



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**PROGRAMA DE ENERGÍA**

**Evaluación de deslignificación en la  
producción de bioetanol a partir de cáscara de  
naranja de tipo Valencia**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN INGENIERÍA ENERGÉTICA**

(ORIENTACIÓN EN ENERGÍA SOLAR)

P R E S E N T A :

**Alba Flor García Santiago**

DIRECTOR DE TESIS

Dr. José Alberto Mendoza Espinoza, UACM

CO-DIRECTOR DE TESIS

Dr. Fernando Díaz de León Sánchez

## SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

### RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

#### DERECHOS RESERVADOS ©

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

**INTEGRACIÓN DEL JURADO:**

Presidente: Dr. Edgar Vicente Torres González, UACM

Secretario: Dr. José Alberto Mendoza Espinoza, UACM

Vocal: Dr. Fernando Díaz de León Sánchez, UAM

1er. Suplente: Dr. Alberto García Quiroz, UACM

Lugar donde se realizó el posgrado:

PLANTEL DEL VALLE, UACM.

**DIRECTOR DE TESIS:**



---

Dr. José Alberto Mendoza Espinoza  
Universidad Autónoma de la Ciudad de México

## **Dedicatorias**

Gracias a Dios por la oportunidad de concluir la maestría, posteriormente a mi madre por su amor, cariño, comprensión, que siempre me apoyo incondicionalmente y paciencia durante todo este proceso para concluir con la meta de la maestría, gracias a mis hermanos, sobrinas y a todos mis familiares.

A mi hijo Adriel Joseph Garcia Santiago, él es mi motor y lo será para toda mi vida, que siempre me acompañó en esta etapa, que no fue fácil pero no imposible.

A mis amigos por su apoyo, motivación y por estar en los momentos difíciles, gracias por su compañía fue fundamental para mantenerme enfocada y positiva.

## **Agradecimientos**

**A la Secretaría de Educación Ciencia tecnología e Innovación de la Ciudad de México, por el apoyo recibido como parte del proyecto titulado: "Búsqueda de compuestos dirigidos contra la subunidad alfa del dímero de tubulina** con número folio (3617c24) - SECTEI/148/2024, bajo la responsabilidad del profesor José Alberto Mendoza, director de este trabajo. Qué permitió el uso del espectro de infrarrojo al apoyar con la compra del cartucho desecante que permite energizar el equipo.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, por darme la oportunidad y brindarme su apoyo durante mi instancia y el desarrollo de esta investigación. La contribución y el respaldo recibido han sido funcionalmente para llevar a cabo este proyecto de manera exitosa.

Agradezco especialmente a mi director de tesis, Doctor José Alberto Mendoza Espinoza, por ser mi motivo, orientación, atención y disposición para facilitar las condiciones necesarias para alcanzar mis objetivos académicos y de investigación.

De igual forma expreso mis agradecimientos a los profesores de la maestría que fueron parte fundamental para esta trayectoria de la maestría.

Agradezco el apoyo brindado de la Secretaría de Ciencia, Humanidades Tecnología e Innovación (SECIHTI), con el folio: 1226302.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ANEXOS .....</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>Capítulo I. Marco contextual .....</b>	<b>12</b>
1.1 Antecedentes.....	12
1.2 Planteamiento del problema.....	16
1.3 Justificación.....	17
1.4 Objetivos.....	19
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	19
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	19
<b>Capítulo II. Marco teórico .....</b>	<b>20</b>
2.1 El bioetanol como estrategia para disminuir la huella de carbono.....	20
2.1.1 <i>La huella de carbono en el mundo</i> .....	20
2.1.2 <i>La huella de carbono en México</i> .....	22
2.3 Proceso de la designificación.....	24
2.3.1 <i>La designificación como alternativa para aumentar los azúcares libres</i> .....	24
2.3.2 <i>Métodos principales de la designificación</i> .....	24
2.4 Los tipos de hidrólisis estudiados en este trabajo son básica y térmica.....	25
2.4.1 <i>hidrólisis básica</i> .....	25
2.4.2 <i>Hidrólisis térmica o de calor</i> .....	26
<b>Capítulo III. Materiales y métodos .....</b>	<b>29</b>
3.1 Diseño del estudio.....	29
3.2 Análisis fisiológico y químico de la naranja.....	30
3.3 Secado de la cáscara de naranja .....	32
3.4 Pretratamiento de la molienda .....	33

3.5	Medición de sólidos solubles (grados brix) .....	34
3.6	Medición de los azúcares reductores, por DNS .....	35
3.7	Determinación de azúcares teóricos.....	36
3.8	Determinar cualitativa de azúcares reductores empleando el reactivo de Benedict .....	37
3.9	Deslignificación.....	39
3.9.1	<i>Hidrólisis básica</i> .....	39
3.9.2	<i>Hidrólisis térmica o de calor</i> .....	41
3.10	Cálculo teórico de bioetanol con base en el cálculo de azúcares reductores .....	46
3.11	Análisis estadístico .....	46
<b>Capítulo IV. Resultados y discusión .....</b>		<b>47</b>
<b>Capítulo V. Conclusiones.....</b>		<b>54</b>
<b>Capítulo VI. Perspectivas .....</b>		<b>56</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>57</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Relación temperatura, tiempo con % de azúcares libres .....	14
<b>Figura 2.</b> Diagrama de trabajo.....	29
<b>Figura 3.</b> Peso del fruto complejo, jugo, cáscara y bagazo .....	31
<b>Figura 4.</b> Charolas con cáscara tratada.....	32
<b>Figura 5.</b> Molino y etiquetado de muestras .....	33
<b>Figura 6.</b> Brixómetro.....	35
<b>Figura 7.</b> Espectrómetro empleado .....	36
<b>Figura 8.</b> Ensayos de reactivo de Benedict.....	38
<b>Figura 9.</b> Muestras con respectivas cantidades .....	40
<b>Figura 10.</b> Materiales para la Hidrólisis Básica.....	41
<b>Figura 11.</b> Pesos del polvo de la cáscara de la naranja.....	43
<b>Figura 12.</b> Materiales para el proceso de la Hidrólisis Térmica .....	45
<b>Figura 13.</b> Curva de calibración .....	50
<b>Figura 14.</b> Relación de concentración contra porcentaje de azúcares .....	52
<b>Figura 15.</b> Relación de concentración contra porcentaje de azúcares .....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Cálculo de bioetanol teórico en 6 cáscaras de frutos tropicales.....	13
<b>Tabla 2.</b> Efecto del pH en el proceso de deslignificación .....	15
<b>Tabla 3.</b> Diferencia entre los tres tipos de hidrólisis .....	28
<b>Tabla 4.</b> Pesos de las muestras para la Hidrólisis básica .....	39
<b>Tabla 5.</b> Pesos de las muestras para la Hidrólisis térmica.....	42
<b>Tabla 6.</b> Relación de pérdida de humedad.....	49
<b>Tabla 7.</b> Análisis de dilución en el proceso térmico.....	51
<b>Tabla 8.</b> Análisis de dilución en el proceso básico .....	52

## ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Curva de calibración para la determinación de azúcares reductores .....	61
<b>Anexo 2.</b> Análisis de color de la cáscara fresca vs la cáscara seca .....	63
<b>Anexo 3.</b> Espectro de infrarrojo .....	64

## INTRODUCCIÓN

Se habla mucho sobre la transformación de la biomasa lignocelulósica en productos, la cual es clave para algunas soluciones a la problemática de la biomasa, cabe mencionar que también sería un granito de ayuda para la sostenibilidad y la económica en la producción de biocombustibles, materiales y producción de químicos.

Los biocombustibles que se obtiene a partir de polisacáridos como la lignina, celulosa o hemicelulosa, que son los biopolímeros de mayor abundancia en la naturaleza; pertenecen a la segunda generación. Estos materiales una vez hidrolizados, son convertidos en monosacáridos y posteriormente fermentados para producir alcohol (Castro, 2017).

El proyecto pretende aprovechar la Biomasa de cáscaras de naranja para generar un biocombustible sustentable, y que a la vez reduzca la generación de biomasa desvaloriza, esperando que por ser un combustible generado a partir de biomasa sea más amigable con el medio ambiente.

El capítulo 1- se enfoca, en la materia prima para la producción de un biocombustible, con la visión de optar por nuevas alternativas energéticas.

En el capítulo 2- se aborda el tema del bioetanol como estrategia para la disminuir la huella de carbono y avanzar hacia un prototipo energético más

sostenible. Es importante mencionar que existen otras materias primas empleadas en el mundo para la producción de etanol, pero desgraciadamente en México no es posible usarlas por la reglamentación federal; aunque el uso de materiales desvalorizados son una opción viable de estudio.

El proceso de fermentación es la clave para la obtención de bioetanol; sin embargo, las etapas del proceso no están optimizadas, es por ello que el estudio de la deslignificación es necesario para mejorar los rendimientos de producción, principal objetivo de este trabajo para lo cual se plantearon los objetivos del estudio y para su cumplimiento en el capítulo 3 - se presenta la metodología y para continuar con el capítulo 4 – donde se muestran los resultados y discusión.

Finalmente en los capítulos V y VI, se muestran las perspectivas y conclusiones respectivamente derivadas de este estudio.

## Capítulo I. Marco contextual

### 1.1 Antecedentes

Uno de los residuos de la agroindustria con gran potencial químico y energético es la cáscara de naranja variedad valencia. Este subproducto de la industria cítrica puede ser una alternativa viable como materia prima para la producción de bioetanol, ayudando con ello a la reducción de la huella de carbono y sumando a las materias primas que se pueden usar como biocombustibles, debido a que nuestra legislación prohíbe el uso del maíz y caña de azúcar como materia prima (Camara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2008).

La fermentación es el procedimiento utilizado para la obtención de bioetanol a partir de residuos con alto contenido de azúcar, entre los cuales se encuentra la cáscara de naranja.

En el 2024, Celestino Díaz Sánchez calculó el potencial teórico de la producción de bioetanol de varias matrices biológicas (Tabla 1), reportando para cáscara de naranja una producción teórica de bioetanol de 39,664 m<sup>3</sup> (2024).

**Tabla 1.** Cálculo de bioetanol teórico en 6 cáscaras de frutos tropicales

Material biológico	Equivalentes de glucosa	Producción anual (ton)	Relación cáscara/fruto (%)	Bioetanol teórico (m <sup>3</sup> )	Potencial energético (GJ)
<b>Naranja</b>	7.8	2,398, 878 (SIAP, 2022)	32.79	39663.67	8.96E+05
<b>Toronja</b>	7.8	488, 380 (SIAP, 2023)	30.89	7607.30	1.71E+05
<b>Mandarina</b>	15.0	238, 000 (SIAP, 2022)	34.67	8001.38	1.80E+05
<b>Mango</b>	15.1	2, 085, 751 (SIAP, 2023)	30.09	61273.35	13.8E+05
<b>Piña</b>	22.2	1, 209, 000 (SIAP, 2021)	21.15	36708.05	8.29E+05
<b>Plátano</b>	20.8	2, 593, 024 (SIAP, 2023)	11.10	38720.08	8.75E+05

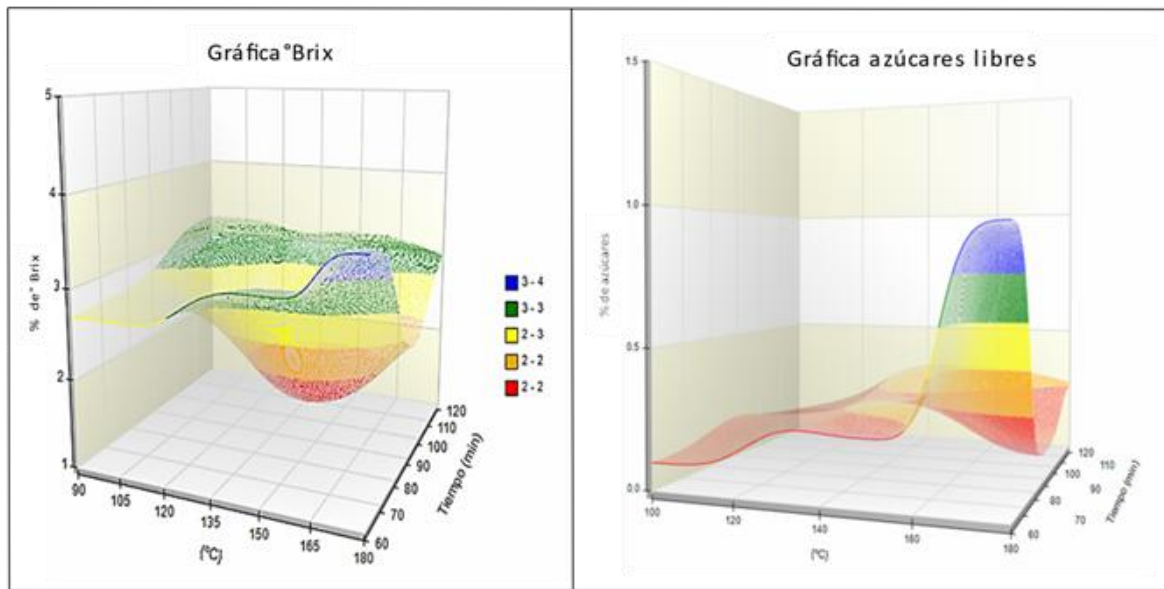
<sup>a</sup>g equivalentes de glucosa en 100 g de cáscara seca

*Fuente: Tomada y adaptada de la Tesis de Celestino Díaz Sánchez, 2024*

Es importante mencionar que el proceso de obtención de bioetanol no ha sido estandarizado en todas las etapas unitarias las cuales se explican en los siguientes capítulos, enmarcando algunos antecedentes importantes como los estudios realizados por Zoila Flor Ramírez Ramírez en 2019. En este trabajo se reporta la obtención de bioetanol a partir de cáscara de naranja variedad Valencia fresca, obteniendo un alcohol con el 90% de pureza determinado por cromatografía líquida

de alta resolución, el rendimiento no fue reportado de manera precisa ya que el lote se enriqueció con azúcar, pero enmarca que de 2 kg de cáscara fresca se obtuvo 20 mL de bioetanol (Ramírez, 2019).

Por otro lado, en la tesis de maestría de Antonio Martínez en 2025, se estandariza una de las etapas unitarias relacionadas con el proceso de fermentación antes de la formación del mosto, donde observó cómo se liberan los azúcares libres de manera diferenciada variando el tiempo de secado de la cáscara, encontrando como condiciones máximas la temperatura de secado de 180°C en un tiempo de 60 min (Figura 1) (Martínez, 2024).



**Figura 1.** Relación temperatura, tiempo con % de azúcares libres

*Fuente: Tomada de la Tesis de Juan Antonio Martínez, 2025*

Es importante mencionar que en el trabajo de Antonio Martínez es solo una etapa del proceso por lo que es necesario evaluar si la segunda etapa del proceso de obtención de bioetanol, que es la formación del mosto, es posible liberar más azúcares libres, esto con base en los estudios de deslignificación en la formación de mostos para matrices complejas, donde se encontró que pueden ser utilizados ácidos y bases para mejorar el proceso de liberación de azúcares a través de la descomposición de lignina como los que se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Efecto del pH en el proceso de deslignificación

Material biomasa	Tratamiento	Condición en el pretratamiento	Producción de bioetanol (g/L)	Referencia
Paja de arroz	Alcalino NaOH	50 a 90°C	0.032 g/g	(Ahmed, 2016)
Paja de trigo	Alcalino NaOH/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	50°C, 3 a 15 hrs	31.1	(Yu, 2019)
Paja de arroz	Acido H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	100°C; 120 min	40.6	(Zhu, 2015)
Paja de trigo	Acido H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (2%)	180°C; 10 min	0.44	(Prasad, 2018)

*Fuente: Tomada y adaptada de la Tesis de Celestino Díaz Sánchez, 2024*

En este sentido, los antecedentes anteriores justifican evaluar si en el proceso de obtención del mosto a partir de cáscaras de naranja se pueden liberar más azúcares libres y por ende aumentar la producción de bioetanol, dando un paso más en la optimización del proceso.

Con los azúcares teóricos obtenidos se puede calcular el rendimiento del bioetanol empleando los mismos procedimientos reportados por Celestino en 2024 y Antonio en 2025, para observar si existen mejoras con el rendimiento, con lo cual podemos justificar este trabajo.

## 1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad sabemos que la biomasa ha sido una problemática para el mundo y que cada país a investigado la forma de aprovechar estos residuos sólidos y convertirlos en usos energéticos como los biocombustibles y el biogás, entre otros productos industriales.

En el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) 1990-2017, publicado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), indica que en México las emisiones de GEI crecieron 65%, a un ritmo anual de 1.9%. A pesar de este crecimiento, el ritmo durante los últimos 7 años es menor, ya que se redujo la tasa anual de crecimiento a 0.5%, debido a la disminución del uso de petróleo y carbón, incrementándose

relativamente el uso de energías renovables. No obstante, las cifras son alarmantes y continúan impactando el medio ambiente y la salud.

En México existe una enorme cantidad de desechos orgánicos, entre estos desechos orgánicos encontramos la cáscara de naranja la cual se desperdicia anualmente una cantidad de 47,016 toneladas; sin embargo, estudios indican que aún tiene una proporción de azúcar mayor al 50%, lo cual permitiría obtener bioetanol.

El manejo adecuado de este producto puede ser la base para emplear otras matrices orgánicas fermentables en la Ciudad de México, como cáscara de piña, plátano mango, etc.

### 1.3 Justificación

Los altos índices de gases de efecto invernadero hacen necesaria la búsqueda de otras alternativas más amigables con el medio ambiente, es por ello que la producción de bioetanol es una alternativa; sin embargo, es necesario obtenerlo de fuentes de reusó para que los costos sean bajos y no se encarezcan las materias primas básicas, sumado a ello en nuestro país está prohibido emplear productos de la canasta básica como son la caña de azúcar y el maíz.

En este tenor el uso de materiales como las cáscaras de los productos cítricos como la de naranja pueden ser una opción viable, sumado a ello la cantidad de cáscaras de naranja que se produce en año ascendió en el 2022 a 2,398,878 toneladas, lo cual si se considera que se transforman en metano se convierte en un problema importante a mitigar. En este tenor, se puede calcular que la cantidad de metano producido de manera teórica a partir de cáscaras de naranja pudo haber ascendido a 30,798,564 m<sup>3</sup>, esto tomando en cuenta un porcentaje de humedad del 70% y los valores de referencias empleados para el cálculo de cáscara de tomate propuesto por Huicoza Balderrama en (2025).

Con ello queda claro que el aprovechamiento de la cáscara de naranja como materia prima para la obtención de bioetanol se justifica en dos puntos:

1. Mejorar el rendimiento de la producción de bioetanol aumentando los azúcares libres fermentables
2. Mejor manejo de los residuos orgánicos que pueden fermentarse para producir metano de manera natural, sumando a los gases de efecto invernadero asociados al cambio climático

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 *Objetivo general*

Evaluar el proceso de deslignificación probando los 2 tipos de hidrólisis: básica y térmica; así como evaluar los azúcares libres para aumentar la producción de bioetanol empleando cáscara de naranja tipo Valencia

### 1.4.2 *Objetivos específicos*

- Caracterizar la cáscara de naranja tipo valencia
- Establecer un diseño que permita la producción de bioetanol, con base en el uso de cáscara de naranja.
- Evaluar los sistemas de deslignificación básica y térmica.
- Realizar un esquema de balance de energía para la producción en base al etanol teórico calculado.
- Obtener el rendimiento teórico con base al contenido de azúcar y contrastarlo con el rendimiento experimental.

## Capítulo II. Marco teórico

### 2.1 El bioetanol como estrategia para disminuir la huella de carbono

En este tema es importante desarrollar algunos conceptos indispensables y ubicar lo que significa la huella de carbono en el mundo y en el país, esto con el propósito de ubicar a México en una posición global, la cual afortunadamente está muy por debajo de los principales países que aportan al cambio climático global, lo cual no significa un esfuerzo por dejar de contaminar, si no una baja industrialización del país.

#### *2.1.1 La huella de carbono en el mundo*

La huella de carbono hace mención a los gases de efecto invernadero (GEI), lo que se deriva de individuos que somos los que consumimos, negocios que son los vendedores de productos, gobierno y distintas organizaciones. Así mismo entendemos el impacto de nuestras acciones y de esa manera a prácticas más sostenibles.

La huella de carbono en el mundo es una tendencia global ya que ha ido aumentando con el paso del tiempo, principalmente por el uso de combustibles fósiles, deforestación y prácticas agrícolas intensivas. Según el informe de emisiones globales, las emisiones de CO<sub>2</sub> en 2022 ofrece un panorama completo

de las emisiones de GEI relacionadas con la energía. El informe concluye que el crecimiento global de las emisiones no fue tan alto como algunos temían inicialmente debido a las perturbaciones causadas por la crisis energética mundial. Esta última publicación recopila el análisis más reciente de la AIE, combinando las estimaciones de la Agencia sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> de todas las fuentes de energía y procesos industriales, además de proporcionar información sobre las emisiones de metano y óxido nitroso relacionadas con la energía (Internacional Energy Agency, 2023).

Mencionando lo que dice el informe del Acuerdo de París, el cual es un tratado internacional legalmente vinculante que entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. En la actualidad, 194 partes (193 países más la Unión Europea) han firmado el Acuerdo de París.

El Acuerdo establece compromisos de todos los países para reducir sus emisiones y colaborar en medidas de mitigación, a fin de adaptarse a los impactos del cambio climático, así como llamamientos a estos países para que aumenten sus compromisos con el tiempo. El Acuerdo proporciona a los países desarrollados una ruta para que ayuden a las naciones en desarrollo a mitigar y adaptarse al cambio climático, creando un marco de control y de información transparente sobre los objetivos climáticos de estos países.

El Acuerdo de París proporciona un marco duradero con el afán de dirigir el esfuerzo global durante las próximas décadas. Señala el comienzo de un cambio hacia un mundo con cero emisiones netas. La puesta en práctica del Acuerdo también es esencial para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ya que ofrece una hoja de ruta para las medidas climáticas que reducirán las emisiones y aumentarán la resiliencia al clima (Naciones Unidas, s.f.)

La huella de carbono empezó a mediados de los 90 y en la actualidad aún sigue el tema. Cada país tiene sus propios cálculos de las emisiones de gases de efecto invernadero para ello también sin dejar atrás las estrategias de cada uno para retroceder y no seguir generando.

### *2.2.2 La huella de carbono en México*

En México, el dióxido de carbono representa el 71% de los gases de efecto invernadero (GEI), de acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Este gas se genera principalmente por la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas), la cual aporta un 64% de las emisiones totales. En 2021, las emisiones brutas de GEI de México ascendieron a 714 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, contribuyendo con 1.4 % del total mundial, ubicando al país en segundo lugar en América Latina solamente superado por Brasil. Además, según un informe de la Organización Meteorológica Mundial

(OMM), la acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera nunca había sido tan rápida; en tan solo dos décadas, su incremento ha superado el 10% (Villalobos, 2025).

México actualmente ocupa el 14 lugar como emisor de GEI a nivel mundial y representa 9% de las emisiones de los Estados Unidos, nuestro vecino del norte (Nápoles, 2023).

Como todos los países en el mundo, México es vulnerable a las secuelas del cambio climático; de hecho, hoy en día, el país enfrenta periodos de calor más largos, así como también inundaciones más grandes, lluvias más intensas sin importar que solo contribuya con el 1.4% de las emisiones de GEI a nivel mundial. Debido a su peculiaridad geográfica y su situación socio-ambiental, de salud y económica, el problema del cambio climático se intensifica en México de acuerdo con datos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en comparación a otros países (Mendoza, 2021).

En el caso de México, aunque se ha comenzado a avanzar en la promoción de biocombustibles, el fomento de la infraestructura ferroviaria y la adopción de tecnologías como los vehículos eléctricos, el país sigue enfrentando limitaciones relacionadas con la infraestructura y la transición hacia un transporte de mercancías más sostenible (Villalobos, 2025).

## 2.3 Proceso de la deslignificación

### 2.3.1 *La deslignificación como alternativa para aumentar los azúcares libres*

El proceso de la deslignificación es una etapa importante para la producción de bioetanol o de otros biocombustibles, especialmente en la conversión de biomasa lignocelulósica (como madera, residuos agrícolas, y pastos) en azúcares fermentables, que luego pueden ser utilizados para producir etanol u otros biocombustibles. La lignina, un polímero complejo que da rigidez a las paredes celulares de las plantas, dificulta la degradación de la celulosa y hemicelulosa, que son las principales fuentes de azúcares.

### 2.3.2 *Métodos principales de la deslignificación*

- **Métodos físicos:** Estos implican el uso de calor o presión, como el pirólisis (descomposición térmica en ausencia de oxígeno) o la hidrólisis subcrítica. Estos procesos pueden quebrar las estructuras de lignina y celulosa, pero a menudo requieren condiciones severas y pueden generar productos no deseados.
- **Métodos químicos:** La deslignificación química puede llevarse a cabo mediante el uso de agentes alcalinos (como hidróxido de sodio, NaOH) o ácidos. Los agentes alcalinos ayudan a romper las uniones entre lignina

y celulosa, facilitando la conversión de la biomasa en azúcares fermentables. El proceso *kraft* es un ejemplo común de un tratamiento alcalino para la deslignificación.

- Métodos enzimáticos: La utilización de enzimas como la lignina peroxidasa o lacasa ha mostrado ser efectiva en la degradación de lignina. Las enzimas actúan sobre la estructura química de la lignina, facilitando la liberación de azúcares.
- Métodos biológicos: Se han estudiado diversos microorganismos y hongos que pueden descomponer la lignina, como las especies de *Phanerochaete chrysosporium* o *Trametes versicolor*. Estos microorganismos tienen enzimas específicas capaces de degradar la lignina (Xiaolin, 2022).

## 2.4 Los tipos de hidrólisis estudiados en este trabajo son básica y térmica

### 2.4.1 hidrólisis básica

La hidrólisis básica es un proceso químico en el cual se emplean condiciones alcalinas, típicamente hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH), para descomponer compuestos complejos en sus componentes más simples. Este

método es comúnmente utilizado para descomponer lípidos, proteínas y biomateriales, facilitando la liberación de ácidos grasos, aminoácidos y otros productos de interés. La presencia de una base favorece la rotura de enlaces éster y amida, facilitando la separación y recuperación de componentes específicos (Flores, 2008).

1. La biomasa se muele o tritura para aumentar su superficie de contacto.
2. Tratamiento alcalino: Se mezcla con una solución alcalina concentrada a temperaturas moderadas (usualmente entre 80-121 °C).
3. Reacción: La solución alcalina rompe enlaces en lignina y hemicelulosa, liberando azúcares y creando un medio que puede ser utilizado por microorganismos en etapas posteriores de fermentación.
4. Filtrado o separación: Se separan los sólidos de los líquidos que contienen los azúcares y otros productos solubles.

#### *2.4.2 Hidrólisis térmica o de calor*

La hidrólisis térmica implica el empleo de altas temperaturas, generalmente mediante calor controlado, en presencia o ausencia de agua, para acelerar el proceso de descomposición de compuestos complejos. Esta técnica incrementa la velocidad de reacción y puede ser utilizada para obtener productos específicos en procesos de conversión de biomasa, como la producción de bioaceite, biogás o

azúcares fermentables. La hidrólisis térmica puede incluir condiciones de cizallamiento o presión elevada, optimizando la eficiencia del proceso.

1. Preparación: La biomasa se seca y muele si es necesario.
2. Calor: Se somete a altas temperaturas en un ambiente controlado sin oxígeno.
3. Reacción: La biomasa se descompone en compuestos volátiles y residuos sólidos.
4. Recolección: Los vapores se condensan para obtener bioaceite, y los gases se utilizan para generar calor o energía adicional.

Existe otro tipo de hidrólisis que no se consideró en este estudio, se le conoce como hidrólisis ácida.

El principal objetivo de la hidrólisis ácida es solubilizar la fracción de hemicelulosa de la biomasa lignocelulósica para que la celulosa esté más accesible para las enzimas. Se pueden utilizar ácidos concentrados o diluidos, pero los concentrados se utilizan menos porque producen más compuestos inhibidores, además de que son tóxicos y corrosivos, lo que implica mayores gastos al tener que proteger las instalaciones contra la corrosión y son comercialmente más caros.

Las condiciones de algunos procesos de hidrólisis y sus comparativos se muestran en la tabla 3, donde podemos ver de manera detallada la cita y los reactivos químicos que fueron empleados.

**Tabla 3.** Diferencia entre los tres tipos de hidrólisis

Característica	Ácida	Básica	Térmica
Reactivos	Ácidos fuertes (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HCl)	Bases fuertes (NaOH, KOH)	Agua, vapor de agua
Temperatura	150-250 °C	100-180 °C	250-400 °C
Presión	Baja a media	Baja a media	Alta (más de 20 atmósferas)
Tiempo de reacción	Rápido (horas)	Moderado (varias horas)	Rápido a moderado
Subproductos	Furfural, ácidos orgánicos	Menos subproductos inhibidores	Menos subproductos, pero requiere equipos especiales
Costo operativo	Bajo, pero corrosivo	Bajo, requiere recuperación alcalina	Alto debido a equipos especializados

*Fuente: Elaboración propia*

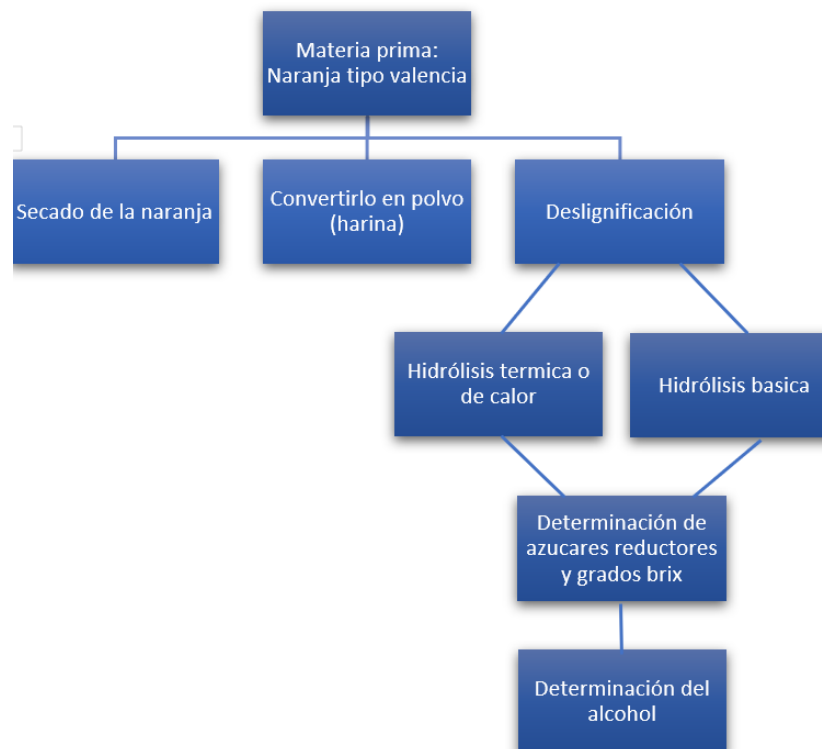
El más utilizado es el ácido sulfúrico diluido, ya que es el más económico y efectivo. Al añadirlo a la biomasa lignocelulósica, hidroliza la hemicelulosa dando lugar a xilosa y otros azúcares, rompiendo finalmente también la xilosa para formar furfural. Como resultado se obtiene una fracción líquida, que contiene los azúcares fermentables, y una fracción sólida, que contiene la celulosa y la lignina.

También se ha estudiado el uso de otros ácidos, como el ácido clorhídrico, el ácido fosfórico y el ácido nítrico (Borus, 2021).

## Capítulo III. Materiales y métodos

### 3.1 Diseño del estudio

En el diagrama de la Figura 2, se muestra el procedimiento realizado durante la investigación desde la materia prima que es la naranja de variedad valencia hasta nuestro punto de investigación que es la deslignificación y dos hidrólisis.



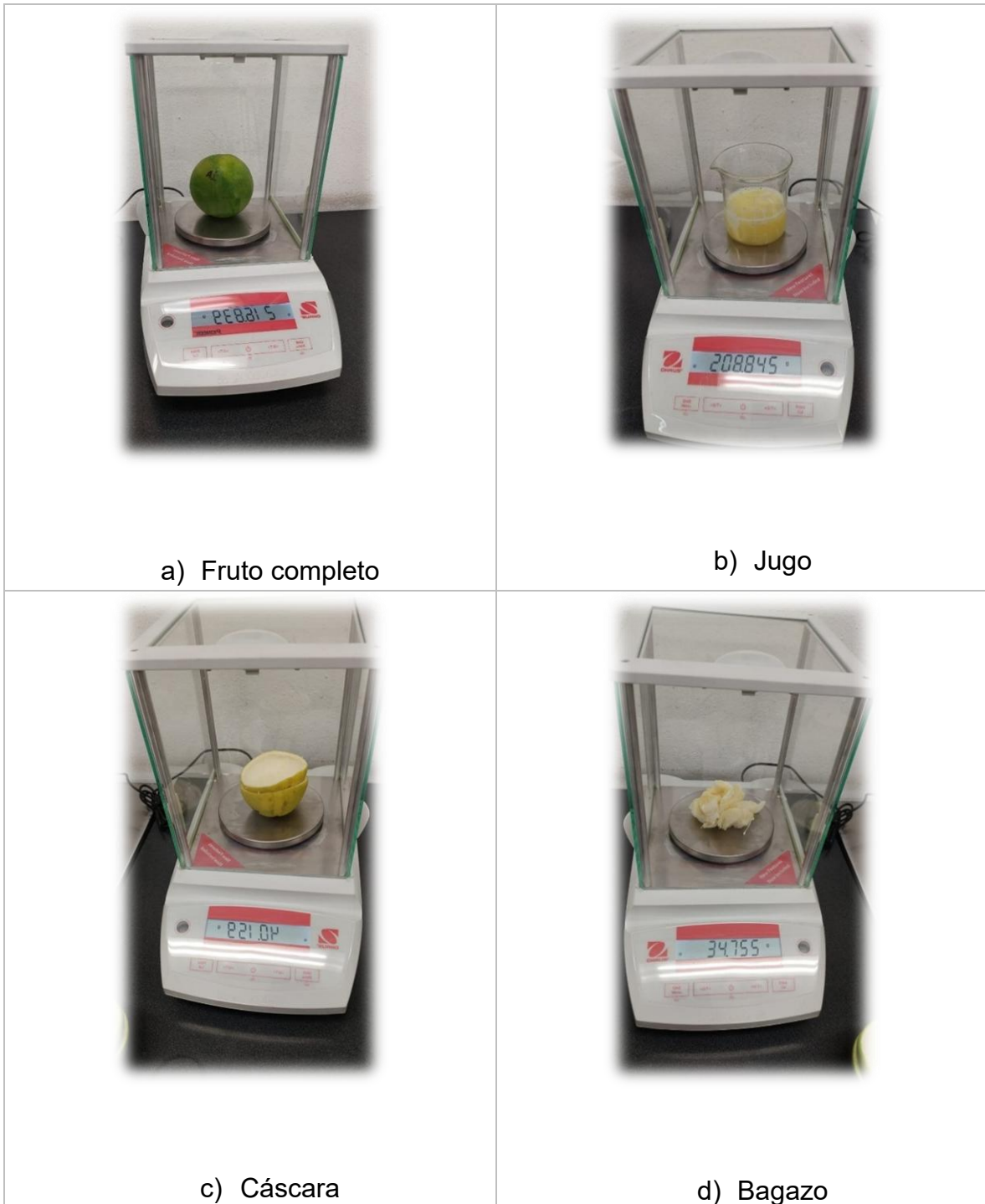
**Figura 2.** Diagrama de trabajo

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2 Análisis fisiológico y químico de la naranja

La naranja es un fruto cítrico de forma redonda con cáscara lisa o rugosa de la variedad que se trate, de color generalmente anaranjado vivo y en ocasiones pálido, y su jugo suele ser de sabor agridulce, se evaluará su peso, forma, y relación de cáscara y fruto.

En análisis físico se separa la cáscara del fruto y se pesan de manera independiente, tomando cada fruto como unidad experimental. El fruto fue adquirido del mercado local y se transportó a la Unidad de Investigación Centro Histórico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, el peso de la cáscara y la humedad se calculó empleando la metodología planteada por Antonio Martínez (2025), de la misma manera se determinó la huella química de la cáscara de naranja empleando espectroscopia de infrarrojo, empleando Cary 630 (Anexo 3). En la Figura 3, se muestra un ejemplo del pesado del fruto completo, cáscara, bagazo y jugo.



**Figura 3.** Peso del fruto complejo, jugo, cáscara y bagazo

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3 Secado de la cáscara de naranja

El proceso de secado de la cáscara de naranja se llevó a cabo en un horno convencional a una temperatura de 180°C a 120 min, temperatura y tiempo reportada como la más idónea por Martínez (2025). En el procedimiento se obtuvieron 9 lotes de 100 g de cáscara fresca (Martínez, 2025).

En cuanto el horno alcanza la temperatura de 180°C se colocaron los 9 lotes, cabe mencionar que se pesaron cada 30 minutos hasta que se quedó en peso constante al tiempo de los 120 min, como se muestra en la Figura 4.



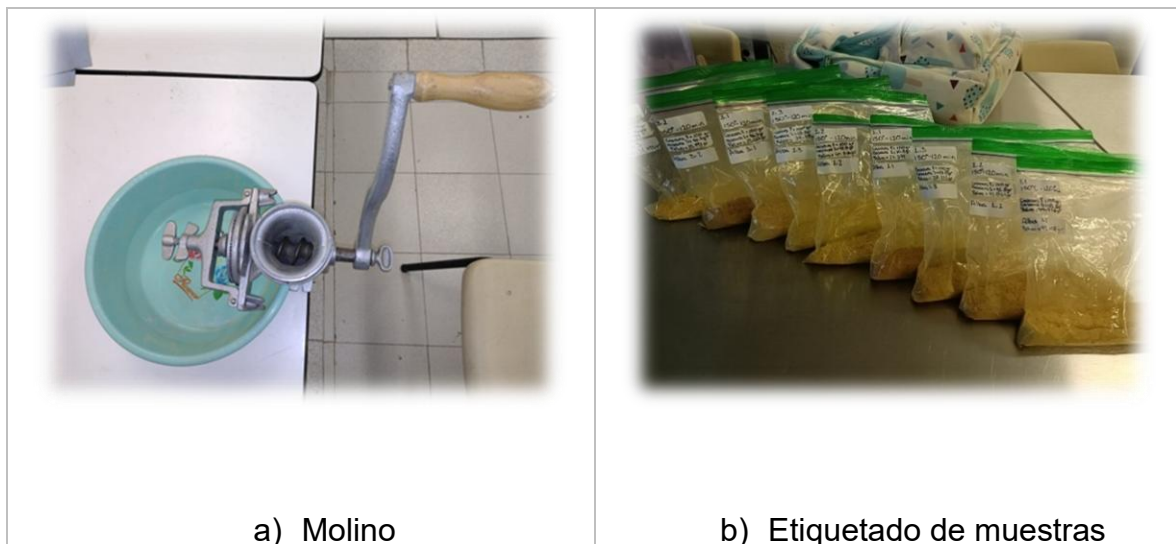
**Figura 4.** Charolas con cáscara tratada

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4 Pretratamiento de la molienda

En el proceso de la molienda se realizó para los 9 lotes con un molino manual como en el de la figura 5(a). En cuanto se obtuvieron los lotes ya molidos se realizó el proceso de etiquetado, donde las etiquetas llevan el peso de la cascara fresca, cascara seca y por último la cáscara ya en polvo como se muestra en la figura 5(b).

Al final, el polvo fino se almacenó en un refrigerador convencional para su posterior uso.



**Figura 5.** Molino y etiquetado de muestras

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5 Medición de sólidos solubles (grados brix)

Esta metodología fue desarrollada para la medición de azúcar en la industria del vino y es adecuada para decidir el mejor tiempo para la cosecha de las frutas. El refractómetro digital para alimentación HI 96801 es un robusto dispositivo portátil e impermeable, que se beneficia de los años de experiencia de Hanna como fabricante de instrumentos analíticos. La metodología la podemos resumir en los siguientes pasos:

- Calibración con agua desionizada o destilada,
- Determinación de la muestra
- La medición puede ser afectada por la temperatura

La medición de los sólidos solubles se llevó a cabo empleando un brixómetro marca Ohaus (Figura 6), la medición se llevó a cabo en los macerados obtenidos de los diferentes tratamientos, se empleó la metodología planteada por Martínez para el estudio del secado en (2025).



**Figura 6.** Brixómetro

### 3.6 Medición de los azúcares reductores, por DNS

La medición de los azúcares reductores se llevó a cabo empleando un espectrofotómetro (Figura 7), la medición se llevó a cabo en los macerados obtenidos de los diferentes tratamientos, se empleó la metodología planteada por Martínez para el estudio del secado en él (2025). En el anexo 1, se muestra la curva de calibración que se preparó previamente en el grupo de investigación.



**Figura 7. Espectrómetro empleado**

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.7 Determinación de azúcares teóricos

En la determinación de azúcares teóricos, la cual se basa de manera general en la ecuación estequiometría de la fermentación, se empleó la metodología planteada en las tesis desarrolladas por:

1. Zoila Flor Ramírez Ramírez. Obtención de Bioetanol a Partir de Cáscara de Naranja Variedad Valencia Cultivada en Río verde, San Luis Potosí. Tesis de

Maestría en Fuentes Renovables de Energía y Eficiencia Energética (Orientación Eficiencia Energética). Presentada el viernes 24 de enero de 2020. Plantel del Valle, UACM, México CDMX).

2. Celestino Díaz Sánchez. Estudio del empleo de diferentes cáscaras como materia prima para la obtención de bioetanol en México. Tesis de Maestría en Fuentes Renovables de Energía y Eficiencia Energética (Orientación Eficiencia Energética). Presentada el martes 22 de octubre de 2024. Plantel del Valle, UACM, México CDMX).

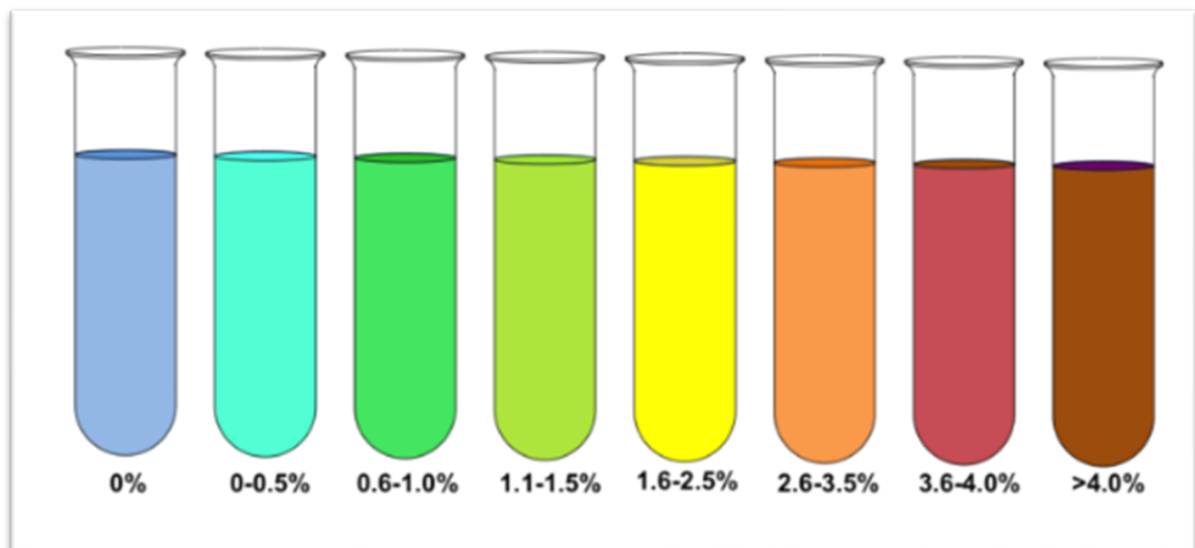
### 3.8 Determinar cualitativa de azúcares reductores empleando el reactivo de Benedict

El reactivo de Benedict es una disolución azulada de cobre que se utiliza para detectar la presencia de azúcares reductores: aldehídos, alfa-hidroxi-cetonas y hemicetales. Los azúcares reductores se caracterizan por poseer un grupo hidroxilo en la adyacencia de la cetona, el cual reaccionan con el reactivo de Benedict para dar un complejo colorido que puede asociarse a la concentración como se muestra en la Figura 8.

De manera breve, el método de Benedict está basado en la acción reductora de los azúcares sobre el  $\text{Cu}^{2+}$ , de coloración azul, que lo transforma en  $\text{Cu}^{+}$ . El

Cu<sup>+</sup> forma un precipitado rojo-ladrillo de óxido cuproso. No obstante, dependiendo de la concentración de los azúcares van apareciendo un espectro de colores.

Cabe señalar que si se añade el reactivo de Benedict a un tubo de ensayo sin azúcares reductores (0%), éste no experimenta cambio alguno de su coloración azulada. Así, cuando la concentración es superior a 4%, el tubo de ensayo se tiñe de un color pardo.



**Figura 8.** Ensayos de reactivo de Benedict

*Las coloraciones de los tubos de ensayo después de añadirles el reactivo de Benedict permiten saber semi cuantitativamente cuántos azúcares reductores hay disueltos. Fuente: Thebiologyprimer [CC0]*

### 3.9 Deslignificación

#### 3.9.1 Hidrólisis básica

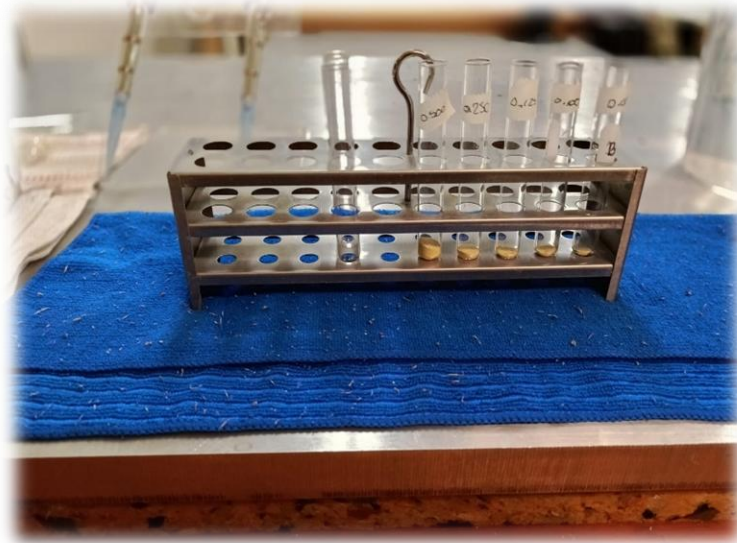
En el proceso de la hidrólisis básica, se hará con el 1% de hidróxido de sodio, esto para que el NaOH al 1% rompa los enlaces de la cáscara de la naranja y de esta forma obtener los azúcares libres.

Para ello, se seleccionaron 5 muestras con los pesos que se muestran en la Tabla 4 y en la figura 9 se observan los tubos de ensayo con sus respectivos pesos para agregar NaOH al 1%, para cada una de las muestras con 6 ml como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 4.** Pesos de las muestras para la Hidrólisis básica

<b>Hidrólisis básica</b>		
<b>Muestras</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>NaOH al 1% (ml)</b>
1	0.5	6
2	0.25	6
3	0.125	6
4	0.1	6
5	0.05	6

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 9.** *Muestras con respectivas cantidades*

Las muestras se llevan al dispositivo llamado baño María a una temperatura de 120°C en un tiempo de 15 minutos.

Se retiran del baño María y se deja en reposo hasta alcanzar la temperatura ambiente, esto para que en el paso siguiente no afecte la temperatura con el que salió del baño María.

Posteriormente de cada muestra se toman 5 ml con una propipeta, esto para colocarlos en un tubo de ensayo y agregarles 5 ml del DNS. Nuevamente se lleva al baño María con la misma temperatura y con un tiempo de 10 min, pasado el tiempo se retira para colocarlos en una charola con agua y hielo. Esto para que

tengan un choque de temperatura y así romper las moléculas de nuestra cáscara en polvo y la obtención de los azúcares. Los materiales que se utilizaron en este proceso de la hidrólisis básica se muestran en la Figura 10.



**Figura 10.** *Materiales para la Hidrólisis Básica*

### **3.9.2 Hidrólisis térmica o de calor**

En el proceso de la hidrólisis térmica o también llamada de calor, se lleva a cabo a altas temperaturas para el rompimiento de moléculas de la lignina, celulosa y de la hemicelulosa de la cáscara de naranja.

Para ello, se seleccionaron 5 muestras con los pesos que se muestran en la Tabla 5 y en la figura 11. Se le agrega 6 ml de agua destilada para cada una de las muestras.

**Tabla 5.** Pesos de las muestras para la Hidrólisis térmica

<b>Hidrólisis térmica</b>		
<b>Muestras</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Agua destilada (ml)</b>
1	0.5	6
2	0.25	6
3	0.125	6
4	0.1	6
5	0.05	6

*Fuente elaboración propia*

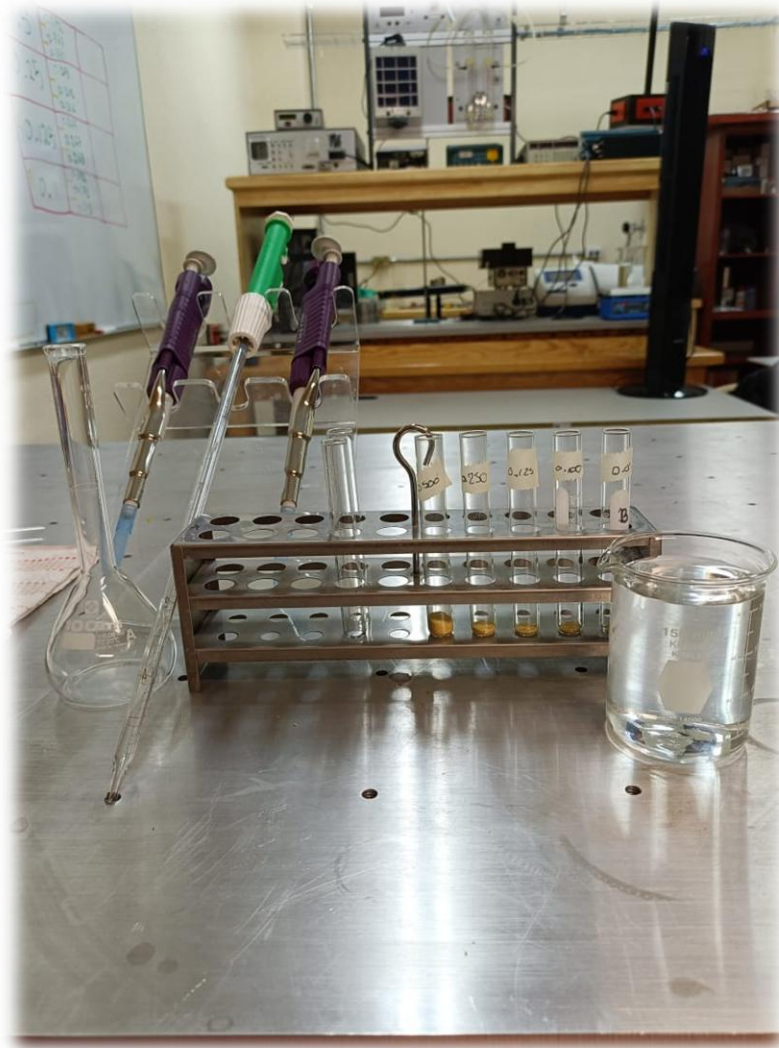


**Figura 11.** Pesos del polvo de la cáscara de la naranja

Las muestras se llevan al dispositivo llamado baño María a una temperatura de 120°C en un tiempo de 15 minutos.

Se retiran del baño María para dejarlas reposar y estén a temperatura ambiente, esto para que en el paso siguiente no afecte la temperatura con el que salió del baño María.

Posteriormente de cada muestra se toman 5 ml con una propipeta, esto para colocarlos en un tubo de ensayo y agregarles 5 ml del DNS. Nuevamente se lleva al baño María con la misma temperatura y con un tiempo de 10 min, pasado el tiempo se retira para colocarlos en una charola con agua y hielo. Esto para que tengan un choque de temperatura y así romper las moléculas de nuestra cáscara en polvo y la obtención de los azúcares. Los materiales que se utilizaron en este proceso de la hidrólisis térmica se muestran en la Figura 12.



**Figura 12.** *Materiales para el proceso de la Hidrólisis Térmica*

### 3.10 Cálculo teórico de bioetanol con base en el cálculo de azúcares reductores

El cálculo de bioetanol teórico se realizó con base en los azúcares reductores, este cálculo toma en cuenta la ecuación general de la glucosa y fue utilizado en los trabajos de Celestino Díaz y Antonio Martínez.

Para el cálculo de azúcares reductores se empleó la curva de calibración desarrollada en el laboratorio en trabajos previos y se muestra en el Anexo 1.

### 3.11 Análisis estadístico

Se realizan tres experimentos independientes, cada experimento por triplicado, los datos se presentan como la media +/- la desviación estándar. Se aplica el análisis de ANOVA de una variable para obtener los valores significativos empleando el programa NCSS 2019 (Contreras, et al 2022).

## Capítulo IV. Resultados y discusión

La composición de la cáscara de naranja en relación con el fruto es del 45 al 60% de la fruta (Flores, 2014) aunque depende de la variedad, algunas de las variedades que tenemos son:

- Navel: buena presencia, frutos partenocárpicos de gran tamaño, muy precoces. Destacan las variedades: Navelate, Navelina, Newhall, Washington Navel, Lane Late y Thompson. Se caracterizan por tener, en general, buen vigor.
- Blancas: dentro de esta variedad destaca la Salustiana y Valencia Late (presenta frutos de buena calidad con una o muy pocas semillas y de buena conservación). Se caracterizan por ser árboles de gran vigor, frondosos, tamaño medio a grande y hábito de crecimiento abierto, aunque tienen tendencia a producir chupones verticales, muy vigorosos, en el interior de la copa
- Sanguinas: variedades muy productivas, en las que la fructificación predomina sobre el desarrollo vegetativo. Son variedades con brotaciones cortas y los impedimentos en la circulación de la savia dan lugar al endurecimiento de ramas. Destaca la variedad Sanguinelli.

En este trabajo se estudió la naranja valencia encontrando los siguientes resultados.

La cáscara obtenida fue secada empleando la metodología reportada como idónea por Antonio Martínez en el 2025, obteniendo aproximadamente una relación del 40% de cáscara en relación al fruto y con base en los azúcares reductores determinar posteriormente el etanol teórico.

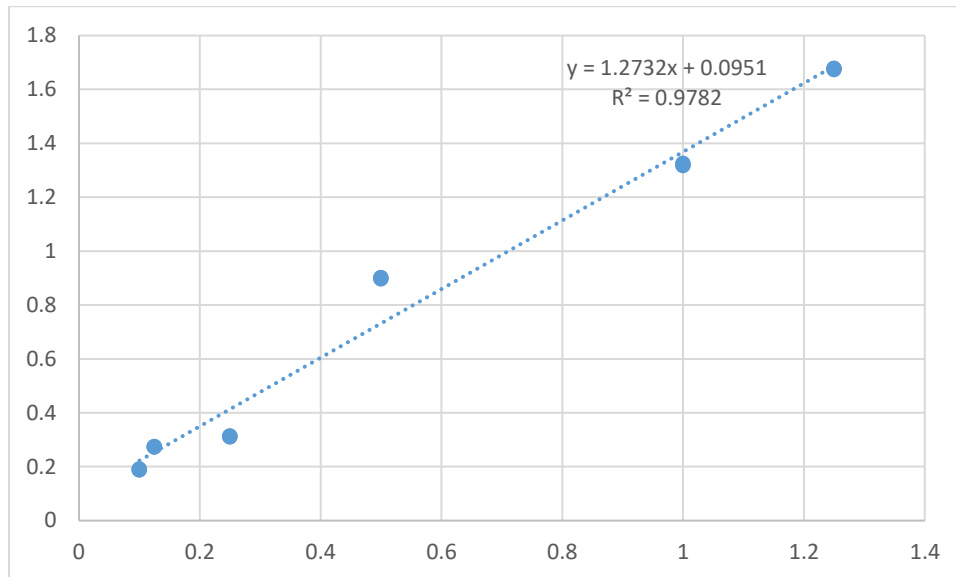
En cuando a la reacción de Benedict la reacción fue positiva lo que indica la presencia de azúcares reductores los cuales están en aproximadamente 1% como se detalla más adelante en este trabajo.

En la Tabla 6, se muestra la relación de cáscara seca *versus* seca donde se observa que se tiene aproximadamente una pérdida de húmeda de 60%, empelando la metodología reportada anteriormente por Antonio Martínez (2025).

**Tabla 6.** Relación de pérdida de humedad

Tabla de Cáscara de Naranja seca					
Muestra	Temperatura [°C]	Tiempo [min]	Peso inicial de Cáscara Fresca en [g]	Peso final de Cáscara Seca en [g]	Peso en polvo de cáscara seca [g]
1.1	150	120	100	47.6	42.058
1.2	150	120	100	45.8	42.861
1.3	150	120	100	43.8	38.215
2.1	150	120	100	40.8	35.799
2.2	150	120	100	45.8	40.817
2.3	150	120	100	45	39.718
3.1	150	120	100	46.7	39.667
3.2	150	120	100	40.7	35.993
3.3	150	120	100	49	32.493

Obteniendo la harina seca se llevó a cabo el cálculo de los azúcares reductores empleando el ensayo de DNS, para ello se elaboró la curva de calibración en porcentaje contra absorbancia obteniendo una correlación mayor al 0.97 (Figura 13), esto nos permitió validar la ecuación que se empleó con nuestras muestras tratadas en las condiciones señaladas en la metodología y se describen a continuación.



**Figura 13.** *Curva de calibración*

Estudio del proceso de deslignificación.

Este proceso es muy importante en la liberación de azúcares debido a que los residuos orgánicos poseen grandes cantidades de sustancias ligno-celulósicas. Estos residuos están formados por 3 polímeros: celulosa (monómeros de 6 carbonos), hemicelulosa (monómeros de 5 C carbonos) y lignina; de los primeros, por hidrólisis se obtiene una mezcla de azúcares de 6 y 5 carbonos, que poseen la capacidad de ser fermentados.

Estos residuos son ricos en celulosa, al caracterizar residuos vegetales provenientes de desechos domésticos, llegando a obtenerse 3.16 g de celulosa por

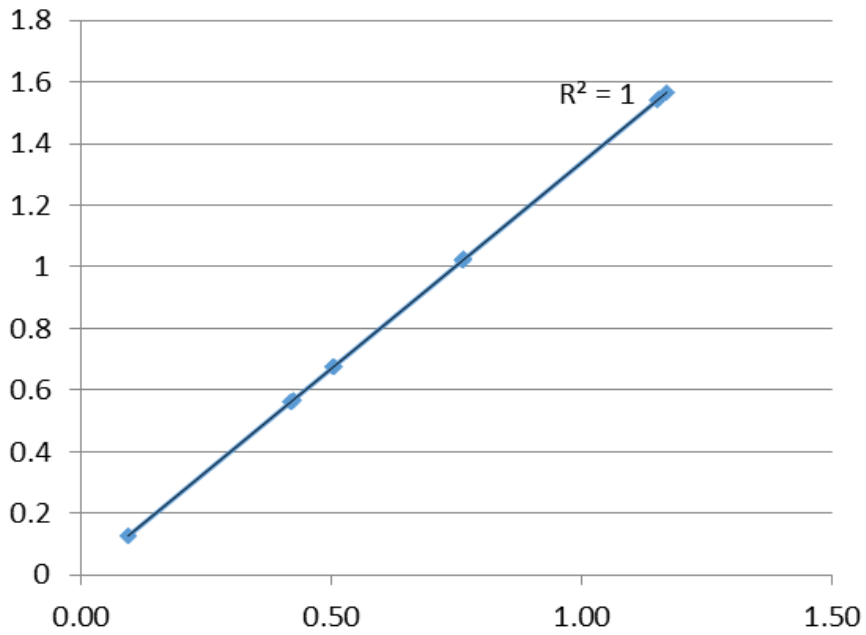
cada 100 g de residuo seco; constituyéndose en uno de los mayores componentes, lo que justifica su aprovechamiento como fuente de azúcares (Mamani, 2017).

En esta etapa se estudió la hidrólisis térmica, para ello se realizaron diferentes concentraciones para observar si existía una relación lineal y se terminó el porcentaje de azúcares reductores, como se muestra en la Tabla 7 Figura 14.

Estos resultados indican la posibilidad de escalar el proceso a cantidades industriales, el mismo resultado se obtuvo en la hidrólisis básica pero las concentraciones observadas son menores, como se muestra en la Tabla 8, Figura 15.

**Tabla 7.** Análisis de dilución en el proceso térmico

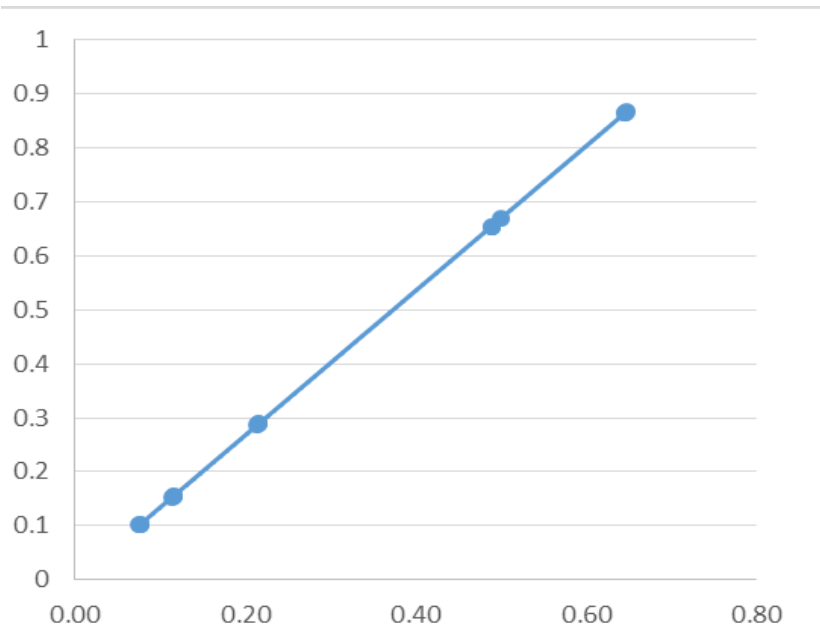
Tratamiento	n	g/100MI
0.5 g / 6 mL	3	1.15732099
0.25 / 6 mL	3	0.76333408
0.125 / 6 mL	3	0.50474128
0.1 / 6 mL	3	0.42111551
0.05 / 6 mL	3	0.09457677



**Figura 14.** *Relación de concentración contra porcentaje de azúcares*

**Tabla 8.** Análisis de dilución en el proceso básico

Tratamiento	n	mg/100 mL
0.5 g / 6 mL	3	0.89
0.25 g / 6 mL	3	0.66
0.125 g / 6 mL	3	0.29
0.1g / 6 mL	3	0.15
0.05 g / 6 mL	3	0.10



**Figura 15.** *Relación de concentración contra porcentaje de azúcares*

La comparación de los resultados indica que la hidrólisis térmica muestra mejores resultados que la hidrólisis básica, por lo que la producción de alcohol teórico será mayor al aplicar este tipo de deslignificación.

## Capítulo V. Conclusiones

El proceso de deslignificación afecta de manera significativa la producción de azúcares libres, presentando la térmica mejores resultados que la hidrolisis básica.

Este resultado es alentador debido a que una hidrolisis térmica genera menos residuos contaminantes que una hidrolisis básica, en la cual se usa generalmente hidróxido de sodio, para posteriormente neutralizar el medio y puede llevarse a cabo la fermentación.

Si realizamos un balance de materia encontramos que por cada 1000 g de cáscara seca se tendrían 10 g de azúcar, produciendo 5 mL de etanol, en otras palabras, es posible obtener de manera teórica 5 mL de bioetanol por kg de cáscara seca, lo que indicaría 117.1 kJ, empleando los siguientes cálculos:

### Cálculo de la energía liberada por 5 mL de etanol

#### Datos

- Densidad del etanol: 0.789 g/mL
- Calor de combustión: 29.7 kJ/g

#### Cálculo

1. Masa del etanol

$$5 \text{ mL} \times 0.789 \text{ g/mL} = 3.945 \text{ g}$$

2. Energía liberada

$$3.945 \text{ g} \times 29.7 \text{ kJ/g} = 117.1 \text{ kJ}$$

Esto nos indicaría que para energizar el metro de la Ciudad de México que emplea  $3.09456 \times 10^{12}$  kJ en un año, se requerirían 132 millones de litros de etanol, lo que correspondería a 26.4 millones de toneladas de cáscara seca lo representa el cultivo de entre 2.2 – 6.6 millones ha, tomando un rendimiento de 5 t/ha, 8 t/ha

## Capitulo VI. Perspectivas

- Estos resultados muestran la necesidad de combinar el proceso de secado de la cáscara con el proceso de deslignificación para observar si existe sinergia en la obtención de bioetanol.
- Sería interesante estudiar el proceso de sonicado ultrasónico en combinación con el proceso térmico para determinar si aumenta el contenido de azúcares libres.
- Llevar a cabo el proceso de obtención de bioetanol con los valores optimizados con base en los azúcares libres para validarlo con el proceso experimental, antes de ello sería interesante buscar el método de fermentación más adecuado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed, M. A. (2016). Optimización del pretratamiento de paja de arroz basado en engranajes gemelos para la producción de bioetanol. researchgate.

Borus, D. K. (2021). Hidrólisis química de residuos agrícolas para obtención de azúcares reductores: revisión bibliográfica de procesos.

Camara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2008). Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos. 12.

Castro, P. d. (2017). *Eficiencia comparativa de la obtención de biocombustibles a partir de residuos de naranja (Cistrus Sinensis) y piña (Ananas Comosus) en mezclas con combustible*. Obtenido de <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/7951/1/UDLA-EC-TIAM-2017-22.pdf>

Diaz Sanches, C. (2024). *Estudio del empleo de diferentes cáscaras como materia prima*. Mexico: Universidad Autonoma de la Cuidad de Mexico.

Flores, J. (Mayo de 2008). Una interpretación aproximativa del concepto de Hidrólisis en estructuras peptídicas en un Curso de Bioquímica del IPC en el contexto de la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud. *Scielo*.

Flores, J. J. (2014). *Caracterización fisicoquímica de las cascaras de naranja (citrus sinensis l.) Y pomelo (citrus grandis), para obtener bioetanol - iquitos*. Obtenido de

[https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/4258/Julio\\_Tesis\\_T%c3%adtulo\\_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/4258/Julio_Tesis_T%c3%adtulo_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Huicoza Balderrama, C. D. (2025). Efecto de las variables de proceso de extracción (presión, temperatura, cosolvente) mediante fluido supercrítico, en el perfil de compuestos y potencial nutraceutico de extractos a partir de subproducto industrial de chile Jalapeño (*Capsicum annum*). 103.

Internacional Energy Agency. (Marzo de 2023). *iea*. Obtenido de Emisiones de CO2 en 2022: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>

Lara, M. F. (2017). Caracterización Físicoquímica de desechos de naranja (*Citrus Sinensis*) y lechuga (*Lactuca Sativa*). *Energía Química y Física*, 8.

Lesly P. Tejeda, C. T. (2010). PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE JARABES GLUCOSADOS DERIVADOS DE CÁSCARAS DE NARANJA Y PIÑA. *educacion en ingenieria*, 120-125.

Martínez, J. A. (2025). *Estudio del efecto del secado en horno de convección en la producción de bioetanol, a partir de cáscara de naranja (Citrus sinensis)*. Mexico: UACM.

Mendoza. (2021). Huella de carbono: implementación de estrategias en el Índice Sustentable en México. *Desarrollo Gerencial*, 1-22.

Naciones Unidas. (s.f.). *Naciones Unidas* . Obtenido de El acuerdo de París:

<https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>

Nápoles, P. R. (2023). Emisión de gases de efecto invernadero en la economía mexicana y políticas de mitigación, 2020-2030. *scielo*.

Ramírez Ramírez, Z. F. (2019). *OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA VARIEDAD VALENCIA CULTIVADA EN RÍOVERDE, SAN LUIS POTOSÍ. [Tesis licenciatura] UACM ciudad de Mexico*. Mexico: UACM.

SADER. (12 de Noviembre de 2019). *Agricultura*. Obtenido de Biomasa, creación ecológica de energía: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/biomasa-creacion-ecologica-de-energia>

Villalobos, K. V. (6 de Febrero de 2025). Emisiones de CO2 en el autotransporte de carga terrestre en México: análisis y estrategias. 20.

Xiaolin, L. (2022). Mejora de la hidrólisis enzimática de biomasa lignocelulósica mediante pretratamiento fisicoquímico biocoordinado: una revisión. *ScienceDirect*, 696-709.

Yu, J. (2019). Integración de procesos para la producción de etanol a partir de maíz y rastrojo de maíz como sustratos mixtos. *sciencedirect*, 10-16.

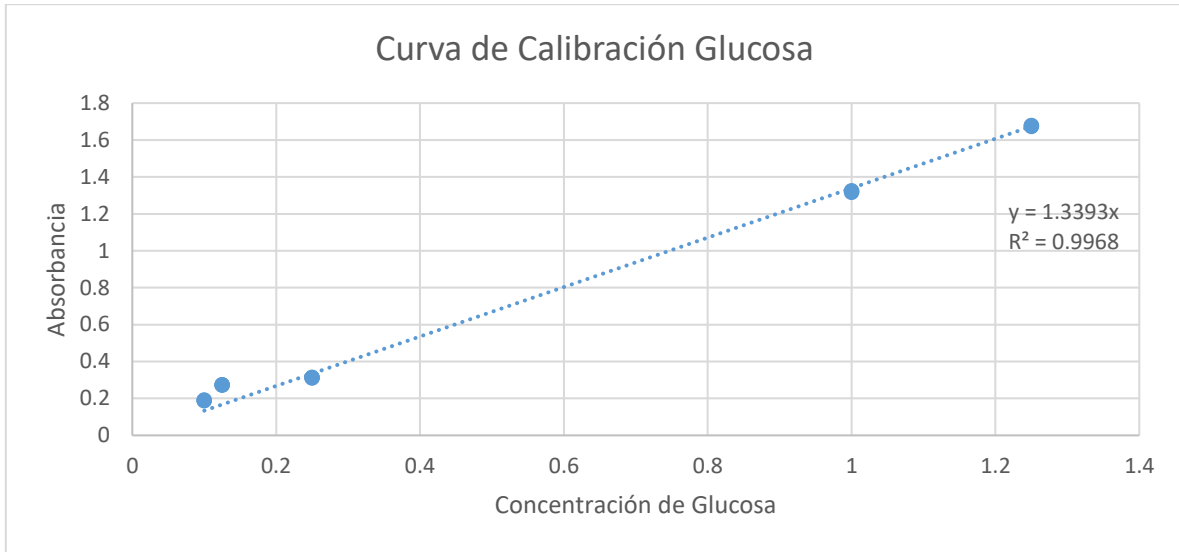
Zurita., S. B. (2018). *OBTENCIÓN DEL BIOTANOL APARTIR DEL BANANO  
VARIEDAD ORITO (MUSA ACUMINATA AA) EN DOS ESTADOS DE  
MADUREZ*. Guaranda - Ecuador.

Zurita., S. B. (s.f.). *OBTENCIÓN DE BIOTANOL APARTIR DEL BANANO  
VARIEDAD ORITO 8*.

**Anexo 1.**

Curva de calibración para la determinación de azúcares reductores

Curva de calibración	
Concentración en % de azúcar	Lecturas
X	Y
1.25	1.674
1.25	1.678
1.25	1.679
1	1.318
1	1.322
1	1.326
0.25	0.311
0.25	0.313
0.25	0.315
0.125	0.274
0.125	0.274
0.125	0.275
0.1	0.189
0.1	0.191
0.1	0.192



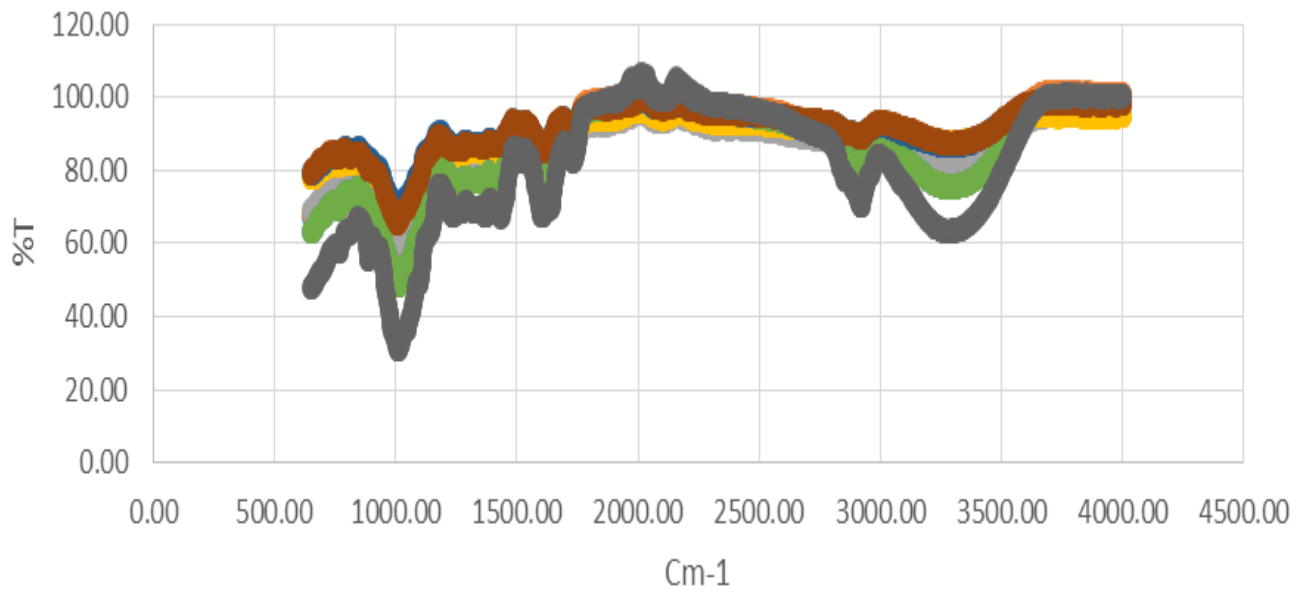
**Anexo 2.**

**Análisis de color de la cáscara fresca vs la cáscara seca**

Muestra	Cáscara Fresca		Cáscara Seca		Croma "C = Saturación" $C = (a^2 + b^2)^{1/2}$	Ángulo Hue "h = Tono" $h = \text{atan}(b/a)$
	L =		L =			
1.1	L =	64.11	L =	40.86	31.76	51.69
	a =	11.78	a =	19.69		
	b =	39.71	b =	24.92		
1.2	L =	61.26	L =	30.85	33.10	36.03
	a =	23.76	a =	26.77		
	b =	38.08	b =	19.47		
1.3	L =	58.26	L =	46.28	27.95	68.51
	a =	17.28	a =	10.24		
	b =	34.42	b =	26.01		
2.1	L =	56.25	L =	49.31	27.45	68.75
	a =	6.83	a =	9.95		
	b =	32.94	b =	25.58		
2.2	L =	65.37	L =	33.25	23.77	54.19
	a =	7.57	a =	13.91		
	b =	40.28	b =	19.28		
2.3	L =	61.29	L =	40.3	29.36	54.64
	a =	17.56	a =	16.99		
	b =	37.48	b =	23.94		
3.1	L =	64.18	L =	47.84	29.66	61.72
	a =	15.63	a =	14.05		
	b =	32.63	b =	26.12		
3.2	L =	55.7	L =	32.29	27.93	39.57
	a =	13.11	a =	21.53		
	b =	32.4	b =	17.79		
3.3	L =	57.44	L =	37.28	23.66	53.84
	a =	6.67	a =	13.96		
	b =	33.35	b =	19.1		

### Anexo 3.

Espectro de infrarrojo de muestras de cáscaras de naranja



Se observa el mismo perfil con diferencia en los porcentajes de transmitancia debido a las diferencias de humedad