvural et al. [35]
Efectos de reemplazar la grasa de cerdo con BSG en la calidad de salchichas de pollo	Choi et al. [36]
<b>Producción de energía</b>	
Biometanación del BSG enzimáticamente hidrolizado	Wang et al. [37]
Digestión anaerobia del BSG	Bochmann et al. [38]
Impacto de combinar BSG con carbón Illinois No. 6 en la co-combustión	Celaya et al. [39]

Producción de bioetanol a partir de BSG	Liguori et al. [40], Wilkinson et al. [41]
Pirólisis intermedia del BSG	Mahmood et al. [42]
Bio-óleo y bio-carbón a partir de la pirólisis del BSG	Sanna et al. [43]
Aumento en la producción de biohidrógeno a partir del BSG	Zhang & Zang [44]
<b>Fuente de productos de alto valor agregado</b>	
Producción de ácido L(+) láctico a partir de desechos de la producción de cerveza y bioetanol	Djukic et al. [45]
Fermentación de hidrolizados de BSG para obtener ácido láctico	Pejin et al. [46]
Extracción de xilano del BSG	Laine et al. [47]
Producción de ácido carboxílico a partir de BSG mediante fermentación	Liang & Wan [48]
Evaluación del potencial prebiótico de los arabinosilanos del BSG	Reis et al. [49]
Recuperación de proteína del BSG por ultrafiltración	Song et al. [50]
Valorización de BSG y levadura de desecho a través de hidrolizados de proteína con propiedades antioxidantes	Vieira et al. [51]
Efecto de los hidrolizados de proteína extraídos del BSG sobre la respuesta inflamatoria en células asociadas con aterosclerosis	Crowley et al. [52]
<b>Procesos biotecnológicos</b>	
Floculación y eliminación de la turbidez de la cerveza cruda utilizando lacasa de <i>Trametes versicolor</i> cultivada en BSG	Dhillon et al. [53]
Producción de ácido eicosapentaenoico por <i>Mortierella</i> cultivada en BSG	Jacobs et al. [54]
Evaluación del BSG como sustrato para la producción de enzimas hidrolíticas por bacterias queratinolíticas	Laba et al. [55]
Desulfurización adsorbente del aceite modelo por carbón activado modificado con nanopartículas de plata, preparado de BSG	Olajire et al. [56]
Células de <i>Saccharomyces pastorianus</i> inmovilizadas en BSG para la remoción de iones de plomo	Korialik [57]
Preparación de películas compósitas de proteína-quitano de BSG	Lee et al. [58]
Enfoque en el tratamiento de BSG y su uso como fuente para la producción de «lignocellulosic yeast cell carriers» (LCYC)	Pires et al. [59]

Una aplicación que ha cobrado interés es la producción de energía, ya sea por conversión termoquímica o bioquímica. Entre los usos energéticos directos o indirectos del bagazo se encuentran la producción de biogás [60] [37] [61], bioetanol [62] [41] [40] y biohidrógeno [44], pirólisis [42] [63] [43], combustión directa [28] y la co-combustión con carbón [39]. Por otra parte, el bagazo es una fuente de productos de valor agregado tales como antioxidantes, monosacáridos, oligosacáridos, xilitol, arbitol, ácido láctico, ácidos carboxílicos entre otros [64] [48]. El bagazo también ha sido utilizado en procesos

biotecnológicos como sustrato para el cultivo de microorganismos y la producción de enzimas. Otro proceso reportado es el uso del bagazo como acarreador en sistemas de inmovilización de células y como material adsorbente [64]. Además, el bagazo se ha utilizado para confeccionar papel, tableros con partículas de madera, tabiques y films biodegradables [28] [65] [58].

### 2.3.2 PRODUCCIÓN DE BIOETANOL Y XILITOL A PARTIR DEL BAGAZO CERVECERO

El bioetanol y el xilitol son dos productos de especial interés para el aprovechamiento del bagazo cervecero. Incluso, se ha estudiado la producción de bioetanol, xilitol y polihidroxibutarato (PHB) a partir de bagazo cervecero, bajo el concepto de biorrefinería. El PHB tiene propiedades mecánicas similares a los plásticos, pero tiene la ventaja de ser biodegradable y puede ser producido a partir de los subproductos de la producción de bioetanol [66].

El bioetanol es un combustible derivado de la biomasa que es aplicado directamente o mezclado con gasolina en vehículos de motor para transportación. Algunos de los alcoholes que pueden ser usados como combustibles para motores son el metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), bioetanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), propanol ( $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ ), butanol ( $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ ). No obstante, solo el metanol y el bioetanol son técnica y económicamente adecuados para máquinas de combustión interna. Los pasos básicos para la producción de bioetanol a partir de la biomasa son: pretratamiento, hidrólisis, fermentación y destilación. La bioconversión de la lignocelulosa a bioetanol es complicada debido a 1) la resistencia natural de la biomasa a su descomposición; 2) la variedad de azúcares liberados cuando se rompe la celulosa y la hemicelulosa, lo que lleva a buscar los organismos que fermenten más eficientemente esos residuos; 3) costos de recolección y almacenaje de materiales lignocelulósicos [67].

Entre los microorganismos reportados para la bioconversión del bagazo cervecero en bioetanol se encuentran: *A. oryzae*, *S. cerevisiae* NCYC479 [41], *S. cerevisiae* NRRL YB 2293 [40], *Zymomonas mobilis* [66], *Pichia stipitis*, *Kluyveromyces marxianus* [62], *Trametes versicolor* [68], entre otros.

Por otra parte, el xilitol es un edulcorante alternativo con aplicaciones farmacéuticas y alimenticias, tales como combatir la caries, tratar enfermedades como diabetes, desórdenes en el metabolismo lipídico, prevenir infecciones en los pulmones y osteoporosis [66] [69]. El xilitol puede ser producido mediante procesos biotecnológicos con un potencial económico atractivo ya que es muy específico y requiere menos energía que los procesos químicos. Un proceso para la producción de xilitol a partir de bagazo cervecero reportado consiste en la hidrólisis con ácido diluido del bagazo y la fermentación por la levadura *Candida guilliermondii* durante 24 h [69].

## 2.4 CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL BAGAZO CERVECERO

Es importante evaluar la composición y las propiedades fisicoquímicas de los residuos biomásicos que se desean valorizar, con la finalidad de seleccionar la ruta de aprovechamiento más adecuada. La composición del bagazo varía de acuerdo con el varietal de la cebada, tiempo de cosecha, técnicas de macerado y malteado y el tipo de adjunto, en caso de que se haya agregado durante el macerado. En general el bagazo cervecero está formado por cáscara, pericarpio y residuos de endosperma, los cuales son ricos en celulosa, hemicelulosa y lignina [28].

La caracterización fisicoquímica de la biomasa consiste principalmente en: análisis próximo, análisis químico y análisis último.

### 2.4.1 ANÁLIS PRÓXIMO

Mediante el análisis próximo se determinan los contenidos de humedad, materia volátil, cenizas y carbono fijo. Este análisis es de especial importancia para la evaluación del fenómeno de combustión de la biomasa [8].

#### 2.4.1.1 CONTENIDO DE HUMEDAD

Se pueden distinguir dos tipos de humedad: la intrínseca y la extrínseca. La intrínseca es la humedad capturada dentro de la biomasa, e.g. el contenido del agua ligado a la estructura de la biomasa. Por otro lado, la extrínseca es la humedad influenciada por condiciones externas del material y es más fácil de remover que la humedad intrínseca [70]. Para los procesos termoquímicos el contenido de humedad es crucial, ya que, un alto contenido puede disminuir la efectividad del proceso al requerir energía adicional para vaporizar el agua [71]. Los contenidos de humedad deseada pueden ir desde el 5% para procesos de combustión a 30% para gasificación [72].

#### 2.4.1.2 CONTENIDO DE MATERIA VOLÁTIL

La materia volátil es la fracción del gas liberado al calentar la biomasa a  $900 \pm 10^{\circ}\text{C}$  por 7 min. Debido a que la reactividad de los gases volátiles es mucho más alta que la matriz sólida, la cantidad de materia volátil es un factor importante en la selección de los sistemas termoquímicos (pirólisis, combustión, gasificación) [70].

#### 2.4.1.3 CONTENIDO DE CENIZAS

El contenido de cenizas es la cantidad del residuo sólido remanente cuando la biomasa ha hecho combustión por completo [70]. Las cenizas de la lignocelulosa contienen principalmente calcio, potasio y magnesio. Además, puede contener menores cantidades de manganeso, azufre y fósforo; elementos traza (e.g. Al, Fe, Zn, Cu, Ti, Pb, Ni, V, Co, Ag y Mo); aniones (cloruro, carbonato, sulfato y silicato). Las cenizas no tienen valor energético, su alto contenido ocasiona problemas de ignición y combustión en los

procesos termoquímicos [72]. Sin embargo, las cenizas pueden ser recuperadas y utilizadas como fertilizante [71].

#### 2.4.1.4 CONTENIDO DE CARBONO FIJO

El carbono fijo es la masa obtenida después de liberar todos los volátiles, excluyendo el contenido de cenizas y humedad [70]. Un alto contenido de materia volátil y carbono fijo aumentan el poder calorífico de cualquier combustible biomásico [8].

#### 2.4.2 ANÁLISIS QUÍMICO

Mediante el análisis químico se determina la composición de extraíbles, celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa, hemicelulosa y lignina están fuertemente unidas por fuerzas no covalentes y entrecruzamientos covalentes, resultando en una estructura compleja [72].

##### 2.4.2.1 EXTRAÍBLES

La biomasa contiene pequeñas cantidades de extraíbles, además de la celulosa, hemicelulosa y lignina. Los extraíbles son componentes de bajo peso molecular que no tienen funciones estructurales y pueden ser extraídos por solventes polares o no polares. La Tabla 6 enlista la solubilidad de los extraíbles en algunos de los solventes más comunes [73]. Algunos ejemplos de extraíbles son las ceras, grasas, resinas, taninos, azúcares, almidón, pigmentos, etc. En general, los extraíbles son divididos en: componentes alifáticos, terpenos y terpenoides y compuestos fenólicos [9]. Los componentes alifáticos están constituidos principalmente de grasas (ésteres de glicerol de ácidos grasos) y ceras. Las ceras pueden ser ésteres de alcoholes grasos superiores ( $C_{18}-C_{24}$ ), alcohol terpénico o esteroides. Por otra parte, los terpenoides, así como los esteroides, son compuestos derivados de unidades de isopreno. Los terpenos son un grupo largo de hidrocarburos de unidades de isopreno ( $C_5H_8$ ). Por último, los compuestos fenólicos son un complejo aromático y, en su mayoría, son derivados de la estructura fenilpropanoide. Estos compuestos fenólicos pueden ser estilbenos, lignanos, taninos o flavonoides [74].

**Tabla 6. Solubilidad de los extraíbles**

Extraíbles	Terpenoides	Grasas	Compuestos fenólicos	Carbohidratos
Alcanos	+++	+++	0	0
Éter dietílico	+++	+++	++	0
Diclorometano	+++	+++	++	0
Acetona	+++	+++	+++	++
Etanol	++	++	+++	+
Agua	0	0	+	+++



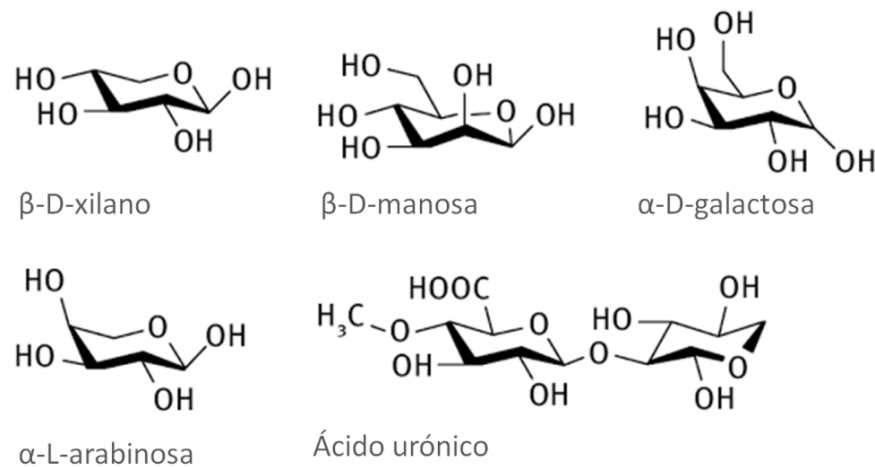


Figura 12. Estructura química de las unidades de hemicelulosa. Fuente: modificación de Wang & Luo [9]

#### 2.4.2.4 LIGNINA

La lignina tiene como función dar rigidez y cohesión a la pared celular, así como formar una barrera fisicoquímica contra el ataque microbiológico [76]. La estructura de la lignina es muy compleja y consiste en una macromolécula tridimensional. La lignina está compuesta de un gran grupo de polímeros aromáticos, resultantes de la polimerización por radicales oxidativos de tres alcoholes hidroxicinámicos: alcohol p-coumarílico, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico [75].

#### 2.4.3 ANÁLISIS ÚLTIMO

El análisis último o elemental proporciona la composición de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre de la biomasa. Este análisis suministra información útil sobre la calidad de la biomasa como combustible. Por ejemplo, la relación alta O/C reduce el valor energético de un combustible, debido a que hay menos energía contenida en los enlaces carbono-oxígeno y carbono-hidrógeno que en el enlace carbono-carbono. Además, el análisis último provee información sobre posibles problemas como la emisión de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  y  $\text{H}_2\text{S}$  y corrosión [71].

#### 2.4.4 PODER CALORÍFICO

El poder calorífico está definido como la cantidad de energía (J) por unidad de masa (g) liberada en una combustión completa. El poder calorífico de un combustible es un indicador de la energía ligada químicamente en el combustible en referencia a un entorno estandarizado. La estandarización involucra la temperatura, el estado del agua (vapor o líquido) y los productos de combustión ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , etc.). El poder calorífico puede expresarse como superior PCS o inferior PCI. Para el PCS el estado de referencia del agua es líquido y para el PCI es estado gaseoso [77].

La biomasa siempre contiene agua, la cual es liberada como vapor cuando es calentada. Esto implica que una parte del calor liberado durante las reacciones químicas sea absorbido por el proceso de la evaporación. Para determinar el PCI, se considera que el vapor de agua de los gases de condensación no se condensa, por lo que no hay un aporte adicional de calor por condensación del vapor de agua. Es por eso, que el PCI disminuye cuando el contenido de humedad aumenta, además del hecho de que un alto contenido de humedad en sí implica un menor contenido de material combustible. En la práctica, para encender el combustible y extraer energía de éste, el contenido máximo de humedad es 55%. Por el contrario, el único efecto que tiene el contenido de humedad en el PCS es disminuir el contenido de materia combustible por kg de combustible biomásico. Es decir, para el PCS se considera que el calor de la evaporación es recuperado completamente por condensación del vapor de agua [77].

## 2.5 OBTENCIÓN DE AZÚCARES DE LA BIOMASA

### 2.5.1 PRETRATAMIENTOS DE LA LIGNOCELULOSA

El pretratamiento de la biomasa lignocelulósica contribuye en la alteración de la estructura de la lignina, decristalización de la estructura de la celulosa y aumento de la accesibilidad al área superficial. El pretratamiento favorece el aumento en el rendimiento de la hidrólisis de la biomasa lignocelulósica, para la obtención de azúcares reductores. La Tabla 7 compara los diferentes métodos de pretratamiento conocidos [78].

**Tabla 7. Comparación de pretratamientos de la lignocelulosa**

Pretratamiento	Accesibilidad al área superficial	Decristalización de la celulosa	Solubilización de la hemicelulosa	Remoción de lignina	Alteración de la estructura de la lignina	Generación de componentes tóxicos
Trituración mecánica	A	A	0	0	0	0
Extrusión	A	A	0	-	-	-
Ácido	A	0	A	M	A	A
Alcalino	A	A	M/A	A	A	B
Organosolv	M	-	A	M/A	M	M/B
Ozonólisis	M	M	M/A	A	M	B
Iónico	M	A	A	M/A	M	B
Oxidación húmeda	A	-	A	M	A	B
Microondas	A	A	B	A	A	B
Liquid Hot Water	A	-	A	B	M	B
AFEX	A	M	M	B	A	B
SPORL	A	M	A	M	M	B

Fluidos supercríticos	M / A	-	M	A	M	M
Explosión de vapor	A	-	A	M	A	A
Biológicos	M	0	0	A	-	0 / B

A: efecto alto, M: efecto moderado, B: efecto bajo, 0: Sin efecto.

La trituración mecánica es un pretratamiento que reduce el tamaño de partícula y la cristalinidad de la lignocelulosa, con la finalidad de aumentar el área superficial [78]. En el presente trabajo se utilizó este tipo de pretratamiento ya que es de bajo costo, no consume mucho tiempo, no genera componentes tóxicos y se ha demostrado que es un buen método para reducir la cristalinidad de la celulosa [78].

### 2.5.2 TÉCNICAS DE HIDRÓLISIS DE LA LIGNOCELULOSA PARA LA OBTENCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES

La hidrólisis de la biomasa lignocelulósica puede ser efectuada mediante ácido diluido, ácido concentrado, enzimas, rayos gama, irradiación de microondas o irradiación de rayo de electrones [14]. La hidrólisis con ácido diluido es una de las opciones más estudiadas y utilizadas, ya que es rápida y eficiente. Por estas características, la hidrólisis con ácido diluido es una opción viable para procesar el bagazo cervecero. Además, mediante este tipo de hidrólisis se crean pocos componentes inhibitorios para los microorganismos de fermentación. Lo que es conveniente, ya que se reduce la necesidad de incluir procedimientos de desintoxicación complejos que elevarían costos de producción [79].

La Tabla 8 muestra una comparación de métodos y condiciones para la obtención de azúcares reductores, mediante hidrólisis con ácido diluido.

**Tabla 8. Métodos y condiciones de hidrólisis con ácido diluido de biomasa lignocelulósica**

Descripción	Aguilar N. et al. [80]	Carvalho F. et al. [79]	Domínguez M.M. et al. [81]
Materia prima	Bagazo de cebada cervecero	Bagazo cervecero	Bagazo de caña de azúcar
Pretratamiento	Sin pretratamiento	Pretratamiento hidrotérmico	Pretratamiento con ácido fosfórico
Ácido diluido	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 1%	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 3%	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 16%
Temperatura de hidrólisis	100°C	130°C	75°C
Tiempo de reacción de hidrólisis	210 min	15 min	60 min

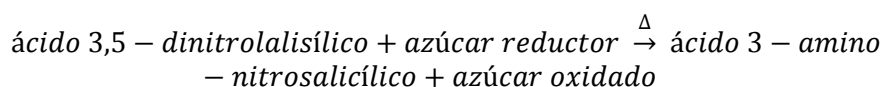
Relación líquido/sólido	10 / 1	8 / 1	30 / 1
Resultados reportados	70.84% de conversión de azúcares reductores totales	Recuperación de pentosa de casi 96%	70.3% de conversión de hemicelulosa a azúcares reductores totales

Dichos métodos utilizan materias primas similares a la del presente trabajo. Se puede apreciar que en cada método de conversión biomasa → azúcar reductor, varía el tipo de pretratamiento, concentración de ácido sulfúrico, temperatura de hidrólisis, tiempo de reacción de hidrólisis y RLS. Esta variación conduce a diferentes resultados en la conversión de holocelulosa. Por ejemplo, Carvalheiro F. et al (2004) [79] reportan una recuperación de pentosa de casi 96%, a partir de bagazo cervecero. Por otra parte, Aguilar N. et al. (2004) [80] hidrolizaron el bagazo de cebada cervecero sin pretratamiento y lograron obtener 70.84% de conversión de azúcares reductores totales. Finalmente, Domínguez M.M. et al. (2011) [81], pretrataron e hidrolizaron bagazo de caña de azúcar y obtuvieron 70.30% de conversión de holocelulosa a azúcares reductores totales.

### 2.5.3 MÉTODO DNS PARA CUANTIFICACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES

Los azúcares reductores son descritos como cualquier azúcar que, en una solución básica tenga un grupo aldehído o acetona, el cual permite que el azúcar actúe como agente oxidante [82]. La degradación de los materiales lignocelulósicos en productos simples utilizables es un paso clave en la producción de biocombustibles [83].

El Método DNS o Método Miller es utilizado para estimar la concentración de azúcares reductores [84]. Este es un método alternativo a otros métodos costosos como lo son CG y HPLC. El Método DNS consiste en reaccionar el azúcar reductor con una solución de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), aplicar calor para acelerar la reacción y medir la absorbancia visible de los productos, principalmente ácido 3-amino-5-nitrosalicílico (ver Ecuación 1) [85].



**Ecuación 1**

### 3 ESTIMACIÓN DEL BAGAZO CERVECERO GENERADO EN MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

Se realizaron encuestas para recolectar información de 20 microcerveceras de Mexicali, con el objeto de conocer la cantidad de maltas utilizadas de forma mensual y la forma en que disponen de sus desechos. Al analizar la cantidad de malta que procesa una cervecera se puede estimar la cantidad de bagazo generado. Como se mencionó anteriormente, por cada 100 kg de malta procesada se generan entre 125 y 130 kg de bagazo húmedo. El contenido de humedad del bagazo determinado en el presente trabajo fue de 77.32%. Mediante las ecuaciones Ecuación 2 y Ecuación 3, se calculó la generación de bagazo.

$$BCH = (12) \left( \frac{125 + 130}{2} \right) (maltas) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$BCS = (BCH) - (BCH)(0.7732) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

*BCH* = bagazo cervecero húmedo, kg/año

*maltas* = maltas utilizadas, kg/mes

*BCS* = bagazo cervecero base seca, kg/año

0.7732 = fracción de humedad

En la Tabla 9 se puede apreciar la estimación de *BCH* y *BCS* utilizando la Ecuación 2 y la Ecuación 3. De las 183.08 t de maltas procesadas en 2015, la industria cervecera generó 233.43 t de *BCH* (52.94 t de *BCS*). Es decir, de las maltas procesadas por la industria cervecera un 28.92% se convierten en bagazo cervecero, un producto de desecho.

**Tabla 9. Generación de bagazo cervecero en 2015**

Cervecería	2015		
	Malta mensual (kg)	Bagazo húmedo (kg)	Bagazo base seca (kg)
Fauna	2,858	43,727	9,917
Puerco Salvaje	2,722	41,647	9,445
Amante	2,572	39,352	8,925
Urbana	1,588	24,296	5,510
Tres B	1,134	17,350	3,935
Legión	1,043	15,958	3,619
Brew Capital	889	13,602	3,085
Tierra Norte	735	11,246	2,550
Muxa	400	6,120	1,388
Juguete	390	5,967	1,353

Once Perros	272	4,162	944
Averno	254	3,886	881
Tridente	-	-	-
Mandala	-	-	-
2-14	-	-	-
Malgro	-	-	-
Faisan	100	1,530	347
686	100	1,530	347
Dos Pistones	100	1,530	347
Gato Gordo	100	1,530	347
<b>TOTAL</b>	<b>15,257</b>	<b>233,432</b>	<b>52,942</b>

Por otra parte, en la Tabla 10 se puede observar las cantidades de *BCH* y *BCS* generadas en 2016, que son 287.55 t y 65.22 t, respectivamente. La tabla también proyecta la generación del *BCS* en 2018, la cual podría aumentar hasta en un 206%.

**Tabla 10. Generación de bagazo cervecero en 2016 y proyección para el 2018**

Cervecería	2016			2018	
	Malta mensual (kg)	Bagazo húmedo (kg)	Bagazo base seca (kg)	Escalamiento en 2 años (%)	Estimación de bagazo base seca (kg)
Fauna	2,858.0	43,727.4	9,917.4	0.0	9,917.4
Puerco Salvaje	1,500.0	22,950.0	5,205.1	3.0	20,820.2
Amante	1,500.0	22,950.0	5,205.1	3.0	20,820.2
Urbana	1,588.0	24,296.4	5,510.4	0.0	5,510.4
Tres B	1,800.0	27,540.0	6,246.1	4.0	31,230.4
Legión	2,500.0	38,250.0	8,675.1	1.0	17,350.2
Brew Capital	2,000.0	30,600.0	6,940.1	4.0	34,700.4
Tierra Norte	1,200.0	18,360.0	4,164.0	2.0	12,492.1
Muxa	400.0	6,120.0	1,388.0	1.0	2,776.0
Juguete	720.0	11,016.0	2,498.4	6.0	17,489.0
Once Perros	750.0	11,475.0	2,602.5	0.5	3,903.8
Averno	227.0	3,473.1	787.7	3.0	3,150.8
Tridente	354.0	5,416.2	1,228.4	5.0	7,370.4
Mandala	363.0	5,553.9	1,259.6	2.0	3,778.9
2-14	150.0	2,295.0	520.5	3.0	2,082.0
Malgro	380.0	5,814.0	1,318.6	0.5	1,977.9
Faisan	204.0	3,121.2	707.9	2.0	2,123.7
686	300.0	4,590.0	1,041.0	1.0	2,082.0
Dos Pistones	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gato Gordo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>18,794</b>	<b>287,548</b>	<b>65,216</b>		<b>199,576</b>

## 4 CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL BAGAZO CERVECERO

Los procedimientos y análisis desarrollados en el presente trabajo se resumen en la Tabla 11. En la cual, también se encuentra el equipo utilizado y la norma aplicable para cada procedimiento realizado. La metodología para la caracterización fisicoquímica, en general, está basada con modificaciones en la metodología descrita por Torres (2015) [86]. En las secciones siguientes se detalla cada procedimiento.

**Tabla 11. Procedimientos para la caracterización fisicoquímica del bagazo cervecero**

Proceso	Determinaciones	Equipos principales	Normas	Referencia
Preparación de muestra	-	Mufla Thermolyne™	NREL/TP-510-46620	[87]
Análisis próximo	Humedad	Mufla Thermolyne™	NREL/TP-510-42621	[88]
	Material Volátil	Mufla Thermolyne™	ASTM E872-82(2006)	[89]
	Ceniza	Mufla Thermolyne™	ASTM E830-87(2004)	[90]
	Carbono Fijo	-	Por diferencia	[86]
Análisis químico	Extraíbles en solvente orgánico	Soxhlet	T 264 cm-07	[91]
	Extraíbles en agua caliente	Plancha de calentamiento	T 207 cm-99	[92]
	Lignina	Plancha de calentamiento	ASTM D1106-96 (2001)	[93]
	Holocelulosa	Plancha de calentamiento	ASTM D1104-56 (1978)	[94]
	Celulosa	Baño de agua	-	[95]
	Hemicelulosa	-	Por diferencia	[86]
Análisis último	C, H, N y S	Thermo Flash-2000 ECHNS-O	-	[96]
	O	Thermo Flash-2000 ECHNS-O	-	[96]
Poder calorífico	Poder Calorífico Superior	Calorímetro IKA C2000	ASTM E711-87(2004)	[97]
	Poder Calorífico Inferior	-	Por cálculo	[6]
Análisis de cenizas	Contenido de cenizas	EDX-7000 Shimadzu	-	[98]
Análisis morfológico	-	SEM JEOL JSM-6360	-	-
Análisis de extraíbles en acetona	-	FTIR Frontier de Perkin Elmer	-	[99]

## 4.1 RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DEL BAGAZO CERVECERO

El bagazo fue suministrado por la cervecería Big Bag Brewing Co., ubicada en Mexicali, Baja California. El bagazo proviene de un proceso en el que se utilizó 85% de malta del tipo 2-row y 15% de malta de especialidad (ver Figura 13).



**Figura 13. Bagazo cervecero a) sin tratamientos, b) seco, c) molido y tamizado a 0.5 mm. Fuente: elaboración propia**

La preparación de la muestra se basó en el procedimiento NREL/TP-510-42620 [87]. En cuanto el bagazo fue recibido, se secó en la mufla Thermolyne™ a 105°C hasta obtener un peso constante. Posteriormente, la muestra se molió en un molino manual de placa y se pasó por un tamiz N° 35 de 0.5 mm.

## 4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.2.1 ANÁLISIS PRÓXIMO

El análisis próximo incluye las determinaciones del contenido de humedad, material volátil, cenizas y carbono fijo. En el presente trabajo se realizaron estas cuatro determinaciones por triplicado al bagazo cervecero.

#### 4.2.1.1 CONTENIDO DE HUMEDAD

La determinación de humedad se basó en el procedimiento NREL/TP-510-42621. La muestra fue analizada tal cual fue suministrada por la cervecería, es decir, sin previa preparación. Se midió alrededor de 1 g de muestra en un crisol de porcelana libre de humedad y éste se colocó en la mufla a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  por 14 h. El porcentaje de humedad *Hum* se calculó mediante la Ecuación 4 [88].

$$Hum = 100 - \left( 100 \frac{W_f}{W_i} \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

*Hum* = humedad, %.

$W_i$  = masa inicial de la muestra, g.

$W_f$  = masa final de la muestra después del calentamiento, g.

#### 4.2.1.2 CONTENIDO DE MATERIA VOLÁTIL

La determinación del material volátil se realizó de acuerdo con el procedimiento de la norma ASTM E872 [89]. En un crisol de porcelana libre de humedad se midió alrededor de 1 g de muestra preparada. La muestra fue introducida en la mufla a 950°C en ausencia de aire, por 7 min. A continuación, ésta se dejó enfriar a temperatura ambiente, se colocó en el desecador y se midió su masa. El porcentaje de masa perdida  $MP$  se calculó mediante la Ecuación 5. Después, se calculó el porcentaje de materia volátil  $MV$  con la Ecuación 6.

$$MP = 100 - \left( 100 \frac{W_f}{W_i} \right) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$MV = MP - Hum \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$MP$  = masa perdida, %.

$MV$  = materia volátil, %.

$W_i$  = masa inicial de la muestra, g.

$W_f$  = masa final de la muestra después del calentamiento, g.

#### 4.2.1.3 CONTENIDO DE CENIZAS

El contenido de ceniza se determinó conforme a lo establecido en la norma ASTM E830 [90]. Se colocó una tapa de porcelana libre de humedad al crisol que contenía la muestra libre de humedad y material volátil. La muestra se calentó en la mufla a 580°C durante 4 h. Enseguida, la muestra se retiró de mufla y se dejó enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente, se colocó en el desecador y se midió su masa. El porcentaje de ceniza  $CE$  se calculó mediante la Ecuación 7.

$$CE = \left( 100 \frac{W_f}{W_i} \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

$CE$  = ceniza, %.

$W_i$  = masa inicial de la muestra, g.

$W_f$  = masa final de la muestra después del calentamiento, g.

#### 4.2.1.4 CONTENIDO DE CARBONO FIJO

El porcentaje de carbono fijo  $CF$  en base seca se calculó por diferencia. A la totalidad de la muestra se le restó  $MV$  y  $CE$ . Lo anterior se expresa en la Ecuación 8 [86].

$$CF = 100 - MV - CE \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$CF$  = carbono fijo, %.

$MV$  = materia volátil, %.

$CE$  = ceniza, %.

#### 4.2.2 ANÁLISIS QUÍMICO

Mediante el análisis químico se determina el contenido de extraíbles en solvente orgánico, extraíbles en agua caliente, lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa. En el presente trabajo se realizaron estas determinaciones por triplicado al bagazo cervecero.

##### 4.2.2.1 CONTENIDO DE EXTRAÍBLES EN SOLVENTE ORGÁNICO

El procedimiento para cuantificar los extraíbles en solvente orgánico se basó en la norma T 264 cm-07 [91]. Se depositaron 5 g de bagazo cervecero libre de humedad y homogenizado en un dedal de celulosa seco y de masa conocida. Se colocó un círculo de papel filtro dentro del dedal, sobre la muestra para evitar el escape de muestra. Posteriormente, se realizó el montaje de la Figura 14a, para ello se acopló un equipo de extracción Soxhlet a un condensador. Se utilizaron 200 mL de acetona como solvente orgánico. El volumen del solvente debe ser suficiente para que queden al menos 50 mL en el matraz bola, al momento que el Soxhlet esté a punto de hacer sifón. Se mantuvo el solvente en ebullición por 8 h, asegurándose al menos 4 sifones por hora. Finalmente, se secó el dedal con la muestra en la mufla a 105°C por 3 h, se midió la masa de estos y se calculó la cantidad de extraíbles en acetona con la Ecuación 9.

$$\%Ex_a = 100 \left( \frac{W_i - W_f}{W_i} \right) \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$Ex_a$  = material extraíble en acetona, %.

$W_i$  = masa de la muestra inicial, g.

$W_f$  = masa de la muestra final, g.

#### 4.2.2.2 CONTENIDO DE EXTRAÍBLES EN AGUA CALIENTE

Se determinó la cantidad de extraíbles en agua caliente de acuerdo con la norma T 207 cm-99 [92]. En un matraz Erlenmeyer se depositaron 4 g de la muestra libre de humedad y extraíbles en acetona y se añadieron 200 mL de agua caliente. Posteriormente, se realizó el montaje de la Figura 14b. El matraz con la muestra se colocó en un baño María por 3 h, se mantuvo el nivel del agua del baño maría por encima del nivel de muestra del matraz y en constante ebullición. Transcurridas las 3 h se filtró el contenido del matraz en un embudo Büchner con un papel filtro No. 3 libre de humedad y de masa conocida. Se realizó un lavado con 200 mL de agua caliente. Finalmente, se secó el papel con la muestra en la mufla a 105°C durante 4 h. La cantidad de extraíbles en agua caliente se determinó con la Ecuación 10.

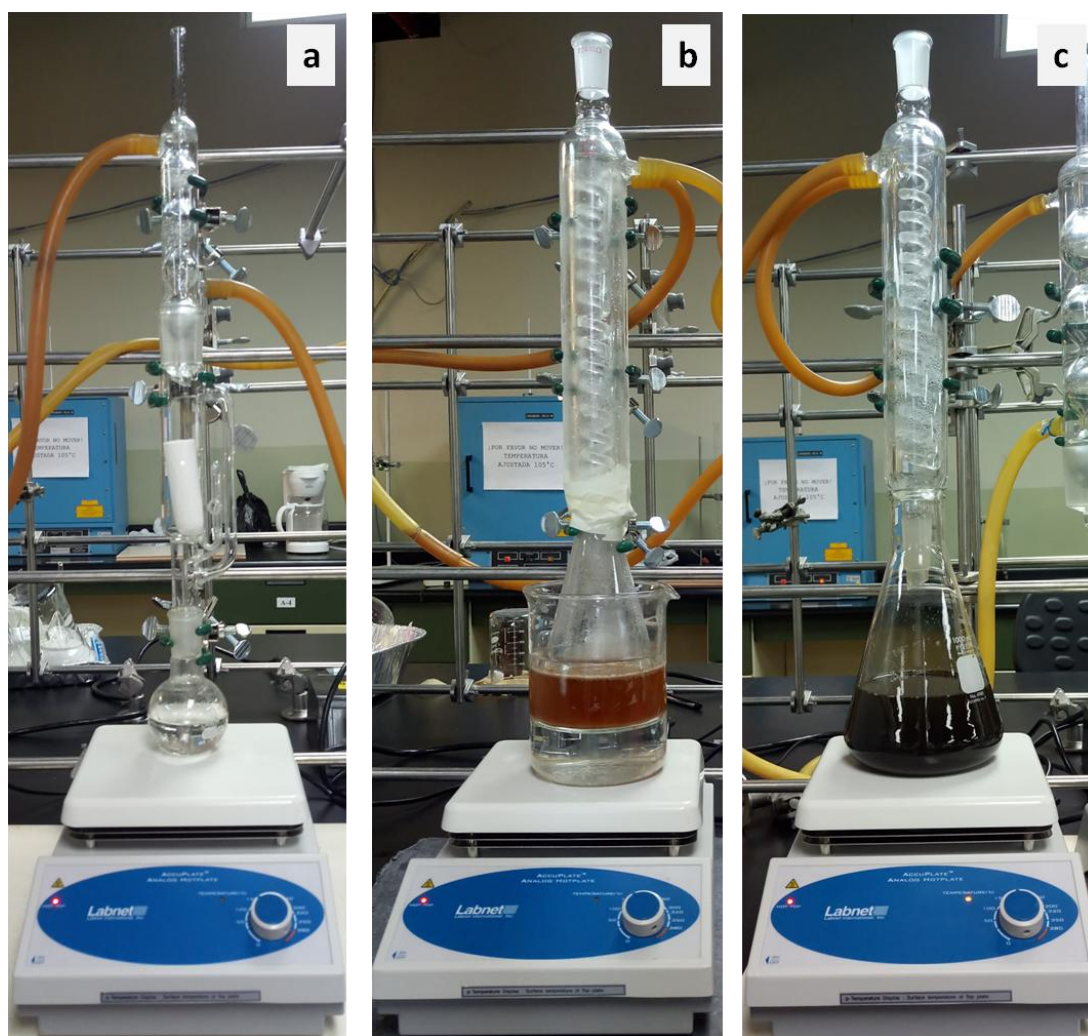


Figura 14. Análisis químico a) extraíbles en acetona, b) extraíbles en agua caliente, c) lignina. Fuente: elaboración propia

$$\%Ex_b = 100 \left( \frac{W_i - W_f}{W_i} \right) \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

$Ex_b$  = material extraíble en agua caliente, %.

$W_i$  = masa de la muestra inicial, g.

$W_f$  = masa de la muestra final, g.

#### 4.2.2.3 CONTENIDO DE LIGNINA

La metodología para la determinación del contenido de lignina del bagazo cervecero se basó en la norma ASTM D 1106–96 (2001) [93]. Se mezcló 1 g de muestra seca libre de extraíbles totales con 15 mL de  $H_2SO_4$  al 72% y a 13°C en un vaso de precipitado. Se agitó la mezcla a 400 rpm durante 1 min y a 200 rpm durante 2 h, manteniéndose a una temperatura de 19°C. A continuación se trasvasó la mezcla a un matraz Erlenmeyer de 1 L y se añadieron 560 mL de agua destilada para lograr una dilución del ácido al 3%. Después, se realizó el montaje de la Figura 14c, en el cual el contenido del matraz es llevado a ebullición con reflujo durante 4 h. Posteriormente, se dejó enfriar el matraz a temperatura ambiente y se filtró su contenido en un embudo Büchner con un papel filtro No. 3 libre de humedad y de masa conocida. Se realizó un lavado con 500 mL de agua caliente para dejar a la muestra libre de ácido. El papel y la muestra fueron secados en la mufla a 105°C por 4 h. Finalmente, se midió la masa de muestra remanente y se calculó el contenido de lignina con la Ecuación 11.

$$\%Lig = 100 \left( \frac{W_f}{W_i} \right) \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

$Lig$  = contenido de lignina, %.

$W_i$  = masa de la muestra inicial, g.

$W_f$  = masa de la muestra final, g.

#### 4.2.2.4 CONTENIDO DE HOLOCELULOSA

La determinación del contenido de holocelulosa se basó en la norma ASTM D1104-56 (1978) [94]. En un matraz Erlenmeyer se agregaron 2 g de bagazo cervecero libre de humedad y extraíbles totales, 150 mL de agua destilada, 0.2 mL de ácido acético a 15°C y 1 g de clorito sódico. A continuación se colocó el matraz con tapa en un baño de agua a 75°C

(ver Figura 15) durante 5 h, con agitación constante. Cada hora fueron añadidos 0.22 mL de ácido acético a 15°C y 1 g de clorito sódico. Al finalizar las 5 h, se colocó el matraz en un baño de agua fría hasta alcanzar los 10°C. Enseguida, se filtró el contenido del matraz en un embudo Büchner con un papel filtro No. 3 libre de humedad y de masa conocida. Se realizó un lavado con 500 mL de agua fría hasta que la muestra perdió la coloración amarilla. Por último, el papel filtro y la muestra fueron secados en la mufla a 105°C por 4 h. El contenido de holocelulosa se determinó con la Ecuación 12.

$$\%Hol = 100 \left( \frac{W_f}{W_i} \right) \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

$Hol$  = contenido de holocelulosa, %.

$W_i$  = masa de la muestra inicial, g.

$W_f$  = masa de la muestra final, g.

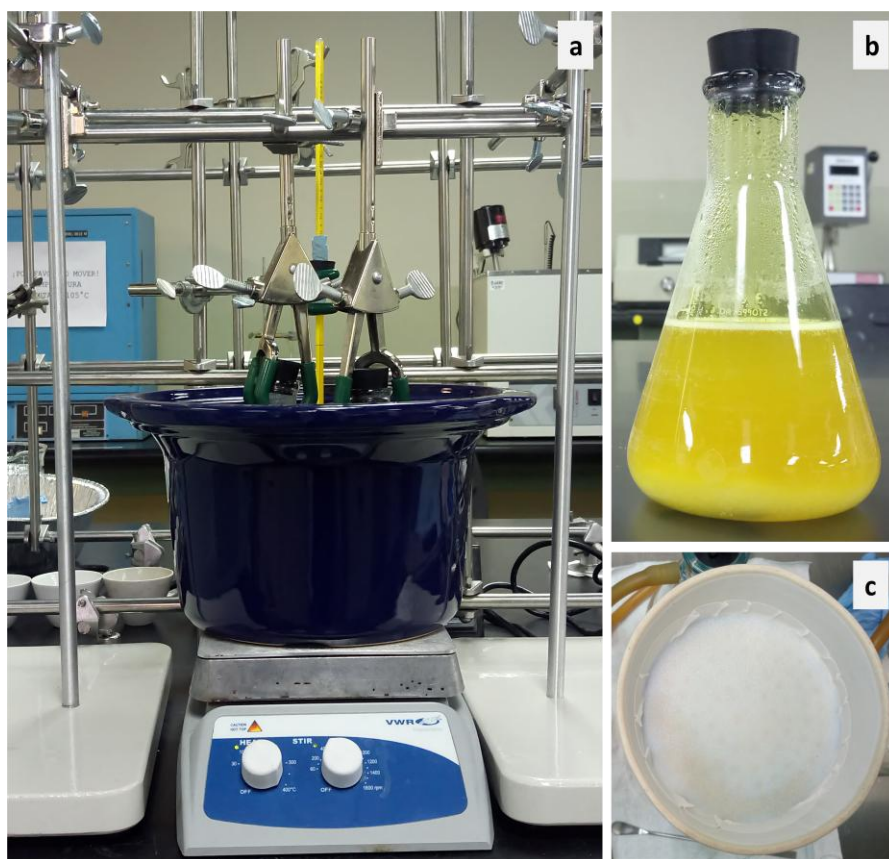


Figura 15. Determinación de holocelulosa a) montaje, b) holocelulosa sin filtrar, c) holocelulosa.

Fuente: elaboración propia

#### 4.2.2.5 CONTENIDO DE CELULOSA

La metodología para determinar el contenido de celulosa se basó en la metodología Rowell [95]. En un matraz Erlenmeyer se añadieron 2 g de holocelulosa seca y 10 mL de NaOH al 17.5% a 20°C y se dejó reposar durante 5 min a una temperatura controlada de 20°C. Se añadieron 5 mL de NaOH al 17.5% a 20°C en intervalos de 5 minutos, resultando en 25 mL de NaOH totales. Después de añadir los últimos 5 mL de NaOH la mezcla se dejó reposar por 30 min a 20°C. A continuación, se añadieron 33 mL de agua desionizada a 20°C y se dejó reposar por 60 min. Concluido el total de 105 min desde el inicio del proceso la mezcla se filtró en un embudo Büchner. Se utilizó un papel filtro No. 3 seco y de masa conocida. El residuo fue lavado en el orden siguiente: con 100 mL de NaOH al 8.3%, agua desionizada a 20°C, 15 mL de ácido acético al 10% y agua hasta alcanzar un pH neutro. El residuo junto con el papel fue secado en la mufla a 105°C por 4 h. Finalmente, el porcentaje de celulosa se determinó con la Ecuación 13.

$$\%Cel = 100 \left( \frac{W_f}{W_i} \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

$Cel$  = contenido de celulosa, %.

$W_i$  = masa de la muestra inicial, g.

$W_f$  = masa de la muestra final, g.

#### 4.2.2.6 CONTENIDO DE HEMICELULOSA

El contenido de hemicelulosa se calculó por diferencia, según la Ecuación 14 [86].

$$\%Hem = \%Hol - \%Cel \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

$Hem$  = contenido de hemicelulosa, %.

#### 4.2.3 ANÁLISIS ÚLTIMO

El análisis para determinar el contenido de Carbono, Hidrógeno, Nitrógeno y Oxígeno del bagazo cervecero fue llevado a cabo en el equipo Thermo Flash-2000 ECHNS-O. En el cual, se utilizó el reactor a 900°C y óxido de vanadio como catalizador para C, H, N y S y el reactor a 1060°C para O.

#### 4.2.4 DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO SUPERIOR

El poder calorífico superior (PCS) es una medida que indica el calor generado por la combustión de una cantidad unitaria de combustible, a volumen constante, en un

calorímetro de bomba de oxígeno bajo condiciones controladas. El procedimiento para determinar el PCS se fundamenta en la norma ASTM 711 [97]. La determinación se realizó en el calorímetro de bomba de oxígeno IKA C2000, bajo el modo de operación isoperibólico y una temperatura de la cubeta de agua a 25°C [86]. Se procesaron 2 muestras de alrededor de 1 g de masa y libres de humedad.

#### 4.2.5 ESTIMACIÓN DEL PODER CALORÍFICO INFERIOR

El Poder Calorífico Inferior (PCI) está relacionado con el PCS, esta relación se puede apreciar en la Ecuación 15 [6].

$$PCI = PCS - (9)(24.43)(H_{bs}) \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

$PCI$  = Poder calorífico inferior, KJ/kg.

$PCS$  = Poder calorífico superior, KJ/kg.

$H_{bs}$  = Fracción másica del hidrógeno en el combustible en base seca.

9 = Por cada 1 kg de hidrógeno se producen 9 kg de agua.

24.47 = Entalpía másica de vaporización del agua a 25°C, kJ/kg.

#### 4.2.6 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE CENIZAS

El análisis de la composición de cenizas se llevó a cabo por la técnica de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDXRF, por sus siglas en inglés). El EDXRF hace uso del espectro de rayos-X emitido por una muestra sólida bombardeada por un haz de electrones, con el fin de obtener un análisis químico localizado. Se pueden detectar todos los elementos dentro del rango de número atómico del 4 (Be) al 92 (U). Sin embargo, no todos los instrumentos están equipados para elementos menores del número atómico 10. El análisis cuantitativo implica medir las intensidades de línea para cada elemento [100].

Se analizaron las cenizas de bagazo cervecero mediante EDXRF en el Espectrómetro de fluorescencia de energía dispersiva de rayos X EDX-7000 de la marca Shimadzu. Se utilizaron los canales Al-U a 50 kV y Na-Sc a 15 kV.

#### 4.2.7 ANÁLISIS MORFOLÓGICO POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

La malta 2-row y el bagazo cervecero seco sin moler fueron analizadas mediante en el microscopio SEM JEOL JSM-6360, con una aceleración de voltaje de 15 kV y vacío de 45 Pa. Las micrografías fueron tomadas a 15X, 25X y 200X.

#### 4.2.8 ANÁLISIS DE EXTRAÍBLES EN ACETONA POR ESPECTROSCOPÍA DE INFRARROJO

Los extraíbles en acetona obtenidos del bagazo cervecero se colocaron en la mufla a 60°C para evaporar los restos de acetona. A continuación el residuo aceitoso (ver Figura 16) fue analizado en el espectrofotómetro de infrarrojo FTIR Frontier de Perkin Elmer.



Figura 16. Extraíbles en acetona del bagazo cervecero. Fuente: Elaboración propia

### 4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

#### 4.3.1 ANÁLISIS PRÓXIMO

La Figura 17, muestra una serie de fotografías de los cambios que sufrió el bagazo cervecero durante el análisis próximo. Primero se observa la muestra libre de humedad, posteriormente libre de materia volátil y por último se aprecian las cenizas del bagazo.



Figura 17. Análisis próximo a) bagazo sin humedad, b) bagazo sin materia volátil, c) cenizas. Fuente: elaboración propia

Los resultados experimentales del análisis próximo se muestran en la Tabla 12. El contenido de humedad se expresa en porcentaje de la masa total de la muestra. Los contenidos de materia volátil, cenizas y carbono fijo, se expresan en porcentaje base seca.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo fueron comparados con los reportados por otros autores en la Tabla 13.

**Tabla 12. Resultados experimentales del análisis próximo del bagazo cervecero**

Réplica	Hum (%)	MV <sub>bs</sub> (%)	CE <sub>bs</sub> (%)	CF <sub>bs</sub> (%)
1	77.40	78.88	4.08	17.05
2	76.96	78.30	4.12	17.58
3	77.60	78.23	3.97	17.80
<b>MA</b>	<b>77.32</b>	<b>78.47</b>	<b>4.05</b>	<b>17.48</b>
DE	0.33	0.35	0.08	0.39

Donde bs: base seca, MA: media aritmética, DE: desviación estándar

Se determinó que el bagazo cervecero tiene un contenido de humedad alto (77.32%). Esto podría representar una desventaja si se quiere seguir la ruta de conversión termoquímica, debido a que se requiere invertir energía para secar la biomasa. Asimismo, se obtuvo un contenido de cenizas bajo (4.05%). Lo anterior es conveniente si el bagazo sigue la ruta termoquímica, ya que un alto contenido de cenizas puede ocasionar problemas de ignición y combustión. El contenido de ceniza en el bagazo cervecero reportado por otros autores va del 2.3 al 16.8%. En la Tabla 13 se distingue que Mamhood et al. [101], Russ et al. [102] y Mathias et al. [2] reportaron un contenido de cenizas muy parecido al reportado en el presente trabajo.

**Tabla 13. Comparación de análisis próximo del bagazo cervecero**

Autores	Humedad (%)	Materia volátil (%)	Cenizas (%)	Carbono fijo (%)
Presente trabajo	77.32	78.47	4.05	17.48
Mahmood et al. [42]	8.00	78.00	4.50	17.50
Zhang & Wang [103]	80.20	83.40	16.80	-
Wilkinson et al. [104]	7.40	-	2.70	-
Dhillon et al. [53]	65.40	-	2.60	-
Becidan et al. [63]	-	78.75	5.03	16.22
Sanna et al. [43]	4.60	61.40	6.50	17.00
Santos et al. [105]	-	-	3.40	-
Kanauchi et al. [106]	-	-	2.40	-
Bochmann et al. [38]	78.90	-	-	-
Xiros et al. [107]	-	-	3.30	-
Machado et al. [108]	70.60	-	3.80	-
Machado et al. [108]	71.10	-	4.40	-
Mathias et al. [24]	82.60	-	3.80	-

Celaya et al. [39]	5.68	-	4.70	-
Adeniran et al. [109]	6.40	-	7.90	-
Russ et al. [102]			4.25	
Celus et al. [110]	-	-	3.30	-

Por otra parte, el contenido de material volátil del bagazo cervecero fue 78.47%. Este valor es similar al reportado por Mamhoom et al. [42] y Becidan et al [63]. El contenido de carbono fijo fue 17.48%, el cual corresponde con el reportado por Mamhoom et al. [42] y Sanna et al. [43]. La biomasa con alta volatilidad presenta muchas ventajas como materia prima para combustión. Además, se puede esperar que el bagazo tenga un alto poder calorífico, debido a los altos contenidos de materia volátil y carbono fijo [8].

#### 4.3.2 ANÁLISIS QUÍMICO

Los resultados experimentales del análisis químico del bagazo cervecero se presentan en la Tabla 14. Los extraíbles en acetona, extraíbles en agua caliente, contenido de lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa se expresan en porcentaje base seca.

**Tabla 14. Resultados experimentales del análisis químico del bagazo cervecero**

Réplica	Ex <sub>a</sub> (%)	Ex <sub>b</sub> (%)	Lig (%)	Hol (%)	Cel (%)	Hem (%)
1	5.21	50.23	17.04	66.11	28.59	37.52
2	5.23	50.24	17.19	63.57	26.63	36.94
3	5.24	50.29	17.16	62.23	25.18	37.05
<b>MA</b>	<b>5.23</b>	<b>50.25</b>	<b>17.13</b>	<b>63.97</b>	<b>26.80</b>	<b>37.17</b>
DE	0.02	0.03	0.08	1.97	1.71	0.30

MA: media aritmética, DE: desviación estándar.

De igual manera, los resultados experimentales son comparados con los de otros autores en la Tabla 15. La variación entre los resultados reportados puede deberse a la naturaleza de la malta y las técnicas de malteado y macerado. El bagazo cervecero analizado contiene 5.23% de extraíbles en acetona. Entre los extraíbles en solventes orgánicos se puede encontrar resinas, ácidos grasos, esteroides y grasas [111]. También, se obtuvo 50.25% de extraíbles en agua caliente. Los principales extraíbles en agua caliente pueden ser compuestos fenólicos, carbohidratos, sales solubles [73].

Además, se determinó que el bagazo cervecero contiene los siguientes porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina: 26.80%, 37.17% y 17.13%, respectivamente. La celulosa es un polímero lineal de glucosa, la orientación de sus enlaces la hacen rígida y difícil de romper. Si ésta es sometida a un proceso de sacarificación se obtiene como producto glucosa [67]. La hemicelulosa es más fácil de hidrolizar que la celulosa, debido a su

naturaleza amorfa [67]. Es por ello que la celulosa y hemicelulosa son de gran interés ya que pueden ser bioconvertidos en biogás, bioetanol, ácido láctico, xilitol, arabitól, entre otros. Mientras que, de la fracción de lignina se pueden extraer compuestos con actividad antioxidante tales como los ácidos ferulico y p-cumárico [112].

**Tabla 15. Comparación de análisis químico del bagazo cervecero**

<b>Autores</b>	<b>Lignina (%)</b>	<b>Celulosa (%)</b>	<b>Hemicelulosa (%)</b>
Presente trabajo	17.13	26.80	37.17
Mahmood et al. [101]	12.61	18.98	33.59
Zhang & Wang [103]	13.50	20.20	27.20
Wilkinson et al. [113]	9.90	19.20	18.40
Dhillon et al. [53]	12.40	13.80	30.00
Mussatto et al. [28]	27.80	16.88	28.40
Russ et al. [102]	7.50	24.00	32.50
Kanauchi et al. [106]	11.86	25.37	21.77
Zhang & Zang [44]	12.81	21.20	28.25
Bochmann et al. [38]	24.60	23.30	-
Liguori et al. [40]	3.93	14.42	34.21
Xiros et al. [107]	11.50	12.00	40.20
Machado et al. [108]	-	18.50	37.70
Machado et al. [108]	-	17.20	38.90
Klímek et al. [114]	15.80	24.50	23.80
Celus et al. [110]	-	-	22.50

#### 4.3.3 ANÁLISIS ÚLTIMO

Los resultados experimentales del análisis último del bagazo cervecero se exponen en la Tabla 16. A su vez, la tabla, también presenta una comparación con los resultados reportados por otros autores.

**Tabla 16. Análisis último del bagazo cervecero**

<b>Autores</b>	<b>C (%)</b>	<b>H (%)</b>	<b>O (%)</b>	<b>N (%)</b>	<b>S (%)</b>
Presente trabajo	43.59	6.18	37.22	3.46	-
Mahmood et al. [101]	46.60	6.85	42.26	3.54	0.74
Zhang & Wang [103]	42.50	-	-	3.70	-
Becidan et al. [63]	51.59	7.07	36.96	4.15	0.23
Sanna et al. [43]	49.80	6.38	39.36	4.14	0.10
Zhang & Zang [44]	44.93	-	-	2.24	-
Celaya et al. [39]	49.70	6.54	34.87	3.86	0.33
Khidzir et al. [115]	35.60	-	-	1.03	-

A partir del análisis último se precisó que el bagazo cervecero contiene 43.59% carbono, 6.18% hidrógeno, 37.22% oxígeno y 3.46% nitrógeno. Sin embargo, también se encontraron trazas de azufre mediante el análisis EDXRF. Este análisis ayuda a evaluar el impacto ambiental si la biomasa es sometida a un proceso termoquímico y a estimar el poder calorífico mediante ecuaciones reportadas en la literatura [8].

#### 4.3.4 DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO SUPERIOR

El PCS del bagazo cervecero seco analizado es 18.50 MJ/kg, el cual es similar a otros reportados, que van de 18.55 a 20.83 MJ/kg (ver Tabla 17). El valor El PCS es un parámetro importante en la evaluación del potencial energético de cualquier bioenergético. En la región hay residuos agrícolas valorizados energéticamente tales como la paja de trigo, la cual tiene un PCS de 14.86 MJ/kg [116] y la vara de algodón con 16.91 MJ/kg [86].

**Tabla 17. Poder calorífico superior del bagazo cervecero**

<b>Autores</b>	<b>PCS (MJ/kg)</b>
Presente trabajo	18.70
Becidan et al (2007) [63]	20.83
Sanna et al (2011) [43]	18.55
Russ et al (2005) [102]	20.14
Weger et al (2014) [117]	19.60

#### 4.3.5 ESTIMACIÓN DEL PODER CALORÍFICO INFERIOR

A partir del PCS del bagazo cervecero, que es de 18.70 MJ/kg y de la fracción másica de hidrógeno, cuyo valor es 6.18, se estimó el PCI (ver Ecuación 15). El cálculo para esta estimación se desarrolla en la Ecuación 16.

$$PCI = \left[ \frac{18700 \text{ kJ}}{\text{kg}} - (9)(24.43)(6.18) \right] \left[ \frac{1 \text{ MJ}}{1000 \text{ kJ}} \right] = 17.35 \text{ MJ/kg} \quad \text{Ecuación 16}$$

A manera de comparación, en la Tabla 18 se mencionan algunos materiales con sus respectivos valores de PCI y PCS. Entre estos se encuentran desechos agro-industriales de la región tales como bagazo cervecero, paja de trigo, vara de algodón, podas de vid y orujo de uva. La tabla también muestra otros desechos agro-industriales y combustibles convencionales; tales como paja de trigo, vara de algodón, podas de vid, orujo de uva, torta de higuera, cáscara de higuera, bagazo de caña, gas natural, gasolina convencional, diesel convencional, etanol, entre otros.

Tabla 18. Comparación de poder calorífico superior e inferior entre diferentes materiales

Material	PCI (MJ/kg)	PCS (MJ/kg)	Referencia
Bagazo cervecero	17.35	18.70	Presente trabajo
Paja de trigo	13.64	14.86	Torres [86]
Vara de algodón	15.75	16.91	Torres [86]
Podas de vid	15.84	17.01	Banquez [118]
Orujo de uva	19.41	20.74	Banquez [118]
Torta de higuera	18.64	20.03	Banquez [118]
Cáscara de higuera	14.22	15.28	Banquez [118]
Bagazo de caña	15.76	16.91	Turn et al. [119]
Semillas de mango	17.09	18.57	Nagle et al. [120]
Rastrojo de maíz	16.44	17.65	Kitani et al. [121]
Vara de roble	18.29	19.47	Miles et al. [122]
Gas natural	47.14	52.23	ORNL [123]
Hidrógeno	120.21	142.18	ORNL [123]
Petróleo crudo	42.69	45.54	ORNL [123]
Gasolina convencional	43.44	46.54	ORNL [123]
Diesel convencional	42.79	46.54	ORNL [123]
Metanol	20.09	22.88	ORNL [123]
Etanol	26.95	29.85	ORNL [123]
Butanol	34.37	37.33	ORNL [123]
Metil éster (biodiesel)	37.53	40.17	ORNL [123]

Una manera gráfica de comparar el bagazo cervecero como combustible es mediante un diagrama de Van Krevelen (ver Figura 18) [124]. En dicho diagrama, se comparan las relaciones atómicas O/C y H/C de diferentes combustibles e.g. biomasa, turba, lignito, carbón y antracita. Estas relaciones se calculan a partir de la información que proporciona el análisis último [125].

Por otra parte, en la Figura 19 aparece otro diagrama de Van Krevelen, en donde se compara el bagazo contra otros tipos de biomasa. Se aprecia como el bagazo cervecero ocupa una posición en el diagrama similar a la de los cultivos energéticos, paja y cáscaras y árboles maderosos. En estos diagramas, es posible distinguir como los contenidos de C y H determinan el poder calorífico de los combustibles. Mientras que el contenido de O, está asociado con menores contenidos energéticos y mayor emisión de CO<sub>2</sub>, durante su procesamiento como biocombustible. En el caso de la conversión termoquímica, los enlaces carbono-carbono contienen mayor energía que los enlaces carbono-oxígeno y carbono-hidrógeno [126].

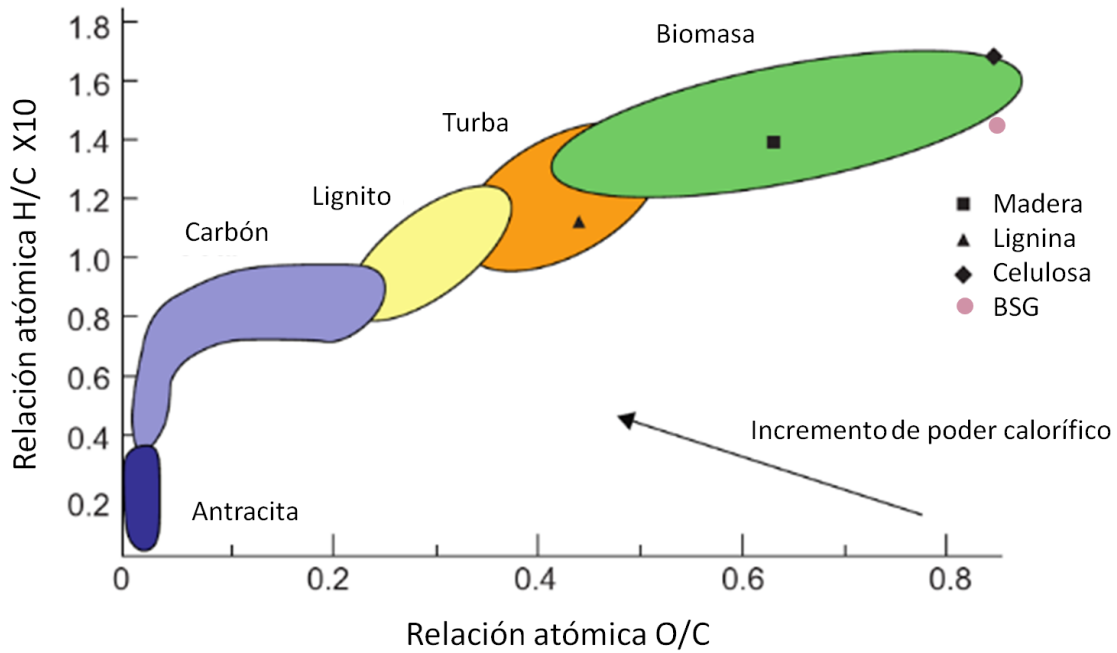


Figura 18. Comparación de combustibles en diagrama de Van Krevelen. Fuente: modificado de Basu [125]

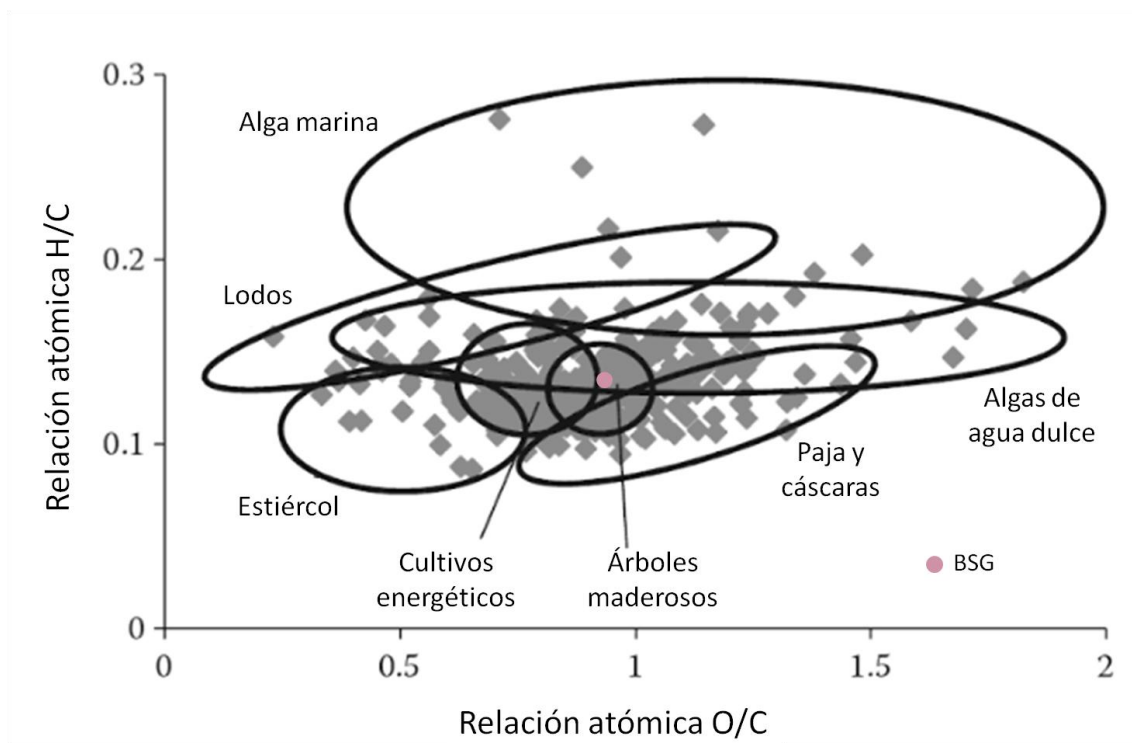


Figura 19. Comparación entre biomazas en diagrama de Van Krevelen. Fuente: modificación de Strezov [126]

#### 4.3.6 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE CENIZAS

En la Tabla 19 se presenta el análisis de composición de cenizas del bagazo cervecero, obtenidas mediante el procedimiento descrito en la Sección 4.2.1.3. La muestra analizada contiene principalmente fósforo, silicio, calcio y potasio y en menor cantidad hierro, zinc, estaño, azufre, manganeso, cobre, estroncio y yodo. El elevado porcentaje de calcio es esperado, ya que el agua utilizada para el macerado contiene calcio. Los minerales tales como fósforo, azufre, cobre, hierro, zinc, potasio, calcio y sodio sirven de nutrientes para las levaduras, lo cual podría resultar beneficioso en la producción de bioetanol con levaduras [127].

**Tabla 19. Análisis EDXRF de las cenizas del bagazo cervecero**

Analito	Composición en cenizas (%)	Composición en bagazo cervecero (%)
P	34.013	1.378
Si	29.820	1.208
Ca	21.417	0.867
K	9.702	0.393
Fe	1.876	0.076
Zn	1.098	0.044
Sn	0.680	0.028
S	0.471	0.019
Mn	0.406	0.016
Cu	0.205	0.008
Sr	0.164	0.007
I	0.146	0.006

#### 4.3.7 ANÁLISIS MORFOLÓGICO POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

En la Figura 20 se presentan una serie de micrografías como comparación entre un grano de malta 2-row antes de macerar y después de macerar (bagazo cervecero). Se puede apreciar que la malta fue degradada durante el macerado. Sin embargo, esto no ocurrió de forma agresiva, por lo que el endosperma aún contiene almidón. También se confirma que la cáscara, pericarpio, capa de aleurona y la testa no sufrieron grandes modificaciones. Por otra parte, no se identificó algún rastro del embrión de la semilla.

Además, la Figura 21 muestra una micrografía obtenida a X15 de un grano de malta de cebada 2-row y la identificación de sus partes; tales como cáscara, pericarpio, testa, capa de aleurona y endosperma.



Figura 20. Micrografías a) grano de malta 2-row sin procesar, b) corte transversal del grano de malta, c) cáscara y endosperma almidonoso del grano de malta, d) grano de malta después de ser macerado, e) corte transversal del grano de malta macerado y f) cáscara del grano de malta macerado. Fuente: elaboración propia

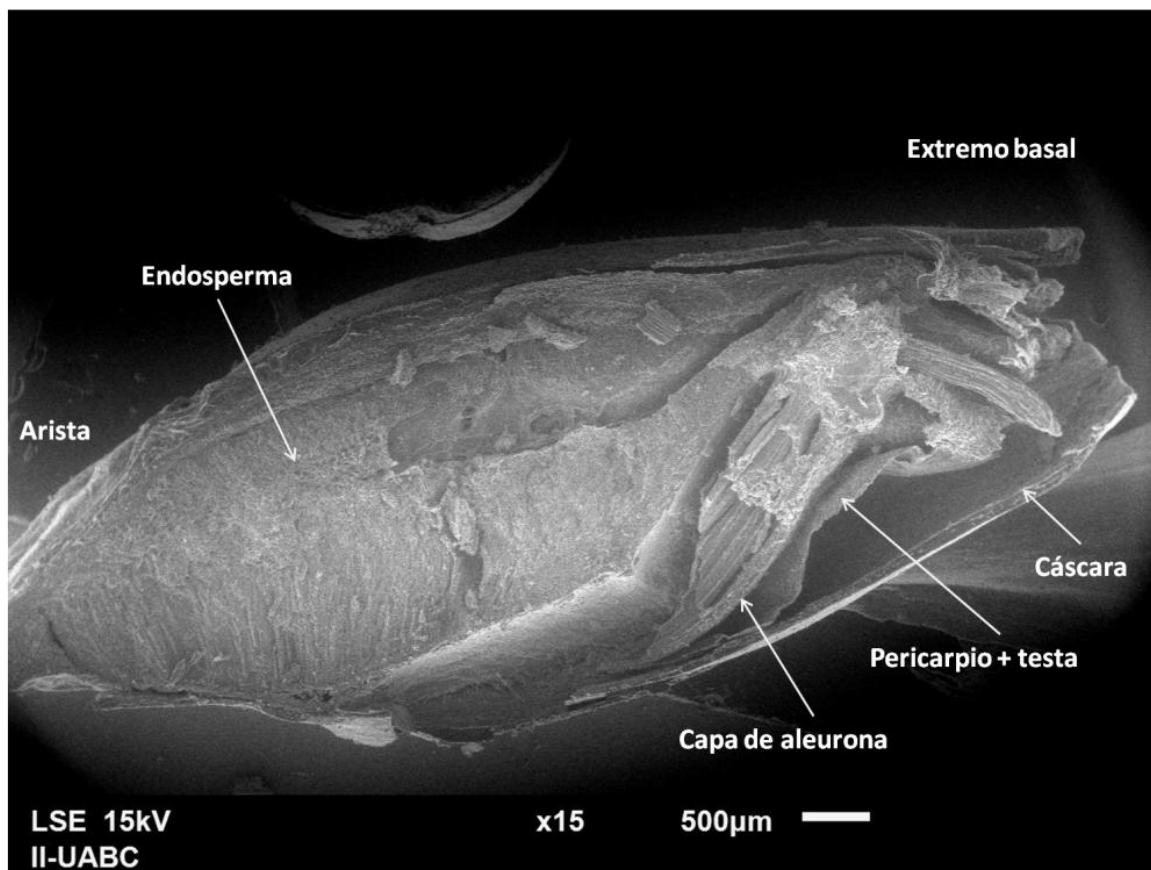


Figura 21. Identificación de partes de un grano de malta 2-row. Fuente: elaboración propia

#### 4.3.8 ANÁLISIS DE EXTRAÍBLES EN ACETONA POR ESPECTROSCOPÍA DE INFRARROJO

Se analizaron los extraíbles en acetona mediante espectroscopía de infrarrojo, los cuales fueron obtenidos del bagazo cervecero como se describe en la sección 4.2.2.1. El espectro IR se presenta en la Figura 22. Se presentaron bandas con números de onda 2922.91, 2853.56, 1743.07, 1463.50, 1375.70, 1161.45, 1089.00 y 719.62  $\text{cm}^{-1}$ .

El análisis para la interpretación del espectro se esquematiza en la Figura 23. Se identificó, que existe presencia de los grupos carbonilo y ésteres, así como cadenas de  $-(\text{CH}_2)_n$  con  $n \geq 4$  y terminaciones  $-\text{CH}_3$ .

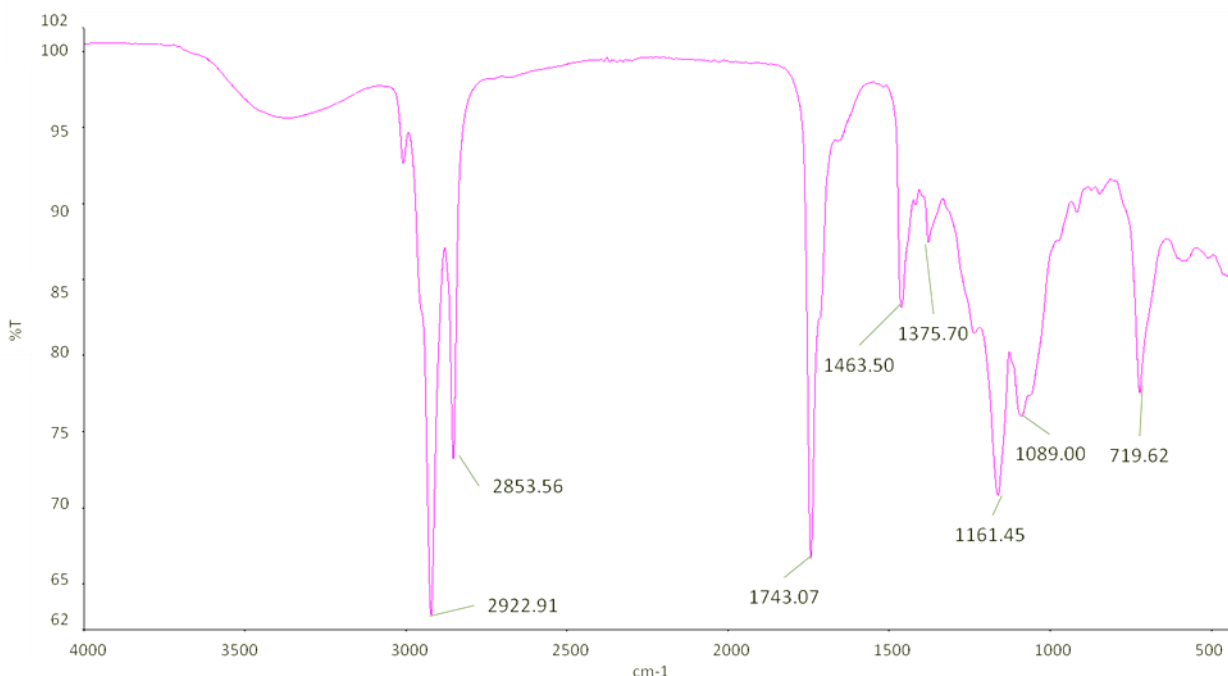


Figura 22. Espectro IR de los extraíbles en acetona del bagazo cervecero.

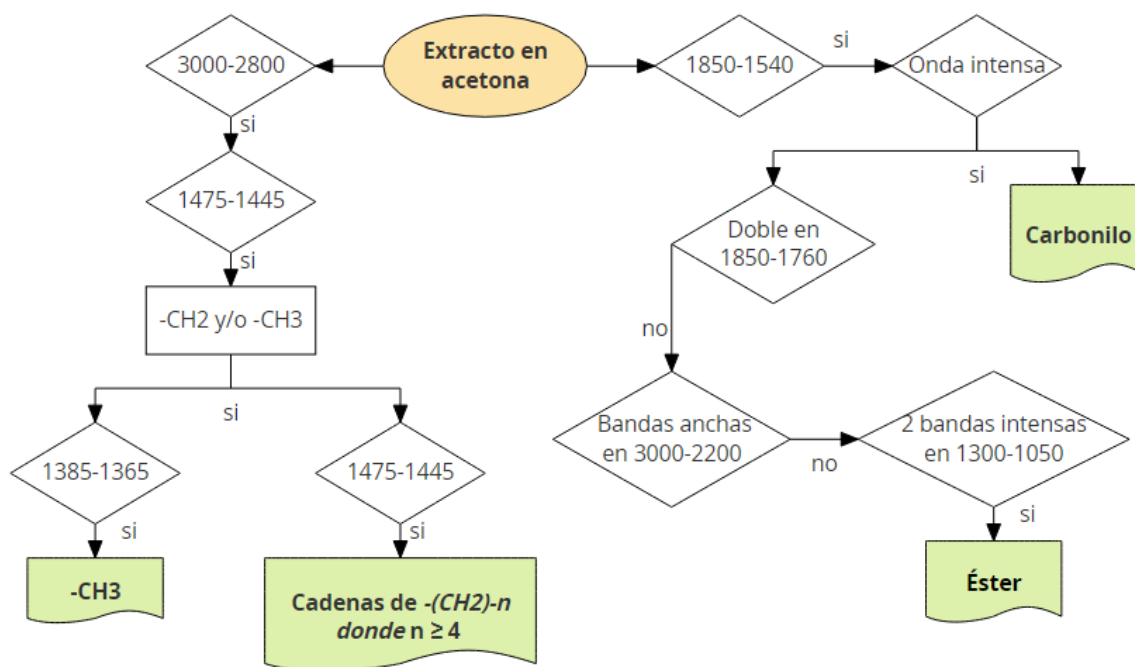


Figura 23. Análisis del espectro IR de los extraíbles en acetona. Donde todos los valores están dados en  $\text{cm}^{-1}$ . Fuente: Elaboración propia

## 5 HIDRÓLISIS DEL BAGAZO CERVECERO

La hidrólisis del bagazo cervecero se llevó a cabo con la finalidad de obtener azúcares reductores. Previo a la experimentación se realizó un diseño de experimentos donde se definieron las variables de entrada y de salida. Posteriormente, se realizaron las corridas estrictamente en el orden pautado por el diseño de experimentos. A continuación, se cuantificaron los azúcares reductores mediante el Método DNS. Finalmente, se hizo un análisis con los resultados obtenidos.

### 5.1 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El diseño de experimentos (DOE, por sus siglas en inglés) factorial se elaboró con el programa Design-Expert® versión 10, mediante la herramienta Design Wizard. Para el diseño, fueron considerados los siguientes factores a dos niveles: temperatura de hidrólisis (°C), tiempo de hidrólisis (min) y concentración de ácido sulfúrico (% v/v). La codificación de estos factores del DOE se puede apreciar en la Tabla 20.

**Tabla 20. Factores y niveles del diseño de experimentos**

			Niveles	
			Bajo (-1)	Alto (1)
Factores	A	Temperatura (°C)	100	200
	B	Tiempo (min)	20	35
	C	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (% v/v)	1	5

El diseño del experimento de hidrólisis con ácido diluido del bagazo cervecero se encuentra en la Tabla 21. En ésta, se muestran las corridas ordenadas de manera aleatoria, las variables de entrada o factores y las variables de respuesta. Como variables de respuesta se consideran: pérdida de masa (% base seca), concentración de xilosa (g/L), concentración de fructosa (g/L).

**Tabla 21. Diseño del experimento de hidrólisis del bagazo cervecero**

Orden estándar	Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (% v/v)	Pérdida de masa (%)	Xilosa (g/L)	Fructosa (g/L)
8	1	200	35	1			
11	2	200	20	5			
15	3	200	35	5			
1	4	100	20	1			
2	5	100	20	1			
14	6	100	35	5			
9	7	100	20	5			

6	8	100	35	1			
16	9	200	35	5			
7	10	200	35	1			
12	11	200	20	5			
3	12	200	20	1			
13	13	100	35	5			
5	14	100	35	1			
10	15	100	20	5			
4	16	200	20	1			

## 5.2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.2.1 HIDRÓLISIS CON ÁCIDO DILUÍDO

Se realizó una serie de hidrólisis del bagazo cervecero respetando la secuencia y las condiciones experimentales del diseño de experimentos. El procedimiento de la hidrólisis, análisis de pérdida de masa y cuantificación de azúcares reductores fue similar en todas las pruebas (ver Figura 24). Lo que diferenció una prueba de otra fueron los valores de la temperatura de hidrólisis, tiempo de hidrólisis y concentración de ácido sulfúrico. En todas las hidrólisis, se utilizó bagazo cervecero seco y tamizado a 0.5 mm.

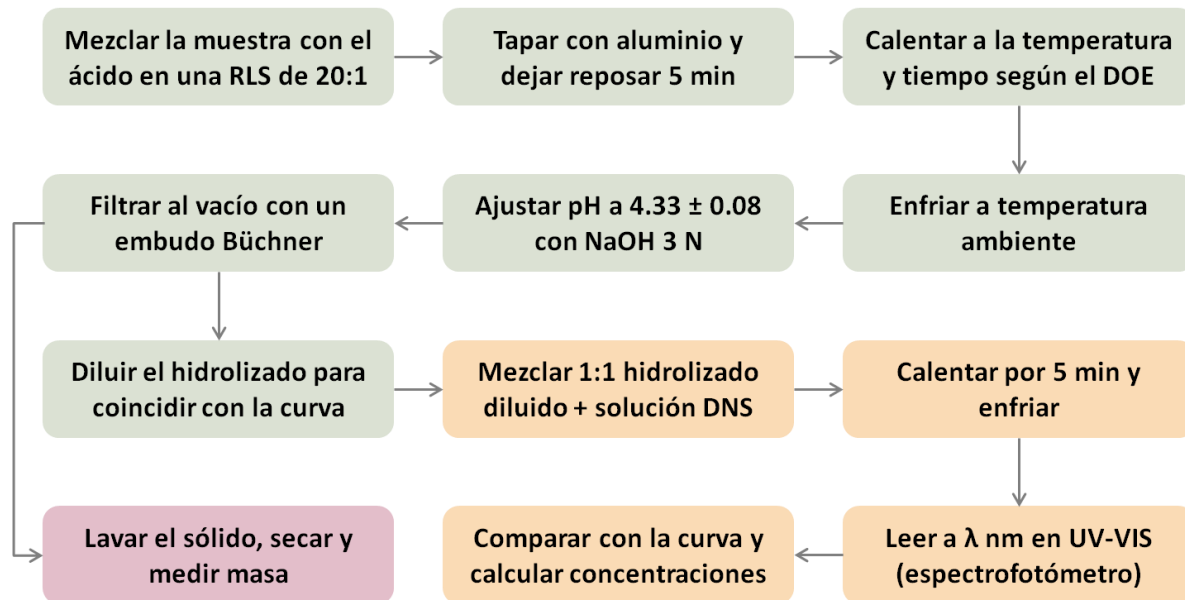


Figura 24. Proceso de hidrólisis y cuantificación de azúcares reductores. Fuente elaboración propia

Para cada una de las 16 corridas, se mezcló la muestra con el ácido sulfúrico en una RLS de 20:1 en un vaso de precipitado. La concentración del ácido sulfúrico varía para cada corrida como se en el DOE. El vaso se tapó con un pesa-muestras de aluminio VWR™ de

57 mm. Se agitó suavemente y se dejó reposar por 5 min. A continuación, se introdujo el vaso tapado a la mufla Thermolyne™ a las condiciones de temperatura y tiempo establecidos en el DOE. Al finalizar el tiempo de hidrólisis, se sacó el vaso de la mufla y se enfrió a temperatura ambiente para detener la hidrólisis.

Posteriormente, se midió el pH en el potenciómetro AT-510 con el electrodo de vidrio C-173, ambos de la marca KEM. La muestra se mantuvo en agitación constante, mientras se añadía NaOH 3N hasta regular el pH a  $4.33 \pm 0.08$ . A continuación, se filtró el hidrolizado al vacío, utilizando un embudo Büchner y papel filtro Whatman™ No. 3 seco de masa conocida. El sólido remanente, se lavó con agua hasta obtener un pH neutro y se secó a 105°C hasta peso constante. Por otra parte, el hidrolizado se preparó mediante el Método DNS para la cuantificación de azúcares reductores.

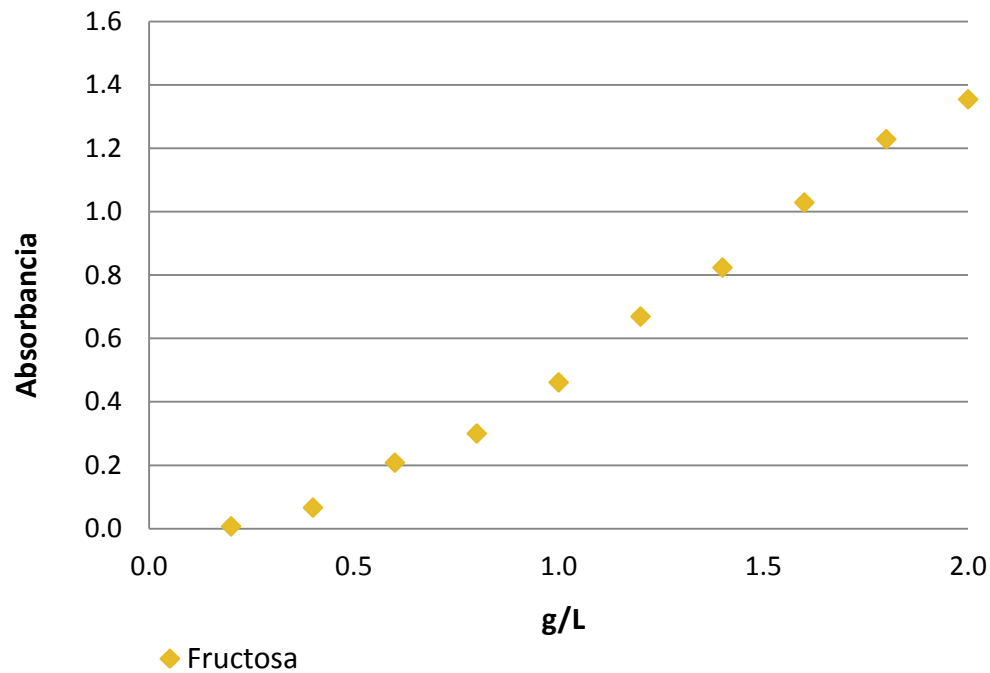
### 5.2.2 CUANTIFICACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES MEDIANTE EL MÉTODO DNS

Antes de la cuantificación de azúcares reductores, se preparó la «solución DNS» como estándar. La preparación consiste en mezclar 2.5 g de ácido 3,5-dinitrosalicílico (Sigma Aldrich), 7.5 g de tartrato de sodio y potasio (Fermont) y 4 g de NaOH (Merck), agregando agua entre reactivo y reactivo y, finalmente, aforar a 250 mL. La solución fue almacenada en un lugar con poca iluminación y poca humedad.

Por otra parte, se construyeron dos curvas de referencia: xilosa y fructosa. Se prepararon 10 soluciones de cada monosacárido con las concentraciones 0.2 g/L, 0.4 g/L, 0.6 g/L, 0.8 g/L, 1.0 g/L, 1.2 g/L, 1.4 g/L, 1.6 g/L, 1.8 g/L y 2.0 g/L. Para cada concentración de los diferentes monosacáridos, se tomó una alícuota de 3 mL y se le añadieron 3 mL de una solución DNS, previamente preparada. La mezcla, contenida en un vial ámbar con tapa, se mantuvo por 5 min en un baño de agua hirviendo. Enseguida, se enfrió el vial bajo un chorro de agua a temperatura ambiente.

A continuación, se midió la densidad óptica de las 10 concentraciones de la fructosa a 575 nm en el espectrofotómetro UV-VIS LAMBDA™ 25 de Perkin Elmer. A partir de estas mediciones se construyó la curva de referencia de la fructosa de 10 puntos (ver Figura 25), con la cual se puede extrapolar la concentración desconocida de fructosa de determinado hidrolizado.

Tanto para la elaboración de las curvas de referencia, como para la medición de las muestras se utilizó el programa UV WINLAB.



**Figura 25. Curva de referencia de la concentración de fructosa. Fuente: elaboración propia. Fuente: elaboración propia**

Por otro lado, para la elaboración de la curva de referencia de xilosa, se realizó un barrido espectral de 200 a 900 nm en el espectrofotómetro UV-VIS Lambda 25 de Perkin Elmer, de los puntos 0.2 g/L y 2.0 g/L. La Figura 26 es una gráfica con una sección del barrido espectral de las dos concentraciones, dentro de esta sección se encontraron los máximos valores de absorbancia. Se hizo un promedio de éstas, de lo que se obtuvo una longitud de onda de 539 nm. Por lo tanto, se midió la densidad óptica de las 10 concentraciones de xilosa a 539 nm. A partir de estos puntos se construyó la curva de referencia de la xilosa (ver Figura 27).

Una vez preparadas las curvas de referencia de fructosa y xilosa, se procedió a analizar los hidrolizados obtenidos previamente. Se tomaron muestras de cada corrida y se diluyó con factores de dilución de 75 y 20 para hacer coincidir con las curvas de fructosa y xilosa, respectivamente. Se tomaron 3 mL de cada hidrolizado diluido y se mezclaron con 3 mL de solución DNS en un vial ámbar con tapa. Después se colocaron en un baño de agua hirviendo durante 5 min y se enfriaron a temperatura ambiente. Posteriormente, se midió la absorbancia de cada muestra y se extrapola la concentración de fructosa y xilosa. En la Figura 28, se puede apreciar el cambio de coloración de las muestras, entre mayor concentración de azúcar la tonalidad amarilla aumenta.

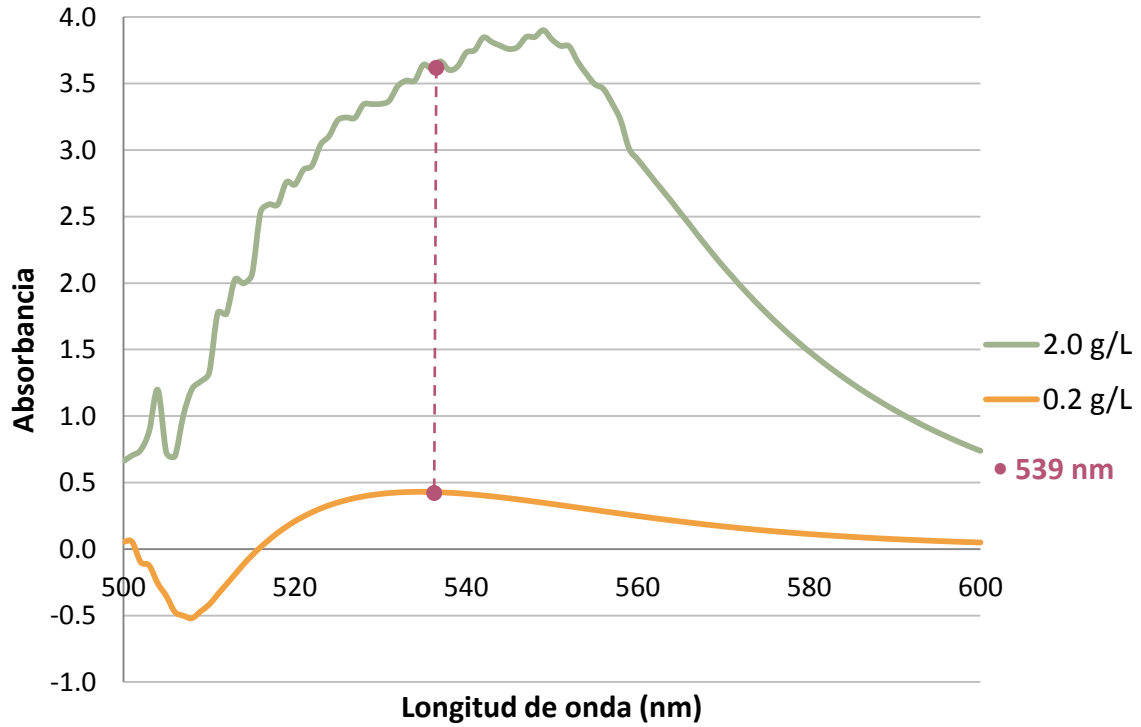


Figura 26. Barrido espectral de concentración máxima y mínima de xilosa preparada por Método DNS. Fuente: elaboración propia

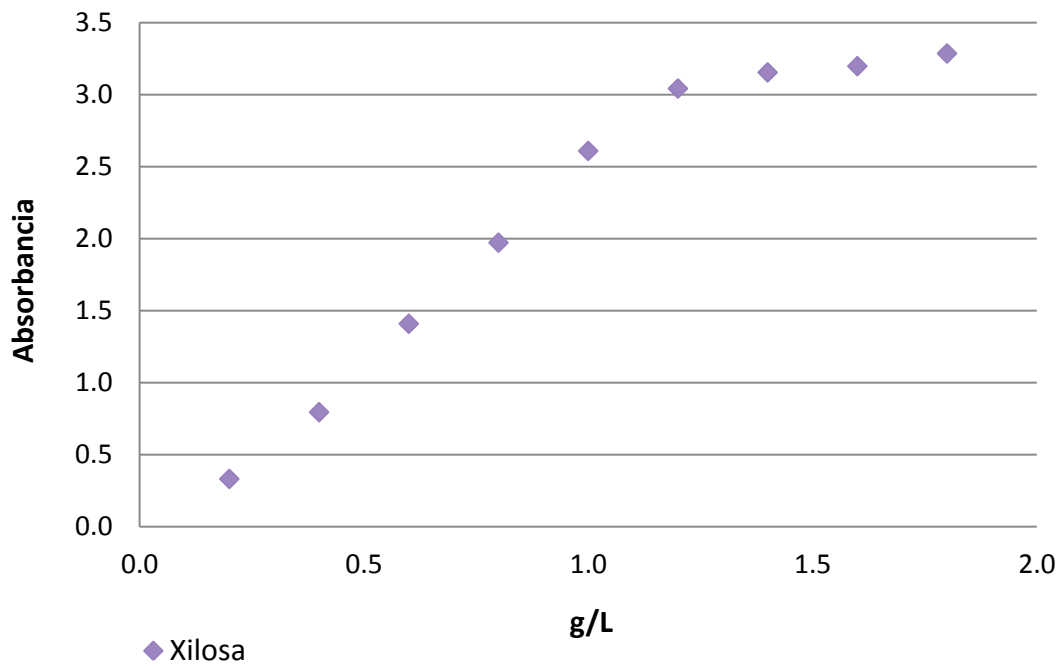


Figura 27. Curva de referencia de la concentración de xilosa. Fuente: elaboración propia



Figura 28. Cambio de coloración en muestras preparadas con solución DNS. Fuente: elaboración propia

### 5.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA HIDRÓLISIS

#### 5.3.1 PÉRDIDA DE MASA

La pérdida de masa indica la cantidad de muestra que fue consumida después de la hidrólisis. Los menores rendimientos en la obtención de azúcares están relacionados con los menores valores de pérdida de masa [104]. En la Figura 29 se comparan algunos de los residuos sólidos obtenidos de la hidrólisis del bagazo cervecero. El número del recuadro corresponde al número de la corrida.

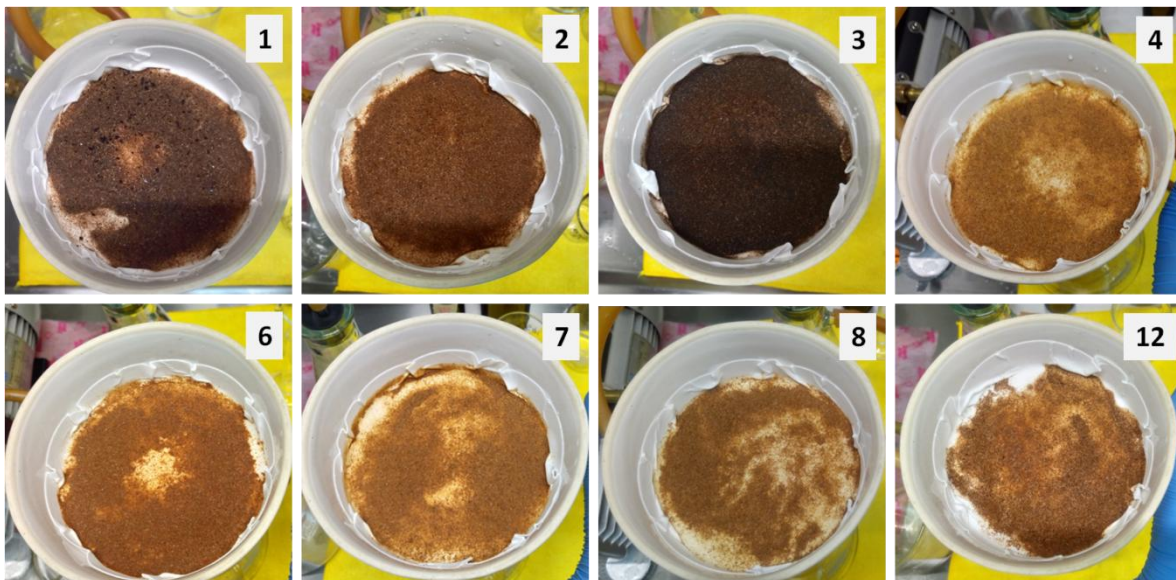


Figura 29. Residuos sólidos de la hidrólisis. Fuente: elaboración propia

La pérdida de masa del bagazo cervecero después de la hidrólisis fue calculada mediante la Ecuación 17. Los resultados se muestran en la Tabla 22, se puede examinar el valor obtenido para cada corrida.

$$\% \text{ Pérdida de masa} = 100 \left( \frac{W_i - RS_f}{W_i} \right) \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

$\% \text{ Pérdida de masa}$  = pérdida de masa después de hidrólisis, %.

$W_i$  = masa de la muestra inicial, g.

$RS_f$  = residuo sólido seco, g.

**Tabla 22. Variable de respuesta pérdida de masa**

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	H2SO4 (% v/v)	Pérdida de masa (%)
1	200	35	1	67.5742
2	200	20	5	74.4302
3	200	35	5	74.5650
4	100	20	1	51.2620
5	100	20	1	53.3622
6	100	35	5	69.1145
7	100	20	5	61.6063
8	100	35	1	63.6341
9	200	35	5	74.3041
10	200	35	1	68.9464
11	200	20	5	70.6273
12	200	20	1	69.0199
13	100	35	5	69.8481
14	100	35	1	62.8658
15	100	20	5	68.1194
16	200	20	1	70.3913

El análisis del experimento se llevó a cabo en el programa Design-Expert® versión 10. A partir de los datos de la Tabla 23, se elaboró el ANOVA de la variable dependiente pérdida de masa. Dicho análisis, con un nivel de confianza del 95% ( $\alpha=0.05$ ), se observa en la Tabla 24. Del análisis se deduce que las medias de los factores A, B y C son estadísticamente diferentes, con énfasis en el factor A. Por lo que se entiende que los valores de la temperatura, tiempo y concentración de ácido sí son variables significativas que afectan la

pérdida de masa. Además, se encontró que las interacciones entre AB, AC y BC también son significativas. Por lo tanto, bajo las condiciones experimentales del DOE, se da una mayor pérdida de masa con una temperatura de hidrólisis de 200°C, por 35 min y una concentración de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> del 5% (v/v).

**Tabla 23. Datos para el ANOVA de la variable de respuesta pérdida de masa**

	I	A	B	AB	C	AC	BC	ABC	Yij (%)		Ti.
(I)	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	51.262	53.3622	104.6242
a	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	69.0199	70.3913	139.4112
b	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	63.6341	62.8658	126.4999
ab	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	67.5742	68.9464	136.5206
c	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	61.6063	68.1194	129.7257
ac	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	74.4302	70.6273	145.0575
bc	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	69.1145	69.8481	138.9626
abc	1	1	1	1	1	1	1	1	74.565	74.3041	148.8691
T.j		70	32	-30	55.6	-20	-5.9	19.3	T..=		1069.6708

Donde Yij: variable de respuesta, Ti. Suma de las réplicas por tratamiento, T.j= Efecto de los tratamientos, T..: Sumatoria total

**Tabla 24. Anova de la pérdida de masa**

ANOVA						
Factor	SS	g.l.	M.S.	Fexp		F(α,v1,v2)
A	306.65	1	306.65	74.06	>	5.32
B	64.13	1	64.13	15.49	>	5.32
AB	56.97	1	56.97	13.76	>	5.32
C	192.93	1	192.93	46.59	>	5.32
AC	23.94	1	23.94	5.78	>	5.32
BC	2.20	1	2.20	0.53	<	5.32
ABC	23.38	1	23.38	5.65	>	5.32
Error	33.13	8	4.14			
Total	703.33	15				

Donde SS: sumatoria de cuadrados, gl: grados de libertad, MS: varianza

En la Figura 30, se compara el efecto de los tres factores durante la hidrólisis del bagazo. Cada barra representa el promedio de las dos réplicas de cada condición experimental, se

aprecia que la pérdida de masa aumenta conforme aumentan la temperatura, la concentración del ácido y el tiempo.

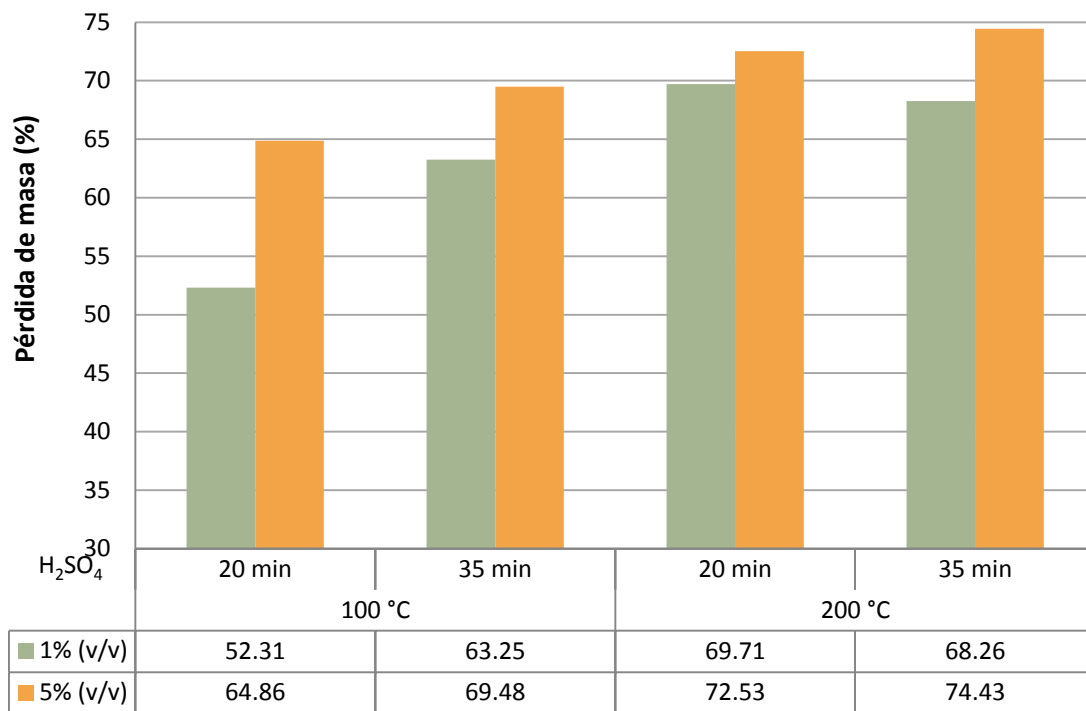


Figura 30. Comparación de la pérdida de masa en diferentes condiciones

### 5.3.2 CONCENTRACIÓN DE XILOSA

Se llevó a cabo la hidrólisis del bagazo cervecero bajo las diferentes condiciones experimentales establecidas en el DOE. Las concentraciones de xilosa fueron cuantificadas mediante el Método DNS y se exponen en la Tabla 25.

Tabla 25. Variable de respuesta concentración de xilosa

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (% v/v)	Xilosa (g/L)
1	200	35	1	6.8540
2	200	20	5	10.0100
3	200	35	5	9.0620
4	100	20	1	2.7340
5	100	20	1	3.1620
6	100	35	5	9.9240
7	100	20	5	4.8700
8	100	35	1	4.6560
9	200	35	5	9.6400

10	200	35	1	6.6420
11	200	20	5	10.7300
12	200	20	1	6.6200
13	100	35	5	8.5020
14	100	35	1	5.3040
15	100	20	5	5.2780
16	200	20	1	6.0080

De acuerdo con Mussatto & Roberto el xilano representa el 70% de la hemicelulosa del bagazo cervecero [69]. Por lo que se puede calcular que del 37.17% de la hemicelulosa del bagazo cervecero analizado en el presente trabajo, el 26.02% es xilano. A partir de esta información y de las ecuaciones Ecuación 18 y Ecuación 19 se pudo estimar el rendimiento de la hidrólisis del xilano.

$$Y_s = (CC) \left( \frac{V}{M} \right) (100) \quad \text{Ecuación 18}$$

$$Y_h = \left( \frac{Y_s}{Y_{max}} \right) (100) \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

$Y_s$  = rendimiento de la recuperación del azúcar, g/100 g.

$Y_h$  = eficiencia de la hidrólisis, %.

$CC$  = concentración del componente analizado, g/L.

$M$  = cantidad de muestra analizada, g.

$V$  = volumen de la solución empleada, L.

$Y_{max}$  = rendimiento máximo de recuperación de azúcares, %.

En la Tabla 26 se pueden consultar las estimaciones realizadas para la concentración de xilosa cuantificada experimentalmente, el rendimiento de la recuperación de xilosa con respecto a la muestra y el rendimiento de la hidrólisis del xilano presente en el bagazo cervecero.

Tabla 26. Estimación del rendimiento de la hidrólisis del xilano

Corrida	Xilosa (g/L)	Xilosa Ys (g/100 g)	Rendimiento de hidrólisis de xilano (%)
1	6.8540	13.6452	52.4433
2	10.0100	20.0120	76.9130
3	9.0620	18.0707	69.4519
4	2.7340	5.4549	20.9651
5	3.1620	6.3048	24.2314
6	9.9240	19.8034	76.1115
7	4.8700	9.7118	37.3259
8	4.6560	9.2841	35.6822
9	9.6400	19.2358	73.9297
10	6.6420	13.2727	51.0116
11	10.7300	21.4364	82.3876
12	6.6200	13.2208	50.8122
13	8.5020	16.9938	65.3131
14	5.3040	10.5779	40.6543
15	5.2780	10.5397	40.5076
16	6.0080	11.9932	46.0941

Es notable que las mayores eficiencias se encontraron en las corridas 11 y 2 que corresponden a las condiciones experimentales: 200°C, 20 min y 5% (v/v) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Sin embargo, es necesario realizar el ANOVA para confirmar que esas con las condiciones con las que se obtiene la mayor recuperación de xilosa. Antes de llevar a cabo el ANOVA, se obtuvo la Tabla 27, la cual contiene información necesaria para dicho análisis.

Tabla 27. Datos para el ANOVA de la variable de respuesta concentración de xilosa

	I	A	B	AB	C	AC	BC	ABC	Yij (g/L)		Ti.
(I)	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	2.7340	3.1620	5.8960
A	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	6.6200	6.0080	12.6280
B	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	4.6560	5.3040	9.9600
Ab	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	6.8540	6.6420	13.4960
C	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	4.8700	5.2780	10.1480
Ac	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	10.0100	10.7300	20.7400
Bc	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	9.9240	8.5020	18.4260
Abc	1	1	1	1	1	1	1	1	9.0620	9.6400	18.7020
T.j		21.1	11.2	-14	26	0.6	1.31	-7.1	T..=		109.9960

Donde Yij: variable de respuesta, Ti. Suma de las réplicas por tratamiento, T.j= Efecto de los tratamientos, T..: Sumatoria total

En la Tabla 28 se realiza el ANOVA de la variable de respuesta concentración de xilosa. Se puede confirmar que las medias de los factores A, B y C son estadísticamente diferentes con énfasis en el factor C. De lo que se puede interpretar que los tres factores evaluados son significativos. Además, la interacción AB también es significativa. Por lo tanto, las condiciones óptimas dentro del DOE para la obtención de xilosa son: temperatura = 200°C, tiempo = 20 min y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 5% (v/v). Bajo esas condiciones se obtuvo en promedio de las dos réplicas una concentración de xilosa de 10.37 g/L, lo que se interpreta como 20.72 g de xilosa por cada 100 g de bagazo y una eficiencia en la hidrólisis del xilano del 79.65 %.

A diferencia de la pérdida de masa, donde se obtuvieron mayores valores con todos los factores en su nivel más alto, la mayor concentración de xilosa se obtuvo con el factor tiempo en su nivel bajo. Esto puede deberse a la degradación de la xilosa al estar sometida durante más tiempo a condiciones de hidrólisis.

Por otro lado, la Figura 31 hace una comparación de la recuperación de xilosa por cada 100 g de bagazo. Cada barra representa el promedio de las dos réplicas de cada condición experimental. A pesar de que se aprecia la tendencia de mayor recuperación de xilosa conforme aumenta la temperatura, el tiempo de hidrólisis y la concentración del ácido, la mayor recuperación de xilosa se dio a tiempo menor.

**Tabla 28. ANOVA de la variable de respuesta concentración xilosa**

ANOVA						
Factor	SS	g.l.	M.S.	F <sub>exp</sub>		F(α,v1,v2)
A	27.92	1	27.92	109.93	>	5.32
B	7.80	1	7.8	30.71	>	5.32
AB	11.41	1	11.41	44.93	>	5.32
C	42.37	1	42.37	166.82	>	5.32
AC	0.02	1	0.02	0.09	<	5.32
BC	0.11	1	0.11	0.42	<	5.32
ABC	3.17	1	3.17	12.48	>	5.32
Error	2.03	8	0.25			
Total	94.83	15				

Donde SS: sumatoria de cuadrados, gl: grados de libertad, MS: varianza

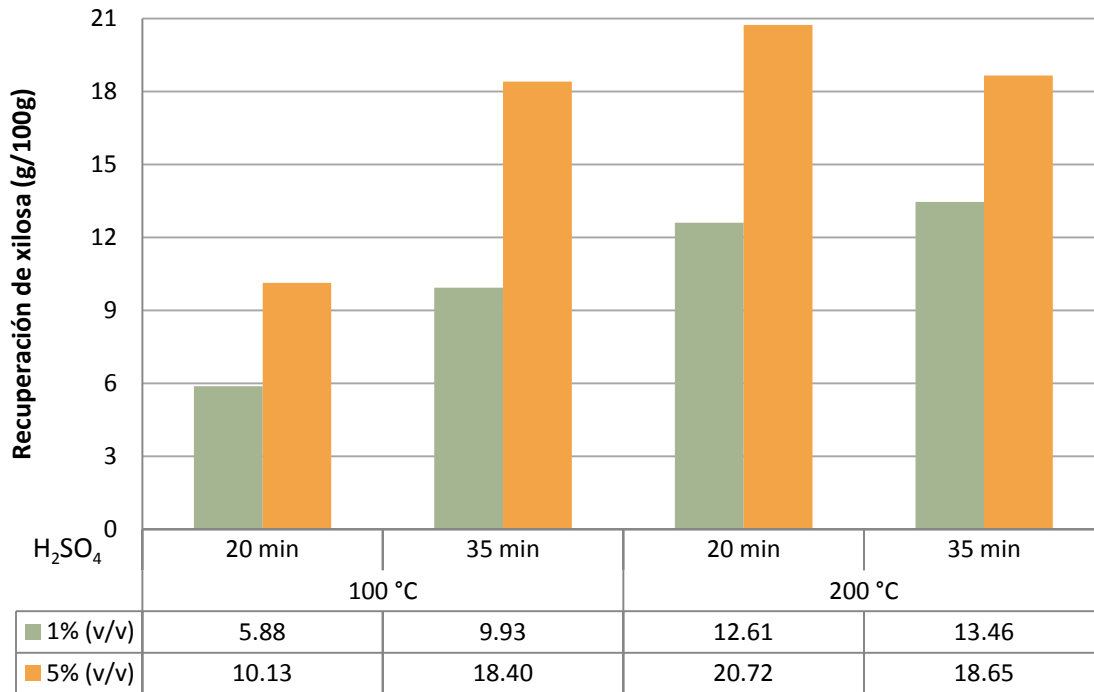


Figura 31. Comparación de la recuperación de xilosa

### 5.3.3 CONCENTRACIÓN DE FRUCTOSA

Por último, se analizó la concentración de fructosa mediante el Método DNS y los resultados se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29. Variable de respuesta concentración de fructosa

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (% v/v)	Fructosa (g/L)
1	200	35	1	4.4100
2	200	20	5	10.8525
3	200	35	5	8.6925
4	100	20	1	0.0000
5	100	20	1	0.0000
6	100	35	5	7.3875
7	100	20	5	0.5550
8	100	35	1	0.4725
9	200	35	5	9.2475
10	200	35	1	3.6000
11	200	20	5	8.7225
12	200	20	1	4.3050
13	100	35	5	5.0550

14	100	35	1	5.0625
15	100	20	5	1.1100
16	200	20	1	1.8525

Es posible identificar que las mayores concentraciones de fructosa se obtuvieron en las corridas 2 y 11. Sin embargo, es necesario realizar el ANOVA para confirmar las mejores condiciones del DOE para la obtención de fructosa. La Tabla 30 contiene los datos necesarios para el ANOVA.

**Tabla 30. Datos para el análisis de la variable de respuesta fructosa**

	I	A	B	AB	C	AC	BC	ABC	Yij (g/L)		Ti.
(I)	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	0.0000	0.0000	0.0000
A	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	4.3050	1.8525	6.1575
B	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0.4725	5.0625	5.5350
Ab	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	4.4100	3.6000	8.0100
C	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0.5550	1.1100	1.6650
Ac	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	10.8525	8.7225	19.5750
Bc	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	7.3875	5.0550	12.4425
Abc	1	1	1	1	1	1	1	1	8.6925	9.2475	17.9400
T.j		32	16.5	-16	31.9	14.8	1.76	-8.7	T..=		71.3250

Donde Yij: variable de respuesta, Ti. Suma de las réplicas por tratamiento, T.j= Efecto de los tratamientos, T..: Sumatoria total

Finalmente, en la Tabla 31 se evalúa el ANOVA de la concentración de fructosa. Se puede corroborar que las medias de los factores Los factores A, B y C son estadísticamente diferentes, por lo que todos los factores son significativos, con énfasis en los factores A y C. Además, las interacciones AB, AC y BC son significativas. De igual forma que la variable de respuesta concentración de xilosa, se infiere que las mejores condiciones del DOE para obtención de fructosa son: temperatura = 200°C, tiempo = 20 min y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 5 % (v/v).

**Tabla 31. ANOVA de la variable de respuesta concentración de fructosa**

Factor	SS	g.l.	M.S.	Fexp		F(α,v1,v2)
A	64.16	1	64.16	26.78	>	5.32
B	17.08	1	17.08	7.13	>	5.32
AB	16.19	1	16.19	6.76	>	5.32
C	63.68	1	63.68	26.58	>	5.32
AC	13.64	1	13.64	5.69	>	5.32
BC	0.19	1	0.19	0.08	<	5.32

ABC	4.76	1	4.76	1.99	<	5.32
Error	19.17	8	2.40			
Total	198.87	15				

Donde SS: sumatoria de cuadrados, gl: grados de libertad, MS: varianza

Por último, se comparó la recuperación de fructosa bajo las diferentes condiciones experimentales del DOE. La Figura 32 ilustra dicha comparación, cada barra representa el promedio de las dos réplicas de cada condición experimental. La relación de la concentración de fructosa respecto a la concentración de ácido es muy marcada, una mayor concentración de ácido favorece una mayor recuperación de fructosa. El aumento de la temperatura también favorece la hidrólisis del bagazo para la recuperación de fructosa. Pero, al igual que la xilosa, los mejores resultados se obtuvieron con el factor tiempo en su nivel bajo.

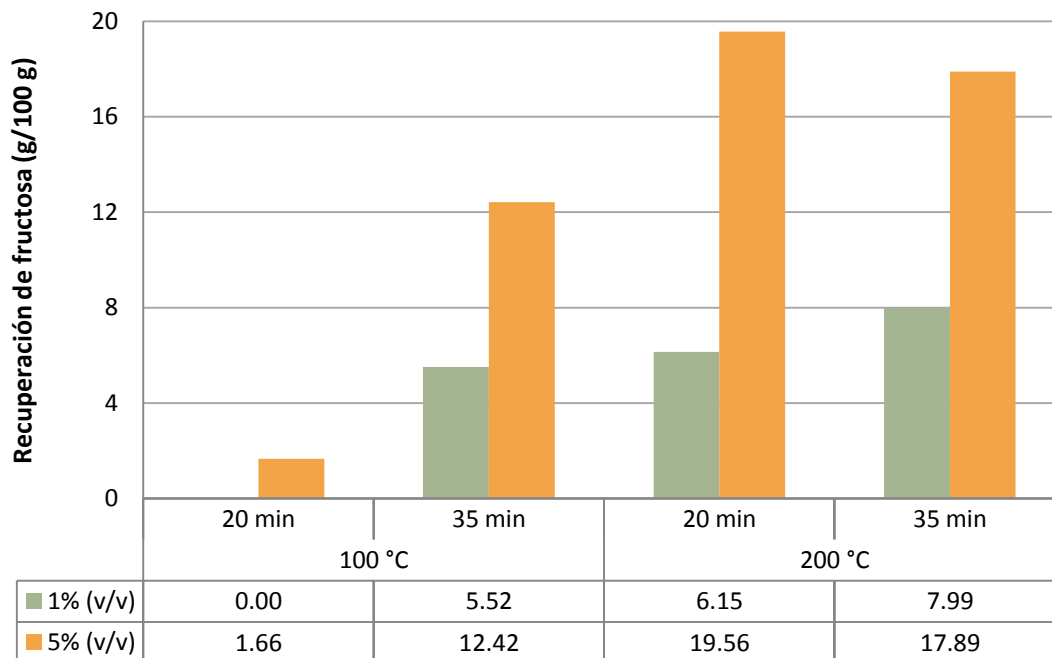


Figura 32. Comparación de la recuperación de fructosa

## 6 CONCLUSIONES

Se realizó la caracterización fisicoquímica de una muestra de bagazo cervecero generado en Mexicali, Baja California. Entre los resultados más destacables de dicha caracterización se encontró que el bagazo cervecero tiene un contenido de humedad de 77.32%, materia volátil de 78.47%, cenizas de 4.05% y carbono fijo de 17.48%. Además, a partir del análisis químico se determinó que el bagazo contiene 5.23% de extraíbles en acetona, 50.25% de extraíbles en agua caliente, 17.13% de lignina, 26.80% de celulosa y 37.17% de hemicelulosa. Los PCS y PCI del bagazo cervecero son 18.70 MJ/kg y 17.35, respectivamente, evaluados experimentalmente. También se realizó un DOE para la hidrólisis del bagazo cervecero para la obtención de azúcares reductores, en el cual se evaluó la influencia de las variables temperatura, tiempo de hidrólisis y concentración de ácido en la pérdida de masa, concentración de xilosa y concentración de fructosa. De lo anterior, se confirmó la hipótesis que esas tres variables son significativas.

A pesar de que el bagazo tiene un alto poder calorífico, comparado con otros tipos de biomasa, es necesario reducir su contenido de humedad a menos de 50% para ser utilizado eficazmente como biocombustible, mediante conversiones del tipo termoquímicas. Dicha reducción de humedad requeriría una inversión de energía adicional. Es por ello, que es recomendable que el bagazo cervecero sea valorizado ya sea para la obtención de bioproductos o para la producción de biocombustibles que sigan una ruta de conversión del tipo bioquímica. El alto contenido de materia volátil (78.47%) hace del bagazo un insumo factible para la producción de biogás, mediante digestión anaerobia. Otra opción recomendable es utilizar el bagazo cervecero para la producción de bioetanol, vía fermentación anaeróbica. Debido al alto contenido de hemicelulosa, se sugiere la producción del edulcorante xilitol, que se produce a partir de la xilosa.

La hidrólisis con ácido diluido es una técnica ampliamente utilizada en el tratamiento de la biomasa para obtener azúcares que puedan ser fermentados en biocombustibles o bioproductos, tales como el bioetanol y el xilitol. En el presente trabajo se realizó una serie de hidrólisis con una RLS de 20:1, basada en un DOE y se infirió que la temperatura, tiempo y concentración de  $H_2SO_4$  son variables significativas que afectan el rendimiento de azúcares reductores obtenidos del bagazo cervecero. Se obtuvo un mayor consumo de muestra en las condiciones de hidrólisis: 200°C, 35 min y  $H_2SO_4$  al 5% (v/v). Se podría pensar que son las condiciones óptimas para la obtención de azúcares reductores, sin embargo, la mayor recuperación de xilosa y fructosa a partir del bagazo cervecero se obtuvo a una temperatura de 200°C, un tiempo de hidrólisis de 20 min y una concentración de  $H_2SO_4$  de 5% (v/v). Bajo esas condiciones se recuperaron 20.72 g de xilosa y 19.52 g de fructosa por cada 100 g de bagazo. Los factores en sus niveles altos

llevaron al mayor consumo de bagazo, pero los mejores resultados se obtuvieron a un tiempo menor, debido a que los azúcares reductores se degradaron para el minuto 35.

## 7 RECOMENDACIONES Y TRABAJO A FUTURO

- Realizar un diseño de experimentos a mayor detalle, con más niveles para los factores y más variables de respuestas e.g. concentración de glucosa, celobiosa, HMF y furfural. Las cuales pueden ser cuantificadas con mayor precisión utilizando técnicas de HPLC.
- Realizar un análisis de experimentos para obtener las condiciones óptimas para la obtención de xilitol y bioetanol.
- Establecer una metodología a nivel planta piloto para la producción de xilitol, bioetanol y otros posibles bioproductos, bajo el concepto de biorrefinería.

## REFERENCIAS

- [1] S. Mussato, "Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications," *J Sci Food Agric*, no. 94, pp. 1264-1275, 2013.
- [2] T. R. d. S. Mathias, P. P. Moretzsohn and E. F. Camporese, "Solid wastes in brewing process: A review," *Journal of Brewing and Distilling*, vol. 5, no. 1, pp. 1-9, 2014.
- [3] J. Mallet, *Malt: a practical guide from field to brewhouse*, Colorado: Brewers Publications, 2014.
- [4] K. M. Lynch, E. J. Steffen and E. K. Arendt, "Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health," *Journal of the Institute of Brweing and Distilling*, vol. 122, pp. 553-568, 2016.
- [5] S. Mussato, G. Dragone and I. Roberto, "Brewers' spent grain: generation, characteristics and potentials applications," *Journal of Cereal Science*, vol. 43, pp. 1-14, 2006.
- [6] F. S. Nogués, D. García-Galindo and A. Rezeau, *Energía de la biomasa (volumen I)*, Zaragoza: Prensa Universitarias de Zaragoza, 2010.
- [7] F. Rosillo-Calle, P. Groot and S. Hemstock, "General Introduction to the Basis of Biomass Assesment Methodology," in *The Biomass Assesment Handbook: Bioenergy for a Sustainable Environment*, London, Earthscan, 2012, pp. 27-57.
- [8] R. Saidur, E. A. Abdelaziz, A. Demirbas, M. S. Hossain and S. Mekhilef, "A review of biomass as a fuel for biolers," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 2262-2289, 2011.
- [9] S. Wang and Z. Luo, *Pyrolysis of Biomass*, Berlin: De Gruyter, 2017.
- [10] E. Rubin, "Genomics of cellulosic biofuels," *Nature*, vol. 454, pp. 841-845, 2008.
- [11] J. Langeveld, J. Dixon and F. Jarowski, "Development Perspectives of The Biobased Economy: A review," *Crop Science*, vol. 50, no. 142-151, 2010.
- [12] W. Budzianowski, "High-value low-volume bioproducts coupled to bioenergies with potential to enhance business development of sustainable biorefineries," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 70, pp. 793-804, 2017.
- [13] Food and Agriculture Organization of the United Nations, "Unified Bioenergy Terminology UBET," 2004.
- [14] M. Balat, H. Balat and C. Öz, "Progress in bioethanol processing," *Progress in Energy and Combustion Science*, no. 34, pp. 551-573, 2008.
- [15] R. Willaert, "Section V Beverages. The Beer Brewing Process: Wort Production and Beer Fermentation," in *Handbook of Food Products Manufacturing*, Brussel, John Wiley & Sons, Inc., 2004,

pp. 443-506.

- [16] I. Cabras, D. Higgins and D. Preece, *Brewing, Beers and Pubs: A Global Perspective*, London: Palgrave McMillan, 2016.
- [17] T. Nurin, "Forbes," 10 Octubre 2016. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/taranurin/2016/10/10/its-final-ab-inbev-closes-on-deal-to-buy-sabmiller/#24cde60d432c>. [Accessed julio 2017].
- [18] Statista, "The Statistics Portal," [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/270275/worldwide-beer-production/>. [Accessed julio 2017].
- [19] Barth-Hass Group, "The Barth Report," 2016.
- [20] Cerveceros de México, "Estado de la Industria Cervecera Artesanal 2016-2017," 2017. [Online]. Available: [https://drive.google.com/file/d/0B\\_0yYb1PC13oNI9Vc3EwaG5IMIU/view](https://drive.google.com/file/d/0B_0yYb1PC13oNI9Vc3EwaG5IMIU/view). [Accessed julio 2017].
- [21] Food and Agriculture, "Agribusiness Handbook: Barley, Malt, Beer," Roma, 2009.
- [22] Novozymes, *Brewing Handbook Version 1, Rethink Tomorrow*, 2013.
- [23] T. Mathias, M. Fontes, M. Christe, P. Moretzsohn and E. Camporese, "Characterization and determination of brewer's solid wastes composition," *J. Inst. Brew.*, vol. 121, pp. 400-4004, 2015.
- [24] T. Mathias, V. Fontes, M. Cammarota, P. Moretzsohn and F. Camporese, "Characterization and determination of brewer's solid wastes composition," *Journal of the Institute of Brewing & Distilling*, vol. 121, p. 400-404, 2015.
- [25] M. Gupta, N. Abu-Ghannam and E. Gallagher, "Barley for Brewing: Characteristic Changes during Malting, Brewing and Applications of its By-Products," *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 9, pp. 318-328, 2010.
- [26] J. J. Palmer, *How to brew: everything you need to know to brew beer right the first time*, Colorado: Brewers Publications, 2006.
- [27] P. Singh, "An overview: Recycling of solid barley waste generated as a by-product in distillery and brewing," *Waste Management*, vol. 62, pp. 255-261, 2017.
- [28] S. I. Mussato, G. Dragone and I. C. Roberto, "Brewers' spent grain: generation, characteristics and potentials applications," *Journal of Cereal Science*, vol. 43, pp. 1-14, 2006.
- [29] V. Stojceska, P. Ainsworth, A. Plunkett and S. Inanoglu, "The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology," *Journal of Cereal Science*, vol. 47, pp. 469-479, 2008.

- [30] C. Duthie, J. Rooke, J. Hyslop and A. Waterhouse, "Methane emissions from two breeds of beef cows offered diets containing barley straw with either grass silage or brewers' grains," *Animal*, vol. 10, no. 9, p. 1680–1687, 2015.
- [31] S. Öztürk, Ö. Ösboy, I. Cvidoglu and H. Köksel, "Effects of brewer's spent grain on the quality and dietary fibre content of cookies," *Journal of the Institute of Brweing & Distilling*, vol. 108, no. 1, pp. 23–27, 2002.
- [32] V. Stojceska, P. Ainsworth, A. Plunkett and S. Ibanoglu, "The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology," *Journal of Cereal Science*, vol. 47, p. 469–479, 2008.
- [33] M. GUO, J. DU, Z. ZHANG, K. ZHANG and Y. JIN, "OPTIMIZATION OF BREWER'S SPENT GRAIN-ENRICHED BISCUITS PROCESSING FORMULA," *Journal of Food Process Engineering*, vol. 37, p. 122–130, 2004.
- [34] A. Ktenioudaki, L. Alvarez, T. Smyth, K. Kilcawley, D. Rai and E. Gallagher, "Application of bioprocessing techniques (sourdough fermentation and technological aids) for brewer's spent grain breads," *Food Research International*, vol. 73, p. 107–116, 2015.
- [35] E. Özvural, H. Vural, I. Gökbulut and Ö. Özboy, "Utilization of brewer's spent grain in the production of Frankfurters," *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 44, p. 1093–1099, 2009.
- [36] M. Choi, Y. Choi, H. Kim, K. Hwang, D. Song, S. Lee and C. Kim, "Effects of Replacing Pork Back Fat with Brewer's Spent Grain Dietary Fiber on Quality Characteristics of Reduced-fat Chicken Sausages," *Korean J. Food Sci. An.*, vol. 34, no. 2, pp. 158–165, 2014.
- [37] H. Wang, Y. Tao, M. Temudo, B. Henk, J. Kloek, N. Ren, J. B. van Lier and M. Kreuk, "Biomethanation from enzymatically hydrolyzed brewer's spent grain: Impact of rapid increase in loadings," *Bioresource Technology*, vol. 190, pp. 167–174, 2015.
- [38] G. Bochmann, B. Drosig and W. Fuchs, "Anaerobic Digestion of Thermal Pretreated Brewers' Spent Grains," *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 34, no. 2, pp. 1092–1096, 2015.
- [39] A. M. Celaya, A. T. Lade and J. L. Goldfarb, "Co-combustion of brewer's spent grains and Illinois No. 6 coal: Impact of blend ratio on pyrolysis and oxidation behavior," *Fuel Processing Technology*, vol. 129, pp. 39–51, 2015.
- [40] R. Liguori, C. R. Soccol, L. P. Souza, A. Lorenci and V. Faraco, "Second Generation Bioethanol Production from Brewers' Spent Grain," *Energies*, vol. 8, pp. 2575–2586, 2015.
- [41] S. Wilkinson, K. A. Smart, S. James and D. J. Cook, "Bioethanol Production from Brewers Spent Grains Using a Fungal Consolidated Bioprocessing (CBP) Approach," *Bioenerg. Res.*, vol. 10, pp. 146–157, 2017.
- [42] S. Mamhmoood, J. Brammer, A. Hornung, A. Steele and S. Poulston, "The intermediate pyrolysis and catalytic steam reforming of brewer spent grains," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 103,

- pp. 328-342, 2013.
- [43] A. Sanna, S. Li, R. Linforth, K. A. Smart and J. M. Andrésen, "Bio-oil and bio-char from low temperature pyrolysis of Spent Grains using activated alumina," *Bioresource Technology*, no. 102, pp. 10695-10703, 2011.
- [44] J. Zhang and L. Zang, "Enhancement of biohydrogen production from brewers' spent grain by calcinated-red mud pretreatment," *Bioresource Technology*, vol. 209, pp. 73-79, 2016.
- [45] A. Djukic, D. Mladenovic, M. Radosavljevic, S. Kocic, J. Pejcin and L. Mojovic, "Wastes from bioethanol and beer productions as substrates for L(+) lactic acid production – A comparative study IN PRESS," *Waste Management*, 2015.
- [46] j. Pejcin, M. Radosavljević, S. Kocić, A. Djukić and L. Mojović, "Lactic acid fermentation of brewer's spent grain hydrolysate by *Lactobacillus rhamnosus* with yeast extract addition and pH control," *J. Inst. Brew.*, vol. 127, p. 98–104, 2017.
- [47] C. Laine, K. Kemppainen, L. Kuutti, A. Varhimo, S. Asikainen and e. al., "Extraction of xylan from wood pulp and brewer's spent grain," *Industrial Crops and Products*, vol. 70, p. 231–237, 2015.
- [48] S. Liang and C. Wan, "Carboxylic acid production from brewer's spent grain via mixed culture fermentation," *Bioresource Technology*, vol. 182, pp. 179-183, 2015.
- [49] S. Reis, B. Gullón, P. Gullón, S. Ferreira and e. al., "Evaluation of the prebiotic potential of arabinoxylans from brewer's spent grain," *Appl Microbiol Biotechnol*, vol. 98, p. 9365–9373, 2014.
- [50] D. Song, T. Yin, Y. He, S. Hu and e. al., "Recovery of protein from brewer's spent grain by ultrafiltration," *Biochemical Engineering Journal*, vol. 48, pp. 1-5, 2009.
- [51] E. Vieira, J. Teixeira and I. Ferreira, "Valorization of brewers' spent grain and spent yeast through protein hydrolysates with antioxidant properties," *Eur Food Res Technol*, vol. 242, p. 1975–1984, 2016.
- [52] D. Crowley, Y. O'Callaghan, A. Connolly, R. FitzGerald and N. O'Brien, "Effect of enzyme-extracted brewers' spent grain protein hydrolysates on inflammatory response in cells associated with atherosclerosis," *Proceedings of the Nutrition Society*, vol. 75, 2016.
- [53] G. Dhillon, S. Kaur, S. Brar and S. Verma, "Flocculation and Haze Removal from Crude Beer Using In-House Produced Laccase from *Trametes versicolor* Cultured on Brewer's Spent Grain," *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, vol. 60, pp. 7895-7904, 2012.
- [54] A. Jacobs, A. Botha and W. Van, "The production of eicosapentaenoic acid by representatives of the genus *Mortierella* grown on brewers' spent grain," *Biologia*, vol. 64, no. 5, pp. 871-876, 2009.
- [55] W. Łaba, M. Piegza and J. Kawa, "Evaluation of brewer's spent grain as a substrate for production of hydrolytic enzymes by keratinolytic bacteria," *J Chem Technol Biotechnol*, 2016.

- [56] A. Olajire, J. Abidemi, A. Lateef and N. Benson, "Adsorptive desulphurization of model oil by Ag nanoparticles-modified activated carbon prepared from brewer's spent grains," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 5, p. 147–159, 2017.
- [57] E. Kordialik-Bogacka, "Saccharomyces pastorianus immobilized on brewer's spent grain in continuous system for lead ion biosorption," *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 26, pp. 191-197, 2014.
- [58] J. H. Lee, J. H. Lee, H. J. Yang and K. Bin, "Preparation and characterization of brewer's spent grain protein-chitosan composite films," *J Food Sci Technol*, vol. 52, no. 11, pp. 7549-7555, 2015.
- [59] E. Pires, H. Ruíz, J. Teixeira and A. Vicente, "A New Approach on Brewer's Spent Grains Treatment and Potential Use as Lignocellulosic Yeast Cells Carriers," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 60, p. 5994–5999, 2012.
- [60] F. C. Ezeounu and A. N. C. Okaka, "Process kinetics and Digestion Efficiency of Anaerobic Batch Fermentation of Brewer's Spent Grain (BSG)," *Process Biochemistry*, vol. 31, no. 1, pp. 7-12, 1996.
- [61] G. Bochmann, B. Drosig and W. Fuchs, "Anaerobic Digestion of Thermal Pretreated Brewers' Spent Grain," *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 34, no. 4, pp. 1092-1096, 2004.
- [62] J. S. White, B. K. Yohannan and G. Walker, "Bioconversion of brewer's spent grains to bioethanol," *FEMS*, vol. 8, pp. 1175-1184, 2008.
- [63] M. Becidan, O. Skreyberg and J. Hustad, "Products distribution and gas release in pyrolysis of thermally thick biomass residues samples," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 78, pp. 207-2013, 2007.
- [64] C. Xiros and P. Christakopoulos, "Biotechnological Potential of Brewers Spent Grain and its Recent Applications," *Waste Biomass Valor*, vol. 3, pp. 213-232, 2012.
- [65] P. Klimek, R. Wimmer, P. Kumar and J. Kudela, "Utilizing brewer's-spent-grain in wood-based particleboard manufacturing," *Journal of Cleaner Production*, vol. 141, pp. 812-817, 2016.
- [66] J. Dávila, M. Rosenberg and C. Cardona, "A biorefinery approach for the production of xylitol, ethanol and polyhydroxybutyrate from brewer's spent grain," *AIMS Agriculture and Food*, vol. 1, no. 1, pp. 52-66, 2016.
- [67] M. Balat, "Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review," *Energy Conversion and Management*, vol. 52, pp. 858-875, 2011.
- [68] K. Okamoto, A. Uchii, T. Kanawaku and H. Yanase, "Bioconversion of xylose, hexoses and biomass to ethanol by a new isolate of the white rot basidiomycete *Trametes versicolor*," *Springer Plus*, vol. 3, no. 121, 2014.
- [69] S. Mussatto and I. Roberto, "Acid hydrolysis and fermentation of brewer's spent grain to produce

- xylitol," *J Sci Food Agric*, vol. 85, pp. 2453-2460, 2005.
- [70] M. Fantini, "Biomass Availability, Potential and Characteristics," in *Biorefineries. Targeting Energy, High Value Products and Waste Valorisation*, Cham, Springer International Publishing, 2017, pp. 21-54.
- [71] J. Sadhukhan, K. Siew and E. Martinez, *Biorefineries and Chemical Processes. Design, Integration and Sustainability Analysis*, John Wiley & Sons, 2014.
- [72] Z. Mariusz and A. Pawlowski, "Biomass for fuels - classification and composition," in *Biomass for Biofuels*, London, Taylor & Francis Group, 2016, pp. 15-36.
- [73] G. Yang and P. Jaakkola, "Wood chemistry and extractives from wood," 2011.
- [74] S.-T. Yang, H. Enshasy and N. Thongchul, "Pretreatment of Lignocellulosic Biomass," in *Bioprocessing Technologies in Biorefinery for Sustainable Production of Fuels, Chemicals and Polymers*, John Wiley & Sons, 2013.
- [75] C. Bonechi, M. Consumin, A. Donati, G. Leone and A. Magnami, "Biomass: An overview," in *Bioenergy Systems for the Future. Prospects for Biofuels and Biohydrogen*, F. Dalena, A. Basile and C. Rossi, Eds., Duxford, Woodhead Publishing, 2017, pp. 3-43.
- [76] S. Mussatto, M. Fernandes and I. Roberto, "Lignin recovery from brewer's spent grain black liquor," *Carbohydrate polymers*, vol. 70, pp. 218-223, 2007.
- [77] P. Quaak, H. Knoef and H. Stassen, "Biomass as a Fuel," in *Energy from Biomass. A review of Combustion and Gasification Technologies*, Washington, The World Bank, 1999, pp. 2-6.
- [78] E. Tomás-Pejó, P. Alvira, M. Ballesteros and M. Negro, "Pretreatment Technologies for Lignocellulose-to-Bioethanol Conversion," in *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes*, 2011, pp. 149-176.
- [79] F. Carvalheiro, L. Duarte, R. Medeiros and F. Gírio, "Optimization of Brewery's Spent Grain Diluted-Acid Hydrolysis for the Production of Pentose Rich-Culture Media," *Applied Biochemistry and Biotechnology*, Vols. 113-116, pp. 2059-1072, 2004.
- [80] N. Aguilar and M. Canizales, "Cinética de la hidrólisis acida de la cascarilla de cebada," *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 3, no. 3, pp. 257-263, 2004.
- [81] m. Domínguez-Domínguez, A. Álvarez-Castillo, M. Granados-Baeza and F. Hernández-Campos, "ESTUDIO DE LA CINÉTICA DEL PRETRATAMIENTO E HIDRÓLISIS ÁCIDA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR," *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 13, no. 4, pp. 200-211, 2012.
- [82] T. Kunkz, E. Lee, V. Schiwiek, T. Seewald and F. Methner, "Glucose - a Reducing Sugar? Reducing Properties of Sugars in Beverages and Food," *BrewingScience*, vol. 64, pp. 61-67, 2011.
- [83] A. Najmus and P. Whitney, "Differential behaviour of the dinitrosalicylic acid (DNG) reagent towards

- mono- and di- saccharide sugars.," *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, pp. 4748-4750, 2011.
- [84] I. Wood, A. Ellisto, P. Ryden, I. Bancroft, I. Noberts and K. Waldron, "Rapid quantification of reducing sugars in biomass hydrolysates: Improving the speed and precision of the dinitrosalicylic acid assay," *biomass and bioenergy*, vol. 44, pp. 117-121, 2012.
- [85] G. Miller, "Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars," *Analytical Chemistry*, vol. 31, no. 2, pp. 426-428, 1959.
- [86] R. Torres, *Caracterización Físicoquímica de residuos agrícolas del Valle de Mexicali: paja de trigo y vara de algodón*, Mexicali: Universidad Autónoma de Baja California, 2015.
- [87] B. Hames, R. Ruíz, C. Scarlata, A. Sluiter, J. Sluiter and D. Templeton, "Preparation of Samples for Compositional Analysis," Colorado, 2008.
- [88] A. Sluiter, B. Hames, D. Hyman, C. Payne, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, D. Templeton and J. Wolfe, "Determination of Total Solids in Biomass and Total Dissolved Solids in Liquid Process Samples," Colorado, 2008.
- [89] ASTM International, "ASTM E872-82. Standard test method for volatile matter in the analysis of particulate wood fuels," West Conshohocken, 2006.
- [90] ASTM International, "ASTM E830-87. Standard test method for ash in the analysis sample of refuse derived fuel," West Conshohocken, 2004.
- [91] Technical Association of the Pulp and Paper Industry, "T 264 cm-07. Preparation of wood for chemical analysis," 2007.
- [92] Technical Association of the Pulp and Paper Industry, "T 207 cm-99. Water solubility of wood and pulp," 1999.
- [93] American Society for Testing and Materials, "D 1106-96. Standard Test Method for Acid-Insoluble Lignin in Wood," West Conshohocken, 2001.
- [94] American Society for Testing and Materials, "D 1104-56. Method of Test for Holo cellulose in Wood," 1985.
- [95] R. M. Rowell, in *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, 2012.
- [96] Thermo Scientific, "Thermo Scientific Flash 2000 Elemental Analyzer," [Online]. Available: [http://s3.ceelantech.com/docs/FLASH\\_2000\\_Literature.pdf](http://s3.ceelantech.com/docs/FLASH_2000_Literature.pdf).
- [97] ASTM International, "ASTM E711. Standard test method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter," West Conshohocken, 2004.
- [98] Shimadzu Scientific Instruments, "EDX7000/8000 Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer," [Online]. Available: <https://www.ssi.shimadzu.com/products/literature/XRAY/C142-E037A.pdf>.

[Accessed julio 2017].

- [99] Perkin Elmer, "Perkin elmer Frontier FT-IR, NIR, FIR Spectroscopy," [Online]. Available: [https://www.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/BRO\\_FrontierFTIR.pdf](https://www.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/BRO_FrontierFTIR.pdf). [Accessed julio 2017].
- [100] University of California, Riverside, "Introduction to Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDS)," [Online]. Available: <http://cfamm.ucr.edu/documents/eds-intro.pdf>. [Accessed 5 12 2016].
- [101] A. Mahmood, J. Brammer, A. Hornung, A. Steele and S. Poulston, "The intermediate pyrolysis and catalytic steam reforming of Brewer spent grain," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 103, pp. 328-343, 2013.
- [102] W. Russ, H. Mörtel and R. Meyer, "Application of spent grains to increase porosity in brick," *Construction and Building Materials*, vol. 19, pp. 117-126, 2005.
- [103] J. Zhang and Q. Wang, "Sustainable mechanisms of biochar derived from brewers' spent grain and sewage sludge for ammonia-nitrogen capture," *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, pp. 3927-3934, 2016.
- [104] S. Wilkinson, K. Smart and D. Cook, "A Comparison of Dilute Acid- and Alkali-Catalyzed Hydrothermal Pretreatments for Bioethanol Production from Brewers' Spent Grains," *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, vol. 72, no. 2, pp. 143-153, 2014.
- [105] M. Santos, J. Jiménez, B. Bartolomé, C. Gómez and M. Nozal, "Variability of brewer's spent grain within a brewery," *Food Chemistry*, vol. 80, pp. 17-21, 2003.
- [106] O. Kanauchi and K. Agata, "Protein, and Dietary Fiber-rich New Foodstuff from Brewer's Spent Grain Increased Excretion of Feces and Jejunum Mucosal Protein Content in Rats," *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, vol. 61, no. 1, pp. 29-33, 1997.
- [107] C. Xiros, E. Topakas, P. Katapodis and P. Christakopoulos, "Hydrolysis and fermentation of brewer's spent grain by *Neurospora crassa*," *Bioresource Technology*, vol. 99, p. 5427-5435, 2008.
- [108] R. Machado, S. Rodrigues, C. Henriques, L. Gameiro, M. Rosinda and e. al., "Dewatering of brewer's spent grain using an integrated membrane filter press with vacuum drying capabilities," *Separation Science and Technology*, vol. 51, no. 4, p. 692-700, 2016.
- [109] H. Adeniran, S. Abiose and A. Ogunsua, "Production of Fungal  $\beta$ -amylase and Amyloglucosidase on Some Nigerian Agricultural Residues," *Food Bioprocess Technol*, vol. 3, p. 693-698, 2010.
- [110] I. Celus, K. Brijs and J. Delcour, "The effects of malting and mashing on barley protein extractability," *Journal of Cereal Science*, vol. 44, p. 203-211, 2006.
- [111] A. Álvarez, C. Pizarro and M. Folgueras, *Caracterización química de biomasa y su relación con el poder calorífico*, Oviedo, 2012.

- [112] J. White, B. Yohannan and G. Walker, "Bioconversion of brewer's spent grain into bioethanol," *Federation of European Microbiological Societies*, vol. 8, pp. 1175-1184, 2008.
- [113] S. Wilkinson, K. Smart and D. Cook, "A Comparison of Dilute Acid- and Alkali-Catalyzed Hydrothermal Pretreatments for Bioethanol Production from Brewers' Spent Grains," *American Society of Brewer Chemists*, vol. 72, no. 2, pp. 143-153, 2014.
- [114] P. Klímek, R. Wimmer, P. Kumar and J. Kúdela, "Utilizing brewer's-spent-grain in wood-based particleboard manufacturing," *Journal of Cleaner Production*, vol. 141, pp. 812-817, 2017.
- [115] S. Aliyu and M. Bala, "Brewers' spent grain: A review of its potentials applications," *African Journal of Biotechnology*, vol. 10, no. 3, pp. 324-331, 2011.
- [116] G. Montero, M. Coronado, R. Torres, B. Jaramillo, C. García, M. Stoycheva, A. Vázquez, J. León, A. Lambert and E. Valenzuela, "Higher Heating Value determination of wheat straw from Baja California, México," *Energy*, vol. 109, pp. 612-619, 2016.
- [117] A. Weger, S. Binder, M. Franke, A. Hornung, W. Rub and W. Mayer, "Solid Biofuel Production by mechanical pre-treatment of Brewer's Spent Grain," *Chemical Engineering Transactions*, vol. 37, pp. 661-666, 2014.
- [118] M. Banquez, "Caracterización Físicoquímica de residuos agrícolas de Baja California: podas de vid, cáscara y torta de higuera," Mexicali, 2017.
- [119] S. Turn, B. Jenkins, L. Jakeway and L. Blevins, "Test results from sugar cane bagasse and high fiber cane co-fired with fossil fuels," *Biomass and Bioenergy*, vol. 30, pp. 565-574, 2006.
- [120] M. Nagle, K. Habasimbi, B. Mahayothee, M. Haewsungcharern, S. Janjai and J. Müller, "Fruit processing residues as an alternative fuel for drying in Northern Thailand," *Fuel*, vol. 90, pp. 818-823, 2011.
- [121] O. Kitani and H. C, *Biomass Handbook*, New York: Gordon and Breach science publishers, 1989.
- [122] T. Miles and T. Miles, "Alkali deposits found in biomass power plants: A preliminary investigation of their extent and nature. Summary report NREL/TZ-2-11226-1," 2001.
- [123] Oak Ridge National Laboratory, *Biomass Energy Data Book. Edition 2*, Oak Ridge, 2009.
- [124] P. Dutta, V. Pandey, Sen, S, A. Ranjaan, N. A and D. Baruah, "Fuel Characteristics of some indigenous plants," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 3, pp. 570-576, 2013.
- [125] P. Basu, *Biomass Gassification, Pyrolysis and Torrefaction Second Edition*, San Diego: Academic Press, 2008.
- [126] V. Strezov, "Properties of Biomass Fuels," in *Biomass Processing Technologies*, Boca Raton, CRC Press, 2015, pp. 1-33.

[127] C. White and J. Zainasheff, *Yeast: The practical guide to beer fermentation*, Colorado: Brewers Publications, 2010.

## OTROS PRODUCTOS ACADÉMICOS

### Protección de derechos de autor

Título: Caracterización fisicoquímica del bagazo de cebada cervecero para la obtención de azúcares reductores

Fecha de solicitud: 27 noviembre 2015

Número de trámite: 03-2015-121108513600-01

Fecha de registro: 11 enero 2016

Rama: Compilación de datos (Base de datos)

Título: Análisis fisicoquímico e hidrólisis de residuos biomásicos de la industria cervecera de Mexicali, Baja California

Fecha de solicitud: 18 marzo 2016

Número de trámite: 03-2016-031812205400-01

Fecha de registro: 22 abril 2016

Rama: Compilación de datos (Base de datos)

Título: Análisis próximo y determinación del poder calorífico superior del bagazo cervecero

Fecha de solicitud: 11 noviembre 2016

Número de trámite: 03-2016-120610553900-01

Fecha de registro: 15 diciembre 2016

Rama: Compilación de datos (Base de datos)

Título: Análisis Próximo de Cáscara de Higuierilla y Podas de Vid

Fecha de solicitud: 11 noviembre 2016

Número de trámite: 03-2016-120610525400-01

Fecha de registro: 15 diciembre 2016

Rama: Compilación de datos (Base de datos)

Título: Simulación en aspen plus® de un ciclo Rankine para la generación de energía eléctrica a partir de la paja de trigo

Fecha de solicitud: 11 noviembre 2016

Número de trámite: 03-2016-120610565300-01

Fecha de registro: 15 diciembre 2016

Rama: Compilación de datos (Base de datos)

Título: Caracterización fisicoquímica de las podas de eucalipto

Fecha de solicitud: 11 noviembre 2016

Número de trámite: 03-2016-120610513100-01

Fecha de registro: 15 diciembre 2016

Rama: Compilación de datos (Base de datos)

**Asistencia a congresos**

Participación en el XIX Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas con la ponencia “Análisis próximo y determinación del poder calorífico superior del bagazo cervecero” el día 27 de octubre de 2016.

Participación en el XVII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería con el cartel “Análisis fisicoquímico del bagazo del bagazo cervecero para su aprovechamiento energético” el día 26 de junio de 2017.

Participación en el XVII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería con el cartel “Caracterización fisicoquímica de residuos agrícolas de Baja California: Cáscara de higuera y Podas de Vid” el día 26 de junio de 2017.

**Asistencia a cursos**

“Capacitación de instalación, operación y mantenimiento del sistema gasificador de biomasa para la generación eléctrica, marca Power Pallet 20 kW”, otorgado por VALREP S.A. de C.V.

## ANEXOS

## Anexo 1. Encuesta sobre generación de bagazo cervecero en Mexicali, Baja California

## ENCUESTA 2016 SOBRE GENERACIÓN DE BAGAZO POR LA INDUSTRIA CERVECERA DE MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

**Información acerca de la encuesta:** Mediante una breve encuesta se pretende conocer la cantidad de bagazo cervecero que es generado por la industria cervecera de Mexicali, Baja California. A su vez, es importante conocer la disposición o utilización que se le da a éste.

Para más información: [moreno.abigail@uabc.edu.mx](mailto:moreno.abigail@uabc.edu.mx)

Identificación
Fecha:
Nombre de la cervecería:
Nombre del encuestado:

Generación de Bagazo		
¿Cuántos kilogramos (o libras) de <b>malta*</b> consume al mes aproximadamente?		
Tipo de cereal de la malta	% Cebada % Otros	Especifique otros:
¿Cuánto estima que aumentará la producción de la cervecería en dos años?		%
¿El bagazo generado es tirado a la basura?	SI ( )	NO ( ) A VECES ( )
¿Qué uso se le da al bagazo cuando no termina en la basura?		

\*Se considera que el bagazo representa el 31% de la malta procesada.

**¡Gracias por la información otorgada!**

**Anexo 2. Certificado de derechos de autor 03-2015-121108513600-01**

**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:** CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
 GARCIA GONZALEZ CONRADO  
 MONTERO ALPIREZ GISELA  
 MORENO CAMARENA ABIGAIL  
 VAZQUEZ ESPINOZA ANA MARIA

**TITULO:** CARACTERIZACION FISICOQUIMICA E HIDROLISIS DEL BAGAZO DE CEBADA  
 CERVECERO PARA LA OBTENCION DE AZUCARES REDUCTORES

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

**TITULARES:** CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
 GARCIA GONZALEZ CONRADO  
 MONTERO ALPIREZ GISELA  
 MORENO CAMARENA ABIGAIL  
 VAZQUEZ ESPINOZA ANA MARIA

Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracciones I y VI 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; los simples formatos o formularios en blanco para ser llenados con cualquier tipo de información, así como sus instructivos.

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.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

**Número de Registro:** 03-2015-121108513600-01

03-2015-121108513600-01

Página 1 de 2



## Anexo 3. Certificado de derechos de autor 03-2016-031812205400-01

## 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:** CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
GARCIA GONZALEZ CONRADO  
MONTERO ALPIREZ GISELA  
MORENO CAMARENA ABIGAIL  
VAZQUEZ ESPINOZA ANA MARIA

**TITULO:** ANALISIS FISICOQUIMICO E HIDROLISIS DE RESIDUOS BIOMASICOS DE LA INDUSTRIA CERVECERA DE MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

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

**TITULARES:** CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO  
GARCIA GONZALEZ CONRADO  
MONTERO ALPIREZ GISELA  
MORENO CAMARENA ABIGAIL  
VAZQUEZ ESPINOZA ANA MARIA

Con fundamento en lo establecido por el artículo 107 del Reglamento 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.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

---

**Número de Registro:** 03-2016-031812205400-01

---

03-2016-031812205400-01

Página 1 de 2

## Anexo 4. Certificado de derechos de autor 03-2016-120610553900-01

## 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



INDAUTOR  
Instituto Nacional del Derecho de Autor

## Anexo 5. Certificado de derechos de autor 03-2016-120610525400-01

## 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



INDAUTOR  
Instituto Nacional del Derecho de Autor

## Anexo 6. Certificado de derechos de autor 03-2016-120610565300-01

## 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:** 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



INDAUTOR  
Instituto Nacional del Derecho de Autor

## Anexo 7. Certificado de derechos de autor 03-2016-120610513100-01

## 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



## Anexo 8. Constancia por participación como ponente en el XIX Congreso ICA


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







**Otorgan la presente**  
**CONSTANCIA**


**A: Abigail Moreno Camarena**

POR SU PARTICIPACIÓN COMO PONENTE CON EL TEMA "ANÁLISIS PRÓXIMO Y DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO SUPERIOR DEL BAGAZO CERVECERO".

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 García López**  
 Presidente



## Anexo 9. Resumen para participación en XIX Congreso ICA

### 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. 21280, 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.

## Anexo 10. Constancia por participación en modo cartel en el XVII CNBB



**XVII**  
CONGRESO NACIONAL DE  
**BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA**

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

# Constancia

A

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

por su participación con el cartel

“ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL BAGAZO CERVECERO PARA SU APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO”

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



## Anexo 11. Resumen para participación en el XVII CNBB



### ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL BAGAZO CERVECERO PARA SU APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO.

Abigail Moreno, Marcos Coronado, Gisela Montero, Conrado García, Ana Vázquez, María Banquez, Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali C.P. 21280, moreno.abigail@uabc.edu.mx.

Palabras clave: revalorización, residuos agroindustriales, biocombustibles.

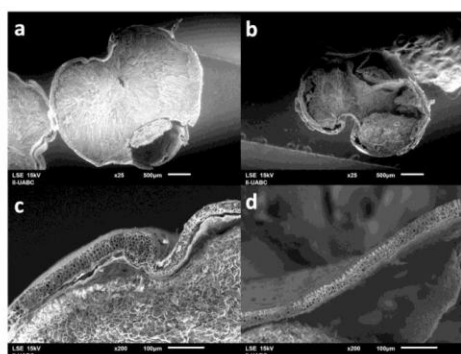
**Introducción.** En la fabricación de la cerveza se utiliza como principal materia prima la malta. Esta es molida, macerada y filtrada, obteniéndose mosto dulce y bagazo cervecero. El mosto dulce contiene nutrientes y azúcares fermentables necesarios para la producción de cerveza. Por otra parte, el bagazo es considerado un material de desecho. Se ha reportado que el bagazo cervecero contiene aproximadamente 18.98% de celulosa, 33.59% de hemicelulosa y 12.61% de lignina [1]. Se estima que la industria cervecera de Mexicali, Baja California procesó más de 220 t de maltas en 2016. Esto conlleva a la búsqueda de alternativas para la disposición de los residuos generados. El bagazo cervecero es un material lignocelulósico que puede ser revalorizado y aprovechado energéticamente.

La biomasa puede seguir dos vías con la finalidad de convertirse en un bioenergético: conversión bioquímica (digestión, fermentación) o conversión termoquímica (combustión, gasificación, pirólisis, etc.) [2].

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar la caracterización físicoquímica del bagazo cervecero con la finalidad de identificar la técnica de conversión más idónea para su aprovechamiento energético.

**Metodología.** El bagazo fue suministrado por la cervecería Big Bad Brewing Co. Se analizó la morfología de la malta y del bagazo cervecero mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) en el JEOL JSM-6360, con una aceleración de voltaje de 15 kV. Además, se realizó el análisis próximo. El cual incluyó las determinaciones de humedad (H), materia volátil (MV), ceniza (CE) y carbono fijo (CF); basadas en los procedimientos y normas NREL/TP-510-42621, ASTM E872, ASTM E830 y por diferencia, respectivamente. Por último, se determinó el poder calorífico superior (PCS) en el calorímetro IKA C2000, según la norma ASTM 711.

**Resultados.** En la Figura 1 se muestran las micrografías obtenidas. Se puede apreciar que la malta fue degradada durante el macerado. Sin embargo, esto no ocurrió de forma agresiva, por lo que el endosperma aún contiene almidón. Por otra parte, la Tabla 1 resume los resultados obtenidos del análisis próximo y de la determinación del PCS del bagazo cervecero.



**Fig. 1.** Comparación entre malta y bagazo cervecero. a) Corte transversal de un grano de malta, b) corte transversal del bagazo cervecero, c) pericarpio y endosperma de malta, d) pericarpio presente en el bagazo de cervecero.

**Tabla 1.** Resultados del análisis próximo y PCS del bagazo cervecero.

	H (%)	MV <sub>bs</sub> (%)	CE <sub>bs</sub> (%)	CF <sub>bs</sub> (%)	PCS <sub>bs</sub> (MJ/kg)
MA	77.322	78.469	4.054	17.477	18.700
DE	0.328	0.355	0.075	0.388	0.150

Donde bs: base seca, MA: media, DE: desviación estándar.

**Conclusiones.** Es recomendable que el bagazo cervecero siga una ruta de conversión bioquímica, debido a su gran contenido de humedad. El alto contenido de materia volátil hace del bagazo un insumo idóneo para la producción de biogás, mediante digestión. También, es altamente recomendable utilizarlo en la producción de bioetanol, mediante fermentación. Esto debido al alto contenido de celulosa, hemicelulosa y almidón.

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

#### Bibliografía.

- Mahmood A, Brammer J, Hornung A, Steele A, Poulston P. (2013). J Anal Appl Pyrolysis. 103: 328-342.
- Saidur R, Abdelaziz E, Demirbas A, Hossain M, Mekhilef S. (2011). Renew. Sustainable Energy Rev. 15: 2262-2289.

## Anexo 12. Constancia por participación en modo cartel en el XVII CNBB



**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



### Anexo 13. Resumen para participación en el XVII CNBB



#### 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. 21280, [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 fisicoquímica 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 fisicoquímicas 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, holocelulosa 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.

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.

Análisis	Chig	Pvid	
Extraíbles	Cetona	9.57	11.46
	Agua Caliente	51.24	19.72
	Lignina	10.41	17.66
Libre de extraíbles	Holocelulosa	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.

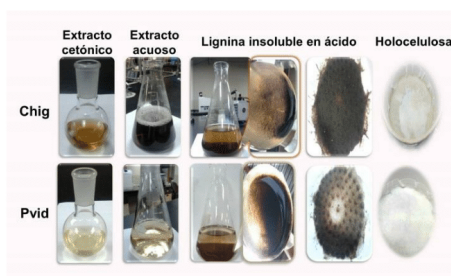


Fig. 1. Análisis de composición química de la Chig y Pvid.

**Conclusiones.** La caracterización fisicoquímica 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 fisicoquímica 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.

Anexo 14. Constancia de asistencia al XVII CNBB



**XVII**  
CONGRESO NACIONAL DE  
**BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA**

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

**Constancia**

A  
**ABIGAIL MORENO CAMARENA**

por su asistencia a este congreso celebrado del 25 al 30 de junio de 2017

Puerto Vallarta, Jal., 30 de Junio de 2017.



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



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



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

