

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**  
**DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**



**Utilización de cascara de Melon (*Cucumis melo*) y residuo de Café (*Coffea arabica*) para producción de bioetanol aplicando pretratamiento biológico con hongos**

Por:

**Yubilen García Ramírez**

**TESIS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título del:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

Torreón, Coahuila, México  
Noviembre 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

Utilización de cascara de Melon (*Cucumis melo*) y residuo de Café (*Coffea arabica*) para producción de bioetanol aplicando pretratamiento biológico con hongos

Por:

Yubilen García Ramírez

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

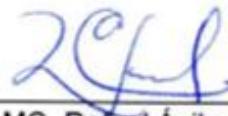
Aprobado por:

  
Dr. Miguel Medrano Santillana  
Presidente

  
Dr. Isaias López Hernández  
Vocal

  
Dra. Natalia Belén Ortega Morales  
Vocal

  
Dr. Aldo Iván Ortega Morales  
Vocal Suplente

  
MC. Rafael Ávila Cisneros  
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México  
Noviembre 2025



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA**

**Utilización de cascara de Melón (*Cucumis melo*) y residuo de Café (*Coffea arabica*) para producción de bioetanol aplicando pretratamiento biológico con hongos**

**Por:**

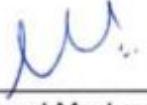
**Yubilen García Ramírez**

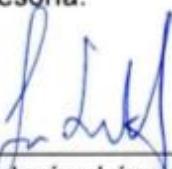
**TESIS**

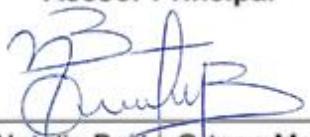
Presentado como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

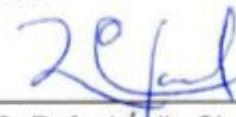
Aprobado por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Miguel Medrano Santillana  
**Asesor Principal**

  
Dr. Isaias López Hernández  
**Coasesor**

  
Dra. Natalia Belén Ortega Morales  
**Coasesor**

  
Dr. Aldo Iván Ortega Morales  
**Coasesor**

  
MC. Rafael Ávila Cisneros  
**Coordinador de la División de Carreras Agronómicas**

Torreón, Coahuila, México  
Noviembre 2025



## **AGRADECIMIENTOS**

**Al Dr. Miguel Medrano Santillana**, por ser director de la presente tesis agradezco por ayudarme a dar el máximo académicamente, por ser un maestro que siempre me ha motivado e inspirado, y por su exigencia que siempre saco lo mejor de mí.

**Al Dr. Isaías López Hernández, Dra. Natalia Ortega Morales** quienes fueron parte de mi formación académica y quienes me brindaron conocimientos importantes para mi carrera.

**Al Dr. José Luis Reyes Carillo**, por ser un maestro que me guio y apoyo académicamente, gracias sus consejos de vida, su amistad, sobre todo por sus palabras de aliento en momentos difíciles, y por ser una inspiración de bondad y dedicación

**Al MVZ Cesar Octavio Cruz Mármorejo** quien me apoyo con el espacio en el laboratorio en donde pude realizar mi metodología y lograr con éxito concluir mi investigación.

**Al MVZ Karla Verónica Hernández Ruiz** quien me apoyo con los experimentos realizados en mi investigación.

**A mi alma mater**, por brindarme su conocimiento a lo largo de mi carrera profesional otorgándome una segunda casa durante mi tiempo es la institución, educación de calidad y experiencias que me formaron como profesionista.

## DEDICATORIA

**A mis padres** principalmente mi madre que siempre estuvo para mi apoyándome y motivándome desde pequeña a esforzarme para ser una profesionista y por brindarme la oportunidad de formarme académicamente de manera profesional.

**A mi pareja** Héctor que ha estado apoyándome y motivándome todos los días.

**A mi abuela** hasta el cielo que ha sido la inspiración desde el primer día y que me ha dado las fuerzas para mantenerme de pie.

**A Norely** quien me apoyo en la realización de mi trabajo experimental

**A mis amigos** Verónica, Lizeth, Carlos, Janeth, María, Paola, Itxzel, Paula, Karen, Primitivo, que estuvieron en toda la carrera y otros que encontré en el camino que me han motivado e inspirado, compartiendo experiencias que me han enseñado a ser una mejor persona profesionalmente.

## RESUMEN

La producción de biocombustibles representan una gran oportunidad para mitigar el impacto que generan los combustibles fósiles, en este caso el bioetanol de primera generación es un biocombustible producido en grandes cantidades pero su producción deriva de cultivos que contiene grandes cantidades de azúcar y almidón, las principales materias primas que se utilizan para su producción son el maíz, caña de azúcar o trigo, lo que representa desventajas ante la seguridad alimentaria ya que grandes producciones de cultivo son destinadas para su elaboración. El objetivo del presente trabajo es utilizar residuos agroindustriales para producir bioetanol de segunda generación, en este caso se utilizó cascara de melón y residuos de café y se aplicaron 2 especies de hongos *Aspergillus oryzae* y *Rhizopus stolonifer*, para determinar si este pretratamiento puede mejorar la eficiencia en la producción de bioetanol. El experimento se realizó en el laboratorio de diagnóstico veterinario. Se prepararon frascos de vidrio con muestras de café y de melón a las cuales se les aplico por separado los hongos y se evaluó durante 21 días el crecimiento que tiene cada uno en los sustratos, posteriormente se agregó la levadura para fermentar el medio, se incubó durante 9 días y posteriormente se procedió a destilar el fermentado para obtener y analizar el líquido resultante. En los resultados obtenidos se observó que los dos hongos tuvieron un mejor desarrollo en cascara de melón y en los líquidos obtenidos no se obtuvieron muestras de alcohol con ninguno de los dos sustratos.

**Palabras clave:** Biocombustibles, Bioetanol, Biomasa, Pretratamiento, Hongos

## ABSTRACT

The production of biofuels represents a great opportunity to mitigate the impact of fossil fuels. In this case, first-generation bioethanol is a biofuel produced in large quantities, but its production derives from crops that contain large amounts of sugar and starch. The main raw materials used for its production are corn, sugarcane, or wheat, which poses disadvantages for food security since large crop productions are destined for its production. The objective of this study is to use agro-industrial waste to produce second-generation bioethanol. In this case, melon rinds and coffee waste were used, and two species of fungi, *Aspergillus oryzae* and *Rhizopus stolonifer*, were applied to determine whether this pretreatment can improve the efficiency of bioethanol production. The experiment was conducted in the veterinary diagnostic laboratory. Glass jars were prepared with samples of coffee and melon, to which the fungi were applied separately, and the growth of each on the substrates was evaluated for 21 days. Yeast was then added to ferment the medium, which was incubated for 9 days, after which the fermented mixture was distilled to obtain and analyze the resulting liquid. The results showed that both fungi developed better in melon rinds, and no alcohol samples were obtained from either substrate in the liquids obtained.

**Keywords:** Biofuels, Bioethanol, Biomass, Pretreatment, Fungi

## INDICE

AGRADECIMIENTOS .....	i
DEDICATORIA .....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
INDICE DE FIGURAS .....	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. General: .....	3
2.2. Específicos:.....	3
• Evaluar el crecimiento de dos hongos en el sustrato sin pretratar. ....	3
• Evaluar la cantidad de bioetanol y el rendimiento de cada hongo como pretratamiento.....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
3.1. Biocombustibles .....	4
3.2. Bioetanol.....	4
3.3. Clasificación de bioetanol .....	5
3.3.1. Primera generación .....	5
3.3.2. Segunda generación:.....	6
3.3.3. Tercera generación .....	6
3.3.4. Cuarta generación:.....	6
3.4. Biomasa .....	7
3.5. Celulosa .....	8
3.6. Hemicelulosa.....	9
3.7. Lignina .....	9
3.8. Melón .....	9
3.9. Café.....	12
3.10. Borra .....	12
3.11. Métodos de pretratamiento.....	12
3.12. Pretratamiento .....	13
3.12.1. Químicos.....	14
3.13. Físicos .....	15
3.13.2. Pretratamientos físico-químicos.....	16
3.13.3. Biológicos.....	18
3.14. <i>Aspergillus oryzae</i> .....	21
3.15. <i>Rhizopus stolonifer</i> .....	21

3.16. Hidrolisis .....	21
3.17. Fermentación.....	22
3.17.1. Fermentación alcohólica.....	23
3.18. Levaduras.....	23
3.18.1. Fermentación de etanol por <i>S. cerevisiae</i> .....	24
3.19. Destilación .....	24
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
4.1. Realización de trampas de arroz para obtención de hongos.....	25
4.2. Inoculación de hongos.....	26
4.3. Identificación de hongos .....	26
4.4. Preparación de sustrato.....	27
4.5. Fermentación .....	27
4.6. Destilación .....	28
4.7. Diagramas.....	29
4.7.1. Realización de trampas de arroz para obtención de hongos .....	29
4.7.2. Inoculación de hongos e identificación preparación de sustratos.....	30
4.7.3. Adecuación del sustrato e inoculación de los hongos .....	31
4.7.4. Fermentación, destilación y análisis de resultados.....	32
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	33
5.1. Realización de trampas de arroz .....	33
5.2. Inoculación de hongos e identificación.....	34
5.3. Preparación de los sustratos e inoculación del hongo .....	37
5.4. Hidrolisis de los sustratos.....	39
5.5. Fermentación .....	43
5.6. Destilación .....	43
5.7. Análisis de resultados obtenidos .....	44
6. CONCLUSIÓN.....	47
7. LITERATURA CITADA .....	48

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Características por la cual es desecharo por productores .....	10
Figura 2 Características por la cual es desecharo por intermediarios .....	11
Figura 3 Grano de café .....	12
Figura 4 Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro .....	25
Figura 5 Material para trampas de arroz.....	33
Figura 6 Trampas de arroz realizadas.....	33
Figura 7 Trampa de arroz colocada bajo el suelo. ....	33
Figura 8 Pesaje de PDA y medición de agua destilada.....	34
Figura 9 Preparación de medio de cultivo. ....	34
Figura 10 . Preparación de autoclave.....	34
Figura 11 Medio de cultivo y cajas Petri esterilizadas.....	34
Figura 12 Vaciado de medio de cultivo en cajas Petri.....	35
Figura 13 Prueba de esterilidad. ....	35
Figura 14 Crecimiento de hongos inoculados.....	35
Figura 15 Crecimiento de hongos inoculados. ....	35
Figura 16 Tinción de hongos, con azul de metileno.....	36
Figura 17 Tinción de hongos, con azul de metileno.....	36
Figura 18 . Identificación de <i>Aspergillus oryzae</i> .....	36
Figura 19 <i>Aspergillus oryzae</i> visto en microscopio lente 40x.....	36
Figura 20 Identificación de <i>Rhizopus stolonife</i> .....	37
Figura 21 <i>Rhizopus stolonifer</i> en microscopio lente 40x.....	37
Figura 22 Material utilizado para preparación de sustrato.....	37
Figura 23 Corte y limpieza de cascara de melón. ....	37
Figura 24 Colocación de sustratos en los frascos .....	38
Figura 25 Inoculación de hongos en sustrato.....	38
Figura 26 Dia 4 crecimiento de <i>Rhizopus</i> en melón. ....	39
Figura 27 Dia 4 crecimiento de <i>Rhizopus</i> en café.....	39
Figura 28 Dia 8 de crecimiento <i>Rhizopus</i> en melón.....	39
Figura 29 Dia 8 de crecimiento de <i>Rhizopus</i> en café.....	39
Figura 30 <i>Rhizopus</i> en melón crecimiento lento.....	40
Figura 31 <i>Rhizopus</i> en café tuvo un crecimiento rápido. ....	40
Figura 32 <i>Rhizopus</i> presento mejor crecimiento en café. ....	40
Figura 33 <i>Aspergillus</i> presento rápido crecimiento.....	41
Figura 34 <i>Aspergillus</i> colonizo gran cantidad de melón.....	41
Figura 35 <i>Aspergillus</i> creció de manera moderada.....	41
Figura 36 Se presento alto crecimiento de <i>Rhizopus</i> .....	41
Figura 37 <i>Aspergillus</i> colonizo por completo el melón.....	42
Figura 38 <i>Aspergillus</i> crecimiento controlado en café.....	42
Figura 39 <i>Rhizopus</i> tomo un color oscuro y dejo de crecer.....	42
Figura 40 <i>Aspergillus</i> mostro bajo crecimiento.....	42
Figura 41 Frascos de la primera prueba <i>Rhizopus</i> .....	43
Figura 42 Matraces de segunda prueba <i>Aspergillus</i> .....	43
Figura 43 Se monto el material para destilar.....	44
Figura 44 Liquido filtrado calentándose sobre placa eléctrica .....	44
Figura 45 Equipo utilizado para el análisis de líquidos obtenidos.....	44
Figura 46 Refractómetro .....	44
Figura 47 Resultado de muestra, no se observa actividad de alcohol. ....	45

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población ha ido aumentando con rapidez en las últimas décadas, a consecuencia de esto la demanda de energía ha aumentado constantemente debido a la dependencia de combustibles fósiles y al aumento de la prosperidad industrial)(Rahamim *et al.*, 2022). Debido al incremento de usos de combustibles los niveles de contaminación han aumentado drásticamente esto nos lleva a la búsqueda de soluciones más amigables con el ambiente optando por elegir alternativas más ecológicas (Helal *et al.*, 2022). El consumo excesivo de fuentes de energías fósiles hace que incremente su precio debido a la alta demanda y dependencia, causando un aumento en la contaminación. Según el Consejo Mundial de Energía las fuentes no renovables abastecen con casi 82% de la demanda energética y genera una quinta parte de emisiones de CO<sub>2</sub> se deben al 60% de las emisiones (Gupta y Verma, 2015). Alrededor de 7 mil millones de toneladas representan las áreas designadas para agricultura, pastizales y bosques. debido a los malos tratamientos la mayoría de los residuos lignocelulósicos son desperdiciados y representan 1,2 mil millones de toneladas, esto representa un desperdicio de recursos renovables ya que la mayoría se quema o se dispone de manera incorrecta lo que genera una grave contaminación (Chen *et al.*, 2023). El etanol en general y el bioetanol se consideran compuestos químicos con gran potencial para sustituir a los combustibles fósiles utilizados en los vehículos (Salehi *et al.*, 2018). El bioetanol es un combustible líquido alcohólico que se obtiene mediante un proceso de fermentación de azúcares, cumpliendo una función en el ámbito de la conservación del medio ambiente (Bello *et al.*, 2022). En general, los biocombustibles líquidos de segunda generación (etanol, biodiésel y alcanos líquidos) se consideran importantes combustibles renovables capaces de sustituir, al menos en parte, a los derivados del petróleo (Sharma *et al.*, 2020). La biomasa es el recurso más abundante en el planeta al igual que se considera un recurso fundamental para la producción de biocarburantes, esto representa una buena fuente alternativa al petróleo lo que ayuda a generar bajos índices de contaminación ambiental. (Figueroa-Rosales *et al.*, 2020). La utilización de sustratos para la

producción de bioetanol, actualmente presenta un reto para la seguridad alimentaria generando una competencia de recursos debido a que los principales sustratos utilizados para la elaboración de bioetanol son maíz ,remolacha azucarera y caña de azúcar teniendo una dependencia por cultivos alimenticios(Periyasamy *et al.*, 2023). Un gran reto para la bioeconomía es buscar alternativas para el aprovechamiento de los residuos agroalimentarios, la conversión de biomasa lignocelulósica representa una gran oportunidad debido a que representa una gran fuente de azúcares fermentables que son utilizados para la elaboración de biocombustibles u otros bioproductos (Sperandio *et al.*, 2021). La producción de bioetanol se produce mediante la ruta de conversión bioquímica la cual comprende tres etapas: pretratamiento físico-químico, hidrolisis enzimática o hidrolisis acida y fermentación, después de todo este proceso se procede a la destilación para poder obtener el producto final (bioetanol)(Taherzadeh-Ghahfarokhi *et al.*, 2019). Debido a que la hidrolisis es la etapa en donde son liberados los azúcares y mediante la fermentación las levaduras proceden a fermentar esos azúcares produciendo el bioetanol (Mueansichai *et al.*, 2022) La biomasa lignocelulósica debido a su composición necesita una degradación que puede ser realizada por bacterias u hongos los cuales utilizan la biomasa como una fuente de carbono energía y nutrientes que utilizan para su crecimiento y de esta manera ayudan con la disponibilidad de azúcares fermentables (Rolim *et al.*, 2018). Normalmente, las partes no comestibles del melón cáscara y las semillas se desechan por completo durante procesamiento y el consumo habitual, constituyendo entre 8 y 20 millones de toneladas al año en todo el mundo (Rolim *et al.*, 2018). La producción de café es uno de los cultivos en los que aproximadamente se obtiene entre un 30% y 50% de residuos, esto genera una fuerte contaminación debido a que la gran mayoría de residuos no se le da un tratamiento adecuado para su disposición. Los residuos contienen cafeína, alcaloides, taninos y polifenoles, que son una fuente de contaminación principalmente para los recursos hídricos.

## 1. OBJETIVOS

2.1. General:

- Producción de bioetanol de residuos agroindustriales

2.2. Específicos:

- Evaluar el crecimiento de dos hongos en el sustrato sin pretratar.
- Evaluar la cantidad de bioetanol y el rendimiento de cada hongo como pretratamiento.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Biocombustibles

Debido al crecimiento poblacional ha surgido una necesidad por aumentar la producción de cultivos para lograr satisfacer esta demanda alimenticia. La Revolución Verde a mediados del siglo XX fue la respuesta a esta problemática creando un impacto importante en la productividad agrícola y seguridad alimentaria. Se basó en la introducción de variedades de cultivos de alto rendimiento, prácticas agrícolas modernas y el uso de fertilizantes y pesticidas químicos. Este gran avance también trajo desventajas, como logro incremento en la producción de alimentos también aumento los residuos agrícolas. La mala gestión de estos residuos tienen diferentes motivos que van desde la falta de conocimiento de técnicas de gestión de residuos hasta falta de herramientas como maquinaria, mano de obra y sobre todo que esto también representa un gasto extra (Singh *et al.*, 2024). La bioeconomía utiliza recursos biológicos renovables que comúnmente se desperdician y los utiliza para producir productos comerciales e industriales sin causar daño al medio ambiente y dándole una segunda oportunidad a residuos. La bioeconomía es una solución que nos ayuda disminuir la dependencia de combustibles fósiles y así mismo a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero el origen de la bioeconomía fue a principios de 1993, y es iniciada por la comisión europea (CE). La Comisión Europea destacó la importancia de las inversiones basadas en el conocimiento utilizando recursos y técnicas biológicas. Se ocupa de muchos aspectos, como la producción de alimentos, la bioenergía, el calor, los biocombustibles y la electricidad generada a partir de materiales de recursos biológicos. tiene una estrecha interrelación con la sostenibilidad ambiental. los productos de base biológica son renovables ya que se generan a partir de fuentes biológicas y tienen menos impacto en el medio ambiente. (Swetha *et al.*, 2022)

### 2.2. Bioetanol

Las Naciones Unidas estiman que la población mundial aumentará de manera

constante y podría llegar a 8.500 millones de personas en 2030 y 9.700 millones en 2050 (Yadav *et al.*, 2023).

La biomasa residual es un recurso abundante rico en carbohidratos el cual no es aprovechado y que puede hidrolizarse en azúcares para después ser fermentables en etanol (Hafyan *et al.*, 2024)

Los biocombustibles se clasifican según la materia prima que se utiliza y se clasifican en cuatro generaciones (Afedzi y Parakulsuksatid, 2023).

El etanol combustible es el biocombustible líquido de mayor volumen hasta el momento y se produce predominantemente a partir de materias primas a base de azúcar y almidón (etanol combustible 1G) para mezclar con gasolina. Estados Unidos y Brasil son los mayores productores de etanol combustible del mundo. Mientras que Estados Unidos produce etanol combustible principalmente a partir de maíz con una capacidad de producción total de ~57,7 mil millones de litros en 2016, Brasil produce etanol combustible a partir de jugo de caña de azúcar o melaza, con una capacidad de producción total de ~27,6 mil millones de litros en el mismo año (Liu *et al.*, 2019). En la producción e bioetanol lignocelulósico son importantes todas las partes del procesos pero la sacarificación es de suma importancia porque mediante este proceso se obtienen los azúcares que después serán utilizados por las levaduras para la fermentación (Singh *et al.*, 2024)

## **2.3. Clasificación de bioetanol**

### **2.3.1. Primera generación**

Los biocombustibles de primera generación (1G) representan una competencia con la seguridad alimentaria debido a que la elaboración de estos biocombustibles se derivan de cultivos alimentarios (sacarosa, materiales amiláceos e incluso aceite vegetal y grasa animal)(Afedzi y Parakulsuksatid, 2023).

Los combustibles de 1G presentan como principal objetivo cubrir la demanda de combustibles para el transporte buscando la manera de disminuir la dependencia de combustibles derivados del petróleo lo cual genera un debate acerca de su producción ya que no es sostenible su producción debido a que su elaboración genera una competencia con la seguridad alimentaria como un crecimiento en la

deforestación esto porque la materia prima que se utiliza son principalmente cereales como el maíz que son de uso alimenticio, los cuales necesitan una gran superficie de suelo para su producción (Liu *et al.*, 2019).

### **2.3.2. Segunda generación:**

El bioetanol de segunda generación es un combustible renovable y sostenible con potencial para reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en todo el mundo (Priadi *et al.*, 2024).

A diferencia de los biocombustibles de primera generación los biocombustibles de (2G) son más sostenibles estos son fabricados con residuos que la industria agrícola desecha, de materiales forestales, desechos industriales y municipales de esta manera no se compite con el ámbito alimenticio (Afedzi y Parakulsuksatid, 2023).

La diferencia que podemos encontrar en la estructura de la biomasa lignocelulósica hacen que el proceso de producción de combustibles de 2G sea diferente al proceso de producción que se le da a combustibles de 1G ya que los biocombustibles que se derivan de biomasa lignocelulósica requieren pretratamientos (Liu *et al.*, 2019). En la biorrefinería de etanol 2G, el bioetanol se produce principalmente mediante fermentación microbiana de azúcares a partir del uso de cepas de *Saccharomyces cerevisiae* modificadas genéticamente(Raj *et al.*, 2022).

### **2.3.3. Tercera generación**

Este tipo de biocombustibles hace uso de microorganismos que son capaces de utilizar la luz como fuente de energía y poder desarrollarse. Las algas presentan ventajas como la eficiencia en la asimilación de CO<sub>2</sub> atmosférico de mejor manera que las plantas terrestres.

En la producción de microalgas y macroalgas se necesita una alta cantidad de agua para su producción, como alternativa se puede aplicar el reusó de agua para su aprovechamiento (Afedzi y Parakulsuksatid, 2023).

### **2.3.4. Cuarta generación:**

El biocombustible de cuarta generación (4G) utiliza algas y cianobacterias

genéticamente modificadas para mejorar la producción de biocombustibles hasta llegar a cero emisiones de carbono; esto aporta soluciones que permiten enfrentarse a las limitaciones que se encuentran en los combustibles de tercera generación, mejoran el rendimiento de las algas, sin embargo, esta categoría se encuentra en su etapa inicial y bajo intensa investigación, lo que podría convertirse en un gran avance en la producción de biocombustibles (Afedzi y Parakulsuksatid, 2023).

## 2.4. Biomasa

La biomasa se produce por medio de la fotosíntesis, esto permite que se creen moléculas de peso molecular con alto contenido de energía química. La energía solar permite que la materia inorgánica se convierta en materia orgánica. En este proceso la energía luminosa se transforma en energía química estable, siendo el adenosintrifosfato (ATP) la primera molécula en la que queda almacenada esa energía química. Con posterioridad, el ATP se usa para sintetizar moléculas orgánicas de mayor tamaño y estabilidad (Romanelli *et al.*, 2016).

La biomasa es un material biológico que incorpora diversas moléculas a base de carbono que contienen carbono (C), hidrógeno (H) oxígeno (O) y nitrógeno (N), junto con trazas minerales y otros elementos(Thapa *et al.*, 2020).

La lignocelulosa comprende una estructura profundamente interconectada se compone de celulosa, hemicelulosa, y lignina. La celulosa se encuentra en hebras que se agrupan para formar microfibrillas estas se encuentran rodeadas de hemicelulosa y lignina, se encuentran unidos por enlaces de hidrogeno. Por otro lado la hemicelulosa y la lignina se unen por enlaces covalentes (enlaces éter y éster) (Brienza *et al.*, 2024).

La biomasa debido a su estructura compleja presenta un impedimento para que los microorganismos puedan actuar sobre ella y ayudar a su degradación esto representa un impedimento para su uso y aprovechamiento económico (Thapa *et al.*, 2020)

La producción de biocombustibles de biomasa lignocelulósica presenta una limitante en el aprovechamiento eficiente lo que reduce el aprovechamiento de

residuos de alto valor, la compleja composición de la estructura de las plantas impide la separación de los compuestos que la conforman la hemicelulosa y lignina actúa como aglutinante de la celulosa y mejora la resistencia mecánica de la pared celular de la planta. Esto impide una fácil separación haciendo necesario buscar alternativas para poder aprovechar de manera eficiente y poder obtener biocombustibles y productos de alto valor (Li *et al.*, 2024)

Cabe destacar que la biomasa lignocelulósica destaca como la forma de biomasa más abundante en la Tierra (producción mundial anual de aproximadamente 181.500 millones de toneladas) (Shin *et al.*, 2024). La biomasa se divide en biomasa de origen alimentario y biomasa lignocelulósica estas se encuentran de manera abundante en el planeta y son un recurso renovable (Li *et al.*, 2024).

Debido a las ventajas que presenta la biomasa lignocelulósica para la bioeconomía es necesario buscar soluciones para poder aprovecharla adecuadamente debido a que su estructura presenta un impedimento para que se pueda degradar o tratar de manera fácil y económica generando un gasto extra (Hassan *et al.*, 2019).

## 2.5. Celulosa

Es el principal componente de la biomasa vegetal y el mas abundante en el planeta, las plantas están constituidas entre el 35 y 50% de su estructura y puede ser sintetizada por microorganismos. Está conformada por moléculas de D-glucosa unidas por enlaces glucosídicos  $\beta$ -1,4, y son requeridas 8 unidades monoméricas de glucosa para constituir un producto no soluble. Dependiendo de su origen, puede tener aproximadamente entre 8,000 y 15,000 unidades monoméricas por cada cadena. El polisacárido está localizado en la pared celular, donde se le encuentra como módulos sub microscópicos con una apariencia alargada llamadas micelas. Las micelas forman estructuras más grandes, las micro fibrillas, mismas que se empaquetan conformando una estructura cristalina enormemente ordenada, en la cual todos los átomos permanecen fijos en discretos lugares respecto uno del otro; esta forma de ser empaquetado previene el ingreso tanto de enzimas, como de pequeñas moléculas como el H<sub>2</sub>O(Garcés Gamboa, 2021).

## 2.6. Hemicelulosa

La hemicelulosa es polisacárido formado de distintos tipos de monosacáridos cortos lineales y ramificados que difieren ampliamente en términos de composición según la especie de planta, el tipo de tejido, la etapa de crecimiento de la planta y los factores ambientales. Tiene un papel importante en la estructura de las plantas ya que se encarga de mantener unidas las fibrillas de la celulosa actuando como agente aglutinante y manteniendo también unida a la celulosa de la lignina. Gracias a la manera en la que se encuentra la estructura de la hemicelulosa nos permite que la acción de enzimas o disolventes puedan despolimerizarla de manera más eficiente a comparación de la celulosa. Además, los grupos hidroxilo de la hemicelulosa están acetilados hasta cierto punto y, durante la aplicación del pretratamiento al cual se somete la biomasa, el ácido acético formado tras la escisión de los grupos acetilo puede mejorar aún más la descomposición de la hemicelulosa (Brienza *et al.*, 2024).

## 2.7. Lignina

Debido a la complejidad de la estructura de la lignina es difícil que los microorganismos puedan actuar en su descomposición esto se debe a que cuenta con un alto peso molecular e insolubilidad (Chukwuma *et al.*, 2020). La lignina proporciona características importantes en las plantas, brindan soporte estructural a los árboles así como resistencia y permite que las plantas no estén indefensas a ataques de microorganismos o a que enfermedades las afecten, de la misma manera en la que ayudan a que las plantas puedan trasportar el agua y nutrientes (Liu y Cheng, 2024). La lignina proporciona rigidez a las células, lo que les da estructura a las plantas, es el componente no carbohidrato más abundante, estas características proporcionan a las plantas una protección lo que los hace resistentes a el ataque de microorganismos (Brienza *et al.*, 2024). La lignina extraída suele tener una baja solubilidad en agua. Esto plantea varios problemas a los microbios que degradan la lignina (Bugg, 2024).

## 2.8. Melón

Con la llegada de los españoles y debido a las condiciones que se encuentran en la comarca lagunera el melón llegó y pudo adaptarse en esta región del país pero

también ha podido adaptarse a los diferentes climas y de esta manera su producción ha sido favorable (SADER, 2024).

En México se cosechan diferentes variedades de melón y las más comunes son la Cantaloupe o chino y Honey dew, el melón es una fruta popular y debido a las características con las que cuenta la convierten en una fruta ideal para calmar la sed entre las características del fruto podemos encontrar que cuenta con una pulpa aromática aparte de que es dulce y jugosa ,así mismo las características como lo son el tamaño el color dependen de la variedad ya que pueden ser grandes o pequeños y su corteza también puede variar desde amarillo o verde (SADER, 2021).

Las características por las cuales el propio productor desecha el melón son diversas, pero destacan el tamaño inadecuado del fruto (muy pequeño o grande) (26 %), fruto con rajaduras (21 %), manchas (17 %) y deformidades del fruto (16 %). Los frutos más demandados son los calibres de entre 23 y 36 por lo que frutos muy grandes o pequeños tienen poca demanda. Un melón tamaño 23 se refiere a que caben 23 melones en una reja de madera de 40 kg; es decir, melones de aproximadamente 1.74 kg por pieza, mientras que los melones del tamaño 36 se refieren a 36 melones en una reja de madera de 40 kg; es decir, melones de aproximadamente 1.11 kg cada uno (Espinoza-Arellano *et al.*, 2023).

Característica	(%)
Fruto deforme	16
Manchas en los frutos por contacto con la humedad	17
Fruto con rajaduras	21
Manchas en los frutos por daños de plagas y enfermedades	8
Tamaño inadecuado	26
Exceso de maduración	9
Liso (falta de malla)	3

Figura 1 Características por la cual es desecharo por productores (Campos Reyes, 2018)

El melón desecharo en la huerta termina siendo utilizado como abono orgánico y como alimento para animales domésticos, principalmente cerdos, bovinos y caprinos. Con relación a las características por las cuales el melón es rechazado en los empaques destacan el tamaño inadecuado del fruto (22%), melón con picaduras

y rajaduras (21%) y exceso de maduración (17%). Las causas del rechazo en el empaque son muy similares a las que se dan en la huerta; es decir, son características físicas del fruto. Ni en el empaque ni en la huerta se hacen pruebas, por ejemplo, para evaluar la cantidad de azúcar(grados Brix)(Espinoza-Arellano *et al.*, 2023)

Característica	(%)
Fruto deforme	9
Manchas en los frutos por contacto con la humedad	9
Fruto picado y con rajaduras	21
Manchas en los frutos por daños de plagas y enfermedades	13
Tamaño inadecuado	22
Exceso de maduración	17
Flojos	9
Total	100

Figura 2 Características por la cual es desecharo por intermediarios (Campos Reyes, 2018)

Se busca darle valor económico al producto que es descartado y de esta manera recuperar una parte económica, el problema que se presenta es que los intermediarios adquieren estos melones a precios muy bajos y posteriormente son vendidos en la región como Torreón, Gómez Palacio, Ierdo, Francisco I. Madero, Matamoros y San Pedro. (Espinoza-Arellano *et al.*, 2023)

## 2.9. Café

Los granos de café tienen una estructura que se compone de distintas partes lo que implica que para procesarlo se requiera de un proceso que implica varios pasos, en cada paso se genera gran cantidad de desechos, y la mayoría no reciben un tratamiento adecuado para ser eliminados lo que genera efectos adversos en el medio ambiente y representa una problemática ambiental grave (Chávez Barrera y Saona Torres, 2024)

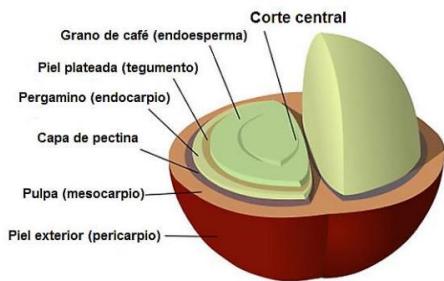


Figura 3 Grano de café (Campos Reyes, 2018).

## 2.10. Borra

El café después de pasar por todo su proceso de producción se somete a diferentes métodos de preparación para obtener la infusión del café ,existen diferentes métodos por ejemplo filtrado por goteo, por infusión, infusión presurizada, filtrado al vacío, y el más empleado en todo el mundo, especialmente en los hogares, el método por cocción o también conocido como el café de olla (Campos Reyes, 2018)

## 2.11. Métodos de pretratamiento

Existen diferentes tipos de pretratamiento que pueden utilizarse para el procesamiento de la biomasa lignocelulosa de acuerdo a la estructura del material se utiliza un tipo de tratamiento que se adapte a sus características lo que hace más efectivo el resultado de tratamiento. La mayoría de los métodos de pretratamiento no conducen a una fracción separada de lignina de alta pureza, sino que la lignina permanece mezclada con otros compuestos derivados de la lignocelulosa, en forma

de suspensión, después del pretratamiento y la hidrólisis enzimática (Ferreira y Taherzadeh, 2020). Sin embargo, el enlace lignina-carbohidrato puede variar en función del método de pretratamiento, lo que afecta a la eficacia de la hidrólisis enzimática. Varios factores afectan a la hidrólisis enzimática, como la cristalinidad, la superficie de la biomasa y el contenido de lignina. En particular, la superficie específica de la biomasa aumenta durante el pretratamiento, mientras que el grado de polimerización disminuye. De este modo, aumenta la accesibilidad de las enzimas a la celulosa, lo que mejora la eficacia de la hidrólisis enzimática (Shin *et al.*, 2024).

## 2.12. Pretratamiento

El objetivo de utilizar algún método de pretratamiento es hacer más fácil la degradación de la biomasa, de esta manera se busca romper o modificar la estructura de la biomasa para facilitar el proceso de hidrolisis y obtener un mejor rendimiento de los azúcares fermentables que se obtienen de este proceso. Los azúcares que se obtienen son utilizados para el proceso de fermentación esto gracias a que la celulosa y hemicelulosa después de ser separadas de la lignina pueden estar disponible para las enzimas las cuales se encargan en convertirlas en moléculas de monómeros libres que son utilizadas por levaduras en el proceso de fermentación. Cabe destacar que el pretratamiento es fundamental e importante para poder lograr un alto rendimiento en el uso de la biomasa y para que la hidrolisis y fermentación sean más exitosas(Jayakumar *et al.*, 2023). La gran mayoría de pretratamientos físicos y químicos que se utilizan generan inhibidores que pueden afectar la hidrolisis y la fermentación así como pueden generar gastos elevados debido a que utilizan mucha energía e instrumentos especiales entre ellos podemos encontrar ácidos, álcalis, microondas, explosión de vapor, radiación ionizante o procesos combinados esto también generan contaminantes y gran cantidad de agua lo que muchas veces no los hacen muy rentables (Sindhu *et al.*, 2016). Se cuenta con una gran variedad de microorganismos que son capaces de degradar celulosa y hemicelulosa pero solo algunos son capaces de despolimerizar lignina (Bugg, 2024).

## 2.12.1. Químicos

El pretratamiento químico como la hidrólisis ácida, el pretratamiento alcalino, la oxidación, la ozonización, el tratamiento con líquidos iónicos y el tratamiento con solventes orgánicos permiten aumentar el área de superficie, tienen alta velocidad de reacción y eliminar la hemicelulosa (Su *et al.*, 2020).

### 2.12.1.1. Hidrólisis alcalina

El objetivo del tratamiento es degradar lignina y partes de hemicelulosa para lograr liberar la celulosa y que se pueda encontrar más disponible para la hidrolisis enzimática, este tratamiento logra que la celulosa se hinche se utilizan generalmente soluciones diluidas de NaOH, KOH, Ca(OH)<sub>2</sub> o amoníaco(Broda *et al.*, 2022).

### 2.12.1.2. Hidrólisis ácida

Contribuye a la eliminación de lignina y disponibilidad de celulosa. Este método consiste en la utilización de compuestos y la aplicación de temperaturas altas o bajas, los compuestos utilizados son los siguientes: ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), ácido clorhídrico (HCl), ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) y ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>). El pretratamiento puede realizarse con ácido diluido (baja concentración y alta temperatura) y con ácido concentrado (alta concentración y baja temperatura)(Orlando y Borja, 2020)

### 2.12.1.3. Organosolv

La principal ventaja que se le otorga a este tratamiento es la eliminación de lignina e que la biomasa quede expuesta para una mejor hidrolisis. Además, se pueden utilizar disolventes orgánicos acuosos (metanol, acetona, etanol y etilenglicol) para eliminar o descomponer parte de la hemicelulosa. También este tipo de disolventes por medio de destilación pueden recuperarse. El pretratamiento con Organosolv se implanta en un catalizador (una sal, un ácido o una base) con temperaturas inferiores a 200 °C; aunque generalmente depende del tipo de biomasa que se está pretratando. Hay muchos catalizadores utilizados en la literatura, incluidos ácido, hidróxido de

sodio y sulfato de magnesio. De todos ellos, el ácido sulfúrico y el hidróxido de sodio han demostrado ser muy eficaces para mejorar la digestibilidad; mientras que el ácido sulfúrico es altamente tóxico e inhibidor en la producción de biogás(Orlando y Borja, 2020).

#### **2.12.1.4. Oxidación húmeda**

La aplicación de este pretratamiento logra separar la biomasa mediante su solubilización y degradación en celulosa, hemicelulosa y lignina. Se utiliza la aplicación de altas temperaturas que van entre 140-200 °C con un tiempo aproximado de 30 min y se aplica oxígeno para lograr que la biomasa sea susceptible a la hidrolisis enzimática. Este proceso logra descomponen en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y en moléculas orgánicas más simples. Ya que la estructura cristalina de la celulosa se abre durante el proceso esto hace que sea el más eficiente entre los tratamientos químicos (Orlando y Borja, 2020).

#### **2.12.1.5. Peróxido alcalino**

Este pretratamiento presenta varias ventajas es de bajo costo y tiene una buena efectividad, en este método, las lignocelulosas se sumergen en agua con ph ajustado (por ejemplo, ph 11-12 con NAOH) que contiene H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a temperatura ambiente dentro de un período de 6 a 24 h. Este pretratamiento ayuda a que la biomasa quede expuesta para la acción enzimática, se le aplica peróxido de hidrógeno que actúa sobre la capa exterior de la biomasa que está formada por lignina, la rompe y la elimina esto mejora el proceso debido a que la lignina es el principal impedimento que afecta la actividad enzimática y que no permite la acción de microorganismos sobre la biomasa (Orlando y Borja, 2020).

### **2.13. Físicos**

Estos tratamientos son realizados aplicando la fuerza física para generar una modificación en la estructura de la biomasa, reducen el tamaño de partícula lo que nos permite que sea más accesible para microorganismos que podrán utilizar la

biomasa como fuente de alimento mejorando el proceso. Estos tipos de tratamiento no generan sustancias inhibidoras lo que lo hace un proceso amigable con el ambiente sin embargo su aplicación puede ser muy costosa y requiere de una alta demanda de energía (Orlando y Borja, 2020).

#### **2.13.1.1. Mecánico**

Este este tipo de tratamiento podemos encontrar dos molienda y extracción(Orlando y Borja, 2020).La molienda es un proceso en donde se reduce la cristalinidad de la celulosa de esta manera se reduce el tamaño de partícula, podemos encontrar como limitación que no podemos eliminar la lignina lo que muchas veces no es adecuado para todo tipo de residuos(Aftab *et al.*, 2019).

La extrusión tiene como objetivo mejorar un mayor acceso para que los microorganismos puedan actuar, mejorando el ablandamiento de la biomasa y aplicando fuerzas de compresión y cizallamiento para poder lograrlo (Muhammad Nasir y Mohd Ghazi, 2015)

#### **2.13.1.2. Térmico**

Los tratamientos térmicos consisten en someter a altas temperaturas los sustratos pueden alcanzar temperaturas entre 150 y 250 C° entre los más utilizados destacan dos cocción y radiación. Para poder alcanzar temperaturas altas es necesario que se realice en recipientes cerrados(Orlando y Borja, 2020).

### **2.13.2. Pretratamientos físico-químicos**

Este tipo de pretratamientos se encargan de combinar procesos físicos y químicos para lograr una reducción de tamaño de partículas de esta manera las enzimas pueden tener una mejor accesibilidad sobre la biomasa así como también se aumenta el volumen de los poros y se puede eliminar la hemicelulosa, entre estos pretratamientos encontramos , una explosión de vapor, una explosión de dióxido de carbono , una explosión de fibra de amoníaco y un proceso de recuperación de

amoníaco (Su *et al.*, 2020).

#### **2.13.2.1. Explosión de vapor**

Este pretratamiento consiste en colocar la biomasa en un reactor con vapor saturado en condiciones de temperaturas y presión de 160-200 °C y 0,69-4,83 MPa, respectivamente. Una vez que el vapor se condensa y penetra en la biomasa pretratada, ésta se despresuriza repentinamente. Los enlaces glicosídicos de hemicelulosa se rompen y se produce su solubilización. De esta forma, la presión se libera gradualmente y el vapor se expande a través del material lignocelulósico de la materia orgánica, rompiendo la pared celular (Orlando y Borja, 2020).

#### **2.13.2.2. Plasma**

Este pretratamiento se encarga de provocar una alteración en la biomasa aplicando ozono ( $O_3$ ) lo que provoca que se formen compuestos radiactivos como HO y  $H_2O_2$ . El tratamiento ayuda a acelerar el proceso de hidrolisis, a causa de que la biomasa sufre una alteración en su estructura y facilita la acción de microorganismos que se encargan de degradar la biomasa y de esta manera poder obtener productos compuestos más simples (como la glucosa). (Orlando y Borja, 2020).

#### **2.13.2.3. Explosión de CO<sub>2</sub>**

La aplicación de CO<sub>2</sub> como pretratamiento de biomasa en el proceso de digestión anaeróbica es un proceso en el que se utiliza CO<sub>2</sub> como disolvente verde para tratar la biomasa antes de la hidrólisis. Su procedimiento consiste en aplicar CO<sub>2</sub> a la biomasa en presencia de agua para acelerar la digestibilidad enzimática. El CO<sub>2</sub> actúa como disolvente en la biomasa pretratada transformándola en glucosa mediante la hidrólisis enzimática de la celulosa de los materiales explotados. Una ventaja de este pretratamiento es que requiere poca temperatura y es fácil separar el disolvente de la biomasa pretratada. Finalmente, no genera productos inflamables o

corrosivos en su aplicabilidad(Orlando y Borja, 2020).

#### **2.13.2.4. Expansión de Fibras de Amoniaco (AFEX)**

este pretratamiento consiste en someter aproximadamente 30 minutos la biomasa lignocelulósica en un reactor en donde se agrega amoniaco y se aplican temperaturas relativamente altas (90-100°C) , durante el proceso se disminuye la presión para lograr la degradación de la hemicelulosa en azúcares oligoméricos ,presenta la ventaja de reutilizar el amoniaco en los siguientes procedimientos y se consigue la desacetilación del material pretratado, durante la aplicación de este pretratamiento se logra hidrolizar la celulosa y hemicelulosa, este método no altera la lignina (Orlando y Borja, 2020).

#### **2.13.3. Biológicos**

Para la aplicación de este tipo de pretratamientos se utilizan microorganismos que utilizan la biomasa para utilizarla como fuente de nutrientes y de esta manera degradarla. Este tipo de pretratamientos es amigable con el medio ambiente debido a que no utilizan químicos lo que hace que no generen residuos tóxicos y no utilizan alta demanda de energía (Sharma *et al.*, 2020). Los métodos biológicos presentan ventajas ante otro tipos de tratamientos estos pueden llevarse a cabo en condiciones ambientales normales lo que hace que sea un proceso más limpio, a su vez también presenta desventajas como el tiempo que se necesita para llevarlo a cabo. Entre los métodos de pretratamiento biológico, el pretratamiento fúngico con hongos de pudrición blanca es el más eficaz para la deslignificación selectiva (degradación de la lignina sobre la celulosa) (Alexandropoulou *et al.*, 2017). Al tratarse de un tratamiento biológico no se generan inhibidores durante el proceso, pero debido a que se trata de la utilización de microrganismos como lo son los hongos o bacterias requieren de un tiempo más prolongado para el proceso, debido a que el crecimiento de microorganismos necesitan de condiciones específicas para su crecimiento esto dependerá de la cepa que se utilizara, esto puede hacer que el proceso sea más eficiente al reducir el tiempo de tratamiento y la pérdida de

carbohidratos (Sindhu *et al.*, 2016).(Periyasamy *et al.*, 2024) clasifica los pretratamientos biológicos de la siguiente manera .

#### **2.13.3.1. Preprocesamiento de consorcio microbiano**

En este tipo de pretratamiento se utiliza para procesar la biomasa esto consiste en hacer uso de bacterias que pueden colaborar o competir por el alimento que pueden obtener de la biomasa. Para la digestión se utilizan habitualmente biomasa lignocelulósica, suelos no ácidos y estiércol de vaca y cabra. La hemicelulosa y la celulosa, que tienen componentes estructurales duros, se desintegran durante este proceso. Hay diferentes factores que se deben tener en cuenta para un óptimo rendimiento los cuales si no son los adecuados pueden afectar el rendimiento del proceso, incluyen el tamaño y la composición de las partículas, el contenido de humedad, la temperatura, el pH, las necesidades nutricionales, la aireación, la composición de los residuos, la actividad enzimática, las especies de microorganismos y las interacciones

#### **2.13.3.2. Preprocesamiento de hongos**

El planeta está repleto de microorganismos que se encuentran de manera natural. En el planeta contamos con una gran variedad de hongos los cuales son indispensables en la degradación de residuos haciendo un papel importante en la agricultura. El descubrimiento de nuevas especies o cepas de hongos ha atraído la atención de los investigadores hacia la producción de la enzima celulasa, ya que es una de las enzimas industriales más importantes (Naher *et al.*, 2021).

Existen diversos microorganismos que son capaces de poder degradar a la lignina que es un componente de la estructura de la biomasa la cual es complicado degradar, esta es capaz de degradarse a través de la producción de peroxidases a estos microorganismos que pertenecen a diversas especies se les conoce como hongos de producción blanca o basidiomicetos. Durante el procesamiento con hongos se requiere de un largo tiempo esto se debe a que los hongos necesitan un tiempo para su incubación, este tiempo dependerá de la especie que se esté utilizando puede ser desde una semana

a un mes, los hongos de producción blanca presentan una alta tasa de crecimiento y una buena eficiencia para degradar lignina durante el procesamiento del sustrato. Estos hongos de producción blanca tienen la capacidad de ser selectivos y durante el proceso seleccionar y degradar lignina principalmente, lo que los hace adecuados para utilizarse en el procesamiento de biomasa que sea rica en lignina, pero durante este proceso se genera una pérdida de celulosa.

Durante el proceso existen varios factores que afectan el procesamiento de estos hongos, humedad, temperatura y tiempo de incubación, de esta manera se ve afectada la degradación de lignina y de la misma manera se afecta el rendimiento de la hidrolisis enzimática. La utilización de hongos presenta ventajas ante otros pretratamientos, es amigable con el medio ambiente, tiene un bajo consumo de energía, no genera desechos tóxicos, esto lo hace un proceso de bajo costo, por esta razón es una gran opción. Sin embargo, la utilización del contenido de carbohidratos esenciales de la biomasa para el crecimiento, el requisito de un largo tiempo de incubación y el requisito de un largo tiempo de hidrólisis son las principales desventajas del método de preprocesamiento de hongos.

#### **2.13.3.3. Preprocesamiento enzimático**

Las enzimas se utilizan en la separación de componentes que se encuentran en la biomasa lignocelulosa, son un factor clave en el procesamiento de biomasa ya que gracias a ellas se pueden degradar componentes poliméricos en azúcares más simples. Para ello se utilizaron principalmente celulasas y hemicelulosas para digerir diversas biomassas lignocelulósicas. Hay enzimas que son más eficientes por esta razón utilizar las enzimas adecuadas aran que el proceso tenga una mejor eficiencia para digerir componentes. Las enzimas se encargan de hacer más eficiente la hidrolisis de celulosa o hemicelulosa esto ayuda a que los azúcares que se logran obtener puedan ser fermentados más fácilmente por microrganismos y o puede ser utilizados para la fabricación de combustibles u otros productos químicos (Michelin *et al.*, 2018).

## **2.14. *Aspergillus oryzae***

Es considerado uno de los géneros más versátiles y cosmopolitas de la naturaleza, el cual agrupa a diversos hongos de vital importancia desde el punto de vista ecológico y económico, así como en la agricultura, la medicina y la industria(Lezcano *et al.*, 2015). *Aspergillus oryzae* es un hongo filamentoso que produce estructuras unicelulares filiformes llamadas hifas. *Aspergillus oryzae* posee un micelio de rápido crecimiento, y las hifas cubren toda la placa de Petri tras solo unos días de incubación. Crecé óptimamente a una temperatura de entre 32 y 36 °C (89-96 °F), con un límite máximo de 44 °C (111 °F). *A. oryzae* prospera en un entorno con un pH de 5-6. Necesita una actividad hídrica mínima de 0,8 para un crecimiento adecuado (5,6) (Mold Busters, 2025).

## **2.15. *Rhizopus stolonifer***

Este hongo es uno de los que más afecta a las frutas en el proceso de Poscosecha genera grandes pérdidas debido a su alta reproducción y a su manera de propagarse puede generar pérdidas de hasta 50% en algunos cultivos. Está compuesto de hifas blancas ramificadas, no septadas con una longitud de 900–2700 µm y un diámetro de 22–32 µm. El esporangio es esférico, inicialmente blanco y luego negro. Hay muchas esporas, la mayoría de las cuales tienen una longitud de 90–120 µm. Hay miles de esporas esféricas de esporangios en los esporangios. Las esporas de los esporangios son de color marrón claro a oscuro, de pared lisa y simple, sin septo(Liu *et al.*, 2024).

## **2.16. Hidrolisis**

La tendencia a procesos más amigables con el medio ambiente hace que crezca el interés hacia la hidrolisis enzimática debido a que los ventajas que presenta genera una disminución de costos que se destinan a la recuperación y tratamiento de aguas residuales resultantes ya que este proceso no genera residuos tóxicos como con los procesos químicos también brinda mejores rendimientos (Garcés Gamboa, 2021). La hidrolisis enzimática es el paso más importante para un alto rendimiento en la producción de bioetanol esto pasa porque durante la hidrolisis se trasforman

carbohidratos complejos en monómeros más simples, los cuales serán utilizados por las levaduras como fuente de energía y ser trasformados en bioetanol (Gupta y Verma, 2015). La hidrólisis, tiene la finalidad de romper químicamente las uniones glicosídicas entre las moléculas de glucosa mediante la acción del agua, catalizándola por medio de las enzimas adecuadas (como la diastasa), para de esta forma obtener una solución rica en azúcares más sencillos y, por ende, resultan más fáciles de ser transformados en el producto (Romanelli *et al.*, 2016).

Después del pretratamiento, la hidrólisis enzimática o química de la celulosa y la hemicelulosa libera d -glucosa, hexosa y pentosa, respectivamente, como carbohidratos simples fermentables. Es de destacar que la hidrólisis de la celulosa es más difícil que la de la hemicelulosa. Estos monómeros de carbohidratos C-6 y C-5 pueden luego fermentarse a etanol mediante bacterias y levaduras que han sido modificadas para fermentar azúcares tanto hexosas como pentosas y adaptadas para tratar los inhibidores que se producen durante el pretratamiento y que inevitablemente se asocian con las hexosas y pentosas. Azúcares (Su *et al.*, 2020).

## 2.17. Fermentación

La fermentación es un proceso el cual hace miles de años surgió con el propósito de ser aplicado para la elaboración de alimentos y bebidas alcohólicas es un proceso natural. Durante este proceso se puede obtener un alcohol o un ácido que es obtenido de la trasformación de carbohidratos como el almidón o el azúcar este proceso es realizado por microorganismos. Por ejemplo, la levadura realiza una fermentación para obtener energía convirtiendo el azúcar en alcohol. Desde un punto de vista bioquímico, la fermentación la llevan a cabo levaduras (y algunas bacterias) cuando el piruvato generado a partir del metabolismo de la glucosa se descompone en etanol y dióxido de carbono (Maicas, 2020).La práctica de fermentación es un proceso biológico por acción de microorganismos que convierte azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa en energía celular, produciendo bioetanol como producto deseado y dióxido de carbono como subproducto (Jayakumar *et al.*, 2023). Entre la gran cantidad de bacterias y levaduras que son

capaces de fermentar estos azúcares, *Saccharomyces cerevisiae* y *Zymomonas mobilis* son las dos especies utilizadas actualmente a escala industrial para la producción de etanol. Los últimos pasos de la producción de bioetanol son la destilación y deshidratación de la solución acuosa de etanol produciendo etanol con una pureza del 99,9% (Su *et al.*, 2020).

### **2.17.1. Fermentación alcohólica**

Este proceso se lleva en ausencia de aire , es un proceso biológico que utiliza microorganismos para procesar hidratos de carbono por ejemplo glucosa, fructosa, sacarosa, o almidón, los cuales son trasformados por levaduras o bacterias para obtener bioetanol como producto principal o dióxido de carbono como producto secundario y moléculas de ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico (Romanelli *et al.*, 2016).

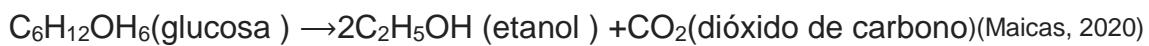
## **2.18. Levaduras**

Las levaduras son microorganismos eucariotas que viven en una amplia variedad de nichos ecológicos, principalmente en el agua, el suelo, el aire y en las superficies de plantas y frutos (Maicas, 2020). Las levaduras no necesitan una nutrición tan exigente como la de otros microorganismos como por ejemplo las bacterias lácticas. Pueden tener un buen crecimiento en la existencia de compuestos básicos como azúcares fermentables, aminoácidos, vitaminas, minerales y también oxígeno. Desde el punto de vista morfológico, las levaduras presentan una alta divergencia morfológica, siendo las más comunes las formas redondas, elipsoidales y ovaladas. De hecho, en los procesos de identificación, la evaluación microscópica es el primer recurso seguido de otras pruebas más discriminatorias como las microbiológicas y bioquímicas (Maicas, 2020).

### **2.18.1. Fermentación de etanol por *S. cerevisiae***

Las levaduras fermentativas pueden utilizar azúcares anaeróbicamente como donadores de electrones, aceptores de electrones y fuentes de carbono. *S. cerevisiae* se considera una levadura etanologénica que puede fermentar fácilmente glucosa, fructosa, manosa, galactosa, sacarosa, maltosa y maltotriosa en etanol y dióxido de carbono (Walker y Stewart, 2016).

La ecuación química esquemática para la producción de etanol a partir de glucosa es la siguiente:



### **2.19. Destilación**

La mezcla que se obtiene tras la fermentación es una combinación de sustancias en su mayoría agua y etanol para esto es necesario aplicar la destilación que consiste en calentar el líquido a una temperatura en la que el etanol pueda comenzar a evaporarse ya que su punto de ebullición es menor al del agua de esta manera poder separar el bioetanol (Marco, 2021).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Las áreas de estudio están circunscrita a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el laboratorio de microbiología, ubicada en Periférico Raúl López Sánchez, Valle Verde, 27054 Torreón, Coahuila, 25°33'19"N 103°22'14"W.

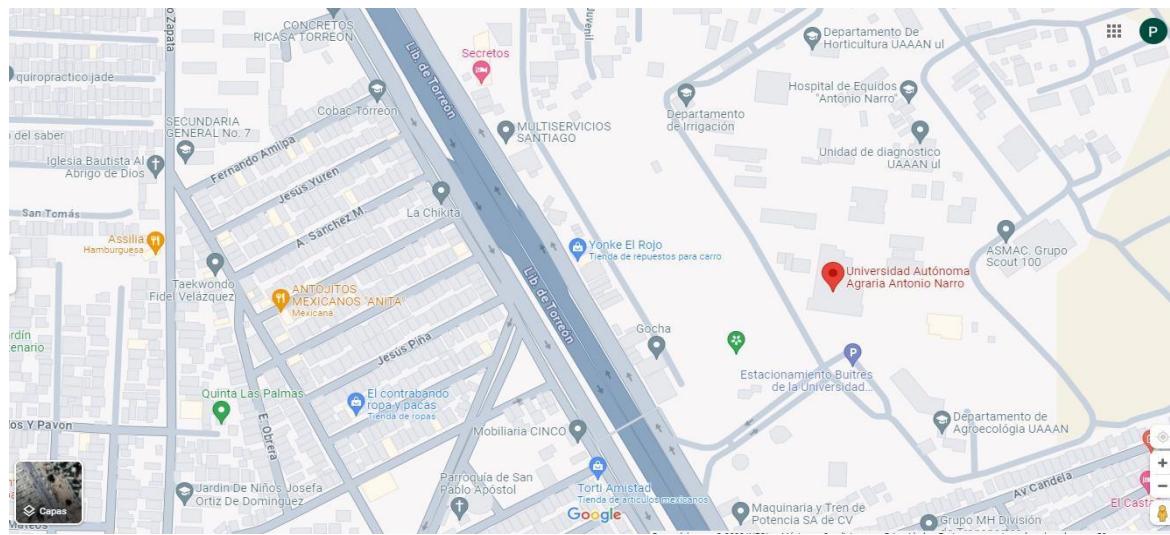


Figura 4 Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

#### 3.1. Realización de trampas de arroz para obtención de hongos

Es un método que se utiliza para el crecimiento de hongos por medio de arroz precocido que consiste en enterrar en el suelo un recipiente que contenga arroz por lo menos a 20 cm de profundidad de preferencia cerca de algún árbol debido a que los árboles cuentan con altas posibilidades de crecimiento de hongos ya que las plantas brindan condiciones que necesitan los hongos para su crecimiento como humedad y nutrientes.

##### Material a utilizar

- ¼ de arroz
- Frascos de vidrio
- Gasas
- Ligas
- Olla para cocer el arroz

### **3.2. Inoculación de hongos**

Introducción de hongos a un ambiente o sustrato que les permite obtener los nutrientes para su crecimiento de esta manera se pueden crecer hongos de forma controlada con ayuda de un asa bacteriológica y un mechero que ayuda en la siembra de los hongos en una caja Petri que contiene los nutrientes necesarios para el hongo que se desea sembrar.

#### **Material a utilizar**

- 9,75 g de PDA
- Mechero
- Incubadora
- 30 cajas petri
- Autoclave
- Asa bacteriológica

### **3.3. Identificación de hongos**

Ya con el crecimiento del hongo en un ambiente controlado se procede a la identificación del hongo con ayuda de soluciones que permiten ver con claridad los hongos bajo el microscopio, el proceso consiste en colocar una parte del hongo con ayuda de un asa bacteriológica en un porta objetos colocando una gota de azul de metileno o Azul de lactofenol que se mezcla y se coloca sobre el un cubre objetos esto procede a ponerse en el microscopio y a observarse en este caso se observó a 40x.

#### **Material a utilizar**

- Porta objetos
- Cubre objetos
- Mechero
- Asa bacteriológica
- Azul metíleno

- Azul de lactofenol
- Microscopio

### **3.4. Preparación de sustrato**

La adecuación del sustrato depende del tipo de sustrato que se piensa utilizar debido a que la biomasa tiene diferente estructura, los sustratos que tienen un alto contenido de lignina son más difíciles de adecuar correctamente para los hongos, en el caso del melón su estructura no es tan rígida y solo se necesitó cortar o moler aunque los hongos de manera natural logran colonizar por completo el fruto debido a que es blando, en el caso del café obtenido de cafeterías ya pasó por una molienda y por altas temperaturas lo que hace que no se necesite hacer ninguna otra adecuación. Los sustratos se pesan y se colocan en los frascos después de ser esterilizados.

#### **Material a utilizar**

- Café
- Melón
- Frascos de vidrio
- Asa bacteriológica
- Mechero
- Cuchillo
- Pesa eléctrica

### **3.5. Fermentación**

En este proceso la levadura se encarga de consumir los azúcares disponibles para transformarlos en este proceso se agrega 2 g de levadura a cada frasco.

#### **Material a utilizar**

- Levadura
- Sustrato ya adecuado
- Vascula

### 3.6. Destilación

El proceso se encarga de separar liquidos, en este caso el liquido que se obtiene despues de la fermentacion es filtrado y posteriormente se calienta a una temperatura de 80 °C durante dos horas en un matraz de condensacion, el liquido que se evapora pasa por el tubo condensador por el cual tambien se bombea agua con ayuda de una bomba a la cual se le coloca hielo para lograr una diferencia de temperatura y de esta manera se condensa el liquido final que se analizara.

#### Material a utilizar

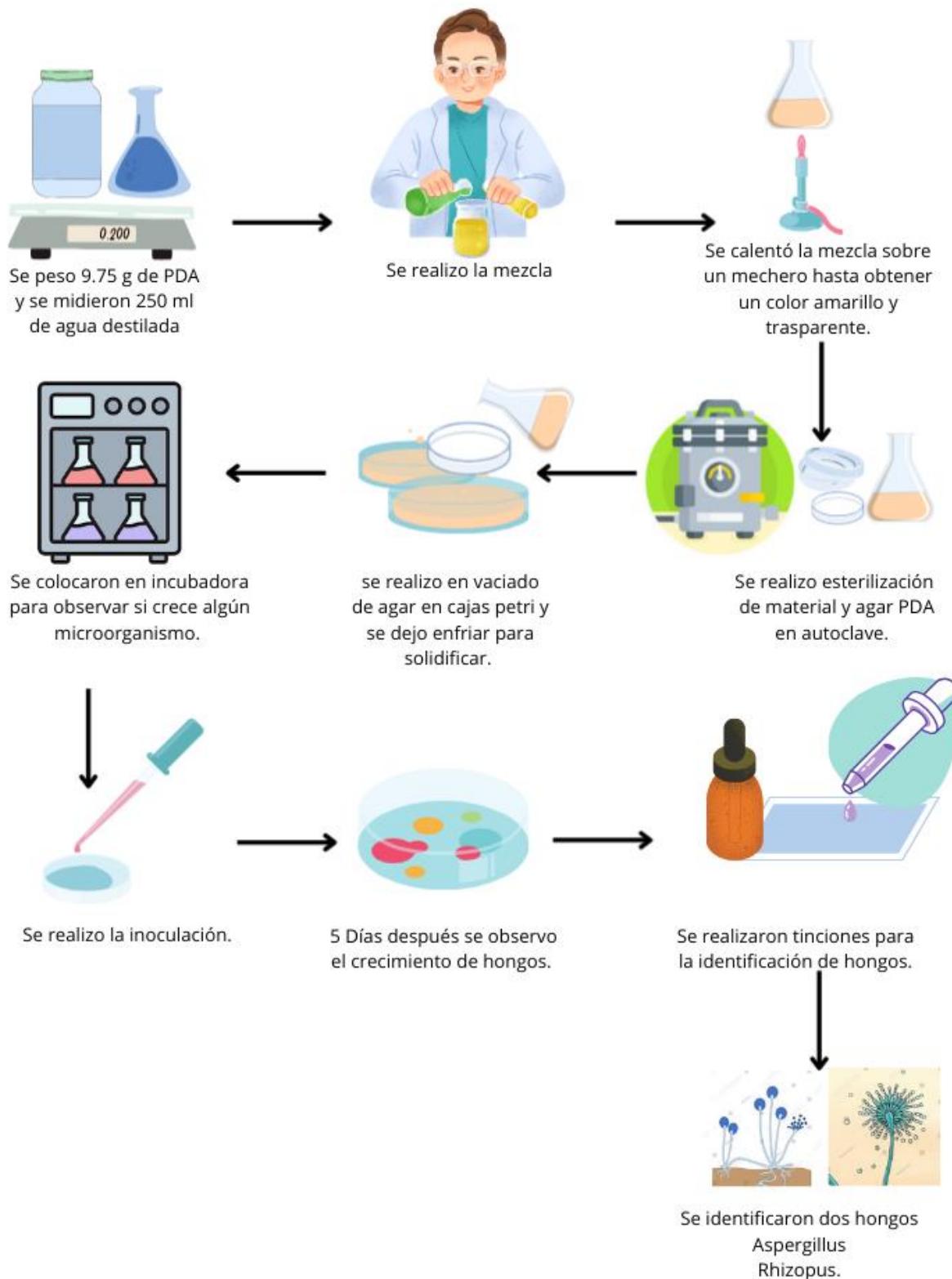
- Termometro
- 2 mangeras de huele
- Bomba de agua
- Matraz de destilación
- Placa calefactora
- Tubo condensador
- Matraz colector
- Pinzas para soporte
- Soporte universal
- Hielo
- Agua

### 3.7. Diagramas

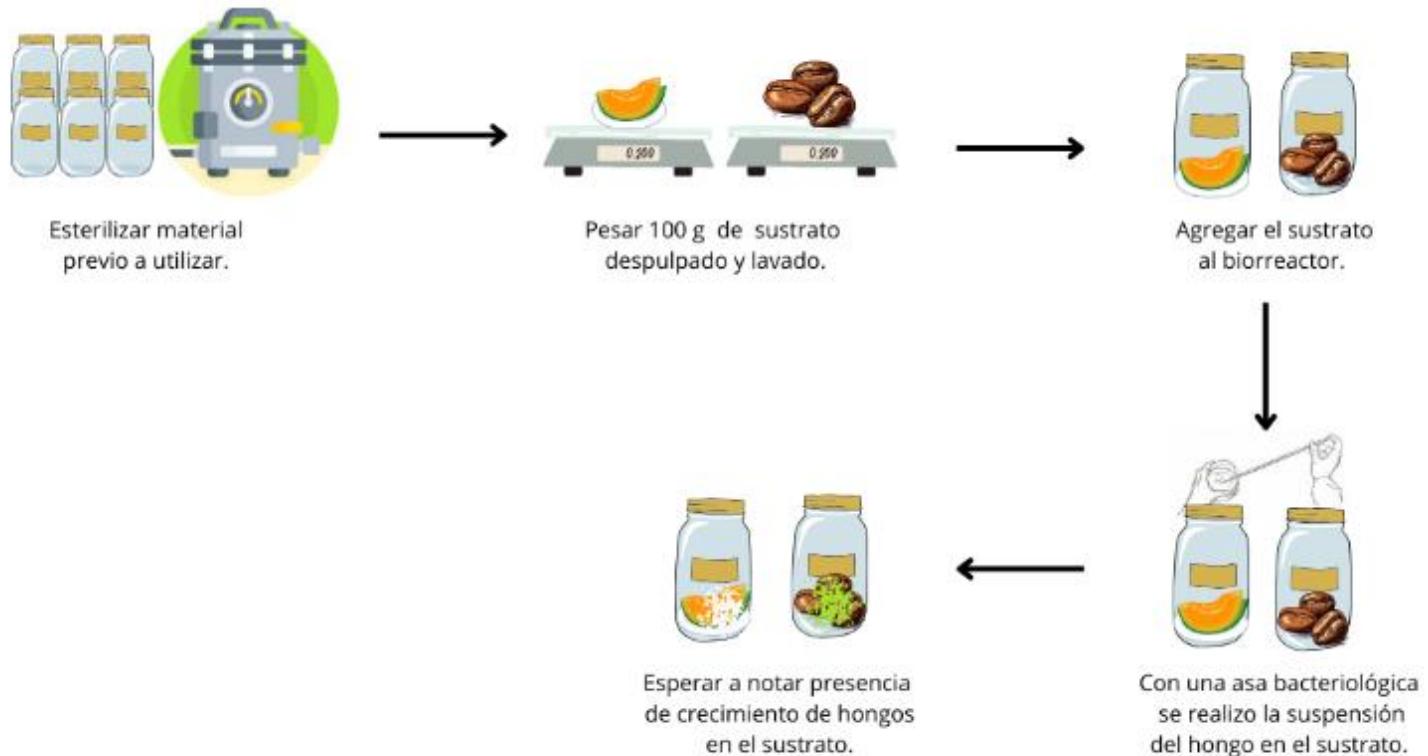
#### 3.7.1. Realización de trampas de arroz para obtención de hongos



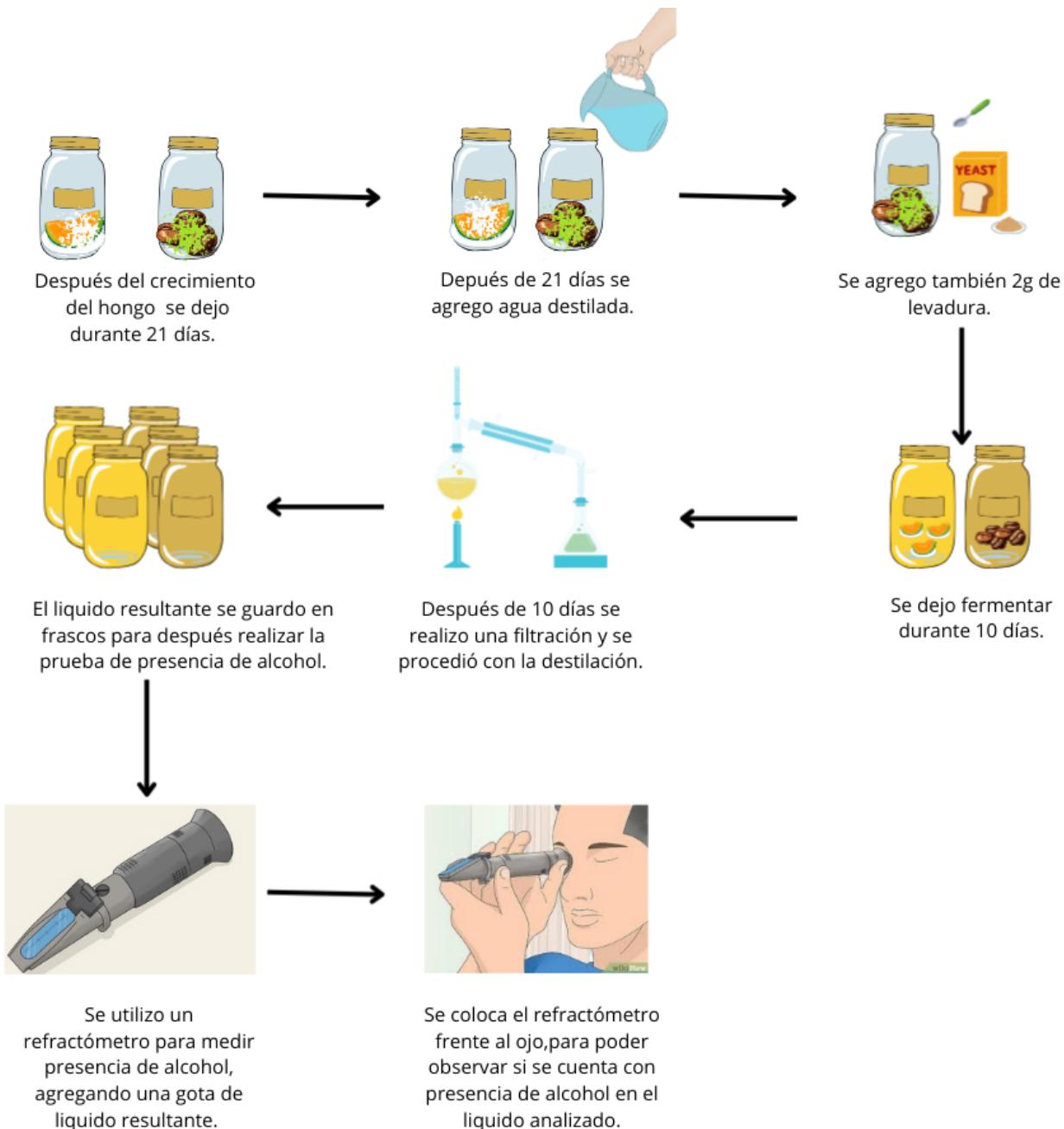
### 3.7.2. Inoculación de hongos e identificación preparación de sustratos



### 3.7.3. Adecuación del sustrato e inoculación de los hongos



### 3.7.4. Fermentación, destilación y análisis de resultados



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Realización de trampas de arroz

Se agrego una taza de arroz en agua por 5 minutos a fuego bajo, después se escurrió y coloco en los recipientes de vidrio cubriendose con una gasa y sujetándose con ligas.



Figura 5 Material para trampas de arroz.



Figura 6 Trampas de arroz realizadas.

Se excavo 20 cm en suelo cercanos a las raíces de un árbol y se enterraron los dos frascos de vidrio, se agregó un poco de agua para humedecer el suelo y se dejó por 6 días, al desenterrar los frascos se encontraron rastros de hongos que invadieron el arroz.



Figura 7 Trampa de arroz colocada bajo el suelo.

#### 4.2. Inoculación de hongos e identificación

Preparación de agar PDA para la inoculación de los hongos e identificación

Se pesaron 9.75 g de PDA para mezclar en 250 ml de agua destilada, después se agito y calentó con ayuda de un mechero hasta obtener un color claro de la mezcla.



Figura 8 Pesaje de PDA y medición de agua destilada.



Figura 9 Preparación de medio de cultivo.

La mezcla de PDA y las cajas Petri se protegieron con papel Kraft y se metieron en autoclave para su previa esterilización a 1.4 kg (20 libras) durante 15 minutos, después de este tiempo se retiran y se dejan enfriar un poco.



Figura 10 . Preparación de autoclave.



Figura 11 Medio de cultivo y cajas Petri esterilizadas.

Se depositó el PDA en las cajas Petri y se dejó solidificar, después se dejaron por un día en la incubadora para observar que no se contaminaran.



Figura 12 Vaciado de medio de cultivo en cajas Petri.



Figura 13 Prueba de esterilidad.

Después de observar que las cajas no mostraron crecimiento de hongos se procedió a inocular los hongos obtenidos en las trampas de arroz para analizar el crecimiento e identificación de los hongos, luego de 7 días este fue el crecimiento que se mostró se repitió el proceso dos veces más hasta obtener una mejor apariencia de los hongos y se procedió a realizar la tinción para identificarlos.

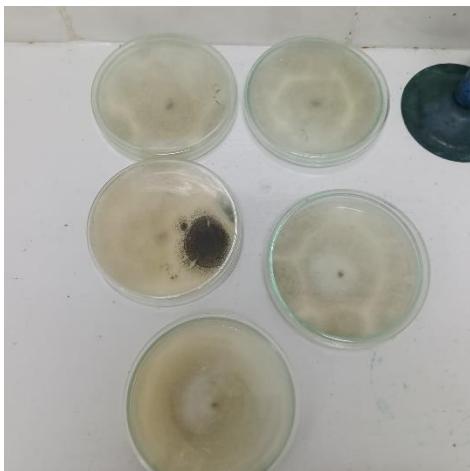


Figura 14 Crecimiento de hongos inoculados.



Figura 15 Crecimiento de hongos inoculados.

Para la tinción se aplicó azul de metileno, se utilizó un mechero, porta objetos cubre objetos y un asa bacteriológica para el procedimiento.

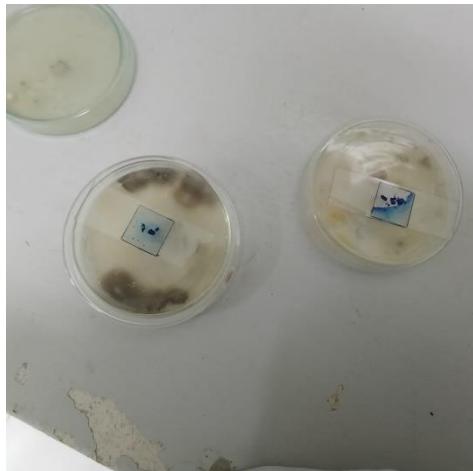


Figura 16 Tinción de hongos, con azul de metileno.

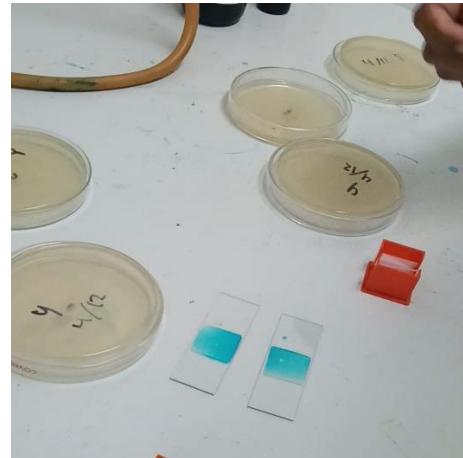


Figura 17 Tinción de hongos, con azul de metileno.

Se lograron identificar dos hongos *Aspergillus oryzae* y *Rhizopus stolonifer*.

*Aspergillus oryzae*

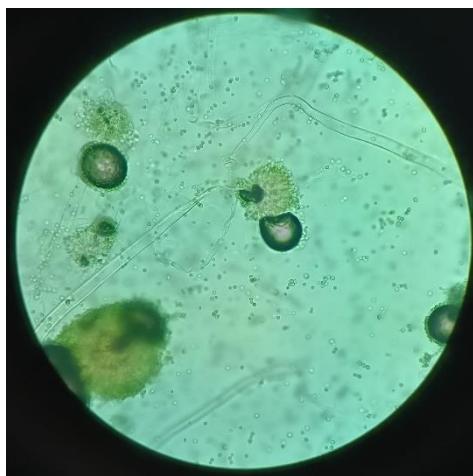


Figura 18 . Identificación de *Aspergillus oryzae*.



Figura 19 *Aspergillus oryzae* visto en microscopio lente 40x.

*Rhizopus stolonifer*

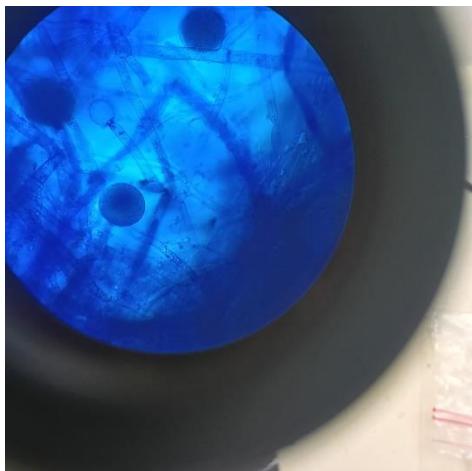


Figura 20 Identificación de *Rhizopus stolonifer*.



Figura 21 *Rhizopus stolonifer* en microscopio lente 40x.

#### 4.3. Preparación de los sustratos e inoculación del hongo

Al identificar los hongos de interés se procedió a la preparación de sustrato para realizar la inoculación, primero se lavó el melón con agua fría, se partió, despulpo y se volvió a lavar en el caso del café se recaudó de la cafetera.



Figura 22 Material utilizado para preparación de sustrato.



Figura 23 Corte y limpieza de cascara de melón.

Se esterilizaron los frascos y los matraces Erlenmeyer en donde se colocó el sustrato y se agregó el hongo.



Figura 24 Colocación de sustratos en los frascos



Figura 25 Inoculación de hongos en sustrato.

En la primera prueba en dos frascos se colocó cascara de melón solamente lavada con agua fría, a uno se le agrego *Rhizopus stolonifer* y el otro frasco se dejó de manera natural para observar que hongos crecían naturalmente en los otros dos frascos se colocó café y de la misma manera se colocó el hongo en un solo frasco y en el otro se dejaron crecer naturalmente, en esta prueba los frascos fueron cerrados impidiendo la entrada de aire.

#### 4.4. Hidrolisis de los sustratos

Cuarto día se observó crecimiento en los dos frascos en donde se agregó el hongo. Día 4 se observó crecimiento de hongos en los frascos que se dejaron de manera natural



Figura 26 Dia 4 crecimiento de *Rhizopus* en melón.



Figura 27 Dia 4 crecimiento de *Rhizopus* en café.

Día 8 un poco más de crecimiento en frascos donde se agregó el hongo.



Figura 28 Dia 8 de crecimiento *Rhizopus* en melón.



Figura 29 Dia 8 de crecimiento de *Rhizopus* en café.

Día 8 en el frasco en donde crecieron hongos de manera natural se muestra un mejor crecimiento de hongos en café.



Figura 30 Rhizopus en melón crecimiento lento.



Figura 31 Rhizopus en café tuvo un crecimiento rápido.

Dia 20



Figura 32 Rhizopus presento mejor crecimiento en café.

Se realizó la segunda prueba con *Aspergillus oryzae* utilizando como sustratos melón y café, en esta ocasión se esterilizó un matraz de café y un matraz con melón los otros dos frascos contenían los mismos sustratos, pero sin esterilizar, tres de los matraces se les colocó un tapón de gasa con algodón y uno fue cerrado por completo impidiendo la entrada de aire.

Día 8 crecimiento del hongo en sustrato esterilizado en autoclave y con tapón de algodón se observó un crecimiento muy rápido.

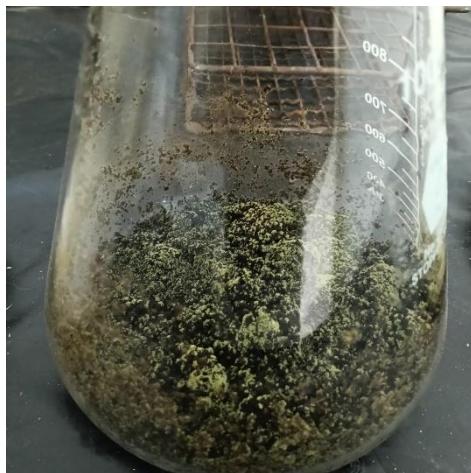


Figura 33 Aspergillus presento rápido crecimiento.



Figura 34 Aspergillus colonizo gran cantidad de melón.

Dia 8 crecimiento del hongo en sustrato sin esterilizar se notó un crecimiento favorable en el café este frasco se cerró, y en melón se notó un excelente crecimiento de *Rhizopus stolonifer* este matraz fue cerrado con tapón de algodón.



Figura 35 Aspergillus creció de manera moderada.



Figura 36 Se presento alto crecimiento de *Rhizopus*.

Día 12 en la primera imagen el hongo invadió por completo el melón, en la segunda imagen el hongo creció favorablemente estos dos sustratos fueron esterilizados y se tuvo en mejor control, no aparecieron otros hongos.



Figura 37 *Aspergillus* colonizo por completo el melón.. Figura 38 *Aspergillus* crecimiento controlado en café.

Dia 12 en la primera imagen el hongo que creció en la cascara de melón sin esterilizar comenzó a tomar un color oscuro, en la segunda donde se encuentra el café no se mostró tanta diferencia de crecimiento a la del día 8.

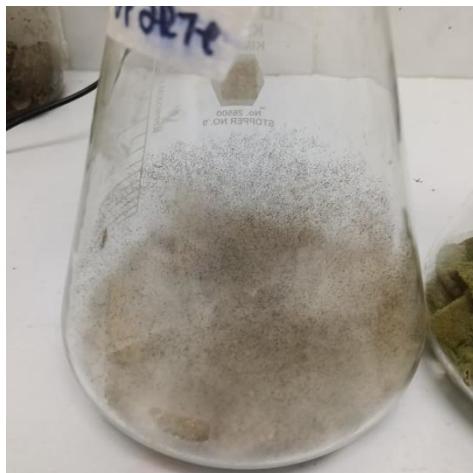


Figura 39 *Rhizopus* tomo un color oscuro y dejo de crecer. Figura 40 *Aspergillus* mostro bajo crecimiento.

#### 4.5. Fermentación

Como primer paso se pesó 2g de levadura *Saccharomyces cerevisiae* para cada frasco y se agregó agua destilada 1L en cada matraz y 500 ml en los frascos cerrados, se agito para disolver.



Figura 41 Frascos de la primera prueba *Rhizopus*.



Figura 42 Matraces de segunda prueba *Aspergillus*.

Después de 10 días de fermentación se comenzó la filtración para separar la parte sólida y obtener el líquido fermentado, de esta manera poder comenzar con la destilación.

#### 4.6. Destilación

Se montó el material para realizar la destilación, el proceso consistió en calentar el líquido que se obtuvo de la fermentación previamente filtrado a una temperatura mayor a 70°C y menor a 100°C para poder separar el bioetanol, esto funciona gracias a que el bioetanol es volátil a esta temperatura lo que le permite evaporarse y condensarse gracias a la diferencia de temperatura. Se destiló cada fermentado por tres horas.



Figura 43 Se monto el material para destilar



Figura 44 Líquido filtrado calentándose sobre placa eléctrica

#### 4.7. Análisis de resultados obtenidos

Los líquidos obtenidos después de la destilación fueron analizados con ayuda de un refractómetro para analizar presencia de alcohol, se colocó una gota con ayuda de la pipeta sobre el lente del refractómetro y se coloca frente al ojo para poder ver el resultado.



Figura 45 . Equipo utilizado para el análisis de líquidos obtenidos. Figura 46 Refractómetro



No se mostró presencia de alcohol en ninguno de los resultados de café y melón

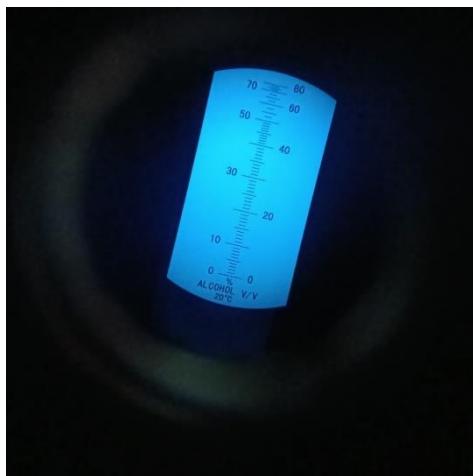


Figura 47 Resultado de muestra, no se observa actividad de alcohol.

En este caso se aplicó un pretratamiento biológico los hongos que fueron inoculados en los sustratos presentaron un mejor crecimiento en melón que en los residuos de café esto se debe a la estructura del sustrato lo que hace que para el hongo sea más fácil descomponer sustratos más blandos y menos complejos como lo es el residuo de café esto puede indicarnos que para el caso del café se necesita más tiempo con la inoculación del hongo para poder tener un tratamiento más efectivo.

En los resultados no se obtuvo presencia de alcohol con ninguno de los dos sustratos, (Triviño Pineda *et al.*, 2021) menciona en su investigación que los residuos de café(pulpa) presentan una alta cantidad de azúcares que pueden ser utilizados en la producción de bioetanol esto dependiendo de la maduración del café. Cabe destacar que durante el proceso de producción de café se obtienen diferentes residuos y en el caso la borra tiene una estructura más compleja.

(Rodríguez Luna y Robledo Olivo, 2020) en su investigación nos dice que los residuos de melón presentan buena cantidad de azúcares y biomasa lignocelulósica para ser considerados como materia prima promisoria en la obtención de metabolitos y biocombustibles como bioetanol, mientras que (GARCIA *et al.*, 2022) menciona que el melón de descarte es una buena alternativa para la producción de etanol con un rendimiento promedio de 1864.28 Litros de etanol/tonelada de melón. Los anteriores autores mencionan que los dos sustratos si son viables para la

producción de bioetanol.

Cabe destacar que en el proceso de adecuación de sustrato para la fermentación se agregó un litro de agua y las cantidades de sustratos fueron pequeñas 100 g así mismo los tiempos de fermentación no fueron tan extensos se mantuvo este proceso durante 10 días con levadura *Saccharomyces cerevisiae*, (Valencia, 2014) nos dice que el bioetanol que se obtiene de fermento de frutas es baja por lo que se debe de utilizar grandes cantidades de sustrato así como se recomienda realizar el fermento solamente con el jugo de las frutas y durante un periodo más largo de fermentación 28 días aproximadamente para obtener un mejor rendimiento.

En el proceso de destilación se tuvo una varianza en la temperatura desde 70°C a 82°C fue un poco complicado mantenerla constante y de acuerdo a lo que menciona (Alvarado Ludeña, 2021) para lograr una adecuada destilación y obtener bioetanol, la ebullición a la que el líquido fermentado debe permanecer a 78°C esta temperatura debe ser constante si no es así y sobrepasa esta temperatura se obtienen distintos componentes y esto puede afectar el resultado en la obtención de bioetanol.

## 5. CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que no se obtuvo presencia de alcohol en las muestras obtenidas, así mismo que la cantidad de sustrato que se utilizo fue muy pequeña y los tiempos de fermentación fueron cortos, lo que afecto en las cantidades de destilado que se obtuvieron por lo que se recomienda hacer uso de cantidades más grandes y preferentemente utilizar solamente el jugo de las frutas complementando el proceso con un pretratamiento físico que nos ayude a extraer el jugo o una pulpa cabe destacar que elevaría el costo de producción, también que se debe tener un mejor control de temperatura para que la destilación sea eficiente. Acerca de los hongos presentaron un excelente crecimiento en los sustratos, pero se recomienda hacer un análisis de azúcares reductores de esta manera evaluar la capacidad de cada uno para hacer que se mejore la disponibilidad de los azúcares.

## 6. LITERATURA CITADA

- Afedzi, A. E. K. y P. Parakulsuksatid 2023. "Recent advances in process modifications of simultaneous saccharification and fermentation (SSF) of lignocellulosic biomass for bioethanol production." *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 54: 102961.
- Aftab, M. N., I. Iqbal, F. Riaz, A. Karadag y M. Tabatabaei (2019). Different pretreatment methods of lignocellulosic biomass for use in biofuel production. *Biomass for bioenergy-recent trends and future challenges*, IntechOpen.
- Alexandropoulou, M., G. Antonopoulou, E. Fragkou, I. Ntaikou y G. Lyberatos 2017. "Fungal pretreatment of willow sawdust and its combination with alkaline treatment for enhancing biogas production." *Journal of Environmental Management* 203: 704-713.
- Alvarado Ludeña, G. R. 2021. Obtención de bioetanol a partir del bagazo de la caña de azúcar mediante hidrólisis enzimática
- Bello, A. Y., F. I. Jumare, R. A. Hussein, Z. A. Haruna, A. Nafiu y A. Sanusi 2022. "Sustainable production of bioethanol from maize husk by simultaneous saccharification and fermentation using *Acremonium butyri* and *Zymomonas mobilis*." *Science World* 17: 4.
- Brienza, F., D. Cannella, D. Montesdeoca, I. Cybulská y D. P. J. R. S. Debecker 2024. "A guide to lignin valorization in biorefineries: Traditional, recent, and forthcoming approaches to convert raw lignocellulose into valuable materials and chemicals." 2: 37-90.
- Broda, M., D. J. Yelle y K. Serwańska 2022. "Bioethanol production from lignocellulosic biomass—challenges and solutions." *Molecules* 27: 8717.
- Bugg, T. D. H. 2024. "The chemical logic of enzymatic lignin degradation." *Chemical Communications* 60: 804-814.
- Campos Reyes, L. 2018. "Caracterización de un pigmento bioactivo obtenidos a partir de residuos de café y evaluación de su aplicación en productos alimenticios."
- Chávez Barrera, A. N. y G. L. Saona Torres 2024. Modelamiento y simulación del proceso fermentativo en la obtención de bioetanol lignocelulósico con residuos de café, finca Palestina-Jaén
- Chen, Z., L. Chen, K. S. Khoo, V. K. Gupta, M. Sharma, P. L. Show y P.-S. Yap 2023. "Exploitation of lignocellulosic-based biomass biorefinery: A critical review of renewable bioresource, sustainability and economic views." *Biotechnology Advances* 69: 108265.
- Chukwuma, O. B., M. Rafatullah, H. A. Tajarudin y N. Ismail 2020. "Lignocellulolytic enzymes in biotechnological and industrial processes: a review." *Sustainability* 12: 7282.
- Espinoza-Arellano, J. d. J., A. M. Fabela-Hernández, A. Gaytán-Mascorro, A. Reyes-González y B. I. Sánchez-Toledano 2023. "Cuantificación y uso de pérdidas de alimentos: caso del melón cantaloupe en una región del norte-centro de México." *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 14: 159-170.
- Ferreira, J. A. y M. J. J. B. t. Taherzadeh 2020. "Improving the economy of lignocellulose-based biorefineries with organosolv pretreatment." 299: 122695.
- Figueroa-Rosales, E. X., E. Aguilar-Huerta, M. J. Granados-Baeza y A. Quinto-Hernández 2020. "Bioethanol production from agro-industrial *Saccharum spp.* residues: using *trametes versicolor* in simple fermentation and saccharification processes." *Agro Productividad* 13: 103-109.
- Garcés Gamboa, D. A. 2021. Innovación enzimática en la producción de bioetanol de segunda generación: revisión, Escuela superior política de chimborazo
- GARCIA, N. M. O., S. B. CASTILLO y L. A. C. J. U. H. CHIRINOS 2022. "Producción de etanol a partir de *Cucumis melo* "melón" de descarte del Mercado La Hermelinda.

- Trujillo. Perú." 11: 55-64.
- Gupta, A. y J. P. Verma 2015. "Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: a review." Renewable and Sustainable Energy Reviews 41: 550-567.
- Hafyan, R. H., J. Mohanarajan, M. Uppal, V. Kumar, V. Narisetty, S. K. Maity, J. Sadhukhan, S. J. E. C. Gadkari y Management 2024. "Integrated biorefinery for bioethanol and succinic acid co-production from bread waste: Techno-economic feasibility and life cycle assessment." 301: 118033.
- Hassan, S. S., G. A. Williams, A. K. J. R. Jaiswal y S. E. Reviews 2019. "Moving towards the second generation of lignocellulosic biorefineries in the EU: Drivers, challenges, and opportunities." 101: 590-599.
- Helal, G. A., R. R. Khalil, Y. G. Galal, S. M. Soliman y R. S. Abd Elkader 2022. "Studies on cellulases of some cellulose-degrading soil fungi." Archives of Microbiology 204: 1-11.
- Jayakumar, M., G. T. Gindaba, K. B. Gebeyehu, S. Periyasamy, A. Jabesa, G. Baskar, B. I. John y A. Pugazhendhi 2023. "Bioethanol production from agricultural residues as lignocellulosic biomass feedstock's waste valorization approach: A comprehensive review." Science of The Total Environment 879: 163158.
- Lezcano, J., B. Martínez y O. J. P. y f. Alonso 2015. "Caracterización cultural y morfológica e identificación de especies de *Aspergillus* asociadas a semillas de Leucaena leucocephala cv. Perú." 38: 176-181.
- Li, Z., P. R. Waghmare, L. Dijkhuizen, X. Meng y W. Liu 2024. "Research Advances on the Consolidated Bioprocessing of Lignocellulosic Biomass." Engineering Microbiology 4: 100139.
- Liu, C.-G., Y. Xiao, X.-X. Xia, X.-Q. Zhao, L. Peng, P. Srinophakun y F.-W. Bai 2019. "Cellulosic ethanol production: progress, challenges and strategies for solutions." Biotechnology Advances 37: 491-504.
- Liu, Q., Q. Chen, H. Liu, Y. Du, W. Jiao, F. Sun y M. J. H. Fu 2024. "Rhizopus stolonifer and related control strategies in postharvest fruit: A review."
- Liu, S. y G. Cheng 2024. "Developments and perspectives on lignin-first biomass pretreatment for efficient enzymatic hydrolysis and isolation of lignin with minimized degradation." Industrial Crops and Products 208: 117926.
- Maicas, S. J. M. 2020. The role of yeasts in fermentation processes, MDPI. 8(8): 1142
- Marco, D. B. 2021. Trabajo de fin de grado:"Hidrólisis enzimática para producción de biocombustibles: revisión bibliográfica de procesos", universidad zaragoza
- Michelin, M., H. A. Ruiz, T. Maria de Lourdes y J. A. Teixeira 2018. "Multi-step approach to add value to corn cob: Production of biomass-degrading enzymes, lignin and fermentable sugars." Bioresource Technology 247: 582-590.
- Mold Busters. (2025, 15 enero). *Aspergillus oryzae - Morphology, Usage and Genetics / Mold Busters*. Mold Library. [https://library.bustmold.com/aspergillus/aspergillus-oryzae/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20Aspergillus%20oryzae%20?,el%20hongo%20\(%20Oryza%20sativa%20\).](https://library.bustmold.com/aspergillus/aspergillus-oryzae/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20Aspergillus%20oryzae%20?,el%20hongo%20(%20Oryza%20sativa%20).)
- Mueansichai, T., T. Rangseesuriyachai, N. Thongchul y S. Assabumrungrat 2022. "Lignocellulosic bioethanol production of napier grass using *Trichoderma reesei* and *Saccharomyces cerevisiae* co-culture fermentation." International Journal of Renewable Energy Development 11: 423-433.
- Muhammad Nasir, I. y T. I. Mohd Ghazi 2015. "Pretreatment of lignocellulosic biomass from animal manure as a means of enhancing biogas production." Engineering in life sciences 15: 733-742.
- Naher, L., S. N. Fatin, M. A. Halim Sheikh, L. A. Azeez, S. Siddiquee, N. M. Zain y S. M. Rezaul Karim 2021. "Cellulase enzyme production from filamentous fungi

- trichoderma reesei* and *Aspergillus awamori* in submerged fermentation with rice straw." *Journal of Fungi* 7: 1-11.
- Orlando, M.-Q. y V.-M. Borja 2020. "Pretreatment of animal manure biomass to improve biogas production: A review." *Energies* 13: 3573.
- Periyasamy, S., J. B. Isabel, S. Kavitha, V. Karthik, B. A. Mohamed, D. G. Gizaw, P. Sivashanmugam y T. M. Aminabhavi 2023. "Recent advances in consolidated bioprocessing for conversion of lignocellulosic biomass into bioethanol—A review." *Chemical Engineering Journal* 453: 139783.
- Periyasamy, S., A. A. Adego, P. S. Kumar, G. Desta, T. Zelalem, V. Karthik, J. B. Isabel, M. Jayakumar, V. P. Sundramurthy y G. Rangasamy 2024. "Influencing factors and environmental feasibility analysis of agricultural waste preprocessing routes towards biofuel production—A review." *Biomass and Bioenergy* 180: 107001.
- Priadi, H., S. Awad, A. Villot, Y. Andres, W. W. J. E. C. Purwanto y M. X 2024. "Techno-enviro-economic analysis of second-generation bioethanol at plant-scale by different pre-treatments of biomass from palm oil waste." 21: 100522.
- Rahamim, V., F. Nakonechny, A. Azagury y M. Nisnevitch 2022. "Continuous Bioethanol Production by Fungi and Yeast Working in Tandem." *Energies* (19961073) 15: 4338.
- Raj, T., K. Chandrasekhar, A. N. Kumar, J. R. Banu, J.-J. Yoon, S. K. Bhatia, Y.-H. Yang, S. Varjani y S.-H. Kim 2022. "Recent advances in commercial biorefineries for lignocellulosic ethanol production: Current status, challenges and future perspectives." *Bioresource Technology* 344: 126292.
- Rodríguez Luna, D. y A. Robledo Olivo 2020. Evaluación de pretratamientos de residuos de melón para la obtención de monosacáridos
- Rolim, P. M., S. D. De Oliveira JÚNior, A. C. S. M. De Oliveira, E. S. Dos Santos y G. R. De Macedo 2018. "Nutritional value, cellulase activity and prebiotic effect of melon residues (*Cucumis melo L. reticulatus* group) as a fermentative substrate." *Journal of Food & Nutrition Research* 57: 315-327.
- Romanelli, G. P., D. M. Ruiz y G. A. Pasquale (2016). Química de la biomasa y los biocombustibles.
- SADER 2021. "Melón mexicano: rico, nutritivo, sabroso y productivo."
- SADER 2024. Melón mexicano, un fruto con creciente demanda y producción nacional: Agricultura
- Salehi, R., A. Taghizadeh-Alisaraei, A. Jahanbakhshi y F. Shahidi 2018. "Evaluation and measurement of bioethanol extraction from melon waste (qassari cultivar)." *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 20: 127-131.
- Sharma, B., C. Larroche y C.-G. Dussap 2020. "Comprehensive assessment of 2G bioethanol production." *Bioresource Technology* 313.
- Shin, Y.-J., E.-J. Lee y J.-W. Lee 2024. "The pretreatment and enzymatic hydrolysis behaviors of lignocellulosic biomass (oak and larch) based on structural changes in its lignin-carbohydrate complex." *Industrial Crops & Products* 210: N.PAG-N.PAG.
- Sindhu, R., P. Binod y A. J. B. t. Pandey 2016. "Biological pretreatment of lignocellulosic biomass—An overview." 199: 76-82.
- Singh, S., R. Morya, D. K. Jaiswal, S. Keerthana, S.-H. Kim, R. Manimekalai, A. P. de Araujo Pereira, J. P. J. R. Verma y S. E. Reviews 2024. "Innovations and advances in enzymatic deconstruction of biomass and their sustainability analysis: A review." 189: 113958.
- Sperandio, G. Bento, Filho y E. X. Ferreira 2021. "An overview of *Trichoderma reesei* co-cultures for the production of lignocellulolytic enzymes." *Applied Microbiology & Biotechnology* 105: 3019-3025.
- Su, T., D. Zhao, M. Khodadadi y C. Len 2020. "Lignocellulosic biomass for bioethanol: Recent advances, technology trends, and barriers to industrial development."

- Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry 24: 56-60.
- Swetha, T. A., K. Mohanrasu, M. Sudhakar, R. Raja, K. Ponnuchamy, G. Muthusamy, A. J. S. E. T. Arun y Assessments 2022. "A comprehensive review on techniques used in conversion of biomass into bioeconomy." 53: 102682.
- Taherzadeh-Ghahfarokhi, M., R. Panahi y B. Mokhtarani 2019. "Optimizing the combination of conventional carbonaceous additives of culture media to produce lignocellulose-degrading enzymes by *Trichoderma reesei* in solid state fermentation of agricultural residues." Renewable Energy: An International Journal 131: 946-955.
- Thapa, S., J. Mishra, N. Arora, P. Mishra, H. Li, J. O'Hair, S. Bhatti y S. Zhou 2020. "Microbial cellulolytic enzymes: diversity and biotechnology with reference to lignocellulosic biomass degradation." Reviews in Environmental Science & Biotechnology 19: 621-648.
- Triviño Pineda, J. S., J. Contreras García, C. M. Amorocho Cruz y J. E. Sánchez Ramírez 2021. "Obtención de bioproductos a partir de residuos del beneficio húmedo del café (pulpa)." Revista Colombiana de Biotecnología 23: 6-14.
- Valencia, M. H. L. A. 2014. "Evaluación de la calidad del bioetanol obtenido a partir de fermentos frutales." GRESIA.
- Walker, G. M. y G. G. Stewart 2016. "Saccharomyces cerevisiae in the production of fermented beverages." Beverages 2: 30.
- Yadav, A., V. Sharma, M.-L. Tsai, C.-W. Chen, P.-P. Sun, P. Nargotra, J.-X. Wang y C.-D. Dong 2023. "Development of lignocellulosic biorefineries for the sustainable production of biofuels: Towards circular bioeconomy." Bioresource Technology 381: 129145.