



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL  
DESARROLLO SOSTENIBLE

USO POTENCIAL DE LAS GLÓQUIDAS DE TUNA COMO SUSTRATO  
PARA LA PRODUCCIÓN DE *Pleurotus* sp

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERIA PARA EL  
DESARROLLO SOSTENIBLE



Presenta

DE JESÚS RIVERA LUISA

Bajo la dirección de:

DRA. MARIA EDNA ÁLVAREZ SÁNCHEZ



Chapingo, Estado de México, diciembre del 2020

**USO POTENCIAL DE LAS GLÓQUIDAS DE TUNA COMO SUSTRATO PARA  
LA PRODUCCIÓN DE *Pleurotus* sp**

Tesis realizada por **LUISA DE JESÚS RIVERA** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

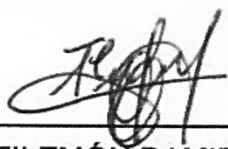
**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO  
SOSTENIBLE**

DIRECTOR:



DRA. MARÍA EDNA ÁLVAREZ SÁNCHEZ

ASESOR:



DR. FILEMÓN RAMIREZ PÉREZ

ASESOR:



DR. VÍCTOR MANUEL BANDALA MUÑOZ  
INSTITUTO DE ECOLOGÍA A.C.

ASESOR:



DRA. ROSA MARÍA GARCÍA NÚÑEZ

## I. CONTENIDO

|                                                                                                     |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| I. CONTENIDO .....                                                                                  | iii  |
| II. INDICE DE FIGURAS .....                                                                         | vi   |
| III. INDICE DE CUADROS .....                                                                        | viii |
| IV. DEDICATORIAS .....                                                                              | x    |
| V. AGRADECIMIENTOS .....                                                                            | xi   |
| VI. DATOS BIOGRÁFICOS .....                                                                         | xii  |
| VII. RESUMEN GENERAL .....                                                                          | xiii |
| VIII. GENERAL ABSTRACT .....                                                                        | xiv  |
| 1. INTRODUCCIÓN .....                                                                               | 1    |
| 2. OBJETIVOS .....                                                                                  | 3    |
| 2.1. Objetivo general .....                                                                         | 3    |
| 2.1.1. Objetivos específicos .....                                                                  | 3    |
| 3. HIPÓTESIS .....                                                                                  | 4    |
| 4. MARCO TEÓRICO .....                                                                              | 5    |
| 4.1. Importancia económica de la tuna en México .....                                               | 5    |
| 4.1.1. Impacto ambiental del beneficio de la tuna .....                                             | 6    |
| 4.1.2. Caracterización de las glóquidas tuna .....                                                  | 7    |
| 4.2. Sustratos .....                                                                                | 9    |
| 4.2.1. Consideraciones en la selección de sustratos para la producción de <i>Pleurotus</i> sp ..... | 10   |
| 4.2.2. Inoculación .....                                                                            | 10   |

|                                                                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.3. Factores que afectan la producción de seta.....                                                                     | 12        |
| 4.2.4. Otros residuos usados en la producción de <i>Pleurotus</i> sp.....                                                  | 19        |
| 4.2.5. Características del sustrato remanente de la producción de <i>Pleurotus</i><br>.....                                | 20        |
| <b>5. LITERATURA CITADA.....</b>                                                                                           | <b>21</b> |
| <b>6. ARTÍCULO I .....</b>                                                                                                 | <b>24</b> |
| <b>USO POTENCIAL DE LAS GLÓQUIDAS DE TUNA COMO SUSTRATO PARA<br/>LA PRODUCCIÓN DE MICELIO DE <i>Pleurotus</i> sp .....</b> | <b>24</b> |
| 6.1. Resumen .....                                                                                                         | 24        |
| 6.2. Abstract .....                                                                                                        | 25        |
| 6.3. Introducción .....                                                                                                    | 26        |
| 6.4. Materiales y Métodos .....                                                                                            | 27        |
| 6.4.1. Características de las glóquidas.....                                                                               | 27        |
| 6.4.2. Variables evaluadas .....                                                                                           | 30        |
| 6.5. Resultados y Discusión .....                                                                                          | 32        |
| 6.5.1. Grado de invasión del micelio .....                                                                                 | 32        |
| 6.5.2. Contenido de humedad del sustrato.....                                                                              | 36        |
| 6.5.3. Observaciones estereoscópicas del micelio en el sustrato .....                                                      | 38        |
| 6.6. Conclusiones .....                                                                                                    | 40        |
| 6.7. Literatura citada.....                                                                                                | 41        |
| <b>7. ARTÍCULO 2 .....</b>                                                                                                 | <b>43</b> |
| <b>GLÓQUIDAS DE TUNA PARA LA PRODUCCIÓN COMERCIAL DE HONGO<br/>SETA .....</b>                                              | <b>43</b> |

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>7.1. Resumen .....</b>                                  | <b>43</b> |
| <b>7.2. Abstract .....</b>                                 | <b>44</b> |
| <b>7.3. Introducción.....</b>                              | <b>45</b> |
| <b>7.4. Materiales y Métodos .....</b>                     | <b>46</b> |
| 7.4.1. Características del experimento y tratamientos..... | 46        |
| 7.4.2. Preparación del sustrato.....                       | 47        |
| 7.4.3. Variables evaluadas .....                           | 52        |
| <b>7.5. Resultados y Discusión .....</b>                   | <b>54</b> |
| 7.5.1. Parámetros productivos.....                         | 54        |
| 7.5.2. Análisis económico.....                             | 56        |
| <b>7.6. Conclusiones .....</b>                             | <b>59</b> |
| <b>7.7. Literatura citada.....</b>                         | <b>60</b> |
| <b>8. CONCLUSIÓN GENERAL .....</b>                         | <b>62</b> |
| <b>8.ANEXO .....</b>                                       | <b>62</b> |

## II. INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Estructura externa de glóquidas. A. Glóquida, B. Corte transversal de la Glóquida, C. Glóquidas molidas 100x. D. Glóquida trozada 3208x.....       | 8  |
| Figura 2. Unidad experimental; a) Pesado, b) Homogeneizado, c) Saturación con solución alcalina, d) Tiempo de reposo.....                                    | 29 |
| Figura 3. a) filtrado de muestras, b) muestra filtrada. ....                                                                                                 | 29 |
| Figura 4. a y b) Muestras en incubación, c y d) Muestras colonizadas.....                                                                                    | 30 |
| Figura 5. Parámetros evaluados. a) Tipo de crecimiento, b) Textura, c) Color, d) Micelio aéreo, e) Densidad del micelio. ....                                | 31 |
| Figura 6. Grado de colonización del micelio a los 11 días de incubación. a) Testigo, b) 90S-10EM, c) 80S-20EM, d)70S-30EM .....                              | 33 |
| Figura 7. Comparación de color. a) Testigo, b) 70S-30EM.....                                                                                                 | 34 |
| Figura 8. a) Glóquidas adheridas al grano de sorgo invadido con micelio, b) Gránulo de glóquidas enteras colonizado por <i>Pleurotus</i> sp.....             | 38 |
| Figura 9. a) Gránulo de glóquidas molidas invadidas por micelio, b) Invasión del micelio dentro del granulo de glóquidas.....                                | 38 |
| Figura 10. a) Estructura de glóquida previo al proceso de invasión, b) Estructura de glóquida después del proceso de invasión de <i>Pleurotus</i> sp 4x..... | 39 |
| Figura 11. Preparación del sustrato: a) Picado de paja, b) Mezclado y cierre de costales, c) Pasteurización. ....                                            | 48 |
| Figura 12. Preparación del sustrato a) Drenado, b) Enfriado, c) Alcalinización con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . ....                                           | 48 |
| Figura 13. Siembra a) Micelio homogeneizado, b) Siembra, c) Etiquetado, d) Área de incubación. ....                                                          | 49 |
| Figura 14. Aparición de primordios. ....                                                                                                                     | 51 |
| Figura 15. Carpóforos con margen delgado para cosecha. ....                                                                                                  | 51 |

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Figura 16. Carpóforos cosechados .....           | 52 |
| Figura 17. Muestras de sustratos remanentes..... | 58 |

### III. INDICE DE CUADROS

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Principales estados productores de Tuna en México .....                                                                                    | 5  |
| Cuadro 2. Glóquidas generadas durante el ciclo productivo 2019 en los<br>principales estados productores de tuna. ....                               | 6  |
| Cuadro 3. Características de las Glóquidas de tuna.....                                                                                              | 8  |
| Cuadro 5. Composición química en porcentaje en peso de los cereales más<br>utilizados en la producción de micelio .....                              | 11 |
| Cuadro 6. Composición de lignina, celulosa y hemicelulosa de los principales<br>sustratos en la producción de <i>P. ostreatus</i> . ....             | 15 |
| Cuadro 7. Composición de nutrientes y micronutrientes de algunos materiales<br>usados como sustratos para la producción de <i>P. ostreatus</i> ..... | 16 |
| Cuadro 8 Composición química de algunos sustratos usados en la producción<br>de <i>P. ostreatus</i> .....                                            | 17 |
| Cuadro 9. Composición química en base seca de restos de cultivo para uso<br>industrial expresado en porcentajes. ....                                | 19 |
| Cuadro 10. Composición química en base seca de residuos agroindustriales<br>expresado en porcentajes .....                                           | 20 |
| Cuadro 11. Proporciones en peso de los materiales utilizados en la preparación<br>del sustrato por tratamiento .....                                 | 28 |
| Cuadro 12. Parámetros de escala hedónica .....                                                                                                       | 31 |
| Cuadro 13. Comparación de medias de los parámetros de grado de invasión<br>evaluados, obtenidas por escala hedónica.....                             | 32 |
| Cuadro 14. Prueba de contrastes de los parámetros evaluados .....                                                                                    | 36 |
| Cuadro 15. Valores medios y desviación estándar del contenido de humedad en<br>los tratamientos expresado en porcentajes .....                       | 37 |



|                                                                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 16. Proporciones en porcentajes de los materiales utilizados en la<br>preparación del sustrato por tratamiento. ....                                                                                          | 47 |
| Cuadro 17. Registro de temperatura y humedad durante etapa de producción                                                                                                                                             | 50 |
| Cuadro 18. Valores medios y desviación estándar .....                                                                                                                                                                | 54 |
| Cuadro 19. Comparación económica de los costos de producción de <i>Pleurotus</i><br>sp en sustrato común y sustrato con 30 % y 40% de glóquidas de tuna para<br>tres ciclos productivos de 42 bolsas por ciclo ..... | 57 |

#### **IV. DEDICATORIAS**

A mi madre, por todo su amor, apoyo, confianza y por ser mi inspiración.

A mis hermanos, por estar siempre presentes en cada momento importante de mi vida.

A mi hermana, por ser una segunda madre para mi hijo.

A mi esposo, por todo el amor, comprensión y apoyo brindado. Por ser un gran amigo y compañero de vida.

A mi hijo Jóse Carlos por darle sentido a mi vida llenandola de amor y alegría.

A mis sobrinos, por ser tan lindos conmigo, en especial: Anali, Nayeli y Beatriz por cuidar y amar a mi niño como si fuera suyo.

A mi suegra por apoyarme y quererme como una hija más.

A mis amigos, por apoyarme en este proyecto de vida.

Al M.C. Robert Samuel Durán Cortés por convencerme de que soy capaz de cumplir todos mis sueños.

A Esmeralda por brindarme su valiosa amistad.

A Carlos Israel Chan Cutz, mi mejor amigo, por preocuparse siempre por mí y mi familia.

## **V. AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de los estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi alma mater.

A la Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible por darme la oportunidad de formarme y obtener el grado de maestro en ciencias.

A la Dra. María Edna Álvarez Sánchez coordinadora de la Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible (MCADS) por dirigir la presente investigación con dedicación, paciencia y entusiasmo.

Al Dr. Filemón Ramírez Pérez por su valiosa colaboración en la realización de esta investigación. Al Dr. Ranferi Maldonado Torres por su apoyo y contribuciones.

Al Dr. Víctor Manuel Bandala Muñoz por aceptarme en estancia de investigación y por sus valiosas contribuciones.

Al Dr. Gaudencio Sedano Castro y a su equipo de trabajo, por su apoyo incondicional y sus valiosos aportes a la presente investigación.

A María Dolores Coronel Sánchez (Lolita) por su amistad y apoyo brindado.

Al Ing. Rodrigo Hipólito De Jesús Rivera por compartir conmigo sus conocimientos en producción de hongos y por las facilidades otorgadas.

## VI. DATOS BIOGRÁFICOS



### Datos personales

|                     |                          |
|---------------------|--------------------------|
| Nombre              | De Jesús Rivera Luisa    |
| Fecha de nacimiento | 21 de septiembre de 1989 |
| Lugar de nacimiento | La Perla, Veracruz       |
| CURP                | JERL890921MVZSVS04       |
| Profesión           | Ingeniera Agroindustrial |
| Cédula profesional  | 11651923                 |

### Desarrollo académico

|              |                                                                   |
|--------------|-------------------------------------------------------------------|
| Bachillerato | Colegio Nacional de Educación<br>Profesional Técnica<br>2004-2007 |
| Licenciatura | Universidad Autónoma Chapingo<br>2008-2013                        |
| Maestría     | Universidad Autónoma Chapingo<br>2019-2020                        |

## VII. RESUMEN GENERAL

### USO POTENCIAL DE LAS GLÓQUIDAS DE TUNA COMO SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE *Pleurotus* sp<sup>1</sup>

Se valoró a las glóquidas de tuna como componente mejorador de sustrato para la producción de micelio y de carpóforos de *Pleurotus* sp, a nivel comercial. Para el primero, micelio (F2) procedente de la colección de cepas del INECOL, se sembró en mezclas de sustrato conformadas por granos de sorgo (S) y glóquidas molidas (EM) o enteras (EE) en diferentes proporciones. Las unidades experimentales se incubaron a 25° C por 11 días. El grado de invasión se evaluó con base en tipo de crecimiento, textura, color, micelio aéreo y densidad, a través de escala hedónica por variable. Para la segunda etapa, mezclas de EE o EM con paja de avena (RA) en diferentes proporciones, fueron sembradas con micelio procedente de la primera etapa. La cosecha inició desde los 30 días después de la siembra en el momento en que la lámina de los carpóforos presentaba bordes adelgazados. Los parámetros productivos evaluados fueron precocidad (P), eficiencia biológica (%), EB), rendimiento (%), R) y tasa de producción (%), TP). Los resultados mostraron que uno de los valores agregados que se le puede dar al subproducto del beneficiado de la tuna es como mejorador de sustrato para la producción de micelio y producción comercial de setas. Las glóquidas pueden manejarse en forma molida o entera en su mezcla con granos de sorgo hasta en 30% (en peso) con beneficios en la reducción en el número de días necesarios para una colonización de calidad. En cuanto a la producción comercial, proporciones del 40% como EM o EE generaron rendimientos mayores al 10% y eficiencias biológicas superiores al 100%, lo que representó una ganancia neta anual de \$9,490.75 con respecto al manejo tradicional de producción (\$6,137.22).

**Palabras clave:** Glóquidas de tuna, micelio, carpóforos, indicadores de colonización, parámetros productivos.

---

<sup>1</sup> Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: De Jesús Rivera Luisa

Directora de tesis: Dra. María Edna Álvarez Sánchez

## VIII. GENERAL ABSTRACT

### POTENTIAL USE OF TUNA GLOCHIDS AS A SUBSTRATE FOR THE PRODUCTION OF *Pleurotus* sp<sup>2</sup>

Tuna glochids were valued as an improving component of the substrate for the production of mycelium and *Pleurotus* sp carpophores, at a commercial level. For the first one, mycelium (F2) from INECOL's strain collection was sown in substrate mixtures made of sorghum grains (S) and ground (EM) or whole (EE) glochids in different proportions. The experimental units were incubated at 25°C for 11 days. The degree of invasion was evaluated based on growth type, texture, color, air mycelium and density, through hedonic scale by variable. For the second stage, mixtures of EE or EM with oat straw (RA) in different proportions were sown with mycelium from the first stage. Harvesting began 30 days after sowing when the lamella of the carpophores had thinned edges. The productive parameters were evaluated based on precocity (P), biological efficiency (% EB), yield (% R) and production rate (% TP). The results showed that one of the added values that can be given to the tuna processing by-product is as a substrate enricher for mycelium production and commercial mushroom production. Glochids can be handled as ground or whole in their mixture with sorghum grains up to 30% (by weight) with benefits in reducing the number of days needed for quality colonization. Regarding commercial production, proportions of 40% as EM or EE generated yields greater than 10% and biological efficiencies greater than 100%, which represented a net annual gain of \$9,490.75 with respect to traditional production management (\$6,137.22)

**Keywords:** Tuna glochids, mycelium, carpophores, colonization indicators, productive parameters.

---

<sup>2</sup> Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: De Jesús Rivera Luisa

Directora de tesis: Dra. María Edna Álvarez Sánchez

## 1. INTRODUCCIÓN

La tuna de *Opuntia albicarpa* Scheinvar es un fruto de consumo tradicional en México tanto en fresco como procesado en una amplia variedad de productos. Dentro del proceso de beneficiado de la tuna se genera una gran cantidad de glóquidas conocidas como “ahuates”, que de acuerdo con Ulloa-Leitón (2020), por cada tonelada de tuna cosechada se obtienen 65 kg de ahuates, mismos que se desechan en los sitios de producción. Dada la alta resistencia a la degradación natural, incluso la quema, estos subproductos representan un problema anual y acumulativo de contaminación ambiental.

Estudios de este subproducto indican que su resistencia a la descomposición microbiana se debe a su alto contenido de celulosa (41.14 %), hemicelulosa (41.21 %) y lignina (5.27 %) en estado cristalinizado (Ulloa-Leitón, 2020). Autores como Nieto y Chegwin (2010) mencionan que estas estructuras pueden debilitarse por acción de los hongos como *Pleurotus ostreatus*, ampliamente conocido por su capacidad de convertir desechos agrícolas generalmente lignocelulósicos en alimentos. García-Oduardo, Bermúdez-Savón y Serrano-Alberni (2011); Velasco y Vargas (2004) indican que *Pleurotus* puede producir alimentos con calidad proteica de entre 30% y 40% dependiendo de la especie y las características del sustrato

Entre los sustratos más usados en la producción de setas comestibles, destacan: rastrojo de maíz, paja de trigo y bagazo de caña de azúcar con contenidos de celulosa entre 42% – 52%, hemicelulosa de 16% – 27% y lignina de 7% a 14 % (Ruilova-Cueva & Hernández-Monzón, 2014). Con base en estos referentes, las glóquidas de tuna reúne las características deseables en cuanto a su composición para poder ser aprovechada como sustrato en la producción de setas y proporcionar así valor agregado a este residuo de la producción de tuna.

En cuanto a la propagación y cultivo de *Pleurotus* se requiere de un inóculo desarrollado principalmente con granos de cereales. Este sustrato debe suministrar carbono a partir de celulosa, hemicelulosa y lignina, nitrógeno y

compuestos inorgánicos como fuentes nutritivas y favorecer la superficie de contacto a través del tamaño de partícula (Sánchez & Royse, 2001). Estas características deseables para el desarrollo del micelio también pueden ser proporcionadas por las glóquidas de tuna.

Los productores de tuna del poblado de San Felipe Teotitlán, pertenecientes al municipio de Nopaltepec, muestran gran interés en reducir la presión sobre el impacto ambiental provocada por la actividad agrícola principal y buscan opciones que les permitan realizar un mejor manejo del residuo que se genera en cada ciclo de producción.

Con base a lo anterior la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el potencial agronómico de las glóquidas de tuna como sustrato para la producción de micelio y de hongo darle un valor agregado a este subproducto del beneficio del fruto, con el fin de brindar opciones de aprovechamiento sostenible a los productores de San Felipe Teotitlán.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar el potencial agronómico de las glóquidas de tuna como sustrato para la producción de micelio y de hongo seta de *Pleurotus* sp con la finalidad brindar opciones de aprovechamiento sostenible de este subproducto a los productores de San Felipe Teotitlán, municipio de Nopaltepec, Estado de México.

#### **2.1.1. Objetivos específicos**

- Valorar glóquidas de tuna como componente mejorador de sustrato para la producción de micelio de *Pleurotus* sp a través de indicadores de colonización macroscópica y características del micelio a nivel estereoscópico.
- Valorar glóquidas de tuna como mejorador de sustrato para la producción de carpóforos de *Pleurotus* sp a través de parámetros de productividad y beneficios económicos como alternativa de aprovechamiento.

### **3. HIPÓTESIS**

- Las glóquidas de la tuna proveen condiciones nutrimentales y físicas óptimas como componente del sustrato para el desarrollo del micelio y fructificación de hongo seta.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. Importancia económica de la tuna en México

De acuerdo con la definición presentada en la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-030-SCFI-2006, la tuna es un fruto de las especies del género *Opuntia*; clasificada como baya polispérmica (con presencia de semillas en la parte comestible), provista en su superficie de glóquidas o ahuate. Como parte de la riqueza genética del nopal, este cultivo significa para México ventajas competitivas económicas, ya que permite ofrecer al mercado una gran diversidad de colores, formas y sabores, así como una amplia estacionalidad (Méndez-Gallegos & García-Herrera, 2006)

México es el principal productor y consumidor de tuna a nivel mundial, por lo que representa un aspecto de vital importancia para el desarrollo de algunas zonas áridas y semiáridas (García-Herrera, Méndez-Gallegos & Talavera-Magaña, 2010). De acuerdo con el reporte de cierre 2019 publicado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la tuna alcanzó una producción nacional de 468,099.85 toneladas en 17 entidades federativas, de las cuales Estado de México, Puebla y Zacatecas son los principales productores (Cuadro 1)

Cuadro 1. Principales estados productores de tuna en México.

| Entidad   | Superficie (ha) |           | Producción<br>t | Valor de la<br>producción<br>(miles de pesos) |
|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------------------------------------------|
|           | Sembrada        | Cosechada |                 |                                               |
| México    | 15,967.55       | 15,967.55 | 180,454.72      | 493,290.08                                    |
| Puebla    | 5,507.80        | 5,439.80  | 118,212.50      | 413,114.47                                    |
| Zacatecas | 11,688.50       | 11,569.50 | 101,023.75      | 304,553.05                                    |

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2019)

#### 4.1.1. Impacto ambiental del beneficio de la tuna

En México, los residuos agrícolas representan un grave problema ambiental, debido a que se generan grandes volúmenes y no existen políticas adecuadas para su manejo. Del total de residuos producidos en los sistemas agrícolas, sólo una mínima parte se reutiliza en la producción de alimento animal (Sumaya-Martínez, Suarez, Cruz, Alanís & Sampedro, 2010); por ejemplo, los residuos de la producción de nopal, pueden tener diversas aplicaciones, entre las que destacan el uso como forraje, abonos orgánicos o combustibles. En el beneficiado de la tuna, las glóquidas son un producto remanente que, de acuerdo con Ulloa-Leitón (2020), se desechan en bolsas plásticas en los sitios de producción o tiraderos, lo que representa un problema ambiental, no sólo por el plástico, también por la resistencia de las glóquidas a la quema y a la degradación natural. Además, su misma composición estructural representa una amenaza a la salud, ya que se puede adherir fácilmente en la piel, ojos y mucosas principalmente.

Con base en el factor obtenido por Ulloa-Leitón (2020), se puede calcular la cantidad de glóquidas que generaron los tres principales estados productores del país en el año 2019.

Cuadro 2. Glóquidas generadas durante el ciclo productivo 2019 en los principales estados productores de tuna.

| Entidad   | Rendimiento promedio <sup>†</sup> | Producción total de tuna | Producción glóquidas |
|-----------|-----------------------------------|--------------------------|----------------------|
|           | (t ha <sup>-1</sup> )             | (t)                      | (t)                  |
| México    | 11.3                              | 180,454.7                | 101.6                |
| Puebla    | 21.7                              | 118,212.5                | 66.5                 |
| Zacatecas | 8.7                               | 101,023.8                | 56.9                 |
| Total     |                                   | 399,690.97               | 225.0                |

Fuente: elaboración propia con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)

Se puede observar que la cantidad de glóquidas generadas por estos estados en el ciclo productivo 2019 fue de 225 t, que podría parecer una cantidad poco importante, pero al considerar que la densidad de este subproducto de  $0.1574 \text{ g.mL}^{-1}$  (Ulloa-Leitón, 2020), la cantidad de glóquidas producida equivale a un volumen de  $1429.3 \text{ m}^3$  que se acumulan en los terrenos o tiraderos año con año. Para el caso específico del municipio de Nopaltepec, Estado de México, Ulloa-Leitón (2020) estimó que en el período del 2010 al 2015, se generaron 80.1 t de glóquidas equivalentes a  $508.6 \text{ m}^3$ , con estas cifras es evidente la necesidad de buscar opciones de aprovechamiento que permitan reducir el impacto al ambiente y a la salud.

#### **4.1.2. Caracterización de las glóquidas tuna**

Las glóquidas se componen de celulosa y hemicelulosa en la misma proporción y sólo un pequeño porcentaje corresponde a lignina (Cuadro 3). A diferencia de otros sustratos del mismo tipo, estos componentes se encuentran en forma cristalina (Martínez, Szeto & Stewart, 2017) lo que le confiere una alta resistencia a la descomposición natural e incluso a la quema. Estas estructuras son células con una gruesa pared celular, tienen forma tubular y presentan barbas retrorsas a lo largo de su estructura (Figura 1), razón por la que se adhieren a las superficies porosas. Su dureza es tal, que cuando se muelen no se pulverizan, sólo quedan trozadas. Sus dimensiones son de  $1667 \mu\text{m}$  ( $\pm 292$ ) de largo y  $67.3$  ( $\pm 9.56$ ) de diámetro.

Cuadro 3. Características de las glóquidas de tuna.

| Característica                  | Glóquidas           |
|---------------------------------|---------------------|
| Composición en porcentaje       |                     |
| Celulosa (%)                    | 41 ( $\pm 0.2$ )    |
| Hemicelulosa (%)                | 41 ( $\pm 0.2$ )    |
| Lignina (%)                     | 5.27( $\pm 0.2$ )   |
| Dimensiones                     |                     |
| Largo ( $\mu\text{m}$ )         | 1667( $\pm 292$ )   |
| Diámetro ( $\mu\text{m}$ )      | 67.3 ( $\pm 9.56$ ) |
| Densidad                        |                     |
| Densidad ( $\text{g mL}^{-1}$ ) | 0.1574              |

Fuente: (Ulloa-Leitón, 2020)

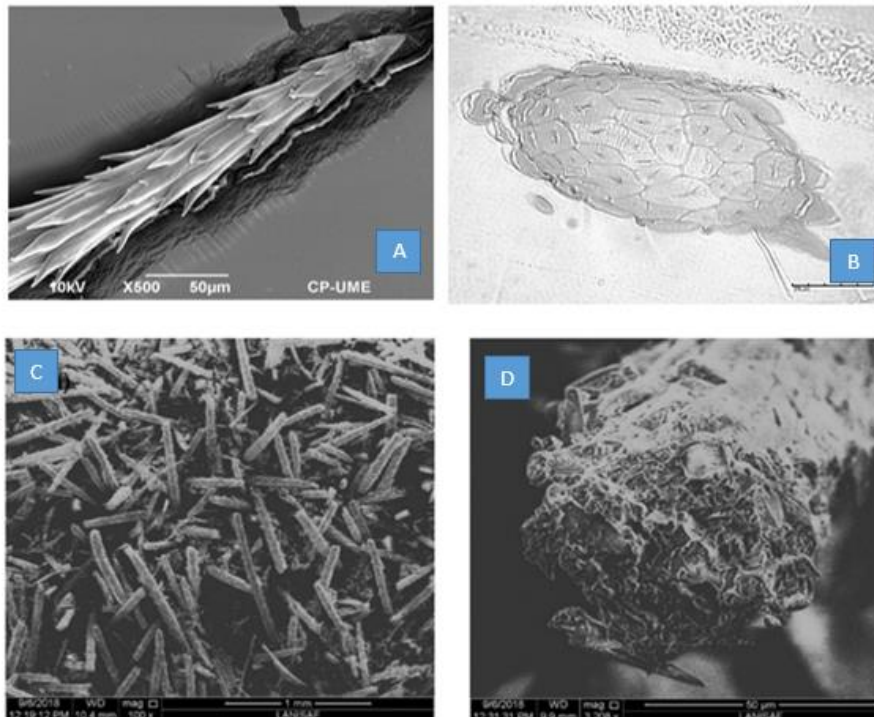


Figura 1. Estructura externa de glóquidas. A. Glóquida, B. Corte transversal de la Glóquida, C. Glóquidas molidas 100x. D. Glóquida trozada 3208x.

## 4.2. Sustratos

El cultivo de *Pleurotus* sp es relativamente nuevo, sin embargo, ha cobrado importancia en la actualidad debido principalmente a la facilidad que tiene para crecer en diversos sustratos lignocelulósicos. Estos residuos son muy aprovechados en la producción de setas debido a que *Pleurotus* son agentes biológicos capaces de degradar materiales ricos en lignina, celulosa y hemicelulosa (Sánchez & Royse, 2001) que secretan enzimas sobre el sustrato donde se encuentran, lo degradan en sustancias simples y absorben los nutrimentos necesarios para su desarrollo (Del Pilar-Ríos, Hoyos & Mosquera, 2010) Estos procesos sencillos y económicos, permiten dar valor agregado a los residuos (Ruilova -Cueva & Hernández -Monzón, 2014).

El cultivo de *P. ostreatus* es de gran interés debido a que es un alimento de alto contenido nutricional rico en carbohidratos, vitaminas, fibra y minerales (Gaitán-Hernández, Salmones, Pérez-Merlo & Mata, 2006), más alto que la proteína vegetal (10.5-30.4%) (Gaitán-Hernández et al., 2006; Garzón-Gómez & Cuervo-Andrade, 2008).

Las características nutricionales del hongo dependen del sustrato en el que se desarrolle. Yehia (2012) reporta contenidos de proteína de 39.1 % y la mayor cantidad de aminoácidos (18 aminoácidos detectados) en sustrato mezcla arroz y paja de trigo, comparado con otras mezclas (Cuadro 4).

| Sustrato                 | Humedad | Grasa | Proteína | Fibra | Hidratos<br>de<br>carbono | Cenizas | Ca    | Fe      | Na    | K     |
|--------------------------|---------|-------|----------|-------|---------------------------|---------|-------|---------|-------|-------|
|                          | -----   |       | %        | ----- | -----                     | -----   | ----- | mg 100% | ----- | ----- |
| Paja de arroz            | 90.1    | 3.4   | 34.3     | 6.3   | 58.7                      | 6       | 240   | 17.1    | 290   | 2100  |
| Paja de trigo            | 87.8    | 3.2   | 33.5     | 6.4   | 54.8                      | 6.3     | 330   | 16.2    | 305   | 2000  |
| Arroz + paja<br>de trigo | 88.7    | 3.9   | 39.1     | 6.9   | 56.7                      | 6.5     | 350   | 16.9    | 295   | 2100  |
| pajilla de arroz         | 88.5    | 3.1   | 32.0     | 6.2   | 50.9                      | 6.1     | 260   | 15.8    | 270   | 1950  |
| hojas de<br>bambú        | 87.4    | 3.3   | 31.9     | 6.1   | 46.6                      | 6.3     | 221   | 13.2    | 280   | 1900  |

#### **4.2.1. Consideraciones en la selección de sustratos para la producción de *Pleurotus* sp**

Sánchez y Royse (2001) mencionan las consideraciones necesarias a tomar en cuenta en la selección de sustratos para producir *Pleurotus* sp, entre las que destacan: buena disponibilidad en cantidad y continuidad, buen conocimiento de sus características físico-químicas, regularidad en su composición, precio ventajoso de adquisición, localización fácil y cercana y, facilidad de transporte y manejo. Sin embargo, de estas características, el factor más importante a considerar debe ser la facilidad con que el sustrato es invadido por el micelio del hongo.

Es importante considerar que cada fase de producción de hongo seta (procesos de crecimiento o fructificación), requiere características específicas de manejo, temperatura, humedad, luz, aireación, etc., factores que varían en función de la fase de producción en que *Pleurotus* sp se encuentre (Ruilova-Cueva & Hernández-Monzón, 2014).

#### **4.2.2. Inoculación**

En la producción de setas, el término semilla, también conocido como blanco de hongo, hace referencia al micelio que se utiliza para inocular un sustrato (Flores-Montes De Oca & Contreras-Trujano, 2012). Normalmente, éste se desarrolla en granos de cereal, con un pH que va de 4 a 7 y varía según la cepa que se utilice (Sánchez & Royse, 2001). El tamaño de partícula del sustrato es de importante consideración, si éstas son muy grandes, se deben moler para favorecer la penetración del micelio del hongo y evitar dificultades en la esterilización, además, se debe garantizar que los granos usados para este fin estén libres de agroquímicos.



El sustrato a utilizar para la producción de semilla debe aportar carbono (a partir de celulosa, hemicelulosa y lignina), nitrógeno y compuestos inorgánicos como fuentes nutritivas. Si se cumple con estas características, se dice que el sustrato es conveniente, pues cuenta con requerimientos nutritivos para que el hongo sintetice sus metabolitos secundarios y tome la energía requerida (Sánchez & Royse, 2001). El Cuadro 5 muestra las características de composición química de los principales granos utilizados en la elaboración de micelio. La semilla de sorgo, uno de los más usados, presenta cantidades de 30.97 % celulosa y 17.56% de lignina.

Cuadro 5. Composición química en porcentaje en peso de los cereales más utilizados en la producción de micelio.

|                      | Humedad | Proteína | Lípidos | Almidón | Otros<br>hidratos<br>de<br>carbono | Fibra<br>bruta | Minerales |
|----------------------|---------|----------|---------|---------|------------------------------------|----------------|-----------|
| Trigo                | 13.2    | 11.7     | 2.2     | 59.2    | 10.1                               | 2              | 1.5       |
| Centeno              | 13.7    | 11.6     | 1.7     | 52.4    | 16.6                               | 2.1            | 1.9       |
| Maíz                 | 12.5    | 9.2      | 3.8     | 62.6    | 8.4                                | 2.2            | 1.3       |
| Cebada               | 11.7    | 10.6     | 2.1     | 52.2    | 19.6                               | 1.6            | 2.3       |
| Avena                | 13      | 12.6     | 5.7     | 40.1    | 22.8                               | 1.6            | 2.9       |
| Arroz pulido al 0.8% | 13.1    | 7.4      | 2.4     | 70.4    | 5                                  | 0.7            | 1.2       |
| Mijo                 | 12.1    | 10.6     | 4.1     | 64.4    | 6.3                                | 1.1            | 1.6       |

Fuente: (Astiasarán-Anchía & Martínez-Hernández, 2000)

Cuando un sustrato es muy eficiente para la producción de inóculo primario, entre los quince y treinta días se puede obtener un micelio denso, con más del 90% del grano cubierto. Las observaciones microscópicas de este micelio, deben corresponder con hifas ramificadas, septadas y con fíbulas frecuentes, indicativo de que los hongos aumentaron la ramificación de sus hifas, así como la cantidad de biomasa producida. Estas observaciones se han identificado en granos de trigo (Arana-Gabriel, Burrola-Aguilar, Garibay-Orijel & Franco-Mass, 2014; Suarez-Arango & Holguín-Hernández, 2011), cebada (Del Pilar-Ríos et al., 2010) y maíz (Ríos-Ruiz, Valdéz-Nuñez & Jiménez-Flores, 2017). Esta fase de producción de semilla es la más crítica, debido a que es necesario que no se

presente contaminación que puede derivar en la disminución de la velocidad de crecimiento y /o calidad del hongo.

#### **4.2.3. Factores que afectan la producción de seta**

*Pleurotus ostreatus*, toma los nutrientes que requiere para su alimentación de los materiales en los que crece, debido a que tiene la capacidad de degradar celulosa, lignina y hemicelulosa presentes en diversos esquilmos de la producción agrícola, desechos agroindustriales o forestales (Gaitán-Hernández et al., 2006). En la selección del sustrato para producción, es importante conocer la disponibilidad y abundancia (o cercanía) del material en la región en la que se va a producir y considerar que el precio de adquisición sea bajo. El crecimiento y desarrollo de los hongos se ve afectado por distintos factores entre los que se encuentran principalmente: temperatura, pH y el sustrato utilizado (Sánchez & Royse, 2001).

#### **Temperatura**

La temperatura influye en la capacidad enzimática del organismo, así como en la fluidez de los lípidos de la membrana celular del hongo para atacar los sustratos, en general las temperaturas óptimas para la fructificación de las especies de *Pleurotus* según Chan y Miles (2004) van de 19°C a 21°C, ligeramente inferiores el crecimiento micelial (25°C – 27°C); aunque para esta última fase de desarrollo Garzón-Gómez y Cuervo-Andrade (2008) lograron un desarrollo óptimo del micelio de setas a 30 °C

Gaitán-Hernández y Silva-Huerta (2016) encontraron que con temperaturas de incubación de 20 °C en sustrato mezcla rastrojo de maíz (20%) - paja de avena (80%) la fructificación fue favorable. Por su parte, Varnero, Quiroz y Álvarez (2010), reportan temperaturas de incubación de 25°C y una vez obtenida la invasión total del micelio en los sustratos, sugieren temperaturas de 15°C y humedad relativa de 70%. para estimular la brotación. En paja de arroz como sustrato para la etapa de desarrollo de micelio, la temperatura óptima fue de 24

a 30°C con una humedad relativa de 90% (Biswas & Sanjeeb, 2013). Estos resultados indican que la temperatura óptima para el desarrollo micelial y de fructificación de *Pleurotus* puede variar en función del tipo de sustrato empleado junto con las condiciones de humedad relativa.

## **pH**

El potencial hidrógeno influye de manera directa en el metabolismo, debido a que incide sobre el carácter iónico de las membranas y la actividad de las enzimas ligadas a la pared celular. Si el potencial hidrógeno del sustrato donde crece el hongo no es adecuado, el crecimiento se verá afectado, aunque las condiciones de temperatura y humedad sean favorables (Sánchez & Royse, 2001).

El pH óptimo para el crecimiento de hongos, puede variar entre cepas y especies, para el crecimiento de *Pleurotus* sp según Chan y Miles (2004) el rango optimo se encuentra entre 5.4 a 6.5, que coincide con lo recomendado por Garzón-Gómez y Cuervo-Andrade (2008). Por su parte, Del Pilar-Ríos et al. (2010) indican que el rango de pH adecuado para crecimiento de *Pleurotus* puede variar entre 4 y 7, con un óptimo entre 5.0 y 6.0.

Sánchez y Royse (2001), mencionan que debido a que la mayoría de los sustratos agrícolas contienen microorganismos perjudiciales para el desarrollo de *Pleurotus*, es conveniente que el sustrato se encuentre en un rango de pH más elevado que el indicado como óptimo. En este contexto, Gaitán-Hernández y Silva-Huerta (2016) recomiendan rangos de pH entre 7.6 a 8.6 en sustrato mezcla rastrojo de maíz - paja de avena. Este autor también menciona que posterior a la producción del hongo, el pH puede disminuir hasta 4.8 debido a que los hongos generan ácidos orgánicos que acidifican el medio como parte de su metabolismo celular. Díaz-Godínez, Bibbins-Martínez y Díaz-Godínez (2012) explican que esta disminución de pH se debe a la secreción de enzimas, ya que *Pleurotus* sp (hongo de pudrición blanca) es productor de lacasas, enzimas, que participan en la morfogénesis (formación de esporas, de pigmentos de los cuerpos fructíferos)

de estos hongos lignocelulósicos y degradación de lignina o eliminación de fenoles tóxicos que surgen durante esta degradación.

## **Carbono**

El carbono es necesario para los hongos porque es la fuente directa de energía para su metabolismo; asimismo, es necesario para la formación de las diferentes partes y estructuras celulares. Dada la importancia que tiene para la vida de la célula, este elemento es el que requiere en mayores cantidades. El carbono puede ser utilizado por el hongo a partir de diferentes fuentes como polímeros, carbohidratos, lípidos, etc. (Sánchez & Royse, 2001).

### **➤ Polímeros**

Las especies del género *Pleurotus* son consideradas hongos de pudrición blanca selectiva que se caracterizan por degradar materiales ricos en lignina, celulosa y hemicelulosa. Estos hongos tienen la capacidad de degradar completamente la lignina aprovechándola como fuente de carbono, aunque requieren también de otras fuentes carbonatadas como la celulosa o la glucosa (Sánchez & Royse, 2017). Como referencia de este proceso, Sánchez y Royse (2001), reportan que después de la cosecha de *Pleurotus* los contenidos de lignina, celulosa y hemicelulosa pueden disminuir hasta en 70%-80%, por lo que se dice que *Pleurotus* sp puede ser cultivado prácticamente sobre cualquier sustrato lignocelulósico (García-Oduardo et al., 2011).

Poppe (2004) indica que alrededor del mundo se han reportado más de 90 diferentes sustratos para el cultivo de *Pleurotus* sp entre los que destacan: rastrojo de maíz, paja de trigo y bagazo de caña de azúcar, que de acuerdo con Ruilova Cueva y Hernández Monzón, (2014) presentan contenidos de celulosa entre 36% – 52%, hemicelulosa de 10% – 27% y lignina de 7% a 22 % (Cuadro 6), estas composiciones reúnen la energía requerida para que el hongo metabolice y forme sus estructuras celulares.

Cuadro 6. Composición de lignina, celulosa y hemicelulosa de los principales sustratos en la producción de *P. ostreatus*.

| Residuos Agrícolas  | Celulosa<br>% | Lignina<br>% | Hemicelulosa<br>% |
|---------------------|---------------|--------------|-------------------|
| Paja de Cebada      | 47.14(±1.02)  | 10.53(±0.96) | 21.35(±0.99)      |
| Paja de Trigo       | 52.11(±0.51)  | 10.65(±0.21) | 20.09(±0.31)      |
| Caña de Maíz        | 42.48(±0.24)  | 7.02(±0.04)  | 26.73(±0.3)       |
| Rastrojo de Lenteja | 40.32(±0.99)  | 16.12(±0.03) | 10.27(±2.10)      |
| Bagazo de Caña      | 44.87(±0.66)  | 14.40(±0.10) | 16.99(±0.45)      |
| Cascarilla de Arroz | 36.53(±1.69)  | 22.53(±0.30) | 18.41(±2.47)      |

Fuente: (Ruilova-Cueva & Hernández-Monzón, 2014)

### ➤ Azúcares, lípidos, nitrógeno, minerales y vitaminas

La glucosa, la manosa y la galactosa son las fuentes preferidas para la obtención de carbono por las especies de *Pleurotus* sp (Sánchez & Royse, 2011). Sin embargo, es importante considerar que el carbohidrato requerido por el hongo depende de la especie y la etapa de desarrollo del mismo, ya que la fuente de carbono que produce un crecimiento vegetativo muy alto, puede no ser la mejor para la fructificación (Chan & Miles, 2004).

Los aceites vegetales tienen un efecto positivo en el crecimiento micelial, de acuerdo con Sánchez y Royse (2017), el crecimiento aumenta conforme lo hace el número de carbonos de ácidos grasos, por lo que para promover el crecimiento es recomendable que al sustrato se le adicionen grasas insaturadas como triglicéridos y metil ésteres; específicamente el ácido linolénico es considerado el mejor lípido de este grupo para promover el crecimiento.

Las especies de *Pleurotus* sp de acuerdo con Sánchez y Royse (2017), pueden crecer y fructificar de manera adecuada en sustratos con 0.5% de nitrógeno, por lo que se ha llegado a pensar que este hongo tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico; esto debido a que la concentración de nitrógeno del cuerpo fructífero puede llegar a ser mayor que la del sustrato en el que se desarrolló, sin embargo, esto no ha sido demostrado (Sánchez & Royse, 2001).

*Pleurotus* toma del sustrato los minerales necesarios para su adecuado crecimiento (Ruilova-Cueva & Hernández-Monzón, 2014). Sánchez y Royse

(2017), indican que la presencia de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  mejora el crecimiento y si se adiciona Tiamina a una concentración óptima de 100 mg/ ninguna otra vitamina es indispensable en la producción de setas. En cuanto a los requerimientos de magnesio considera que son tan bajos que pueden ser suministrados por el sustrato. El Cuadro 7 muestra la composición de minerales presentes en algunos sustratos utilizados en la producción de *Pleurotus*.

Cuadro 7. Composición de nutrientes y micronutrientes de algunos materiales usados como sustratos para la producción de *P. ostreatus*.

| Residuos Agrícolas  | Calcio                   | Fosforo                | Magnesio               | Potasio                | Sodio                  | Fe                        | S                      | Cu                      | Zn                     | Mn    |
|---------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------|
|                     | ----- % -----            |                        |                        |                        |                        | ----- ppm -----           |                        |                         |                        |       |
| Paja de cebada      | 0.29<br>( $\pm 0.03^2$ ) | 0.14<br>( $\pm 0.02$ ) | 0.06                   | 2.96<br>( $\pm 0.65$ ) | 0.07<br>( $\pm 0.01$ ) | 461.44<br>( $\pm 10.26$ ) | 0.08<br>( $\pm 0.01$ ) | 6.47<br>( $\pm 0.14$ )  | 22.1<br>( $\pm 0.78$ ) | 59    |
| Paja de trigo       | 0.14<br>( $\pm 0.06$ )   | 0.03                   | 0.03<br>( $\pm 0.01$ ) | 0.92<br>( $\pm 0.04$ ) | 0.03<br>( $\pm 0.01$ ) | 416.89<br>( $\pm 0.939$ ) | 0.04                   | 12.55<br>( $\pm 0.53$ ) | 17.9<br>( $\pm 0.78$ ) | 63.4  |
| Caña de maíz        | 0.23<br>( $\pm 0.05$ )   | 0.04                   | 0.15<br>( $\pm 0.03$ ) | 1.88<br>( $\pm 0.20$ ) | 0.04                   | 186.3<br>( $\pm 2.649$ )  | 0.05                   | 7.55<br>( $\pm 0.53$ )  | 12.3<br>( $\pm 0.70$ ) | 126.4 |
| Rastrojo de lenteja | 0.29                     | 0.05                   | 0.22<br>( $\pm 0.01$ ) | 0.99                   | 0.03                   | 185<br>( $\pm 1$ )        | 0.02                   | 6.9<br>( $\pm 0.10$ )   | 7.9<br>( $\pm 0.10$ )  | 98    |
| Bagazo de caña      | 0.12<br>( $\pm 0.01$ )   | 0.04<br>( $\pm 0.01$ ) | 0.1<br>( $\pm 0.01$ )  | 0.07<br>( $\pm 0.01$ ) | 0.04<br>( $\pm 0.01$ ) | 188.67<br>( $\pm 0.58$ )  | 0.02                   | 23.66<br>( $\pm 0.57$ ) | 69.7<br>( $\pm 0.57$ ) | 123   |
| Cascarilla de arroz | 0.06                     | 0.07                   | 0.06<br>( $\pm 0.01$ ) | 0.11                   | 0.04<br>( $\pm 0.01$ ) | 135<br>( $\pm 1$ )        | 0.05<br>( $\pm 0.01$ ) | 6.66<br>( $\pm 0.57$ )  | 10.7<br>( $\pm 0.58$ ) | 98    |

<sup>2</sup>Desviación estándar Fuente; (Ruilova-Cueva & Hernández-Monzón, 2014)

### ➤ Relación C/N:

La relación C/N en la que puede crecer *Pleurotus* sp se encuentra en un rango entre 30 y 300 sin embargo, el óptimo de C/N en el sustrato depende de la fase de desarrollo en la que se encuentra el hongo (Ruilova-Cueva & Hernández-Monzón, 2014). Altas relaciones C/N favorecen el crecimiento micelial, en tanto que bajas relaciones favorecen el desarrollo de cuerpos fructíferos (Garzón-Gómez & Cuervo-Andrade, 2008). En este contexto Gaitán-Hernández, Salmones, Pérez-Merlo y Mata (2009) indica que una baja relación C/N en el sustrato va influir de manera negativa durante la etapa de crecimiento micelial, ya que estos elementos, en la proporción adecuada, son los que más utiliza el hongo en su metabolismo inicial de desarrollo para la formación de nuevas

células. Yehia (2012) indica que las diferencias en el contenido de proteínas de las setas producidas dependen de la relación C/N del sustrato en el que se cultivó (Cuadro 8).

Cuadro 8. Composición química de algunos sustratos usados en la producción de *P. ostreatus*.

| Residuos Agrícolas  | Nitrógeno<br>%     | Carbono<br>%         | Relación C/N         | Extracto<br>Etéreo<br>% |
|---------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| Paja de cebada      | 0.84               | 52.35 ( $\pm 0.03$ ) | 119                  | 1.27( $\pm 0.10$ )      |
| Paja de trigo       | 0.46( $\pm 0.05$ ) | 51.64 ( $\pm 0.04$ ) | 112.26               | 1.34( $\pm 0.46$ )      |
| Caña de maíz        | 0.38( $\pm 0.04$ ) | 54.54                | 143.5                | 1.15( $\pm 0.09$ )      |
| Rastrojo de lenteja | 1.29( $\pm 0.01$ ) | 54.85                | 42.68 ( $\pm 0.30$ ) | 1.07( $\pm 0.03$ )      |
| Bagazo de caña      | 1.1                | 56.55 ( $\pm 0.09$ ) | 40.13 ( $\pm 0.08$ ) | 0.67( $\pm 0.01$ )      |
| Cascarilla de arroz | 0.77               | 50.12 ( $\pm 0.04$ ) | 64.73 ( $\pm 0.46$ ) | 0.3                     |

Fuente: Elaboración propia con datos de Ruilova-Cueva & Hernández-Monzón (2014)

### Humedad en el sustrato

El contenido de humedad influye directamente sobre el desarrollo de los hongos afectando la disponibilidad de nutrientes. Sánchez y Royse (2001), indican que contenidos de humedad inferiores al 50% no son adecuados y una humedad superior al 80% tendrá un efecto negativo en el crecimiento de *Pleurotus* sp. Garzón-Gómez y Cuervo-Andrade (2008) encontraron que el contenido óptimo de humedad no sólo depende de la especie del hongo sino también del sustrato seleccionado, ya que cada sustrato posee características particulares de capacidad de retención de agua, por lo que la humedad óptima estará condicionada por esta característica.

El contenido de humedad también afecta la disponibilidad de nutrientes y de oxígeno en el sustrato. Un nivel excesivo de humedad se vuelve una limitante para la respiración del hongo, la humedad adecuada favorece la fructificación que suele darse en condiciones con 20% de oxígeno y una concentración de CO<sub>2</sub> no mayor de 800 ppm en el ambiente que circunda al hongo (Garzón-Gómez & Cuervo-Andrade, 2008).

## **Humedad relativa, tamaño de partícula y aireación**

Este es un factor de suma importancia para la fructificación de las especies de *Pleurotus*, debido a que los cuerpos fructíferos están formados por un alto contenido de agua, sin embargo, su estructura no les permite retener la humedad. Por esta razón, Sánchez y Royse (2001), señalan que la humedad relativa del ambiente donde crece el hongo debe ser suficiente para evitar que tanto el sustrato como los cuerpos fructíferos se deshidraten. Del Pilar-Ríos et al. (2010) recomiendan que los contenidos de humedad relativa oscilen entre 90 y 95%. En tanto que Garzón-Gómez y Cuervo-Andrade (2008) aseguran que la humedad relativa óptima para la fructificación de *P. ostreatus* oscila entre 85 a 90%.

El tamaño de partícula está estrechamente relacionado con la disponibilidad de nutrientes ya que, si ésta es muy grande, se dificulta la compactación del sustrato, pero, si es muy pequeño, dificulta la aireación (Sánchez & Royse, 2001). Los tamaños ideales que se han recomendado para el cultivo de hongos están entre 2 y 3 cm, sin embargo, autores como Del Pilar-Ríos et al. (2010) recomiendan que para el crecimiento y la fructificación se encuentren entre 2 y 5 cm, en tanto que Sánchez (2010) lo amplía hasta 6 cm. Gaitán-Hernández y Silva-Huerta (2016) encontraron que cuando se utiliza rastrojo de maíz y paja de avena los tamaños de partícula más recomendables van de 2 a 3 cm de longitud, pero, en caña de maíz y bagazo de caña de azúcar los más apropiados son de 6 a 8 cm (Garzón-Gómez & Cuervo-Andrade, 2008).

El oxígeno es un elemento de gran importancia para el crecimiento de los basidiomicetos porque son organismos aerobios. Para el caso de *Pleurotus* sp, se ha notado que la concentración alta en CO<sub>2</sub> estimula la germinación de las esporas y el crecimiento micelial, pero inhibe la fructificación (Sánchez & Royse, 2001).



Con base en estos resultados, puede considerarse que el tamaño de partícula del sustrato para el óptimo crecimiento del hongo está interrelacionado con el factor composición, humedad y aireación del sustrato.

#### 4.2.4. Otros residuos usados en la producción de *Pleurotus* sp

Frecuentemente en la producción de *Pleurotus* se utiliza como sustrato restos de materiales destinados al aprovechamiento industrial como algodón, colza, o girasol, etc. o bien, residuos obtenidos de algunos frutos (raspón de frutos, hojas plataneras, etc.), estos materiales, presentan contenidos de nitrógeno ligeramente superiores que las pajas usadas como sustrato como se indica en el Cuadro 9 (Sánchez & Royse, 2001).

Cuadro 9. Composición química expresado en porcentajes en base seca de restos de cultivo para uso industrial.

| Material                    | Paja de soya | Paja de lino | Paja de algodón | Hojas de plátano | Tallos de girasol | Raspón de uva |
|-----------------------------|--------------|--------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------|
| Materia orgánica            | 94.3         | 92.4         | 95.5            | 92.4             | 92.4              | 93.2          |
| Nitrógeno total             | 0.72         | 1.24         | 1.01            | 2.37             | 0.41              | 1.03          |
| Grasa bruta                 | 1.2          | 3.5          | 1               | 3.1              | 0.6               | 0.7           |
| Fibra bruta                 | 46.3         | 45.8         | 47.6            | 21.4             | 49.2              | 32.1          |
| Extracto libre de nitrógeno | 42.2         | 35.5         | 40.6            | 53.1             | 40                | 53.9          |
| Cenizas                     | 5.7          | 7.6          | 4.5             | 7.6              | 7.6               | 6.8           |
| Relación C/N                | 76           | 43.2         | 54.8            | 22.6             | 130               | 52.5          |

Fuente: Elaboración propia con datos de Sánchez y Royse (2001)

Otro grupo de residuos de interés para el cultivo de *Pleurotus*, lo constituyen los subproductos derivados de algunas industrias oleaginosas, destilerías, azucareras, etc., este grupo de residuos presenta contenidos de nitrógeno que fluctúa entre 1-2 % base seca. Estos materiales funcionan adecuadamente como sustratos para el desarrollo de micelio (cuando se trabaja en frascos pequeños) debido a su contenido moderado de grasa como se indica en el Cuadro 10 (Sánchez & Royse, 2001).

Cuadro 10. Composición química en base seca de residuos agroindustriales expresado en porcentaje.

| Material         | Bagazo de caña de azúcar | Residuo de algodón | Cáscara de girasol | Cascarilla de arroz | Orujo de uva |
|------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------|
| Materia Orgánica | 97.5                     | 86.9               | 96.1               | 82.5                | 93.2         |
| Nitrógeno Total  | 0.18                     | 1.29               | 0.96               | 0.63                | 1.93         |
| Grasa Bruta      | 0.4                      | 1.5                | 3.4                | 1.3                 | 4.9          |
| Fibra Bruta      | 51.9                     | 52.8               | 53.4               | 48.1                | 26.7         |
| Extracto Libre   |                          |                    |                    |                     |              |
| De Nitrógeno     | 44                       | 24.5               | 33.3               | 29.2                | 49.5         |
| Cenizas          | 2.5                      | 13.1               | 3.9                | 17.5                | 6.8          |
| Relación C/N     | 314.2                    | 39.1               | 58                 | 75.9                | 28           |

Fuente: Elaboración propia con datos de Sánchez y Royse (2001)

#### 4.2.5. Características del sustrato remanente de la producción de *Pleurotus*

El cultivo de hongos comestibles es uno de los procesos económicamente más viables en la bioconversión de residuos lignocelulósicos ya que no se generan residuos durante su proceso de producción por lo que Chang (2007) sustenta este proceso productivo bajo el principio ZERI (investigación e iniciativas de cero emisiones). Incluso después de la cosecha de setas, se puede utilizar el sustrato residual para la producción de lombrices y para en la alimentación de animales. En este contexto, Sánchez (2010), refiere que adicionar paja de maíz al sustrato residual resulta beneficioso en la dieta de ovejas, ya que además de aumentar la ganancia en peso aumenta la eficiencia de conversión de la paja. Numerosos autores también recomiendan que el sustrato residual sea composteado y aprovechado para la producción de plantas y hortalizas, así como en la fertilización de cultivos y reiteran el beneficio directo en la conservación y mejora de la calidad de suelos (Chang, 2007; Gaytán-Hernández et al., 2006; Sánchez, 2010; Varnero et al., 2010; Velasco & Vargas, 2004).

## 5. LITERATURA CITADA

- Arana-Gabriel, Y., Burrola-Aguilar, C., Garibay-Orijel, R., & Franco-Mass, S. (2014). Obtención de cepas y producción de inóculo de cinco especies de hongos silvestres comestibles de alta montaña en el centro de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 213-226.
- Astiasarán-Anchía, I., & Martínez-Hernández, J. A. (2000). *Alimentos: composición y propiedades*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- Biswas, M. k., & Sanjeeb, K. (2013). Yield performance of different species of oyster Mushroom ( *Pleurotus* spp) under the Agro-ecological Condition of Lateritic Zone of West Bengal, India. *International journal of Bio-resource and Stress Management*, 43-46.
- Chang. (2007). "Mushroom cultivation using the "ZERI" principle: potential for application in Brazil. *Micología aplicada*, 33-34.
- Chang, S.-T., & Miles, P. G. (2004). *Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. Boca Ratón, Estados Unidos: CRC PRESS.
- Del Pilar-Ríos, M., Hoyos, J. L., & Mosquera, S. A. (2010). Evaluación de los parámetros productivos de la semilla de *Pleurotus ostreatus* propagada en diferentes medios de cultivo. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 86-94.
- Díaz-Godínez, G., Bibbins-Martínez, M. D., & Díaz-Godínez, R. (2012). ) efecto del pH inicial de desarrollo de *Pleurotus ostreatus* en fermentación sumergida sobre su actividad de lacasas. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias en biotecnología aplicada. *Tesis de Maestría*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Flores Montes De Oca, A., & Contreras Trujano, M. (2012). Manual de cultivo de Hongo seta (*Pleurotus ostreatus*) de forma artesanal. Distrito Federal, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gaitán-Hernández, R., Salmenes, D., Pérez-Merlo, R., & Mata, G. (2006). Manual práctico del cultivo de setas: Aislamiento, siembra y producción. Xalapa, Veracruz, México: Instituto de Ecología A.C.,.
- Gaitán-Hernández, R., Salmenes, D., Pérez-Merlo, R., & Mata, G. (2009). Evaluación de la eficiencia biológica de cepas de *Pleurotus pulmonarius* en paja de cebada fermentada. *Revista Mexicana de Micología*, 63-71.
- Gaitán-Hernández, R., & Silva-Huerta, A. (2016). Aprovechamiento de residuos agrícolas locales para la producción de *Pleurotus* spp., en una comunidad rural de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Micología*, 43-47.

- García-Oduardo, N., Bermúdez-Savón, R. C., & Serrano-Alberni, M. (2011). Formulaciones de sustratos en la producción de setas comestibles *Pleurotus*. *Tecnología química*, 272-282.
- García-Herrera, E. J., Méndez Gallegos, S., & Talavera-Magaña, D. (2010). Problemática de la producción de tuna centro de México: caso San Luis Potosí y Zacatecas. *Producción y aprovechamiento del nopal y el maguey. Memorias IX Simposio-Taller Nacional y II.* , San Luis Potosí, México: Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí.
- Garzón-Gómez, J. P., & Cuervo-Andrade, J. L. (2008). Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos linocelulósicos dediferente procedencia. *Ciencias Biomedicas*, 101-236.
- Martínez, J. A., Szeto, P. L., & Stewart, T. M. (2017). he Relationship Between Structural Parameters and Mechanical Properties of Cactus Spines. *Tesis de Licenciatura*. San Luis Obispo: Facultad del Departamento de Ingeniería de Materiales.Universidad Estatal Politécnica de California.
- Méndez Gallegos, S. D., & García Herrera, J. (2006). La tuna: Producción y diversidad. *CONABIO, Biodiversistas*, 1-5.
- Nieto, I. J., & Chegwin , A. C. (2010). Influencia del sustrato utilizado para el. *Revista colombiana Biotecnológica*, 169-178.
- NMX-FF-030-2006. (2006). *NMX-FF-030-2006. Productos alimenticios no industrializados para uso humano. Fruta fresca. Tuna. (Opuntia spp) Especificaciones*. Obtenido de Diario Oficial, Secretaria del Trabajo y previsión social : <http://dof.gob.mx/pop.php> Catálogo de Normas <http://www.economia-nmx.gob.mx/-COFEMER>:
- Poppe, J. (2004). Agricultural wastes as substrates for oyster mushroom. En *Mushroom Growers Handbook* (págs. 80-99).
- Ríos-Ruiz, W. F., Valdez-Nuñez, R. A., & Jiménez-Flores, J. P. (2017). Aislamiento, propagación y crecimiento de hongos comestibles. *Scientia Agropecuaria*, 327 – 335.
- Ruilova-Cueva, M. B., & Hernández-Monzón, A. (2014). Evaluación de residuos agrícolas para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 54-59.
- Sánchez, C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and otheredible mushrooms. *Applied Microbiol Biotechnol*,, 1321-1337.
- Sánchez, J. E., & Royse, D. J. (2001). *La Biología y el cultivo de Pleurotus spp*. México: Limusa.

- Sánchez, J. E., & Royse, D. J. (2017). *La biología, el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas Pleurotus spp.* San Cristóbal de las Casas.: Uteha-Ecosur.
- SIAP. (2019). *Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Obtenido de <https://www.gob.mx/siap>
- Suarez-Arango, C., & Holguín-Hernández, M. S. (2011). Evaluación de medios de cultivo sintéticos y cereales para la producción de semillas de setas comestibles. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 130-140.
- Sumaya-Martínez, M. T., Suárez, D. T., Cruz, C. N., Alanís, G. E., & Sampedro, J. G. (2010). innovación de productos de alto valor agregado a partir de la Tuna Mexicana. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 435-441.
- Ulloa-Leitón, A. (febrero de 2020). Manejo integral de las glóquidas del nopal tunero. *Tesis de maestría*. Estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Varnero, M. M., Quiroz, E. M., & Álvarez, C. H. (2010). Utilización de residuos forestales lignocelulósicos para producción del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). *Información Tecnológica*, 13-20.
- Velasco, V. J., & Vargas, D. B. (2004). Cultivo del Hongo Seta (*Pleurotus ostreatus*). *Manual de Producción*. Montecillo, México: Colegio de Postgraduados.
- Yehia, R. S. (2012). Nutritional Value and Biomass Yield of the Edible Mushroom *Pleurotus ostreatus* Cultivated On Different Wastes In Egypt. *Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Universidad del Cairo*, 9-14.

## 6. ARTÍCULO I

### USO POTENCIAL DE LAS GLÓQUIDAS DE TUNA COMO SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE MICELIO DE *Pleurotus* sp

#### POTENTIAL USE OF TUNA GLOCHIDS AS A SUBSTRATE FOR THE PRODUCTION OF MYCELIUM *Pleutorus* sp

De Jesús-Rivera L., Álvarez-Sánchez M. E., Ramírez-Pérez F., Bandala V. M.,  
Maldonado-Torres R.

##### 6.1. Resumen

Se valoró a las glóquidas de frutos de tuna como componente mejorador de sustrato para la producción de micelio de *Pleurotus* sp a través de indicadores de colonización macroscópica y caracterización del micelio a nivel estereoscópico. Se utilizaron glóquidas de tuna del ciclo de producción 2018 de San Felipe Teotitlán, Nopaltepec, México. Micelio (F2) procedente de la colección de cepas del INECOL, se integró con mezclas en diferentes proporciones (% en peso) de granos de sorgo (S) y glóquidas molidas (EM) o enteras (EE) de acuerdo con los siguientes tratamientos: Testigo, 90S-10EM, 80S-20EM, 70S-30EM, 90S-10EE, 80S-20EE y 70S-30EE. Las unidades experimentales se incubaron a 25° C por 11 días. El grado de invasión se evaluó con base en: tipo de crecimiento, textura, color, micelio aéreo y densidad, a través de escala hedónica por variable. Los resultados se procesaron con pruebas no paramétricas de análisis de medias y contrastes con un nivel de confianza del 95%. Una colonización completa y homogénea con micelio de muy denso a denso se apreció en los seis tratamientos con glóquida molida o entera, lo cual indicó que la disponibilidad de nutrientes fue adecuada para promover la ramificación de hifas y biomasa. Los mejores tratamientos en cuanto a crecimiento homogéneo y muy alta densidad correspondieron a las mezclas 90S-10EM y 80S-20 EE. La prueba de contrastes indicó que la textura y el color mejoraron significativamente en el tratamiento con mayor proporción de glóquidas enteras (70S-30EE); en tanto que el tipo de crecimiento y la presencia de micelio aéreo se favorecieron con la mayor proporción de glóquidas molidas(70S-30EM).

**Palabras clave:** glóquidas, micelio, grado de invasión, caracterización de micelio

## 6.2. Abstract

Tuna fruit glochids were evaluated as substrate improving component for *Pleurotus* sp mycelium production through macroscopic colonization indicators and mycelium characterization at stereoscopic level. Tuna glochids from the 2018 production cycle from San Felipe Teotitlán, Nopaltepec, Mexico were used. Mycelium (F2) from INECOL's strain collection was integrated with mixtures in different proportions (% in weight) of sorghum grains (S) and ground (EM) or whole (EE) glochids according to the following treatments: Control, 90S-10EM, 80S-20EM, 70S-30EM, 90S-10EE, 80S-20EE and 70S-30EE. The experimental units were incubated at 25° C for 11 days. The degree of invasion was evaluated based on: type of growth, texture, color, air mycelium and density, through hedonic scale by variable. The results were processed with non-parametric tests of mean and contrast analysis with a 95% confidence level. A complete and homogeneous colonization with mycelium from very dense to dense was observed in the six treatments with ground or whole spine, which indicated that the availability of nutrients was adequate to promote the branching of hyphae and biomass. The best treatments in terms of homogeneous growth and very high density corresponded to the mixtures 90S-10EM and 80S-20 EE. The contrast test indicated that texture and color improved significantly in the treatment with the highest proportion of whole glochids (70S-30EE); while the growing type and the presence of aerial mycelium were favored with the highest proportion of ground glochids (70S-30EM).

**Keywords:** glochids, mycelium, degree of invasion, mycelium characterization.

### 6.3. Introducción

La tuna de *Opuntia albicarpa* Scheinvar es utilizada en la obtención de una amplia variedad de productos. Dentro del proceso de beneficiado de la tuna se produce una gran cantidad de glóquidas conocidas como “ahuates”, que de acuerdo con Ulloa-Leitón (2020), por cada tonelada de tuna limpia se generan 65 kg de ahuates, material carente de utilidad para los productores y dado su difícil manejo, su resistencia a la degradación natural, incluso la quema, se desecha en bolsas plásticas en los tiraderos, generando un problema de contaminación ambiental. Los estudios de este subproducto indican que su resistencia a la descomposición microbiana se debe a su alto contenido de celulosa (41.14 %), hemicelulosa (41.21 %) y lignina (5.27 %) en estado cristalizado (Ulloa-Leitón, 2020). Algunos autores mencionan que este tipo de estructuras pueden debilitarse por acción de hongos como *Pleurotus ostreatus*, ampliamente conocido por su capacidad de convertir desechos agrícolas lignocelulósicos en alimentos (Nieto & Chegwin, 2010). De hecho, la producción de *Pleurotus ostreatus* (hongos setas) se sustenta en aprovechar residuos agrícolas lignocelulósicos como sustrato para producir alimento de alta calidad proteica valorada en 30% a 40% dependiendo de la especie y las características del sustrato (Velasco & Vargas, 2004; García-Oduardo et al., 2011).

La propagación y cultivo de *Pleurotus* sp requiere de un inóculo desarrollado principalmente en granos de cereales. Entre los sustratos más utilizados para la obtención de micelio destacan granos de sorgo, trigo, mijo, maíz y cebada, los cuales presentan contenidos de celulosa entre el 23% y 35%, hemicelulosa de 26% a 67% y lignina entre 0.1% y 21% (Chuck-Hernández et al., 2011; Wilson & Godiño, 2000). Este sustrato debe suministrar carbono (a partir de celulosa, hemicelulosa y lignina), nitrógeno y compuestos inorgánicos como fuentes nutritivas; un tamaño de partícula que permita el manejo adecuado de la humedad y el oxígeno (Del Pilar-Ríos et al., 2010). Estas últimas condiciones podrían ser cubiertas con las glóquidas de tuna, debido a que su conformación y



tamaño puede generar mayor superficie de contacto, cualidad indispensable para el desarrollo del inóculo primario (Harris, 2008: Jennings & Lysek, 1999).

De acuerdo con Suárez-Arango (2010) cuando el sustrato proporciona las condiciones adecuadas, el micelio se desarrolla de forma densa homogénea y con micelio en poco tiempo (aproximadamente dos semanas). Pérez-Roldán (2006) indica que *Pleurotus* sp desarrolla micelio blanco con textura algodonosa, densidad regular y micelio aéreo presente, que al evaluarse microscópicamente muestra hifas muy ramificadas, con paredes generalmente delgadas y presencia de fíbulas.

Con base en lo anterior la presente investigación tuvo como objetivo a) valorar las glóquidas de tuna como componente mejorador de sustrato para la producción de micelio de *Pleurotus* sp a través de indicadores de colonización macroscópica y características del micelio a nivel estereoscópico.

Esta investigación es importante porque contribuye a generar valor agregado a un subproducto del sistema de producción tunero que en la actualidad sólo es un desecho de difícil manejo con impacto ambiental negativo en las zonas de cultivo.

## **6.4. Materiales y Métodos**

### **6.4.1. Características de las glóquidas**

Se utilizaron glóquidas de tuna obtenidas del ciclo de producción 2018, del poblado de San Felipe Teotitlán, Municipio de Nopaltepec, Estado de México. De acuerdo con Ulloa-Leitón (2020), las glóquidas contienen 41% ( $\pm 0.2$ ) de celulosa, 41 % ( $\pm 0.2$ ) de hemicelulosa y 5.27% ( $\pm 0.2$ ) de lignina, miden 1667  $\mu\text{m}$  ( $\pm 292$ ) de largo y 67.3  $\mu\text{m}$  ( $\pm 9.56$ ) de diámetro, con densidad de 0.1574 g mL<sup>-1</sup>.

El micelio (F2) de la colección de cepas del INECOL, se sembró en mezclas de granos de sorgo (S) y glóquidas molidas (EM) o enteras (EE), de acuerdo con los tratamientos indicados en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Proporciones en peso de los materiales utilizados en la preparación del sustrato por tratamiento

| Tratamiento                         | Sorgo       | Glóquidas Molidas | Glóquidas Enteras |
|-------------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|
|                                     | -----%----- |                   |                   |
| Testigo                             | 100         | 0                 | 0                 |
| 90S <sup>z</sup> -10EM <sup>y</sup> | 90          | 10                | 0                 |
| 80S-20EM                            | 80          | 20                | 0                 |
| 70S-30EM                            | 70          | 30                | 0                 |
| 90S-10EE <sup>x</sup>               | 40          | 0                 | 10                |
| 80S-20EE                            | 30          | 0                 | 20                |
| 70S-30EE                            | 20          | 0                 | 30                |

<sup>z</sup>: sorgo, <sup>y</sup>: glóquida molida, <sup>x</sup>: glóquida entera

Previo a la preparación de los tratamientos, se limpió el material, retirando las basuras grandes. El sorgo se lavó con agua corriente por inmersión, para eliminar impurezas y granos rotos, se escurrió y secó durante 12 horas extendiendo el material sobre papel absorbente. Posteriormente, se prepararon los tratamientos indicados.

Las muestras de cada unidad experimental se colocaron en frascos con capacidad de 200 y 450 mL para glóquida molida y entera, respectivamente. Una vez realizadas las mezclas, se registraron los pesos secos de cada unidad experimental, se taparon y homogeneizaron; Posteriormente, se les adicionó hasta saturación una solución alcalina compuesta por hidróxido de calcio comercial Ca (OH)<sub>2</sub> al 1.8 % y bicarbonato de sodio comercial (NaHCO<sub>3</sub>) al 1%; permaneciendo en esta condición por 12 horas aquéllas con glóquida molida y por 24 horas los de glóquida entera, debido a que ésta lleva más tiempo para su hidratación (Figura 2).

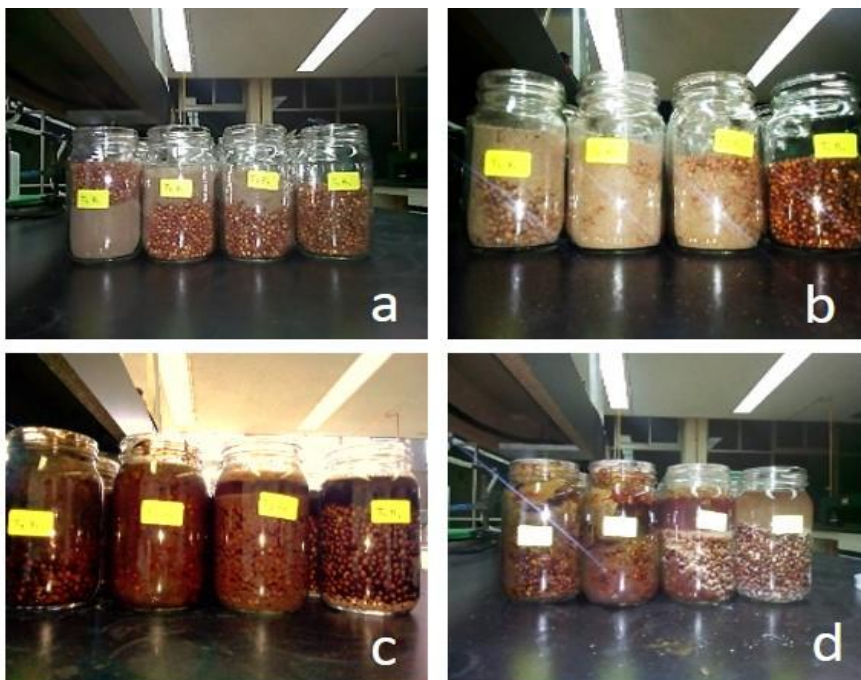


Figura 2. Unidad experimental; a) Pesado, b) Homogeneizado, c) Saturación con solución alcalina, d) Tiempo de reposo.

Una vez concluida la hidratación, las muestras se filtraron con cedazo de organza, se pesaron y colocaron nuevamente en su frasco (previamente lavado con jabón), finalmente, se les colocó una tapa de papel aluminio (Figura 3).



Figura 3. a) filtrado de muestras, b) muestra filtrada.

Las unidades se esterilizaron en olla de presión a 20 libras durante 20 minutos, se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente y en campana de flujo laminar se inocularon con 3 g del micelio de *Pleurotus* sp. Se incubaron a 25° C, por 11 días, tiempo en el cual alcanzaron el 100% de colonización. En este periodo, cada tres días se homogeneizaban las muestras (Figura 4).

Previo a la siembra del micelio, se registró el peso en húmedo de cada unidad experimental para valorar éste parámetro en la mezcla de sustrato.



Figura 4. a y b) Muestras en incubación, c y d) Muestras colonizadas

#### 6.4.2. Variables evaluadas

El grado de invasión del micelio se evaluó con base en: tipo de crecimiento, textura, color, micelio aéreo y densidad, para lo cual se construyó una escala hedónica por variable (Cuadro 12), de acuerdo con la propuesta por Rodríguez-Macías (1996) modificada para los fines de este experimento (Figura 5).

Cuadro 12. Parámetros de escala hedónica.

| Tipo de crecimiento | Textura           | Color           | Micelio aéreo | Densidad (Patrón de desarrollo) |
|---------------------|-------------------|-----------------|---------------|---------------------------------|
| 1 = Homogéneo       | 1 = Algodonosa    | 1 = Blanco      | 1 = Regular   | 1 = Muy alta                    |
| 2 = Irregular       | 2 = Abortada      | 2 = Blanquecino | 2 = Escaso    | 2 = Alta                        |
| 3 = Ralo            | 3 = Venosa        | 3 = Amarillento | 3 = Ausente   | 3 = Mediana                     |
| 4 = Con anillos     | 4 = Aterciopelada |                 |               | 4 = Baja                        |
|                     | 5 = Cerosa        |                 |               |                                 |

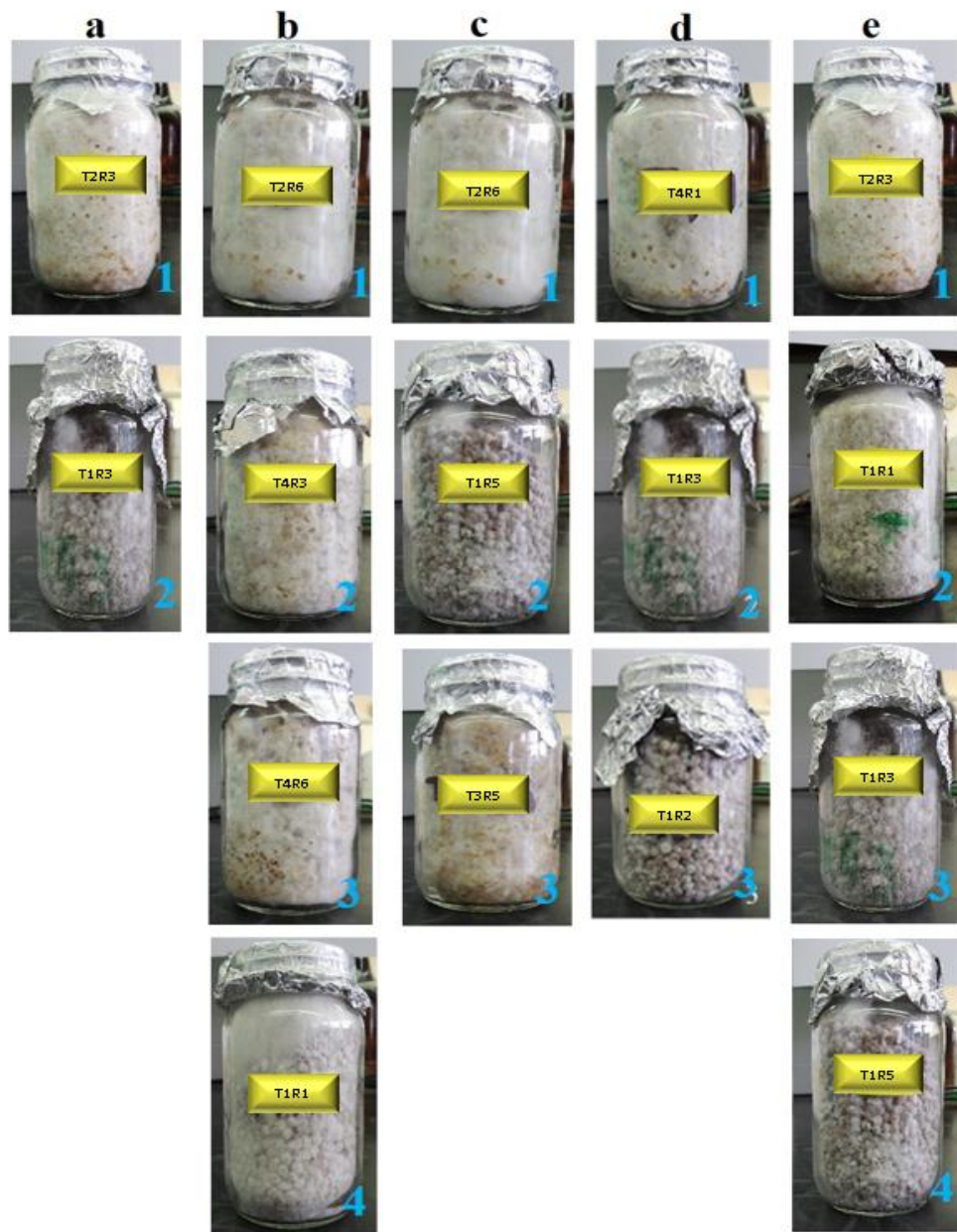


Figura 5. Parámetros evaluados. a) Tipo de crecimiento, b) Textura, c) Color, d) Micelio aéreo, e) Densidad del micelio.



Desde el punto de vista del crecimiento ideal del micelio de *Pleurotus* en los sustratos, la valoración del parámetro *tipo de crecimiento*, éste deber tender a la homogeneidad, la *textura* debe ser algodonosa; el *color* preferentemente blanco, con presencia de *micelio aéreo* y *densidad del micelio* de alta a muy alta.

Con el objetivo de confirmar que el micelio se desarrolló en las glóquidas de tuna en las diferentes mezclas, se tomaron muestras de los mejores tratamientos y se realizaron observaciones en estereoscopio.

Las variables evaluadas se procesaron con pruebas no paramétricas de análisis de medias y contrastes en el paquete Estadístico Statistical Analysis Software (SAS) con número de licencia 70074773 con un nivel de confianza del 95%.

## 6.5. Resultados y Discusión

### 6.5.1. Grado de invasión del micelio

El análisis de varianza de las características evaluadas con escala hedónica indicó que al menos dos tratamientos fueron significativamente distintos en cada una de las variables (Cuadro 13).

Cuadro 13. Comparación de medias de los parámetros de grado de invasión evaluados, obtenidas por escala hedónica.

| Tratamiento                        | Tipo de crecimiento | Textura              | Color                | Micelio aéreo       | Densidad             |
|------------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| Testigo1                           | 31.00 <sup>a</sup>  | 25.75 <sup>ab</sup>  | 15.75 <sup>cd</sup>  | 20.33 <sup>bc</sup> | 30.33 <sup>a</sup>   |
| 90S <sup>Z</sup> 10EM <sup>Y</sup> | 15.50 <sup>b</sup>  | 33.42 <sup>a</sup>   | 24.67 <sup>abc</sup> | 8.83 <sup>d</sup>   | 10.58 <sup>c</sup>   |
| 80S-20EM                           | 23.83 <sup>ab</sup> | 20.75 <sup>bc</sup>  | 30.17 <sup>ab</sup>  | 13.17 <sup>cd</sup> | 19.17 <sup>abc</sup> |
| 70S-30EM                           | 15.33 <sup>b</sup>  | 25.00 <sup>ab</sup>  | 31.58 <sup>a</sup>   | 14.5 <sup>cd</sup>  | 26.92 <sup>a</sup>   |
| 90S-10EE <sup>X</sup>              | 28.18 <sup>a</sup>  | 21.67 <sup>abc</sup> | 20.83 <sup>abc</sup> | 34.33 <sup>a</sup>  | 25.83 <sup>a</sup>   |
| 80S-20EE                           | 13.18 <sup>b</sup>  | 11.83 <sup>c</sup>   | 8.17 <sup>d</sup>    | 28.17 <sup>ab</sup> | 13.08 <sup>bc</sup>  |
| 70S-30EE                           | 23.50 <sup>ab</sup> | 12.08 <sup>c</sup>   | 19.33 <sup>bcd</sup> | 31.17 <sup>a</sup>  | 24.58 <sup>ab</sup>  |
| Pr > F                             | 0.0360*             | 0.0109*              | 0.0033**             | <.0001**            | 0.0204*              |
| Dms <sup>W</sup>                   | 12.39               | 12.14                | 11.65                | 9.75                | 12.48                |

<sup>Z</sup>: sorgo, <sup>Y</sup>: glóquida molida, <sup>X</sup>: glóquida entera, <sup>W</sup> Diferencia mínima significativa. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa con un nivel de confianza del 95%

Con base en las variables evaluadas, a los 11 días de inoculación de los sustratos con *Pleurotus* sp, los tratamientos 90S-10EM y 80S-20EE presentaron características cercanas a las ideales esperadas en el desarrollo del micelio y superiores al testigo. El tratamiento 90S-10EM presentó crecimiento homogéneo, textura aterciopelada, color amarillento, micelio aéreo presente y muy alta densidad; en 80S-20EE el crecimiento fue homogéneo, textura algodonosa, color blanco, y muy alta densidad, aunque sin presencia de micelio aéreo.

Los tratamientos restantes en glóquida molida (EM) y entera (EE), alcanzaron la colonización completa y homogénea a los 11 días, obteniendo una calidad cercana a la ideal en atributos como tipo de crecimiento, textura y densidad, incluso mejor que el testigo. De acuerdo con Arana-Gabriel et al. (2014) cuando las condiciones nutricionales del sustrato son favorables, se favorece la ramificación de las hifas, así como la cantidad de biomasa producida; en consecuencia, los resultados del experimento muestran que las glóquidas contribuyen a mejorar las condiciones del sustrato tradicional para el desarrollo del micelio de *Pleurotus*.

De forma cualitativa, en los seis tratamientos con glóquidas, se apreció una colonización completa y homogénea con micelio de muy denso a denso (Figura 6), que de acuerdo con Prosser & Tough (1991), indica que la disponibilidad de nutrientes fue adecuada para promover una mayor ramificación de hifas y biomasa.

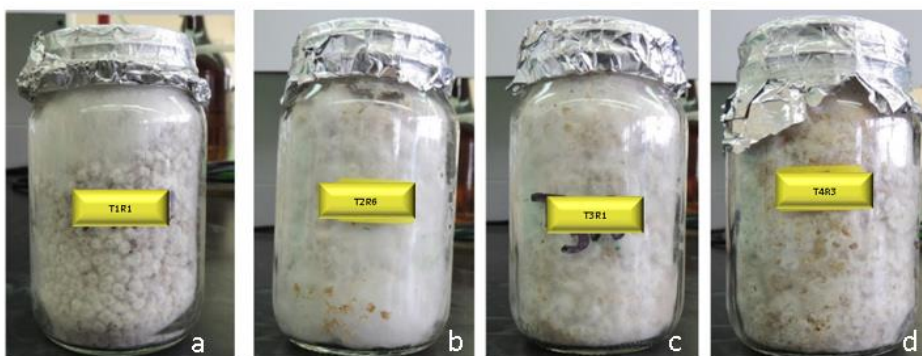


Figura 6. Grado de colonización del micelio a los 11 días de incubación. a) Testigo, b) 90S-10EM, c) 80S-20EM, d) 70S-30EM

La textura del micelio fue de algodonosa a aterciopelada, que de acuerdo con López-Ramírez (2014) este tipo de textura se alcanza cuando las hifas están bien ramificadas y compactas. El color del micelio fue de amarillento a blanquecino, el color amarillento puede deberse a que algunas glóquidas se adhieren a las paredes del frasco y evidencian la pigmentación de las glóquidas, ya que al hidratarse desprenden colores que van del amarillo a rosa intenso (Figura 7).

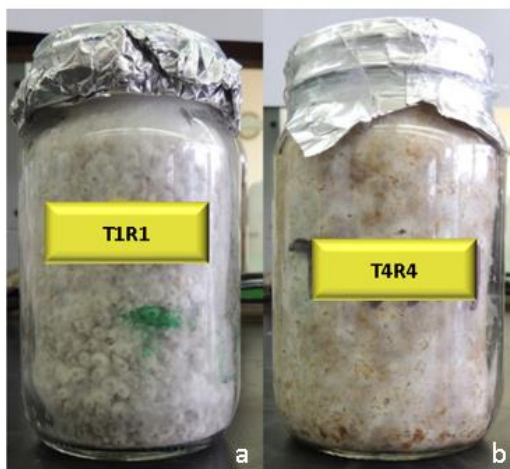


Figura 7. Comparación de color. a) Testigo, b) 70S-30EM.

El parámetro micelio aéreo es importante pues de acuerdo con Rahardjo, Weber, Le Comte, Tramper y Rinzema (2002) su presencia es indicativa de una favorable difusión de oxígeno para el proceso respiratorio del hongo. En este sentido, todos los tratamientos con EM al igual que el testigo, facilitaron este tipo crecimiento y en particular la mezcla 90S-10EM. En cambio, con EE su presencia fue menor y no se reflejó en la comparación de medias.

Todas las características morfológicas del micelio valoradas en este estudio concuerdan con las reportadas por Gaitán-Hernández (2005) que indica que el micelio debe ser blanco, algodonoso y con una densidad regular, así como lo expuesto por Bermúdez-Savón, García-Oduardo & Mourlot-López (2007) que describen a las colonias como blancas, algodonosas de regular densidad y micelio aéreo presente. Asimismo, Suarez-Arango & Holguín-Hernández (2011)



lograron un desarrollo homogéneo, denso, blanco y con crecimiento abundante en dos semanas de incubación en grano de trigo. Para *Flammulina mexicana* y *Lyophyllum aff. Shimeji* también se reportan desarrollos de micelio denso, con porcentaje de colonización del 98.3 % a los 20 días de inoculación en granos de trigo (Arana-Gabriel et al., 2014).

Desde el punto de vista del productor de setas, un micelio homogéneo y con alta densidad refleja que tiene el suficiente vigor para obtener una cosecha rápida y abundante. Al igual que en la selección de semilla para los cultivos agrícolas, el productor se asegura que la “semilla” a utilizar sea la adecuada y la reconoce como *adecuada* cuando la estructura del micelio es abundantemente algodonosa y compacta (López-Ramírez, 2014); esta apreciación del productor es acertada ya que es un indicador de que existe mayor cantidad de micelio.

### **Prueba de contrastes de los parámetros evaluados**

La prueba de contraste (Cuadro 14), en el C1, muestra que el tratamiento 90S-10EM presenta las mejores características de desarrollo del micelio, pues existen diferencias altamente significativas en 3 de las 5 variables evaluadas. Con este contraste se confirma el resultado obtenido en la prueba de medias. Para el caso de 70S-30EE (C3), también resultó altamente significativo en cuanto a textura, color y micelio aéreo. El contraste que compara a todos los tratamientos que contienen glóquidas molidas vs. glóquida entera, muestra que cuando la mezcla contiene EM, el desarrollo del micelio se ve muy favorecido a través de las variables cualitativas tipo de crecimiento, micelio aéreo y densidad, en tanto que con EE destaca en textura y color. Estos resultados son concluyentes de que las glóquidas son un excelente material que puede ser utilizado para la producción de micelio en cualquiera de las dos formas de manejo; la elección dependerá de lo que resulte más práctico para el productor.

Cuadro 14. Prueba de contrastes de los parámetros evaluados

| Tratamientos                                          | Tipo de crecimiento | Textura  | Color    | Micelio aéreo | Densidad |
|-------------------------------------------------------|---------------------|----------|----------|---------------|----------|
| 90S-10EM Vs 90S-10EE                                  | 0.0454**            | 0.0573   | 0.5085   | <.0001**      | 0.018**  |
| C1: $\mu_2$ - $\mu_5$                                 | -12.68              | 11.75    | 3.84     | -25.50        | -15.25   |
| 80S-20EM Vs 80S-20EE                                  | 0.0893              | 0.1448   | 0.0005** | 0.0036**      | 0.329    |
| C2: $\mu_3$ - $\mu_6$                                 | 10.65               | 8.92     | 22.00    | -15.00        | 6.09     |
| 70S-30EM Vs. 70S-30EE                                 | 0.1896              | 0.0377** | 0.0398** | 0.0014        | 0.7065   |
| C3: $\mu_4$ - $\mu_7$                                 | -8.17               | 12.92    | 12.25    | -16.67        | 2.34     |
| EM Vs EE                                              | 0.3429              | 0.0026** | 0.0005** | <.0001**      | 0.5251   |
| C4: $\mu_2 + \mu_3 + \mu_4$ - $\mu_5 - \mu_6 - \mu_7$ | -10.20              | 33.59    | 38.09    | -57.17        | -6.82    |
| Testigo Vs T2-T4 EM                                   | 0.0148**            | 0.8966   | 0.0085** | 0.0447        | 0.0288** |
| C5: $3\mu_1$ - $\mu_2 - \mu_3 - \mu_4$                | 38.34               | -1.92    | -39.17   | 24.49         | 34.32    |
| Testigo Vs T5-T7 EE                                   | 0.0679              | 0.0375** | 0.939    | 0.0088**      | 0.0763   |
| C6: $3\mu_1$ - $\mu_5 - \mu_6 - \mu_7$                | 28.14               | 31.67    | -1.08    | -32.68        | 27.5     |

\*Significancia al 0.05. \*\*significancia al 0.01. El signo de las medias abajo de la significancia indica la mejor respuesta del contraste. Signo negativo (mejor respuesta en EM. Signo positivo (mejor respuesta en EE)

### 6.5.2. Contenido de humedad del sustrato

La humedad del sustrato es un factor crítico para el desarrollo óptimo del micelio, este parámetro promedio en la mezcla con EM al 10% fue de 39.7 ( $\pm 1.5$  %), para la de 20% de 46.3%  $\pm 2.2$  (H) y en la de 30% de 50.9%  $\pm 1.1$  (H), en tanto que la del sorgo fue de 33.7%  $\pm 0.4$  (H). Para las mezclas con EE al 10% H fue de 47.2  $\pm 2.2$ %, para la de 20% de 55.1  $\pm 3.8$  (H) y en la de 30% de 62.3  $\pm 1.9$  (H). De acuerdo con Sánchez & Royse (2001), contenidos de humedad inferiores a 50% no son adecuados y mayores a 80% tienen un efecto negativo en el crecimiento de *Pleurotus* sp. Garzón-Gómez & Cuervo-Andrade (2008) señalan que el contenido óptimo de humedad depende de la especie de hongo y del sustrato

seleccionado, ya que cada sustrato posee características particulares de capacidad de retención de agua, por tanto, la humedad óptima en cada sustrato estará condicionada por esta característica. Con base en estos referentes, los resultados obtenidos en las mezclas ensayadas en la presente investigación, indicaron que las glóquidas favorecen la retención de humedad del sustrato dentro de las condiciones óptimas para el desarrollo del micelio.

Cuadro 15. Valores medios y desviación estándar del contenido de humedad en los tratamientos expresado en porcentajes base húmeda.

| Tratamiento | Humedad           |
|-------------|-------------------|
| Testigo     | 33.7( $\pm 0.4$ ) |
| 90S-10EM    | 39.7( $\pm 1.5$ ) |
| 80S-20EM    | 46.3( $\pm 2.2$ ) |
| 70S-30EM    | 50.9( $\pm 1.1$ ) |
| 90S-10EE    | 47.2( $\pm 2.2$ ) |
| 80S-20EE    | 55.1( $\pm 3.8$ ) |
| 70S-30EE    | 62.3( $\pm 1.9$ ) |

### 6.5.3. Observaciones estereoscópicas del micelio en el sustrato

Las observaciones del desarrollo del micelio en las mezclas con mayor proporción de EM y EE muestran, por una parte, que las glóquidas tienden a adherirse a los granos de sorgo (Figura 8 a y b) debido a la presencia de barbas retrorsas; por otra parte, también se aprecia que las glóquidas se agrupan formando agregados granulares (Fig 8 b).

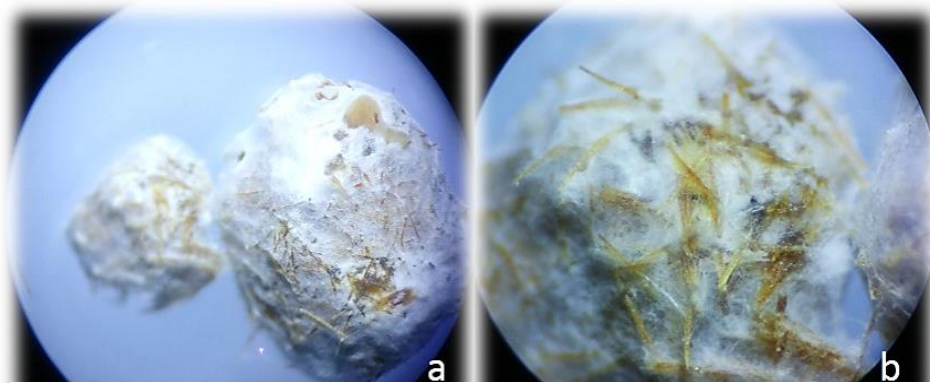


Figura 8. a) Glóquidas adheridas al grano de sorgo invadido con micelio, b) Gránulo de glóquidas enteras colonizado por *Pleurotus* sp

Estas imágenes evidencian que el micelio se desarrolló envolviendo a las glóquidas y esta invasión se vio favorecida por los espacios intra y entre gránulos derivados de la conformación de agregados por las estructuras, que favorecen la aireación y la retención apropiada de humedad.

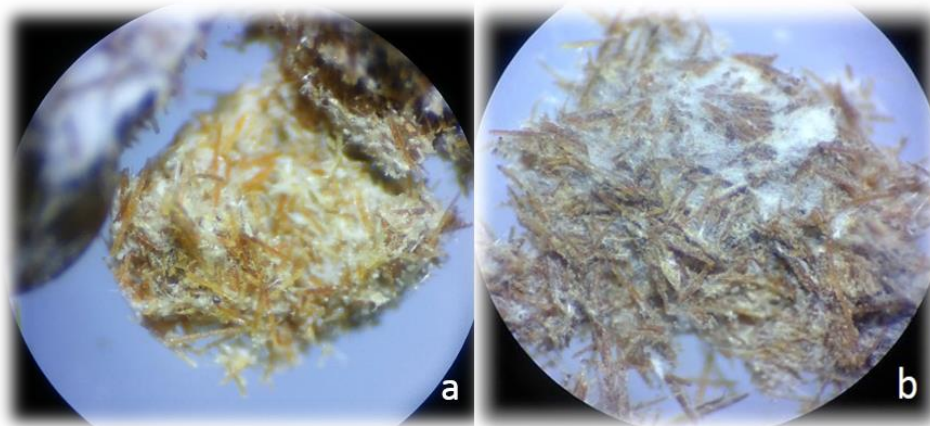


Figura 9. a) Gránulo de glóquidas molidas invadidas por micelio, b) Invasión del micelio dentro del granulo de glóquidas

De acuerdo con Harris (2008), el tamaño de partícula del sustrato es determinante para el desarrollo del micelio, con ventajas en el grado de colonización cuando se usan materiales que aumenten la superficie de contacto. Por tanto, puede concluirse que las glóquidas mezcladas con granos de sorgo funcionan como mejorador del sustrato para la producción de la “semilla” de setas.

Por otra parte, un aspecto importante de la invasión del micelio en las glóquidas, fue el comprobar que las hifas lograron romper su organización cristalina. La Figura 10 muestra que la estructura originalmente sólida y rígida (Fig. 10a), fue fracturada por el ataque de las hifas (Fig. 10b), ya que se pueden apreciar espacios entre las microfibrillas de celulosa y hemicelulosa que componen a la estructura de la glóquida.

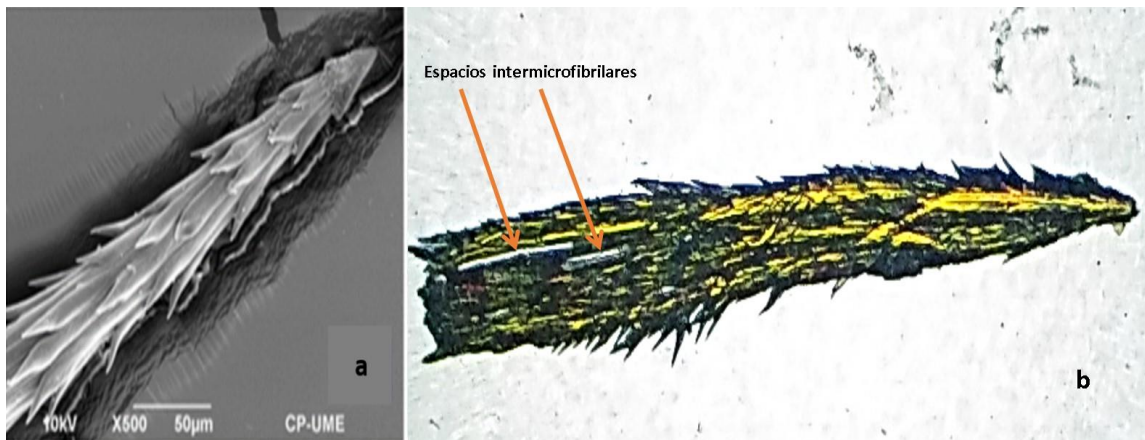


Figura 10. a) Estructura de glóquida previo al proceso de invasión, b) Estructura de glóquida después del proceso de invasión de *Pleurotus* sp 4x

*Pleurotus* sp corresponde al grupo de hongos basidiomicetos tipificado como “de la pudrición blanca”, que provocan un reblandecimiento de los tejidos orgánicos acompañado de una pérdida significativa de peso. De acuerdo con Salmones (2005), esta pudrición se caracteriza por una preferencia de la lignina de la fracción lignocelulosa, lo que conduce a la formación de cavidades microscópicas dentro de la fibra orgánica y, a veces, produce una decoloración y un patrón de grietas similares a la pudrición oscura. Lucas et al. (2011) mencionan que los

hongos de la pudrición blanca al degradar los diferentes polímeros lignocelulósicos de la madera, la transforman en un material de aspecto esponjoso y fibroso.

Según Deacon (2006) los basidiomicetos pueden lograr la degradación total de la lignina en forma simultánea, es decir, se degradan más o menos de manera sincrónica y en la misma proporción la celulosa, hemicelulosa y lignina o, pudrición selectiva, donde la lignina la degradan más rápidamente al inicio del proceso de pudrición (Blanchette 1984). Se considera que las especies de *Pleurotus* pertenecen al tipo de la pudrición blanca selectiva (Lucas et al. 2001). Esto explicaría la presencia de los espacios interfibrilares mostrados en la Figura 10b.

## **6.6. Conclusiones**

Los resultados de la presente investigación indicaron que las glóquidas como subproducto del beneficiado de la tuna, ya sea en forma molida o entera, puede ser utilizado como mejorador de sustrato para la producción de micelio de *Pleurotus* sp, Su mezcla con el sustrato tradicional para tales fines, contribuyó a aumentar la precocidad de invasión, promover una colonización completa y homogénea, con micelio muy denso de textura algodonosa. Las observaciones estereoscópicas mostraron que las hifas rompen la estructura cristalina de las glóquidas.

## 6.7. Literatura citada

- Arana-Gabriel, Y., Burrola-Aguilar, C., Garibay-Orijel, R., & Franco-Mass, S. (2014). Obtención de cepas y producción de inóculo de cinco especies de hongos silvestres comestibles de alta montaña en el centro de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 213-226.
- Bermúdez-Savón, R. C., García-Oduardo, N., & Mourlot-López, A. (2007). Fermentación sólida para la producción de *Pleurotus* sobre mezclas de pulpa de café y viruta de cedro. *Tecnología Química*, 55-62.
- Blanchette, R. A. (1984). Screening wood decayed by white rot fungi for preferential lignin degradation. *Applied and Environmental Microbiology*, 48(3), 647-653.
- Chuck-Hernández, C., Pérez-Carrillo, E., Heredia-Olea, E., & Serna-Saldívar, S. O. (2011). Sorgo como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: tecnologías, avances y áreas de oportunidad. *Revista mexicana de ingeniería química*, 10(3), 529-549.
- Deacon, J. W. (2013). *Fungal biology*. John Wiley & Sons.
- Gaitán-Hernández, R. (2005). Evaluación in vitro del hongo comestible *Pleurotus eryngii*: Efecto de diferentes suplementos. *Revista Mexicana de Micología*, 77-84.
- García Oduardo, N., Bermúdez Savón, R. C., & Serrano Alberni, M. (2011). Formulaciones de sustratos en la producción de setas comestibles *Pleurotus*. *Tecnología química*, 272-282.
- Garzón-Gómez, J. P., & Cuervo-Andrade, J. L. (2008). Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos linocelulósicos de diferente procedencia. *Ciencias Biomedicas*, 101-236
- Harris, S. D. (2008). Branching of fungal hyphae: Regulation, mechanisms and. *Mycologia*, 823-832.
- Jennings, D. H., & Lysek, G. (1999). *Fungal Biology: Understanding the Fungal Lifesty*. beta IOS Scientific.
- López Ramírez, M. A. (2014). Manual de producción de micelio de Hongos comestibles. Xalapa , Veracruz, México: UNIVERSIDAD VERACRUZANA.
- Lucas, R., Robles, A., Gálvez, A., García, T., Pérez, R., & Álvarez, G. (2001). Biodegradación de la celulosa y la lignina. *Jaén: Junta Andalucía Consejería EDU*, 14-62
- Nieto, I. J., & Chegwin , A. C. (2010). Influencia del sustrato utilizado para el. *Revista colombiana Biotecnológica*, 169-178

- Pérez Roldán., B. J. (2006). Descripción de las características macroscópicas de cultivo in vitro de cepas de *Pleurotus* aisladas en Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Prosser, J. I., & Tough, A. J. (1991). Growth mechanisms and growth kinetics of filamentous microorganisms. *Critical reviews in biotechnology*, 10(4), 253-274.
- Rahardjo, Y. S., Weber, F. J., Le Comte, E. P., Tramper, J., & Rinzema, A. (2002). Contribution of aerial hyphae of *Aspergillus oryzae* to respiration in a model solid-state fermentation system. *Biotechnology and Bioengineering*, 78(5), 539-544
- Rodríguez-Macías, R. (1996). Caracterización de cepas del hongo comestible *Pleurotus* spp. en medios de cultivo y su evaluación en sustratos lignocelulósicos forrajeros para la producción de carpóforos. *Tesis de grado, Maestría en ciencias en producción agrícola*. Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Salmones, D. (2005). Actividad de enzimas lignocelulolíticas en cultivos de *Pleurotus* spp. en pulpa de café y la relación con su capacidad productiva y defensiva. *Tesis Doctoral*. México: Instituto Tecnológico de Veracruz.
- Sánchez, J. E., & Royse, D. J. (2001). La Biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. México: Limusa.
- Suarez-Arango, C. (2010). Obtención IN VITRO de micelio de hongos comestibles, SHIITAKE (*Lentinula edodes*) y ORELLANAS (*Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus pulmonarius*) a partir de aislamientos de cuerpos fructíferos, para la producción de semilla. *Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Bogotá: Universidad Nacional De Colombia, Facultad de ciencias.
- Suarez-Arango, C., & Holguín-Hernández, M. S. (2011). Evaluación de medios de cultivo sintéticos y cereales para la producción de semillas de setas comestibles. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 130-140.
- Ulloa-Leitón, A. (2020). Manejo integral de las glóquidas del nopal tunero. *Tesis de maestría*. Estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Velasco Velasco, J., & Vargas Di Bella, E. (2004). Cultivo del Hongo Seta (*Pleurotus ostreatus*). *Manual de Producción*. Montecillo, México: Colegio de Postgraduados.
- Wilson, H., & Godiño, M. (2000). Tecnología de almacenamiento de granos de trigo.



## 7. ARTÍCULO 2

### GLÓQUIDAS DE TUNA PARA LA PRODUCCIÓN COMERCIAL DE HONGO SETA

#### TUNA GLOCHIDS FOR COMMERCIAL PRODUCTION OF MUSHROOMS

De Jesús-Rivera L., Álvarez-Sánchez M. E., Ramírez-Pérez F., Bandala V. M., Maldonado-Torres R

#### 7.1. Resumen

Se valoró a las glóquidas de tuna como componente mejorador de sustrato para la producción comercial de carpóforos de *Pleurotus* sp a través de parámetros de productividad e indicadores económicos. Glóquidas en forma entera (EE) o molida (EM) fueron mezcladas con paja de avena (RA) en diferentes proporciones de acuerdo con los siguientes tratamientos: 100% paja de avena (testigo, T), 80RA-20EE, 70RA-30EE, 60RA-40EE, 80RA-20EM, 70RA-30EM y 60RA-40EM con 6 repeticiones por tratamiento. Micelio de *Pleurotus* sp procedente de la colección de cepas del INECOL fue sembrado en los sustratos ensayados. La cosecha inició a los 30 días después de la siembra en el momento en que la lámina de los carpóforos presentaba bordes adelgazados. Los parámetros productivos se evaluaron con base en: precocidad (P), eficiencia biológica (%), EB), rendimiento (%), R) y tasa de producción (%), TP). Las variables respuesta fueron sometidas a un análisis de varianza y comparación de medias con un nivel de confianza del 95%. La valoración económica se basó en parámetros de importancia para el productor. La adición de glóquidas molidas disminuyó significativamente el número de días (P) necesarios para la colonización con respecto al testigo. Los mejores tratamientos para la producción comercial fueron: 60RA-40EM con porcentaje de rendimiento (R) de  $38.3 \pm 10.9$ , EB de  $132.3 \pm 37.5$  % y TP de  $3.0 \pm 0.9$  % y el tratamiento 70RA-30EM con R de  $38.2 \pm 9.4$  %, EB de  $124.7 \pm 30.7$  % y TP de  $3.0 \pm 0.6$  %. Aunque los mejores rendimientos se obtuvieron con mezclas de glóquidas molidas, los sustratos con glóquidas enteras también cumplieron el criterio de calidad productiva, con rendimientos mayores al 10% y eficiencias biológicas superiores al 100%. En cuanto a la valoración económica, el uso de 40% de EM representó un ahorro de \$104.83 con un incremento en la ganancia neta anual de \$3 353.53, con respecto al manejo tradicional de producción. Los resultados muestran que el subproducto de desecho procedente del beneficiado de la tuna, es una opción económicamente factible para la producción comercial de *Pleurotus* sp.

**Palabras clave:** *Pleurotus* sp, sustratos, parámetros productivos, Carpóforos

## 7.2. Abstract

Tuna glochids were valued as a substrate improving component for the commercial production of *Pleurotus* sp carpophores through productivity parameters and economic indicators. Whole (EE) or ground (EM) glochids were mixed with oat straw (RA) in different proportions according to the following treatments: 100% oat straw (control, T), 80RA-20EE, 70RA-30EE, 60RA-40EE, 80RA-20EM, 70RA-30EM and 60RA-40EM with 6 repetitions per treatment. Mycelium of *Pleurotus* sp from INECOL's strain collection was sown in the tested substrates. Harvesting started 30 days after sowing when the carpophores' lamella presented thinned edges. The productive parameters were evaluated based on: precocity (P), biological efficiency (% EB), yield (% R) and production rate (% TP). The response variables were subjected to an analysis of variance and comparison of means with a 95% confidence level. The economic evaluation was based on parameters of importance for the producer. The addition of ground glochids significantly decreased the number of days (P) needed for colonization with respect to the control. The best treatments for commercial production were: 60RA-40EM with yield percentage (R) of  $38.3 \pm 10.9$ , EB of  $132.3 \pm 37.5$  % and TP of  $3.0 \pm 0.9$  % and the treatment 70RA-30EM with R of  $38.2 \pm 9.4$  %, EB of  $124.7 \pm 30.7$  % and TP of  $3.0 \pm 0.6$  %. Although the best yields were obtained with mixtures of ground glochids, the substrates with whole glochids also met the criterion of productive quality, with yields higher than 10% and biological efficiencies higher than 100%. In terms of economic valuation, the use of 40% EM represented a saving of \$104.83 with an increase in annual net profit of \$3,353.53, with respect to traditional production management. The results show that the waste by-product from the tuna processing is an economically feasible option for the commercial production of *Pleurotus* sp.

**Keywords:** *Pleurotus* sp, substrates, productive parameters, Carpophores

### 7.3. Introducción

La tuna de *Opuntia albicarpa* Scheinvar es utilizada en la obtención de una amplia variedad de productos. Dentro del proceso de beneficiado de la tuna se produce una gran cantidad de glóquidas, que de acuerdo con Ulloa-Leitón (2020), por cada tonelada de tuna limpia se generan 65 kg de este material carente de utilidad para los productores; dado su difícil manejo, su resistencia a la degradación natural, incluso la quema, se desecha en bolsas plásticas en los tiraderos, generando un problema de contaminación ambiental. Los estudios de este subproducto indican que su resistencia a la descomposición microbiana se debe a su alto contenido de celulosa (41.14 %), hemicelulosa (41.21 %) y lignina (5.27 %) en estado cristalizado (Ulloa-Leitón, 2020). Algunos autores mencionan que este tipo de estructuras pueden debilitarse por acción de hongos como *Pleurotus ostreatus*, ampliamente conocido por su capacidad de convertir desechos agrícolas lignocelulósicos en alimentos (Nieto & Chegwin, 2010). De hecho, la producción de *Pleurotus ostreatus* (hongos setas) se sustenta en aprovechar residuos agrícolas lignocelulósicos como sustrato para producir alimento con contenido de proteína entre 30 y 40% dependiendo de la especie y las características del sustrato (Velasco & Vargas, 2004; Bermúdez-Savón et al., 2007)

Entre los sustratos más usados en la producción de setas comestibles destacan: rastrojo de maíz, paja de trigo y bagazo de caña de azúcar, que acorde con lo reportado por Ruilova-Cueva & Hernández-Monzón (2014) presentan contenidos de celulosa entre 42% – 52%, hemicelulosa de 16% – 27% y lignina de 7% a 14 %. En este contexto, Gaitán-Hernández & Silva-Huerta (2016) indican que el uso de paja de avena, que presenta cantidades de celulosa, hemicelulosa y lignina dentro del rango mencionado, resultó adecuada para la producción de *Pleurotus* sp; con dicho sustrato, los parámetros productivos fueron de 120.3 % ( $\pm 15.4$ ) en eficiencia biológica (EB), 1.6% ( $\pm 0.2$ ) para tasa de producción (TP) y 27.7% ( $\pm 3.5$ ) en rendimiento (R), con diámetros de píleos entre 5 y 9,9 cm.

Con base en los referentes anteriores, las glóquidas de tuna reúnen características deseables en cuanto a su composición, para ser aprovechadas como sustrato en la producción de setas y, en consecuencia, dar valor agregado a este residuo de la producción tunera.

Los productores de tuna del poblado de San Felipe Teotitlán, municipio de Nopaltepec, muestran gran interés en reducir la presión ambiental que se genera por los residuos de esta actividad agrícola. En la búsqueda de opciones que produzcan valor agregado a las glóquidas de los frutos, la presente investigación tuvo como objetivo valorar las glóquidas de tuna como componente mejorador de sustrato para la producción de *Pleurotus* sp a través de parámetros de productividad como alternativa de aprovechamiento.

#### **7.4. Materiales y Métodos**

##### **7.4.1. Características del experimento y tratamientos**

Se utilizaron glóquidas de tuna obtenidas del ciclo de producción 2018 y 2019, del poblado de San Felipe Teotitlán, Municipio de Nopaltepec, Estado de México. De acuerdo con Ulloa-Leitón (2020), las glóquidas contienen 41% ( $\pm 0.2$ ) de celulosa, 41 % ( $\pm 0.2$ ) de hemicelulosa y 5.27% ( $\pm 0.2$ ) de lignina, con densidad de 0.1574 g mL<sup>-1</sup>.

El micelio (F2) utilizado se obtuvo por siembra directa (micelio-micelio) en granos de sorgo y mezcla de glóquidas molidas y enteras a partir de la cepa de la colección de INECOL.

Los tratamientos consistieron en la mezcla de paja de avena, con proporciones de glóquidas molidas (EM) o enteras (EE) como se indica en el Cuadro 16. El testigo consistió en utilizar sólo paja de avena que es uno de los sustratos tradicionales para estos fines de producción. En total se emplearon siete tratamientos en un diseño experimental completamente al azar con seis repeticiones.

Cuadro 16. Proporciones en porcentaje de los materiales utilizados en la preparación del sustrato por tratamiento.

| Tratamiento                          | Paja de avena | Glóquidas |         |
|--------------------------------------|---------------|-----------|---------|
|                                      |               | enteras   | molidas |
| Testigo                              | 100           | 0         | 0       |
| 80RA <sup>z</sup> -20EE <sup>y</sup> | 80            | 20        | 0       |
| 70RA-30EE                            | 70            | 30        | 0       |
| 60RA-40EE                            | 60            | 40        | 0       |
| 80RA-20EM <sup>x</sup>               | 80            | 0         | 20      |
| 70RA-30EM                            | 70            | 0         | 30      |
| 60RA-40EM                            | 60            | 0         | 40      |

<sup>z</sup> Rastrojo de avena, <sup>y</sup> (EE= glóquidas enteras, <sup>x</sup> (EM=glóquidas molidas).

#### 7.4.2. Preparación del sustrato

Previo a la preparación de los tratamientos, se limpiaron las glóquidas retirando las basuras más grandes. En la paja de avena se desechó el rastrojo que contenía tierra y todo aquel material que fuera distinto al sustrato requerido y se fraccionó en porciones de 8 a 10 cm.

Las mezclas de cada unidad experimental se colocaron en bolsas de tela (organza) con capacidad de 6 kg debidamente etiquetadas. Se registraron los pesos secos y se cerraron, posteriormente se pasteurizaron durante 20 minutos a 85 °C (Figura 11).



Figura 11. Preparación del sustrato: a) Picado de paja, b) Mezclado y cierre de costales, c) Pasteurización.

Una vez concluida la pasteurización, se suspendió la bolsa para eliminar el exceso de agua. El área de siembra y drenado se desinfectó con solución de jabón y cloro, los anaqueles se limpiaron con gel antibacterial. La mezcla drenada se dispersó en un cernidor con el fin de llevarlo a temperatura ambiente, posteriormente se alcalinizó espolvoreando  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Figura 12).



Figura 12. Preparación del sustrato a) Drenado, b) Enfriado, c) Alcalinización con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

El micelio (Figura 13), se colocó en un recipiente para homogeneizarlo, posteriormente se sembró intercalando una capa de aproximadamente 5 cm de sustrato y una capa de micelio, hasta alcanzar un peso entre 2 a 3 kg, en bolsas de plástico transparente de 50X70 cm. En éstas se realizaron ocho orificios de 1cm de diámetro para favorecer la aireación, posteriormente, las unidades experimentales se cerraron, etiquetaron y se colocaron en anaqueles de incubación (Figura 13). Se registraron los datos de temperatura y humedad ambiental (Cuadro 17).



Figura 13. Siembra a) Micelio homogeneizado, b) Siembra, c) Etiquetado, d) Área de incubación.



Cuadro 17. Registro de temperatura y humedad durante etapa de producción.

| Semana                  | Temperatura<br>externa<br>°C | Temperatura<br>interna<br>°C | Humedad<br>Relativa<br>% |
|-------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Periodo de incubación   |                              |                              |                          |
| 1 (8-14)                | 32.8                         | 29.4                         | 38.1                     |
| 2 (15-21)               | 32.3                         | 29.0                         | 38.7                     |
| 3 (22-28)               | 29.1                         | 26.0                         | 35.0                     |
| Aparición de primordios |                              |                              |                          |
| 4 (29-04)               | 29.1                         |                              | 34.3                     |
| Cosecha                 |                              |                              |                          |
| 5 (5-11)                | 29.0                         |                              | 62.9                     |
| 6 (12-18)               | 24.8                         |                              | 85.3                     |
| Reposo sin riego        |                              |                              |                          |
| 7 (19-25)               | 30.0                         |                              | 62.0                     |
| Cosecha                 |                              |                              |                          |
| 8 (26-2)                | 25.9                         |                              | 84.1                     |
| 9 (3-9)                 | 21.4                         |                              | 87.4                     |
| 10 (10-16)              | 21.5                         |                              | 83.1                     |

A los 21 días de establecido el experimento inició la aparición de primordios (Figura 14) y partiendo de este indicador los riegos se aplicaron cada 12 horas para favorecer el aumento de la humedad relativa. La recolección de carpóforos ocurrió nueve días después de la aparición de primordios, cuando la lámina de los carpóforos presentaba bordes adelgazados (Figura 15). Las setas colectadas se pesaron y se colocaron en bolsas de 500 g para su venta (Figura 16).





Figura 14. Aparición de primordios.



Figura 15. Carpóforos con margen delgado para cosecha.



Figura 16. Carpóforos cosechados

#### 7.4.3. Variables evaluadas

Los parámetros productivos de *Pleurotus* sp se evaluaron con base en: Precocidad, Eficiencia biológica, Rendimiento y Tasa de producción, tomando como referencia lo propuesto por Gaitán-Hernández, Salmones, Pérez-Merlo & Mata (2009).

**Precocidad (P):** Definida como el tiempo que transcurre entre el día de la inoculación y el día en que aparecen los primeros primordios o carpóforos. Se expresa en número de días.

**Eficiencia biológica (% , EB):** Expresa el grado de bioconversión de energía a partir de la biodegradación del sustrato, definida por la relación entre el peso fresco de los cuerpos fructíferos y el peso seco del sustrato usado para su producción para la suma de las cosechas (Barba-López & López-Cruz, 2017).

$$EB \% = \frac{\text{Peso del hongo fresco (g)}}{\text{Peso del sustrato seco (g)}} \times 100$$

**Rendimiento (% , R):** Es la relación en porcentaje entre el peso fresco del hongo y el peso del sustrato húmedo.

$$R \% = \frac{\text{Peso del hongo fresco (g)}}{\text{Peso del sustrato húmedo (g)}} \times 100$$

**Tasa de producción (% , TP):** Este indicador provee información importante del recambio que existe entre cada lote que se cultiva y se relaciona con la efectividad del proceso, a través del tiempo de siembra, incubación, fructificación y cosecha. La tasa de producción es la relación en porcentaje, entre la eficiencia biológica y el tiempo requerido para la cosecha, es decir, representa la eficiencia biológica diaria (Barba-López & López-Cruz, 2017).

$$TP \% = \frac{EB}{\text{Precocidad (días)} + \text{periodo de fructificación(días)}}$$

### **Análisis estadístico**

Debido a que las variables respuesta no presentaban medias continuas, los valores de los parámetros evaluados se transformaron a rangos para el análisis de varianza. Se estimaron las medias de los tratamientos y la desviación estándar correspondiente, también se aplicó la prueba LSD para la comparación correspondiente con un nivel de confianza del 95%. Los datos se analizaron con el paquete estadístico Statistical Analysis Software (SAS) con número de licencia 70074773.

### **Valoración económica**

La valoración económica se realizó con el fin de estimar el beneficio que se obtiene cuando se recurre al uso de materiales alternativos como mejoradores del sustrato tradicional de producción, que normalmente se compra. De acuerdo con los datos reportados por Gaitán-Hernández (2007) y la experiencia del productor, se consideraron los siguientes parámetros: Capacidad instalada, producción por ciclo productivo, producción neta, costos de insumos para la

producción, costo del sustrato por ciclo de producción, precio actual del producto al consumidor y el ingreso neto por kilogramo de hongo fresco producido.

## 7.5. Resultados y Discusión

### 7.5.1. Parámetros productivos

El análisis de significancia de los tratamientos sobre las variables evaluadas, así como la prueba de medias LSD, indicaron que al menos dos tratamientos fueron significativamente distintos en tres de los parámetros productivos (Cuadro 18).

Cuadro 18. Valores medios y desviación estándar.

| Tratamiento                          | Precocidad<br>(Días)      | Rendimiento<br>(%)       | Eficiencia<br>Biológica<br>(%) | Tasa de<br>Producción<br>(%) |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Testigo RA                           | 30.3(±2.3) <sup>a</sup>   | 32.9(±8.1) <sup>ab</sup> | 99.8(±24.5) <sup>ab</sup>      | 2.2(±0.5) <sup>c</sup>       |
| 80RA <sup>z</sup> -20EE <sup>y</sup> | 25.2(±1.7) <sup>c</sup>   | 29.8(±9.0) <sup>ab</sup> | 101.0(±30.5) <sup>ab</sup>     | 2.5(±0.7) <sup>abc</sup>     |
| 70RA-30EE                            | 27.8(±3.0) <sup>bc</sup>  | 24.0(±6.9) <sup>b</sup>  | 88.6(±25.4) <sup>b</sup>       | 2.1(±0.5) <sup>c</sup>       |
| 60RA-40EE                            | 27.5(±2.6) <sup>abc</sup> | 25.4(±3.7) <sup>b</sup>  | 98.0 (±14.4) <sup>ab</sup>     | 2.2(±0.4) <sup>bc</sup>      |
| 80RA-20EM <sup>x</sup>               | 27.7(±1.4) <sup>ab</sup>  | 37.7(±11.0) <sup>a</sup> | 114.9(±33.7) <sup>ab</sup>     | 2.6(±0.8) <sup>abc</sup>     |
| 70RA-30EM                            | 25.7(±3.4) <sup>bc</sup>  | 38.2(±9.4) <sup>a</sup>  | 124.7(±30.7) <sup>a</sup>      | 3.0(±0.6) <sup>a</sup>       |
| 60RA-40EM                            | 25.8(±3.1) <sup>bc</sup>  | 38.3(±10.9) <sup>a</sup> | 132.3(±37.5) <sup>a</sup>      | 3.0(±0.9) <sup>ab</sup>      |
| Pr > F                               | 0.015                     | 0.019                    | 0.10                           | 0.082                        |
| CV %                                 | 49.45                     | 50.29                    | 53.46                          | 52.96                        |
| Dms <sup>w</sup>                     | 12.46                     | 12.67                    | 13.47                          | 13.35                        |

<sup>z</sup> rastrojo de Avena, <sup>y</sup> glóquida entera, <sup>x</sup> glóquida molida, <sup>w</sup>diferencia mínima significativa; letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa con un nivel de confianza del 95%.

En general, los tratamientos con glóquida entera o molida presentaron menor tiempo de brotación (25.2 a 27.8 días) con respecto al testigo (30.3 días). con un promedio de 26.6 días transcurridos desde la siembra hasta la aparición de primordios, efecto que fue significativo en cinco de los tratamientos. Para este parámetro no hubo diferencias entre las mezclas. Gaitán-Hernández & Silva-Huerta (2016) en paja de avena reportan 23 días de incubación, pero en la mezcla 80% paja de avena-20% paja de maíz, la precocidad fue de 27 días. Los resultados obtenidos indican que la adición de glóquida entera o molida en las

proporciones ensayadas contribuyen a acelerar la precocidad de *Pleurotus* sp. Este parámetro productivo, es importante porque indica el efecto del tratamiento en acelerar o retrasar el proceso productivo y de acuerdo con García-Oduardo et al. (2011), esta fase de colonización es el punto crítico de la producción de setas.

En cuanto al parámetro rendimiento (R %), no hubo diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, los mayores porcentajes se alcanzaron con las mezclas con EM que, en promedio, alcanzaron 38.3 % ( $\pm 10.9$ ) de producción con respecto al testigo con 32.9% ( $\pm 8.1$ ). Si bien estadísticamente no hubo diferencias, es claro que el uso de glóquidas molidas reduce la cantidad de sustrato tradicional que con frecuencia se compra y representa un ahorro para el productor. Los resultados obtenidos también superaron a los obtenidos por Gaitán-Hernández y Silva-Huerta (2016), que en su mejor tratamiento (mezcla 20% rastrojo de maíz –80% paja de avena) lograron un rendimiento de 31.56%. García-Oduardo et al. (2011) indican que las formulaciones de sustratos en los que se logren rendimientos mayores a 10% son viables de ser aprovechadas económicamente. Con este criterio, incluso los tratamientos con glóquida entera, representan una opción económicamente factible.

La eficiencia biológica (EB), fue otro de los parámetros que no mostró diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, la mayor EB promedio, se obtuvo con las mezclas de glóquidas molidas. Éstas promovieron una EB de 124% ( $\pm 30.7$ ), en tanto que, la del testigo fue de 99.8% ( $\pm 24.5$ ). Gaitán-Hernández & Silva-Huerta (2016) reporta EB similares a las obtenidas en este experimento, ya que con sustrato paja de avena reportaron una EB de 120.3 % ( $\pm 15.4$ ) y con su mejor tratamiento de mezcla 20% rastrojo de maíz–80% paja de Avena de 139.7% ( $\pm 3.9$ ).

Michel-Aceves, Ariza-Flores, Otero-Sánchez & Barrios-Ayala (2015) indican que EB con valores cercanos o mayores al 100% se consideran altamente redituables y menores al 65% no redituables. En este contexto, Garzón-Gómez & Cuervo-Andrade (2008) refieren que la calidad productiva de un sustrato se percibe como aceptable a partir de eficiencias biológicas del 50%, que coincide con lo expuesto

por García-Oduardo et al. (2011), que indica que las formulaciones con EB mayor a 50 % y R mayores a 10% son económicamente factibles. La EB es un indicador que refleja si el sustrato es adecuado para la producción del hongo y la habilidad de éste para el aprovechamiento de los nutrientes. Considerando estas referencias es importante mencionar que las mezclas con glóquidas enteras o molidas cumplen con estos parámetros productivos por lo que pueden considerarse opciones viables para la producción de setas.

En cuanto al indicador tasa de producción (TP), los sustratos significativamente con mayor TP se alcanzaron con las mezclas de EM en la proporción de 30 y 40%, con un promedio de TP de 3.0%, en tanto que el testigo fue de 2.2% ( $\pm 0.5$ ). Gaitán et al. (2016) reportan TP de 1.6% ( $\pm 0.2$ ) para sustrato paja de avena y la mejor TP en sustrato mezcla 20% rastrojo de maíz –80% paja de Avena con 1.8 % de Eficiencia biológica diaria; en tanto que, Romero-Arenas et al. (2018) lograron TP de 1.8 en sustrato paja de trigo. Aunque destacan las TP obtenidas con EM, es importante mencionar que los siete tratamientos presentan TP mayores a 2 que supera las TP reportadas por los autores antes mencionados.

#### **7.5.2. Análisis económico**

Con base en los dos mejores tratamientos que resultaron en el experimento comparados con el testigo, el Cuadro 19 muestra el impacto que tiene la ganancia neta obtenida al reducir los costos de producción por concepto de sustrato.

Cuadro 19. Comparación económica de los costos de producción de *Pleurotus* sp en sustrato común y sustrato con 30 % y 40% de glóquidas de tuna para tres ciclos productivos de 42 bolsas por ciclo.

| Insumos                                             | 100 % paja de avena |             | 70% Paja-30% glóquidas |             | 60% Paja-40% glóquidas |             |
|-----------------------------------------------------|---------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
|                                                     | Cantidad Requerida  | Costos (\$) | Cantidad Requerida     | Costos (\$) | Cantidad Requerida     | Costos (\$) |
| Paja (kg)                                           | 126                 | 262.08      | 88.2                   | 183.456     | 75.6                   | 157.248     |
| Bolsa (Pieza)                                       | 126                 | 210         | 126                    | 210         | 126                    | 210         |
| Inóculo (200 g/bolsa)                               | 25.2                | 1764        | 25.2                   | 1764        | 25.2                   | 1764        |
| Calidra (kg)                                        | 150                 | 180         | 150                    | 180         | 150                    | 180         |
| Leña (rollo)                                        | 36                  | 252         | 36                     | 252         | 36                     | 252         |
| Costo total de Insumos (\$)                         |                     | 2668.08     |                        | 2589.456    |                        | 2563.248    |
| Costo de producción por kg de setas frescas (\$/kg) |                     | 21.21       |                        | 16.40       |                        | 14.89       |
| Ingresos (\$)                                       |                     |             |                        |             |                        |             |
| Setas Producidas (kg)                               |                     | 125.79      |                        | 157.92      |                        | 172.2       |
| Precio local del kg de setas (\$)                   |                     | 70          |                        | 70          |                        | 70          |
| Ingreso Total                                       |                     | 8805.3      |                        | 11054.4     |                        | 12054.00    |
| ganancia neta por kg de setas frescas (\$/kg)       |                     | 48.79       |                        | 53.60       |                        | 55.11       |
| Ganancia neta total anual (\$)                      |                     | 6137.22     |                        | 8464.94     |                        | 9490.75     |

De acuerdo con los datos proporcionados por el productor, utiliza bolsas con capacidad de 5 kg de sustrato seco (RA) para un volumen de instalación de 30 bolsas, lo que demanda 450 kg de paja para un rendimiento anual de 180 kg de setas frescas (en tres ciclos de producción) a un precio de venta por kilo de \$ \$70.00. Al utilizar la mezcla 60RA-40EM se impacta en un ahorro de compra de paja de 270 kg con ganancias anuales que se incrementan de \$6,137.00 a \$9490.75.



Es importante considerar que el precio del kilogramo de setas frescas varía de acuerdo con la época del año (Gaitán-Hernández, 2007) y oscila entre \$30.00 y \$45.00, sin embargo, aun con ese rango de precios, el uso del subproducto del beneficiado de la tuna como complemento del sustrato tradicional, mejoraría la ganancia neta.

El potencial de producción de hongos comestibles a nivel rural es significativo, debido que es un proceso sencillo con bajos costos de implementación. La realidad muestra que una proporción importante de productores rurales tienen una producción inestable debido a la falta de apoyos económicos y asesoría técnica, sumado a una mala planificación y comercialización del producto (Martínez-Carrera et al., 2000), por tanto, la disminución de costos por concepto de compra de sustrato representa un área de oportunidad para el productor.

Por otra parte, los resultados de esta investigación son concluyentes en cuanto a que el residuo generado por la producción de setas puede ser reincorporado como abono orgánico (Figura 17) al sistema de producción tunero eliminando el impacto ambiental que provoca su desecho de origen.



Figura 17. Muestras de sustratos remanentes.



## **7.6. Conclusiones**

Los resultados de la presente investigación mostraron evidencias contundentes de que el subproducto agrícola derivado del beneficiado de la tuna, que actualmente se desecha, puede ser aprovechado como componente mejorador de sustrato para la producción de *Pleurotus* sp. Los beneficios económicos se resumen en un ahorro en los costos de producción y mayor ganancia neta con respecto a los sustratos tradicionales, aunado a los beneficios ecológicos que podría implicar su aprovechamiento.

## 7.7. Literatura citada

- Barba-López, J. M., & López Cruz, J. I. (2017). Guía práctica para el cultivo de setas. Ixtapalapa, México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Bermúdez-Savón, R. C., García-Oduardo, N., & Murlot-López, A. (2007). Fermentación sólida para la producción de *Pleurotus* sobre mezclas de pulpa de café y viruta de cedro. *Tecnología Química*, 55-62.
- Gaitán-Hernández, R. (2007). Transferencia de tecnología de cultivo de *Pleurotus* spp. como alternativa de beneficio social y económico en el estado de Veracruz. En J. E. Sánchez Vázquez, D. Martínez Carrera, G. Mata, & H. Leal Lara, *El cultivo de setas Pleurotus spp en México* (pág. 227). Tapachula, Chiapas, México.: Colegio de La Frontera Sur.
- Gaitán-Hernández, R., & Silva-Huerta, A. (2016). Aprovechamiento de residuos agrícolas locales para la producción de *Pleurotus* spp., en una comunidad rural de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Micología*, 43-47.
- Gaitán-Hernández, R., Salmenes, D., Perez-Merlo, R., & Mata, G. (2009). Evaluación de la eficiencia biológica de cepas de *Pleurotus pulmonarius*. *Revista Mexicana de Micología*, 63-71.
- García Oduardo, N., Bermúdez Savón, R. C., & Serrano Alberni, M. (2011). Formulación de sustratos en la producción de setas comestibles *Pleurotus*. *Tecnología química*, 272-282.
- Garzón-Gómez, J. P., & Cuervo-Andrade, J. L. (2008). Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos linocelulósicos de diferente procedencia. *Ciencias Biomedicas*, 101-236.
- Martínez-Carrera, D., Larqué-Saavedra, A., Aliphat, M., Aguilar, A., Bonilla, M., & Martínez, W. (2000). La biotecnología de hongos comestibles en la seguridad y soberanía alimentaria de México. *II Foro Nacional sobre Seguridad y Soberanía Alimentaria*. México, D. F.: Academia Mexicana de Ciencias-CONACYT.
- Michel-Aceves, A. C., Ariza-Flores, R., Otero-Sánchez, M. A., & Barrios-Ayala, A. (2015). Productos químicos y biológicos como suplementos que incrementan la producción del hongo ostra *Pleurotus ostreatus*. *Interciencia*, 542-548.
- Nieto, I. J., & Chegwin, A. C. (2010). Influencia del sustrato utilizado para el. *Revista colombiana Biotecnológica*, 169-178.
- Romero-Arenas, O., Valencia-De Ita, M. Á., Rivera-Tapia, J. A., Tello-Salgado, I., Villarreal Espino-Barros, O. A., & Damián-Huato, M. Á. (2018). Capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* utilizando alfalfa

deshidratada como suplemento en diferentes sustratos agrícolas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 145-160.

Ruilova Cueva, M. B., & Hernández Monzón, A. (2014). Evaluación de residuos agrícolas para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 54-59.

Ulloa-Leitón, A. (febrero de 2020). Manejo integral de las glóquidas del nopal tunero. *Tesis de maestría*. Estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo.

Velasco Velasco, J., & Vargas Di Bella, E. (2004). Cultivo del Hongo Seta (*Pleurotus ostreatus*). *Manual de Producción*. Montecillo, México: Colegio de Postgraduados.

## 8. CONCLUSIÓN GENERAL

Los resultados del experimento uno y dos probaron la hipótesis propuesta de que las glóquidas de la tuna proveen condiciones nutrimentales y físicas óptimas como componente de sustrato para el desarrollo del micelio y fructificación de hongo seta

## 8.ANEXO

Anexo 1. Prueba de contrastes de los parámetros evaluados.

| Tratamientos                                        | Precocidad (días) | Rendimiento (%) | Eficiencia biológica (%) | Tasa de producción (%) |
|-----------------------------------------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|
| 80RA-20 EE Vs 80RA-20EM                             | 0.0439*           | 0.1096          | 0.1959                   | 0.6967                 |
| C1: $\mu_2 - \mu_5$                                 | -12.83            | -10.25          | -8.75                    | -2.59                  |
| 70RA -30 EE Vs 70RA -30EM                           | 0.2675            | 0.0082**        | 0.0337*                  | 0.0149*                |
| C2: $\mu_3 - \mu_6$                                 | 6.91              | -17.5           | -14.67                   | -16.83                 |
| 60RA- 40 EE Vs 60RA-40EM                            | 0.1791            | 0.0139*         | 0.0509                   | 0.0574                 |
| C3: $\mu_4 - \mu_7$                                 | 8.42              | -16.16          | -13.42                   | -12.91                 |
| EM Vs EE                                            | 0.8155            | 0.0003**        | 0.0029**                 | 0.0075**               |
| C4: $\mu_2 + \mu_3 + \mu_4 - \mu_5 - \mu_6 - \mu_7$ | 2.5               | -43.91          | -36.84                   | -32.33                 |
| Testigo Vs T2-T4 EE                                 | 0.0047**          | 0.1169          | 0.6805                   | 0.7934                 |
| C5: $3\mu_1 - \mu_2 - \mu_3 - \mu_4$                | 45.41             | 24.58           | 6.76                     | -4.24                  |
| Testigo Vs T5-T7 EM                                 | 0.003**           | 0.2145          | 0.0727                   | 0.0294*                |
| C6: $3\mu_1 - \mu_5 - \mu_6 - \mu_7$                | 47.91             | -19.33          | -30.08                   | -36.57                 |

\*significancia al 0.05, \*\*significancia al 0.01. El signo de las medias abajo de la significancia indica la mejor respuesta del contraste. Signo negativo (mejor respuesta en EM). Signo positivo (mejor respuesta en EE). En el caso particular del parámetro Precocidad, Signo negativo (mejor respuesta en EE), Signo positivo (mejor respuesta en EM).