



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**

Tecnológico Nacional de México

Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

Control de las variables críticas en el cultivo de setas pleurotus ostreatus

Presentado por:

Ing. Jazmín Sarahí Jiménez Ramos

como requisito para la obtención del grado:

Maestra en Ciencias de la Ingeniería

Director de Tesis:

Dr. Carlos Manuel Astorga Zaragoza

Codirector de Tesis:

Mtra. Silvia Patricia Pérez Sabino

Cuernavaca, Morelos, México. Febrero de 2025.

Cuernavaca Mor, 30/enero/2025

Oficio No. SAC/041/2025

Asunto: Autorización de impresión de tesis

JAZMÍN SARAHÍ JIMÉNEZ RAMOS
CANDIDATA AL GRADO DE MAESTRA EN
CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
P R E S E N T E

Por este conducto, tengo el agrado de comunicarle que el Comité Tutoral asignado a su trabajo de tesis titulado "Control de las variables en el cultivo de setas pleurotus ostreatus", ha informado a esta Subdirección Académica, que están de acuerdo con el trabajo presentado. Por lo anterior, se le autoriza a que proceda con la impresión definitiva de su trabajo de tesis.

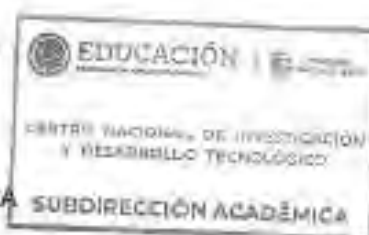
Esperando que el logro del mismo sea acorde con sus aspiraciones profesionales, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

Excelencia en Educación Tecnológica®

"Conocimiento y Tecnología al Servicio de México"


CARLOS MANUEL ASTORGA ZARAGOZA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO



c.c.p. Coordinación de Ingeniería
Departamento de Servicios Escolares

CMAZ/mz



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Carretera Interoceánica, Páramo 3M, Col. Roma.
C.P. 62400, Cuernavaca, Morelos Tel: 01 (777) 3627770, ext. 4404
email: area_centro@cenidet.mx | cenidet@cenidet.mx

cenidet





Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Coordinación de Gestión de la Ingeniería

Cuernavaca, Mor., **30/enero/2025**

OFICIO No. MCI/010/2025

Asunto: Aceptación de documento de tesis
CENIDET-AC-004-M14-OFCIO

DR. CARLOS MANUEL ASTORGA ZARAGOZA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO
PRESENTE

Por este conducto, los integrantes de Comité Tutorial de la C. Jazmín Sarahí Jiménez Ramos con número de control M23CE032, de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería, le informamos que hemos revisado el trabajo de tesis de grado titulado "Control de las variables en el cultivo de setas *pleurotus ostreatus*" y hemos encontrado que se han atendido todas las observaciones que se le indicaron, por lo que hemos acordado aceptar el documento de tesis y le solicitamos la autorización de impresión definitiva.


Dr. Carlos Manuel Astorga Zaragoza
Director de tesis


Dr. Juan Reyes Reyes
Revisor 1


M.C. Silvia Patricia Pérez Sabino
Coautor de tesis


Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez
Revisor 2

Ccp. Depto. Servicios Escolares
Expediente / Estudiante
AMR/mmr



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Secretaría de Educación Pública S/PE, C/PE, Política
C. P. 62000, Cuernavaca, Morelos Tel: 01 (777) 3627719, ext. 3009
e-mail: atencion@proceso.mec.sep.mx | cenidet.america.mx



Dedicatoria

Culminar esta maestría ha sido un viaje lleno de retos y aprendizajes, y no habría sido posible sin la ayuda y el apoyo de muchas personas valiosas en mi vida. En primer lugar, quiero agradecer a Dios por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. Su amor y bendición han sido la luz que ha iluminado mi sendero, dándome la fuerza y el coraje necesarios para superar cada obstáculo que se presentó.

A mi madre, cuyo amor incondicional, sabiduría y constante apoyo han sido pilares fundamentales para alcanzar este objetivo. Su sacrificio y dedicación son la razón por la cual me encuentro aquí hoy, y no existen palabras suficientes para expresar mi gratitud.

También a mi padre, sé que estarías inmensamente orgulloso de este logro. Aunque estés en el cielo, tus consejos nunca han caído en el olvido; siempre están presentes en mi vida. Sé que siempre buscaste lo mejor para nosotros y esos pasos quiero seguir. Dejaste una gran huella en mi vida y me enorgullece replicar tus enseñanzas con la misma dedicación y amor que tú me brindaste.

A mi querida hija, por ser mi mayor inspiración y motivación. Tu sonrisa y alegría han sido mi faro en los momentos más oscuros, dándome la fuerza para seguir adelante, incluso cuando todo parecía imposible. Este logro es tan tuyo como mío, porque sin ti, no habría tenido el mismo sentido ni la misma gratificación.

A mis hermanos, por estar siempre a mi lado, brindándome su apoyo incondicional y ánimo constante. Su cariño y compañía han sido el pilar que me ha sostenido en esta etapa de mi vida. Su fe en mí ha sido una fuente inagotable de motivación y me ha impulsado a superar cada desafío.

A mi querido amigo, *Manuel F.G.*, cuyas enseñanzas y constante ánimo me han mostrado que no hay obstáculos insalvables en esta vida cuando se persiguen metas con determinación. Su ejemplo de ser humano excepcional me ha inspirado a seguir adelante y a enfrentar cada reto con valentía.

A todos ustedes, les dedico este logro con todo mi corazón. A mis amigos, que en los momentos más complicados siempre me apoyaron con ánimos, conocimientos y hasta regaños cuando los necesitaba. Su compañía y apoyo han sido esenciales para llegar hasta aquí.

Gracias por estar siempre presentes y por creer en mí, incluso cuando yo mismo dudaba. Esta maestría es tanto de ustedes como mía, y espero que juntos sigamos celebrando muchos más éxitos en el futuro.

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera expresar mi más profundo agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por su invaluable apoyo. La beca otorgada ha sido fundamental para la realización de esta maestría. Gracias por creer en mi potencial y brindarme la oportunidad de crecer académicamente. Su compromiso con el desarrollo científico y tecnológico de nuestro país es admirable y ha permitido que muchos estudiantes, como yo, puedan alcanzar sus metas.

A mis directores de tesis, Dr. Carlos Manuel Astorga Zaragoza y Mtra. Silvia Patricia Pérez Sabino, agradezco enormemente su paciencia, guía y sabiduría a lo largo de este proceso. Su dedicación y compromiso han sido cruciales para el desarrollo y culminación de esta investigación. Gracias por compartir su conocimiento y por su inagotable apoyo en cada etapa de mi trabajo.

A los revisores de mi tesis, Dr. Juan Reyes Reyes y Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez, les agradezco profundamente por sus valiosas observaciones y sugerencias, que han enriquecido y mejorado mi investigación. Su tiempo y esfuerzo han sido fundamentales para lograr un trabajo de calidad, y valoro enormemente su dedicación.

Al Dr. Cornelio Morales Morales, le agradezco por su apoyo para la realización del proyecto y por su comprensión ante cada reto en este camino. Sus enseñanzas de escritura, el compartir sus conocimientos de patente, su paciencia, sus exhortaciones con la redacción y el animarme a continuar con el doctorado han sido invaluable. También agradezco su aceptación en el Tecnológico de San Juan del Río, donde fui recibido con mucho cariño para realizar mi estancia académica.

A todos los docentes que me han acompañado en este camino, les agradezco por su entrega y pasión por la enseñanza. Gracias por compartir su conocimiento y por inspirarme a ser una mejor profesional y persona. Cada clase, cada consejo y cada enseñanza han dejado una huella imborrable en mi formación académica.

Finalmente, quisiera agradecer a todos los involucrados en este proceso, desde el personal administrativo hasta mis amigos, *Emmanuel, Lizbeth, Reyna, Marlem* que siempre me animaban a seguir con la maestría y que me enseñaban cuando no sabía hacerlo. Su apoyo, comprensión y colaboración han sido esenciales para culminar esta maestría. Agradezco a cada uno de ustedes por haber formado parte de esta experiencia y por contribuir a mi crecimiento personal y profesional.

Resumen

En México, se calcula que existen más de 100,000 especies de hongos, aunque solo se han identificado alrededor de 3,000, de las cuales más de 200 son comestibles.

El proyecto se centra en el desarrollo de una cámara de fructificación para hongos seta, con control de las variables de producción. Los objetivos específicos del proyecto incluyen experimentar con el proceso de fructificación para entender su comportamiento, definir estrategias para mantener la humedad en el sustrato, diseñar un sistema automatizado para la cámara y crear un prototipo.

La automatización mediante plataformas como Arduino UNO mejora la calidad y productividad agrícola. Álvarez-Serrano et al. (2022) destaca la importancia de la industria 4.0 en la producción agrícola, subrayando la relevancia de la automatización y el control de la humedad para el crecimiento exitoso de los hongos.

La metodología del estudio se divide en tres etapas: Fructificación artesanal con monitoreo manual para recolectar datos iniciales, desarrollo de un prototipo con sensores para obtener datos precisos e implementación de un sistema automatizado para controlar las variables ambientales y optimizar la fructificación.

Además, se desarrollaron y construyeron los prototipos dos y tres, obteniendo resultados en los cuales ofrece aportes importantes de este trabajo; uno es la eficiencia biológica obtenida en esta etapa y el otro es el tiempo que tardó en fructificar.

Keywords: *Pleurotus ostreatus*, variables, diseño, temperatura, humedad relativa, sensores, eficiencia biológica.

Índice general

Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Resumen	IV
1. Introducción	1
1.1. Generalidades	1
1.1.1. Estado del arte	3
1.1.2. Diseño de un sistema de monitoreo y control	3
1.1.3. Sistema automatizado	4
1.1.4. Propiedad intelectual	4
1.1.5. Eficiencia biológica	4
1.2. Planteamiento del problema	5
1.3. Justificación	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. General	6
1.4.2. Específico	6
1.5. Alcances	6
1.6. Limitaciones	6
1.7. Estructura de la tesis	7
2. Marco Teórico	8
2.1. Hongos	8
2.1.1. Hongos comestibles	9
2.1.2. Clasificación de los hongos en México	9
2.1.3. <i>Pleurotus ostreatus</i> en México	10
2.1.4. Características nutricionales del <i>pleurotus ostreatus</i>	11
2.1.5. Tipos de sustrato para el <i>pleurotus ostreatus</i>	12
2.1.6. Fases del crecimiento del <i>pleurotus ostreatus</i>	13
2.1.7. Etapa de fructificación del <i>pleurotus ostreatus</i> artesanalmente	13
2.2. Control de las variables que influyen para la fructificación	14
2.2.1. Temperatura	15
2.2.2. Humedad relativa	15
2.2.3. Ventilación	15
2.2.4. Iluminación	15
2.3. Sensores de humedad relativa y temperatura	16
2.3.1. Actuadores	16
2.3.2. Microcontroladores	16
2.3.3. Arduino	17
2.3.4. Power bank	17
2.3.5. PIC16F877A	18
2.3.6. Luxómetro	18

2.3.7. Policarbonato	19
3. Metodología	20
3.1. Metodología	20
3.1.1. Fructificación artesanal con monitoreo manual.	21
3.1.2. Desarrollo de un prototipo con sensores para un monitoreo más preciso.	22
3.1.3. Implementación de un sistema automatizado para controlar las variables ambientales clave.	22
3.2. Diseño y construcción prototipo artesanal	23
3.3. Diseño y construcción control de variables	25
3.4. Diseño y construcción del sistema automatizado	29
4. Resultados	42
4.1. Prototipo Artesanal	42
4.1.1. Prototipo Artesanal ubicado en el CENIDET y en Lomas de Ahuatepec	43
4.2. Prototipo de Control de Variables	51
4.2.1. Prototipo localizado en Lomas de Ahuatepec	56
4.3. Prototipo Sistema Automatizado	63
4.3.1. Iluminación	76
5. Conclusiones y trabajos futuros	81
5.1. Trabajos futuros	82
5.2. Anexos	83
5.2.1. Publicaciones	83
5.2.2. Nomenclatura	88

Índice de figuras

2.1. Ciclo natural del <i>Pleurotus ostreatus</i>	10
2.2. Partes principales del hongo seta	11
2.3. Etapas del crecimiento del <i>pleurotus</i>	13
2.4. Diagrama proceso general del <i>Pleurotus</i> (Manual práctico del cultivo de hongos setas)	14
2.5. Partes del arduino UNO	17
2.6. Power bank	18
2.7. Microcontrolador PIC16F877A	18
2.8. Luxómetro	19
2.9. Policarbonato	19
3.1. Fases de la metodología	20
3.2. Diagrama de las fases dos y tres	21
3.3. Diseño prototipo artesanal AutoCAD	23
3.4. Higrómetro digital	23
3.5. Construcción prototipo artesanal	24
3.6. Bolsa de siembra artesanal	24
3.7. Vista superior control de variables	25
3.8. Vista frontal y lateral	26
3.9. Código para el arduino UNO	27
3.10. Circuito con arduino UNO	27
3.11. Prototipo terminado control de variables	28
3.12. Isométrico final fructificador	29
3.13. Partes del fructificador	30
3.14. Vista frontal	30
3.15. Vistas laterales izquierda y derecha	31
3.16. Vista superior	31
3.17. Diagrama del circuito automatizado	34
3.18. Diagrama del PIC16F877A	36
3.19. Equipo de seguridad	36
3.20. Mesa de trabajo y herramientas	37
3.21. Plano del prototipo automatizado	37
3.22. Base de aluminio 45 x 45 cm	38
3.23. Colocación de los ventiladores en los costados	38
3.24. Costrucción terminada, con sistema de riego y ventiladores	39
3.25. Circuito electrónico, para la cámara fructificadora	39
3.26. Prototipo automatizado	39
3.27. Cámara fructificadora, vista frontal	40
3.28. Lectura de humedad y temperatura	40
3.29. Tanque de agua con bomba, sistema de riego	41
4.1. Bolsa de siembra prototipo artesanal	43
4.2. Bolsa artesanal cosecha CENIDET	44
4.3. Segunda cosecha fructificación hongo seta CENIDET	45

4.4. Gráfica de temperatura primera fructificación	47
4.5. Gráfica de humedad primera fructificación	48
4.6. Gráfica de resultados de la cosecha artesanal	49
4.7. Cosecha artesanal	49
4.8. Cosecha artesanal sombrero y pie	50
4.9. Prototipo control de variables	51
4.10. Bolsa con primeros primordios	52
4.11. Primer cosecha	53
4.12. Segunda cosecha	54
4.13. Cosecha control de variables	55
4.14. Bolsas de micelio para el prototipo	56
4.15. Prototipo ubicado en Lomas de Ahuatepec	57
4.16. Cosecha Lomas de Ahuatepec	58
4.17. Peso en gramos de algunas cosechas	59
4.18. Gráfica de cosechas obtenidas en CENIDET y Lomas de Ahuatepec	62
4.19. Cosechas del control de variables	63
4.20. Peso del sustrato para el sistema automatizado	64
4.21. Medición con luxómetro	64
4.22. Certificación del luxómetro	65
4.23. Bolsa de siembra del sistema automatizado	66
4.24. Siembra de maíz y avena dentro del fructificador	66
4.25. Cuarta cosecha de rastrojo de maíz	68
4.26. Cosecha de rastrojo de maíz, pocos días	69
4.27. Primera cosecha de rastrojo de avena	70
4.28. Gráfica de resultados de la cosecha del sistema automatizado	72
4.29. Cosecha de rastrojo de avena	72
4.30. Gráfica de iluminación del sistema automatizado	77
4.31. Lecturas con el luxómetro	80
4.32. Cosechas del sistema automatizado	80
5.1. Modelo CANVAS	82
5.2. Artículo “Evaluación de las condiciones ambientales para diseñar una cámara de fructificación de <i>Pleurotus ostreatus</i> ”	83
5.3. Artículo “ <i>Bladeless wind turbines, an alternative for wind energy generation</i> ”	84
5.4. Constancia 1 CITCA	85
5.5. Constancia 2 CITCA	86
5.6. Retribución Social	87

Índice de tablas

2.1. Tipos de sensores utilizados en invernaderos	16
3.1. De variables sistema de control	25
3.2. Materiales plásticos, control de variables	26
3.3. Materiales electrónicos prototipo control de variables	26
3.4. Materiales para la construcción del sistema automatizado	32
3.5. Materiales electrónicos prototipo sistema automatizado	33
4.1. Resultado prototipo Artesanal	44
4.2. Resultado primera fructificación CENIDET	45
4.3. Resultado primera fructificación Lomas de Ahuatepec	46
4.4. Resultados de la primera cosecha en CENIDET	46
4.5. Resultado primera cosecha en Lomas de Ahuatepec	47
4.6. Resultados de las cosechas en CENIDET y Lomas	48
4.7. Primera cosecha CENIDET	52
4.8. Segunda cosecha CENIDET	53
4.9. Tercera cosecha en CENIDET	54
4.10. Cuarta cosecha en CENIDET	55
4.11. Primera cosecha Lomas de Ahuatepec	56
4.12. Segunda cosecha Lomas de Ahuatepec	57
4.13. Tercera cosecha en Lomas de Ahuatepec	58
4.14. Cuarta cosecha Lomas de Ahuatepec	58
4.15. Días que tardo en fructificar en CENIDET y Lomas	60
4.16. Primera cosecha de rastrojo de maíz	67
4.17. Segunda cosecha de rastrojo de maíz	67
4.18. Tercera cosecha de rastrojo de maíz	67
4.19. Cuarta cosecha rastrojo de maíz	68
4.20. Quinta cosecha de rastrojo de maíz	69
4.21. Primera cosecha de rastrojo de avena	69
4.22. Segunda cosecha de rastrojo de avena	70
4.23. Cosechas del sistema automatizado rastrojo de maíz y avena	71
4.24. Control de Iluminación sistema automatizado	76

Capítulo 1

Introducción

1.1. Generalidades

Con base a la información del portal de la SADER gobierno de México (2024), México, ocupa el primer lugar en América Latina, en la producción y consumo de hongos. Asimismo, menciona que “los aztecas llamaban a los hongos “nanacatl”, vocablo que significa ‘carne’; incluso los lugares donde crecían en abundancia, llevan nombres que destacan esta característica, como Nanacatepec (cerro de los hongos) y Nanacamilpa (lugar donde crecen los hongos), un ejemplo parte competitiva a la gastronomía.

El sitio gobierno de México (2024), que “los hongos setas (*Pleurotus ostreatus*) son las partes fructíferas del hongo, se encuentran en zonas boscosas”. Su reproducción se lleva a cabo por medio de esporas; y para su desarrollo necesitan de humedad y luz suficientes. Cabe mencionar que en México se cultivan cinco especies de hongos: champiñón, portobello, seta, hongo blanco y shiikate. Los cuales forman parte de la agricultura urbana en México cultivados en invernaderos.

Por otra parte, el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del estado de México Productor (2018), refiere que la producción anual de hongos y setas supera las mil 400 toneladas.

Los hongos están distribuidos ampliamente por todo el mundo, y existen aproximadamente 10 mil especies, las cuales solo el 10 % son comestibles.

Algunas de las características son: alto contenido en proteínas, minerales y vitaminas. Una de las razones clave para incorporar hongos setas en la dieta es su excepcional contenido en proteínas. A pesar de su bajo contenido calórico, Álvarez-Serrano et al. (2022), los hongos setas son una fuente valiosa de proteínas de alta calidad, esenciales para el desarrollo y mantenimiento de tejidos musculares, así como para una variedad de funciones biológicas esenciales, afirman Martínez-Carrera (2010), Carvajal Guerrero y Montoya Garcia (2019).

Por otro lado, cuenta con importantes beneficios nutricionales, pues los hongos setas ofrecen una amplia gama de nutrientes esenciales como vitaminas del complejo B, minerales como el selenio y el zinc, y antioxidantes que ayudan a combatir el estrés oxidativo en el cuerpo. De acuerdo con Álvarez-Serrano et al. (2022), estos elementos contribuyen al fortalecimiento del sistema inmunológico, mejoran la salud cardiovascular y favorecen la salud general del organismo.

Asimismo, se destaca por ser un producto natural y sostenible, ya que su cultivo puede realizarse de manera eficiente y respetuosa con el medio ambiente. Su capacidad para crecer en condiciones controladas hace que sean una opción viable y sostenible en comparación con otras fuentes de proteínas animales según Cabrera Trujillo y Chacha Chasi (2024). Además, el cultivo de hongos setas puede contribuir a la gestión de residuos orgánicos, convirtiéndolos en un recurso valioso.

En el rubro económico, la exportación mexicana de hongos setas ha ganado relevancia, ya que nuestro país se ha convertido en un importante proveedor de este producto a nivel internacional. El aumento de la

demanda global ha impulsado la producción y exportación de hongos setas mexicanos, genera oportunidades económicas importantes para agricultores y contribuyendo al desarrollo sostenible del sector. De acuerdo a Maldonado Ramón (2022), desarrollar un diseño el cual tenga cualidades que aporten al desarrollo del *pleurotus*, creando un ambiente adecuado para su etapa de fructificación es importante tomar en cuenta estas variables, en su etapa.

Finalmente, por la versatilidad de los hongos setas, éstos pueden consumirse durante todas las estaciones del año, ya sea en platos calientes durante el invierno o en ensaladas frescas en verano. Así mismo afirma Estrada Popoca (2023), los hongos setas ofrecen opciones culinarias variadas que se adaptan a las preferencias y necesidades estacionales.

1.1.1. Estado del arte

En total, se recolectaron 98 artículos, de los cuales solo 50 se tomaron en cuenta, entre el año 2005 y 2023 en la base de datos Google académico, Scopus, Scielo, EBSCO, DOAJ. El perfil inicial de los artículos se centró en el diseño y control para la fructificación de hongos setas, y se tuvo que ampliar los criterios de búsqueda debido a que era necesario implementar los tipos de materiales que se ocupan para la construcción de este proyecto, y así mismo identificar si es que existe alguna patente en México o en el mundo.

1.1.2. Diseño de un sistema de monitoreo y control

En las diversas condiciones naturales que favorecen el crecimiento de los hongos, es esencial mantener una temperatura constante, disponer de aire fresco y controlar la humedad relativa. Estos elementos son necesarios para acelerar el crecimiento de los hongos, ya que, al igual que las personas, exhalan dióxido de carbono durante su desarrollo.

Posteriormente, para propiciar su fructificación, es crucial inducir un descenso de temperatura, un aumento en la humedad relativa, proporcionar iluminación constante y renovar el aire fresco. Castillo Melgar (2021) explica que los invernaderos ofrecen un entorno adecuado para cultivar una variedad de frutas y verduras, independientemente de las condiciones climáticas o la humedad del suelo. Este avance supone un gran paso adelante en la agricultura controlada, ya que garantiza los niveles precisos de temperatura y humedad requeridos para el desarrollo adecuado de los cultivos. La implementación de un sistema automatizado para controlar los cultivos en invernaderos se centra en cuatro aspectos fundamentales: temperatura, humedad y riego por goteo.

Este sistema se desarrolla utilizando la plataforma de código abierto Arduino UNO, la cual con Arduino (2019) recomienda por su capacidad para manejar múltiples controladores y sensores con hasta 16 puertos. Además, Carvajal Guerrero y Montoya Garcia (2019) destacan la importancia de adoptar sistemas automatizados en un entorno competitivo. La utilización de la industria 4.0 abre nuevas oportunidades para mejorar la calidad de la producción agrícola. Además, según Martínez-Carrera (2010) sugieren la viabilidad de controlar estos sistemas desde dispositivos móviles como smartphones, tabletas o computadoras portátiles, lo que permite acceder a información en tiempo real sobre las condiciones del cultivo y cumplir con las demandas actuales de productividad.

Ortiz et al. (2022) afirman que los avances tecnológicos seguirán impulsando el crecimiento continuo de la agricultura mediante la automatización, el control de variables y el uso de herramientas especializadas. Estas mejoras facilitarán una interacción más favorable entre la agricultura y el medio ambiente, contribuyendo así a una mayor productividad y sostenibilidad agrícola.

Finalmente, Ruiz-González et al. (2024) subrayan la influencia crucial de la humedad en el desarrollo exitoso de los hongos. Destacan que los nutrientes se trasladan desde el micelio hacia los cuerpos fructíferos mediante un flujo constante de humedad. Además, señalan que factores ecológicos como la temperatura del aire, la humedad, la ventilación y la consistencia del sustrato son determinantes en la altura, diámetro y tamaño de los hongos. Estrada Popoca (2023) también enfatiza la importancia de estos factores para el crecimiento óptimo de los hongos.

1.1.3. Sistema automatizado

En el artículo de Maldonado Ramón (2022), se menciona que la falta de un sistema automatizado en un invernadero puede provocar pérdidas de insumos y generar productos de mala calidad o incluso contaminados. El autor sugiere la implementación de sistemas automatizados, basándose en su desarrollo en aeropónica. Señala que el control de variables como la humedad y la temperatura mejoró significativamente su producción. Además, menciona los sensores utilizados, como el DTH22 y DTH11.

Por otro lado, Acero et al. (2021) sugieren que, para controlar el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, es fundamental tener en cuenta la temperatura, la humedad, la ventilación y la luz. Para ello, recomiendan el uso de sensores como el DTH11, que funcionan como controladores de humedad y temperatura.

La implementación de un sistema automatizado, de acuerdo con Coyago Calle (2023), permite modular la temperatura y humedad, incrementando 1.8 veces la producción mediante el uso de sensores industriales STH10 y EI1050.

Rocha et al. (2022) menciona que este tipo de sistemas crea un ambiente controlado que optimiza la producción del invernadero y que se pueden utilizar energías renovables, como la eólica y la solar, dependiendo del tipo de invernadero.

1.1.4. Propiedad intelectual

De acuerdo a Guzmán Vásquez (2020) en México, la propiedad intelectual abarca la protección legal de creaciones mentales como invenciones, obras literarias y artísticas, así como símbolos, nombres e imágenes empleados en el comercio. Esta protección se proporciona mediante la propiedad industrial y los derechos de autor.

Una patente es un derecho exclusivo concedido por el Estado para una invención, y se obtiene a través del IMPI mediante un documento técnico que detalla el progreso tecnológico de la invención. También se realizó la búsqueda de alguna patente en México y no se encontró ningún registro, solamente en la OMPI.

En el año 2023, Mella diseñó un fructificador innovador equipado con un sistema que permite controlar manualmente variables clave a través de perillas externas. Mella detalla que estas perillas regulan la humedad, el flujo de aire fresco y la intensidad de la luz, ofreciendo así un enfoque práctico y adaptable para optimizar el entorno de fructificación.

1.1.5. Eficiencia biológica

La eficiencia biológica, según Rodríguez et al. (2021), se refiere a la cantidad de biomasa de hongo que se puede producir en relación con la cantidad de sustrato utilizado para su cultivo, generalmente expresada como un porcentaje.

Para el *Pleurotus ostreatus*, la *eficiencia biológica* puede variar entre el 30 % y el 100 % o incluso más, dependiendo de las condiciones de cultivo, el tipo de sustrato y las técnicas empleadas. Marino et al. (2021) afirma que la eficiencia biológica es un indicador clave de la productividad y rentabilidad en el cultivo de hongos, y es importante para evaluar la sostenibilidad de la producción.

En la ecuación. (1.1) se puede observar la fórmula para poder medir la *eficiencia biológica* es la siguiente:

$$\text{Eficiencia biológica} = EB = \left(\frac{\text{Peso del hongo fresco cosechado}}{\text{Peso del sustrato}} \right) \times 100 \quad (1.1)$$

Conclusiones del estado del arte

El cultivo de *Pleurotus ostreatus* resalta la complejidad y las etapas clave del proceso, desde la preparación del inóculo hasta la cosecha. Este hongo no solo presenta un valor nutricional significativo y propiedades medicinales, sino que también ofrece una alternativa económica en la producción de alimentos. La eficiencia biológica del cultivo, que puede oscilar entre el 30 % y el 100 %, es fundamental para evaluar su rentabilidad y sostenibilidad.

La incorporación de tecnologías automatizadas, como invernaderos controlados y sensores de humedad y temperatura, puede mejorar considerablemente la producción, optimizando las condiciones necesarias para una fructificación exitosa.

Finalmente, el uso de materiales como el policarbonato para la construcción de invernaderos aporta durabilidad y eficiencia económica, beneficiando aún más el desarrollo de este sector.

1.2. Planteamiento del problema

La producción local de *Pleurotus ostreatus* se ha llevado a cabo de manera artesanal, sin un control específico de la temperatura y la humedad. Esto resulta en frutos de poco peso, de color marrón, y en ocasiones deshidratados. Además, su producción se limita a algunos meses del año, a pesar de que se monitorean estas variables. El riego se realiza manualmente dos veces al día, sin medir la cantidad de agua aplicada.

Además, en la literatura se menciona la radiación de los focos, pero no se especifica la cantidad de lúmenes necesarios ni la distancia a la que debe colocarse la lámpara durante la etapa de fructificación. El micelio se produce con diferentes sustancias orgánicas, utilizando principalmente rastrojo de paja en los trabajos reportados.

Cabe destacar que toda la literatura revisada se ha centrado en la producción en invernaderos y no en cámaras de fructificación, donde solo se cultiva el micelio.

1.3. Justificación

El planeta está atravesando momentos críticos debido a los efectos globales de la crisis climática y sus repercusiones en la disponibilidad de alimentos de acuerdo con López (2023). Mientras una gran parte del mundo sufre los estragos del cambio climático, con temperaturas muy extremas. El proyecto actual surge de la necesidad de controlar y monitorear de manera automatizada las variables esenciales para la fructificación del hongo seta (*Pleurotus Ostreatus*).

En México, la siembra del hongo seta lo realizan de manera rústica, esto dice que no se cuenta con las condiciones óptimas para la fructificación, como son la temperatura, humedad, ventilación y luz. Por tal motivo estas variables afectan a la fructificación de él. El hongo seta se puede cultivar en cualquier espacio; siempre y cuando se cumplan con las condiciones necesarias para su óptima fructificación, como afirma Ruiz-González et al. (2024).

Considerando las propiedades nutricionales que contiene para la salud humana y que proporciona proteínas y minerales beneficiosos, la instalación de una cámara fructificadora automatizada en el hogar resultaría altamente beneficiosa para las familias. Esta instalación permitiría la obtención de hongos de manera automatizada durante todas las estaciones del año.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Desarrollar una cámara de fructificación de hongos setas, controlando las variables que intervienen en su producción.

1.4.2. Específico

- Asimilar el proceso biológico de fructificación del hongo seta.
- Identificar las variables que permite el desarrollo adecuado del hongo seta.
- Diseñar una cámara de fructificación para el hongo seta.
- Instrumentar la cámara para la óptima fructificación.
- Validar el funcionamiento del fructificador con respecto a la eficiencia biológica

1.5. Alcances

- **Aspectos Técnicos:** Incluye el diseño eficiente y automatizado de la cámara, utilizando tecnologías como sensores y sistemas de control, con un enfoque en la mejora continua del prototipo.
- **Sociales:** Se enfoca en la capacitación de agricultores, generación de empleo y contribución a la seguridad alimentaria.
- **Ambientales:** Promueve el uso eficiente de recursos, la reducción de desperdicios y el fomento de la biodiversidad agrícola.
- **Cumplimiento de Normativas:** El proyecto cumple con normativas, obtener certificaciones y potencialmente patentar innovaciones.
- **Investigación y Desarrollo:** Se busca la innovación continua y la colaboración con instituciones académicas.

1.6. Limitaciones

- **Recursos Financieros:** Puede haber limitaciones en términos de presupuesto para la investigación y desarrollo del prototipo.
- **Limitaciones Tecnológicas:** Las limitaciones en la disponibilidad de tecnologías avanzadas podrían afectar la implementación de sistemas de monitoreo y regulación.
- **Complejidad Biológica:** La variabilidad biológica inherente al proceso de fructificación de hongos setas puede presentar desafíos en la definición de estrategias precisas para el control de variables
- **Ajustes Estacionales:** Las condiciones ambientales externas pueden cambiar estacionalmente, lo que podría afectar la eficacia de la cámara en diferentes momentos del año.
- **Escalabilidad:** La capacidad de escalar la producción a niveles comerciales podría ser una limitación dependiendo de los recursos disponibles.

1.7. Estructura de la tesis

Esta tesis está compuesta de cinco capítulos. En el Capítulo I se encuentran la introducción, los antecedentes, el planteamiento del problema y los objetivos, los cuales son fundamentales para desarrollar este proyecto.

En el Capítulo II se presenta la parte teórica y los conceptos del proyecto.

En el Capítulo III se describe la metodología para el desarrollo del proyecto y sus fases.

En el Capítulo IV se presentan los resultados de los ensayos experimentales en los diferentes prototipos, el desarrollo y la construcción de cada prototipo propuesto, así como un análisis de resultados.

En el Capítulo V se exponen las conclusiones y las recomendaciones generales del proyecto de tesis. Finalmente, se incluyen las referencias bibliográficas, los apéndices relevantes del estudio y algunas evidencias de los productos relacionados.

Capítulo 2

Marco Teórico

El *Pleurotus ostreatus*, conocido también como “hongo ostra”, es un hongo comestible valorado por su alto contenido nutricional además de sus beneficios para la salud. En México, es ampliamente cultivado debido a su adaptabilidad a diferentes sustratos y condiciones climáticas.

El cultivo del *Pleurotus ostreatus* requiere el control preciso de variables ambientales como la temperatura, la humedad relativa, la ventilación y la iluminación para asegurar una fructificación óptima.

Además, el uso de sensores y microcontroladores permite mantener las condiciones ideales dentro de la cámara de cultivo, facilitando así la producción de hongos de alta calidad.

2.1. Hongos

El reino Fungi agrupa a todos los organismos eucariotas clasificados como los hongos, y abarca cerca de 144, 000 especies distintas. La variedad de formas y estructuras morfológicas que poseen los hongos hacen de este reino un grupo con una biodiversidad excepcional. Dentro de este se encuentran levaduras, moho y setas.

De acuerdo con Roldán (2022), la micología, ciencia que estudia los hongos, ha catalogado solo un 5 por ciento de todas las especies, y estima que aún existen aproximadamente 1.5 millones de especies desconocidas. En los apartados siguientes se detallan las principales características de los hongos, además de su clasificación y se proporcionan ejemplos para comprenderlos mejor.

Dentro de los ecosistemas naturales, los hongos son esenciales para mantener el equilibrio de las comunidades biológicas, ya que son los descomponedores por excelencia. Estos organismos permiten el reciclaje y mantenimiento de la energía y los elementos orgánicos e inorgánicos del ecosistema.

En los entornos humanos, la relación con los hongos es estrecha y cotidiana. Se emplean en la elaboración de bebidas como vinos y cervezas, en la producción de alimentos como quesos y pan, además de aprovechar sus propiedades bioquímicas y metabólicas, y también se consumen directamente en forma de setas y otros hongos comestibles.

Por su parte, RoblesGil (2021), enunció que “los hongos tienen un papel destacado en la medicina y la farmacología, ya que muchos antibióticos y principios activos útiles para tratar enfermedades se obtienen a partir de sus propiedades inmunosupresoras y antiepidémicas”.

Sin embargo, como señalan Rodríguez y Pérez (2022), “algunos hongos también pueden ser patógenos temidos por su capacidad de afectar la salud de personas, animales y plantas, y algunos poseen propiedades

venenosas y alucinógenas”.

2.1.1. Hongos comestibles

Según Kour et al. (2022), “los hongos comestibles son valorados como alimentos funcionales por su alto contenido en nutrientes y energía”.

Además, generan compuestos químicos con actividades biológicas que benefician la calidad de vida de quienes los consumen. Debido a que son ingredientes esenciales en la tendencia actual hacia el consumo de alimentos naturales, seguros y nutritivos, su demanda está en constante crecimiento.

Por su parte, Ríos-Ruiz et al. (2017), “además de su alto contenido proteico, que puede variar entre el 30 y el 40 % de proteína cruda, según la especie y el sustrato de cultivo, también son una excelente fuente de 6 carbohidratos no amiláceos, fibra, aminoácidos, minerales y vitaminas”. Los antioxidantes son sustancias que pueden detener o disminuir las reacciones en cadena de los radicales libres, los cuales provocan daño oxidativo y están implicados en diversas enfermedades como el cáncer, así como en el proceso de envejecimiento. “Los antioxidantes que se encuentran en la dieta son considerados esenciales y beneficiosos para la salud” afirman González-Morales et al. (2021).

Además, los hongos también proporcionan pigmentos naturales. En este sentido, desde el punto de vista de Rosales López (2019), “se emplea una innovadora técnica para producir colorantes a partir de microorganismos que aprovecha la presencia de metabolitos secundarios con tonalidades específicas”. Estos colorantes no tienen efectos nocivos para la salud y ofrecen numerosas ventajas económicas en el ámbito industrial. En Asia, su uso se extiende más allá de la coloración de alimentos, aplicándose también en las industrias farmacéutica y textil, como conservadores para carne y pescado, como agentes de sabor por sus aromas y sabores distintivos, y en la elaboración de vino de arroz rojo.

2.1.2. Clasificación de los hongos en México

El estudio de los hongos en México comenzó en el Siglo XVI, con la difusión a través de publicaciones aisladas provenientes de Europa como afirman Aguirre-Acosta et al. (2014). En este tenor, “la micología en México se estableció, aunque de manera limitada, en las décadas de 1940 y 1950, enfocándose en investigaciones sobre levaduras, hongos fitopatógenos y de interés médico, y posteriormente sobre macromicetos. México es considerado un país megadiverso en términos de grupos de organismos, y ocupa el quinto lugar a nivel mundial por su gran número de especies y endemismos, al abarcar el 10 % de la diversidad terrestre del planeta.

Su ubicación geográfica, junto con su variada topografía que incluye diferentes altitudes y climas, ha creado un mosaico de condiciones ambientales y microambientales que fomentan una amplia variedad de hábitats y formas de vida, lo que otorga a México una notable diversidad biológica.

Como afirma el gobierno de México (2024), “se estima que hay más de 100 mil especies de hongos en el país, aunque sólo se han identificado cerca de tres mil, de las cuales más de 200 son comestibles”. Los productores del país nos brindan más de 14,572 toneladas de hongos, setas y champiñones. En este rubro se destaca Guanajuato como un importante productor de estos alimentos nutritivos.

2.1.3. *Pleurotus ostreatus* en México

Akter et al. (2022). establecen que México lidera la producción de hongos en América Latina, seguido por Brasil y Colombia. Más allá de la producción de setas, los hongos del género *Pleurotus* tienen un gran potencial, ya que el sustrato agotado obtenido durante el proceso de fermentación en medio sólido puede usarse de diversas maneras, como en la obtención de enzimas, fertilizantes, abonos orgánicos, biorremediadores y alimento para rumiantes.

Además, se utiliza en la producción de plántulas de *Carica papaya* Lin., variedad Maradol Roja, en condiciones de cultivos semiprotegidos. Se estima que el género *Pleurotus* ocupa el tercer lugar entre los hongos con mayor producción y consumo a nivel mundial, después del hongo botón (*Agaricus bisporus*) y el hongo shiitake (*Lentinula edodes*). El hongo seta (*Pleurotus ostreatus*) se considera el segundo hongo comestible más cultivado a nivel mundial, sólo superado por el *Agaricus bisporus*.

De acuerdo con Martínez (2021), “durante más de 20 años, los hongos del género *Pleurotus* han sido los más cultivados en países latinoamericanos, después del champiñón”. En menos de un siglo de desarrollo, se han convertido en el segundo hongo más cultivado en el mundo, solo superado por el *shiitake*. Además, el valor de los hongos frescos *Pleurotus* en el mercado suele ser significativamente mayor que el del champiñón, aunque esto varía según el país, en la siguientes Fig. 2.1. se muestra el ciclo natural del *Pleurotus ostreatus*.

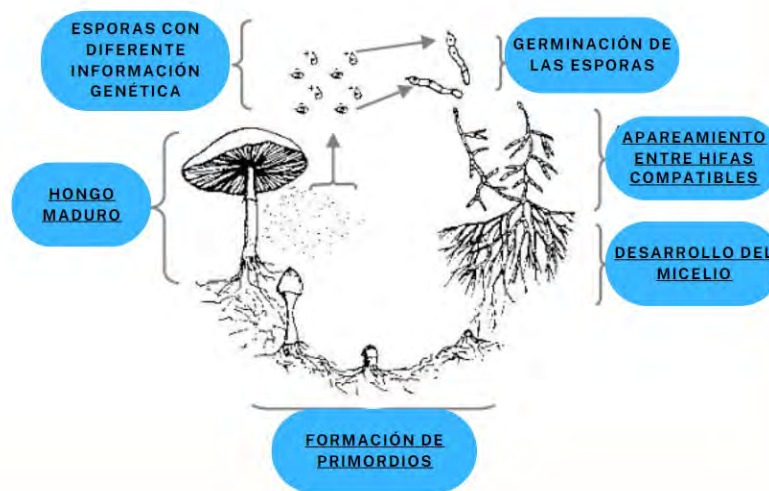


Figura 2.1: Ciclo natural del *Pleurotus ostreatus*

La especie de las setas que son cultivadas, casi siempre tiene forma de paraguas con un sombrero arriba, un poco circular y un poco abierto y un pie que lo sostiene. En la parte inferior del sombrero tiene unas laminillas verticales, que van desde el centro hasta donde se encuentra el pie, como se muestra en la Fig. 2.2.

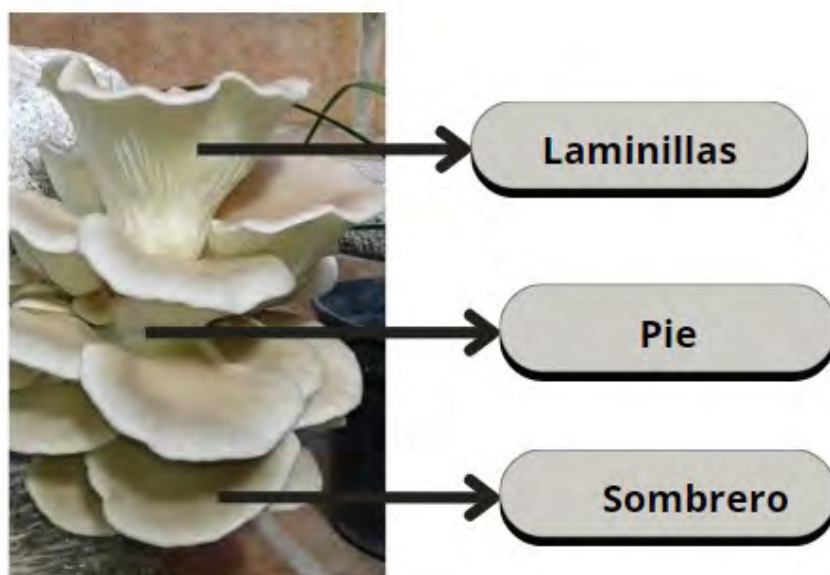


Figura 2.2: Partes principales del hongo seta

2.1.4. Características nutricionales del *pleurotus ostreatus*

Por su parte, Montañó y Peña (2017), afirman que “Los hongos comestibles son reconocidos por sus destacados atributos nutricionales, ya que constituyen una rica fuente de fibra, proteína, vitaminas y minerales. En términos de contenido proteico, representan entre una quinta y una tercera parte de su peso, lo que ofrece una alternativa valiosa para aquellos que buscan complementar su ingesta de proteínas a través de fuentes vegetales, como leguminosas, o incluso sustituir la carne según las preferencias individuales.

Asimismo, los hongos comestibles contienen vitaminas esenciales, incluyendo el complejo B (niacina, tiamina, riboflavina y ácido fólico), además de minerales como potasio, fósforo y calcio. Debido a sus características distintivas que los separan de plantas y animales, los hongos comestibles son clasificados en un reino independiente conocido como el reino Fungi. Se cree que la práctica de cultivar y producir hongos silvestres comenzó hace más de 2,000 años en China.

La explotación de hongos comestibles silvestres tiene lugar en diversas regiones boscosas del mundo, y se estima que anualmente se comercializan más de 200,000 toneladas.

Según refiere Tapia López (2019), “en el contexto de Mesoamérica, los hongos comestibles también desempeñaron un papel importante en la dieta de varias civilizaciones”. Al respecto agrega que el término “setas” se utiliza para hacer referencia a los cuerpos fructíferos de los hongos, específicamente el *Pleurotus ostreatus*.

México, pionero en el cultivo de setas en América Latina, inició esta actividad en la década de 1970, y desde entonces, el interés por su propagación y consumo ha ido en constante aumento.

En este mismo sentido, señala Tapia López (2019) “gracias al contenido relativo de proteínas en el cultivo de setas, en la última década, los niveles de producción han experimentado un aumento significativo, incrementándose alrededor del 400 %. En la actualidad, México produce aproximadamente 4 mil toneladas de setas anualmente, lo que equivale a cerca del 60 % de la producción total de América Latina”.

2.1.5. Tipos de sustrato para el *pleurotus ostreatus*

Los hongos *Pleurotus ostreatus* dependen de sustratos orgánicos como los de maíz y avena, los cuales pueden ser aprovechados de manera más eficiente si se controlan las condiciones ideales para su crecimiento. Se clasifican en tres tipos según su nutrición:

1. Saprófitos: Plantas o microorganismos que se alimentan de materia orgánica en descomposición
2. Parásitos: Organismos animales o vegetales que viven a expensas de otros de distinta especie, alimentándose de ellos y debilitándolos sin llegar a matarlos.
3. Micorrizas: Asociaciones simbióticas entre las raíces de plantas y ciertos hongos.

Actualmente, afirman Duarte Trujillo y González Trujillo (2018) se cultivan principalmente los hongos saprófitos, que descomponen materia orgánica como pajas, madera y hojas. Estos hongos necesitan compuestos inorgánicos como fuente nutritiva, y sus principales fuentes son el carbono, celulosa, lignina y hemicelulosa, presentes en la materia orgánica como aserrín, residuos de maíz, caña de azúcar y avena.

Según el análisis realizado por Tapia López (2019), se utiliza una combinación de paja de trigo (*Triticum spp*), avena (*Avena sativa*) y zacate (*Cynodon dactylon*) molido como sustrato principal. Este sustrato es elegido por su capacidad para promover el desarrollo del hongo y su disponibilidad en la zona de estudio. El proceso incluye la hidratación y/o prefermentación del sustrato, sumergiéndolo en agua durante 20 horas a una humedad del 70 % o sometiéndolo a una prefermentación de 3 a 10 días. Posteriormente, el sustrato se coloca en arpillas y se somete a tratamiento térmico mediante vapor (pasteurización a 80°C durante 2 horas), seguido de un tratamiento térmico adicional.

El objetivo de estos procedimientos es reducir selectivamente parte de la flora microbiana competidora en el sustrato, con lo que se favorece el desarrollo adecuado del hongo comestible (*Pleurotus ostreatus*).

2.1.6. Fases del crecimiento del *pleurotus ostreatus*

El crecimiento de un hongo se inicia a partir de una espora o de una fracción viable de hifa, las cuales en conjunto forman lo que se conoce como micelio, según explican Cappello-García et al. (2020). “Bajo condiciones favorables de temperatura y humedad en la naturaleza, como señalan Zamora et al. (2024), el micelio se extiende sobre el sustrato, y se generan pequeños primordios o brotes que, al recibir nutrientes, se desarrollan hasta transformarse en la seta, como detallan Delgado et al. (2020).

Estas setas, a medida que crecen, se nutren de materia orgánica, descomponiendo sustancias mediante enzimas que liberan al medio húmedo circundante, lo que permite que los nutrientes sean absorbidos por las hifas del micelio.

La primera condición para el desarrollo del hongo seta son los primordios, pequeños brotes de 1 a 2 mm. de altura. Depende del tipo de micelio, ya sea gris, blanco o rosa, el primordio adquirirá el color característico de la seta madura. A medida que esta crece y se alarga, se pueden distinguir tres regiones diferentes: el píleo, las láminas y el estipe, como indican Cappello-García et al. (2020). En la Fig. 2.3 se muestran las diferentes etapas del crecimiento del hongo seta.

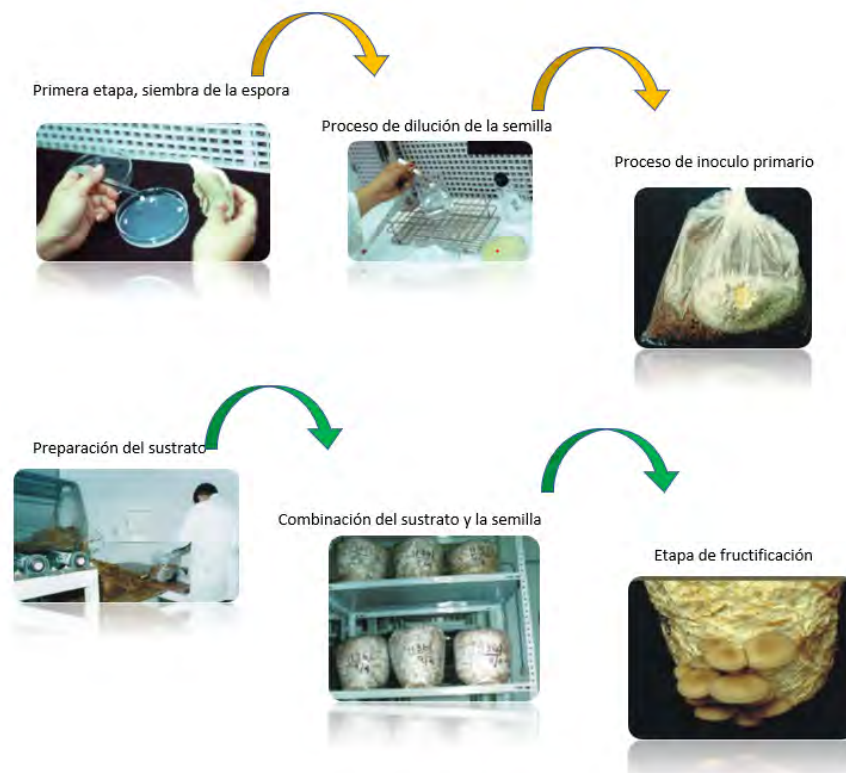


Figura 2.3: Etapas del crecimiento del *pleurotus*

2.1.7. Etapa de fructificación del *pleurotus ostreatus* artesanalmente

El cultivo de hongos involucra diversas operaciones que deben llevarse a cabo con atención. Las condiciones para la preparación, inoculación, incubación y producción del sustrato varían según las especies de hongos que se vayan a cultivar, según afirma García et al. (2022). Por su lado Ruiz-González et al. (2024) también menciona que la humedad, influye en el éxito de crecimiento de hongos. Los nutrientes son transportados desde el micelio a los cuerpos fructíferos por un flujo constante de humedad.

El autor agrega que los principales factores ecológicos que logran afectar la altura y diámetro del tallo del hongo, el tamaño de la cabeza del hongo, depende de la temperatura y del aire. En la Fig. 2.4 se muestra un

resumen del proceso general de producción del hongo *Pleurotus ostreatus* a partir de la producción.

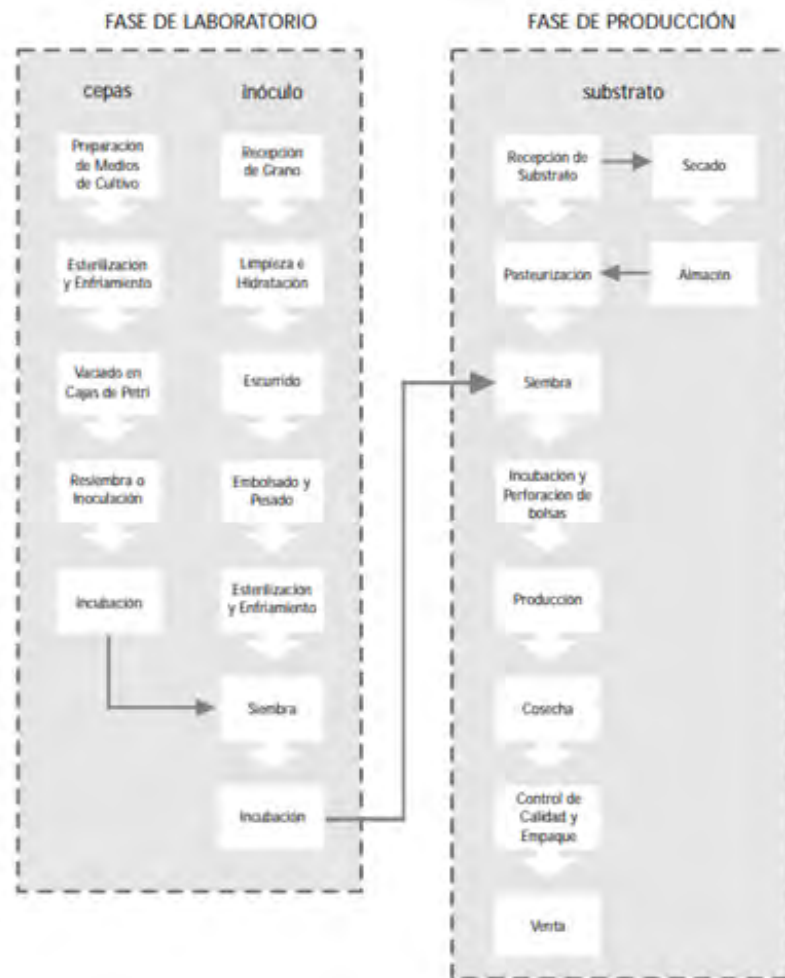


Figura 2.4: Diagrama proceso general del *Pleurotus* (Manual práctico del cultivo de hongos setas)

En este mismo sentido, Meneses-Álvarez et al. (2023), manifiesta que “el tiempo que se requiere cuando han salido los primeros primordios, tarda de 3 a 5 días para su primera cosecha, en la segunda cosecha tarda de 10 a 15 días aproximadamente y así durante otras dos cosechas más, por lo tanto el tiempo aproximado en que la bolsa alcance sus 4 etapas de fructificación es de entre 45 y 60 días.

2.2. Control de las variables que influyen para la fructificación

El control de variables que influyen según Marino et al. (2021) en la fructificación implica la gestión y supervisión de factores determinantes en el proceso. Esto incluye aspectos como la temperatura, la humedad, la calidad del sustrato, la iluminación y otros elementos ambientales que afectan directamente el desarrollo de la fructificación.

Este control busca crear condiciones óptimas para el crecimiento de hongos, y asegura un entorno propicio que maximice la producción y calidad de las setas. Además, permite ajustar y mantener los parámetros ideales a lo largo del ciclo de cultivo, y contribuye así al éxito y eficiencia del proceso de fructificación, como señalan Sánchez y Hernández (2020).

2.2.1. Temperatura

Pascual-Pineda et al. (2021) mencionan que es importante el control de la variable de la temperatura. Este avance representa un gran progreso en la agricultura controlada, ya que permite mantener los niveles óptimos de temperatura y humedad necesarios para el crecimiento adecuado de los cultivos.

La temperatura ejerce una influencia significativa sobre el metabolismo de las células, de manera que es posible que un hongo tenga una temperatura óptima para la germinación distinta a la temperatura óptima para la fructificación, según lo señala Saavedra Castillo (2023).

En el caso del *Pleurotus*, un género de hongo, se destaca que su micelio puede desarrollarse en un amplio rango de temperaturas, comprendido entre 0 y 35 °C, con una temperatura adecuada de 25 °C. No obstante, se observa que las temperaturas para la fructificación son ligeramente inferiores a las temperaturas adecuadas para el crecimiento micelial.

2.2.2. Humedad relativa

Dentro de un invernadero, la transpiración juega un papel crucial. El hongo se deshidrata ante la escasez de humedad en el ambiente, lo que detiene su desarrollo. Al respecto, Rodríguez y Pérez (2022) explican que esto se debe a que, durante el día, a medida que la temperatura del aire aumenta, la humedad relativa baja.

La medición de la humedad relativa se realiza con un dispositivo llamado higrómetro. Estos dispositivos emplean diversas tecnologías, como capacitancia, resistencia o psicrometría, para obtener mediciones precisas de la humedad relativa. Algunos higrómetros modernos están equipados con sondas que se pueden colocar en diferentes ubicaciones para obtener mediciones más exactas. Como plantea García et al. (2021), “la humedad es crucial para el crecimiento del hongo, ya que el agua permite que las enzimas descompongan los polímeros que constituyen su alimento y son transportadas a través de un medio acuoso. Además, la presencia de agua facilita la absorción de nutrientes por el micelio. Dentro de un invernadero, la transpiración juega un papel crucial”. El hongo se deshidrata ante la escasez de humedad en el ambiente, lo que detiene su desarrollo. Ruiz-González et al. (2024) explican que esto se debe a que, durante el día, a medida que la temperatura del aire aumenta, la humedad relativa baja.

2.2.3. Ventilación

Los hongos, al ser organismos aeróbicos, requieren aire fresco para crecer adecuadamente. Desde el punto de vista de Flores Bracero (2024) “es importante proporcionar oxígeno al sustrato y evitar la acumulación de contaminantes. Si la ventilación es insuficiente, los hongos pueden morir por falta de oxígeno. Por otro lado, si la ventilación es excesiva, el sustrato puede comenzar a secarse. Asimismo, declara, García et al. (2022) “en el caso de *Pleurotus*, se ha observado que una alta concentración de dióxido de carbono favorece la germinación de las esporas y el crecimiento del micelio (primordios), pero inhibe la fructificación.

2.2.4. Iluminación

Todos los seres vivos generalmente obtienen la luz de la energía luminosa del sol, que luego se convierte en energía calorífica. Como plantea Antolí (2018), para estos cultivos, se necesita un ambiente con poca luz, aproximadamente 100 luxes, para que el hongo alcance la mejor calidad. Con esta cantidad de luz, el hongo crece muy tierno y con una coloración delicada, y alcanza un tamaño de 12 a 15 cm. Para tener una referencia, a plena luz del día hay unos 2000 luxes. Los luxes se miden con un luxómetro.

2.3. Sensores de humedad realtiva y temperatura

Existen diferentes tipos de sensores. En este trabajo se realiza un análisis de cuáles son los más económicos y qué grado de confiabilidad tienen. Zhu et al. (2023) menciona que los sensores DTH22 y DTH11, son los más veraces, repetibles y con alta resolución, además de ser de bajo costo, según la Organización Meteorológica Mundial. La literatura incluye estudios sobre invernaderos automatizados con sensores de bajo costo, comparando DTH11, DTH22 y STH10, mostrándose en la siguiente tabla 2.1, los sensores más utilizados en invernaderos.

Tabla 2.1: Tipos de sensores utilizados en invernaderos

	Autor	Sensores		
		DTH11	DTH22	STH10
Invernaderos	Sosa (2024)	x	X	X
	Coyago (2023)		X	
	Gómez (2022)	X	X	
	González (2018)	X	X	
	Arancio (2023)	X	X	

2.3.1. Actuadores

Un actuador es un componente de un dispositivo o máquina que facilita la ejecución de movimientos físicos al transformar energía, ya sea eléctrica, neumática o hidráulica, en fuerza mecánica, de acuerdo con la RAE (2024). En resumen, es el elemento de cualquier máquina que posibilita el movimiento.

2.3.2. Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado que incluye una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), puertos de entrada y salida, y periféricos. Como afirma Electrónica (2024), estos componentes están interconectados dentro del microcontrolador, conformando una microcomputadora. Según Bolton (2013), en esencia, un microcontrolador es una microcomputadora completa en un solo circuito integrado. Su principal función es leer y ejecutar los programas que el usuario escribe, lo que hace que la programación sea una actividad fundamental en el diseño de circuitos y sistemas que los incorporen. La capacidad de programación de los microcontroladores simplifica el diseño de circuitos electrónicos, permitiendo modularidad y flexibilidad. Un mismo circuito puede realizar distintas funciones simplemente cambiando el programa del microcontrolador.

2.3.3. Arduino

Dicho de las palabras de Bolton (2013), un Arduino es una pequeña tarjeta con microcontrolador y componentes complementarios, diseñada para facilitar su uso en proyectos de control. La tarjeta básica, Arduino UNO revisión 3, utiliza un microcontrolador Atmel de 8 bits, el Atmega 328. Este microcontrolador incluye un sistema de memoria, puertos de entrada/salida, temporizador/contador, modulación por ancho de pulso, ADC, y un sistema de interrupción y comunicación en serie.

Arduino UNO

Es una placa que utiliza el microcontrolador ATmega328P. Dispone de 14 pines digitales de entrada/salida, de los cuales 6 pueden usarse para PWM, además de 6 entradas analógicas. Incluye un cristal de 16 MHz, puerto USB, conector jack de alimentación, terminales ICSP y un botón de reinicio. La placa viene equipada con toda la electrónica necesaria para que el microcontrolador funcione, necesitando solo una conexión de energía a través del puerto USB o de un transformador AC-DC, en la Fig. 2.5 se muestran las partes principales del arduino UNO.

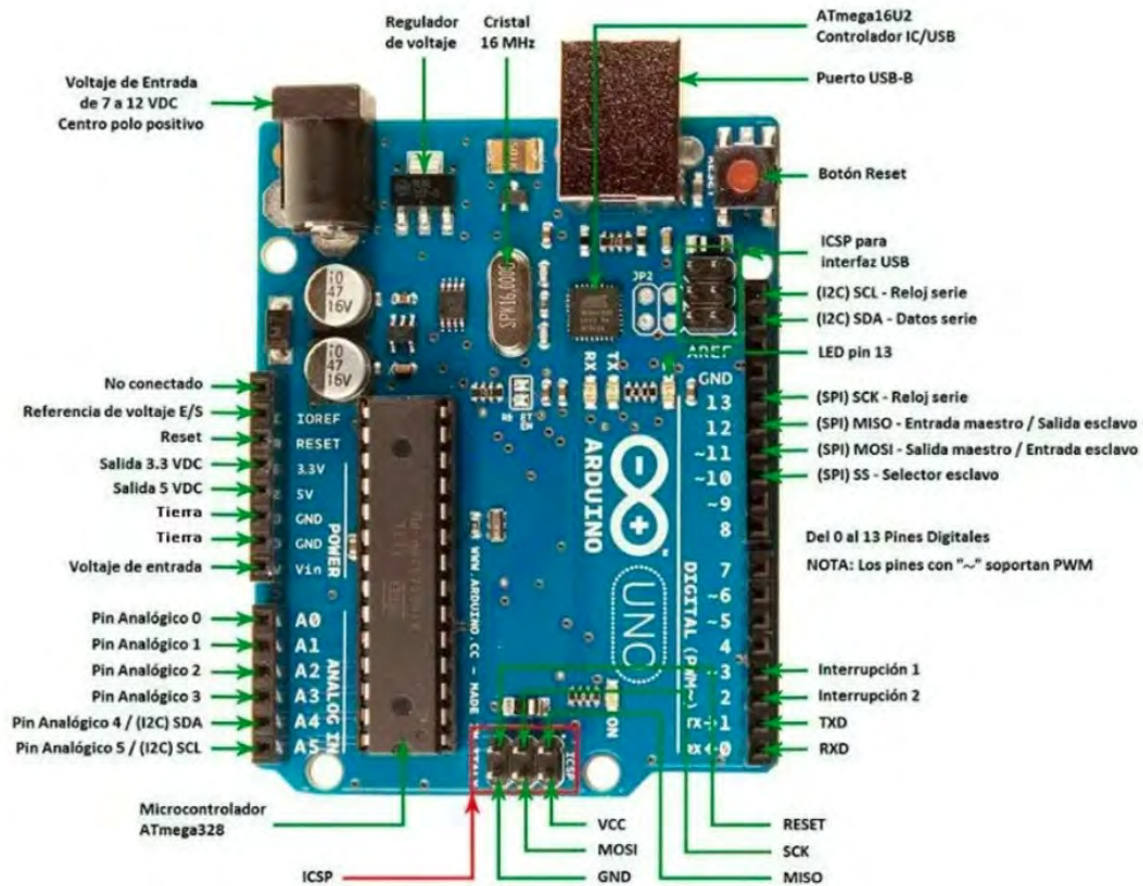


Figura 2.5: Partes del arduino UNO

2.3.4. Power bank

Una power bank, de acuerdo con Rivera y Martínez (2018) también conocida como batería externa, es un dispositivo portátil que permite almacenar energía eléctrica para luego cargar otros dispositivos electrónicos, como teléfonos móviles, tabletas y cámaras, sin necesidad de una toma de corriente directa. Su función

principal es proporcionar energía adicional cuando la batería de un dispositivo se agota. En la Fig. 2.6 se muestra la power bank.



Figura 2.6: Power bank

2.3.5. PIC16F877A

De acuerdo con Technology (2020), el PIC un microcontrolador de 8 bits fabricado por Microchip Technology. Entre sus principales características se encuentran: una memoria de programa de 8K x 14 bits tipo Flash, 368 bytes de RAM, y 256 bytes de memoria EEPROM. Cuenta con 40 pines de entrada/salida, distribuidos en cinco puertos (A, B, C, D y E), y puede operar a una frecuencia de hasta 20 MHz. Este microcontrolador dispone de modos de comunicación como USART, SPI e I²C. Además, incluye 2 comparadores, 8 canales de conversión analógica a digital de 10 bits y 2 módulos CCP (capture/compare/PWM). Gracias a su versatilidad y capacidad de programación, es adecuado para aplicaciones en automoción, industria, electrodomésticos y consumo. En la Fig. 2.7 se muestra el Microcontrolador PIC16F877A



Figura 2.7: Microcontrolador PIC16F877A

2.3.6. Luxómetro

Un luxómetro es un instrumento utilizado para medir la intensidad de la luz en una superficie, expresada en lux (lx), que indica la cantidad de luz que llega a un metro cuadrado. Este dispositivo es útil en varios campos, como la seguridad en el trabajo, la preservación de artefactos en museos y la evaluación de la iluminación en espacios tanto interiores como exteriores, como afirma Pérez y Gómez (2020). En la Fig. 2.8 se muestra el luxómetro.



Figura 2.8: Luxómetro

2.3.7. Policarbonato

El policarbonato es un material muy resistente, según Orefebre (2021) afirma que es 200 veces más resistente que el vidrio, tiene 10 años de garantía y puede durar entre 20 y 25 años. Es más económico que el vidrio, no se quiebra y, en comparación con el acrílico, no se opaca y tiene filtro UV. En la Fig. 2.9 se muestra el Policarbonato.

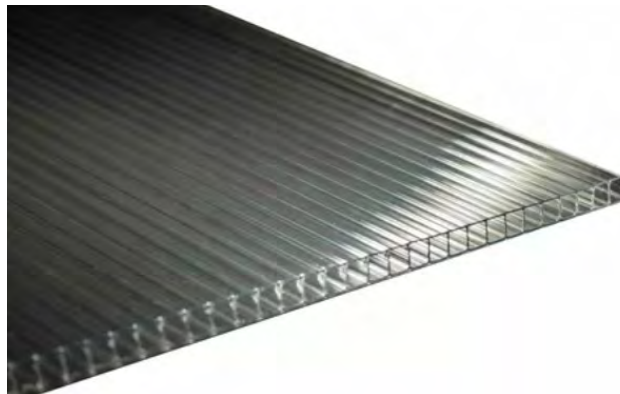


Figura 2.9: Policarbonato

Capítulo 3

Metodología

3.1. Metodología

Para realizar este estudio, se dividió en tres fases. Dado que el objetivo principal es desarrollar una cámara fructificadora donde se controlen las variables, primeramente, se llevó a cabo una exhaustiva investigación sobre el proceso de cultivo del hongo seta y se realizaron visitas a los centros de investigación ubicados en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM).

En la fase dos, se construyó un prototipo artesanal que permitió conocer el proceso de fructificación de manera manual. Posteriormente, se desarrolló un prototipo en el cual se controlaron las variables que afectan la etapa de fructificación.

Finalmente, se elaboró un tercer prototipo en el cual el sistema fue automatizado para optimizar la fructificación.

En la Fig. 3.2 se muestra la metodología de las tres fases.



Figura 3.1: Fases de la metodología

Las fases dos y tres se dividen en los siguientes prototipos:

1. Fructificación artesanal con monitoreo manual.
2. Desarrollo de un prototipo con sensores para un monitoreo más preciso.
3. Implementación de un sistema automatizado para controlar las variables ambientales clave.

3.1.1. Fructificación artesanal con monitoreo manual.

Se inicia con un enfoque artesanal utilizando un primer prototipo, donde se monitorean manualmente las variables ambientales importantes: temperatura, humedad, ventilación y luz.

El objetivo es obtener datos iniciales sobre las condiciones de fructificación y establecer un registro cuantitativo de las variables. Para ello, se emplean herramientas y técnicas como termómetros, higrómetros, registros manuales y observación directa.

Los resultados esperados son datos preliminares sobre las condiciones ideales para la fructificación artesanal del *Pleurotus ostreatus*.

En la Fase dos y tres se realizó de la siguiente manera, en la Fig. 3.2 se muestra un diagrama de la implementación.



Figura 3.2: Diagrama de las fases dos y tres

3.1.2. Desarrollo de un prototipo con sensores para un monitoreo más preciso.

Se construye un segundo prototipo que incorpora un sistema de automatización para controlar las cuatro variables fundamentales: temperatura, humedad, ventilación y luz.

El objetivo es optimizar y automatizar el proceso de fructificación, asegurando condiciones óptimas constantes. Para lograrlo, se utilizan herramientas y técnicas como controladores automatizados, software de gestión ambiental, sensores avanzados y sistemas de ventilación e iluminación automatizados.

Los resultados esperados son un control preciso y constante de las variables ambientales, facilitando una fructificación óptima y eficiente del *Pleurotus ostreatus*.

3.1.3. Implementación de un sistema automatizado para controlar las variables ambientales clave.

Se desarrolla un tercer prototipo que incluye sensores de humedad y temperatura, un humidificador ultrasónico y aspersores, con el objetivo de mejorar el monitoreo de las variables ambientales y obtener datos más precisos y consistentes.

Para ello, se utilizan herramientas y técnicas como sensores de humedad y temperatura, el humidificador ultrasónico, aspersores y un sistema de registro digital.

Los resultados esperados son datos más precisos y detallados sobre las condiciones ambientales necesarias para la fructificación.

3.2. Diseño y construcción prototipo artesanal

En esta etapa del diseño y construcción se tomaron en cuenta algunos factores, como los materiales, el tamaño y, para ello, se utilizaron los siguientes: madera de 2.54 cm de espesor y malla sombra al 90 %.

1. Para el diseño artesanal, se toma en cuenta las medidas de acuerdo con el tamaño de la bolsa de siembra, en este caso se utilizó una bolsa de 4 kg, y de 60 cm de alto.
2. Se realiza el diseño en AutoCAD, en la Fig. 3.3

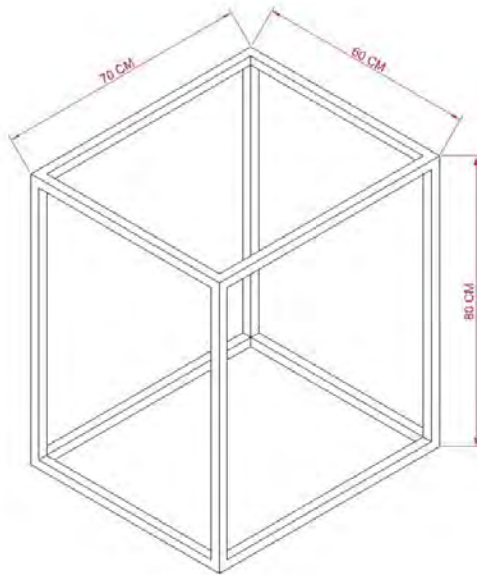


Figura 3.3: Diseño prototipo artesanal AutoCAD

3. Se procede a la construcción; con las tiras de madera, se marca a los 80 cm, 70 cm y 60 cm, con una caladora, se realizan los cortes y con la ayuda de clavos, en cada punta se clavan y se le coloca resistol, después de obtener el cubo de madera, con malla sombra, se forra todo el cubo y en la parte superior se deja abierto, para que se pueda observar y añadir el agua, como se muestra en la Fig. 3.5. Así mismo para este proyecto se utilizó un higrómetro digital, para llevar una relación de la temperatura y humedad, ver Fig. 3.4 el cual se utilizó en esta etapa de la experimentación.



Figura 3.4: Higrómetro digital



Figura 3.5: Construcción prototipo artesanal

4. Una vez armado el prototipo, se deja la siembra del sustrato preparado para esperar la etapa de fructificación.

Cabe mencionar que este mismo procedimiento se realizó dos veces, porque se realizó el experimento en dos lugares diferentes uno en CENIDET y el otro en Lomas de Ahuatepec, la siguiente Fig. 3.6 se puede observar el tamaño de las bolsas de siembra.



Figura 3.6: Bolsa de siembra artesanal

3.3. Diseño y construcción control de variables

Con base al estado del arte, se identificó que las variables que más intervienen en la etapa de fructificación del hongo seta son las siguientes: temperatura, humedad, ventilación e iluminación, como afirman Coyago Calle (2023), se considera las siguientes variables, como se muestra en la siguiente tabla 3.1

Tabla 3.1: De variables sistema de control

Variables	Parámetros
Temperatura	25 – 27°C
Humedad	80 – 90%
Ventilación	Directa 24 horas
Iluminación	Luz natural, no directa al sol

Cabe mencionar que el diseño de este, se realizó en AutoCad, en la siguiente Fig. 3.7 se muestra la vista superior con cotas (las medidas están en cm). Además en la siguiente Fig. 3.8 se observa la vista frontal y lateral.

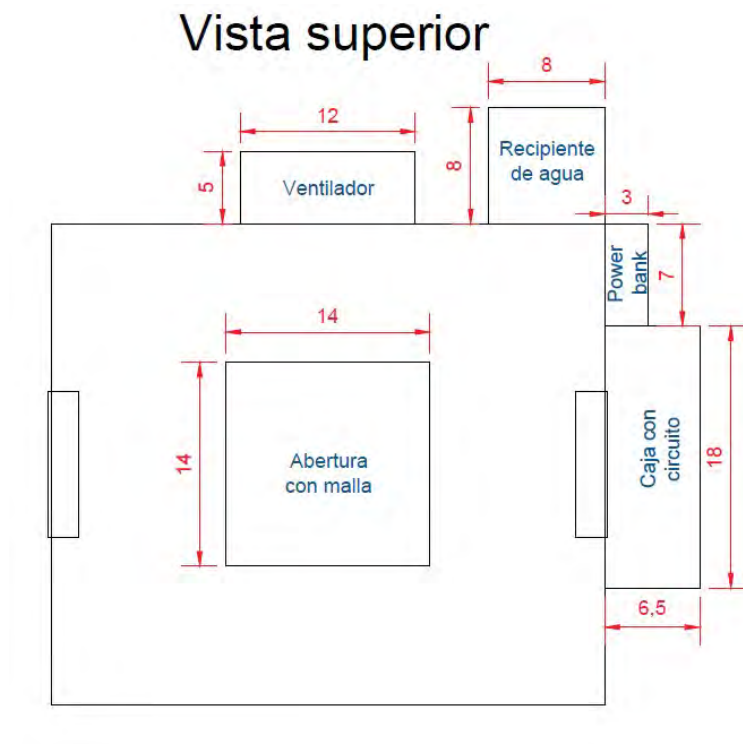


Figura 3.7: Vista superior control de variables

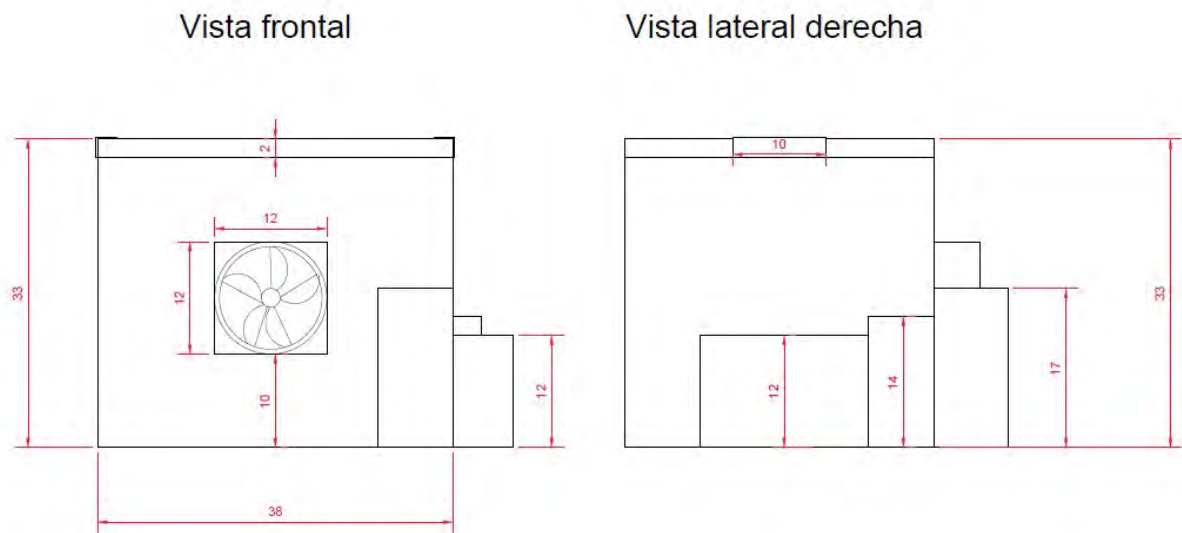


Figura 3.8: Vista frontal y lateral

Además, para la construcción, se utilizaron diversos materiales, como se muestra en la siguiente tabla 3.2 materiales plásticos, en la tabla 3.3 se observa los materiales electrónicos utilizados. El objetivo de utilizar estos materiales fue controlar las variables antes mencionadas; para lograrlo, se implementó un sistema de riego.

Tabla 3.2: Materiales plásticos, control de variables

Componentes	Características
Caja de plástico	Plástico transparente 45 x 33 x 33cm Cap. de 36lt
Bote de plástico	Plástico transparente de 600 ml
Manguera de plástico	Diámetro 0.5 cm, 70 cm largo
Aspersor	Diámetro 10mm

Tabla 3.3: Materiales electrónicos prototipo control de variables

COMPONENTES	CARACTERÍSTICAS
ARDUINO UNO	Esta tarjeta se encarga de leer los datos entregados por los sensores.
SENSOR DTH11	Se encarga de medir la temperatura y la humedad del ambiente.
SENSOR FC-28	Este sensor mide la humedad de la tierra.
MOTOBOMBA	Se encarga del flujo de agua necesario para el cultivo, se activa a través de un relé.
VENTILADOR	Estos se encargan de la ventilación del cultivo.
POWERBANK	Es una batería externa, con varios puertos USB que actúan como fuente de alimentación.
CABLE	Para conectar el circuito.
TERMOPLÁSTICO	Para cubrir el cableado.
CAIMANES	Para realizar pruebas.

Asimismo, para el circuito electrónico, se adquirieron los componentes necesarios para crear un sistema alimentado a través de una powerbank y utilizando un Arduino UNO. En la siguiente Fig. 3.9 se muestra el código utilizado para el arduino UNO.

```

sketch_nuevafun
1 #include <Arduino.h>
2
3 // Definición de pines de salida
4 #define RELAY_PIN 2 // Pin al que está conectado el relé
5 #define TEMP_PIN A0 // Definir el pin de sensor
6
7 // Definición de constantes
8 const int sensorPin = A0; // Pin analógico al que está conectado el sensor de humedad del suelo
9 const int relayPin = 2; // Pin digital al que está conectado el relé
10
11 // Variables globales
12 float humidity;
13 int moistureValue = 0;
14
15 // Función de inicialización
16 void setup() {
17   Serial.begin(9600);
18   pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
19   pinMode(sensorPin, INPUT);
20   digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Apagar la bomba al inicio
21 }
22
23 // Función de lectura de datos
24 void loop() {
25   // Leer la humedad y la temperatura del sensor
26   humidity = analogRead(sensorPin);
27   temperature = analogRead(TEMP_PIN);
28
29   // Convertir los valores de lectura en humedad y temperatura
30   moistureValue = map(humidity, 0, 1023, 0, 100);
31
32   // Verificar si los valores son válidos
33   if (isnan(humidity) || isnan(temperature)) {
34     Serial.println("Error al leer el sensor de(T°)");
35     return;
36   }
37
38   // Enviar valores por el monitor serial
39   Serial.print("Humedad del suelo: ");
40   Serial.print(humidity);
41   Serial.print("\n");
42 }

```

Figura 3.9: Código para el arduino UNO

Debe señalarse que para realizar el código se tomó en cuenta las siguientes variables:

- Temperatura: 25 – 27°C
- Humedad: 80 – 90 %

Si la temperatura aumenta el sistema de riego entra en acción y cuando alcanza su temperatura se desactiva.

En la construcción del control de variables, se realizaron cortes con una herramienta mini dremel, la cual sirvió para realizar los cortes en la caja de plástico. Esto era necesario para insertar la manguera que permitiría el funcionamiento del sistema de riego. También se realizó el corte en la tapa de la caja de plástico con la ayuda del mini dreel, de igual forma se pudo realizar el corte del espacio donde se colocó el ventilador.

Una vez finalizados los cortes necesarios, se procedió al ensamblaje de todos los componentes, incluyendo la caja con el circuito. La Fig. 3.10 se muestra el ensamble del circuito electrónico, la bomba de agua, el depósito de agua y la malla en la parte superior para evitar la entrada de cualquier vector a la cámara.



Figura 3.10: Circuito con arduino UNO

Asimismo, se realizó la instalación de la powerbank. Cabe mencionar que el sistema de ventilación se conectó a una fuente de energía independiente para mantenerlo encendido en todo momento. En la siguiente Fig. 3.11 se puede observar la cámara con todos los componentes. Además, este prototipo se utilizó una bolsa de siembra de 30 x 40 cm, con un peso de siembra de 1 kg.



Figura 3.11: Prototipo terminado control de variables

3.4. Diseño y construcción del sistema automatizado

En esta etapa se realiza el diseño del sistema automatizado en el cual, de acuerdo con la literatura, se diseña tomando en cuenta el tamaño de una bolsa de 1 kg. El tamaño elegido de este prototipo es el siguiente: base de aluminio de 45 x 45 cm, con una altura de 50; este diseño se realizó en AutoCAD. Asimismo, en la siguiente, Fig. 3.12 podemos observar el diseño isométrico, y en la Fig. 3.13 se muestran las partes del fructificador.

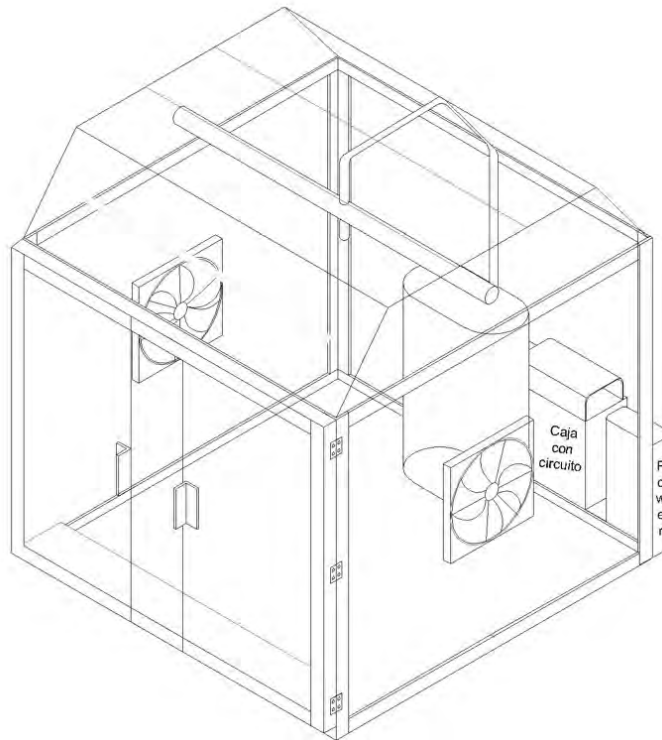


Figura 3.12: Isométrico final fructificador

Además en la siguiente Fig. 3.14 se muestra la vista frontal con las cotas (las medidas se encuentran en cm); en la siguiente Fig. 3.15 se puede observar vista lateral izquierda y derecha, dónde se colocaron los ventiladores como afirma Agency (2020), que la ventilación y la sombra son efectivas para regular la temperatura dentro de los espacios. Además, la ventilación contribuye a eliminar o reducir los contaminantes presentes en el aire de ambientes cerrados, impidiendo que el aire caliente se acumule en la parte superior.

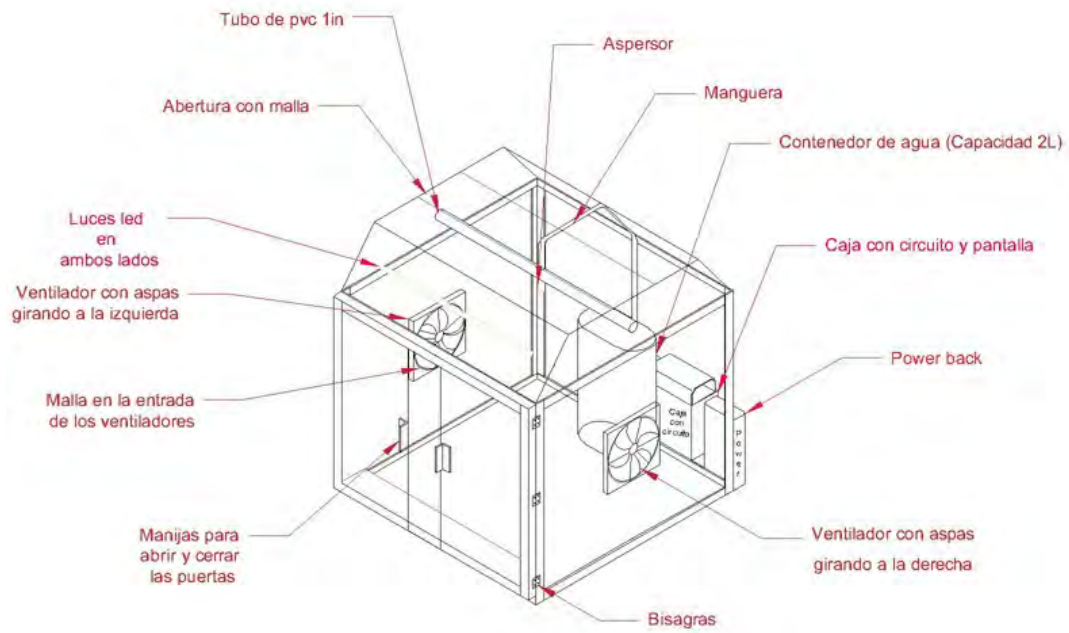


Figura 3.13: Partes del fructificador

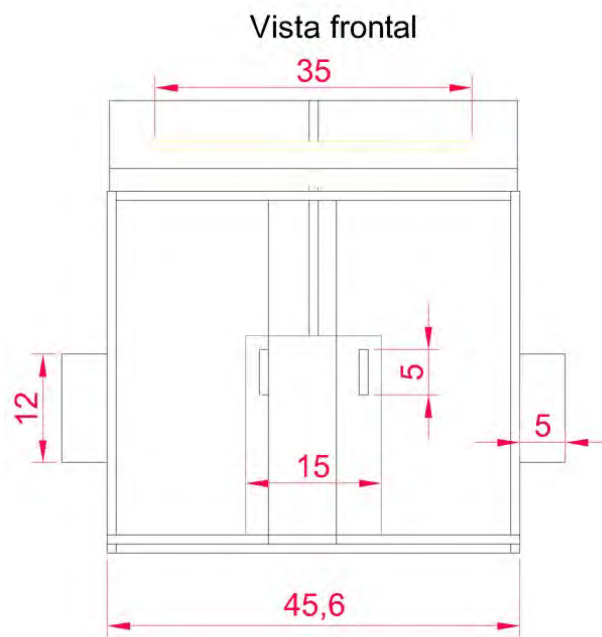


Figura 3.14: Vista frontal

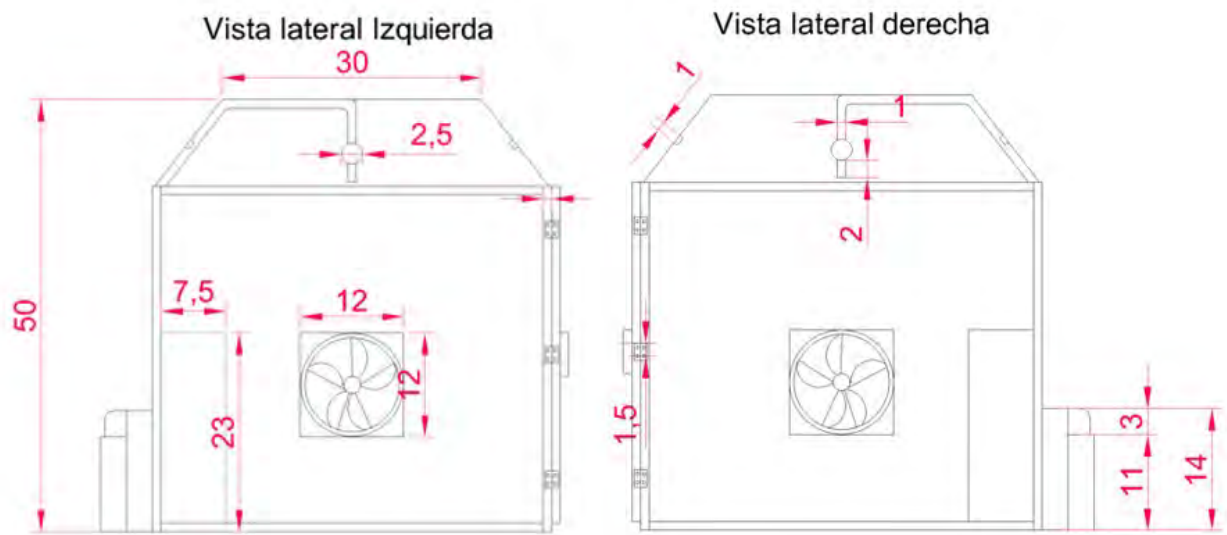


Figura 3.15: Vistas laterales izquierda y derecha

En la Fig. 3.16 se muestra la vista superior del prototipo del sistema automatizado.

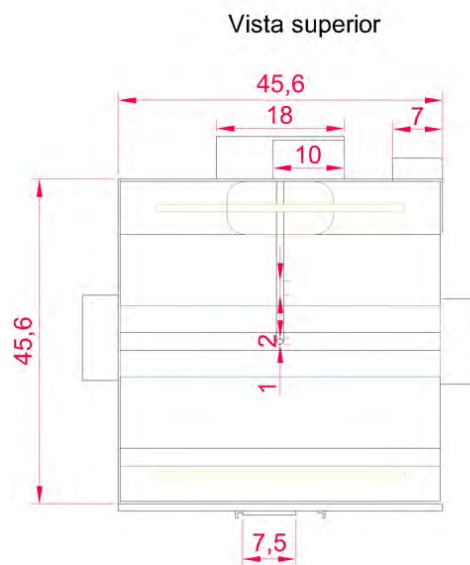
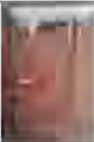


Figura 3.16: Vista superior

De igual importancia en esta etapa de construcción, se realizó una investigación sobre los diferentes tipos de materiales utilizados en distintos proyectos, conforme a la literatura. Se tomaron en cuenta las siguientes características para la construcción de la cámara fructificadora. El policarbonato se destaca como un material 200 veces más resistente que el vidrio y capaz de mantener la temperatura internamente según la asignada.

Además se realiza una lista de los materiales para la construcción en la siguiente tabla 3.4 se muestra la lista de los materiales que se utilizó para su construcción.

Tabla 3.4: Materiales para la construcción del sistema automatizado

Nombre del artículo	Imagen	Función
kit sistema de riego		Para utilizar los aspersores y mangueras
Luces cultivo LED		Iluminar la cámara fructificadora
Ventilador computadora		Para ventilar el espacio de la cámara
Lámina Policarbonato Alveolar Klar Gris 6 mm x 1.22 x 3.05 m		Para la construcción de la cámara
Ángulo 10mm Aluminio		Para la estructura de la cámara
Aluminio de 45 x 45 cm 1.8 mm		Para la base de la cámara
Sista Sella Fácil Anti-Hongos 177 ml		Sellar las paredes
Jaladera de acero inoxidable 160/220 mm		Para las puertas
Sensor DTH11Deposito de agua 2lts		Para contenedor de agua en la cámara
Velo de novia		Para proteger la cámara de vectores

De este modo se utilizaron materiales electrónicos para la construcción del circuito, en la siguiente tabla 3.5 se muestra la lista de los materiales utilizados.

Tabla 3.5: Materiales electrónicos prototipo sistema automatizado

Componente	Piezas	Características
PIC16F877A	1	Microcontrolador de 8 bits, 40 pines, 256 bytes EEPROM, USART
Oscilador de cristal de 20Mhz	1	Frecuencia de 20 MHz
Capacitores cerámicos de 22 pF	2	Capacitancia de 22 picofaradios
Pantalla LCD 2x16 caracteres	1	Pantalla con 2 filas y 16 caracteres por fila
Sensor DHT11	1	Sensor de temperatura y humedad
Bomba de agua de 5V	1	Operada a 5V, utilizada para riego
Ventiladores de 12V	2	Operados a 12V, utilizados para computadora ventilación
Fuente de voltaje de 5V	1	Proporciona una salida de voltaje de 5V
Fuente de voltaje de 12V	1	Proporciona una salida de voltaje de 12V
Tira LED de 12V	1	Iluminación LED, operada a 12V
Módulo de 4 relevadores	1	Control de dispositivos electrónicos, soporta 4 canales
Potenciómetro de 10K ohm	1	Resistencia variable, valor de 10K ohm
Alambre para conexiones	N/A	Cables utilizados para realizar las conexiones eléctricas, calibre 22
Módulo controlador de alimentación	1	Control y regulación de la alimentación de 12V
Powerbank 20000mAh	1	20,000 mAh, lo que permite múltiples cargas completas de dispositivos
Clavija	1	Para conectar directamente a corriente directa

Por lo tanto el código utilizado para el PIC16F877A, se realizó en CCS PIC *C Compiler*, este compilador es desarrollado por *Custom Computer Services, Inc.* y es ampliamente utilizado para programar microcontroladores PIC.

Por otra parte para realizar el desarrollo de este código, es un sistema de control automatizado que utiliza un microcontrolador PIC16F877A para monitorear y controlar las condiciones de temperatura y humedad en un entorno específico, como un invernadero. Utiliza un sensor DHT11 para obtener datos de temperatura y humedad, los cuales se muestran en una pantalla LCD y se envían a través de comunicación serial.

Además, controla una bomba de agua, ventiladores y luces LEDs en función de los datos de humedad para mantener un ambiente óptimo. El código también incluye un temporizador para encender y apagar las luces LEDs en ciclos de 12 horas.

Condiciones que se dan en las variables:

- Humedad: Si la humedad es menor a 80 %, se enciende la bomba de agua. Si la humedad es igual o mayor a 90 %, se apaga la bomba de agua y se encienden los ventiladores.
- Temperatura: La temperatura y la humedad se actualizan y se muestran en la pantalla LCD y a través del puerto serial cada segundo.
- Ventilación: la ventilación se activa cuando se rebasa el 90 % de humedad, para mantener el lugar fresco.
- Luces LEDs: Las luces LED se encienden durante el primer ciclo de 12 horas y se apagan durante el segundo ciclo de 12 horas. El temporizador se reinicia cada 24 horas.

Además, en las Fig. 3.17 muestra un diagrama del circuito eléctrico el cual incluye un módulo de relés y varios componentes conectados a él.

A continuación, se presenta una descripción detallada del circuito:

- **Módulo de Relés:**

- El módulo de relés tiene cuatro relés, cada uno con su respectivo interruptor (INT 1, INT 2, INT 3, INT 4).

Cada relé está conectado a una fuente de 5V en la parte superior del módulo.

- Componentes Conectados:

- Bomba de Agua: Conectada al relé 1 (INT 1).
- Ventiladores: Conectados al relé 2 (INT 2).
- Tira de LEDs: Conectada al relé 3 (INT 3).
- El relé 4 (INT 4) no tiene un componente específico etiquetado en el diagrama.

- **Conexiones Eléctricas:**

- Los relés están conectados a una fuente de 12V a través de un circuito que incluye dos motores (ventiladores) y un conjunto de LEDs.
- Los motores están conectados en paralelo y ambos están conectados a tierra.
- Los LEDs también están conectados en paralelo y conectados a tierra.
- **Fuentes de Alimentación:** El circuito utiliza dos fuentes de alimentación: una de 5V para el módulo de relés y otra de 12V para los motores y los LEDs.

El circuito muestra cómo se pueden controlar diferentes dispositivos (una bomba de agua, ventiladores y una tira de LEDs) utilizando un módulo de relés. Los relés permiten controlar dispositivos de mayor voltaje (12V) utilizando una señal de control de menor voltaje (5V), lo cual es común en aplicaciones de automatización y control.

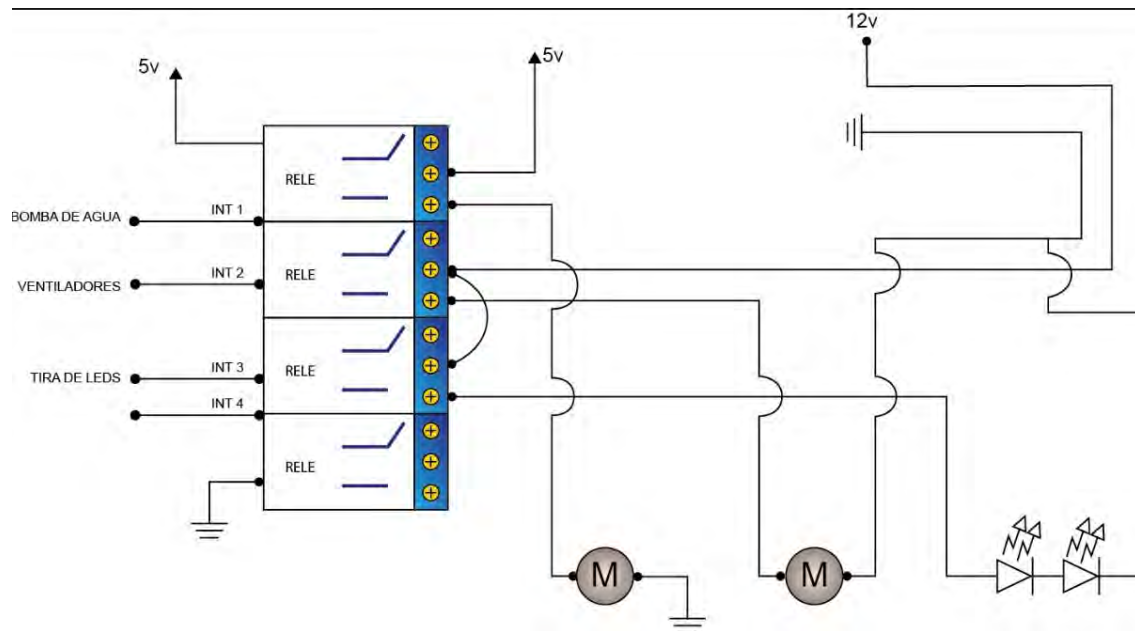


Figura 3.17: Diagrama del circuito automatizado

En el diagrama del PIC16F877A se muestra en la Fig. 3.18. A continuación, se describe brevemente su funcionamiento:

- **Microcontrolador PIC16F877A:**

-
- Es el componente central del circuito que controla todas las operaciones.
 - Tiene múltiples pines de entrada y salida utilizados para interactuar con otros componentes.
 - **Conexiones de Alimentación:**
 - El circuito recibe alimentación de una fuente de 5V.
 - Los pines VDD y VSS del PIC16F877A están conectados a la fuente de alimentación.
 - **Sensor DHT11:**
 - Conectado al pin 18 del microcontrolador para medir temperatura y humedad.
 - Alimentado por la misma fuente de 5V y conectado a tierra a través de una resistencia de 10k
 - **Pantalla LCD:**
 - Conectada a los pines del 21 al 28 del PIC16F877A.
 - Utilizada para mostrar información del sensor DHT11 u otras variables del sistema.
 - Recibe alimentación de 5V.
 - **Dispositivos Controlados:**
 - Bomba de Agua: Conectada al pin 37.
 - Ventiladores: Conectados al pin 38.
 - Tira de LEDs: Conectada al pin 39.

Funcionamiento:

El microcontrolador PIC16F877A recibe datos del sensor DHT11 sobre temperatura y humedad. Luego, estos datos pueden ser mostrados en la pantalla LCD. Según las condiciones programadas, el PIC puede activar o desactivar la bomba de agua, ventiladores y tira de LEDs a través de sus pines de salida, controlando así el ambiente.

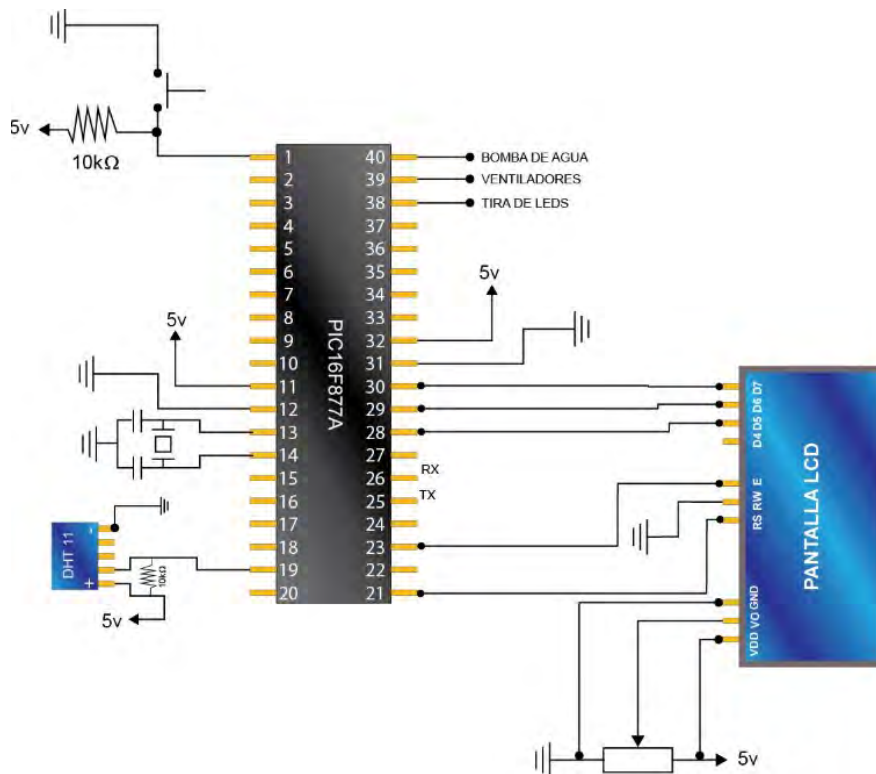


Figura 3.18: Diagrama del PIC16F877A

Cabe mencionar que es importante señalar, según los resultados del prototipo de control de variables, sé considera fundamental tener en cuenta estas condiciones para el desarrollo de esta programación, dado que el prototipo anterior no estaba automatizado.

Después de todo se realiza la construcción, la cual es importante mencionar que se utilizó un equipo de protección para realizar la construcción, en la siguiente Fig. 3.19, se muestra el equipo utilizado, lentes, guantes y botas de seguridad, para evitar riesgos debido a que se utilizó herramientas como una caladora, un banco de corte especial, remachera, taladro etc., en la Fig. 3.20 se muestra algunas herramientas utilizadas.



Figura 3.19: Equipo de seguridad



Figura 3.20: Mesa de trabajo y herramientas

Por consiguiente para construir el prototipo, primeramente se realizó un bosquejo en papel kraf en la Fig. 3.21 (medidas en cotas están en cm), se muestra el plano del prototipo el cual sirvió para realizar el boceto, posteriormente se realizán los cortes, el primero es la base de aluminio a 45 x 45 cm. Posteriormente, se realiza el corte correspondiente de los perfiles de aluminio para formar la estructura de la cámara. En la Fig. 3.22 se puede observar cómo se realizó.

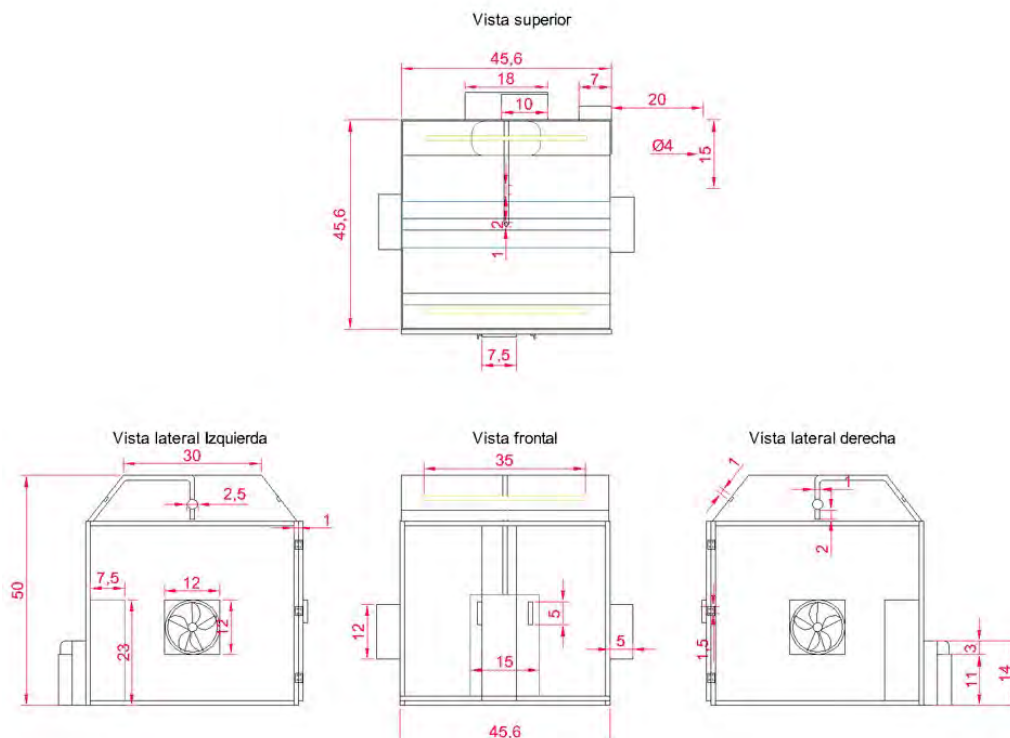


Figura 3.21: Plano del prototipo automatizado



Figura 3.22: Base de aluminio 45 x 45 cm

De este modo se continúa con el ensamble del policarbonato y con algunos componentes electrónicos, los cuales son ensamblados al momento de realizar los cortes en el policarbonato, en la Fig. 3.23 se muestra la cámara ensamblada.



Figura 3.23: Colocación de los ventiladores en los costados

Cabe resaltar que una vez terminado la construcción de la cámara como se puede observar en la Fig. 3.24 se continúa con la construcción del sistema electrónico como se puede observar en la Fig. 3.25



Figura 3.24: Construcción terminada, con sistema de riego y ventiladores

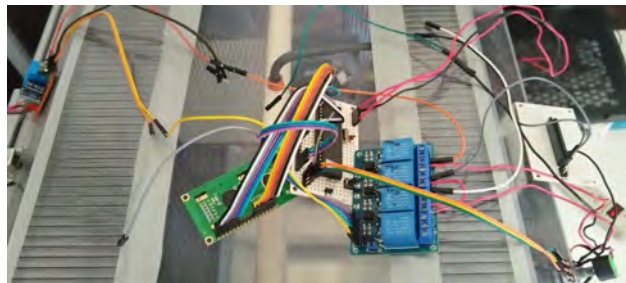


Figura 3.25: Circuito electrónico, para la cámara fructificadora

Finalmente se termina el ensamble de todos los componentes del prototipo con sistema automatizado, tal como se muestra en la Fig. 3.26.



Figura 3.26: Prototipo automatizado

En la Fig. 3.27 se muestra el prototipo, vista frontal con el sistema automatizado y en la Fig. 3.28 se muestra la pantalla LCD, mostrando algunas lecturas.



Figura 3.27: Cámara fructificadora, vista frontal



Figura 3.28: Lectura de humedad y temperatura

En el sistema de riego, se conectó un tanque de agua con capacidad de 2 lt, para que dure 48hrs en la siguiente Fig. 3.29 se muestra el tamaño del tanque con bomba de agua.



Figura 3.29: Tanque de agua con bomba, sistema de riego

Cada uno de los componentes, fue instalado con mucho cuidado y de acuerdo a las necesidades de la cámara fructificadora, los componentes electrónicos fueron probados en varias ocasiones para asegurarse de su buen funcionamiento.

Cabe resaltar que se realizaron más de 10 pruebas en la instalación de los componentes, se verificó que no existieran fugas de agua en la parte inferior de la cámara, así como de los orillas.

Capítulo 4

Resultados

4.1. Prototipo Artesanal

En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos durante la etapa de experimentación y para ello se utilizarán las siguientes fórmulas:

(I) Promedio (Media):

$$\bar{x} = \frac{\sum_i x_i}{n} \quad (4.1)$$

donde $\bar{x}$ es el promedio, x_i es el elemento i en el conjunto de datos y n es el número de cosechas obtenidas.

(II) Mediana: Valor central de un conjunto de datos ordenados.

(III) Moda: Valor que más se repite en un conjunto de datos.

(IV) Varianza:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (4.2)$$

(V) Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (4.3)$$

La preparación del micelio para el cultivo del hongo seta comienza con la selección de un grano adecuado, como arroz integral, maíz, trigo o cebada, el cual se hidrata y esteriliza en una olla a presión a 121 °C durante 90 minutos. Posteriormente, se inocula con esporas o micelio en condiciones estériles y se incuba a una temperatura de 24 – 27 °C durante 2 – 4 semanas, hasta su completa colonización. Para el sustrato, se selecciona material adecuado como paja o residuos orgánicos, que se esterilizan o pasteurizan a 60 – 70 °C durante 1 – 2 horas, y se mezcla con el micelio colonizado.

Este se coloca en contenedores y se incuba en condiciones controladas de 20 – 24 °C y alta humedad (80 % – 90 %) hasta la completa colonización, lo que puede tomar entre 2–3 semanas. Finalmente, se crean las condiciones necesarias para la fructificación, como la exposición a luz indirecta y cambios de temperatura entre 18 – 22 °C, optimizando así el desarrollo del hongo seta.

El micelio se combina con el sustrato para formar pequeños primordios, los cuales se nutren y crecen hasta desarrollarse y convertirse en setas. Estas se alimentan de la materia orgánica del sustrato, que se encuentra dentro de una bolsa.

De hecho, la preparación del sustrato es crucial para el crecimiento del hongo seta, ya que es de lo que se nutre el micelio. En México, los sustratos más comunes son: centeno, rastrojo de paja, paca de trigo, avena y, en algunas ocasiones, cáscara de café y hojas de maíz.

4.1.1. Prototipo Artesanal ubicado en el CENIDET y en Lomas de Ahuatepec

En primer lugar, el prototipo artesanal se llevó a cabo en dos sedes en el estado de Morelos. La primera, ubicada en el municipio de Cuernavaca, en la calle Apatzingán, en las instalaciones del CENIDET (18°52'54"N 99°13'17"W), con temperaturas que oscilaban entre 25 y 38 °C. La segunda sede, también en el municipio de Cuernavaca, ubicada en Lomas de Ahuatepec, en la calle Alarcón (18°52'54"N 99°13'17"W), con temperaturas que oscilaron aproximadamente entre 15 y 30 °C.

Según el Servicio Meteorológico Nacional de la Conagua (2018), las características climáticas de Ahuatepec, incluyen una temperatura promedio anual que oscila entre 16 °C y 18 °C. Durante los meses más cálidos, las temperaturas pueden alcanzar hasta 30 °C, mientras que en los meses más fríos, pueden descender a alrededor de 8 °C. La humedad relativa promedio es de aproximadamente 60 %.

Asimismo, Según Conagua (2018), las condiciones climáticas en las inmediaciones del CENIDET, muestran una temperatura promedio anual que varía entre 20 °C y 24 °C. En los meses más calurosos, las temperaturas pueden llegar a 36 °C, mientras que en los meses más fríos pueden descender hasta aproximadamente 10 °C. La humedad relativa media se sitúa alrededor del 40 %.

Para la construcción del prototipo artesanal se utilizaron tablas de madera de 2.5 cm de grosor y para la altura se consideró el tamaño de la bolsa de la siembra, por lo tanto las medidas son las siguientes: 80 cm de alto por 70 cm de largo por 60 cm de fondo. Además, se determinó cubrirlo de malla sombra al 90 % para que los vectores no se acerquen y contaminen el fruto.

Cabe mencionar que para la experimentación de este proyecto se utilizó rastrojo de maíz, con bolsa de siembra de 4 kg con una altura de 60 cm, en la Fig. 4.1 se muestra la bolsa de siembra utilizada en el prototipo artesanal.



Figura 4.1: Bolsa de siembra prototipo artesanal

Por otra parte, los resultados obtenidos en este prototipo se muestran en la siguiente tabla 4.1. Cabe mencionar que la temperatura promedio en CENIDET oscilaba entre 37 y 40 °C, mientras que en Lomas de Ahuatepec, la temperatura promedio se encontraba entre 29 y 32 °C. Es importante señalar que los meses en

los que se desarrolló este proyecto, abril y mayo de 2024, fueron los más calurosos de ese año.

Tabla 4.1: Resultado prototipo Artesanal

Resultados primer prototipo					
Lugar	Primera cosecha	Tiempo de fructificación	Segunda cosecha	Tiempo de fructificación	Eficiencia Biológica
CENIDET	5	25 días	1	45 días	15.34%
Lomas de Ahuatepec	6	5 días	4	15 días	37.57%

Durante esta etapa de experimentación, se monitorearon la humedad y la temperatura con un Termómetro Inalámbrico Higrómetro Mini Digital, y se registraron las temperaturas tres veces al día. La ventilación era proporcionada por el aire directo del ambiente, y la luz se mantenía de acuerdo con las recomendaciones de la literatura.

En la primera cosecha, como se puede observar en la tabla 4.1, en CENIDET se obtuvieron menos frutos; en la siguiente Fig. 4.2 se muestran algunos frutos con un color oscuro y seco, debido a que en el mes de la etapa de experimentación, la temperatura alcanzada oscilaba entre los 38 – 40 °C con una sensación térmica de 42 °C.



Figura 4.2: Bolsa artesanal cosecha CENIDET

En la última fructificación de CENIDET, después de 44 días, se obtuvo una cosecha de 422 gramos y un tamaño del fruto de 19 x 16 cm, como se observa en la siguiente Fig. 4.3.



Figura 4.3: Segunda cosecha fructificación hongo seta CENIDET

Durante este periodo en los primeros 5 días se les regaba 2 litros de agua tanto en la mañana como en la noche, pero al observar que su color se hacía más oscuro, se comenzaron a realizar riegos 4 veces al día, para que alcanzara una mayor hidratación, sin embargo, la temperatura se mantuvo cercana a los 38 °C, y la humedad en 65 %. En la tabla 4.2 se muestran los registros de la primera etapa de fructificación en CENIDET.

Tabla 4.2: Resultado primera fructificación CENIDET

Día	Temperatura	Humedad	Luz
1	32° C	90%	12 HRS
2	36°C	55%	12HRS
3	34°C	70%	12HRS
4	32°C	70%	12HRS
5	34°C	65%	12HRS
6	30° C	70%	12HRS
7	38°C	65%	12HRS
8	34°C	70%	12HRS
9	30° C	75%	12HRS
10	35°C	70%	12HRS
11	28°C	75%	12HRS
12	34° C	80%	12HRS
13	29°C	70%	12HRS
14	36°C	70%	12HRS
15	34°C	60%	12HRS

De hecho en la fructificación que se realizó en Lomas de Ahuatepec, se puede observar una diferencia de

temperatura de acuerdo al registro que se llevó a cabo, como se puede ver en la siguiente tabla 4.3 donde existe una diferencia notoria en la temperatura y que oscila en más de 5 a 8 °C más fresco que en CENIDET; y en cuanto a humedad existe una diferencia de entre 10 y 15 % más fresco.

Tabla 4.3: Resultado primera fructificación Lomas de Ahuatepec

Día	Temperatura	Humedad	Luz
1	27°	90%	12 HRS
2	25°C	70%	12HRS
3	26°	85%	12HRS
4	26°C	90%	12HRS
5	26°	80%	12HRS
6	25°C	75%	12HRS
7	28°	90%	12HRS
8	25°C	80%	12HRS
9	30°	75%	12HRS
10	25°C	79%	12HRS
11	29°	80%	12HRS
12	25°C	75%	12HRS
13	29°	90%	12HRS
14	30°C	80%	12HRS
15	26°	85%	12HRS

La tabla 4.4 enlista las cifras obtenidas de la primera etapa de fructificación en CENIDET. Se utilizaron estos datos para resolver la ecuación 1.1 y el resultado del cálculo se muestra en la sustitución (4.4).

Tabla 4.4: Resultados de la primera cosecha en CENIDET

CENIDET, Artesanal		
1RA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	273	16 x 14 cm
2	193	14 x 13 cm
3	89	11 x 10 cm
4	58.6	9.5 x 8.5 cm
Total=	613.6	

$$EB = \frac{613.6 \text{ g}}{3000 \text{ g}} = 0.2045 \times 100 = 20.45 \% \quad (4.4)$$

Cabe mencionar que la *EB*, se continuará utilizando durante todo el proceso de resultados, en la etapa de experimentación.

Asimismo, en esta fase se puede observar una temperatura muy alta y una humedad muy baja, no favorecieron a la etapa de fructificación, además que el resultado obtenido y como afirma Marino et al. (2021), el porcentaje de la eficiencia biológica es menor al 30 %, lo cual significa que no fue buena la eficiencia obtenida,

en esta primera etapa.

Este análisis también se aplica a los resultados obtenidos en Lomas de Ahuatepec, en la tabla 4.5 se muestran dichas cifras, y en la sustitución de la fórmula podemos observar el resultado en esta primera fructificación.

Tabla 4.5: Resultado primera cosecha en Lomas de Ahuatepec

Lomas de Ahuatepec, Artesanal		
1RA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	323	18 x 18 cm
2	254	16 x 15 cm
3	159	12 x 11 cm
4	205	15 x 12 cm
5	305.6	20 x 19 cm
6	256.5	15 x 13 cm
Total=	1503.1	

$$EB = \frac{1503.1 \text{ g}}{3000 \text{ g}} = 0.5010 \times 100 = 50.10 \% \quad (4.5)$$

Cabe resaltar que en la diferencia de temperatura entre CENIDET y Lomas de Ahuatepec, oscila entre un 5 – 8 °C de diferencia, debido a que Lomas de Ahuatepec, se encuentra ubicado en un lugar más fresco. En la Fig. 4.4 siguiente se puede observar la gráfica, donde el tiempo de fructificación fue de 15 días en ambos lugares, y se muestra el comportamiento de la temperatura.

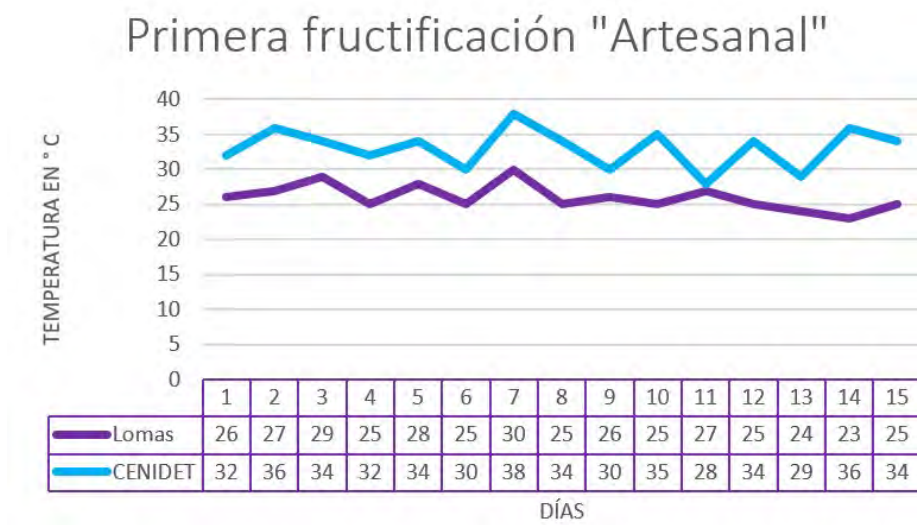


Figura 4.4: Gráfica de temperatura primera fructificación

De este modo la humedad relativa, que se registró durante el tiempo de fructificación, en ambos lugares, se muestra en la siguiente Fig. 4.5, en la cual podemos observar que en Lomas de Ahuatepec la humedad relativa es mayor, debido a la ubicación geográfica.

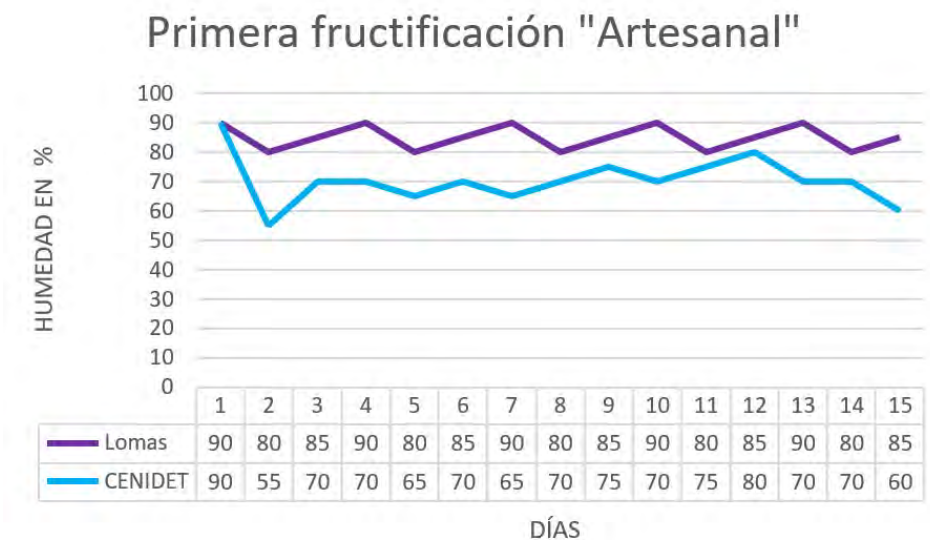


Figura 4.5: Gráfica de humedad primera fructificación

Cabe resaltar que a pesar de estas altas temperaturas, las bolsas de siembra se mantuvieron hasta el día 45 y solamente una siembra dio una cosecha más, con el siguiente tamaño y peso:

- Tamaño: 18 x 14 cm
- Peso: 422 g

con una eficiencia biológica de: 14.05 %

$$EB = \frac{422 \text{ g}}{3000 \text{ g}} = 0.14 \times 100 = 14.05 \% \quad (4.6)$$

Así mismo, se realiza una tabla 4.6 de datos de las cosechas obtenidas en ambos lugares, y en la Fig. 4.6 se muestra la gráfica de las cosechas obtenidas en esta etapa.

Tabla 4.6: Resultados de las cosechas en CENIDET y Lomas

Cosecha artesanal en 45 días		
Días	CENIDET	Lomas de Ahuatepec
1 al 5	0	0
6 al 10	0	0
11 al 15	4	6
16 al 20	0	0
21 al 25	0	0
26 al 30	0	0
31 al 35	0	0
36 al 40	0	0
41 al 45	1	0

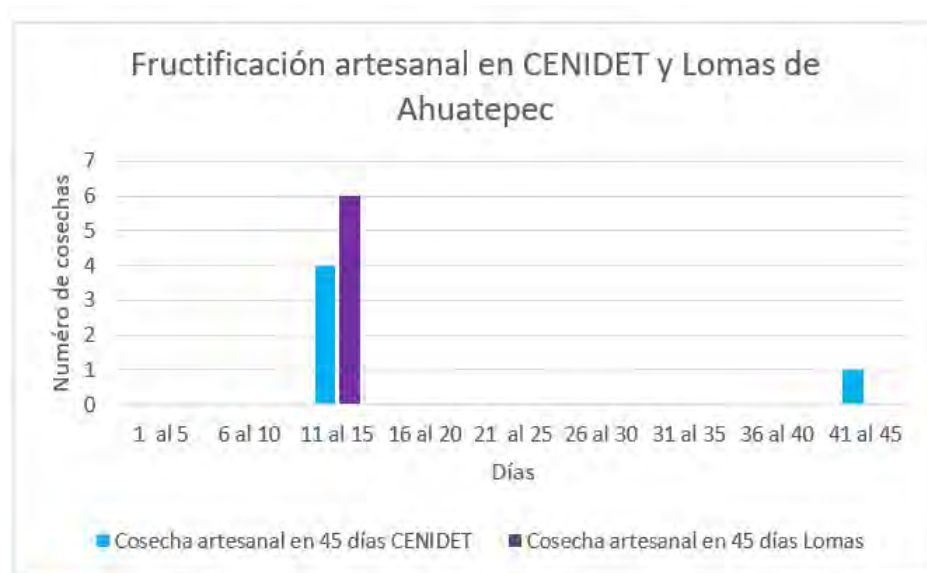


Figura 4.6: Gráfica de resultados de la cosecha artesanal

En la Fig. 4.7, se observa la calidad de la cosecha, además su color es amarillo marrón, de la misma manera, se ve muy deshidratado y la parte superior (sombrero), está arriscado hacia arriba y el pie del hongo se muestra muy corto pegado a la bolsa de siembra, como se muestra en la Fig. 4.8.



Figura 4.7: Cosecha artesanal

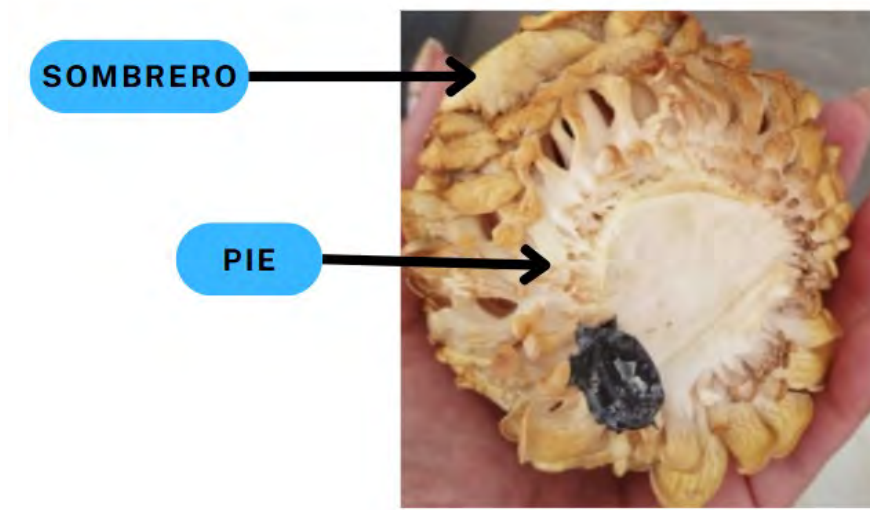


Figura 4.8: Cosecha artesanal sombrero y pie

4.2. Prototipo de Control de Variables

En el prototipo donde se controlan las variables, se utilizaron los siguientes materiales tanto para armar el circuito eléctrico como para realizar la experimentación en una caja de plástico. Los materiales utilizados fueron: un sensor de temperatura DTH11 y un FC-28; un relé, Arduino UNO, motobomba, ventilador, powerbank, termoplástico, caimanes y cable.

También se adquirieron los siguientes materiales para la construcción de la cámara: una caja de 33 x 33 x 45 cm, un bote ambas de plástico duro, así como una manguera de plástico blando y aspersores.

Es importante mencionar que este prototipo fue replicado para continuar la etapa de experimentación en las dos ubicaciones señaladas anteriormente: CENIDET y Lomas de Ahuatepec. No obstante las condiciones climáticas no eran las misma; de acuerdo con el servicio meteorológico, las diferencias en los meses de julio y agosto comparadas con los meses anteriores son notables.

En la siguiente Fig. 4.9 podemos observar los elementos, del prototipo control de variables en el cual se muestran, el ventilador, la motobomba, la caja con circuito y el sistema de riego.

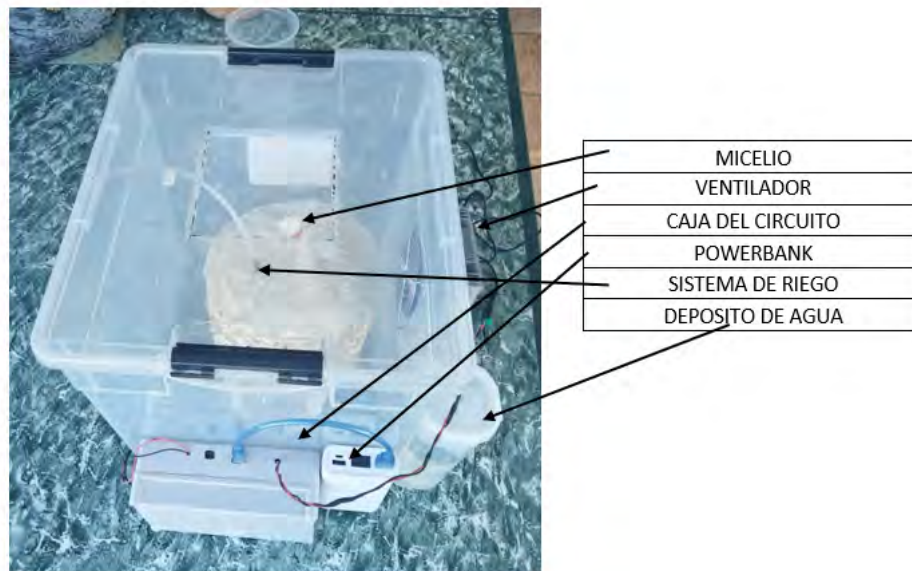


Figura 4.9: Prototipo control de variables

En este prototipo se mantienen las siguientes variables para asegurar un entorno más controlado: la temperatura se programa en el Arduino UNO para mantenerse entre 25 – 29 °C y la humedad relativa entre 80 – 90 %. Si el sensor de temperatura detecta que baja de 25 °C, el sistema de riego se activa durante dos minutos. De manera similar, si la humedad baja del 80 %, el sistema de riego también entra en funcionamiento.

Evidentemente, en ambos casos, estas variables se mantienen controladas.

Cabe mencionar que, para controlar la ventilación, se colocó un ventilador de computadora que se conectó directamente a la energía eléctrica y se mantuvo encendido todo el tiempo. De acuerdo con la literatura, el micelio debe tener una correcta ventilación.

En primer lugar, para el prototipo localizado en CENIDET y Lomas de Ahuatepec, se utilizó una bolsa de micelio de 30 x 40 cm, en la cual se introdujo sustrato elaborado con rastrojo de maíz, con un peso de 715 gramos, sin contener agua, se le conoce como sustrato seco. Cabe mencionar que esa cantidad es importante para medir la eficiencia biológica durante la etapa de cosecha de cada una de las bolsas. En la siguiente

figura 4.10 se muestra la bolsa con los primeros primordios.



Figura 4.10: Bolsa con primeros primordios

Ahora bien, en el proceso de la primera cosecha, esta tardó cinco días a partir de la fecha en que se recibió la bolsa de micelio, con una temperatura de 27 °C y una humedad relativa del 89 %.

Durante este tiempo, se obtuvieron 5 primordios que se desarrollaron y luego se cortaron. El peso de cada uno de ellos se muestra en la tabla 4.7

Tabla 4.7: Primera cosecha CENIDET

CENIDET		
PROTOTIPO 2		
1RA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	210	15 x12cm
2	265	13 x 11 cm
3	345	10 x 12 cm
4	260	15 x 12 cm
5	240	10 x 12cm
Total=	1320	

El sistema de riego se activó tres veces al día con el aspersor, utilizando 500 ml de agua diariamente. En la siguiente Fig. 4.11 se muestra la cosecha.



Figura 4.11: Primer cosecha

Por lo tanto, la eficiencia biológica de la ecuación 1.1, se sustituyen los valores obtenidos en:

$$EB = \frac{1320 \text{ g}}{715 \text{ g}} = 1.84 \times 100 = 184.61 \% \quad (4.7)$$

Finalmente, se concluye que en la cosecha se obtuvo una eficiencia biológica superior al 100 %, lo cual, según la literatura, es indicativo de que se logró una cosecha óptima.

En la segunda cosecha, observamos que, a diferencia de la anterior, se desarrollaron 5 primordios, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.8, mientras que la primera cosecha tardó solo 5 días en crecimiento, esta segunda cosecha tomó 10 días para alcanzar la recolección.

Tabla 4.8: Segunda cosecha CENIDET

PROTOTIPO 2		
2DA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	280	14 x 13 cm
2	190	14 x 12 cm
3	240	12 x 14 cm
4	120	13 x 11 cm
5	160	11 x 12 cm
TOTAL=	990	

Evidentemente, en esta cosecha se obtuvo un primordio más, y en la siguiente Fig. 4.12 podemos observar algunas imágenes de los cortes del hongo seta. Además, el color blanco de esta cosecha indica que no le falta humedad, según la literatura.



Figura 4.12: Segunda cosecha

Por consiguiente, en esta etapa se obtuvo una eficiencia biológica de acuerdo con la siguiente ecuación 1.1, se sustituyen los valores obtenidos.

$$EB = \frac{990 \text{ gr}}{715 \text{ gr}} = 1.38 \times 100 = 138.46 \% \quad (4.8)$$

También se puede observar que la cosecha obtenida en esta etapa supera el 100 %, lo cual indica que los resultados obtenidos en este proceso han sido eficientes.

En la tercera cosecha, solo fructificaron 4 primordios, lo que tomó un período de cinco días después del corte anterior. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.9.

Tabla 4.9: Tercera cosecha en CENIDET

PROTOTIPO 2		
3RA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	140	10 x 9.5cm
2	260	12 x 11 cm
3	240	11 x 12 cm
4	231	12 x 10 cm
TOTAL=	871	

De acuerdo a la ecuación 1.1, sustituimos los valores obtenidos.

$$EB = \frac{871 \text{ g}}{715 \text{ g}} = 1.21 \times 100 = 121.8 \% \quad (4.9)$$

En la cuarta cosecha, se obtuvieron nuevamente 4 frutos del hongo seta. Los resultados se muestran en la tabla 4.10. A diferencia de las cosechas anteriores, la eficiencia biológica ha disminuido.

Tabla 4.10: Cuarta cosecha en CENIDET

PROTOTIPO 2		
4TA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	189	10 x 9.5cm
2	199	12 x 14 cm
3	230	11 x 12 cm
4	230	12 x 10 cm
TOTAL=	848	

Según la literatura, conforme avanza la etapa de cosecha, la calidad del fruto disminuye, debido a la pérdida del sustrato, que el sustrato, que es el alimento del micelio. De acuerdo a la ecuación 1.1, sustituimos los valores obtenidos, para encontrar la eficiencia biológica.

$$EB = \frac{848 \text{ g}}{715 \text{ g}} = 1.18 \times 100 = 118.6 \% \quad (4.10)$$

Se observa que esta última fructificación disminuyó su porcentaje, asimismo en la siguiente Fig. 4.13 se puede observar la calidad, en la cual el color de la seta es muy blanco y además el pie de esta, se observa delgado y no grueso.



Figura 4.13: Cosecha control de variables

4.2.1. Prototipo localizado en Lomas de Ahuatepec

Dentro de este marco, se utilizaron dos bolsas de micelio para trabajar en dos localidades diferentes, donde las condiciones de temperatura ambiente son distintas. En Lomas de Ahuatepec, la temperatura es baja con una diferencia de -8°C , en comparación con la ubicación en CENIDET, que es más cálida, según el sistema de meteorología.

Debe señalarse que las variables de la cámara fructificadora fueron las mismas para realizar las pruebas en ambas ubicaciones, al igual que las bolsas de micelio. En la siguiente Fig. 4.14 se pueden observar las dos bolsas de micelio utilizadas.



Figura 4.14: Bolsas de micelio para el prototipo

Se observa que, en la primera cosecha realizada en Lomas de Ahuatepec, el fruto tardó cinco días en aparecer. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.11 correspondiente a la primera cosecha en Lomas de Ahuatepec.

Tabla 4.11: Primera cosecha Lomas de Ahuatepec

LOMAS DE AHUATEPEC		
PROTOTIPO 2		
1RA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	235	11 x 12 cm
2	332	13 x 11 cm
3	245	10 x 12 cm
4	246	11 x 12 cm
TOTAL=	1058	

En la siguiente Fig. 4.15 se puede observar el prototipo ubicado en Lomas de Ahuatepec. En esta etapa, coincidió el número de días de la primera cosecha, pero a diferencia del prototipo en CENIDET, este solo fructificó 4 primordios.



Figura 4.15: Prototipo ubicado en Lomas de Ahuatepec

De acuerdo a la ecuación 1.1, sustituimos los valores obtenidos, para obtener la eficiencia biológica.

$$EB = \frac{1058 \text{ g}}{715 \text{ g}} = 1.47 \times 100 = 147.97 \% \quad (4.11)$$

Obteniendo una eficiencia mayor al 100 %, lo cual indica que es una eficiencia óptima.

En la segunda cosecha, se observa que tarda 8 días después del primer corte. Cabe mencionar que en esta cosecha se obtuvieron cinco frutos del hongo seta, a diferencia de la primera fructificación. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.12.

Tabla 4.12: Segunda cosecha Lomas de Ahuatepec

PROTOTIPO 2		
2DA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	234	13 x 11cm
2	240	12 x 13cm
3	234	12 x 10cm
4	160	12x 9cm
5	102	12x 12cm
TOTAL=	970	

En este sentido, se puede observar que los datos obtenidos en esta cosecha muestran un peso menor que el de la primera, a pesar de tener un fruto más. Además, se realizó el cálculo para determinar la eficiencia biológica obtenida en esta segunda cosecha.

De acuerdo a la ecuación 1.1, sustituimos los valores obtenidos, para obtener la eficiencia biológica.

$$EB = \frac{970 \text{ g}}{715 \text{ g}} = 1.35 \times 100 = 135.66 \% \quad (4.12)$$

En la tercera cosecha, realizada nueve días después del corte de la fructificación anterior, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 4.13. En la siguiente Fig. ?? se puede observar la calidad de la fructificación

y en la tabla podemos observar que solo se obtuvieron 4 cortes del sustrato y el peso del hongo seta disminuyó considerablemente en comparación con las dos primeras cosechas.



Figura 4.16: Cosecha Lomas de Ahuatepec

Tabla 4.13: Tercera cosecha en Lomas de Ahuatepec

PROTOTIPO 2		
3RA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	130	10 x 9.5cm
2	140	8 x 11 cm
3	240	12 x 10 cm
4	100	11 x 8 cm
TOTAL=	610	

De acuerdo a la ecuación 1.1, sustituimos los valores obtenidos, para obtener la eficiencia biológica.

$$EB = \frac{610 \text{ g}}{715 \text{ g}} = 0.85 \times 100 = 85.31 \% \quad (4.13)$$

Se observa que la eficiencia biológica disminuyó, en comparación con las dos anteriores, pero no deja de ser una fructificación óptima.

Finalmente, nueve días después del corte de la tercera cosecha, se obtuvieron los siguientes datos, como se muestra en la tabla 4.14. Podemos observar que hay 5 brotes en lugar de 4.

Tabla 4.14: Cuarta cosecha Lomas de Ahuatepec

PROTOTIPO 2		
4TA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	154	11 x 10 cm
2	123	11 x 9 cm
3	200	11 x 8 cm
4	123	15 x 10 cm
5	180	12 x 11 cm
TOTAL=	780	

Cabe resaltar que en esta etapa de fructificación, siendo la última del sustrato, también realizamos los cálculos de la eficiencia biológica, la cual nos da como resultado en la siguiente ecuación 4.30:

$$EB = \frac{780 \text{ g}}{715 \text{ g}} = 1.09 \times 100 = 109 \% \quad (4.14)$$

En esta etapa de fructificación es óptima, debido a que a pesar de ser la última fructificación se obtuvo poco más del 100 %

En la Fig. 4.17, se muestran ejemplos de la cosecha del hongo seta, el peso está dado en gramos.



Figura 4.17: Peso en gramos de algunas cosechas

Análisis Estadístico de la Producción de CENIDET y Lomas de Ahuatepec En el análisis realizado, se utilizó la siguiente tabla 4.15, donde se proporcionaron los datos, días, cosechas y pesos obtenidos en esta etapa de experimentación. Datos Generales de la tabla 4.15:

Total de días observados: 28

Columnas:

- Días: Días de la etapa de experimentación.
- CENIDET: Cantidad de producción (unidades).
- Lomas de Ahuatepec: Cantidad de producción (unidades).
- Total de Peso: Peso total de las cosechas (gramos).

Tabla 4.15: Días que tardo en fructificar en CENIDET y Lomas

Días	Cosecha CENIDET	Cosecha Lomas de Ahuatepec	Total, Peso (g)
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	4	1058 g
5	5	-	1320 g
6	-	-	-
7	-	-	-
8	-	-	-
9	-	-	-
10	-	-	-
11	-	-	-
12	-	-	-
13	-	5	970 g
14	-	-	-
15	5	-	990 g
16	-	-	-
17	-	-	-
18	-	-	-
19	-	4	610 g
20	4	-	871 g
21	-	-	-
22	-	-	-
23	-	-	-
24	4	-	848 g
25	-	-	-
26	-	-	-
27	-	-	-
28	-	5	780 g

Datos de CENIDET:

- Días con datos: 5, 15, 20, 24
- Valores: 5, 5, 4, 4
- Total de días con datos: 4 días
- Suma de valores: $5 + 5 + 4 + 4 = 18$
- Promedio (Media):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{18}{4} = 4.5 \quad (4.15)$$

- Mediana: Ordenados: 4, 4, 5, 5 $\rightarrow$ Mediana: $(4 + 5) / 2 = 4.5$
- Moda: 4 y 5 (ambos aparecen dos veces)
- Varianza:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n} = \frac{(5 - 4.5)^2 + (5 - 4.5)^2 + (4 - 4.5)^2 + (4 - 4.5)^2}{4} = 0.25 \quad (4.16)$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{0.25} = 0.5 \quad (4.17)$$

Datos de Lomas de Ahuatepec:

- Días con datos: 4, 13, 19, 28
- Valores: 4, 5, 4, 5
- Total de días con datos: 4 días
- Suma de valores: $4 + 5 + 4 + 5 = 18$
- Promedio (Media):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{18}{4} = 4.5 \quad (4.18)$$

- Mediana: Ordenados: 4, 4, 5, 5 $\rightarrow$ Mediana: $(4 + 5) / 2 = 4.5$
- Moda: 4 y 5 (ambos aparecen dos veces)
- Varianza:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n} = \frac{(4 - 4.5)^2 + (5 - 4.5)^2 + (4 - 4.5)^2 + (5 - 4.5)^2}{4} = 0.25 \quad (4.19)$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{0.25} = 0.5 \quad (4.20)$$

Datos del total de peso:

- Días con datos: 4, 5, 13, 15, 19, 20, 24, 28
- Valores: 1058 g, 1320 g, 970 g, 990 g, 610 g, 871 g, 848 g, 780 g
- Total de días con datos: 8 días
- Suma de valores:

$$1058 \text{ g} + 1320 \text{ g} + 970 \text{ g} + 990 \text{ g} + 610 \text{ g} + 871 \text{ g} + 848 \text{ g} + 780 \text{ g} = 7447 \text{ g}$$

- Promedio (Media):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{7447 \text{ g}}{8} = 930.875 \text{ g} \quad (4.21)$$

- Mediana: 610, 780, 848, 871, 970, 990, 1058, 1320 $\rightarrow$

$$\frac{871 + 970}{2} = 920.5 \text{ g} \quad (4.22)$$

- Varianza:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n} \\ &= \frac{(1058 - 930.875)^2 + (1320 - 930.875)^2 + (970 - 930.875)^2 + (990 - 930.875)^2}{8} \\ &\quad + \frac{(610 - 930.875)^2 + (871 - 930.875)^2 + (848 - 930.875)^2 + (780 - 930.875)^2}{8} \\ &= 38593.73 \end{aligned} \quad (4.23)$$

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{38593.73} = 196.45 \text{ g} \quad (4.24)$$

Estas operaciones permiten comprender mejor la variabilidad y la tendencia central de los datos de producción en CENIDET y Lomas de Ahuatepec.

El análisis estadístico de los valores recolectados en ocho días de cosechas. Con un total de 7447 gramos y un promedio de 930.875 gramos, los pesos variaron significativamente. La mediana de 920.5 gramos indica el punto medio de los datos ordenados, mientras que la varianza de 38593.73 gramos cuadrados y la desviación estándar de aproximadamente 196.45 gramos revelan una considerable dispersión de los pesos respecto al promedio.

Así mismo, en la siguiente Fig. 4.18 en la gráfica se muestran las cosechas obtenidas en CENIDET y Lomas de Ahuatepec, como la tendencia exponencial.

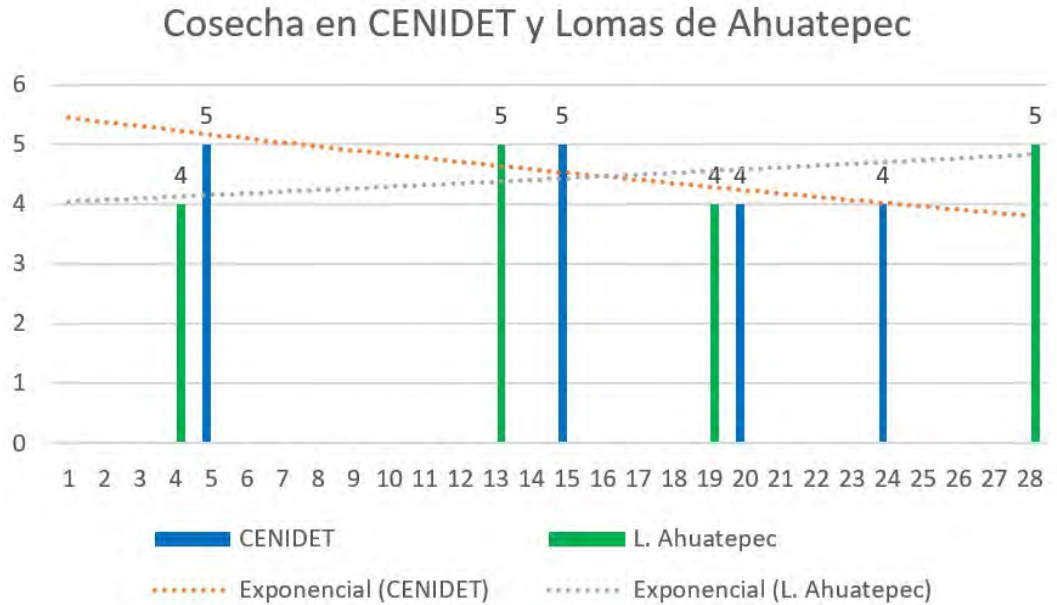


Figura 4.18: Gráfica de cosechas obtenidas en CENIDET y Lomas de Ahuatepec

En el sistema de control de variables se puede observar cosechas, con un color más claro que los obtenidos en la etapa de experimentación de forma tradicional, como se muestra en la Fig. 4.19



Figura 4.19: Cosechas del control de variables

4.3. Prototipo Sistema Automatizado

Para comenzar a trabajar con el sistema automatizado, es importante mencionar que se realizó en San Juan del Río, Querétaro, el cual se encuentra en las siguientes coordenadas Latitud: 20°23'19,83 N · Longitud: 99°59'46,71 O · Altitud: 1.920 metros sobre el nivel del mar.

Situada en el estado de Querétaro, a 57 kilómetros de la capital estatal, Santiago de Querétaro, San Juan del Río es la cabecera del municipio que lleva el mismo nombre.

Es la segunda ciudad más poblada del estado, solo superada por la capital, con una población de 177,719 habitantes en 2020, lo que equivale al 12.6 % del total de habitantes del estado, según el conteo oficial del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. La Zona Metropolitana de San Juan del Río cuenta con una población de 370,005 habitantes.

Según Conagua (2018) afirma, la temperatura promedio en San Juan del Río oscila entre 16.7°C y 18°C a lo largo del año. Durante los meses más cálidos, las temperaturas pueden llegar a alcanzar los 30°C, mientras que en los meses más fríos, pueden bajar a alrededor de 10°C.

Uno de los componentes más importantes es la materia prima que se utilizó en este proyecto, para ello se utilizaron dos tipos de sustrato, como anteriormente se menciona y de acuerdo con De la Cruz Blanco et al. (2020), se puede utilizar, rastrojo de maíz, rastro de paja, de avena entre otros.

Para el desarrollo de esta fase, se adquirió dos bolsas de siembra, una de ellas contenía sustrato de rastrojo de maíz y la otra rastrojo de avena. Cabe mencionar que ambas bolsas tenían las siguientes medidas 30 x 40 cm, con 1 kg, además el peso de sustrato seco de cada una de ellas es el siguiente:

- Rastrojo de maíz: 710 g sustrato seco
- Rastrojo de avena: 700 g sustrato seco

En la Fig. 4.20 se muestra el peso del sustrato, el cual es importante para saber el porcentaje *EB*.



Figura 4.20: Peso del sustrado para el sistema automatizado

Ahora bien se obtuvieron las bolsas en el mismo día y se colocaron en la cámara fructificadora juntas, para observar la etapa de fructificación.

Debe señalarse que las condiciones que utilizó el sistema automatizado es: temperatura 25 – 27 °C humedad 80 – 90 % Ventilación: Sí rebasa el 90 % de humedad se apaga el sistema de riego e ingresan los ventiladores a trabajar. Iluminación: 12 hrs encendido, 12 hrs apagado

Sí este se encuentra por debajo del 80 %, el sistema de riego se mantiene humedeciendo la bolsa. Así mismo para la evaluación de esta fase, se utilizó un luxómetro, el cuál sirvió para saber la cantidad de luxes que recibió la bolsa de siembra, en la Fig. 4.21, se puede observar una de las lecturas utilizando el luxómetro.



Figura 4.21: Medición con luxómetro

Ahora bien el luxómetro que se utilizó, es importante mencionar que cuenta con una certificación se muestra en la Fig. 4.22, y las lecturas fueron registradas en la tabla 4.24, desde el día 1 hasta el 31 de la última fructificación.

Test Report of Calibration							
Model No	881D	Customer	TERCOR GmbH	Test Quantity	1	Test Date	2024.04.01
Condition Temperature	25℃	Relative Humidity	50%	Test Standard	GB2028	Sample Size	
Measure up Quality Level	AQL=1.5	Inspection Level	II:II	Inspection Equipment	Photosource	sample Inspection	Fully
Sample Inspection Register							
Inspection Item		Applied Value		Reading		Pass / Fail	
Function	Range						
113	400.0 Lux	100.0 Lux		(382 ~ 419) Lux		Pass ☒	Fail ☐
	4000 Lux	4000 Lux		(3820 ~ 4180) Lux		Pass ☒	Fail ☐
	40000 Lux	40000 Lux		(38000 ~ 42000) Lux		Pass ☒	Fail ☐
	100000 Lux	100000 Lux		(90000 ~ 100000) Lux		Pass ☒	Fail ☐
	400000 Lux	350000 Lux		(322500 ~ 367500) Lux		Pass ☒	Fail ☐
Appearance						Pass ☒	Fail ☐
Backlight						Pass ☒	Fail ☐
Data hold		show symbols: H				Pass ☒	Fail ☐
Low battery indication						Pass ☒	Fail ☐
Automatic shutdown time		about 10 min				Pass ☒	Fail ☐
Inspection Conclusion		Pass				Inspection Date	2024.04.01
Calibrated by		Yu Xin Ling				Check	Zhou Xiao Cui
Signed , Date : 2024.04.01							

Figura 4.22: Certificación del luxómetro

Acerca de la certificación, a continuación se enlistan las características del luxómetro con el cual se trabajó en este proyecto:

- Características del Medidor de Luz Digital Btmetre LUX y el Certificado de Calibración.
- Modelo: Bt-881D
- Visualización: 3999 contadores
- Rango: 0.01 a 400,000lux
- Precisión de temperatura: $\pm 0.1\%$
- Tiempo de muestreo: 23 veces por segundo
- Precisión: $\pm 4\%$ $\pm 0.5\text{f.s}$ (0-2000lux); $\pm 5\%$ ± 10 (2000 Lux-400000 Lux)

En esta última fase, se adquirieron dos bolsas, una de rastrojo de maíz y una de rastrojo de avena, y ambas bolsas fueron colocadas dentro del prototipo en la cámara fructificadora.

En la Fig. 4.23, se observa la manera en la cual se guardaron las bolsas, dentro del prototipo del sistema automatizado, además se realiza un registro desde el día uno, para un registro del desarrollo de la fructificación.



Figura 4.23: Bolsa de siembra del sistema automatizado

Por lo tanto podemos observa en la Fig. 4.24 como se encuentra el desarrollo de la primera etapa de fructificación.



Figura 4.24: Siembra de maíz y avena dentro del fructificador

En efecto el procedimieto se desarrollo desde el día uno, en donde se colocaron ambas bolsas de siembra y se espero el tiempo de cosechas. Por su parte en la primera etapa de fructificación de la cosecha, se observa en el rastrojo de maíz el día 8 con 2 frutos los cuales se registra en la siguiente tabla 4.16.

Tabla 4.16: Primera cosecha de rastrojo de maíz

San Juan del Río		
Rastrojo de Maíz		
1RA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	390	12 x 9cm
2	370	12 x 10 cm
Total=	760	

Se realiza la sustitución de la ecuación 1.1, con los datos obtenidos para obtener la EB.

$$EB = \frac{760 \text{ g}}{710 \text{ g}} = 1.07 \times 100 = 107 \% \quad (4.25)$$

Durante la segunda etapa de la fructificación, solo obtenemos dos cosechas con un peso menor que las anteriores y en un periodo de tiempo más corto. La fecha exacta de la fructificación es el día 13, como se muestra en la tabla 4.17.

Tabla 4.17: Segunda cosecha de rastrojo de maíz

San Juan del Río		
Rastrojo de Maíz		
2DA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	460	18 x 12cm
2	380	13 x 11 cm
Total=	840	

Además se realiza la sustitución de la ecuación 1.1, con los datos obtenidos para obtener la EB.

$$EB = \frac{840 \text{ g}}{710 \text{ g}} = 1.18 \times 100 = 118 \% \quad (4.26)$$

Al cabo de cinco días más, proporciona una tercera fructificación, tal como se muestra en la tabla 4.18

Tabla 4.18: Tercera cosecha de rastrojo de maíz

San Juan del Río		
Rastrojo de Maíz		
3RA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	300	15 x 10 cm
2	230	11 x 9 cm
Total=	530	

Se realiza la sustitución de la ecuación 1.1, con los datos obtenidos para obtener la EB.

$$EB = \frac{530 \text{ g}}{710 \text{ g}} = 0.74 \times 100 = 74.64 \% \quad (4.27)$$

En comparación con la anterior, el peso de la cosecha es mayor, y en la cuarta fructificación pasando otros cinco días, vuelve a fructificar, como lo muestra la tabla 4.19 y la Fig. 4.25 podemos observar la calidad de la cosecha.

Tabla 4.19: Cuarta cosecha rastrojo de maíz

San Juan del Río		
Rastrojo de Maíz		
4TA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	356	15 x 10 cm
2	274	11 x 9 cm
Total=	630	



Figura 4.25: Cuarta cosecha de rostrojo de maíz

Se realiza la sustitución de la ecuación 1.1, con los datos obtenidos para obtener la EB.

$$EB = \frac{630 \text{ g}}{710 \text{ g}} = 0.88 \times 100 = 88.73 \% \quad (4.28)$$

Finalmente se obtiene una última fructificación la cual se muestra en la siguiente tabla 4.20, cabe resaltar que la calidad de estas cosechas en cuanto a su color es muy blanquecino y el tamaño de las orejas al iniciar son pequeñas como se muestra en la Fig. 4.26, pero conforme van creciendo el sombrero se va haciendo grande y el pie permanece delgado.

Tabla 4.20: Quinta cosecha de rastrojo de maíz

San Juan del Río		
Rastrojo de Maíz		
5TA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	304	15 x 10 cm
2	260	11 x 9 cm
Total=	564	



Figura 4.26: Cosecha de rastrojo de maíz, pocos días

Se realiza la sustitución de la ecuación 1.1, con los datos obtenidos para obtener la EB.

$$EB = \frac{564 \text{ g}}{710 \text{ g}} = 0.79 \times 100 = 79.43 \% \quad (4.29)$$

En la misma etapa de ructificación también se trabajó con rastrojo de avena en la cual nos mostró la siguiente información como se muestra en la tabla 4.21 y en la Fig. 4.29 se muestra la cosecha de rastrojo de avena.

Tabla 4.21: Primera cosecha de rastrojo de avena

San Juan del Río		
Rastrojo de Avena		
1RA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	190	10 x 9cm
2	160	8 x 8 cm
Total=	350	



Figura 4.27: Primera cosecha de rastrojo de avena

Se realiza la sustitución de la ecuación 1.1, con los datos obtenidos para obtener la EB.

$$EB = \frac{350 \text{ g}}{700 \text{ g}} = 0.50 \times 100 = 50 \% \quad (4.30)$$

Después de ocho días vuelve a realizar una fructificación, la cual se muestra en la tabla 4.22, el rastrojo de avena, nos proporcionó menos cosechas que el rastrojo de maíz.

Tabla 4.22: Segunda cosecha de rastrojo de avena

San Juan del Río		
Rastrojo de Avena		
2DA FRUCTIFICACIÓN		
Frutos	Peso g	Tamaño
1	240	10 x 8cm
Total=	240	

Se realiza la sustitución de la ecuación 1.1, con los datos obtenidos para obtener la EB.

$$EB = \frac{240 \text{ g}}{700 \text{ g}} = 0.34 \times 100 = 34 \% \quad (4.31)$$

Por otra parte, los resultados obtenidos en la etapa de fructificación se pueden observar en la tabla 4.23 en la cual se llevó el registro de las cosechas y el tiempo que tardó en fructificar, dependiendo del sustrato con el que se trabajó.

Tabla 4.23: Cosechas del sistema automatizado rastreo de maíz y avena

Día	Maíz	Avena	Peso (g)
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-
6	-	-	-
7	-	-	-
8	2	-	760 g
9	-	-	-
10	-	-	-
11	-	-	-
12	-	-	-
13	2	-	840 g
14	-	-	-
15	-	2	350 g
16	-	-	-
17	-	-	-
18	-	-	-
19	2	-	530 g
20	-	-	-
21	-	-	-
22	-	-	-
23	-	-	-
24	-	1	240 g
25	2	-	630 g
26	-	-	-
27	-	-	-
28	-	-	-
29	-	-	-
30	-	-	-
31	2	-	564 g

En la siguiente Fig. 4.28 se puede observar las cosechas obtenidas en la etapa de experimentación que arrojó, como resultado del rastrojo de maíz y de avena.

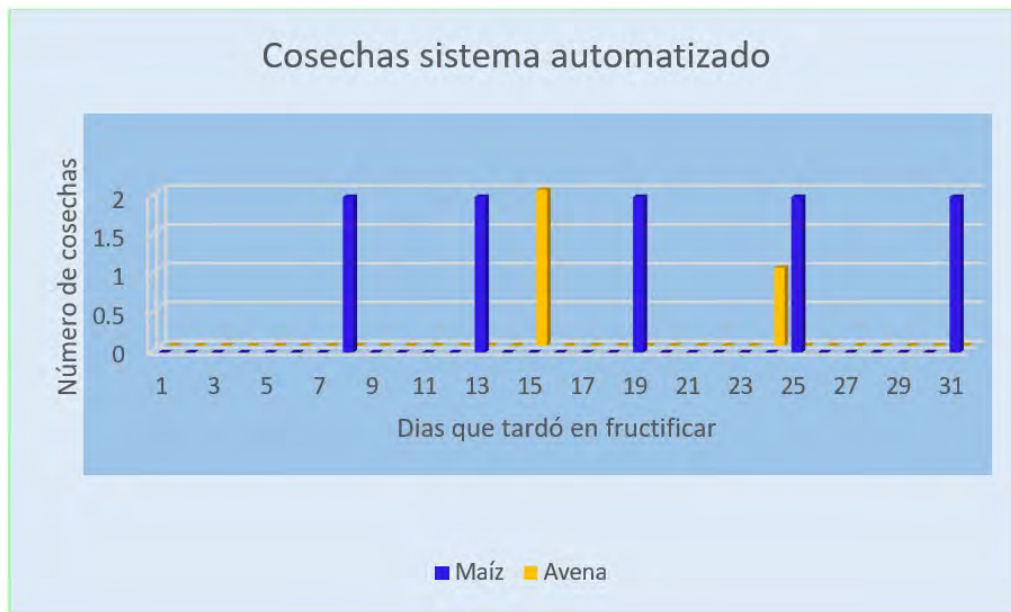


Figura 4.28: Gráfica de resultados de la cosecha del sistema automatizado

En la Fig. 4.29 se muestra una de las cosechas de avena, en la cual se puede observar que el color es blanco y el tamaño de la oreja es de 15 x 10 cm, el cual, de acuerdo a la literatura, es una cosecha que por vista se ve de buena calidad, y de acuerdo a la EB, eso nos dio otra información.



Figura 4.29: Cosecha de rastrojo de avena

Con los datos, se realiza un análisis estadístico para obtener la tendencia de los resultados obtenidos.

Datos:**Total de días observados:** 31

1. Maíz: Cantidad de maíz cosechado (unidades).
2. Avena: Cantidad de avena cosechada (unidades).
3. Peso: Peso total de las cosechas (gramos).

A) Rastrojo de Maíz:

- Total de días con maíz: 5 (Días 8, 13, 19, 25, 31)
- Cantidad total de maíz: 5 cosechas
- Peso total de maíz cosechado: 3324 gramos (760 g + 840 g + 530 g + 630 g + 564 g)

Valores de Maíz

- Valores: 2, 2, 2, 2, 2.
- Días con datos: 5
- Pesos: 760 g, 840 g, 530g, 630 g, 564 g

A continuación se muestran las operaciones:

1. Promedio (Media):

$$\bar{x} = \frac{2 + 2 + 2 + 2 + 2}{5} = \frac{10}{5} = 2 \quad (4.32)$$

2. Mediana: Ordenando los datos: 2, 2, 2, 2, 2

Mediana=2

3. Moda del Valor:

Moda=2

4. Varianza del valor:

$$\sigma^2 = \frac{(2-2)^2 + (2-2)^2 + (2-2)^2 + (2-2)^2 + (2-2)^2}{5} = 0 \quad (4.33)$$

5. Desviación estándar del valor:

$$\sigma = \sqrt{0} = 0 \quad (4.34)$$

6. Promedio (Media) del peso:

$$\bar{x} = \frac{760 + 840 + 530 + 630 + 564}{5} = \frac{3324}{5} = 664.8 \text{ g} \quad (4.35)$$

7. Mediana del peso: 530, 564, 630, 760, 840

Mediana = 630 g

8. Moda del Peso: No hay moda ya que todos los valores son únicos.

9. Varianza del Peso:

$$\begin{aligned}\sigma^2 &= \frac{(760 - 664.8)^2 + (840 - 664.8)^2 + (530 - 664.8)^2 + (630 - 664.8)^2 + (564 - 664.8)^2}{5} \\ &= \frac{(95.2)^2 + (175.2)^2 + (-134.8)^2 + (-34.8)^2 + (-100.8)^2}{5} \\ &= 13860.16\end{aligned}\tag{4.36}$$

10. Desviación Estándar del Peso:

$$\sigma = \sqrt{13860.16} = 117.72 \text{ g}\tag{4.37}$$

B) Rastrojo con Avena:

- Total de días con avena: 2 (Días 15, 27)
- Cantidad total de avena: 2 unidades
- Peso total de avena cosechada: 590 gramos (350 g + 240 g)
- Peso promedio por día con avena: 250 gramos

Valores de Avena

- Valores: 2, 1
- Días con datos: 2

Las operaciones se muestran a continuación:

1. Promedio (Media):

$$\bar{x} = \frac{2 + 1}{2} = 1.5\tag{4.38}$$

2. Mediana: Ordenando los datos: 1, 2

$$\text{Mediana} = \frac{1 + 2}{2} = 1.5\tag{4.39}$$

3. Moda: No hay moda ya que ambos valores son únicos.

4. Varianza:

$$\sigma^2 = \frac{(2 - 1.5)^2 + (1 - 1.5)^2}{2} = \frac{0.25 + 0.25}{2} = 0.25\tag{4.40}$$

5. Desviación Estándar:

$$\sigma = \sqrt{0.25} = 0.5 \quad (4.41)$$

Valores del total de peso de las cosechas obtenidas

Valores: 560g, 350g, 360g, 530g, 240g, 630g, 564g

Días con datos: 7

1. Promedio (Media):

$$\bar{x} = \frac{560 + 350 + 360 + 530 + 240 + 630 + 564}{7} = \frac{3234}{7} = 462 \text{ g} \quad (4.42)$$

2. Mediana: Ordenando los datos: 240g, 350g, 360g, 530g, 560g, 564g, 630g.

$$\text{Mediana} = 530 \text{ g} \quad (4.43)$$

3. Moda: No hay moda ya que todos los valores son únicos.

4. Varianza:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \frac{(560 - 462)^2 + (350 - 462)^2 + (360 - 462)^2 + (530 - 462)^2 + (240 - 462)^2 + (630 - 462)^2 + (564 - 462)^2}{7} \\ &= \frac{(9)^2 + (-112)^2 + (-102)^2 + (68)^2 + (-222)^2 + (168)^2 + (102)^2}{7} \\ &= 17869.71 \end{aligned} \quad (4.44)$$

5. Desviación Estándar:

$$\sigma = \sqrt{17869.71} = 133.65 \text{ g} \quad (4.45)$$

- Promedio (Media): 462 g
- Mediana: 530 g
- Moda: No hay
- Varianza: 17869.71 g²
- Desviación Estándar: 133.65 g

Consumo de Maíz:

La media y la desviación media son constantes, lo que indica un consumo uniforme.
La varianza es cero, lo que confirma la uniformidad en el consumo de maíz.

Consumo de Avena:

La media es 1.5, con una desviación media de 0.5 y una varianza de 0.25, lo que indica una ligera variabilidad en el consumo de avena.

Peso Registrado:

La media del peso registrado es aproximadamente 559.14 g.

La desviación media es 178.57 g, lo que indica una variabilidad moderada en los pesos registrados.

La varianza es 37682.98, lo que muestra una alta dispersión en los datos de peso.

4.3.1. Iluminación

En la etapa de experimentación se realizó un estudio de la iluminación, apoyados de un Luxómetro, los resultados se muestran en la tabla 4.24

Tabla 4.24: Control de Iluminación sistema automatizado

Lecturas con Luxómetro (lx)			
Días	Mañana	Tarde	Noche
1	108	105	148
2	110	100	133
3	125	100	145
4	108	102	132
5	102	100	134
6	110	98	121
7	104	104	120
8	110	102	112
9	111	103	124
10	108	106	113
11	107	107	123
12	103	106	132
13	110	108	123
14	120	109	124
15	114	107	145
16	116	108	120
17	110	100	114
18	108	102	145
19	107	102	124
20	106	101	134
21	104	100	123
22	107	100	132
23	108	101	130
24	103	102	125
25	112	103	123
26	110	110	120
27	110	100	124
28	107	103	121
29	109	100	121
30	101	102	124
31	110	101	120

En la siguiente Fig. 4.30 se muestra una gráfica con los datos obtenidos a través del desarrollo de este proyecto.

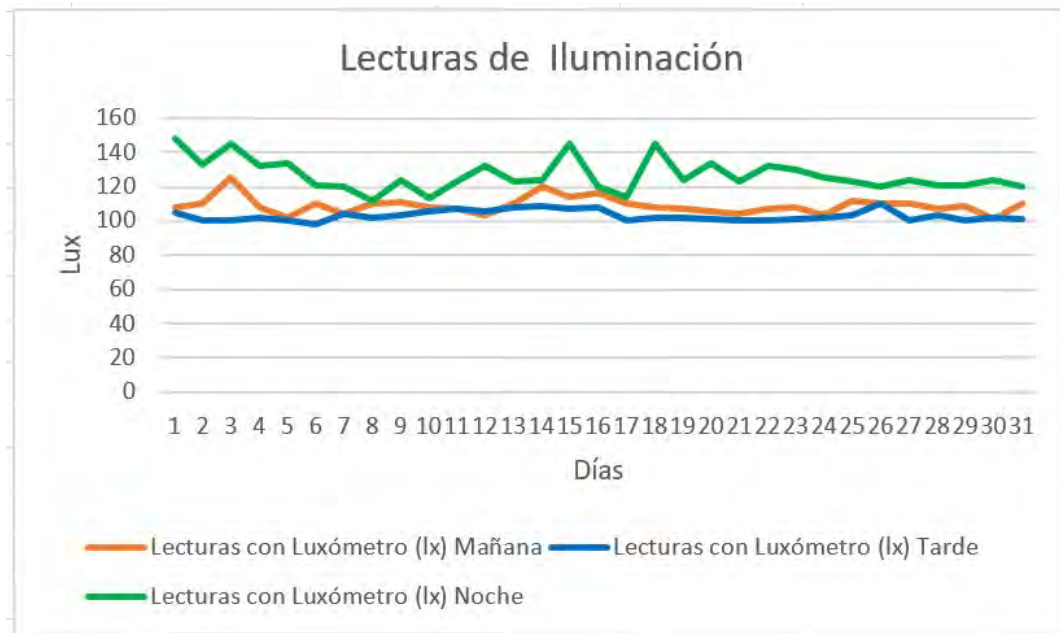


Figura 4.30: Gráfica de iluminación del sistema automatizado

Análisis Estadístico de Lecturas con Luxómetro (lx)

Datos Recopilados:

- Días: 31
- Mediciones: Mañana, Tarde, Noche

Mañana

1. Promedio (Media):

$$\begin{aligned}\bar{x}_{mañana} &= \frac{108 + 110 + 125 + 108 + 102 + 110 + 104 + 110 + 111 + 108 + 107 + 103 + 110 + 120 + 114 + 116 \\ &\quad + 110 + 108 + 107 + 106 + 104 + 107 + 108 + 103 + 112 + 110 + 110 + 107 + 109 + 101 + 110}{31} \\ &= \frac{3372}{31} = 108.77 \text{ lx}\end{aligned}\tag{4.46}$$

2. Mediana:

Ordenar los datos: 101, 102, 103, 103, 104, 104, 106, 107, 107, 107, 108, 108, 108, 108, 108, 108, 109, 110, 110, 110, 110, 111, 112, 114, 116, 120, 125

Mediana = 108 lx

3. Moda:

Moda = 110 lx

4. Varianza:

$$\sigma_{\text{mañana}}^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x}_{\text{mañana}})^2}{31} \quad (4.47)$$

5. Desviación Estándar:

$$\sigma_{\text{mañana}} = \sqrt{\sigma_{\text{mañana}}^2} = 4.39 \text{ lx} \quad (4.48)$$

Tarde

1. Promedio (Media):

$$\begin{aligned} \bar{x}_{\text{tarde}} &= \frac{105 + 100 + 100 + 102 + 100 + 98 + 104 + 102 + 103 + 106 + 107 + 106 + 108 + 109 + 107 + 108}{31} \\ &\quad + 100 + 102 + 102 + 101 + 100 + 100 + 101 + 102 + 103 + 110 + 100 + 103 + 100 + 102 + 101 \\ &= \frac{3145}{31} = 101.45 \text{ lx} \end{aligned} \quad (4.49)$$

2. Mediana:

Ordenar los datos: 98, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 101, 101, 102, 102, 102, 102, 102, 102, 103, 103, 103, 104, 105, 106, 106, 107, 107, 108, 108, 109, 110

Mediana = 101 lx

3. Moda:

Moda = 100 lx

4. Varianza:

$$\sigma_{\text{tarde}}^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x}_{\text{tarde}})^2}{31} \quad (4.50)$$

5. Desviación Estándar:

$$\sigma_{\text{tarde}} = \sqrt{\sigma_{\text{tarde}}^2} = 2.73 \text{ lx} \quad (4.51)$$

Noche

1. Promedio (Media):

$$\begin{aligned}\bar{x}_{noche} &= \frac{148 + 133 + 145 + 132 + 134 + 121 + 120 + 112 + 124 + 113 + 123 + 132 + 123 + 124 + 145 + 120 \\ &\quad + 114 + 145 + 124 + 134 + 123 + 132 + 130 + 125 + 123 + 120 + 124 + 121 + 121 + 124 + 120}{31} \\ &= \frac{379631}{31} = 122.45 \text{ lx}\end{aligned}\tag{4.52}$$

2. Mediana:

Ordenar los datos: 112, 113, 114, 120, 120, 120, 121, 121, 121, 123, 123, 123, 124, 124, 124, 124, 124, 130, 132, 132, 132, 133, 134, 134, 145, 145, 145

Mediana = 124 lx

3. Moda:

Moda = 124 lx

4. Varianza:

$$\sigma_{noche}^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x}_{noche})^2}{31}\tag{4.53}$$

5. Desviación Estándar:

$$\sigma_{noche} = \sqrt{\sigma_{noche}^2} = 10.32 \text{ lx}\tag{4.54}$$

Las mediciones matutinas muestran un promedio de 108.77 lx, con una dispersión relativamente baja, como lo indica su desviación estándar de 4.39 lx. Las mediciones vespertinas tienen un promedio de 101.45 lx y muestran una menor variabilidad, con una desviación estándar de 2.73 lx. Las lecturas nocturnas presentan un promedio más alto de 122.45 lx y una mayor variabilidad, reflejada en una desviación estándar de 10.32 lx.

Estas estadísticas sugieren que las lecturas de luz en la tarde son las más consistentes, mientras que las lecturas nocturnas tienen una mayor variabilidad, posiblemente debido a fluctuaciones en las condiciones de iluminación durante la noche. En la Fig. 4.31 se muestran algunas lecturas que se tomaron aleatoriamente.

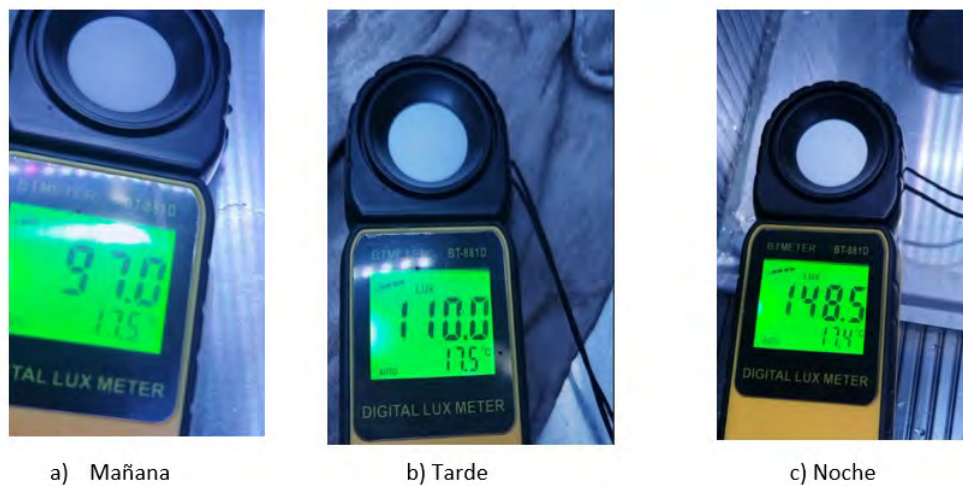


Figura 4.31: Lecturas con el luxómetro

Las cosechas obtenidas en cuanto a su color, es blanco con el pie no grueso, ni tan delgado, lo cual significa que está recibiendo suficiente oxigenación y las orejas del hongo están teniendo un diámetro de 11 cm, con un olor muy fresco, sobre todo en la cosecha de rastrojo de maíz, en la Fig. 4.32 se observan algunas cosechas.



Figura 4.32: Cosechas del sistema automatizado

Capítulo 5

Conclusiones y trabajos futuros

En este capítulo se expone el análisis de resultados, junto con las conclusiones, aportaciones y comentarios finales derivados del presente trabajo de tesis. Es importante establecer que el objetivo de este trabajo de investigación es desarrollar una cámara fructificadora para el hongo seta y en cuyo diseño se consideraron la bolsa de siembra y la producción potencial de la cosecha.

Para el llevar a cabo el presente proyecto, se crearon varios prototipos, ello con el objetivo de encontrar la ergonomía de la cámara y, además, para asegurar que no se dañara el producto. De esta manera, luego de considerar estos factores, se definió el diseño final.

Por otra parte, es importante puntualizar que, en el desarrollo del circuito, se tomaron en cuenta variables fundamentales para el correcto progreso de la cosecha según la literatura.

En este sentido, se determinó que las variables más influyentes son temperatura, humedad, ventilación e iluminación.

Asimismo, se realizaron diversas pruebas con los sensores y la programación, lo cual nos permitió establecer con éxito un sistema automatizado que funciona las 24 horas.

Es importante destacar que la calidad de las setas obtenidas se evaluó en términos de color, tamaño y peso, y se demostró que, en comparación con el método tradicional, la cámara fructificadora reduce el tiempo de cosecha. De igual manera, se observó que la eficiencia biológica obtenida con este dispositivo es superior al 80 %.

Por lo tanto, se concluye que, con la utilización de la cámara, obtenemos los siguientes beneficios:

1. Se obtienen cosechas limpias y asequibles.
2. Es menor el tiempo en el que se lleva a cabo la fructificación de 60 días a 30.
3. Se consiguen cosechas con mayor peso.
4. El producto obtenido tiene un mayor tamaño.
5. En cuanto al color de nuestro fruto también podemos observar una mejor calidad, un color más claro.
6. Se puede obtener frutos en cualquier época del año.

A continuación, se muestra el impacto que se obtuvo de acuerdo a la Agenda 2030.

Uno de los objetivos preponderantes de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y es que todos los países y partes interesadas trabajen conjuntamente con miras a erradicar el hambre y prevenir cualquier forma de malnutrición para 2030.

En este sentido, es importante destacar que este proyecto sólo será posible si la agricultura y los sistemas alimentarios se vuelven sostenibles, de modo que los suministros de alimentos sean estables y todas las personas tengan acceso a una nutrición y una sanidad adecuadas.

Es por ello que consideramos importante encuadrar y destacar el impacto que nuestra cámara fructificadora de hongos seta puede tener en varios objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. A saber:

Objetivo 2. Hambre cero: Al producir hongos seta en casa, se puede contribuir a la seguridad alimentaria, al tiempo de mejorar la nutrición, ya que estos hongos son una fuente rica en proteínas y otros nutrientes.

Objetivo 12. Producción y Consumo Sostenibles: La producción de hongos seta es una alternativa sostenible a la ganadería y la agricultura tradicional, ya que requiere menos recursos y genera menos emisiones de gases de efecto invernadero.

Objetivo 13. Acción contra el Cambio Climático: Al optar por una producción de alimentos más sostenible, como los hongos seta, se reducen las emisiones de CO₂ y se contribuye a mitigar el cambio climático.

Objetivo 15. Vida de Ecosistemas Terrestres: La producción de hongos seta no implica deforestación ni degradación de tierras, lo que ayuda a conservar los ecosistemas y la biodiversidad.

Objetivo 8. Trabajo Decente y Crecimiento Económico: se pueden generar ingresos adicionales y oportunidades de empleo en el hogar, especialmente si se decide comercializar los hongos seta.

5.1. Trabajos futuros

En cuanto al funcionamiento de la cámara fructificadora, sería posible desarrollar trabajos en los que el sistema automatizado envíe información a través de una antena, subiéndola a la nube. De esta manera, a través de una aplicación móvil, se podría observar mediante una cámara el estado de la cosecha en tiempo real y, de ser necesario, intervenir desde el móvil.

Asimismo, se puede considerar la creación y puesta en marcha de un modelo de negocio. En este trabajo, se ha desarrollado un modelo de este tipo, el cual podría servir de base para futuros proyectos. La siguiente Fig. 5.1 muestra el modelo Canvas.

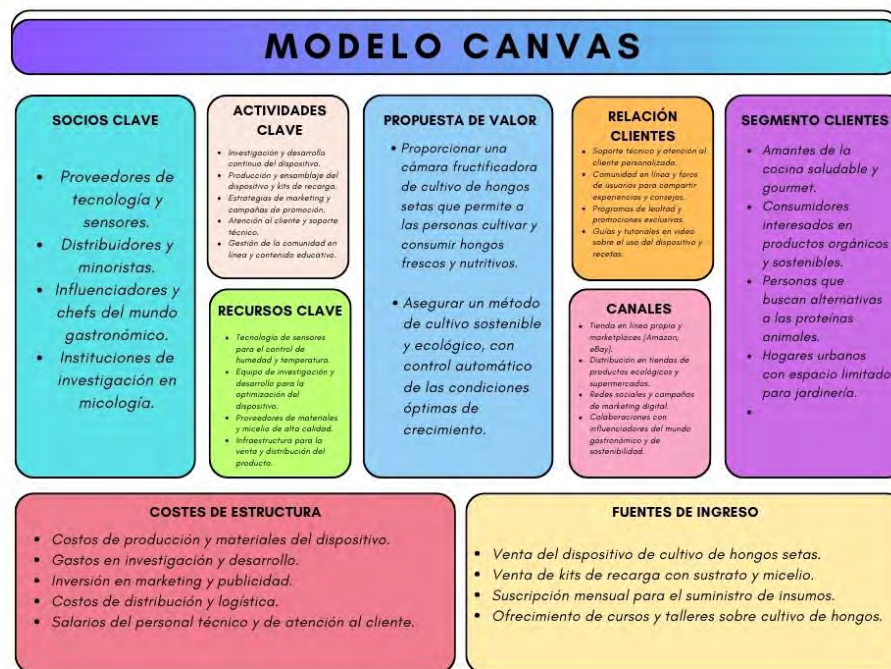


Figura 5.1: Modelo CANVAS

5.2. Anexos

5.2.1. Publicaciones

Evaluación de las condiciones ambientales para diseñar una cámara de fructificación de *Pleurotus ostreatus*.

Jazmín Sarahí Jiménez Ramos* María Josefa Tlatelpa Cuevas**, S.P. Pérez Sabino***C.M. Astorga Zaragoza****

*Tecnológico Nacional de México/CENIDET. Interior Internado Palmira S/N Col. Palmira, C.P. 62490 Cuernavaca, Morelos, México. Correo electrónico: m23ce032@cenidet.tecnm.mx. **Tecnológico Nacional de México/CENIDET. Interior Internado Palmira S/N Col. Palmira, C.P. 62490 Cuernavaca, Morelos, México. Correo electrónico: patricia.ps@cenidet.tecnm.mx, carlos.az@cenidet.tecnm.mx

Resumen: El cultivo de hongos comestibles, especialmente *Pleurotus ostreatus*, es esencial debido a su alto valor nutricional y económico. Aunque existen miles de especies de hongos Macromycetes, solo unas pocas son adecuadas para el consumo humano, y *Pleurotus ostreatus* es una de las más estudiadas y cultivadas debido a su resistencia y potencial económico y nutricional. Durante la evaluación del proceso de fructificación, se realizó una experimentación durante la primera cosecha, la cual demostró que es muy importante controlar variables como la temperatura, la humedad, la ventilación e iluminación. Por ello, se propone diseñar una cámara casera automatizada para fructificar *Pleurotus ostreatus* en cualquier época del año, controlando estas variables de manera precisa. Los primeros resultados muestran que las condiciones adecuadas de temperatura y humedad son esenciales para una fructificación exitosa.

Keywords: *Pleurotus ostreatus*, variables, diseño, temperatura, humedad.

1. INTRODUCCIÓN

Se calcula que de las 70 000 especies de hongos Macromycetes que producen cuerpos fructíferos, solo alrededor de 2 000 son adecuados para el consumo humano, y de estos, apenas 30 se cultivan comercialmente. Uno de los hongos comestibles más estudiados y cultivados ha sido el *Pleurotus ostreatus*, conocido también como hongo seta, hongo del cazahuate (Estrada Popoca, E. J. 2023). Es resistente y fácil de propagar, además de tener un gran potencial económico y nutricional en comparación con otras especies de hongos comestibles (Gaitán- Hernández, 2006).

La relevancia nutricional de los hongos comestibles se fundamenta principalmente en su contenido de proteínas (entre un 20 % y un 40 %), bajo en carbohidratos (entre un 36 % y un 47 %), grasas (entre un 0.5 % y un 5.0 %), y un considerable contenido de fibra (entre un 23 % y un 31 %) (Barba, 2019), así como en otros nutrientes, tiamina (vitamina), piridoxina (vitamina B 6), ácido ascórbico, cobalamina (vitamina B12) (Estrada Popoca, E. J. 2023) . Por esta razón, constituyen una excelente fuente de proteínas, vitaminas y minerales.

Entre los micronutrientes, el potasio es el más abundante, seguido por el fósforo, magnesio, sodio, calcio, hierro, zinc, manganeso y cobre (Deepalakshmi y Mirunalini, 2014). Además, durante el proceso de producción, los hongos contribuyen a la degradación de subproductos agrícolas, lo que ayuda a mitigar problemas de contaminación que a menudo no son aprovechados por las familias (Donado, 2014).

En México, esto ha afectado la seguridad alimentaria de la población y su derecho a acceder a alimentos saludables y nutritivos, así como a una dieta equilibrada y variada (Mayetti y

Martínez-Carrera, 2019). Los hongos comestibles representan una buena opción para hacer frente a estas crisis, ya que constituyen un sistema de producción y consumo que involucra procesos biotecnológicos aplicados que pueden ser desarrollados tanto a pequeña como a gran escala para producir: Alimentos humanos de alta calidad nutritiva y con propiedades medicinales, Suplementos dietéticos y Enzimas y productos metabólicos de importancia industrial (Martínez-Carrera et al., 2004) (Mora y Martínez-Carrera, 2007).

En México, el cultivo tradicional y aprovechamiento de hongos comestibles ha sido promovido durante más de 70 años, tanto en pequeña como en gran escala, principalmente con variedades como el Champiñón *Agaricus*, las Setas *Pleurotus* y el *shitake Lentinula*. Su valor económico alcanza los 200 millones de dólares anuales (Mora y Martínez-Carrera, 2007).

El impacto ambiental dentro del ODS 1 Fin de la pobreza: El cultivo casero de hongos puede proporcionar una fuente de ingresos adicionales para las personas que viven en áreas rurales o con recursos limitados. Esto puede ayudar a reducir la pobreza al proporcionar una fuente de alimento nutritivo y una oportunidad de generación de ingresos (Naciones Unidas ,2018).

Respecto al ODS 2 Hambre cero: El cultivo casero de *Pleurotus ostreatus* puede contribuir a la seguridad alimentaria, especialmente en áreas donde la disponibilidad de alimentos frescos es limitada.

El ODS 3 Salud y bienestar: Los hongos *Pleurotus ostreatus* son conocidos por sus propiedades nutricionales y medicinales. Su consumo puede mejorar la salud, ya que son bajos en calorías y grasas, y ricos en proteínas y fibra. Además, contienen compuestos bioactivos que pueden tener efectos beneficiosos

Figura 5.2: Artículo “Evaluación de las condiciones ambientales para diseñar una cámara de fructificación de *Pleurotus ostreatus*”, publicado en la revista del “2o Congreso Internacional de Tecnología y Ciencias Aplicadas (CITCA)” Vol. 7. Núm.1, ISSN 2992-8338. Enero–Junio 2024

Aerogeneradores sin aspas, una alternativa para la generación de energía eólica

Jazmín Sarahí Jiménez Ramos*, D. Hernández-Castañeda, J.F. Gómez-Aguilar*,**

*Tecnológico Nacional de México/CENIDET. Int. Internado Palmira S/N Col, Palmira, C.P. 62490 Cuernavaca, Morelos, México.
{m23ce032, daniela.hc, jose.ga }@cenidet.tecnm.mx

** (Consejo nacional de humanidades de ciencia y tecnología) CONAHCyT

Resumen: Este artículo presenta una nueva tecnología innovadora de aerogeneradores de segunda generación sin aspas capaces de obtener energía eléctrica a pequeñas escalas. Este tipo de aerogeneradores operan bajo un efecto aerodinámico denominado desprendimiento de vórtices el cual genera un flujo oscilante cuando el aire fluye contra un cilindro construido de fibra de carbono y fibra de vidrio, cuando dichas oscilaciones coinciden con las frecuencias naturales del sistema, este entra en resonancia y oscila permitiendo transformar la energía mecánica en electricidad mediante un alternador integrado por una bobina y un imán. Debido a sus ventajas en diseño y construcción sobre los aerogeneradores convencionales, este aerogenerador de segunda generación puede ser el complemento ideal junto con la instalación de paneles solares para la captación de energía eléctrica a baja escala y su potencial uso en residencias, carreteras, parques, entre otras.

Palabras Clave: Energía renovable, aerogenerador sin aspas, cargas aerodinámicas, teoría de vórtices, energía eólica, resonancias.

1. INTRODUCCIÓN

Las fuentes de energías renovables surgen como alternativa al uso de los combustibles fósiles, debido a la limitada cantidad de este recurso, las fuentes alternas de energía han tomado una gran presencia hoy en día.

Entre las diferentes energías renovables encontramos la energía eólica, solar, geotérmica, hidráulica [1]. La energía eólica es una fuente ilimitada de energía renovable la cual no daña el medio ambiente, debido a ello tiene un gran impacto en el estudio y desarrollo de tecnologías a nivel mundial. La energía eólica es aquella que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad y cuya principal forma de obtención son los aerogeneradores [2]. En los últimos años, los aerogeneradores han ido evolucionando a pasos agigantados, un diseño de gran interés en la comunidad científica es el aerogenerador sin aspas (ASA). Este tipo de aerogenerador consiste en un cilindro que oscila en un rango de velocidades de viento, de acuerdo al diseño, opera bajo un efecto aerodinámico denominado desprendimiento de vórtices generando un flujo oscilante cuando el aire fluye contra el cilindro, lo cual provoca que el cilindro oscile en un rango de velocidad de viento, que posteriormente transforma la energía mecánica en electricidad mediante un alternador que dispone de imanes y bobinas para generar electricidad.

1.1 Diseño y análisis de aerogeneradores sin aspas

El diseño y análisis de este tipo de aerogeneradores, se han basado en modelos y simulaciones computacionales, originando prototipos en laboratorios especializados, estas pruebas incluyen el control de flujo, mejoras en eficiencia, modelos paramétricos, entre otros [3-4].

Los ASA pueden ser considerados básicamente un cilindro que oscila y vibra en respuesta a los vórtices que se originan en el viento y los cuales pasan a través de este. La **Figura 1** muestra la geometría y estructura de este tipo de aerogenerador.

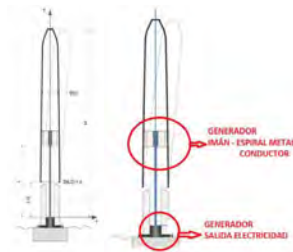


Figura 1. Geometría y Estructura del ASA.

Es fundamental para la operación de los ASA el estudio mecánico sobre su diseño y análisis. En diferentes estudios se han reportado análisis aerodinámicos [5] utilizando software de dinámica de fluidos para la obtención de diseños óptimos, análisis de deformaciones y esfuerzos [6], desplazamientos y frecuencias de acuerdo a las dimensiones del ASA [7-8], análisis de vibraciones [9], efectos de fuerza de resistencia o fricción al fluido [10], entre otros. Las investigaciones en torno a los ASA incluyen el modelado eléctrico y estimación de máxima potencia obtenida de acuerdo a las condiciones de viento [11].

2. EVOLUCIÓN EN EL CONCEPTO EOLICO.

Figura 5.3: Artículo “*Bladeless wind turbines, an alternative for wind energy generation*”, publicado en la revista del “1er Congreso Internacional de Tecnología y Ciencias Aplicadas (CITCA)” Vol. 6, Núm. 2, ISSN: 2992-8338, Julio- Diciembre 2023



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO A TRAVÉS DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

OTORGA EL PRESENTE

RECONOCIMIENTO

A

**Jazmín Sarahí Jiménez Ramos, Daniela Hernandez Castañeda, José
Francisco Gómez Aguilar**

Por su invaluable presentación del artículo Bladeless wind turbines, an alternative for wind energy generation en el 1er Congreso Internacional de Tecnología y Ciencia Aplicada, desarrollado en el Tecnológico Nacional de México/Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, TecNM/CENIDET, del 15 al 17 de noviembre de 2023.

Cuernavaca, Morelos, Noviembre de 2023



J0229123

<http://constancias.cenidet.tecnm.mx>

DR. ARTURO ERNESTO MARES GARDEA
**DIRECTOR DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO TECNOLÓGICO**

Sello Digital:

wKje1Et5rN+6I2+FwJGI0bdhIjgAUyKuI9AZPN6giiHFwfiMqspERUERzqmrMoyPIux5DmqbA2BqMTDDaqVg6Q
YlweDzEBQVwv4jIhGoSkK5PhP6bkmMtueDGH8VbIcBZ00ZQ74yW/1QFkyzX+/TvDz28NZDW8o7JufvGK8B
KUSOYk1kdx100xuE/TKL0uWe54jKX/7wtaIKZQ60kB13azXajaBVMVzj1kAgcIukAqLAXt9s6CJ1I4dKfOytks
0BVx7NFPFLM9XmeZrbb4jdHpAbJagpLGK62qhiKgAh8VZBzawuJmZCj31Xx0q5HjQ1kNTP1bumJ1DR0A6hLA==

cenidet
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico



Figura 5.4: Constancia 1 CITCA



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO A TRAVÉS DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

OTORGA EL PRESENTE

RECONOCIMIENTO

A

**Jazmín Sarahí Jiménez Ramos, María Josefa Tlatelpa Cuevas,
Silvia Patricia Pérez Sabino, Carlos Manuel Astorga Zaragoza**

Por su invaluable presentación del Artículo:
Evaluación de las condiciones ambientales para diseñar una cámara de fructificación de *Pleurotus ostreatus*.

En el II Congreso Internacional de Tecnología y Ciencia Aplicada, desarrollado en el Tecnológico Nacional de México/Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, TecNM/CENIDET, del 22 al 24 de mayo de 2024.

Cuernavaca, Morelos, 24 de mayo de 2024

DR. ARTURO ERNESTO MARES GARDEA
DIRECTOR DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

DR. ARTURO ABÚNDEZ PLIEGO
COORDINADOR GENERAL
II CITCA



Sello Digital:

UJ4SMY+9ffEDHg6K0/1hzUtzjtj+1EMyNCxE39fExnRW7NI8h43pEH+PoZXBjhxgKx4GeQ0eRT9Kp6Ko0FTVXjr
8wY66C/0xUuFJdkEm4gCZiYgiwGskg+qTezz1+QbepfSTNLNYFhVmQR0g46/Pq/17nyFÜg/U2b7N65qo/cwtB3
x05CNC+fNCWCN47bzeMMY1P9JdMMDtuK9o22YTH/kvj0ctw7RtbdDaaSVBgeVpThzQ00Zab1eSNxbIY/+qV2S3w
8c1xBwMctSLtZDjF09h+jAFx1YzY+hhPU/5A1oU4TaTkjpdN4PgAevkRF5EM2vbdnDpF6B22sdXYKA1NtL9A==

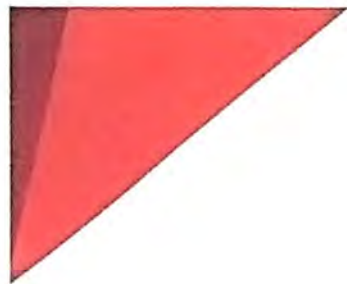
<http://constancias.cenidet.tecnm.mx>
CITCA00480124

cenidet
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

CITCA
CONGRESO INTERNACIONAL DE TECNOLOGÍA Y CIENCIA APLICADA



Figura 5.5: Constancia 2 CITCA



CEFORAP
CENTRO DE FORMACIÓN, ACTUALIZACIÓN
Y PROFESIONALIZACIÓN MÚLTIPLE

OTORGA EL PRESENTE

Diploma

A:

Ing. Jazmín Sarahí Jiménez Ramos

Por haber impartido la conferencia
"IMPORTANCIA DE LA ENERGÍA RENOVABLE"
el día 17 de Octubre del 2023


Lic. Fidel Andrade Pineda
DIRECTOR GENERAL

f i CEFORAPMY

Escaneado con CamScanner

Figura 5.6: Retribución Social

5.2.2. Nomenclatura

- **mm** = milímetros
- **cm** = centímetros
- **g** = gramo
- **EB** = eficiencia biológica
- **MHz** = megahercios
- **kg** = kilogramos

Glosario

Inoculación : Multiplicación del micelio en cereal para su posterior cultivo.

Micelio : conjunto de hifas entretrejidas de color blanquecino indispensables para la fructificación de una seta.

Hongo : Organismo del reino fungi, se clasifican igual que las criptógamas por grupos, familia, genero y especie.

Espora : Partícula producida por las setas para reproducirse

Artesanal : Proceso que no cuenta con un método científico.

Aeropónica : Método de cultivo en el cual las raíces de las plantas se suspenden en el aire y se alimentan con una solución nutritiva pulverizada.

Eólica : Relativo al viento; tecnología que utiliza el viento para generar energía eléctrica.

IMPI (Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial): Organismo encargado de la protección de la propiedad industrial en México.

OMPI (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual): Agencia de las Naciones Unidas que promueve la protección de la propiedad intelectual en todo el mundo.

Lúmenes : Unidad de medida del flujo luminoso, que indica la cantidad de luz emitida por una fuente.

Cámara : Dispositivo utilizado para controlar el ambiente y favorecer la fructificación de ciertos cultivos, como los hongos.

Biodiversidad : Variedad de especies de seres vivos en un entorno determinado.

Micología : Estudio de los hongos.

Bioquímica : Ciencia que estudia la composición química y los procesos biológicos de los seres vivos.

Metabólicas : Relacionadas con el metabolismo, el conjunto de reacciones químicas que ocurren en los seres vivos.

Farmacología : Ciencia que estudia las propiedades y efectos de los medicamentos.

Patógenos : Organismos que causan enfermedades.

Alucinógenos : Sustancias que inducen alucinaciones y alteraciones en la percepción.

Amiláceos : Relativos o que contienen almidón.

Aminoácidos : Compuestos orgánicos que son los bloques básicos de las proteínas.

Metabolitos : Productos del metabolismo, es decir, las sustancias resultantes de las reacciones metabólicas.

Fitopatógenos : Organismos que causan enfermedades en las plantas.

Macromicetos : Hongos visibles a simple vista, generalmente pertenecientes a los grupos de los basidiomicetos y ascomicetos.

Enzimas : Proteínas que actúan como catalizadores en reacciones bioquímicas.

Fertilizantes : Sustancias que se añaden al suelo para mejorar la calidad y el crecimiento de las plantas.

Biorremediadores : Organismos que se utilizan para limpiar contaminantes del medio ambiente mediante procesos biológicos.

Plántulas : Plantas jóvenes que se obtienen a partir de semillas.

Laminillas : Estructuras delgadas y planas, a menudo utilizadas para describir las partes de los hongos debajo del sombrero.

Leguminosas : Plantas que pertenecen a la familia Fabaceae, caracterizadas por sus frutos en forma de vaina.

Niacina : Vitamina B3, esencial para el metabolismo energético.

Tiamina : Vitamina B1, esencial para el metabolismo de los carbohidratos.

Riboflavina : Vitamina B2, importante para la producción de energía y el metabolismo celular.

Microbiana : Relacionada con los microorganismos.

Espora : Unidad de reproducción de hongos y otras plantas, capaz de desarrollarse en un nuevo individuo.

Hifa : Filamento que constituye el cuerpo de los hongos.

Enzima : Proteína que cataliza reacciones bioquímicas.

Píleo : Parte superior del cuerpo fructífero de un hongo, comúnmente conocida como sombrero.

Láminas : Estructuras ubicadas debajo del píleo de un hongo, donde se producen las esporas.

Estipe : Tallo de un hongo, que sostiene el píleo.

Neumática : Relativo a la utilización del aire comprimido para generar movimiento.

Hidráulica : Relativo a la utilización de líquidos (generalmente agua) para generar movimiento.

Microchip : Circuito integrado muy pequeño que contiene componentes electrónicos.

RAM (Memoria de Acceso Aleatorio): Tipo de memoria volátil que permite almacenar y acceder a datos de manera rápida en una computadora.

Memoria EEPROM : Tipo de memoria no volátil que puede ser borrada y reprogramada eléctricamente.

Colonización : Proceso por el cual un organismo se establece en un nuevo lugar.

Meteorología : Ciencia que estudia la atmósfera y los fenómenos climáticos.

Mediana : Valor central en un conjunto de datos ordenados.

Moda : Valor que aparece con mayor frecuencia en un conjunto de datos.

Varianza : Medida de la dispersión de los datos en relación con su media.

Desviación estándar : Medida que indica la cantidad de variación o dispersión de un conjunto de datos.

Promedio (Media) : Suma de todos los valores dividida entre el número total de valores.

Referencias

- Acero, A. D., Vásquez, J. S., Velasco, O. F., Garzón, C. L., Sánchez, J. V., Cortés, N. H. Z., ... Aragón, S. (2021). Diseño del sistema de control electrónico para la adquisición de datos de un cultivo vertical de pleurotus ostreatus. *Revista Sennova: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*.
- Agency, U. S. E. P. (2020). *Improving indoor air quality*. Descargado de <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq>
- Aguirre-Acosta, Elvira, Ulloa, Miguel, Aguilar, Samuel, ... Ricardo (2014). Biodiversidad de hongos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, S76-S81. doi: 10.7550/rmb.33649
- Akter, M., Halawani, F., R., Aloufi, F. A., A., T. M., S., A., y Mahmood, S. (2022). Utilization of agro-industrial wastes for the production of quality oyster mushrooms. *Sustainability*, 14, 994. Descargado de <https://doi.org/10.3390/su14020994>
- Álvarez-Serrano, María, I., Mustelier-Casola, Daimara, González-Zambrano, Miguel, J., ... Leticia (2022). Potencialidades de inclusión de pleurotus ostreatus en alimentos cárnicos. *Revista Científica Arbitrada de Investigación en Comunicación, Marketing y Empresa REICOMUNICAR. ISSN 2737-6354.*, 5(9), 233-245.
- Antolí, A. B. (2018). El porqué del cultivo de las setas: el papel de los hongos en la descomposición de los residuos orgánicos. *Métode: Revista de difusión de la Investigación*(98), 4-8.
- Bolton, W. (2013). *Mecatrónica: sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*. Alpha Editorial.
- Cabrera Trujillo, S. M., y Chacha Chasi, A. M. (2024). *Utilización de residuos de poscosecha de la producción del cacao (theobroma cacao L.) en el cultivo del hongo comestible (pleurotus ostreatus) para el aprovechamiento en la industria cárnica* (B.S. thesis). Guaranda. Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias ...
- Cappello-García, Silvia, Gaitan-Hernandez, Rigoberto, la Cruz, T.-D., Magdiel, ... others (2020). Producción de basidiomas de schizophyllum commune (fungi: Basidiomycota) en subproductos agrícolas de tabasco, México. *Agro Productividad*, 13(5).
- Carvajal Guerrero, C. C., y Montoya García, W. (2019). Sistema de monitoreo y control de humedad, temperatura y riego dentro de un prototipo de invernadero en la siembra de tomate por medio de comunicación wi-fi.
- Castillo Melgar, C. A. (2021). *Diseño de un sistema de riego automatizado para cultivos de ciclo corto con arduino. estudio de caso pimienta* (B.S. thesis). La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021.
- Conagua. (2018). *Información estadística climatológica*. Descargado de <https://smn.conagua.gob.mx>
- con Arduino, P. (2019). *Arduiego: Riego automático inteligente*. Descargado de <https://blogs.etsii.urjc.es/dseytr/riego-automatico-arduriego/> (Fecha de acceso: 6 Abril 2023)
- Coyago Calle, C. R. (2023). Automatización de un invernadero semi hidropónico.
- De la Cruz Blanco, G. M., Morán, A., Teófilo, Huicab, P., Guadalupe, Z., Martínez, R., y Veronica. (2020). El hongo pleurotus ostreatus (jacq. ex fr.) y su valor agregado: caso de estudio: Hongos setas (pleurotus ostreatus) y su valor agregado. *Agro Productividad*, 13(5).
- Delgado, Beltrán, Y., Quevedo, Morris, H. J., Dominguez, Oliva, D., ... Llaurodo, G. (2020). Micochemical composition and antioxidant activity of pleurotus ostreatus mushroom in different growth stages.
- Duarte Trujillo, A. S., y González Trujillo, C. A. (2018). Evaluación del proceso de extracción de sustancias bioactivas de orellana (pleurotus ostreatus) por maceración dinámica.
- Electrónica. (2024). *¿qué es un microcontrolador?* Descargado de <https://www.estudioelectronica.com/>

-
- que-es-un-microcontrolador/ (Consultado el 10 de agosto de 2024)
- Estrada Popoca, E. J. (2023). Evaluación de cultivo de *pleurotus ostreatus* (hongo oreja de cazahuate) en dos condiciones de cultivo.
- Flores Bracero, S. P. (2024). *Evaluación de tres sustratos a base de aserrín de eucalyptus globulus labill para el cultivo del hongo comestible pleurotus ostreatus (jacq.) p. kumm (hongos ostra)* (Tesis de Licenciatura). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- García, Enriquez, F., Medina, Joaquín, E., Martínez, Zaldivar, P., ... Xicale, B. (2021). Hongos seta (*pleurotus ostreatus*): Producción y comercialización.
- García, Enriquez, F., Medina, Joaquín, E., Martínez, Zaldivar, P., ... Xicale, B. (2022). Hongos seta (*pleurotus ostreatus*): Producción y comercialización.
- gobierno de México, E. (2024). *Hongos comestibles: un obsequio de la tierra*. Descargado de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/hongos-comestibles-un-obsequio-de-la-tierra#:~:text=Actualmente%20en%20M%C3%A9xico%2C%20se%20ha%2Cde%20200%20especies%20son%20comestibles.> (Accedido el 19 de abril de 2024)
- González-Morales, Azucena, Ribas-Aparicio, María, R., Burrola-Aguilar, y Cristina. (2021). Actividad anti-oxidante de hongos silvestres consumidos tradicionalmente en el centro de México. *Scientia fungorum*, 52, e1410. Descargado de <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1410> (Epub 09 de mayo de 2022)
- Guzmán Vásquez, G. (2020). *Propiedad intelectual en México. instituciones educativas como motor de la propiedad intelectual*. Centro de Estudios de Derecho e Investigaciones Parlamentarias.
- Kour, H., Kour, D., Kour, S., Singh, S., Hashmi, S. A. J., Yadav, A. N., ... Ahluwalia, A. S. (2022). Bioactive compounds from mushrooms: an emerging bioresources of food and nutraceuticals. *Food Bioscience*, 50, 102124. Descargado de <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102124>
- López, C. J. C. (2023). *Setas libertarias: Una apuesta local de economía solidaria para la producción de hongos comestibles en el departamento del quindío, Colombia* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad para la cooperación internacional.
- Maldonado Ramón, R. E. (2022). *Diseño de investigación para el diseño e implementación de una red para monitoreo y control automatizado para el análisis de pH, nitrógeno, fósforo y potasio en suelo agrícola de la finca la moraleja* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Marino, RH, de Abreu, LD, Mesquita, JB, ... GT (2021). Crescimento e cultivo de diferentes isolados de *pleurotus ostreatus* (jacq.: Fr.) kummer em serragem da casca de coco. *Arquivos do Instituto Biológico*, 75, 29–36.
- Martínez-Carrera, D. (2010). El consumo de hongos comestibles y su relevancia en la seguridad alimentaria de México. *Hacia un Desarrollo Sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en el Siglo XXI*, 293–329.
- Martínez, J. (2021). Incremento de la productividad de *pleurotus ostreatus* mediante el uso de residuos agrícolas. *Revista de Ciencias Agrícolas y Ambientales*, 14(2), 89-102. Descargado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2594-13212019000100205
- Meneses-Álvarez, María, Martínez-Carrera, DANIEL, Galicia-Castillo, ELIZABETH, M., ... ALEYDA (2023). Consumo tradicional de hongos comestibles en la comunidad de Benito Juárez, Oaxaca y su efecto en el estado de nutrición. *Aportaciones de la investigación para el desarrollo rural*, 65.
- Montaño, Y. S. V., y Peña, Y. W. M. (2017). Diseño de un sistema de monitoreo y control de cámaras de incubación y fructificación para la producción de hongos comestibles y medicinales. *Journal Boliviano de Ciencias*, 13(39), 44–53.
- Orefebre, G. G. (2021). *Láminas de policarbonato: ventajas y desventajas*. Descargado de https://www.homify.com.mx/libros_de_ideas/6162666/laminas-de-policarbonato-ventajas-y-desventajas (Consultado el 18 de septiembre de 2024)
- Ortiz, G., Eduardo, M., Herrera-Rodríguez, Mauricio, Pecina, y García, M. A. (2022). La industria 4.0 como apoyo al ODS 9 (industria, innovación e infraestructura) en mipymes del sur de Tamaulipas. *Vinculatégica EFAN*, 8(2), 26–40.
- Pascual-Pineda, L., Hernández-Marañón, A., Castillo-Morales, M., Uzárraga-Salazar, R., Rascón-Díaz, M., y Flores-Andrade, E. (2021). Effect of water activity on the stability of freeze-dried oyster mushroom (*pleurotus ostreatus*) powder. *Drying Technology*, 39(8), 989–1002.
- Productor, E. (2018). *México, principal productor de setas de Latinoamérica*. Descargado de <https://elproductor.com/2018/06/mexico-principal-productor-de-setas-de-latinoamerica/> (Fecha

-
- de acceso: 6 Abril 2023)
- Pérez, J. M., y Gómez, L. (2020). Evaluación de la iluminación en espacios laborales: Uso de luxómetros. *Revista de Seguridad y Salud Laboral*, 12(3), 45-58.
- Rivera, P., y Martínez, L. (2018). *Tecnologías portátiles y su impacto en el uso de dispositivos móviles*. Editorial Tecnología Avanzada.
- RoblesGil, A. (2021). Hongos míticos: breve historia cultural sobre el reino fungi. *Revista Endémico Ciencia*. Descargado de <https://endemico.org/hongos-miticos-breve-historia-cultural-sobre-el-reino-fungi/>
- Rocha, Ortiz, G. A., Medina, Chamorro, A. N., Arias, Gómez, L., ... Villagran, E. (2022). Análisis sobre la actividad científica referente a las estrategias de climatización pasiva usada en invernaderos: Parte 2: análisis técnico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 2220–2245. doi: 10.37811/cl_rcm.v6i6.3676
- Rodríguez, España, M., Domínguez, Hernández, E. M., Lucio, D., Velázquez, B. S., ... Álvarez, J. (2021). Productividad y análisis químico proximal de pleurotus spp. crecidos sobre bagazo de agave salmiana como sustrato alternativo. *Agrociencia*, 55(7), 569–581.
- Rodríguez, S., y Pérez, L. (2022). Advances in artificial intelligence for healthcare. *Journal of Medical Technology*, 18(1), 45-58. doi: 10.1234/jmt.2022.67890
- Roldán, L. F. (2022). Reino fungi: qué es, características, clasificación y ejemplos. *EcologíaVerde*. Descargado de <https://www.ecologiaverde.com/reino-fungi-que-es-caracteristicas-clasificacion-y-ejemplos-2307.html>
- Rosales López, C. (2019). Otro uso importante de los hongos. *Tecnología en marcha*, 32(2), 82–90.
- Ruiz-González, Gerardo, L., Salazar-Moreno, Raquel, Gómez-Águila, y Victoria, M. (2024). Monitoreo de variables climáticas en la producción del hongo seta (pleurotus ostreatus): Monitoring of climatic variables in the production of the mushroom fungus (pleurotus ostreatus). *e-CUCBA*(22), 10–19.
- Ríos-Ruiz, Franz, W., Valdez-Nuñez, Alfredo, R., Jiménez-Flores, y Pablo, J. (2017). Aislamiento, propagación y crecimiento de hongos comestibles nativos en residuos agroindustriales. *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 327–335.
- Saavedra Castillo, D. M. (2023). *Evaluación del efecto de la inclusión de sustrato gastado de pleurotus ostreatus en la dieta de conejos, sobre la calidad de la canal y de la carne*. (Tesis de Master no publicada). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Sánchez, R., y Hernández, P. (2020). Impacto de la eficiencia biológica en la producción de hongos comestibles. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 23(12), 101-1091. Descargado de <https://www.redalyc.org/journal/864/86458941001/>
- Tapia López, A. (2019). Tecnologías aplicadas a la industrialización de hongo seta (pleurotus ostreatus).
- Technology, M. (2020). Pic16f877a data sheet [Manual de software informático]. (Consultado el 20 de Agosto de 2024)
- Zamora, Quintana, J. G., Gallo, Parrales, M. A., Chang, Vera, J. F., ... Tigselema, S. M. (2024). Producción de pleurotus ostreatus y pleurotus sapidus con residuos agrícolas de glycine max, oryza sativa y zeamays. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 8(1), 83–93.
- Zhu, Qingchuan, Cherqui, Frederic, Bertrand-Krajewski, y Jean-Luc. (2023). End-user perspective of low-cost sensors for urban stormwater monitoring: a review. *Water Science & Technology*, 87(11), 2648–2684.