



Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga



**“ANÁLISIS INTEGRAL DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA, COMERCIAL Y
TECNOLÓGICA DEL CULTIVO DE SETAS COMESTIBLES (*PLEUROTUS* SPP.)
CON ENFOQUE HACIA LA AUTOMATIZACIÓN INTELIGENTE EN EL ESTADO
DE AGUASCALIENTES”**

Titulación integral de tesis

Para Obtener el Grado de:

Ingeniera en Gestión Empresarial

PRESENTA:

Dulce Daniela Aguilar Lara

DIRECTORA:

DRA. S.B. Pamela Romo Rodríguez

CO DIRECTORES:

MES. Ma. Magdalena Cuevas Martínez

M.I.P. Francia Arleen Salce Márquez

Pabellón de Arteaga, Ags., Enero 2026

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

Tesis:

**“ANÁLISIS INTEGRAL DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA, COMERCIAL Y
TECNOLÓGICA DEL CULTIVO DE SETAS COMESTIBLES (*PLEUROTUS SPP.*)
CON ENFOQUE HACIA LA AUTOMATIZACIÓN INTELIGENTE EN EL ESTADO
DE AGUASCALIENTES”**

Presenta:

Dulce Daniela Aguilar Lara

Dirigida por:

Dra. S.B. Pamela Romo Rodríguez

Asesores:

MES. Ma. Magdalena Cuevas Martínez

M.I.P. Francia Arleen Salce Márquez

Pabellón de Arteaga, Ags., Enero 2026

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, Daniel Aguilar Hernández y Ma. Guadalupe Lara de Luna, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser un pilar fundamental en cada etapa de mi vida. Gracias por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la perseverancia. Este logro es tan mío como de ustedes. De manera muy especial, agradezco a mi tío Artemio Aguilar Hernández, a quien considero mi segundo padre. Gracias por su cariño, sus consejos y por acompañarme en cada paso de este camino académico y personal. Su presencia ha sido una guía y apoyo invaluable.

Extiendo también mi sincero agradecimiento a la Dra. Pamela Romo, por abrirme las puertas del Laboratorio de Biotecnología Fúngica y brindarme la oportunidad de aprender, explorar y desarrollar esta investigación en un entorno lleno de conocimiento y profesionalismo. Su disposición y guía fueron esenciales para el avance de este proyecto. Agradezco también a Marieel Ovalle, gracias por confiar en mis capacidades, por incluirme en su equipo de trabajo y por motivarme a seguir creciendo profesionalmente. Su apoyo y motivación han sido esenciales para fortalecer mi crecimiento académico y profesional.

A mi casa de estudios, el Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga, le agradezco por brindarme las herramientas, los conocimientos y las experiencias que formaron mi camino como estudiante y futura profesional. Siempre llevaré conmigo lo aprendido en sus aulas. Extiendo mi agradecimiento a todas las personas, docentes, compañeros y colaboradores que aportaron de manera directa o indirecta a la realización de este proyecto. Cada gesto de apoyo, consejo o palabra de aliento ha dejado una huella en este proceso.

Finalmente, me agradezco a mí misma por la constancia, la disciplina y la fortaleza para llegar hasta aquí. Por no rendirme ante las dificultades, por confiar en mis capacidades y por mantenerme firme en cada etapa de esta meta, Hoy celebro este logro con orgullo y gratitud.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

OFICIOS DE DICTAMEN Y AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

RESUMEN

“Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes”

La producción agroalimentaria contemporánea enfrenta retos asociados a la sostenibilidad, la eficiencia en el uso de recursos y la necesidad de diversificar los sistemas productivos ante condiciones climáticas adversas y mercados cada vez más competitivos. Ante este contexto, el cultivo de setas comestibles del género *Pleurotus* spp. ha adquirido relevancia como una alternativa viable, sustentable y adaptable, debido a su capacidad para aprovechar residuos agroindustriales, su bajo requerimiento de insumos y su alto valor nutricional.

No obstante, en regiones como el estado de Aguascalientes, la adopción de este cultivo se ha visto limitada por la falta de estudios integrales que evalúen su viabilidad económica, comercial y tecnológica bajo condiciones locales.

Esta investigación aborda el análisis integral de la viabilidad del cultivo de *Pleurotus* spp. en Aguascalientes, desde un enfoque de gestión empresarial y con énfasis en la exploración del potencial de automatización inteligente. El desarrollo del estudio incluyó la caracterización técnica del proceso productivo, la identificación de parámetros críticos de control (temperatura, humedad, concentración de CO₂ e iluminación), así como el análisis de los requerimientos de infraestructura, insumos y mano de obra necesarios para una producción a mediana escala.

De manera paralela, se estructuró un modelo de costos que permitió clasificar los egresos en costos fijos y variables, y se aplicaron herramientas financieras como el punto de equilibrio, el margen de utilidad, el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Asimismo, se llevó a cabo un estudio de mercado mediante la aplicación de encuestas a consumidores y comerciantes, con el fin de evaluar los hábitos de consumo, la percepción del producto, los precios de referencia y los canales de distribución más viables.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Los resultados evidencian la existencia de oportunidades comerciales en mercados locales, así como una aceptación favorable del producto en segmentos interesados en alimentos saludables y sustentables. Complementariamente, se realizó un análisis FODA y un mapeo de la cadena de valor, identificando cuellos de botella y áreas con potencial de mejora mediante la incorporación de tecnologías de monitoreo y control.

Los resultados obtenidos indican que la producción de *Pleurotus* spp. a mediana escala es económicamente viable, alcanzando márgenes de utilidad superiores al 15% bajo escenarios moderados y un punto de equilibrio inferior al volumen de producción proyectado. Adicionalmente, se identificó que la integración de tecnologías emergentes, como sensores IoT, sistemas de monitoreo remoto y herramientas de automatización parcial, puede contribuir a mejorar la eficiencia operativa, reducir riesgos productivos y fortalecer la competitividad del modelo de negocio.

En conjunto, el estudio demuestra que el cultivo de setas comestibles representa una alternativa técnica y económicamente factible para la diversificación agroindustrial en el estado de Aguascalientes, y sienta las bases para futuras investigaciones orientadas a la validación práctica y a la implementación gradual de sistemas de automatización inteligente.

Por: **DULCE DANIELA AGUILAR LARA**

Dirigido por:

DIRECTORA:

S. B. Pamela Romo Rodríguez

CODIRECTORES

MES. Ma. Magdalena Cuevas Martínez

M.I.P. Francia Arleen Salce Márquez

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN	6
1.4 HIPÓTESIS	7
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	8
1.5.1 Alcances	8
1.5.2 Limitaciones.....	9
II. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 INTRODUCCIÓN AL CULTIVO DE SETAS <i>PLEUROTUS SPP.</i>	10
2.2 ANTECEDENTES DEL CULTIVO DE SETAS	10
2.2.1 Evolución histórica y tendencias actuales de la micocultura sostenible	10
2.2.2 Contribución ecológica en la descomposición de materia orgánica.....	11
2.2.3 Impacto socioeconómico y ambiental del cultivo de setas en el desarrollo sostenible	11
2.2.4 El papel de la micocultura en la seguridad alimentaria y la gestión de recursos	11
2.3 PROPIEDADES Y BIOTECNOLOGÍA.....	12
2.3.1 Valor nutricional y composición bioquímica de <i>Pleurotus</i> spp.	12
2.3.2 Propiedades medicinales y farmacológicas	12
2.3.3 Aplicaciones biotecnológicas derivadas de su capacidad enzimática	13
2.4 ASPECTOS ECONÓMICOS DEL CULTIVO DE LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN.....	14
2.4.1 Viabilidad económica y rentabilidad en la fungicultura.....	14
2.4.2 Estructura de costos y modelos de negocio en la micocultura	14
2.4.3 Comercialización y oportunidades de mercado para <i>Pleurotus</i> spp.	14
2.4.4 Impacto de la automatización en la viabilidad económica	15
2.4.5 Desafíos y perspectivas futuras	16
III. METODOLOGÍA.....	17

3.1 EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL CULTIVO DE SETAS ...	17
3.1.1 Recopilación y procesamiento de información técnica	17
3.1.2 Definición y clasificación de costos	17
3.1.3 Elaboración del modelo de costos	18
3.1.4 Cálculo de indicadores de rentabilidad	18
3.1.5 Construcción de escenarios de ingresos y egresos	19
3.1.6 Análisis de indicadores financieros	19
3.2 ESTUDIO DE MERCADO Y POTENCIAL COMERCIAL DE LAS SETAS.....	20
3.2.1 Diseño de instrumentos de recolección de datos primarios.....	20
3.2.2 Análisis de la percepción del consumidor	20
3.2.3 Recolección y análisis de precios	21
3.2.4 Criterios de segmentación de mercado.....	21
3.2.5 Análisis logístico de distribución	22
3.2.6 Diagnóstico estratégico (análisis FODA).....	22
3.3 ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR Y OPORTUNIDADES DE MEJORA	22
3.3.1 Mapeo y desglose de la cadena de valor	22
3.4 EXPLORACIÓN DEL POTENCIAL DE AUTOMATIZACIÓN E INTEGRACIÓN TECNOLÓGICA	23
3.4.1 Revisión documental.....	23
3.4.2 Identificación de variables críticas	23
3.4.3 Viabilidad de incorporación tecnológica.....	24
3.4.4 Consulta con especialistas	24
3.4.5 Diseño conceptual de la estrategia de automatización	25
3.4.6 Estimación de costos y beneficios.....	25
3.4.7 Formulación de recomendaciones estratégicas	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1 EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL CULTIVO DE SETAS ...	27
4.1.1 Parámetros técnicos y requerimientos de producción	27
4.1.2 Estructura y magnitud de costos fijos y variables	35
4.1.3 Desarrollo del modelo de costos	37

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

4.1.4 Punto de equilibrio y margen de utilidad estimados	38
4.1.5 Proyecciones financieras por escenario.....	39
4.1.6 Indicadores de evaluación de la inversión.....	40
4.2 ESTUDIO DE MERCADO Y POTENCIAL COMERCIAL DE LAS SETAS.....	42
4.2.1 Diseño de los instrumentos de recolección de datos primarios	42
4.2.2 Caracterización de la demanda y percepción del consumidor.....	49
4.2.5 Canales de distribución y viabilidad logística	60
4.2.6 Análisis estratégico FODA.....	63
4.3 ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR Y OPORTUNIDADES DE MEJORA.....	66
4.3.1 Mapeo del proceso productivo	66
4.4 EXPLORACIÓN DEL POTENCIAL DE AUTOMATIZACIÓN E INTEGRACIÓN TECNOLÓGICA	71
4.4.1 Síntesis de las tendencias de automatización	71
4.4.2 Variables críticas susceptibles de automatización.....	73
V. CONCLUSIONES	84
VI. REFERENCIAS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfil del consumidor.....	50
Figura 2. Tipos de hongos consumidos.....	50
Figura 3. Hábitos de compra	51
Figura 4. Intención de compra.....	51
Figura 5. Pago extra	52
Figura 6. Factores críticos del mercado.....	52
Figura 7. Perfil del negocio.....	53
Figura 8. Venta actual de setas.....	53
Figura 9. Interés y formato de comercialización.....	54
Figura 10. Determinantes de venta y volumen.....	54
Figura 11. Retos y estrategias de soporte.....	55
Figura 12. Perfil 1 Jóvenes consumidores habituales de productos frescos.....	58
Figura 13. Perfil 2 Consumidor saludable e innovador.....	59
Figura 14. Perfil 3 Comprador práctico ocasional	59
Figura 15. Perfil 4 Consumidor tradicional del mercado local	60
Figura 16. Esquema general de los canales de distribución identificados	61
Figura 17. Análisis FODA de <i>Pleurotus</i> spp. para la inserción comercial	64
Figura 18. SIPOC del proceso de cultivo de <i>Pleurotus</i> spp.....	67
Figura 19. Mapeo del proceso de cultivo de <i>Pleurotus</i> spp.....	70
Figura 20. Variables críticas del cultivo de <i>Pleurotus</i> spp. susceptibles de automatización.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Etapas de cultivo	27
Tabla 2. Tiempos por fase	30
Tabla 3. Insumos requeridos	31
Tabla 4. Infraestructura mínima requerida	33
Tabla 5. Clasificación de costos fijos y variables	35
Tabla 6. Distribución por rubros	37
Tabla 7. Indicadores de rentabilidad	38
Tabla 8. Indicadores financieros por escenario y porcentaje de utilidad esperado	40
Tabla 9. Indicadores de evaluación de la inversión.....	41
Tabla 10. Encuesta a consumidores	42
Tabla 11. Encuesta a comerciantes	46
Tabla 12. Precios por lugar de compra (Seta ostra gris)	56
Tabla 13. Precios por tipo de hongo/variedad.....	57
Tabla 14. Comparación general de canales de distribución para <i>Pleurotus</i> spp.....	61
Tabla 15. Principales tecnologías.....	71
Tabla 16. Viabilidad de incorporación de sensores, actuadores y monitoreo remoto en el cultivo de <i>Pleurotus</i> spp.....	75
Tabla 17. Estrategias de automatización propuestas	78
Tabla 18. Costos preliminares de automatización parcial.....	79
Tabla 19. Beneficios proyectados de la automatización parcial.....	81
Tabla 20. Estrategias de automatización vinculadas a la viabilidad económica del negocio.....	82

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura contemporánea enfrenta el reto de responder a las crecientes demandas de seguridad alimentaria, sostenibilidad ambiental y diversificación productiva. En este contexto, los hongos comestibles han emergido como una alternativa estratégica dentro de los sistemas agroalimentarios, no solo por su valor nutricional, sino también por su capacidad de integrarse en esquemas de economía circular y aprovechamiento de residuos agroindustriales (Carrillo Nieves, 2023; Rodríguez-González et al., 2025). Su cultivo representa una opción viable para reducir la presión sobre los recursos agrícolas tradicionales y ampliar la oferta de alimentos funcionales en mercados globales.

Paralelamente, la innovación tecnológica ha transformado el panorama de la producción agroindustrial. La incorporación de herramientas digitales, como sensores ambientales, plataformas de Internet de las Cosas (IoT) y sistemas de automatización, ha demostrado mejorar la eficiencia y sostenibilidad de diversos cultivos (Aggarwal, Singh & Singh, 2024; Rukhiran et al., 2023). Estas tendencias reflejan un cambio estructural hacia la agricultura de precisión, donde la tecnificación se convierte en un factor clave para enfrentar los desafíos de productividad y competitividad.

En el ámbito nacional, México se encuentra en un proceso de transición hacia modelos agrícolas más diversificados y sustentables. La disponibilidad de residuos agroindustriales, como bagazo de agave y paja de maíz, constituye una oportunidad para fortalecer la producción agroalimentaria bajo principios de economía circular (Carrillo Nieves, 2023). Sin embargo, la consolidación de cadenas de valor y la incorporación de tecnologías avanzadas siguen siendo retos pendientes para garantizar la competitividad del sector (Rodríguez-González et al., 2025). En regiones como Aguascalientes, caracterizadas por condiciones semiáridas y limitaciones hídricas, la diversificación agrícola se ha convertido en una prioridad estratégica.

Instituciones locales han impulsado programas orientados a la sustentabilidad y la innovación en el campo, reconociendo la necesidad de explorar alternativas productivas que respondan a las particularidades del entorno regional (Gobierno de Aguascalientes, 2023; INEGI, 2023). Este escenario abre la posibilidad de evaluar nuevas opciones agrícolas que integren criterios económicos, tecnológicos y ambientales. En este marco, resulta pertinente desarrollar investigaciones que analicen de manera integral la viabilidad de cultivos emergentes bajo enfoques de automatización inteligente y sostenibilidad. Dichos estudios no solo aportan evidencia científica y técnica, sino que también contribuyen a orientar políticas públicas, apoyar a productores e inversionistas, y fortalecer el desarrollo agroalimentario regional en el mediano y largo plazo (Global Market Statistics, 2025; QY Research, 2025).

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cultivo de hongos comestibles se ha consolidado en la última década como una de las alternativas más prometedoras para diversificar la producción agrícola y enfrentar los retos globales de seguridad alimentaria. A nivel internacional, el mercado de *Pleurotus* spp. ha mostrado un crecimiento sostenido, estimándose en 5.36 mil millones de dólares en 2024, con proyecciones de alcanzar 7.35 mil millones de dólares para 2032, gracias a su creciente demanda en sectores alimenticios, nutraceuticos y farmacéuticos (Global Market Statistics, 2025). Este crecimiento está vinculado no solo a su elevado valor nutricional, que incluye proteínas de alta calidad, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos, sino también a su versatilidad productiva y a la posibilidad de cultivarse sobre diversos residuos lignocelulósicos, contribuyendo a la economía circular y a la reducción de desechos agrícolas (Rodríguez et al., 2021).

De igual manera, los avances tecnológicos han incorporado sistemas de automatización inteligente al cultivo de hongos, mediante el uso de sensores ambientales, plataformas de IoT, visión por computadora y robótica ligera. Estudios recientes, como el de Sujatanagarjuna et al. (2023), han demostrado la viabilidad de integrar reconocimiento de imágenes y cosecha automatizada, logrando reducir la dependencia de la mano de obra y optimizando la calidad del producto final. Asimismo, el monitoreo ambiental mediante IoT y sistemas de cómputo en el borde han probado ser eficaces para mejorar el control de humedad, ventilación y temperatura, factores críticos en la producción de *Pleurotus* spp. (Nguyen et al., 2024).

En el contexto nacional, México posee un importante potencial para la producción de setas comestibles, destacando la disponibilidad de residuos agroindustriales que pueden emplearse como sustratos, como el bagazo de agave, la paja de maíz y el bagazo de maguey. Investigaciones realizadas en Veracruz, Hidalgo y el Estado de México reportan eficiencias biológicas de entre 55% y 65%, con precios de comercialización en mercados locales que alcanzan hasta 82 MXN/kg en fresco (Aguilar-Ventura et al., 2024; García-Lagos et al., 2025). No obstante, la producción nacional continúa siendo limitada y fragmentada, caracterizada por procesos manuales, baja tecnificación y ausencia de cadenas de valor consolidadas, lo que restringe su competitividad frente a otros países productores.

En el estado de Aguascalientes, la situación resulta aún más incipiente. Si bien existe un interés institucional por impulsar la diversificación agrícola y la adopción de tecnologías para la producción sustentable (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023) no se registran estudios integrales que evalúen la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de *Pleurotus* spp. bajo un enfoque de automatización inteligente. Factores como el clima semiárido, la escasez de agua, los costos energéticos y la falta de estudios de mercado local representan limitantes significativas para el desarrollo de este sector en la región.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Particularmente, se identifican vacíos críticos en tres dimensiones:

Económica, al no existir análisis que determinen los costos reales de producción, la rentabilidad y los márgenes de ganancia considerando los precios locales de insumos, mano de obra, agua y energía.

Comercial, debido a la carencia de estudios que midan la demanda local y regional de setas comestibles, la estacionalidad del consumo y la viabilidad de consolidar canales de distribución competitivos.

Tecnológica, dado que los avances en automatización y control inteligente reportados a nivel internacional se han probado y adaptado pocas veces a las condiciones de Aguascalientes, lo cual limita la eficiencia productiva y la sostenibilidad ambiental.

La ausencia de estudios integradores genera consecuencias relevantes. En el ámbito económico, los productores enfrentan un alto riesgo de baja rentabilidad y estancamiento de inversiones. En lo comercial, la falta de estandarización y cadenas de valor provoca dificultades para acceder a mercados especializados y precios competitivos. En el plano tecnológico, la escasa adopción de automatización limita la eficiencia, incrementa pérdidas y reduce la capacidad de escalar la producción. Socialmente, esta situación impide el aprovechamiento del potencial de *Pleurotus* spp. como fuente de empleo, emprendimiento rural y seguridad alimentaria.

Ante este panorama, resulta urgente el desarrollo de un análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de *Pleurotus* spp. con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes. Este esfuerzo permitirá no solo llenar los vacíos de conocimiento identificados, sino también generar evidencia científica y técnica que sirva como base para impulsar políticas públicas, orientar a productores e inversionistas, y contribuir al desarrollo sostenible del sector agroalimentario regional.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Analizar integralmente la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) en el estado de Aguascalientes con el fin de determinar su potencial como modelo productivo competitivo y sostenible.

1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la viabilidad económica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) en la región, considerando costos de producción, requerimientos técnicos y proyecciones de rentabilidad.
 - Recopilación de información técnica sobre el cultivo de setas (etapas, tiempos, infraestructura mínima, insumos requeridos).
 - Identificación y clasificación de costos fijos y variables (instalación, materia prima, energía, mano de obra, transporte, etc.).
 - Elaboración de un modelo de costos para la mediana escala de producción.
 - Cálculo del punto de equilibrio y del margen de utilidad estimado.
 - Proyección de ingresos y egresos a 1 y 3 años, con base en escenarios optimistas, moderados y pesimistas.
 - Análisis financiero con indicadores como la TIR y el VAN.
- Realizar un estudio de mercado para conocer el potencial comercial de las setas frescas y en polvo, los canales de distribución y la aceptación del producto en diferentes segmentos.
 - Diseño de encuestas dirigidas a consumidores y comerciantes.
 - Análisis de la percepción del consumidor sobre setas (precio, uso, frecuencia de compra).
 - Recolección de precios actuales.
 - Segmentación del mercado y definición de perfiles de consumidores potenciales.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

- Identificación de canales de distribución viables y condiciones logísticas asociadas.
- Análisis FODA del producto para identificar oportunidades de inserción comercial.
- Analizar la cadena de valor del cultivo de setas para identificar eslabones críticos y oportunidades de mejora a través de tecnologías de automatización y digitalización.
 - Mapeo del proceso productivo completo desde la obtención de sustratos hasta la comercialización.
- Explorar el potencial de automatización en las etapas del cultivo, proponiendo estrategias preliminares de integración tecnológica (como sensores, monitoreo remoto y herramientas de IA) que mejoren la eficiencia y competitividad del modelo de negocio.
 - Revisión documental sobre automatización agrícola y sistemas inteligentes aplicados al cultivo de hongos.
 - Identificación de variables críticas para el cultivo (humedad, temperatura, luz, etc.) susceptibles de automatización.
 - Análisis de viabilidad para la incorporación de sensores, actuadores y sistemas de monitoreo remoto en cada etapa del proceso.
 - Consulta técnica con especialistas del Laboratorio de Biotecnología Fúngica del ITPA y áreas de ingeniería en mecatrónica.
 - Diseño conceptual de una estrategia de automatización parcial o total, según el tipo de sistema productivo.
 - Estimación de costos preliminares y beneficios proyectadas por la implementación de automatización.
 - Formulación de recomendaciones estratégicas para vincular la automatización con la viabilidad económica del negocio.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En el estado de Aguascalientes, la limitada diversificación productiva y la dependencia de cultivos tradicionales han generado un escenario de vulnerabilidad económica y ambiental. Las condiciones climáticas adversas, el uso intensivo del suelo y la escasez de recursos hídricos restringen la competitividad agrícola y limitan la innovación en los modelos de producción. En este contexto, el cultivo de setas comestibles del género *Pleurotus* spp. emerge como una alternativa agro-productiva viable, sustentable y adaptable a las condiciones regionales. Este tipo de cultivo ofrece ventajas significativas: requiere baja inversión inicial, aprovecha residuos lignocelulósicos y produce alimentos con alto valor nutricional, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y a la economía circular.

A pesar de estas ventajas, la adopción del cultivo de setas en la región continúa siendo reducida. La falta de estudios que integren de manera conjunta los aspectos técnicos, económicos y de gestión complica la consolidación de proyectos sostenibles y escalables. En la actualidad, la producción local se caracteriza por prácticas tradicionales y limitada incorporación de tecnologías, lo que reduce la eficiencia del proceso y restringe su potencial de expansión comercial. Esta carencia de modelos productivos innovadores no solo impacta el desarrollo agroindustrial de Aguascalientes, sino que también limita la generación de empleo, el aprovechamiento de residuos agrícolas y la diversificación económica a nivel regional.

El presente proyecto se orienta a analizar la viabilidad integral del cultivo de *Pleurotus* spp. mediante un enfoque de gestión empresarial, evaluando su factibilidad técnica, económica y comercial. Se propone desarrollar un modelo de costos adaptado a las condiciones locales, acompañado de un diagnóstico de rentabilidad y proyecciones financieras que permitan identificar los factores críticos del proceso. Asimismo, se explorará la incorporación de tecnologías emergentes, como la automatización y la inteligencia artificial en sistemas de cultivo controlado, con el objetivo de optimizar las operaciones, reducir la dependencia de mano de obra intensiva y mejorar la trazabilidad de las condiciones productivas.

Este análisis permitirá establecer las bases para un modelo productivo más eficiente y tecnológicamente sustentado, que contribuya al fortalecimiento del sector agroindustrial regional. De manera paralela, el estudio servirá como antecedente para el desarrollo de investigaciones interdisciplinarias orientadas a la automatización inteligente del cultivo de setas y su escalabilidad comercial. De esta manera se busca demostrar que el cultivo de *Pleurotus* spp. es una alternativa técnica y económicamente viable en la región, y que su integración con herramientas tecnológicas de control y automatización puede incrementar su eficiencia operativa y su potencial de desarrollo regional.

1.4 HIPÓTESIS

El análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de *Pleurotus* spp. en la región permitirá demostrar que la incorporación potencial de sistemas de automatización inteligente en el control de variables críticas (temperatura, humedad, iluminación y ventilación), junto con el aprovechamiento eficiente de sustratos agroindustriales regionales, constituye un factor determinante para incrementar la eficiencia productiva, reducir los costos operativos y mejorar la rentabilidad del modelo productivo, en comparación con los sistemas tradicionales de cultivo.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

El alcance de este proyecto se centra en el análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de *Pleurotus* spp., considerando la incorporación de estrategias de automatización inteligente. Se busca generar información científica y técnica que permita orientar la toma de decisiones en torno a la factibilidad de la producción en el estado de Aguascalientes. Las principales actividades y resultados esperados son:

1.5.1 Alcances

1. Revisión documental y diagnóstico técnico: se llevará a cabo una recopilación y análisis de información científica y técnica sobre el cultivo de *Pleurotus* spp. y las tecnologías de automatización aplicables, con el fin de contextualizar los factores críticos que inciden en la productividad.
2. Identificación de variables críticas y costos asociados: se determinarán los factores productivos más relevantes (humedad, temperatura, ventilación, iluminación, sustratos) y se clasificarán los costos fijos y variables, construyendo un modelo preliminar de costos de producción.
3. Análisis de mercado y caracterización del consumidor: se evaluará la percepción del consumidor mediante encuestas y recopilación de precios actuales, así como también se realizará la segmentación del mercado y los canales de distribución viables, identificando oportunidades comerciales.
4. Evaluación económica y financiera: se elaborará un modelo financiero que contemple indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el punto de equilibrio, proyectando ingresos y egresos a 1 y 3 años bajo distintos escenarios (optimista, moderado y pesimista).
5. Análisis de viabilidad tecnológica: se explorará la posibilidad de integrar sensores, actuadores y sistemas de monitoreo remoto en el proceso productivo, proponiendo un diseño conceptual de automatización parcial o total que se adapte a la escala de producción regional.
6. Propuesta estratégica: a partir de la integración de los resultados económicos, comerciales y tecnológicos, se formularán recomendaciones para fortalecer la competitividad y sostenibilidad del cultivo de *Pleurotus* spp. en Aguascalientes.

1.5.2 Limitaciones

1. Disponibilidad de tiempo y recursos: dada la naturaleza académica del proyecto, la evaluación práctica de los sistemas de automatización se limitará a un nivel conceptual y de viabilidad, sin llegar a la implementación física de prototipos a gran escala. Mitigación: se propondrán estrategias adaptadas al contexto local, basadas en experiencias previas documentadas.
2. Escala de análisis económico y comercial: las proyecciones financieras y de mercado se basarán en datos recolectados durante el periodo de investigación, lo que puede generar estimaciones dependientes de las condiciones actuales. Mitigación: se elaborarán escenarios prospectivos que contemplen variaciones en precios, costos e ingresos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN AL CULTIVO DE SETAS *PLEUROTUS* SPP.

El cultivo de setas ha emergido como una actividad agrícola de creciente importancia global, con un mercado que alcanza aproximadamente los 63 mil millones de dólares anuales, de los cuales el 54% corresponde a setas comestibles cultivadas, esta actividad no solo representa un sector económico significativo, sino que también desempeña un papel crucial en la dirección de los sistemas alimentarios hacia la sostenibilidad. Las setas son reconocidas por su densidad nutricional y su potencial como fuentes de proteína alternativas, lo que las posiciona como un elemento vital en la lucha contra la inseguridad alimentaria y la malnutrición a nivel mundial (Dimopoulou et al., 2025).

Pleurotus spp. Se encuentra entre las setas comestibles más cultivadas globalmente, no solo por su alto contenido nutricional y sus propiedades medicinales, sino también por su notable adaptabilidad a una diversidad de sustratos, su naturaleza saprofitica les confiere la capacidad única de degradar residuos lignocelulósicos procedentes de la agricultura y la silvicultura (Mastranzo-Pérez et al., 2025). Esta característica intrínseca convierte su cultivo en un componente fundamental de los modelos de economía circular, facilitando la conversión de desechos en productos de alto valor.

2.2 ANTECEDENTES DEL CULTIVO DE SETAS

2.2.1 Evolución histórica y tendencias actuales de la micocultura sostenible

El cultivo de setas comestibles ha experimentado un crecimiento global acelerado en los últimos años. Este impulso se debe a factores como sus ciclos de crecimiento cortos, la facilidad de acceso a los insumos de producción y su considerable importancia ecológica y comercial además existe un reconocimiento creciente de los beneficios económicos, nutricionales y ambientales derivados de la micocultura, lo que ha propiciado un aumento del apoyo gubernamental y el lanzamiento de diversas iniciativas en múltiples regiones para promover su desarrollo (Sahagún, 2020).

La adaptabilidad inherente de las setas para crecer en espacios pequeños y controlados, junto con su capacidad para reciclar residuos orgánicos locales, las hace ideales para sistemas alimentarios urbanos y para mejorar la seguridad alimentaria a nivel local. Esta orientación hacia la producción en parcelas pequeñas o espacios acondicionados, con bajos costos y fácil implementación, reduce la necesidad de grandes inversiones de capital (Vasco-Palacios et al., 2025).

2.2.2 Contribución ecológica en la descomposición de materia orgánica

Los hongos, incluidas las setas comestibles, desempeñan funciones ecológicas críticas como organismos saprobios. Son esenciales para la descomposición de la materia orgánica y el retorno de nutrientes a los ecosistemas. Además, contribuyen a la retención de carbono e incluso pueden prevenir la desertificación en regiones propensas a la sequía (Sahagún, 2020). Este proceso es fundamental para el ciclo de nutrientes y el mantenimiento de la salud del suelo, la integración de las setas comestibles en programas de mejora de la salud del suelo se alinea perfectamente con los principios de la agricultura sostenible, ofreciendo beneficios esenciales para la conservación y la adaptabilidad ambiental (Ogwu et al., 2025).

Más allá de su función directa en la descomposición y la producción de alimentos, recientes investigaciones revelan una tendencia más profunda: la apreciación del micelio fúngico como un biorrecurso versátil y sostenible para una amplia gama de aplicaciones industriales. Impulsado por los objetivos de neutralidad de carbono y las crecientes preocupaciones por el bienestar animal, el micelio está ganando interés como biomasa escalable para la producción de alimentos con buen sabor y proteínas de calidad, fibra y micronutrientes esenciales (Holt et al., 2023). Además, se están explorando nuevas tendencias que van desde las aplicaciones tradicionales hacia el uso innovador del micelio de setas como biorrecursos ecológicos para la producción de carnes alternativas, la microfabricación de incompuestos y la producción de cuero y tejidos miceliales (Shin et al., 2025).

2.2.3 Impacto socioeconómico y ambiental del cultivo de setas en el desarrollo sostenible

El cultivo de setas puede integrarse eficazmente en esquemas de reciclaje agrícola, no solo para reducir los niveles de contaminación mediante el uso de biomasa residual, sino también para proporcionar ingresos y alimentos a las comunidades locales (Vasco-Palacios et al., 2025). Esta práctica ofrece oportunidades significativas para mejorar los medios de vida rurales y promover prácticas agrícolas sostenibles, especialmente para los pequeños agricultores, debido a la baja inversión de capital requerida y la capacidad de utilizar residuos agrícolas (Sahagún, 2020). El negocio global de las setas cultivadas, valorado en aproximadamente 23 mil millones de dólares anuales, representa una fuente creciente de ingresos para pequeñas empresas en países en desarrollo (Ogwu et al., 2025).

2.2.4 El papel de la micocultura en la seguridad alimentaria y la gestión de recursos

Las setas son un cultivo poco explotado, denso en nutrientes y de alto valor, reconocido como un extensor de carne aceptable, lo que contribuye a dietas más sostenibles (Moxley et al., 2022). Poseen una notable

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

capacidad para reciclar residuos orgánicos y convertirlos en alimentos nutritivos, contribuyendo así a la reducción de residuos y a la eficiencia de los recursos (Schilla et al., 2025). Esta capacidad se alinea directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como el ODS 2 (Hambre Cero) y el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables), al transformar la biomasa lignocelulósica subutilizada en alimentos ricos en nutrientes (Zhang et al., 2025).

2.3 PROPIEDADES Y BIOTECNOLOGÍA

El género *Pleurotus* presenta una diversidad de especies multivariada, con la capacidad de crecer en diversos sustratos y entornos. Son comúnmente conocidas como setas ostra o setas de árbol, caracterizadas por sus cuerpos fructíferos en forma de concha y una amplia gama de colores, que incluyen amarillo, crema, blanco, gris, marrón y rosa. Estas setas son descomponedoras de madera, lo que les permite crecer en una gran variedad de residuos forestales y agrícolas (Mastranzo-Pérez et al., 2025).

2.3.1 Valor nutricional y composición bioquímica de *Pleurotus* spp.

Las especies de *Pleurotus* poseen un alto valor nutricional. Contienen proteínas de alta digestibilidad, a menudo superiores a las de la mayoría de las verduras, y un bajo contenido de calorías y grasas. Son ricas en potasio y vitaminas esenciales como la riboflavina (B2), el niacina (B3) y los folatos (B9), además de contener aminoácidos esenciales y no esenciales (Dimopoulou et al., 2025). En particular, *Pleurotus ostreatus* se destaca por su elevado contenido de todos los aminoácidos esenciales y una excelente digestibilidad de sus proteínas (Niño-Ávila et al., 2021).

2.3.2 Propiedades medicinales y farmacológicas

Las especies de *Pleurotus* poseen propiedades terapéuticas significativas debido a sus compuestos bioactivos, con más de 100 actividades terapéuticas documentadas (Dimopoulou et al., 2025). Entre sus principales usos medicinales se incluyen:

- **Antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas/antitumorales:** numerosos estudios han documentado estas propiedades, compuestos específicos como el peróxido de ergosterol aislado de *P. ostreatus*, muestran potencial para inducir radiosensibilidad en el cáncer cervical (Mastranzo-Pérez et al., 2025).
- **Antimicrobianas/antibacterianas:** se ha demostrado su actividad contra microorganismos patógenos humanos como *Escherichia coli* y *Salmonella typhi* (Dimopoulou et al., 2025).

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

- **Inmunomoduladores:** *P. ostreatus* ha demostrado un aumento de la actividad fagocítica y potencia el sistema inmune (Mastranzo-Pérez et al., 2025).
- **Hipolipídemicas / Hipocolesterolémicas:** son beneficiosas para pacientes cardiovasculares al contribuir a la reducción del colesterol en sangre (Dimopoulou et al., 2025).
- **Antidiabéticas:** ayudan a reducir la obesidad al modular la composición del microbiota intestinal (Dimopoulou et al., 2025).
- **Antivirales:** moléculas de betaglucano sulfato de *Pleurotus* han mostrado una fuerte actividad antiviral contra el virus del Herpes Simple, y las glicoproteínas obtenidas del cuerpo fructífero de *P. ostreatus* han inhibido la transcriptasa inversa en el VIH (Niño-Ávila et al., 2021).
- **Nematocidas:** son eficaces contra nematodos parásitos como *Haemonchus contortus* (Chaurasia et al., 2020).

La amplitud y especificidad de las aplicaciones medicinales y biotecnológicas reportadas indican que las especies de *Pleurotus* no son meramente fuentes de alimento, sino que constituyen una significativa “biofábrica” de compuestos farmacéuticos e industriales. Esta capacidad expande su propuesta de valor desde la producción de alimentos sostenibles hacia productos biológicos de alto valor, sugiriendo un futuro en el que el cultivo de *Pleurotus* podría integrarse en las industrias farmacéuticas o de biorremediación, abriendo nuevas vías económicas y contribuyendo a la salud pública y la limpieza ambiental.

2.3.3 Aplicaciones biotecnológicas derivadas de su capacidad enzimática

Debido a su naturaleza saprofítica, las especies de *Pleurotus* producen enzimas capaces de degradar materiales lignocelulósicos, lo que las hace valiosas para diversas aplicaciones industriales (Mastranzo-Pérez et al., 2025).

- **Biorremediación:** se utilizan para la biodegradación de plásticos y sus derivados, así como para la descontaminación de compuestos químicos como el triclosán (Niño-Ávila et al., 2021).
- **Biomateriales:** el micelio ha despertado interés por su potencial para producir biomasa escalable destinada a carnes alternativas, la microfabricación de biocompuestos y la producción de cuero y tejidos miceliales. Estas aplicaciones contribuyen a un sistema alimentario regenerativo y reducen la dependencia de la ganadería y de materiales no reciclables (Holt et al., 2023).

- **Producción de enzimas:** sus enzimas degradadoras de lignina tienen diversas aplicaciones industriales (Mastranzo-Pérez et al., 2025).

2.4 ASPECTOS ECONÓMICOS DEL CULTIVO DE LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN

2.4.1 Viabilidad económica y rentabilidad en la fungicultura

La producción de hongos comestibles, especialmente la especie *Pleurotus ostreatus*, es considerada una actividad económicamente viable y prometedora, en particular para pequeños productores, ya que representa una alternativa para generar beneficios monetarios y sustento alimentario. La rentabilidad de un cultivo se determina mediante varios parámetros, destacando la eficiencia biológica (EB) y el rendimiento medio (Carrera-Rosales, 2021; Ruan-Soto et al., 2025).

2.4.2 Estructura de costos y modelos de negocio en la micocultura

La comprensión de la estructura de costos es fundamental para evaluar la viabilidad económica del cultivo de *Pleurotus* spp. Los costos se dividen en fijos y variables. Los costos fijos incluyen la infraestructura inicial (espacio de cultivo, estanterías, equipos de control ambiental como termohigrómetros y sensores), mientras que los costos variables abarcan insumos (sustrato, inóculo, bolsas de polipropileno, agua, energía eléctrica) y mano de obra, los cuales fluctúan con el volumen de producción (García-Lagos et al., 2025). La optimización de estos costos, especialmente los variables, es un factor clave para mejorar la rentabilidad.

Los modelos de negocio en la micocultura varían desde operaciones a pequeña escala, a menudo gestionadas por pequeños agricultores con baja inversión de capital, hasta producciones a gran escala con fines comerciales. La capacidad de utilizar residuos agrícolas locales como sustrato reduce significativamente los costos de materia prima y promueve un modelo de economía circular (Vasco-Palacios et al., 2025). La diversificación de productos (setas frescas, en polvo, extractos medicinales) y la integración con otras cadenas de valor (por ejemplo, biorremediación, producción de biomateriales) también pueden mejorar la resiliencia y rentabilidad del negocio (Shin et al., 2025; Holt et al., 2023).

2.4.3 Comercialización y oportunidades de mercado para *Pleurotus* spp.

El mercado global de setas comestibles ha experimentado un crecimiento constante, alcanzando los 63 mil millones de dólares anuales, con el 54% correspondiente a setas cultivadas. Este crecimiento está impulsado por la creciente demanda de alimentos saludables y sostenibles. Las setas *Pleurotus* spp., en particular, son

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

valoradas por su alto contenido nutricional, propiedades medicinales y versatilidad culinaria, lo que las posiciona favorablemente en el mercado (Dimopoulou et al., 2025).

Existen diversas oportunidades de mercado para *Pleurotus* spp. Más allá del consumo fresco. El mercado de setas en polvo, por ejemplo, ofrece una mayor vida útil y facilita la incorporación en productos alimenticios procesados o suplementos. Los canales de distribución pueden incluir mercados locales, supermercados, restaurantes y ventas directas al consumidor a través de plataformas en línea (Sahagún, 2020). La identificación de segmentos de consumidores específicos y la adaptación de las estrategias de comercialización a sus preferencias son cruciales para el éxito (Moxley et al., 2022).

Además, la integración de la micocultura en la cadena de suministro de alimentos funcionales y nutraceuticos presenta una oportunidad significativa debido a las propiedades bioactivas de *Pleurotus* spp., como sus actividades antioxidantes, antiinflamatorias y antitumorales (Dimopoulou et al., 2025). La trazabilidad y la certificación de productos orgánicos o sostenibles pueden añadir valor y diferenciar el producto en un mercado competitivo (Taupa et al., 2025).

2.4.4 Impacto de la automatización en la viabilidad económica

La automatización inteligente es un factor disruptivo que puede transformar la viabilidad económica del cultivo de *Pleurotus* spp. La implementación de tecnologías como sensores IoT, sistemas de monitoreo remoto y herramientas de inteligencia artificial (IA) optimiza el control de variables críticas (temperatura, humedad, CO₂, luz), lo que se traduce en una mayor eficiencia operativa, reducción de costos y aumento de la productividad (Guragain et al., 2024; Jiménez-Ramos, 2025).

Los sistemas automatizados permiten una gestión precisa de las condiciones ambientales, minimizando errores humanos y maximizando el rendimiento biológico. Esto no solo conduce a mayores volúmenes de producción, sino también a una calidad más consistente del producto final. Por ejemplo, la optimización de la cosecha mediante algoritmos de Machine Learning (YOLOv8) puede predecir el momento óptimo para la recolección, reduciendo el desperdicio y mejorando la eficiencia de la mano de obra (Taupa et al., 2025; Janaki-Prasad et al., 2024).

Aunque la inversión inicial en sistemas de automatización puede ser considerable, los beneficios a largo plazo, como la reducción de costos operativos (energía, agua, mano de obra), la mejora de la eficiencia de los recursos y el aumento de la competitividad, justifican esta inversión (Rehman & Sarwar, 2025). La automatización también contribuye a la sostenibilidad del cultivo al optimizar el uso de insumos y reducir la

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

huella de carbono, lo que puede atraer a consumidores y mercados más conscientes del medio ambiente (Taupa et al., 2025; Rukhiran et al., 2023).

2.4.5 Desafíos y perspectivas futuras

A pesar del prometedor panorama, el cultivo de *Pleurotus* spp. y la integración de la automatización enfrentan desafíos. La variabilidad en el rendimiento, la complejidad de la identificación genética de cepas locales y la alta perecibilidad del producto fresco son obstáculos para superar (Aguilar-Ventura et al., 2025). Además, la susceptibilidad a plagas y enfermedades requiere sistemas de monitoreo y control robustos (Taupa et al., 2025).

Las perspectivas futuras apuntan a una mayor integración de tecnologías de IA y ML para la detección temprana de problemas, la optimización de la cadena de suministro y la creación de plataformas de comercio electrónico que conecten directamente a productores y consumidores (Guragain et al., 2024). La investigación continúa en la valorización de residuos agrícolas y la búsqueda de nuevas aplicaciones biotecnológicas del micelio también ampliarán las oportunidades económicas y ambientales (Shin et al., 2025; Holt et al., 2023). El desarrollo de modelos de negocio que integren la sostenibilidad, la eficiencia y la innovación tecnológica será clave para el crecimiento sostenido de la micocultura de *Pleurotus* spp. en la región.

III. METODOLOGÍA

3.1 EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL CULTIVO DE SETAS

3.1.1 Recopilación y procesamiento de información técnica

Para la recopilación de información técnica se realizó una revisión bibliográfica y la síntesis de estudios especializados en el cultivo de *Pleurotus* spp. Este procedimiento buscó detallar los aspectos operativos fundamentales del proceso productivo, considerando las fases de cultivo, los tiempos requeridos, la infraestructura mínima y los insumos necesarios.

En cuanto a las etapas de cultivo, se identifican cinco fases principales: aislamiento y producción de micelio, preparación del sustrato, inoculación y colonización, fructificación, así como desarrollo y cosecha. Para cada etapa se identificó el objetivo, los parámetros críticos de control (temperatura, nutrientes, humedad, concentración de CO₂ y luz) y los indicadores de monitoreo empleados (inspección visual, sensores, sistemas de inteligencia artificial y cámaras).

Respecto a los tiempos de cada fase, se determinaron los intervalos aproximados correspondientes a la preparación del sustrato, esterilización o pasteurización, inoculación, incubación, inducción, fructificación y cosecha. Dichos tiempos se relacionaron con las condiciones ambientales y metodológicas correspondientes.

Los insumos requeridos se clasificaron en cuatro categorías: sustrato lignocelulósico, suplementos y aditivos, semilla y agua. Para cada tipo de insumo se especifican ejemplos representativos, funciones principales y usos típicos. Finalmente, se describe la infraestructura mínima necesaria para el establecimiento del cultivo, la cual comprende espacio de producción, sistema de preparación y tratamiento del sustrato, equipo de inoculación, materiales complementarios y recurso humano.

3.1.2 Definición y clasificación de costos

Para identificar la estructura y magnitud de los costos asociados al cultivo de *Pleurotus* spp., se realizó inicialmente una recopilación sistemática de los insumos, equipos y servicios necesarios para operar una unidad de producción a mediana escala. Este proceso incluyó la caracterización de cada elemento involucrado en la fase productiva, desde la infraestructura fundamental hasta los consumibles requeridos en cada ciclo de cultivo. Una vez identificados los componentes, se procedió a clasificarlos según su comportamiento financiero en costos fijos y costos variables, con el objetivo de establecer una estructura de costos que permitiera posteriormente calcular indicadores económicos como la rentabilidad y el punto de equilibrio. Para ello, se definieron como costos fijos

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

aquellos que permanecen constantes independientemente del volumen de producción, mientras que los costos variables fueron aquellos sujetos a cambios proporcionales a la escala productiva.

Posteriormente, se estimaron los valores monetarios de cada concepto mediante la consulta de precios de mercado actualizados, considerando proveedores de insumos agrícolas, fabricantes de equipo especializado y tarifas locales de servicios básicos. Los costos fueron organizados en una tabla comparativa para facilitar su análisis y verificación. Entre los costos fijos identificados se incluyeron la construcción del área de cultivo, la instalación de estantería, la adquisición de sensores ambientales y una autoclave de vapor; mientras que los costos variables se integraron por insumos productivos como sustrato, inóculo, bolsas, agua, energía eléctrica, mano de obra y transporte. Finalmente, los datos organizados permitieron evaluar el peso relativo de cada categoría dentro del esquema financiero del proyecto y determinar que los costos variables representan la mayor proporción de los egresos operativos debido a su relación directa con la producción por ciclo.

3.1.3 Elaboración del modelo de costos

La elaboración del modelo de costos se centró en identificar los componentes esenciales para la instalación y operación de una unidad de producción de *Pleurotus* spp. a mediana escala. El procedimiento consistió en recopilar información técnica y financiera a partir de cotizaciones comerciales, precios de mercado y registros oficiales de construcción, con el fin de establecer parámetros confiables que sirvieran como base para el análisis. Esta etapa permitió definir de manera sistemática los elementos necesarios para la inversión inicial y el capital de trabajo, asegurando la pertinencia de los datos empleados.

Posteriormente, los rubros de inversión fueron organizados en categorías específicas, tales como infraestructura, equipamiento técnico y recursos operativos, lo que facilitó la estimación de los costos asociados. Una vez estructurado el modelo, se verificó la consistencia interna de las estimaciones y se identificaron los componentes con mayor peso relativo dentro de la inversión. Lo anterior posibilitó contar con una base metodológica sólida para evaluar la viabilidad económica del proyecto y orientar la planificación financiera de manera integral.

3.1.4 Cálculo de indicadores de rentabilidad

Se llevó a cabo la sistematización de información económica y técnica con el fin de estructurar el análisis del punto de equilibrio y del margen de utilidad en la producción de *Pleurotus* spp. a mediana escala. El procedimiento incluyó la definición de supuestos representativos del mercado local, considerando precios de venta, costos variables asociados a insumos y energía, así como gastos fijos vinculados a operación básica. El

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

propósito de esta etapa fue disponer de un marco metodológico que permitiera medir la capacidad del sistema productivo para sostener sus costos y generar excedentes bajo condiciones realistas.

Una vez organizados los parámetros, se aplicó un proceso ordenado que comprendió la estimación del margen de contribución unitario, seguido del cálculo del punto de equilibrio mensual. Posteriormente, se integraron los ingresos y costos totales para proyectar la utilidad esperada en el escenario de producción definido. Finalmente, se derivó el margen neto como indicador de rentabilidad, lo que posibilitó validar la consistencia del modelo y ofrecer una base sólida para la planificación financiera y la toma de decisiones estratégicas en torno a la viabilidad del proyecto.

3.1.5 Construcción de escenarios de ingresos y egresos

Se procedió a la construcción de escenarios financieros con el fin de analizar la viabilidad económica de la producción de *Pleurotus* spp. en distintos horizontes temporales. El procedimiento consistió en recopilar y organizar parámetros clave de operación, tales como volúmenes de producción, precios de venta, costos variables y costos fijos, los cuales fueron sistematizados para garantizar la coherencia de las proyecciones. Posteriormente, estos elementos se integraron en un modelo comparativo que permitió simular el comportamiento de ingresos, costos y utilidades bajo condiciones diferenciadas de mercado y eficiencia productiva. El objetivo de esta etapa fue establecer un marco metodológico que facilitara la evaluación de riesgos y oportunidades financieras.

Una vez definidos los supuestos, se ordenaron los cálculos en tres escenarios: optimista, moderado y pesimista. Para cada uno se derivaron indicadores de utilidad mensual, flujo de caja anual y acumulado a tres años, lo que posibilitó observar la evolución financiera en distintos contextos. Este procedimiento permitió identificar las condiciones bajo las cuales la actividad resulta rentable o inviable, y proporcionó una base sólida para la formulación de estrategias de gestión orientadas a la sostenibilidad económica del proyecto.

3.1.6 Análisis de indicadores financieros

La evaluación de la inversión se estructuró mediante la aplicación de indicadores financieros estándar, con el propósito de analizar la capacidad del proyecto para generar valor en distintos escenarios de operación. El procedimiento consistió en recopilar y organizar parámetros clave como la inversión inicial, la tasa de descuento y los flujos netos mensuales proyectados, definiendo un horizonte de 36 meses para la estimación. El objetivo de esta etapa fue establecer un marco metodológico que permitiera medir la rentabilidad y el riesgo de la producción de *Pleurotus* spp. a mediana escala bajo condiciones representativas de mercado.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Posteriormente, se aplicaron de manera secuencial los indicadores de Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y periodo de recuperación (Payback), integrando los resultados en escenarios optimista, moderado y pesimista. Una vez obtenidas las estimaciones, se verificó la coherencia de los cálculos y se evaluó la sensibilidad del VAN frente a variaciones en el precio de venta, lo que permitió identificar los rangos críticos para la sostenibilidad financiera. El propósito de esta fase fue garantizar la validez del análisis y proporcionar una base sólida para la toma de decisiones estratégicas en torno a la viabilidad económica del proyecto.

3.2 ESTUDIO DE MERCADO Y POTENCIAL COMERCIAL DE LAS SETAS

3.2.1 Diseño de instrumentos de recolección de datos primarios

La elaboración de los instrumentos de recolección de datos se centró en definir el tamaño de muestra y los cuestionarios necesarios para evaluar la percepción del consumidor y del comerciante respecto al mercado de setas *Pleurotus* spp. El procedimiento inició con la consulta del Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, mediante el cual se identificó la población objetivo para los consumidores (20 a 64 años) y la cantidad total de establecimientos pertenecientes a los sectores comerciales vinculados a la venta de alimentos. Posteriormente, se aplicó la fórmula estadística para poblaciones finitas con valores $N=1,425,607$ para consumidores y $N=1,862$ para los comerciantes, lo que permitió obtener tamaños de muestra representativos de 385 y 319 participantes, respectivamente.

A partir de estas muestras, se determinó la proporción de establecimientos a encuestar en cada sector comercial, lo que facilitó una distribución equilibrada de las herramientas. Con esta base, se diseñaron dos cuestionarios digitales estructurados en Google Forms, integrados por preguntas cerradas orientadas a obtener información cuantitativa sobre hábitos de consumo, percepción del producto, preferencias de compra y condiciones comerciales. Lo anterior permitió construir instrumentos consistentes, pertinentes y estadísticamente representativos para dar soporte a los análisis posteriores del estudio.

3.2.2 Análisis de la percepción del consumidor

La caracterización de la demanda se centró en analizar la información obtenida mediante los cuestionarios aplicados a consumidores y comerciantes, con el propósito de reconocer las condiciones actuales del mercado y los factores que influyen en la compra y venta de setas comestibles. El procedimiento consistió en organizar los datos en categorías analíticas (perfil sociodemográfico, hábitos de consumo, preferencias, intención de compra y criterios de decisión) lo que permitió identificar tendencias generales y comportamientos específicos dentro de la población encuestada.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Este análisis también integró la perspectiva de los comerciantes, quienes aportaron información sobre la oferta actual, la frecuencia de solicitud del producto, los volúmenes de compra y los obstáculos para su comercialización. Lo anterior permitió comparar ambos enfoques y generar una visión integral del mercado, permitiendo establecer puntos de coincidencia, identificar oportunidades de crecimiento y definir las áreas que requieren fortalecimiento para impulsar la cadena de valor de *Pleurotus* spp.

3.2.3 Recolección y análisis de precios

La identificación de los precios actuales se centró en recopilar y organizar los valores de venta del hongo *Pleurotus* spp. y otras variedades relacionadas en distintos puntos de comercialización del país. Para ello, se reunieron datos de supermercados, mercados locales, productores directos y mayoristas, lo que permitió establecer rangos de precio asociados al nivel de intermediación y a la escala de venta. Posteriormente, la información fue clasificada en tablas comparativas que facilitaron distinguir los precios más altos, generalmente vinculados al comercio minorista, y los más bajos, asociados a compras directas o al mayoreo.

De manera complementaria, se realizó una clasificación por tipo de verdad, comparando especies comunes con especies gourmet. Este procedimiento permitió reconocer que el precio del producto está determinado tanto por el canal de comercialización como por la especialidad del hongo. Lo anterior facilitó la identificación de las variables que influyen en el valor final del producto y permitió establecer parámetros de referencia para futuros análisis de rentabilidad o competitividad.

3.2.4 Criterios de segmentación de mercado

La segmentación del mercado tuvo como propósito identificar los grupos de consumidores con mayor probabilidad de adquirir setas *Pleurotus* spp. El procedimiento consistió en clasificar la información recopilada en dimensiones demográficas, geográficas, psicográficas y conductuales, lo que permitió delimitar características comunes y patrones de comportamiento dentro de la población encuestada. A partir de esta organización, se definieron perfiles específicos basados en hábitos de compra, preferencias de presentación, sensibilidad al precio y motivaciones de consumo.

Posteriormente, se sintetizaron los resultados en cuatro perfiles representativos del mercado: jóvenes consumidores habituales de productos frescos, consumidores saludables e innovadores, compradores prácticos ocasionales y consumidores tradicionales del mercado local. Lo anterior permitió disponer de una estructura segmentada del público objetivo, necesaria para orientar estrategias comerciales diferenciadas y fortalecer la inserción del producto en los distintos nichos identificados.

3.2.5 Análisis logístico de distribución

La identificación de los canales de distribución se enfocó en analizar las alternativas disponibles para la comercialización de *Pleurotus* spp., considerando sus características de perecibilidad, los recursos productivos disponibles y las necesidades logísticas del proceso. El procedimiento incluyó la revisión de modelos utilizados por pequeños productores y la clasificación de los canales en directo, corto, largo y digital, lo que permitió establecer su aplicabilidad según el nivel de intermediación, inversión requerida y margen de ganancia esperado.

Posteriormente, se evaluaron las condiciones logísticas necesarias para garantizar la calidad del producto, incluyendo parámetros de transporte, almacenamiento, empaque y rotación de inventarios. Lo anterior permitió identificar los canales más viables para unidades de producción a pequeña escala, destacando el canal directo y el canal corto, así como la utilidad del canal digital como complemento estratégico para aumentar el alcance comercial sin incrementar los costos de operación.

3.2.6 Diagnóstico estratégico (análisis FODA)

La elaboración del análisis FODA se centró en identificar los factores internos y externos que influyen en la producción y comercialización de *Pleurotus* spp., el procedimiento consistió en recopilar información técnica sobre el cultivo, sus ventajas productivas, limitaciones operativas, condiciones del mercado y amenazas externas presentes en la cadena de valor. Posteriormente, estos elementos fueron organizados en las categorías correspondientes a fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, permitiendo visualizar su interacción y su efecto en la viabilidad del proyecto.

Lo anterior posibilitó formular estrategias orientadas a aprovechar las condiciones favorables e intervenir en los aspectos críticos del sistema productivo. Estas estrategias se clasificaron en ofensivas, de adaptación, defensivas y de supervivencia, lo que permitió estructurar una propuesta integral para fortalecer la competitividad del cultivo y reducir los riesgos asociados al mercado y a la operación técnica.

3.3 ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR Y OPORTUNIDADES DE MEJORA

3.3.1 Mapeo y desglose de la cadena de valor

Se llevó a cabo el análisis de la cadena de valor de la producción de *Pleurotus* spp. mediante un procedimiento estructurado que permitió representar de manera integral el flujo productivo y sus puntos críticos. El primer paso consistió en el desglose de la cadena en eslabones clave: insumos, producción, procesamiento, empaque, distribución y venta, esto con el fin de visualizar la secuencia completa de actividades. Posteriormente,

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

se identificaron los tiempos de ciclo y recursos humanos requeridos en cada etapa, lo que posibilitó cuantificar la intensidad de uso de insumos y mano de obra, así como reconocer los parámetros críticos de calidad que determinan la viabilidad técnica del proceso. El objetivo de esta fase fue establecer un diagnóstico sistemático que permitiera evaluar la eficiencia y el valor agregado de cada eslabón.

Una vez organizada la información, se realizó el diagnóstico de cuellos de botella y etapas con bajo valor agregado, complementado con la evaluación de tecnologías disponibles que pudieran integrarse en el sistema productivo, tales como sensores ambientales, software de monitoreo y equipos de control climático. Finalmente, se formularon propuestas de mejora en etapas estratégicas, fundamentadas en criterios de costo-beneficio, priorizando aquellas fases intensivas en recursos o con mayor impacto en la productividad. Este procedimiento metodológico permitió construir una base sólida para la optimización del proceso, orientada a incrementar la eficiencia técnica y fortalecer la viabilidad económica del sistema agroindustrial.

3.4 EXPLORACIÓN DEL POTENCIAL DE AUTOMATIZACIÓN E INTEGRACIÓN TECNOLÓGICA

3.4.1 Revisión documental

La revisión documental de tendencias de automatización se centró en analizar tecnologías emergentes aplicables al cultivo de *Pleurotus* spp., con énfasis en herramientas basadas en sensores IoT, inteligencia artificial, visión por computadora y aprendizaje automático. El procedimiento consistió en revisar literatura reciente relacionada con agricultura inteligente y producción de setas, organizando los hallazgos en categorías como monitoreo ambiental, detección de plagas, clasificación de hongos, predicción de cosecha y optimización logística.

Esta revisión permitió reconocer patrones de aplicación, niveles de precisión y beneficios operativos de cada tecnología, lo que facilitó la identificación de soluciones viables para su integración futura en el cultivo. Lo anterior permitió establecer que la automatización constituye un recurso estratégico para mejorar el control del entorno productivo, aumentar la eficiencia y reducir los costos operativos.

3.4.2 Identificación de variables críticas

La identificación de variables críticas se centra en reconocer los factores determinantes para el adecuado desarrollo del cultivo de *Pleurotus* spp. El procedimiento permitió establecer aquellas condiciones ambientales que presentan un mayor impacto en el proceso productivo y que, por su naturaleza, resultan susceptibles de ser automatizadas.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Dentro de estas variables se consideran principalmente la humedad, temperatura e iluminación, todas ellas reconocidas como elementos esenciales para garantizar un crecimiento controlado y eficiente del hongo. La información sintetizada se obtuvo a partir del análisis de un trabajo previamente desarrollado en el laboratorio, lo que permitió disponer de una base experimental para la selección de dichas variables.

Lo anterior, posibilitó la delimitación de los parámetros clave que requieren monitoreo constante y que pueden ser gestionados mediante tecnologías de automatización, contribuyendo a optimizar la producción y mejorar la calidad del cultivo.

3.4.3 Viabilidad de incorporación tecnológica

Se llevó a cabo un análisis orientado a determinar la factibilidad de incorporar tecnologías digitales en el proceso de cultivo de *Pleurotus* spp., con el propósito de identificar oportunidades de automatización que redujeran la variabilidad asociada a la intervención humana y fortalecieran la eficiencia agroindustrial. El procedimiento consistió en evaluar de manera sistemática las etapas críticas del proceso productivo (preparación del sustrato, fermentación, pasteurización, inoculación, incubación, fructificación y cosecha), identificando los puntos de control más sensibles y los parámetros que condicionan la productividad y la calidad final. El objetivo de esta fase fue establecer un marco metodológico que permitiera vincular cada etapa con las tecnologías disponibles y valorar su pertinencia en términos de costo y beneficio.

Posteriormente, se propusieron tecnologías específicas de sensores, actuadores y sistemas de monitoreo remoto para cada fase, considerando su costo estimado, beneficio esperado y el impacto estratégico en la cadena de valor. Una vez organizados los datos, se verificó la coherencia de las propuestas y se identificaron las etapas con mayor potencial de mejora, particularmente aquellas que concentran la mayor variabilidad o intensidad de recursos. Este procedimiento permitió fundamentar la viabilidad de la incorporación tecnológica y ofrecer una base sólida para la optimización del proceso productivo, orientada a incrementar la productividad, reducir pérdidas y consolidar la competitividad agroindustrial del sistema.

3.4.4 Consulta con especialistas

Se llevó a cabo una consulta técnica con especialistas de áreas complementarias con el propósito de fortalecer el diseño metodológico y operativo del proyecto. El procedimiento consistió en integrar la perspectiva biotecnológica con la ingeniería aplicada, lo que permitió contrastar criterios y asegurar la pertinencia de los enfoques empleados. El objetivo de esta etapa fue consolidar la validez científica del sistema productivo y, al mismo tiempo, garantizar la factibilidad de los mecanismos de automatización propuestos.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Posteriormente, se sistematizaron las aportaciones obtenidas en las reuniones, organizándolas en torno a los aspectos críticos del proceso productivo y a los requerimientos técnicos de la automatización. Este proceso metodológico permitió establecer lineamientos claros para la integración interdisciplinaria, asegurando que las recomendaciones se transformaran en criterios prácticos para la optimización del sistema. De esta manera, la consulta se constituyó en un insumo esencial para la validación del proyecto y para la definición de estrategias de mejora orientadas a la eficiencia y estandarización del cultivo.

3.4.5 Diseño conceptual de la estrategia de automatización

Se desarrolló un procedimiento metodológico orientado a la construcción de un esquema conceptual de automatización para el cultivo de *Pleurotus* spp. El primer paso consistió en organizar las etapas del proceso productivo y definir los parámetros operativos que podían ser objeto de control automatizado. A partir de esta clasificación se establecieron criterios de selección tecnológica, considerando la disponibilidad de dispositivos accesibles y la posibilidad de integrarlos en un sistema modular. El objetivo de esta fase fue generar un marco de referencia que permitiera vincular las necesidades productivas con soluciones de automatización viables.

Posteriormente, se sistematizaron las propuestas en un plan estructurado que delimitó los niveles de intervención tecnológica y los lineamientos básicos de infraestructura requeridos. Este procedimiento permitió priorizar las fases con mayor potencial de impacto y establecer una estrategia escalable que facilita la incorporación progresiva de tecnologías.

3.4.6 Estimación de costos y beneficios

Se diseñó un procedimiento metodológico orientado a estimar de manera preliminar los costos y beneficios asociados a la incorporación parcial de tecnologías de automatización en el cultivo de *Pleurotus* spp. El primer paso consistió en identificar los componentes críticos del sistema productivo susceptibles de intervención tecnológica y organizar la información en rubros específicos para su valoración económica. Con ello se estableció un marco de referencia que permitió calcular rangos de inversión inicial y vincularlos con fuentes técnicas y comerciales confiables. El objetivo de esta etapa fue garantizar la consistencia de las estimaciones y disponer de una base sólida para la evaluación financiera.

Posteriormente, se sistematizaron los beneficios esperados en categorías de impacto, integrando indicadores de eficiencia, calidad, reducción de pérdidas y escalabilidad. Este proceso incluyó la revisión de literatura especializada y experiencias documentadas en proyectos agroindustriales, lo que permitió validar la pertinencia de los supuestos empleados. Finalmente, se contrastaron los costos con los beneficios proyectados

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

bajo criterios de costo-beneficio, asegurando que las estimaciones se transformaran en insumos prácticos para la planificación estratégica y la toma de decisiones sobre la viabilidad de la automatización parcial.

3.4.7 Formulación de recomendaciones estratégicas

Se diseñó un procedimiento metodológico orientado a vincular la automatización parcial con la viabilidad económica del sistema productivo de *Pleurotus* spp. El primer paso consistió en organizar las propuestas tecnológicas dentro de un esquema estratégico, clasificando las acciones según su impacto en la operación, la inversión y el acceso a mercados. Con ello se estableció un marco de referencia que permitió relacionar las fases de automatización con criterios financieros y comerciales. El objetivo de esta etapa fue asegurar que las recomendaciones se fundamentaran en un análisis integral que contemplara tanto la eficiencia técnica como la sostenibilidad económica.

Posteriormente, se sistematizaron las estrategias en categorías específicas, considerando aspectos de implementación modular, control ambiental, monitoreo digital, vinculación comercial y gestión financiera. Este proceso incluyó la revisión de experiencias previas y la adaptación de tecnologías disponibles al contexto local, lo que permitió validar la pertinencia de las propuestas. Finalmente, se verificó la coherencia entre las acciones planteadas y los objetivos de competitividad, asegurando que las recomendaciones se transformaran en lineamientos prácticos para orientar la inversión, reducir riesgos y fortalecer la posición del producto en mercados especializados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL CULTIVO DE SETAS

4.1.1 Parámetros técnicos y requerimientos de producción

El análisis técnico del cultivo de *Pleurotus* spp. Permite organizar de manera sistemática la información relativa a las etapas del proceso productivo, los tiempos de duración por fase, los insumos requeridos y la infraestructura mínima necesaria. Este conocimiento constituye la base para comprender la dinámica biológica del hongo y, al mismo tiempo, establecer criterios para el posterior análisis económico.

En la **Tabla 1** se muestran las principales fases del ciclo productivo de *Pleurotus* spp. Junto con los parámetros críticos que deben mantenerse bajo control y los indicadores que permiten verificar el adecuado desarrollo en cada una de ellas.

Tabla 1. Etapas de cultivo

Etapas	Objetivo	Parámetros críticos	Indicadores de control	Fuente
Aislamiento y producción de micelio (Spawn)	Obtener un micelio puro y vigoroso a partir de la cepa original para la inoculación.	Temperatura: 22-25 °C para el crecimiento de micelio. Nutrientes: medio de cultivo enriquecido (ej. PDA – papa y dextrosa agar). Humedad: 60-70%.	Inspección visual de la ausencia de contaminantes (mohos, bacterias). Tasa de colonización del sustrato de semillas.	Thakur et al., 2025
Preparación del sustrato	Crear un medio de crecimiento nutritivo,	Composición: mezcla de residuos agrícolas	Temperatura del sustrato: monitoreo con sensores para asegurar la	Naher et al., 2024; Chutimanukul et

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

	selectivo y libre de competidores.	(paja, aserrín, bagazo, etc.) y suplementos. Proceso: pasteurización (60-80°C) o esterilización (121°C). Humedad: 65-75% del sustrato.	pasteurización/esterilización. Medición de humedad: prueba de puño o uso de medidores de humedad.	al., 2025.
Inoculación y colonización (incubación)	Sembrar el micelio en el sustrato preparado y permitir que lo colonice completamente, formando una red densa.	Temperatura: 20-24 °C (temperatura óptima para la mayoría de las especies). CO₂: altas concentraciones (5,000-20,000 ppm) para favorecer el crecimiento vegetativo del micelio y suprimir la fructificación prematura.	Inspección visual: monitoreo del 100% de la colonización del sustrato. Sensores de CO₂: monitoreo de los niveles de CO ₂ con sistemas inteligentes. Sistemas de IA: análisis de imágenes para evaluar la cobertura y densidad del micelio.	Barauskas et al., 2022
Fructificación (Pinning)	Inducir la formación de los primordios (pinheads) o pequeños cuerpos	Choque ambiental: disminución de la temperatura (10-18 °C) y la	Sensores: uso de sensores IoT (AM2305B) para temperatura y humedad. Cámaras: análisis de imágenes con sistemas de	Rukhiran et al., 2023

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

	fructíferos.	concentración de CO ₂ (<1,000 ppm). Humedad: 90-95% para iniciar el crecimiento de los primordios. Luz: luz difusa (200-1000 lux) para la correcta orientación y desarrollo de los cuerpos fructíferos.	visión para detectar el número y tamaño de los primordios.	
Desarrollo y cosecha	Permitir que los cuerpos fructíferos maduren hasta su tamaño óptimo y recolectarlos en el momento ideal.	Temperatura: 15-20 °C (varía según la especie). Humedad: 85-90% para evitar que las setas se sequen o agrieten. Ventilación: suministro constante de aire fresco para eliminar el CO ₂ acumulado.	Monitoreo visual y mecánico: inspección del tamaño y la forma de la seta.	Ghahraei et al., 2023; Chutimanukul et al., 2025.

La información recopilada evidencia que el proceso se compone de seis etapas, desde la preparación del sustrato hasta la cosecha, cada una con requisitos ambientales específicos. Se destaca la relevancia del control de la temperatura y la humedad, así como de la concentración de CO₂ y la luminosidad en las fases de incubación y fructificación. El manejo adecuado de estas condiciones determina en gran medida el éxito del cultivo, pues asegura tanto el desarrollo del micelio como la formación de cuerpos fructíferos.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Además de lo anterior, la **Tabla 2** resume la duración estimada de cada fase productiva.

Tabla 2. Tiempos por fase

Fase	Condiciones	Tiempo estimado	Fuente
Preparación del sustrato	El sustrato debe triturarse para aumentar la superficie de contacto. Humedad ideal entre 60-75% y pH de 6.0 a 7.0.	Horas (dependiendo del volumen de sustrato).	Aimable et al., 2025
Esterilización / Pasteurización	Eliminación de microorganismos competidores: Pasteurización con agua caliente: 80-100 °C durante 1-2 h. Esterilización al vapor: 121 °C a 15 PSI durante 60-90 min.	1-2 horas (pasteurización) o 60-90 minutos (esterilización).	Hsu et al., 2018; Aimable et al., 2025
Inoculación (Siembra)	El sustrato enfriado (25-30 °C) se mezcla con inóculo en proporción 2-10% del peso húmedo.	Horas (según la cantidad de sustrato).	Hu et al., 2023
Incubación (Colonización del micelio)	Sustrato inoculado en bolsas o recipientes, en sala oscura a 22-28 °C, HR 70-80%, mínima ventilación. Se considera completo cuando el sustrato es blanco uniforme.	15-30 días	Aimable et al., 2025
Inducción	Se aplica un “choque” ambiental: Luz difusa: 8-12 h/día (100-1000 lux).	3-7 días hasta aparición de primordios	Hu et al., 2023; Melanouri et al., 2025; Aimable et al., 2025

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

	Temperatura: 15-20 °C. • HR 85-95%. Ventilación para mantener CO ₂ < 1000 ppm.		
Fructificación	Crecimiento y maduración de las setas a partir de los primordios.	3-7 días	Albuja-Narváez et al., 2024
Cosecha	Se recolectan cuando los bordes del sombrero se aplanan. Pueden obtenerse varios “flushes” del mismo sustrato, cada 7-14 días.	15-40 días (según número de cosechas)	Albuja-Narváez et al., 2024

El análisis temporal refleja que el ciclo completo de producción se sitúa entre 30 y 60 días, dependiendo de factores como la calidad del inóculo y las condiciones ambientales. Mientras que la preparación del sustrato y la inoculación requieren sólo unas horas, la incubación constituye la etapa más prolongada (15 a 30 días). La fructificación y la cosecha son relativamente rápidas, pero su duración está condicionada por el número de oleadas productivas que se logren. Esta característica convierte al cultivo en una alternativa competitiva, al posibilitar varias producciones a lo largo del año.

Por otro lado, en la **Tabla 3** se presentan los insumos básicos que permiten llevar a cabo la producción de *Pleurotus* spp.

Tabla 3. Insumos requeridos

Tipo de Insumo	Ejemplos Específicos	Función Principal	Concentración/Uso Típico	Fuente
Sustrato Lignocelulósico				
	Paja de trigo	Base nutricional, estructura.	Principal sustrato comercial.	Melanouri et al., 2025

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

	Rastrojo de maíz	Base nutricional, estructura.	Alto potencial productivo.	Aguilar-Ventura et al., 2025
	Hojas de caña de azúcar, Hojas de plátano	Base nutricional, estructura.	Usados en estudios de productividad.	Aguilar-Ventura et al., 2025
	Ichu (<i>Jarava ichu</i>)	Base nutricional, estructura.	Sustrato innovador para la sostenibilidad.	Persing et al., 2025
	<i>Pennisetum giganteum</i> (Giant Juncao grass)	Base nutricional, estructura.	Usado en métodos no estériles.	Zhang et al., 2025
	<i>Cenchrus fungigraminus</i>	Base nutricional, estructura.	Eficiente y rentable, pasteurizado.	Aimable et al., 2025
	Sustrato de champiñón agotado (SMS), Raíces de vegetales de hoja (RLV)	Base nutricional, estructura.	Reciclados, apoyan la economía circular.	Melanouri et al., 2025
Suplementos y Aditivos				
	Cal (Ca (OH)_2, CaO, CaCO_3)	Ajuste de pH, control de contaminantes.	~2% del peso seco del sustrato.	Aimable et al., 2025
	Salvado de trigo	Suplemento nitrogenado.	Hasta 20%.	Aimable et al., 2025

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

	Harina de maíz	Promotor de crecimiento micelial.	~0.5%.	Zhang et al., 2025
	Yeso (Sulfato de Calcio)	Mejora estructura del sustrato.	~0.5%.	Zhang et al., 2025
	Harina de semilla de algodón / Harina de soja	Fuentes de nitrógeno, aumentan la eficiencia biológica.	Dosis controladas para evitar prolongación de fructificación.	Melanouri et al., 2025
Semilla (Spawn)	Spawn de <i>Pleurotus</i> spp.	Inoculante, fuente de micelio.	2-10% del peso/volumen del sustrato seco.	Hsu et al., 2018
Agua	Agua potable	Hidratación del sustrato, humedad ambiental.	Contenido de humedad 65-70% en sustrato; HR 80-90% en fructificación.	Aimable et al., 2025

La información recabada señala que los residuos agrícolas locales como la paja de trigo o el rastrojo de maíz constituyen la principal materia prima, lo cual ofrece ventajas tanto económicas como ambientales. A estos se suman suplementos como el salvado o la harina de maíz, que incrementan la productividad, así como aditivos para el ajuste de pH. Sin embargo, el spawn representa el insumo crítico, ya que su calidad determina el éxito de la colonización del sustrato.

La **Tabla 4** presenta los elementos de infraestructura mínima requeridos para implementar el sistema productivo.

Tabla 4. Infraestructura mínima requerida

Elemento	Descripción	Fuente
Espacio de cultivo	Área limpia para la siembra y área separada para el crecimiento	García-Lagos et al., 2025

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

	(estado vegetativo y reproductivo). Paredes y pisos lavables. En caso de no contar con piso de cemento se pueden utilizar mesas o tarimas. Se recomienda pintar las paredes con cal para repeler plagas.	
Sustrato	Material lignocelulósico como paja de trigo, avena, centeno, maíz, restos agrícolas o desechos agroindustriales. El sustrato debe contener celulosa, hemicelulosa y lignina para el crecimiento del hongo.	Martínez-Cañedo, s. f.
Tratamiento de sustrato	Pasteurización o esterilización para eliminar microorganismos competidores y patógenos. Puede incluir triturado, humectado y desinfección mediante calor o fermentación aerobia.	Vengoechea, 2021
Sistema de inoculación	Área o sistema para siembra estéril, con flujo laminar para evitar la contaminación durante la inoculación del micelio en el sustrato.	Vengoechea, 2021
Equipamiento	Anaqueles o estantes metálicos para organizar bolsas de cultivo. Termómetros y sistemas para controlar temperatura (20-30 °C) y humedad relativa (55-68%). El	García-Lagos et al., 2025

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

	sistema de riego puede ser necesario.	
Personal	Para manejo y supervisión diaria, dependiendo de la escala podría incluir cultivador de setas, auxiliar general, personal agrícola, administrativo y vendedor para cultivos en mayor escala.	García-Lagos et al., 2025

Entre los elementos identificados destacan las áreas separadas para siembra e incubación, los sistemas de pasteurización o esterilización, la estantería para el alojamiento de las bolsas y equipos básicos de medición ambiental. Aunque la inversión inicial no es elevada, sí resulta esencial garantizar condiciones de asepsia y control ambiental que reduzcan el riesgo de contaminación. Esto confirma que el cultivo de *Pleurotus* spp. Es técnicamente accesible para pequeños y medianos productores, siempre que se cumplan los estándares mínimos.

4.1.2 Estructura y magnitud de costos fijos y variables

El objetivo de esta etapa fue identificar los principales costos asociados al cultivo de *Pleurotus* spp. Clasificándolos en fijos y variables, con el propósito de generar una estructura financiera que permita, posteriormente, realizar cálculos de rentabilidad y análisis del punto de equilibrio.

En la **Tabla 5** se presentan los costos organizados en fijos y variables.

Tabla 5. Clasificación de costos fijos y variables

Categoría	Concepto	Costo aproximado (MXM)	Tipo De costo
Infraestructura	Construcción de área de cultivo (30m ²).	\$25,000.00	Fijo
	Estantería para bolsas (3 uds.)	\$5,397.00	Fijo

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

	Termohigrómetro y sensores.	\$899.00	Fijo
	Autoclave de vapor a gas de 24 L.	\$24,999.00	Fijo.
Insumos	Sustrato (paja de avena y olote para 66.67 kg).	\$236.68.00	Variable
	Inóculo (semilla de <i>Pleurotus</i> spp).	\$2,257.50	Variable
	Bolsas plásticas impermeables (100 uds.)	\$113.00	Variable
	Agua (mensual)	\$800.00.	Variable
	Energía eléctrica (mensual).	\$1,200.00	Variable
Operación	Mano de obra (2 personas, mensual).	\$17,640.00	Fijo
	Transporte local (mensual)	\$1,500.00	Variable

El análisis muestra que los costos fijos corresponden principalmente a la adecuación del área de cultivo, la adquisición de estantería y el equipamiento de control ambiental. Estos representan una inversión inicial moderada que permanece estable independientemente del volumen de producción. En contraste, los costos variables incluyen insumos como sustrato, desove, bolsas, agua, energía eléctrica, mano de obra y transporte, los cuales constituyen la mayor proporción de los egresos y aumentan en función de la escala productiva.

4.1.3 Desarrollo del modelo de costos

Con el objetivo de evaluar la viabilidad económica de la producción de *Pleurotus* spp. a mediana escala se desarrolló un modelo de costos considerando un horizonte de tres años. La finalidad fue estimar los requerimientos de infraestructura, insumos y capital necesarios para abastecer mercados locales y restaurantes, garantizando un nivel de producción estable y competitivo.

Para ello, se definió un escenario de producción mensual objetivo de 500 kg de hongos frescos, con base en un rendimiento esperado del sustrato del 20%, lo que implica un consumo aproximado de 2,500 kg de sustrato húmedo por mes. Se consideraron entre 10 y 12 ciclos de producción anuales, en un espacio disponible de 50-70 m², suficiente para las etapas de inoculación, incubación, fructificación y empaque. Posteriormente, se calcularon los costos de inversión inicial (CAPEX), integrando infraestructura, climatización, equipo de inoculación, estanterías, empaque y refrigeración, así como capital de trabajo inicial.

Este análisis permitió cuantificar la inversión inicial requerida, que asciende a \$250,000 MXN. La **Tabla 6** muestra la distribución de los principales rubros considerados:

Tabla 6. Distribución por rubros

Rubro	Detalle	Costo estimado (MXN)	Justificación
Infraestructura	Áreas de inoculación, incubación, fructificación, empaque y refrigeración (50–70 m ² × \$2,500/m ²)	\$125,000.00	Costo promedio de construcción ligera en Aguascalientes (INEGI, 2024)
Climatización	Humidificadores, ventiladores, calefacción básica	\$30,000.00	Cotizaciones de equipos básicos
Equipo de inoculación	Autoclave, campana de flujo laminar, básculas, termómetros	\$83,527.00	Precios de laboratorio agroindustrial
Estanterías	Racks metálicos o sistemas de colgado	\$15,000.00	Mercado local

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Empaque y refrigeración	Selladora, etiquetadora, refrigerador comercial	\$20,000.00	Cotizaciones comerciales
Capital de trabajo inicial	Insumos para 2–3 meses	\$20,000.00	Spawn, bolsas, sustrato
Total estimado		\$293,527.00	Suma de rubros

Este modelo de costos confirma que la producción de *Pleurotus* spp. a mediana escala es factible con una inversión inicial moderada, accesible para proyectos agroindustriales emergentes. La distribución de costos evidencia que la infraestructura representa el mayor componente de inversión, seguido por el equipo especializado de inoculación.

4.1.4 Punto de equilibrio y margen de utilidad estimados

El análisis del punto de equilibrio y del margen de utilidad se realizó con el propósito de determinar la viabilidad económica de la producción de *Pleurotus* spp. a mediana escala. El objetivo fue identificar el volumen mínimo de ventas requerido para cubrir los costos fijos y variables, así como estimar la rentabilidad esperada bajo las condiciones de mercado local.

Se emplearon supuestos de precios de venta promedio en base a los precios en mercados locales (\$70/kg), costos variables unitarios que incluyen sustrato, spawn, bolsas, empaque y energía (\$35/kg) y costos fijos mensuales resultado de la sumatoria de mano de obra mínima requerida, servicios básicos y permisos prorrateados (\$12,000 MXN). Con estos parámetros se calculó el margen de contribución unitario, el punto de equilibrio mensual y la utilidad proyectada para una producción de 500 kg de hongos frescos. Posteriormente, se derivó el margen neto como indicador de rentabilidad. El análisis permitió establecer que el punto de equilibrio se alcanza con la venta de 34r kg/mes, lo que confirma que la producción objetivo de 500 kg/mes supera el umbral mínimo requerido. La **Tabla 7** resume los resultados obtenidos.

Tabla 7. Indicadores de rentabilidad

Concepto	Cálculo	Resultado
Precio de venta promedio		\$70/kg

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Costos fijos totales		\$12,000
Costos variables unitarios		\$35/kg
Margen de contribución unitario	70-30	\$35/kg
Punto de equilibrio	$12,000 \div 35$	343 kg/mes
Ingresos mensuales (500 kg)	500×70	\$35,000 MXN
Costos variables totales	500×35	\$17,500 MXN
Utilidad mensual	$35,000 - (17,500 + 12,000)$	\$5,500 MXN
Margen neto	$(5,500 \div 35,500) \times 100$	15.7%

Derivado del cálculo del punto de equilibrio (establecido en 343 kg/mes), se proyecta que, al alcanzar la meta de producción de 500 kg mensuales, el modelo de negocio genera una estructura financiera positiva. El costo total del proceso operativo asciende a \$29,500 MXN mensuales, lo que, contrastado con una inversión inicial de \$293,527 MXN, permite establecer un costo unitario de producción de \$59.00 MXN por kilogramo.

Considerando el precio de mercado de \$70.00 MXN/kg, la operación arroja una utilidad neta mensual de \$5,500 MXN. Esto representa un porcentaje de utilidad esperado del 15.7% sobre las ventas totales. Este margen confirma la viabilidad económica del proyecto, asegurando no solo la cobertura de los costos fijos y variables, sino también la capacidad de retorno de inversión para la implementación de las fases de automatización inteligente.

4.1.5 Proyecciones financieras por escenario

Con el propósito de evaluar la viabilidad económica de una producción a mediana escala de *Pleurotus* spp. se realizó una proyección financiera. El objetivo fue identificar el comportamiento esperado de ingresos, costos y utilidades en horizontes de 1 y 3 años, y determinar los escenarios en los que la actividad resulta rentable o riesgosa.

Para ello se construyeron tres escenarios financieros, optimista, moderado y pesimista. A partir de supuestos de producción mensual, precios de venta, costos variables y costos fijos. Para cada escenario se calcularon ingresos, costos, utilidad mensual, flujo de caja anual y acumulado a tres años.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

La **Tabla 8** resume los principales indicadores financieros de los tres escenarios, mostrando producción, precio de venta, ingreso mensual, porcentaje de utilidad, utilidad mensual y acumulada a uno y tres años.

Tabla 8. Indicadores financieros por escenario y porcentaje de utilidad esperado

Escenario	Producción (kg/mes)	Precio (MXN/kg)	Ingreso mensual	% de utilidad	Utilidad mensual	Utilidad 1 año	Utilidad 3 años
Optimista	600	\$ 75.00	\$ 45,000.00	21.3%	\$ 9,600.00	\$ 115,200.00	\$ 345,600.00
Moderado	500	\$ 70.00	\$ 35,000.00	15.7%	\$ 5,500.00	\$ 66,000.00	\$ 198,000.00
Pesimista	400	\$ 59.00	\$ 23,600.00	0.0%	\$ -	\$ -	\$ -

La rentabilidad del proyecto es sensible al volumen de producción y al precio de venta. Mientras que el escenario moderado arroja un margen del 15.7.5, el punto crítico se alcanza en el escenario pesimista donde un precio de \$59.00/kg iguala los costos operativos, resultando en una utilidad nula pero permitiendo la recuperación de los costos directos e indirectos. En síntesis, la proyección financiera confirma que la producción de *Pleurotus* spp. a mediana escala es rentable bajo condiciones moderadas y altamente atractiva en un escenario optimista, mientras que la gestión de riesgos productivos y administrativos es crítica para evitar pérdidas.

4.1.6 Indicadores de evaluación de la inversión

Con el propósito de evaluar la viabilidad económica de la producción a mediana escala de *Pleurotus* spp., se realizó un análisis financiero considerando distintitos escenarios de flujo de efectivo. El objetivo fue determinar si el proyecto genera valor para los inversionistas y en qué condiciones resulta atractivo.

Para ello se aplicaron indicadores financieros estándar:

- **Valor Actual Neto (VAN)**, para medir la creación o destrucción de valor respecto al costo de capital.
- **Tasa Interna de Retorno (TIR)**, para comparar la rentabilidad del proyecto frente a la tasa de descuento.
- **Periodo de recuperación (Payback)**, para identificar el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial.

El análisis se realizó sobre un horizonte de 36 meses, con una inversión inicial de \$250,000 MXN y una tasa de descuento del 12% anual ($\approx 1\%$ mensual). Se definieron tres escenarios de flujo neto mensual: optimista (\$12,100 MXN), moderado (\$5,500 MXN) y pesimista (-\$1,800 MXN).

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

La **Tabla 9** resume los resultados obtenidos por escenario.

Tabla 9. Indicadores de evaluación de la inversión

Escenario	Flujo mensual	VAN (MXN)	TIR anual (%)	Payback (meses)
Optimista	\$9,600.00	+180,000.00	18–20%	21 (menos de 2 años)
Moderado	\$5,500.00	+5,000.00	13–14%	53 (4.4 años)
Pesimista	-\$0.00	-300,000.00	Negativa	Nunca recupera

En el escenario optimista, el proyecto alcanza una rentabilidad clara, reflejada en un VAN positivo y una TIR que supera ampliamente el costo de capital, lo que confirma su alto atractivo financiero. La recuperación de la inversión se logra en menos de dos años, reforzando la viabilidad del proyecto bajo condiciones de mercado favorables y una gestión eficiente. Por su parte, el escenario moderado presenta un VAN positivo y una TIR superior a la tasa de descuento del 12%, lo que demuestra que el modelo es económicamente factible y genera valor desde una operatividad estándar. Aunque el periodo de recuperación se extiende fuera del horizonte de evaluación, los flujos netos mensuales aseguran la sostenibilidad de la actividad y la capacidad de reinversión en tecnologías de automatización.

Finalmente, el escenario pesimista revela una situación crítica de inviabilidad, con un VAN negativo y una utilidad nula que impide la recuperación de la inversión inicial, lo que implica que bajo condiciones de precios mínimos iguales al costo de producción, el proyecto no logra generar utilidades para el crecimiento del negocio.

Este análisis financiero permite establecer que la viabilidad del proyecto está garantizada bajo el cumplimiento de los parámetros técnicos y comerciales identificados en el estado de Aguascalientes. Bajo un escenario moderado u optimista, la rentabilidad es clara y el proyecto se presenta como una alternativa sólida de inversión con capacidad de generar valor constante. No obstante, para maximizar los márgenes y reducir los tiempos de recuperación, es imperativo optimizar los procesos ya que la factibilidad económica está estrechamente vinculada a la eficiencia productiva y al acceso a canales de comercialización que valoren la calidad y frescura del producto, asegurando así el éxito operativo a largo plazo.

4.2 ESTUDIO DE MERCADO Y POTENCIAL COMERCIAL DE LAS SETAS

4.2.1 Diseño de los instrumentos de recolección de datos primarios

Con el fin de recopilar información objetiva y actualizada sobre la percepción, aceptación y apertura del mercado hacia el consumo y la comercialización de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) en Aguascalientes, se diseñaron y aplicaron dos encuestas. Estos instrumentos, uno para consumidores y otro para comerciantes locales, se elaboraron en función de los objetivos específicos del proyecto. Ambos se basaron en preguntas cerradas (dicotómicas, de opción múltiple y de escala de frecuencia) para cuantificar objetivamente las tendencias y actitudes del público hacia las setas ostra.

La primera encuesta, titulada “Consumo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.)”, se aplicó a consumidores del estado para comprender sus hábitos de compra, preferencias, nivel de conocimiento sobre hongos comestibles y disposición a adquirir productos derivados de *Pleurotus* spp.

El cuestionario consta de trece preguntas estructuradas en tres secciones temáticas:

- **Datos sociodemográficos:** Incluía edad, género y rol familiar para segmentar los resultados según el perfil del consumidor.
- **Hábitos de consumo y conocimiento previo:** Preguntas para identificar los tipos de hongos comestibles conocidos, frecuencia de compra, presentación preferida y cantidades adquiridas.
- **Percepción y disposición de compra:** Se evaluó la apertura al consumo de setas ostra, la disposición a pagar un precio superior al del champiñón, los lugares de compra preferidos y los factores clave en la decisión de compra (calidad, precio, presentación, origen y disponibilidad).

La **Tabla 10** muestra el contenido de la encuesta aplicada a consumidores.

Tabla 10. Encuesta a consumidores

Pregunta	Tipo de pregunta	Opciones
Edad	Politómica.	• Menor a 24 años. • 25 años a 34 años. • 35 años a 44 años.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

		• 45 años a 54 años. • Más de 54 años.
Género	Politómica.	• Masculino. • Femenino. • Prefiero no decirlo.
¿Cuál es su rol familiar actualmente?	Politómica.	• Padre/madre de familia. • Pareja (sin hijos). • Hij@. • Independiente.
¿Usted consume o conoce algún tipo de hongo comestible?	Dicotómica.	• Sí. • No.
¿Qué tipo de hongo comestible ha consumido?	De elección múltiple.	• Champiñón. • Portobello. • Setas Ostra (<i>Pleurotus</i> spp.). • Hongos de pino. • Shiitake. • Hongos deshidratados. • Otros.
¿Con qué frecuencia compra hongos comestibles?	Politómica.	• A diario. • Una vez por semana. • Dos veces a la semana. • Una vez al mes. • Otro.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

¿Qué presentación le gusta comprar cuando adquiere hongos comestibles?	Politómica.	• Envase en lata. • Frescos. • Deshidratados.
¿En qué cantidades suele comprar hongos comestibles?	Politómica.	• 100 gramos. • 250 gramos. • 500 gramos. • Un kilo.
Las Setas Ostra (<i>Pleurotus</i> spp.), contienen vitaminas (B, D, C, K), omegas (3,6,9), minerales y microelementos (hierro, zinc, potasio, fósforo, selenio, yodo y boro), aminoácidos esenciales y proteínas, además de sustancias que reducen el colesterol, previenen enfermedades cardiovasculares, son de bajo aporte calórico y de fácil digestión. Después de conocer esta información, ¿estaría usted dispuesto a comprar este tipo de setas?	Dicotómica.	• Si. • No.
Considerando los beneficios y el valor nutricional de las Setas Ostra, ¿estaría dispuesto a pagar dinero extra por ellas en comparación con el precio del champiñón?	Dicotómica.	• Si. • No.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Si su respuesta anterior fue “Si”, ¿cuánto dinero extra estaría dispuesto a pagar por las Setas Ostra?	Politómica.	• \$5-\$10 MXN. • \$11-\$20 MXN. • \$21-\$35 MXN. • \$36-\$40 MXN. • Más de \$40 MXN.
¿En dónde le gustaría adquirir las Setas Ostra?	De elección múltiple.	• Supermercados. • Mercados locales o tianguis. • Tiendas de abarrotes o fruterías. • Por aplicación de delivery o servicio a domicilio. • Directo con productores locales.
¿Qué factores considera más importantes antes de adquirir Setas Ostra u otros productos similares?	De elección múltiple.	• Calidad. • Precio. • Presentación. • Disponibilidad. • Origen (local/regional).

La segunda encuesta, denominada "Encuesta para Comerciantes sobre la Comercialización de Setas Comestibles (*Pleurotus* spp.) en Aguascalientes", se aplicó a dueños o gerentes de establecimientos comerciales como fruterías, abarrotes, mercados y negocios de alimentos.

El propósito de esta herramienta fue determinar el grado de conocimiento, interés y disposición de los comerciantes hacia la venta de *Pleurotus* spp., así como identificar los principales canales de distribución, las presentaciones preferidas y las expectativas de comercialización. El cuestionario, compuesto por preguntas cerradas y de opción múltiple, se estructuró en los siguientes apartados:

- **Identificación del tipo de comercio y experiencia previa:** Preguntas para conocer el giro del negocio y

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

si actualmente venden hongos comestibles.

- **Percepción de la demanda y viabilidad de venta:** Preguntas para evaluar la aceptación de los clientes, la frecuencia de solicitud de estos productos y la disposición del comerciante a incluirlos en su oferta.
- **Aspectos logísticos y comerciales:** Preguntas sobre las presentaciones preferidas (frescas, deshidratadas, envasadas), precios estimados y los canales de distribución más adecuados (mercados, tiendas locales o venta directa con productores).

En la **Tabla 11** se puede observar el contenido de la encuesta aplicada a los comerciantes.

Tabla 11. Encuesta a comerciantes

Pregunta	Tipo de pregunta	Opciones
Giro comercial	Politómica	• Comercio al por mayor de abarrotes y alimentos. • Comercio al por mayor de frutas y verduras frescas. • Comercio al por mayor de semillas y granos alimenticios, especias y chiles secos. • Comercio al por mayor de otros alimentos. • Comercio al por menor de frutas y verduras frescas. • Comercio al por menor de otros alimentos.
Tamaño del negocio	Politómica.	• Micro (1-10 empleados). • Pequeña (11-30 empleados). • Mediana (31-100)

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

		empleados). Grande (más de 100 empleados).
¿Hace cuánto opera su negocio?	Politómica.	1 a 5 años. 6 a 10 años. - Más de 10 años.
¿Actualmente vende setas comestibles?	Dicotómica.	- Si. - No.
¿Qué tipos de setas tiene a la venta?	De elección múltiple.	- Champiñón. - Portobello. - Setas ostra (<i>Pleurotus</i> spp.). - Shiitake. - Hongos de pino. - Deshidratados. - Otros.
¿Con qué frecuencia los clientes solicitan setas comestibles en su negocio?	Politómica.	- A diario. - Semanal. - Quincenal. - Mensual. - Casi nunca.
¿Estaría interesado en ofrecer Setas Ostra (<i>Pleurotus</i> spp) a sus clientes?	Dicotómica.	- Si. - No.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

¿Qué presentación considera más adecuada para su negocio?	Politómica.	• Frescas (granel). • Empacadas en charola (100g, 250g, 500g). • Deshidratadas. • En polvo. • Todas las anteriores.
¿Qué volumen de compra considera viable para su negocio?	Politómica.	• Menos de 5 kg por semana. • 5 a 10 kg por semana. • 11 a 20 kg por semana. • Más de 20 kg por semana.
¿Qué factores serán determinantes para decidir vender setas <i>Pleurotus</i> spp?	De elección múltiple.	• Precio competitivo. • Calidad. • Frescura. • Presentación atractiva. • Demanda del consumidor. • Origen (local/regional). • Promociones o publicidad del producto.
¿Qué obstáculos identifica para introducir las setas ostra en su negocio?	De elección múltiple.	• Baja demanda actual. • Desconocimiento de los clientes. • Tiempo de vida corto del producto. • Falta de proveedores confiables. • Costos de

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

		almacenamiento.
¿Estaría dispuesto a colaborar con productores locales para ofrecer este producto?	Dicotómica.	• Si. • No.
¿Qué apoyo considera necesario para facilitar la comercialización de setas ostra?	De elección múltiple.	• Capacitación sobre conservación y manejo. • Material de promoción y publicidad. • Precios preferenciales por volumen. • Distribución constante y puntual.

Ambas encuestas se llevaron a cabo mediante Google Forms, facilitando una recolección de datos eficiente y accesible en diversas regiones de Aguascalientes. Las preguntas se formularon con un lenguaje claro y neutral para evitar sesgos y asegurar la validez de los datos.

4.2.2 Caracterización de la demanda y percepción del consumidor

El presente análisis se realizó con el propósito de comprender de manera integral el comportamiento del mercado de setas en Aguascalientes, tanto desde la perspectiva del consumidor como desde la del comerciante, con el fin de identificar las condiciones actuales del mercado, las preferencias, los factores que influyen en la compra y venta, así como los retos y oportunidades para fortalecer la cadena de valor. Para ello se aplicaron dos encuestas complementarias y se analizaron sus resultados.

En primer lugar, los resultados de la encuesta dirigida a consumidores revelan el perfil de quienes actualmente demandan hongos comestibles. La distribución por edad, género y rol familiar se presenta en la **Figura 1**, donde se observa que el consumo está encabezado por personas menores de 24 años, con una ligera predominancia de mujeres y una mayor representación del rol de hijo o hija dentro del hogar. Asimismo, se muestra que el 68% de los encuestados consume hongos, lo que constituye una base importante del mercado.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

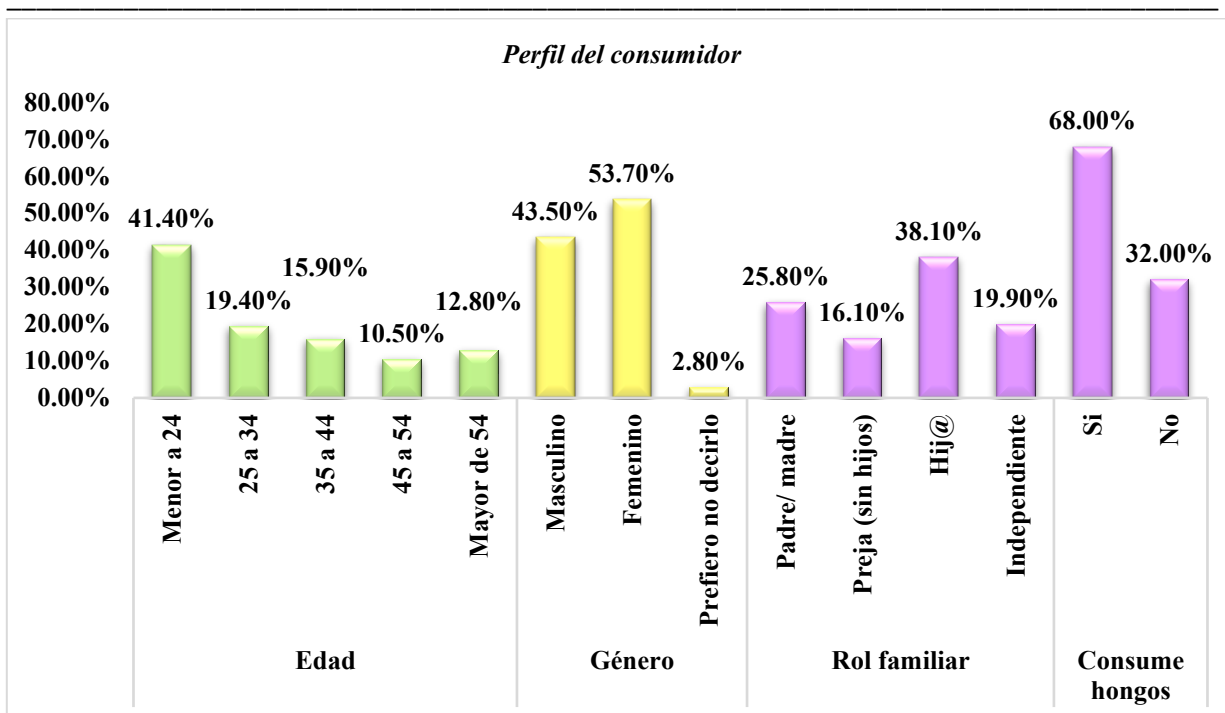


Figura 1. Perfil del consumidor

En cuanto a los tipos de hongos preferidos, la **Figura 2** confirma que el champiñón es el más consumido, seguido por el portobello, *Pleurotus* spp. y los hongos deshidratados, mientras que variedades como los hongos de pino o el shiitake tienen una presencia menor.

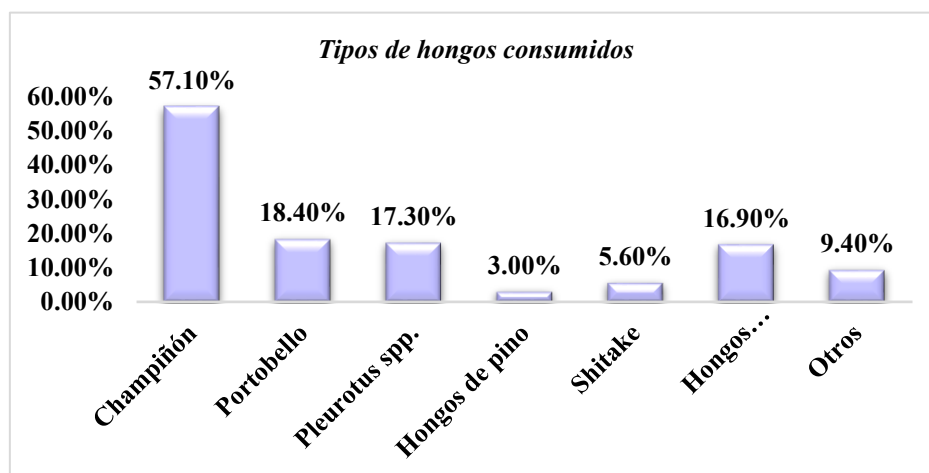


Figura 2. Tipos de hongos consumidos

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Los hábitos de compra, representados gráficamente en la **Figura 3**, destacan que la frecuencia de compra más común es “rara vez”, seguida de una compra semanal, también se muestran las presentaciones preferidas, siendo la más frecuente la compra de setas frescas, y los tamaños de compra, donde predominan los empaques de 250 g y 100 g.

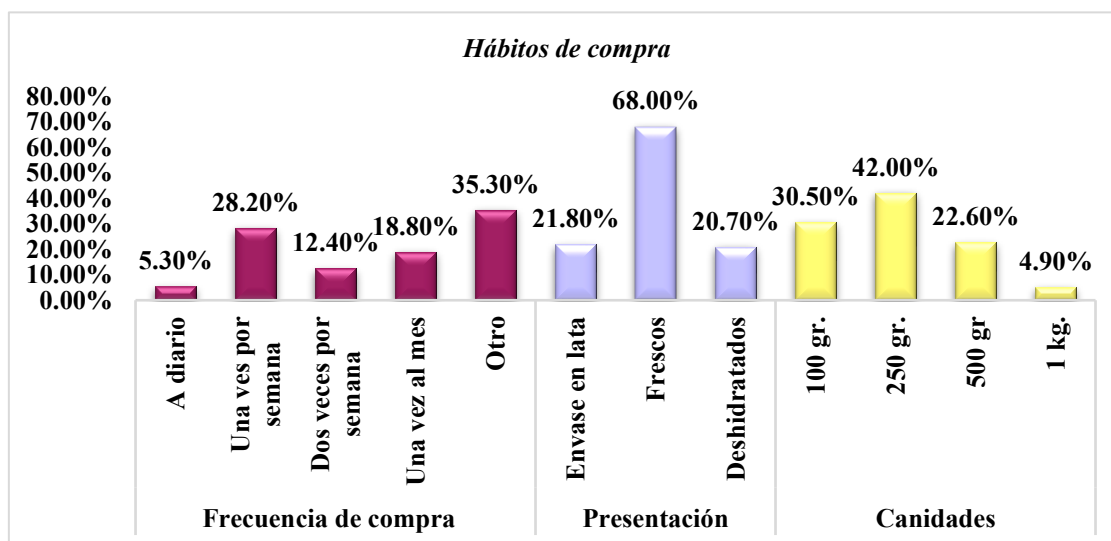


Figura 3. Hábitos de compra

La intención de compra de *Pleurotus* spp. y la disposición a pagar un monto extra se observan en la **Figura 4**, indicando que una amplia mayoría estaría dispuesta tanto a adquirirlas como a pagar más por ellas. Los rangos de pago extra se muestran en la **Figura 5**, donde sobresalen los montos de \$11-\$20 MXN y \$5-\$10 MXN.

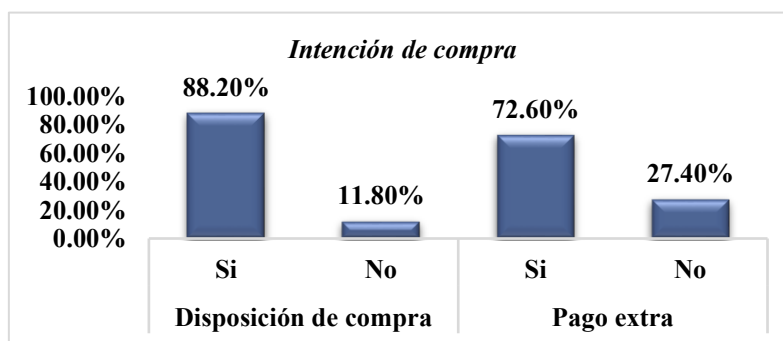


Figura 4. Intención de compra

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

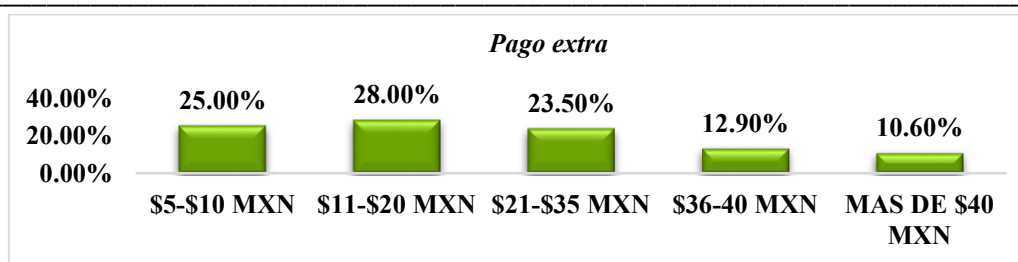


Figura 5. Pago extra

Finalmente, las preferencias sobre el lugar de compra y los factores críticos influyentes, como calidad, precio, disponibilidad y origen, se encuentran sintetizados en la **Figura 6**, donde los supermercados aparecen como el principal canal de adquisición.

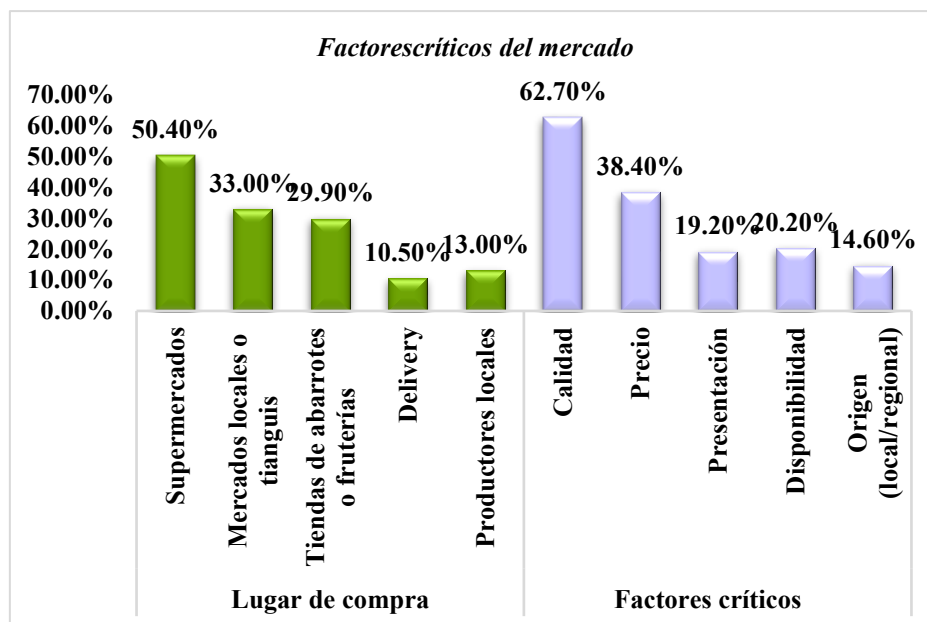


Figura 6. Factores críticos del mercado

Paralelamente, la encuesta aplicada a comerciantes permitió conocer el comportamiento del mercado desde el lado de la oferta. El perfil de los negocios consultados se presenta en la **Figura 7**, donde se observa que la mayoría pertenece al comercio al por menor de frutas y verduras frescas, con predominancia de micro y pequeñas empresas con más de seis años de operación, lo que confirma estabilidad en sus actividades comerciales.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

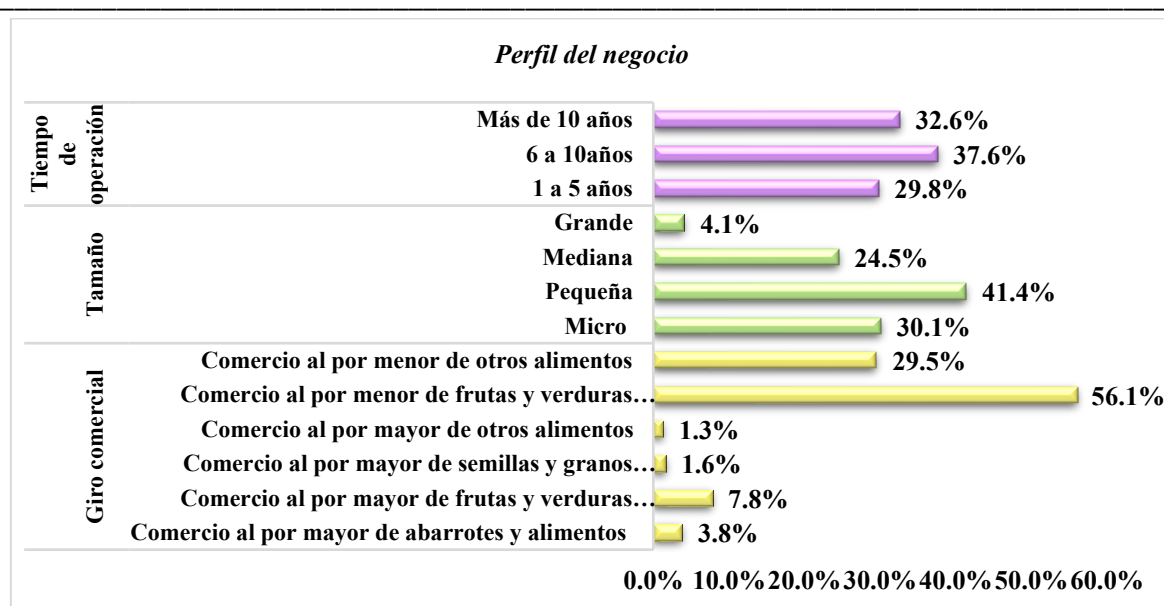


Figura 7. Perfil del negocio

La **Figura 8** muestra que el 63.9% ya vende setas, principalmente champiñón y portobello, y que las solicitudes de estos productos por parte de los clientes ocurren principalmente de manera quincenal o semanal. Entre quienes aún no las venden, la **Figura 9** evidencia un interés mayoritario por incorporarlas en un futuro cercano. Asimismo, presenta las preferencias sobre la presentación adecuada, entre las cuales destacan los formatos deshidratados, frescos a granel y empacados en charola.

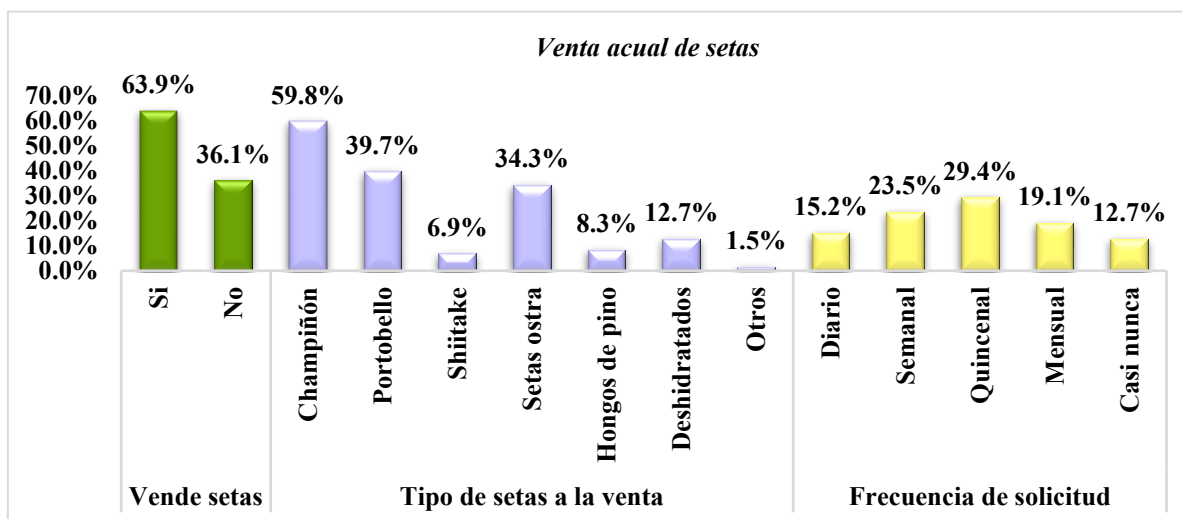


Figura 8. Venta actual de setas

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

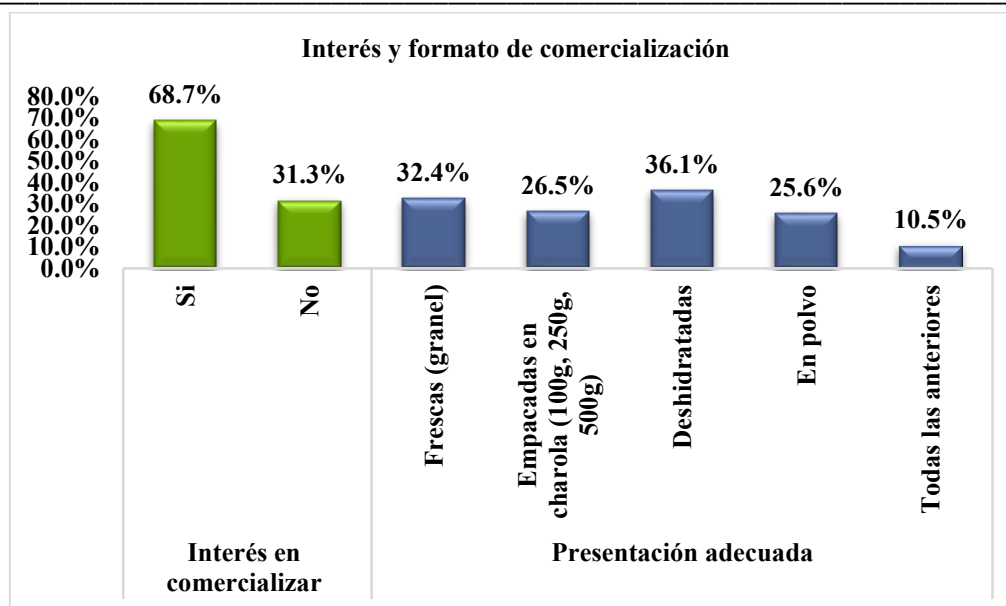


Figura 9. Interés y formato de comercialización

Los volúmenes de compra y los factores determinantes para la venta se observan en la **Figura 10**, donde se aprecia que una fracción considerable de los comerciantes estaría dispuesta a comprar más de 20 kg por semana si las condiciones fueran favorables. Los factores clave para decidir incluir setas en sus negocios incluyen precio competitivo, calidad, frescura y presentación, mientras que la demanda del consumidor constituye el principal detonante.

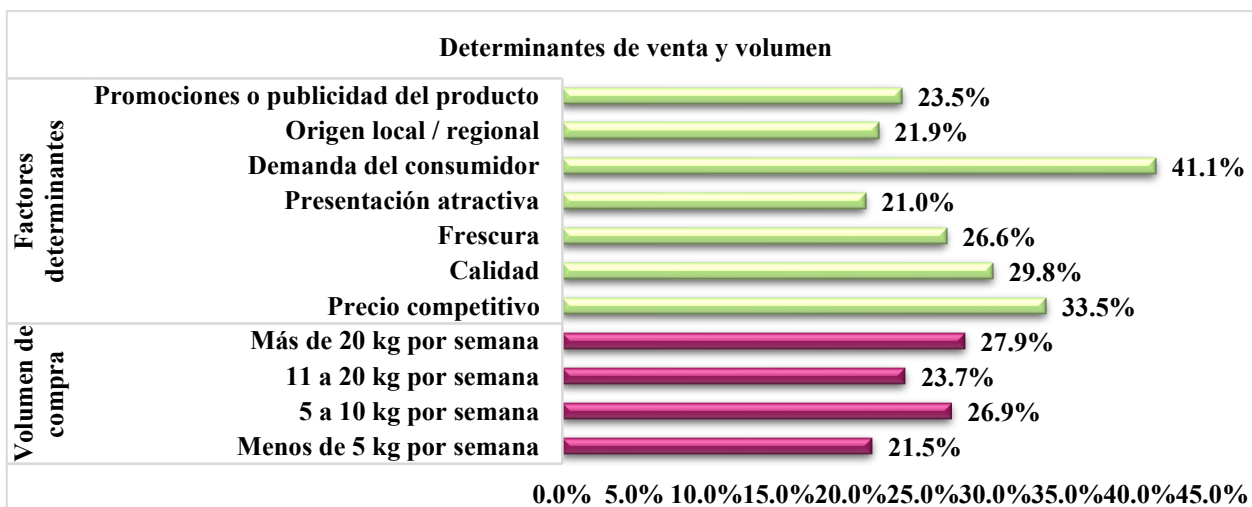


Figura 10. Determinantes de venta y volumen

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Por último, la **Figura 11** muestra los retos más importantes: desconocimiento del cliente, baja demanda actual, tiempo de vida corto, falta de proveedores confiables y costos de almacenamiento, además de los apoyos requeridos, como capacitación en manejo, promociones, precios preferenciales y distribución puntual.

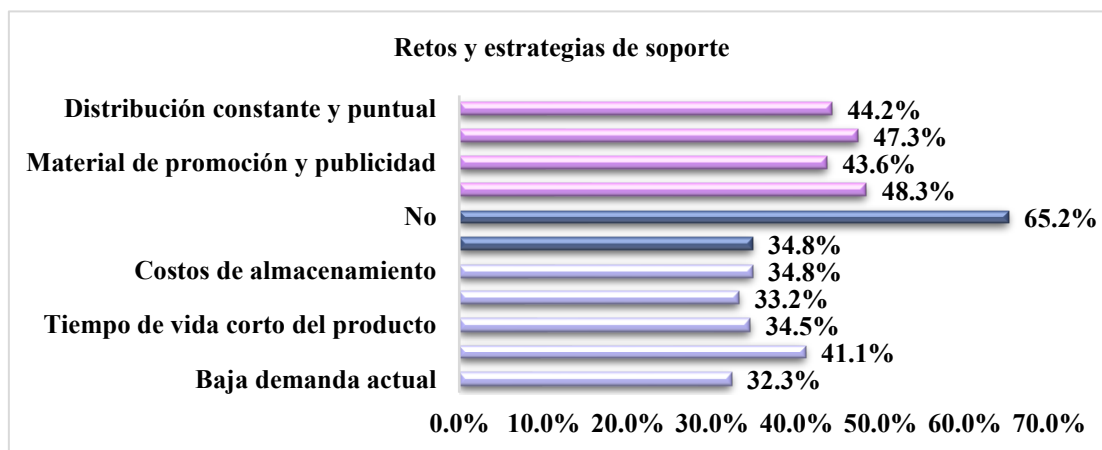


Figura 11. Retos y estrategias de soporte

Al integrar ambos análisis puede observarse que existe una alineación importante entre lo que el consumidor busca y lo que el comerciante necesita para satisfacer dicha demanda. Los consumidores valoran principalmente la calidad y están abiertos a probar nuevas variedades y presentaciones, mientras que los comerciantes identifican la calidad, frescura y precio como elementos claves para la venta. Aunque ambos reconocen el potencial del mercado, persisten barreras relacionada con la falta de información y promoción, así como con necesidades logísticas y de distribución. La evidencia disponible muestra que tanto la demanda como el interés por parte del comercio existen, pero requieren fortalecimiento mediante estrategias de capacitación, mejora en la presentación del producto, campañas de promoción y articulación más estrecha entre productores y puntos de venta.

En conjunto, los resultados de las encuestas permiten concluir que el mercado de setas en Aguascalientes tiene un potencial significativo para crecer y diversificarse, siempre que se atiendan las necesidades identificadas y se aprovechen las oportunidades reflejadas tanto por los consumidores como por los comerciantes.

4.2.3 Precios actuales del mercado

Con el propósito de identificar los precios actuales de distintas variedades de setas en México y comprender como influyen tanto el canal de comercialización como la especialidad del hongo en su valor de mercado, se llevó a cabo una recopilación, organización y análisis de los rangos de precios reportados en

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

supermercados, mercados locales, productores directos y comercio mayorista, así como de diferentes variedades del género *Pleurotus* y otros hongos gourmet.

Los precios correspondientes a la seta ostra gris, la cual es la más común en el mercado, presentan una marcada variación según el lugar de compra. Como se observa en la **Tabla 12**, los supermercados reúnen los precios más altos debido a su estructura de distribución, mientras que los mercados locales ofrecen valores intermedios influenciados por la disponibilidad y la demanda diaria. Por su parte, los productores y el mercado mayorista muestran los rangos de precio más bajos, especialmente cuando se adquieren volúmenes significativos. Esta comparación permite identificar que el canal de distribución es un factor determinante en el costo final, logrando reducirse casi a la mitad cuando se elimina la intermediación comercial.

Tabla 12. Precios por lugar de compra (Seta ostra gris)

Lugar de compra	Rango de precio estimado por Kg (MXN)	Observaciones
Supermercados y cadenas	\$70.00-\$150.00	Rango minorista; precios más altos y estables.
Mercados locales/tianguis	\$45.00-\$100.00	Suelen ser más económicos; mejores precios al mayoreo.
Directo con productores	\$40.00-87.09	Incluye costos de producción estimados.
Precio mayorista	\$42.24-\$59.14	Aplica para grandes volúmenes entre intermediarios.

Además del canal de venta, la variedad del hongo influye considerablemente en el precio. La **Tabla 13** muestra que las variedades de *Pleurotus* distintas a la seta ostra gris, así como otros hongos gourmet, alcanzan valores notablemente superiores. Eso se debe a factores como su menor disponibilidad, su especialización en el cultivo y el nicho culinario al que están dirigidas. Mientras la variedad común presenta rangos accesibles, los hongos gourmet pueden superar los \$350.00 por kilogramo, lo que evidencia su posicionamiento diferenciado dentro del mercado.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Tabla 13. Precios por tipo de hongo/variedad

Variedad de seta	Nombre científico	Rango de precio por Kg (MXN)	Observaciones
Seta ostra gris	<i>Pleurotus ostreatus</i>	\$45.00 – \$150.00	Variedad más común y económica.
Seta ostra rosada	<i>Pleurotus djamor</i>	\$157.50 – \$250.00	Considerada gourmet.
Seta ostra amarilla	<i>Pleurotus citrinopileatus</i>	\$150.00 – \$250.00	Precio elevado por su especialidad.
Seta rey/cardo	<i>Pleurotus eryngii</i>	\$250.00 – \$400.00	Hongo gourmet de alto valor.
Melena de león	<i>Hericium erinaceus</i>	\$350.00 – \$400.00	Hongo de cultivo especializado.

Los datos presentados muestran que el precio de las setas en México está determinado principalmente por dos factores: el canal de comercialización y la variedad del hongo. Los precios más accesibles se encuentran en compras directas o al mayoreo, mientras que los más elevados corresponden a variedades gourmet adquiridas en supermercados o tiendas especializadas.

4.2.4 Segmentación de mercado con mayor potencial de compra

Con la finalidad de comprender cómo se estructura la demanda y cuáles son los grupos con mayor probabilidad de adoptar o incrementar su consumo se llevó a cabo un proceso de segmentación para identificar con mayor precisión a los consumidores potenciales del mercado de setas en Aguascalientes. A partir de los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas tanto a consumidores como a comerciantes, se organizaron los datos con el fin de establecer segmentos demográficos, geográficos, psicográficos y conductuales, lo que permitió delinear perfiles claramente diferenciados.

El análisis reveló que la segmentación demográfica está marcada por una fuerte presencia de jóvenes menores de 24 años, con mayor participación de mujeres y dominio del rol de hijos dentro del hogar, mientras que la segmentación geográfica se concentra en zonas donde se encuentran supermercados, mercados locales y tiendas de abarrotes, que funcionan como los principales puntos de acceso al producto. En términos

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

psicográficos, los consumidores se caracterizan por valorar la calidad, la frescura y los beneficios asociados a productos saludables, además de mostrar apertura hacia nuevas presentaciones y variedades como *Pleurotus* spp., hongos deshidratados o en polvo. Conductualmente, las compras se realizan con poca frecuencia y predominan las adquisiciones ocasionales, aunque se observa una preferencia notable por setas frescas y por presentaciones de 100 g y 250 g; además, factores como calidad, precio y disponibilidad influyen directamente en la decisión de compra.

Con base en esta segmentación se definieron cuatro perfiles de consumidores potenciales, cada uno representando un tipo particular de comportamiento y oportunidad dentro del mercado. El primero corresponde a los jóvenes consumidores habituales de productos frescos, cuyas características se ilustran en la **Figura 12**, donde se sintetizan atributos como su alto interés por productos frescos, disposición a probar variedades nuevas y sensibilidad moderada al precio.

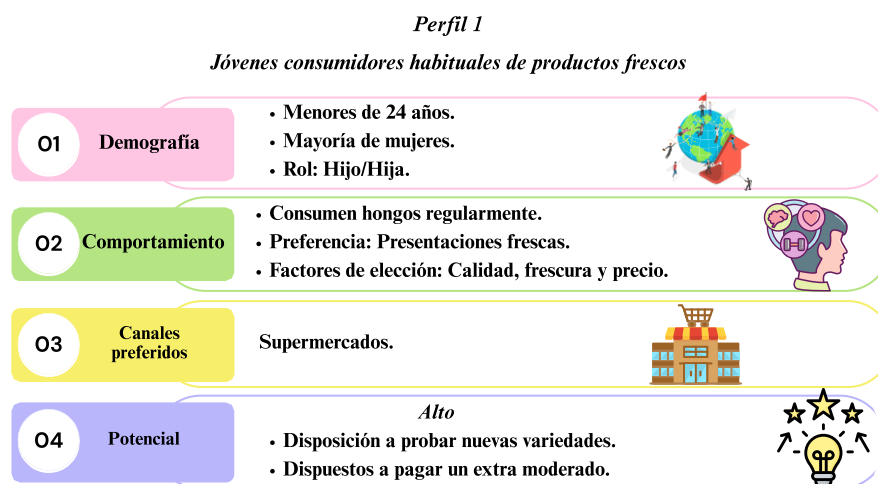


Figura 12. Perfil 1 Jóvenes consumidores habituales de productos frescos

El segundo grupo está conformado por el consumidor saludable e innovador, representado en la **Figura 13**, que muestra la inclinación de este segmento, generalmente personas de 25 a 34 años, por productos saludables, funcionales y con origen local, así como su apertura a presentaciones diferenciadas y de mayor valor agregado.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

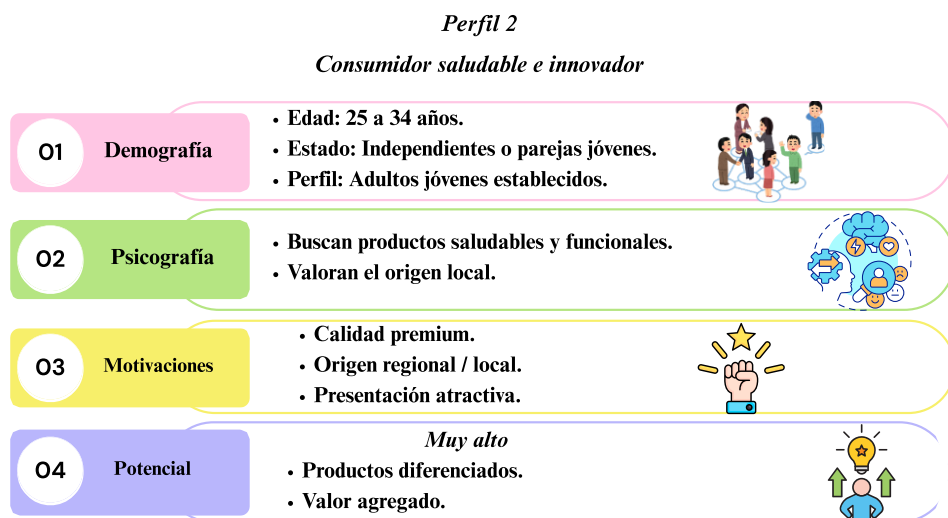


Figura 13. Perfil 2 Consumidor saludable e innovador

El tercer perfil engloba al comprador práctico ocasional, cuya información se visualiza en la **Figura 14**, este segmento, mayormente integrado por adultos de entre 35 y 54 años, realiza compras solo cuando lo requiere una receta específica y se guía principalmente por el precio y la disponibilidad inmediata del producto.

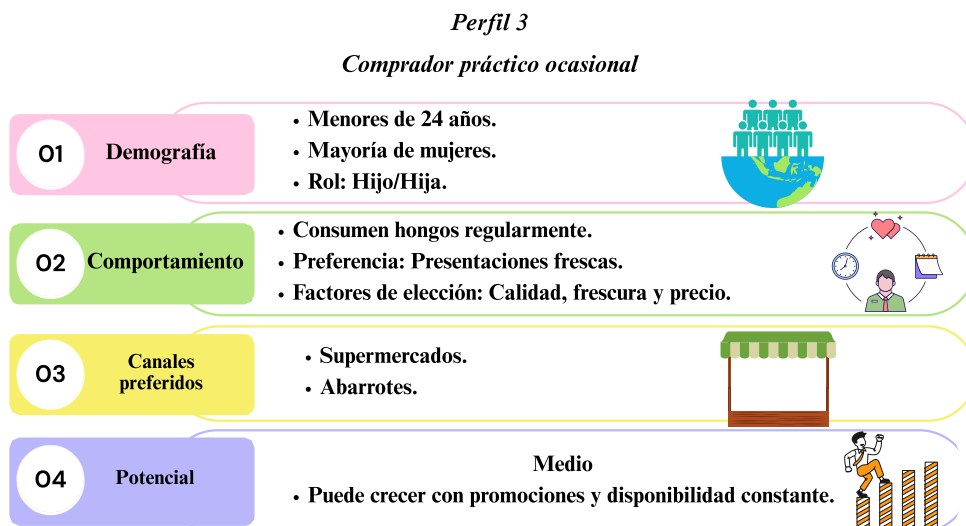


Figura 14. Perfil 3 Comprador práctico ocasional

Finalmente, el cuarto perfil corresponde al consumidor tradicional del mercado local, representado en la **Figura 15**, caracterizado por su preferencia por productos frescos a granel, su sensibilidad de incrementar su consumo mediante estrategias adecuadas de promoción y accesibilidad.

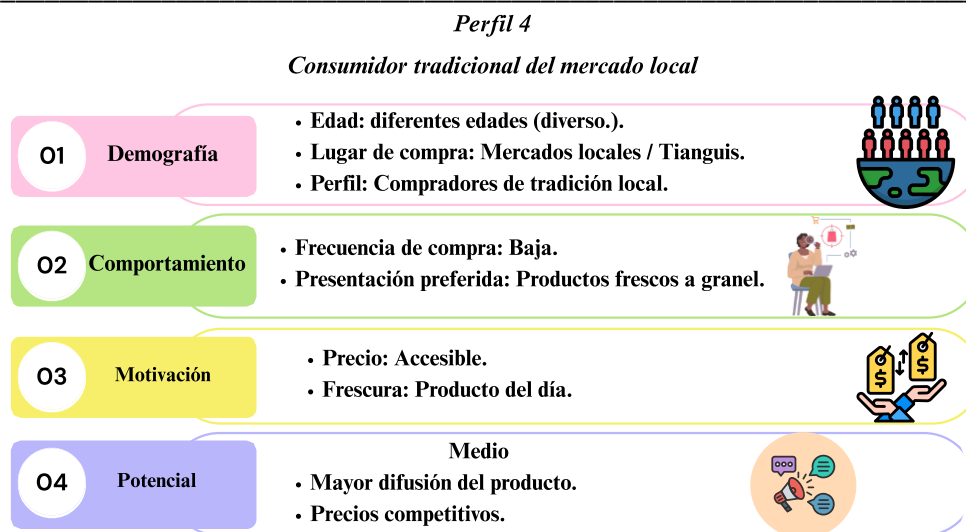


Figura 15. Perfil 4 Consumidor tradicional del mercado local

Los resultados permiten señalar que el mercado de setas en Aguascalientes presenta una estructura diversa con segmentos claramente diferenciados y con alto potencial de crecimiento. Los cuatro perfiles definidos demuestran que existen oportunidades para ampliar el consumo mediante estrategias adaptadas a cada tipo de consumidor, considerando factores como presentación, precio, disponibilidad y comunicación. En conjunto, esta segmentación permite concluir que, al orientar las acciones comerciales en función de estos perfiles, será posible fortalecer el posicionamiento del producto y ampliar significativamente la base de consumidores.

4.2.5 Canales de distribución y viabilidad logística

Con el objetivo de identificar los canales de distribución más adecuados para la comercialización de setas comestibles *Pleurotus* spp., así como establecer las condiciones logísticas necesarias para garantizar la calidad del producto desde su cosecha hasta el consumidor final, se realizó un análisis de los posibles canales de distribución, considerando las característica de los consumidores locales, los volúmenes de producción, la perecibilidad del producto y los recursos disponibles para transporte y almacenamiento.

Para ello se llevó a cabo un análisis comparativo de los principales esquemas de comercialización observados en pequeños productores agroindustriales de productos perecederos en la región, tomando como referencia las prácticas adoptadas en el cultivo de setas. De igual manera, se identificaron las condiciones logísticas asociadas a cada canal, tales como requerimientos de transporte, almacenamiento, empaque, frecuencia de entrega y costos logísticos estimados.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Se agruparon los canales en tres niveles de complejidad (directo, corto y largo) en función de la capacidad productiva y de distribución de una unidad de producción artesanal o semitecnificada. De forma adicional, se consideraron canales digitales como una alternativa emergente para ampliar el alcance de mercado sin necesidad de una inversión logística elevada.

Canales de distribución identificados

El análisis permitió determinar cuatro canales viables, representados en la **Figura 16**, para la comercialización de las setas comestibles del género *Pleurotus* spp.: canal directo, canal corto, canal largo y canal digital (complementario). Cada uno presenta características particulares que determinan su aplicabilidad según el volumen de producción, recursos disponibles y objetivos comerciales, las cuales se encuentran sintetizadas en la **Tabla 14**.

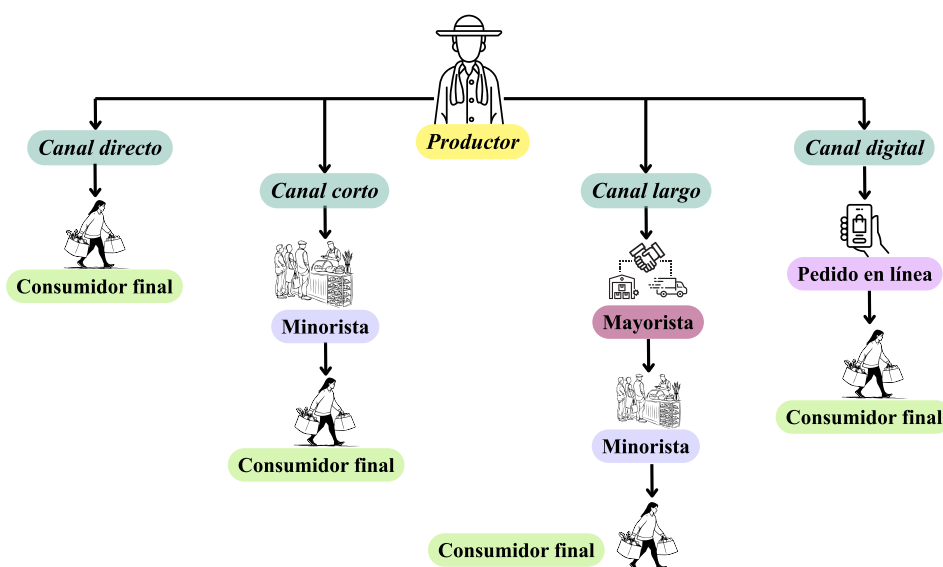


Figura 16. Esquema general de los canales de distribución identificados

Tabla 14. Comparación general de canales de distribución para *Pleurotus* spp.

Tipo de canal	Descripción	Inversión logística	Alcance geográfico	Margen de ganancia
Directo	Venta directa al consumidor (mercados, ferias,	Bajo.	Local.	Alto

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

	entrega a domicilio).			
Corto	Venta a minoristas o negocios locales.	Medio.	Regional.	Medio
Largo	Venta a intermediarios o distribuidores mayoristas.	Alto.	Nacional.	Bajo.
Digital	Venta por plataformas en línea y redes sociales.	Bajo.	Local/regional	Alto.

Condiciones logísticas asociadas

Durante el estudio se determinaron las condiciones logísticas que deben cumplirse para garantizar la conservación de las setas desde la cosecha hasta el consumidor final. Estas condiciones se agrupan en transporte, almacenamiento, empaque, e inventarios.

- **Transporte:**
 - Tipo de transporte: vehículos refrigerados o cajas isotérmicas con hielo.
 - Temperatura recomendada: entre 0 a 4 °C.
 - Frecuencia: entregas diarias o intercaladas.
 - Buenas prácticas: minimizar tiempos de exposición y evitar apilamiento excesivo.
- **Almacenamiento:**
 - Temperatura óptima 0-5 °C con humedad relativa del 85-90%.
 - Duración máxima: 10 a 14 días sin deterioro visible.
- **Empaque y presentación:**
 - Materiales recomendados: charolas de PET perforado o bolsas microperforadas.
 - Unidades de venta: 250 g, 500 g, 1kg.
 - Etiquetado: incluir nombre del productor, variedad, peso y fecha de cosecha.
- **Gestión de inventarios:**
 - Política recomendada: inventario cero o rotación diaria.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

A partir del análisis realizado, se puede concluir que los canales de distribución viables para una unidad de producción de setas comestibles del género *Pleurotus* spp. a mediana escala son el canal corto y el canal largo debido a su mayor capacidad para absorber volúmenes superiores, diversificar clientes y estabilizar la demanda mediante contratos o acuerdos con minoristas, restaurantes, centros de distribución y mayoristas en productos frescos. Asimismo, la incorporación de un canal digital adquiere mayor relevancia para mejorar la previsión de demanda, agilizar la programación de cosechas y reducir la incertidumbre en el flujo operativo.

4.2.6 Análisis estratégico FODA

Como parte del estudio para evaluar la viabilidad de inserción comercial de *Pleurotus* spp., se elaboró un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) que permitió identificar los principales factores internos y externos que influyen en su producción y comercialización. Este análisis constituye una herramienta estratégica que facilita la comprensión integral del entorno en el que se desarrollaría la actividad productiva, además de servir como base para la formulación de estrategias orientadas a la consolidación de esta seta comestible en el mercado.

La **Figura 17** representa de manera esquemática los resultados obtenidos en este análisis, mostrando de manera visual los elementos que pueden favorecer o limitar la inclusión comercial de *Pleurotus* spp. Esta representación gráfica permite observar de manera clara la interacción entre los factores internos (fortalezas y debilidades) y los factores externos (oportunidades y amenazas), facilitando el planteamiento de estrategias que maximicen los beneficios potenciales y minimicen los riesgos identificados.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

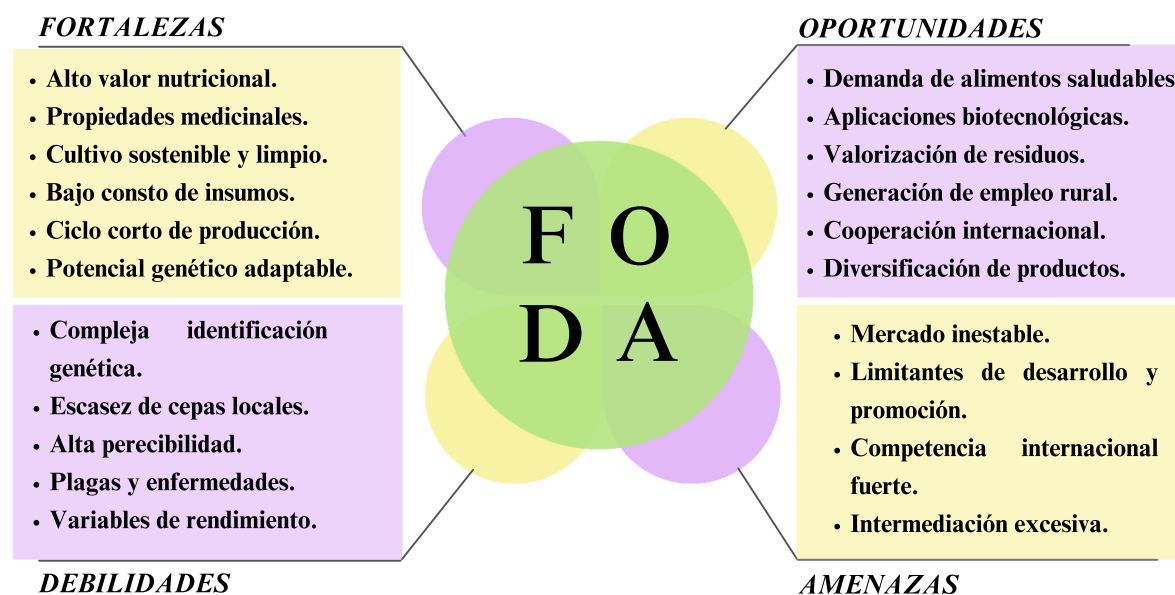


Figura 17. Análisis FODA de *Pleurotus* spp. para la inserción comercial

Entre las fortalezas de *Pleurotus* spp. se destacan su alto valor nutricional y sus propiedades medicinales. Esta seta posee una gran adaptabilidad ambiental, requiere un bajo costo de insumos para su producción, presenta un ciclo corto y tiene un potencial genético adaptable, lo que facilita su cultivo en diversas condiciones.

En cuanto a las oportunidades, *Pleurotus* spp. puede satisfacer una creciente demanda de alimentos saludables en el mercado. Las innovaciones biotecnológicas ofrecen nuevas vías para su desarrollo, y la valorización de residuos agrícolas o industriales puede ser una fuente de sustratos. Su cultivo también contribuye a la generación de empleo rural y puede beneficiarse de la cooperación institucional. Adicionalmente, existe potencial para la diversificación de productos derivados de estas setas u hongos.

Sin embargo, *Pleurotus* spp. también enfrenta varias debilidades. Su identificación genética es muy compleja, lo que puede dificultar la selección de cepas. Existe una escasez de cepas locales, y el hongo presenta una alta perecibilidad, lo que complica su transporte y almacenamiento. Además, es susceptible a plagas y enfermedades, y la variabilidad de rendimiento puede afectar la constancia de la producción. Las amenazas incluyen un mercado inestable que afecta los precios y la demanda. Aunque se cuenta con apoyo oficial de instituciones como el gobierno o planteles educativos, existen limitaciones para el desarrollo y la promoción. Esto se debe a que la competencia internacional de otros productores ejerce presión sobre el mercado, y la intermediación excesiva en la cadena de valor reduce los márgenes de ganancia para los productores.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

A partir del análisis FODA detallado anteriormente, surgen las siguientes recomendaciones estratégicas diseñadas para capitalizar las fortalezas y oportunidades, así como para mitigar las debilidades y amenazas identificadas en el cultivo y la comercialización de *Pleurotus* spp. en la región:

- **Estrategias ofensivas:**

Consisten en aprovechar las fortalezas internas para potenciar las oportunidades externas:

1. Promover el alto valor nutricional y propiedades medicinales como respuesta a la creciente demanda de alimentos saludables.
2. Impulsar el cultivo sostenible y de bajo costo como modelo de producción alineado con la valorización de residuos y la generación de empleo.
3. Utilizar el potencial genético adaptable para aplicaciones biotecnológicas e innovación en productos derivados.

- **Estrategias de adaptación:**

Están orientadas a reducir debilidades internas aprovechando las oportunidades del entorno:

1. Desarrollar tecnologías de conservación y procesamiento (deshidratados, extractos, cápsulas, etc) que reduzcan la alta perecibilidad y permitan diversificación.
2. Implementar programas de capacitación a productores rurales que mejoren el control de plagas y eleven el rendimiento.

- **Estrategias defensivas:**

Su objetivo es utilizar las fortalezas internas para contrarrestar amenazas externas:

1. Aprovechar el ciclo corto de producción y bajo costo de insumos para mantener competitividad frente a mercados internacionales.
2. Resaltar las propiedades medicinales y sostenibilidad como elementos diferenciadores frente a la competencia y la excesiva intermediación.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

3. Generar alianzas estratégicas con distribuidores locales para estabilizar precios y contrarrestar la inestabilidad del mercado.

- **Estrategias de supervivencia:**

Están orientadas a reducir debilidades y al mismo tiempo protegerse de las amenazas:

1. Impulsar la formación de redes de productores y cooperativas que reduzcan la intermediación y mejoren el acceso directo a mercados.
2. Buscar apoyo institucional o financiamiento externo para fortalecer la investigación genética y el control de plagas.
3. Crear sistemas de trazabilidad y calidad certificada para mitigar la inestabilidad del mercado y mejorar la confianza del consumidor.

4.3 ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR Y OPORTUNIDADES DE MEJORA

4.3.1 Mapeo del proceso productivo

El objetivo de esta etapa fue evaluar y representar de manera sistemática el proceso de producción de *Pleurotus* spp., con el fin de identificar los insumos críticos, los parámetros de control de calidad (CTQ), los tiempos de ciclo y el porcentaje de valor agregado, lo cual permitió establecer un diagnóstico integral del flujo productivo y sus puntos de mejora, asegurando la viabilidad técnica y económica del proceso.

Para ello, se elaboró un diagrama SIPOC que describe de manera de alto nivel los proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes del sistema productivo, incluyendo los parámetros críticos de calidad (CTQ) que aseguran la viabilidad del cultivo. Paralelamente, se construyó un mapeo detallado del proceso de cultivo, en el que se registraron los tiempos de ciclo, la fiabilidad de cada etapa y el porcentaje de valor agregado. Ambos esquemas fueron analizados de manera conjunta para identificar cuellos de botella, etapas con bajo valor agregado y puntos críticos de control, lo que permitió formular propuestas de mejora fundamentadas en criterios de costo-beneficio.

La **Figura 18** representa el diagrama SIPOC, el cual permitió visualizar la secuencia de actividades críticas y los parámetros de control que determinan la calidad del producto final.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

NUM	PROVEEDORES	ENTRADAS	PROCESOS	SALIDAS	CLIENTES	¿CTQ?
1	OLOTE, PAJA, BOLSAS Y SEMILLAS DE MICELIO					PICADO DE OLOTE Y PAJA
2	RESIDUOS AGROINDUSTRIALES					FERMENTACIÓN
3	PICADO DE OLOTE Y PAJA					3.5% CAL (RESPECTO AL PISO TOTAL DEL SUSTRATO), 5 L DE AGUA POR CADA 2 KG DE SUSTRATO.
4	FERMENTACIÓN					LA TEMPERATURA DEL AUTOCLAVE DEBE LLEGAR A 121°C.
5	PASTEURIZACIÓN EN AUTOCLAVE Y ESCURRIDO					INOCULACIÓN
6	VACIADO EN BOLSAS DE CULTIVO					EL SUSTRATO NO DEBE REVASAR 30°C AL MOMENTO DE LA INOCULACIÓN. 100g. DE INÓCULO POR CADA 5 KG DE SUSTRATO.
7	INOCULACIÓN					PERFORACIÓN Y EXPOSICIÓN A LUZ PARA PROPICIAR EL CRECIMIENTO
8	ALMACENAMIENTO EN CONDICIONES ÓPTIMAS DE HUMEDAD, LUZ Y TEMPERATURA					REGADO CONSTANTE
9	PERFORACIÓN Y EXPOSICIÓN A LUZ PARA PROPICIAR EL CRECIMIENTO					RECOLECCIÓN EN PUNTO ÓPTIMO
10	REGADO CONSTANTE					CLIENTE FINAL

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Figura 18. SIPOC del proceso de cultivo de *Pleurotus* spp.

Se identificaron como puntos críticos la fermentación, donde es indispensable mantener la proporción adecuada de olote y paja junto con la adición de cal y agua; la pasteurización, que requiere alcanzar una temperatura de 121 °C en autoclave; la inoculación, que debe realizarse con el sustrato a menos de 30 °C y con la dosis correcta de inóculo; y la recolección en punto óptimo, que determina la calidad comercial y la vida útil del producto. El análisis del SIPOC evidenció que la mayor complejidad se concentra en las etapas de fermentación, inoculación e incubación, donde los parámetros deben mantenerse dentro de rangos estrictos para asegurar la productividad y calidad de las setas.

En la **Figura 19** puede observarse el mapeo del proceso elaborado.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

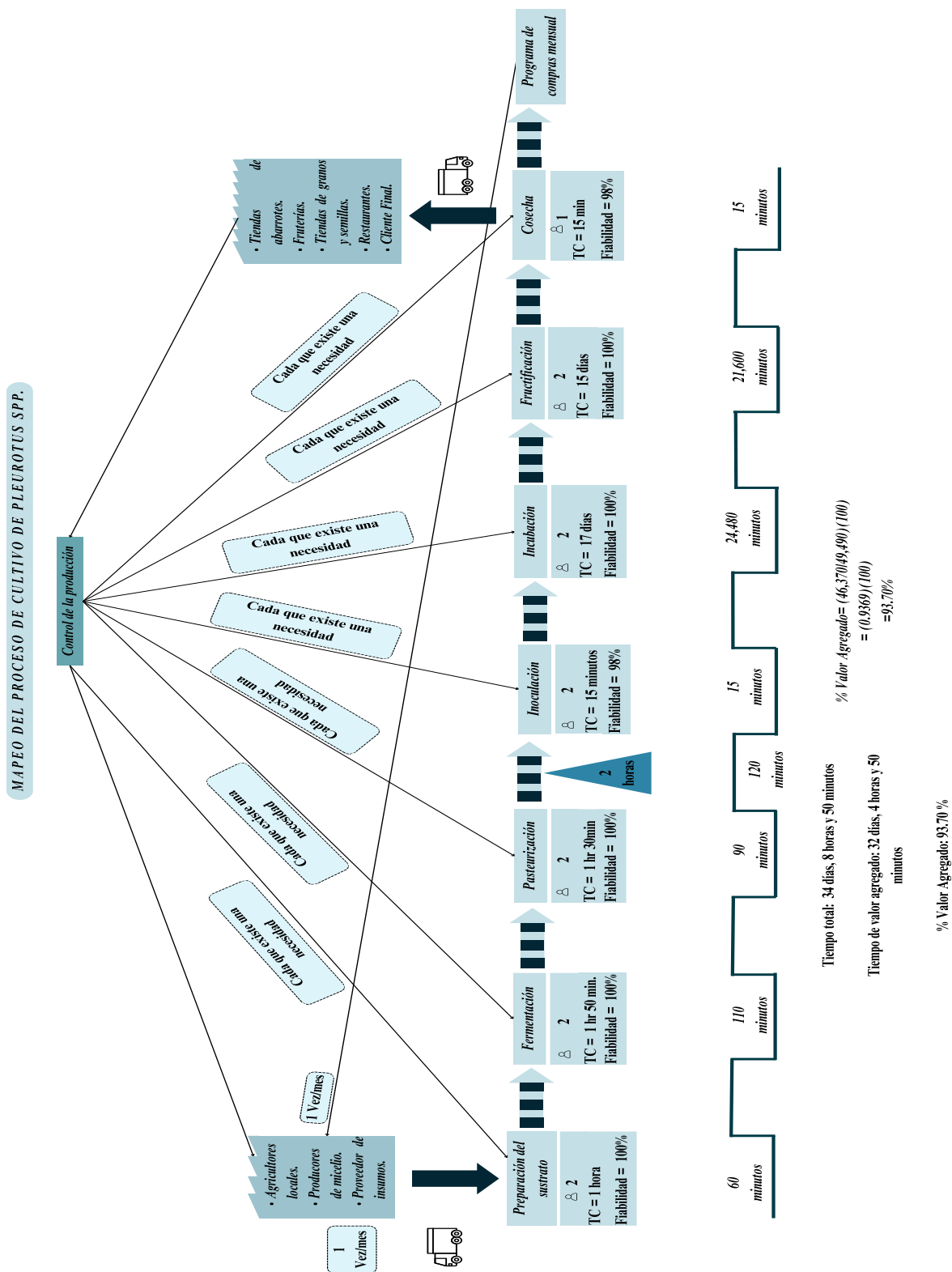


Figura 19. Mapeo del proceso de cultivo de *Pleurotus* spp.

Este mapeo permitió cuantificar los tiempos y la fiabilidad de cada etapa, mostrando que el proceso completo requiere 34 días, 8 horas y 50 minutos, de los cuales 32 días, 4 horas y 50 minutos corresponden a actividades de valor agregado, lo que representa un 93.7%. Las etapas más prolongadas fueron la incubación, con una duración de 17 días, y la fructificación, con 15 días, que en conjunto representan más del 70% del tiempo total del proceso. En contraste, las etapas iniciales como la preparación del sustrato, la pasteurización y la inoculación, aunque son de corta duración, implican un alto consumo energético y de mano de obra, lo que las convierte en candidatas estratégicas para la automatización.

Adicionalmente, el análisis del Tiempo de Conducción evidencia que existe un margen significativo de mejora mediante la reducción de tiempos de espera, traslados y periodos no productivos asociados a la gestión del proceso. Su optimización a través de una mejor programación, control ambiental automatizado y la estandarización operativa, permitirá disminuir el ciclo total de producción sin comprometer la calidad del producto. Esta reducción del Tiempo de Conducción impactará directamente en el aumento de la capacidad productiva, una mayor rotación de lotes y, en consecuencia, en la mejora de la rentabilidad y las ganancias del sistema productivo.

El análisis conjunto del SIPOC y del mapeo del proceso permitió visualizar la cadena de valor del cultivo de *Pleurotus* spp. y reconocer los parámetros críticos de calidad que deben ser controlados para garantizar la productividad. Se concluye que, aunque el sistema presenta un porcentaje elevado de valor agregado, los principales cuellos de botella se encuentran en las fases de incubación y fructificación, que concentran la mayor parte del tiempo total. Asimismo, las etapas iniciales, pese a su corta duración, son intensivas en recursos y representan un área de oportunidad para la automatización. La optimización del proceso requiere tanto la digitalización del control ambiental en las fases largas como la mecanización de las etapas de preparación y pasteurización, lo que asegura una mejora significativa en términos de costo-beneficio y fortalece la viabilidad agroindustrial del sistema.

4.4 EXPLORACIÓN DEL POTENCIAL DE AUTOMATIZACIÓN E INTEGRACIÓN TECNOLÓGICA

4.4.1 Síntesis de las tendencias de automatización

La revisión documental permitió identificar un conjunto de tecnologías emergentes basadas en sensores IoT, inteligencia artificial (IA), aprendizaje automático (ML) y visión por computadora, que han sido aplicados en sistemas agrícolas y, de manera particular, en el cultivo de hongos.

La **Tabla 15** muestra un resumen de las principales aplicaciones, tecnologías implementadas y beneficios observados.

Tabla 15. Principales tecnologías.

Aspecto Clave	Tecnologías Implementadas (IA/IoT/ML)	Beneficios y Capacidades	Fuente
Monitoreo y Control Ambiental	Sensores IoT (temperatura, humedad, CO ₂ , luz), Microcontroladores (Arduino, ESP32), Algoritmos ML.	Mantenimiento óptimo de condiciones de crecimiento, automatización del riego y ventilación, aumento de la productividad y eficiencia.	Guragain et al., 2024; Crespín et al., 2024; Perdomo, 2023; Jiménez-Ramos, 2025; Rehman & Sarwar, 2025
Detección y Gestión de Plagas/Enfermedades	Visión por Computadora (cámaras avanzadas), Algoritmos de IA (reconocimiento de patrones), Modelos de Deep Learning (CNN, DenseNet201, NASNetMobile, U2-Net).	Identificación temprana de amenazas, alertas rápidas, reducción de pérdidas de cultivos, sugerencias de remedios.	Guragain et al., 2024; Taupa et al., 2025; Chalaco et al., 2025
Clasificación de	Algoritmos de Machine Learning (J48, Decision Tree,	Clasificación precisa de hongos	Taupa et al., 2025; Castrillón et al., 2023;

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Hongos	SVM, Random Forest, Naive Bayes), Procesamiento de imágenes.	(comestibles/venenosos), alta efectividad (hasta 99.76%).	Guragain et al., 2024; Perdomo, 2023
Optimización de Cosecha	Machine Learning (YOLOv8), Sensores IoT, Análisis de imágenes.	Predicción de la madurez para la cosecha, mejora de la eficiencia y calidad del producto, abordaje de la escasez de mano de obra.	Taupa et al., 2025; Janaki-Prasad et al., 2024
Optimización de la Cadena de Suministro	Dispositivos IoT, Algoritmos de Machine Learning, Plataformas de datos en tiempo real.	Trazabilidad completa del producto, gestión eficiente del inventario, reducción de desperdicios y huella de carbono.	Taupa et al., 2025
Soporte al Agricultor y Comercio	Plataformas IoT centralizadas (web/móvil), Agro-eCommerce, Sistemas de soporte de decisiones.	Comunicación directa con expertos, facilitación de la venta de productos, eliminación de intermediarios.	Guragain et al., 2024;

Se destaca que los sensores IoT y los microcontroladores (Arduino, ESP32) han sido ampliamente utilizados para el monitoreo de variables ambientales críticas como humedad, temperatura, dióxido de carbono y luz, lo que permite mantener condiciones óptimas para el crecimiento y reducir la dependencia de la supervisión manual. Asimismo, los avances en modelos de IA y ML han facilitado la detección temprana de plagas y enfermedades mediante algoritmos de visión por computadora, alcanzando niveles de precisión superiores al 95%. Estos sistemas permiten la identificación inmediata de amenazas, lo que reduce las pérdidas en la producción. Por otro lado, herramientas como YOLOv8 y redes neuronales convolucionales (CNN) han demostrado ser útiles en la predicción del momento óptimo de cosecha, contribuyendo a mejorar la eficiencia y la calidad del producto.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Otro hallazgo relevante corresponde a la optimización de la cadena de suministro, donde los sistemas IoT integrados con algoritmos de ML permiten trazabilidad completa, gestión de inventario y reducción de desperdicios, alineándose con modelos de negocio sostenibles y competitivos. Finalmente, el uso de plataformas digitales facilita la comunicación entre productores, consumidores y expertos, eliminando intermediarios y favoreciendo la competitividad comercial.

Estos resultados evidencian que la automatización agrícola aplicada al cultivo de *Pleurotus* spp. no solo es técnicamente viable, sino que constituye una ventaja estratégica para incrementar la eficiencia, reducir costos operativos y mejorar la calidad del producto final.

4.4.2 Variables críticas susceptibles de automatización

A partir de la revisión documental y del análisis de la cadena de valor del cultivo de *Pleurotus* spp., se identifican las variables críticas que determinan la productividad y calidad del hongo, y que, por tanto, son susceptibles de ser controladas mediante sistemas automatizados.

Las principales variables son:

- **Humedad relativa (HR):** Mantener niveles entre 70–90% es esencial para evitar la deshidratación del micelio y promover la formación de primordios.
- **Temperatura:** El rango óptimo varía según la fase (vegetativa: 25–28 °C; reproductiva: 18–22 °C). Las desviaciones afectan la colonización y el rendimiento.
- **Concentración de CO₂:** La acumulación de este gas puede inhibir la formación de cuerpos fructíferos; su monitoreo mediante sensores es clave para garantizar una ventilación adecuada.
- **Intensidad y espectro lumínico:** La calidad de la luz influye en la inducción de primordios y el desarrollo morfológico de los cuerpos fructíferos.
- **pH y composición del sustrato:** Aunque en menor medida que las anteriores, su control impacta en la eficiencia biológica y la tasa de colonización.

En la **Figura 20** se presenta un diagrama conceptual elaborado a partir de la información sintetizada de Ovalle-Ruiz (2025), donde se representan las principales variables críticas del cultivo de *Pleurotus* spp. y su relación con las etapas productivas.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Variables críticas en el cultivo de *Pleurotus* spp.

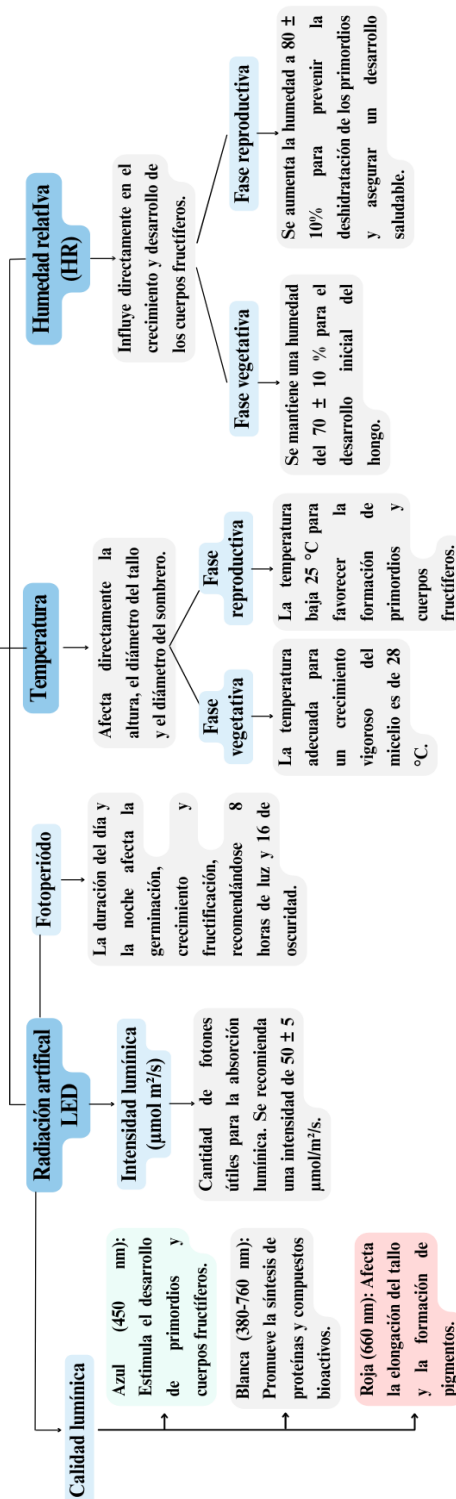


Figura 20. Variables críticas del cultivo de *Pleurotus* spp. susceptibles de automatización

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

El esquema enfatiza la importancia de un sistema automatizado que integra sensores y algoritmos de control, capaces de ajustar las condiciones en tiempo real según la fase de desarrollo del cultivo. La identificación de estas variables constituye la base para diseñar estrategias preliminares de automatización, donde la integración de sensores IoT, sistemas de monitoreo remoto y herramientas de IA no solo garantizará un control más preciso del entorno productivo, sino que también incrementará la competitividad del modelo de negocio al reducir costos y aumentar la eficiencia operativa.

4.4.3 Análisis de viabilidad de incorporación tecnológica

Se llevó a cabo un análisis con el propósito de determinar la eficacia y factibilidad de incorporar sensores, actuadores y sistemas de monitoreo remoto en cada etapa del proceso de cultivo de *Pleurotus* spp. Esto con la finalidad de identificar oportunidades de automatización que reduzcan la variabilidad asociada a la intervención humana y que fortalezcan la eficiencia agroindustrial del sistema.

Para ello se evaluaron las etapas críticas del proceso productivo (preparación del sustrato, fermentación, pasteurización, inoculación, incubación, fructificación y cosecha) identificando los puntos de control más sensibles. Para cada etapa se propusieron tecnologías específicas de sensores, actuadores y monitoreo remoto, considerando su costo estimado, beneficio esperado y el impacto estratégico en la productividad y calidad final.

El resultado del análisis se sintetiza en la **Tabla 16** que resume las tecnologías propuestas y su impacto en el proceso:

Tabla 16. Viabilidad de incorporación de sensores, actuadores y monitoreo remoto en el cultivo de *Pleurotus* spp.

Etapas del proceso	Tecnologías propuestas	Costo estimado	Beneficio esperado	Impacto estratégico
Preparación del sustrato	Sensores de humedad y temperatura; actuadores dosificadores de agua y cal.	Moderado	Homogeneidad en la mezcla, reducción de errores humanos, ahorro de insumos.	Mejora inicial de calidad y reducción de desperdicios.
Fermentación	Sensores de pH, temperatura y humedad; actuadores de ventilación y humidificación;	Alto	Control en tiempo real, reducción de pérdidas por fermentaciones defectuosas.	Asegura estabilidad del sustrato y uniformidad del proceso.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

	monitoreo remoto.			
Pasteurización	Sensores de presión y temperatura conectados a sistemas digitales; actuadores de regulación automática.	Moderado-alto	Garantía de esterilización, reducción de riesgo de contaminación.	Crítico para inocuidad y productividad.
Inoculación	Sensores de temperatura en sustrato; actuadores dosificadores de micelio.	Moderado	Estandarización de dosis y condiciones, reducción de fallas.	Asegura éxito de colonización del micelio.
Incubación	Sensores de humedad, temperatura y CO ₂ ; actuadores de ventilación y calefacción; monitoreo remoto.	Alto	Crecimiento uniforme, reducción de variabilidad, detección temprana de desviaciones.	Etapla crítica: mayor impacto en productividad.
Fructificación	Sensores de humedad ambiental y luminancia; actuadores de riego automatizado y control de iluminación.	Moderado	Cumplimiento automático de riego y exposición a luz, mejora de calidad comercial.	Alta viabilidad: asegura rendimiento y calidad final.
Cosecha	Sensores de peso y cámaras de visión artificial para madurez.	Alto	Determinación objetiva del punto óptimo de recolección, reducción de pérdidas.	Innovación estratégica: estandarización de calidad y eficiencia logística.

La incorporación de tecnologías digitales es viable en todas las etapas del proceso. Las fases de incubación y fructificación destacan por su impacto estratégico, dado que concentran la mayor variabilidad y duración del ciclo productivo. La automatización de etapas iniciales como preparación, pasteurización e inoculación asegura la estandarización de parámetros críticos, mientras que la cosecha incorpora innovación avanzada que fortalece la calidad y la eficiencia logística.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

El estudio confirma que la integración de sensores, actuadores y sistemas de monitoreo remoto es factible y altamente beneficiosa para el cultivo de *Pleurotus* spp. La relación costo-beneficio resulta favorable, ya que la inversión en tecnologías de automatización se traduce en mayor productividad, reducción de pérdidas y mejora de la calidad final del producto. En conjunto, estas innovaciones consolidan la viabilidad agroindustrial del sistema y abren la posibilidad de escalar el modelo hacia procesos más digitalizados y competitivos.

4.4.4 Consulta técnica

Se llevo a cabo una consulta técnica con especialistas en el tema, esto con el objetivo de fortalecer el diseño metodológico y operativo del proyecto, garantizando tanto la validez científica del cultivo de *Pleurotus* spp. como la viabilidad mecánica de los procesos de automatización propuestos. Durante las reuniones con especialistas del Laboratorio de Biotecnología Fúngica y con personal de ingeniería en mecatrónica se discutieron aspectos críticos del cultivo, incluyendo condiciones de inoculación, sustratos y control ambiental, además de la revisión de componentes mecánicos y automatizados que podrían integrarse en el sistema productivo.

Como resultado, se lograron aclarar dudas técnicas relacionadas con el manejo biológico del hongo y se identificaron requerimientos específicos para la implementación de mecanismos automatizados. Asimismo, se obtuvieron recomendaciones prácticas sobre puntos críticos de control en el proceso de cultivo y sobre la factibilidad de adaptar sistemas mecatrónicos para optimizar la producción.

La experiencia permitió confirmar la pertinencia de los procedimientos biológicos empleados y evidenció la necesidad de integrar soluciones mecánicas que garanticen mayor eficiencia y estandarización en el cultivo. Se concluye que la colaboración interdisciplinaria entre biotecnología y mecatrónica constituye un elemento esencial para asegurar la viabilidad técnica y productiva del sistema propuesto.

4.4.5 Concepto de la estrategia de automatización

El diseño conceptual de la estrategia de automatización se elaboró con el propósito de optimizar el sistema productivo de *Pleurotus* spp., atendiendo la necesidad de incrementar la eficiencia operativa, asegurar la estabilidad de las condiciones ambientales y facilitar la escalabilidad del proceso sin perder consistencia.

En su construcción se integraron análisis de las etapas críticas del cultivo, identificando oportunidades de automatización parcial y total. Se definieron componentes tecnológicos clave (sensores ambientales, actuadores, controladores de bajo costo y software de monitoreo) y se establecieron lineamientos para la infraestructura física necesaria en cada fase. El esquema incluyó la preparación del sustrato, inoculación,

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

incubación, fructificación, cosecha y postcosecha, con propuestas específicas de automatización adaptadas a las características de cada etapa.

En la **Tabla 17** se puede observar el desglose de cada etapa del proceso productivo, los procesos clave involucrados, el nivel de automatización propuesto y los componentes tecnológicos sugeridos para su implementación:

Tabla 17. Estrategias de automatización propuestas

Etapas	Procesos clave	Estrategia de automatización	Componentes propuestos
Preparación del sustrato	Mezcla, hidratación, pasteurización.	Automatización parcial con control de temperatura y humedad.	Sensores de humedad y temperatura; controladores PLC básicos; resistencias eléctricas o calderas automatizadas.
Inoculación	Introducción de micelio al sustrato.	Automatización limitada (requiere manipulación estéril).	Cabinas de flujo laminar con ventilación controlada; dosificadores semiautomáticos de micelio.
Incubación	Desarrollo del micelio en bolsas.	Automatización total del ambiente.	Sensores de CO ₂ , temperatura y humedad; sistemas HVAC con control automático; software SCADA para monitoreo remoto
Fructificación	Inducción de primordios y crecimiento.	Automatización total del microclima.	Nebulizadores ultrasónicos; iluminación led programable; ventilación controlada con variadores de frecuencia.
Cosecha	Recolección de cuerpos fructíferos.	Automatización parcial (difícil mecanizar sin dañar producto).	Herramientas ergonómicas; sistemas de registro digital de rendimiento.
Postcosecha y empaque	Clasificación, almacenamiento, empaque.	Automatización parcial con apoyo de visión artificial.	Bandas transportadoras; cámaras de visión artificial para clasificación; selladoras automáticas.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

El resultado fue un plan conceptual que delimita las áreas prioritarias de intervención, proponiendo soluciones como el control automatizado del microclima en incubación y fructificación, la incorporación de sistemas SCADA para monitoreo centralizado, y el uso de visión artificial en clasificación y empaque. Asimismo, se planteó una estrategia modular y escalable que permite iniciar con la automatización ambiental y expandirse progresivamente hacia procesos más complejos, considerando la disponibilidad de tecnologías accesibles en el contexto local.

La automatización en el cultivo de *Pleurotus* spp. es técnica y económicamente viable, especialmente en las fases de incubación y fructificación, donde el control ambiental resulta determinante para la productividad. La propuesta constituye una base sólida para la implementación gradual de soluciones automatizadas, orientando la inversión tecnológica hacia puntos de mayor impacto y asegurando la capacitación del personal en la operación de sistemas básicos de control. Con ello, se sientan las bases para un modelo productivo más eficiente, competitivo y sostenible.

4.4.6 Costos preliminares y beneficios proyectados

La evaluación conceptual de la estrategia de automatización parcial en el sistema productivo de *Pleurotus* spp. permitió establecer una estimación preliminar de los costos asociados a la implementación de tecnologías accesibles y adaptadas al contexto local, así como los beneficios esperados en términos de eficiencia, calidad y reducción de pérdidas.

La inversión inicial se calculó en un rango de \$80,000–\$150,000 MXN, considerando la adquisición de sensores ambientales, controladores, sistemas HVAC, nebulizadores ultrasónicos, iluminación LED programable, software de monitoreo, cabina de flujo laminar e infraestructura eléctrica.

A continuación, se presenta la **Tabla 18**, donde se detallan los rubros y rangos de costos estimados para la automatización parcial:

Tabla 18. Costos preliminares de automatización parcial

Rubro	Descripción	Costo estimado (MXN)	Fuente
Sensores ambientales	Temperatura, humedad, CO ₂ .	\$8,000 – \$15,000	Jiménez-Ramos (2025)
Controladores	PLCS o	\$5,000 – \$12,000	Marín-Castro et al. (2018)

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

	microcontroladores.		
Sistema HVAC	Ventilación y climatización.	\$20,000 – \$40,000	Champy Academy (2023)
Nebulizadores ultrasónicos	Control de humedad.	\$6,000 – \$10,000	Zetina-Córdoba et al. (2020)
Iluminación led	Estímulo de fructificación.	\$3,000 – \$6,000	Aguilar-Ventura et al. (2024)
Software de monitoreo	SCADA o IoT.	\$5,000 – \$10,000	Jiménez-Ramos (2025)
Cabina de flujo laminar	Inoculación estéril.	\$10,000 – \$20,000	Marín-Castro et al. (2018)
Instalación eléctrica	Cableado y montaje.	\$15,000 – \$30,000	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2023)
Total estimado	Automatización parcial.	\$80,000 – \$150,000	Elaboración propia

Los costos reflejan una inversión inicial significativa, pero distribuida en componentes críticos para garantizar la estabilidad del sistema productivo. La mayor proporción corresponde al sistema HVAC y la infraestructura eléctrica, lo cual evidencia que el control ambiental es el eje central de la automatización. Estos valores se obtuvieron a partir de cotizaciones de mercado nacional y experiencias documentadas en proyectos de automatización agroindustrial en México y Latinoamérica.

La implementación de la automatización parcial se asocia con beneficios directos en eficiencia operativa, calidad del producto y reducción de pérdidas. Se estima un incremento en el rendimiento de 15–25% por lote, acompañado de una reducción de pérdidas cercana al 15%, gracias al control preciso de las condiciones ambientales.

En la **Tabla 19** se sintetizan los beneficios esperados y su impacto estimado en el sistema productivo:

Tabla 19. Beneficios proyectados de la automatización parcial

Categoría	Beneficio esperado	Impacto estimado	Fuente
Eficiencia operativa	Reducción de tiempos de monitoreo y ajustes manuales.	+30–50%	Aguilar-ventura et al. (2024)
Calidad y rendimiento	Mayor tasa de fructificación y menor contaminación.	+15–25%	Zetina-Córdoba et al. (2020)
Reducción de pérdidas	Menor variabilidad y ahorro en insumos.	–15%	Marín-Castro et al. (2018)
Escalabilidad	Replicabilidad modular en otras unidades.	Alta	Robledo & Catania (2025)

Los beneficios proyectados muestran que la automatización parcial tiene un impacto positivo en la productividad y la calidad del cultivo. La eficiencia operativa se incrementa notablemente al reducir la necesidad de supervisión manual, mientras que la estabilidad ambiental favorece la formación de primordios y la reducción de contaminaciones. Estos datos se derivan de experiencias previas documentadas en literatura académica sobre producción de *Pleurotus* spp. y reportes técnicos de proyectos de automatización agroindustrial en México y Latinoamérica. La estimación de costos y beneficios proyectados confirma la viabilidad técnica y económica de la automatización parcial en incubación y fructificación. Aunque la inversión inicial es significativa, los beneficios en rendimiento, eficiencia y reducción de pérdidas justifican su implementación progresiva, con un periodo de recuperación estimado de 12 a 18 meses.

4.4.7 Recomendaciones para la vinculación económica de la automatización

La evaluación costo-beneficio permitió determinar la pertinencia de vincular la automatización parcial en las etapas críticas de incubación y fructificación con la viabilidad económica del negocio de *Pleurotus* spp. El análisis se orientó a identificar estrategias que, además de optimizar el proceso productivo, aseguren la sostenibilidad financiera y la competitividad en mercados de mayor valor.

Se diseñaron recomendaciones estratégicas que abarcan desde la implementación modular de tecnologías hasta la integración de sistemas de monitoreo digital y la vinculación con estrategias comerciales.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Estas acciones se fundamentan en la reducción de riesgos financieros, el incremento en la productividad y la posibilidad de acceder a mercados diferenciados mediante la mejora en calidad y trazabilidad del producto.

A continuación, se presenta la **Tabla 20**, que sintetiza las estrategias de automatización vinculadas con la viabilidad económica del negocio:

Tabla 20. Estrategias de automatización vinculadas a la viabilidad económica del negocio

Estrategia	Beneficio económico	Aplicación local
Implementación modular y progresiva	Reduce riesgo financiero al distribuir la inversión en fases; recuperación escalonada de costos.	Módulos pequeños replicables en distintas unidades productivas.
Optimización del control ambiental	Disminuye pérdidas por contaminación y variabilidad; incremento de hasta 25% en rendimiento.	Uso de sensores y equipos accesibles en mercado nacional.
Integración de sistemas de monitoreo digital	Reducción de costos operativos al disminuir supervisión manual; mayor trazabilidad.	Capacitación básica en plataformas abiertas (Node-RED, Grafana).
Vinculación con la estrategia comercial	Mejora calidad y consistencia del producto; acceso a mercados diferenciados y precios más altos.	Certificaciones de calidad y etiquetado inteligente.
Evaluación financiera continua	Ajuste dinámico de la estrategia; recuperación estimada en 12–18 meses.	Indicadores ROI y balances costo-beneficio simplificados.
Alianzas y capacitación	Reducción de costos de adquisición y mantenimiento; acceso a financiamiento compartido.	Convenios con universidades y programas de extensión agrícola.

Las estrategias propuestas no solo buscan optimizar el proceso productivo mediante control ambiental y monitoreo digital, sino también garantizar la sostenibilidad financiera a través de fases de inversión, reducción de pérdidas y acceso a mercados de mayor valor. La pertinencia local se refuerza al considerar tecnologías

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

disponibles en México y la posibilidad de establecer alianzas con instituciones académicas y programas de extensión agrícola.

En conjunto, los resultados muestran que la automatización parcial, aplicada de manera modular y vinculada a estrategias comerciales y financieras, constituye un motor de competitividad y sostenibilidad para el negocio de *Pleurotus* spp. La inversión inicial se convierte en una palanca estratégica que asegura la recuperación en el mediano plazo y fortalece la posición del producto en mercados especializados.

V. CONCLUSIONES

El análisis integral realizado confirma la hipótesis planteada: la incorporación de sistemas de automatización inteligente en el control de variables críticas del cultivo de *Pleurotus* spp.; como temperatura, humedad, iluminación y ventilación, junto con el aprovechamiento de sustratos agroindustriales locales, constituye un factor determinante para incrementar la eficiencia productiva y mejorar la rentabilidad frente a los sistemas tradicionales.

Los resultados económicos evidencian que, bajo escenarios moderados y optimistas, la producción a mediana escala en Aguascalientes es viable, alcanzando márgenes de utilidad superiores al 15% y una recuperación de inversión en menos de dos años en condiciones favorables. Asimismo, el estudio de mercado mostró una aceptación creciente del producto y la posibilidad de consolidar canales de distribución competitivos, mientras que el análisis tecnológico demostró la pertinencia de integrar sensores y sistemas de monitoreo remoto para reducir pérdidas y estandarizar procesos.

No obstante, las limitaciones del proyecto se relacionan con la escala de análisis y la imposibilidad de implementar físicamente prototipos de automatización, lo que restringe la validación práctica de las propuestas. Además, factores externos como la variabilidad en precios de insumos, energía y agua, así como la falta de estudios sobre la percepción cultural del consumo de setas en la región, quedaron fuera del alcance de esta investigación, pero representan áreas de interés para futuros trabajos.

En síntesis, el cultivo de *Pleurotus* spp. bajo un enfoque de automatización inteligente se perfila como una alternativa técnica y económicamente viable para diversificar la producción agroindustrial en Aguascalientes, ofreciendo oportunidades de innovación, sostenibilidad y competitividad que pueden ser ampliadas mediante investigaciones posteriores orientadas a la implementación práctica y la evaluación sociocultural del modelo productivo.

VI. REFERENCIAS

- Aggarwal, N., Singh, D., & Singh, A. (2024). An optimized IoT based framework for enhancing mushroom cultivation. *International Journal Of Information Technology*, 17(2), 1119-1126. <https://doi.org/10.1007/s41870-024-02343-6>
- Aguilar-Ventura, D. A., Llarena-Hernández, R. C., Serna-Lagunes, R., Aguilar-Rivera, N., Zetina-Córdoba, P., & Mata, G. (2024). Sistema productivo de hongos *Pleurotus* spp. (Agaricales: pleurotaceae): diagnóstico con productores de la región Las Montañas, Veracruz, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 1-13. <https://doi.org/10.30973/aap>
- Aguilar-Ventura, D. A., Serna-Lagunes, R., Aguilar-Rivera, N., De Oca, G. M. M., Zetina-Córdoba, P., & Hernández, R. C. L. (2025). Productive capacity of native strains of *Pleurotus djamor* in Veracruz, Mexico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 12(1). <https://doi.org/10.19136/era.a12n1.4115>
- Aimable, N., Mediatrice, H., Claude, I., Biregeya, J., Hu, Y., Zhou, H., Liu, P., Li, J., Lin, Z., Lu, G., & Lin, D. (2025). Enzymatic Activity and Nutrient Profile Assessment of Three *Pleurotus* Species Under Pasteurized *Cenchrus fungigraminus* Cultivation. *Current Issues In Molecular Biology*, 47(3), 143. <https://doi.org/10.3390/cimb47030143>
- Albuja-Narváez, R., Álvarez-Sánchez, A. R., & Reyes-Pérez, J. J. (2024). Evaluation of agricultural waste, as a substrate for the artisanal production of the Oyster Mushroom (*Pleurotus Ostreatus*). *CEDAMAZ*, 14(1), 14-17. <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v14i1.1593>
- Barauskas, R., Kriščiūnas, A., Čalnerytė, D., Pilipavičius, P., Fyleris, T., Daniulaitis, V., & Mikalauskis, R. (2022). Approach of AI-Based Automatic Climate Control in White Button Mushroom Growing Hall. *Agriculture*, 12(11), 1921. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111921>
- Carrera-Rosales, L. R. (2021). *Evaluación del crecimiento y producción de Pleurotus ostreatus sobre diferentes sustratos de origen arbóreo* [Tesis de licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/65e4dd19-debc-440c-a20a-3c0cdfaae7f2/content>
- Carrillo Nieves, D. (2023, 14 julio). *El valor oculto en los desechos: La riqueza de los residuos agroindustriales en México, una oportunidad sostenible*. Blog de Sostenibilidad Tec | Tecnológico de Monterrey.

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

<https://blogsostenibilidad.tec.mx/es/vida-sostenible/el-valor-oculto-en-los-desechos-la-riqueza-de-los-residuos-agroindustriales-en-mexico-una-oportunidad-sostenible>

- Castrillón, O. D., Arango, J. A., & Ossa, L. F. C. (2023). Clasificación de hongos por medio de aprendizaje automático. *Información Tecnológica*, 34(1), 151-162. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642023000100151>
- Champy Academy. (2023, 14 junio). *Sistemas automáticos en el cultivo de hongos*. ChampyAcademy. <https://www.champyacademy.com/sistemas-automaticos-cultivo-hongos/>
- Chaurasia, P. (2020). Recent Studies on Biotechnological Roles of *Pleurotus* spp. *Biotechnology And Bioprocessing*, 1(3), 01-03. <https://doi.org/10.31579/2766-2314/018>
- Chutimanukul, P., Phetkaew, P., Sukdee, S., Thepsilvisut, O., & Ehara, H. (2025). Comparison of Growth, Yield, and Carbon Dioxide Emission After Cultivation of Five Edible Mushrooms. *Resources*, 14(4), 55. <https://doi.org/10.3390/resources14040055>
- Crespín, J. L. G., Cárdenas, D. F. P., Álvarez, J. A. R., & Noblecilla, E. R. T. (2024). Revisión Sistematizada de la Evolución de la Ingeniería de Software en el Monitoreo y Control de Sistemas Hidropónicos de Flujo y Reflujo. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 2664-2681. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12514
- Dimopoulou, M., Chinou, I., & Gortzi, O. (2025). A Systematic Review of the Seven Most Cultivated Mushrooms: Production Processes, Nutritional Value, Bioactive Properties and Impact on Non-Communicable Diseases. *Agriculture*, 15(13), 1329. <https://doi.org/10.3390/agriculture15131329>
- García-Lagos, D., Torres-Mendoza, A., & Quezada-Téllez, L. A. (2025). Cultivo de setas: una perspectiva económica para inversionistas agroindustriales. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 11(21), 30-37. <https://doi.org/10.29057/icap.v11i21.12273>
- Global market statistics. (2025, 9 diciembre). *Pleurotus ostreatus Market size, share, growth, and industry analysis, by type (grey oyster mushroom, and white oyster mushroom), by application (edible, and medicinal), and regional forecast to 2033*. Global Market Statistics. <https://www.globalmarketstatistics.com/market-reports/pleurotus-ostreatus-market-13397>
- Gobierno de Aguascalientes. (2023, 9 diciembre). *Aumentaron apoyos a productores del campo en 2023*. InformacionAgs. <https://informacion.aguascalientes.gob.mx/news/aumentaron-apoyos-a-productores-del-campo-en-2023->

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

- Guragain, D. P., Shrestha, B., & Bajracharya, I. (2024). A low-cost centralized IoT ecosystem for enhancing oyster mushroom cultivation. *Journal Of Agriculture And Food Research*, 15, 100952. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100952>
- Holt, R. R., Munafo, J. P., Salmen, J., Keen, C. L., Mistry, B. S., Whiteley, J. M., & Schmitz, H. H. (2023). Mycelium: A Nutrient-Dense Food To Help Address World Hunger, Promote Health, and Support a Regenerative Food System. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 72(5), 2697-2707. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c03307>
- Hsu, C., Hameed, K., Cotter, V., & Liao, H. (2018). D.I.Y. FunGuide: Grow your own Oyster Mushrooms at Home. *EDIS*, 2018(1). <https://doi.org/10.32473/edis-ss662-2018>
- Hu, Y., Xue, F., Chen, Y., Qi, Y., Zhu, W., Wang, F., Wen, Q., & Shen, J. (2023). Effects and Mechanism of the Mycelial Culture Temperature on the Growth and Development of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. *Horticulturae*, 9(1), 95. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010095>
- INEGI. (2023, 21 noviembre). *Resultados definitivos del Censo Agropecuario 2022 en el estado de Aguascalientes*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CA_Def/CA_Def2022_Ags.pdf
- Janaki-Prasad, A., Kishore-Varma, P., & Bavana Keerthi, A. (2024). Artificial intelligence in mushroom farming. *Just Agriculture Multidisciplinary E-newsletter*, 5(4), 16-21. <https://justagriculture.in/wp-content/uploads/2024/12/04.-Artificial-Intelligence-in-Mushroom-Farming.pdf>
- Jiménez-Ramos, J. S. (2025). *Control de variables críticas en el cultivo de Pleurotus ostreatus* [Tesis de maestría, Tecnológico Nacional de México]. https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/9556/1/MI_Jazmin_Sarahi_Jim%C3%A9nez_Ramos_2025.pdf
- Marín-Castro, M. A., Ramos-Cassellis, M. E., Alonso-Calderón, A., & Ticante-Roldán, J. A. (2018). Tecnología limpia y sustentable para el cultivo del hongo *Pleurotus* SP. en comunidades rurales de Puebla, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 5(1), 34-43. <https://www.reibci.org/publicados/2018/feb/2700106.pdf>
- Martínez-Cañedo, J. (2012). *Cultivo de Pleurotus ostreatus en el Valle del Fuerte, Sinaloa: una alternativa de aprovechamiento de esquilmos agrícolas* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma Indígena de México]. <https://uaim.edu.mx/cgip/PDF/TESIS-JESUS-MARTINEZ-CANEDO.pdf>

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

- Mastranzo-Pérez, L. A., Hernández-Domínguez, E. M., Falcón-León, M. P., & Álvarez-Cervantes, J. (2025). *Pleurotus* spp: A cosmopolitan fungi of biotechnological importance. *Scientia Agropecuaria*, 16(1), 79-91. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2025.008>
- Melanouri, E., Diamantis, I., Dedousi, M., Dalaka, E., Antonopoulou, P., Papanikolaou, S., Politis, I., Theodorou, G., & Diamantopoulou, P. (2025). *Pleurotus ostreatus*: Nutritional Enhancement and Antioxidant Activity Improvement Through Cultivation on Spent Mushroom Substrate and Roots of Leafy Vegetables. *Fermentation*, 11(1), 20. <https://doi.org/10.3390/fermentation11010020>
- Moxley, A., Ebel, R., Cripps, C. L., Austin, C. G., Stein, M., & Winder, M. (2022). Barriers and Opportunities: Specialty Cultivated Mushroom Production in the United States. *Sustainability*, 14(19), 12591. <https://doi.org/10.3390/su141912591>
- Naher, L., Bakri, N. A. M., Sukhri, S. A. N. M., Hassan, N. R. N., Ganga, H. M. F., Zain, N. M., Rahman, N. A., Ch'ng, H. Y., & Mokhtar, S. I. (2024). Economical substrate formulation for mushroom cultivation and food production of mushroom crackers to reduce postharvest waste. *Studies In Fungi*, 9(1), 0. <https://doi.org/10.48130/sif-2024-0003>
- Nguyen, H. H., Shin, D., Jung, W., Kim, T., & Lee, D. (2024). An Integrated IoT Sensor-Camera System toward Leveraging Edge Computing for Smart Greenhouse Mushroom Cultivation. *Agriculture*, 14(3), 489. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030489>
- Niño-Ávila, D., Villalba-Orozco, M., Barraza-Amador, B., & Medina-Buelvas, A. M. (2021). *Pleurotus*: un hongo comestible con propiedades nutricionales, medicinales e importancia ambiental. *Microciencia*, 10, 134-148. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/microciencia/article/view/10084/9174>
- Ogwu, M. C., Chime, A. O., Sawyer, W. E., Izah, S. C., & Ovuru, K. F. (2025). Sustainable Agriculture and Environmental Monitoring through Edible Mushrooms. En *Reference series in phytochemistry* (pp. 1-28). https://doi.org/10.1007/978-3-031-52642-8_20-1
- Ovalle-Ruiz, T. M. (2024). *Sistema Biomecatrónico para la producción de pleurotus SPP: optimización mediante el control de las variables de radiación artificial multiespectral tipo LED, temperatura y humedad* [Tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga]. https://drive.google.com/file/d/1Htvgd8XffEj3BthmL_USsul93RIclmIV/view?usp=sharing

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

-
- Perdomo, É. J. M. (2023). Sistema Inteligente de automatización, monitoreo y control de invernaderos mediante uso de IoT y el microcontrolador ESP-32 con aplicación de aprendizaje automático. *Encuentro Internacional de Educación En Ingeniería*, 1-11. <https://doi.org/10.26507/paper.2818>
- Persing, O. L., Dionisio-Melo, E., Hermoza-Ayme, N. A., & Solórzano-Acosta, R. A. (2025). Guía para el cultivo del hongo comestible *Pleurotus* spp. utilizando ichu (Jarava ichu) como sustrato. *Instituto Nacional de Innovación Agraria* (INIA). <https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/bitstream/20.500.13036/2003/1/Gu%C3%A1%20para%20el%20cultivo%20del%20hongo%20comestible%20%20pleurotus%20utilizando%20el%20ichu.pdf>
- QY Research. (2025, 16 enero). *Global Pleurotus Ostreatus Market Research Report 2025*. <https://www.qyresearch.com/reports/3467873/pleurotus-ostreatus>
- Rehman, S. U., & Sarwar, M. S. (2025). Automated Mushroom Farming: An Energy-Efficient Digital Cultivation System. *Research Square*. Todavía no publicado. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6422555/v1>
- Robledo, G. L., & Del Valle Catania, M. (2025). Hongos comestibles en Latinoamérica: Saberes, normativas y oportunidades para una soberanía alimentaria y economías circulares inclusivas. *Lilloa*, 1-13. <https://doi.org/10.30550/j.lil/2219>
- Rodríguez, M. E., Domínguez, E. M. H., De Lucio, B. S. V., García, M. V., & Cervantes, J. Á. (2021). Productividad y análisis químico proximal de *pleurotus* spp. crecidos sobre bagazo de agave salamina como sustrato alternativo. *Agrociencia*, 55(7), 569-581. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i7.2604>
- Rodríguez-González, L. V., Martínez-Medina, G. A., Torres-Leon, C., Chávez-González, M. L., Lafuente-Rincón, D. F., González, J. R., Flores-Loyola, E., Aguilar, C. N., & Ramírez-Guzmán, N. (2025). Agroindustrial residues exploration to maximize metabolites production in fungal biocontrol co-culture. *Mexican Journal Of Biotechnology*, 10(2), 64-88. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2025.10.2.64-88>
- Ruan-Soto, F., Sánchez, J. E., Noyola-Méndez, L., Ramírez-Terrazo, A., Garibay-Orijel, R., & Cifuentes, J. (2025). Aprovechamiento de los hongos comestibles en México: una tradición que trasciende al futuro. *Lilloa*, 181-202. <https://doi.org/10.30550/j.lil/1822>
- Rukhiran, M., Sutanthavibul, C., Boonsong, S., & Netinant, P. (2023). IoT-Based Mushroom Cultivation System with Solar Renewable Energy Integration: Assessing the Sustainable Impact of the Yield and Quality. *Sustainability*, 15(18), 13968. <https://doi.org/10.3390/su151813968>

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

-
- Sahagún, F. V. (2020). Aprovechamiento sostenible de hongos comestibles; hacia una seguridad alimentaria. *Zenodo* (CERN European Organization For Nuclear Research), 2(5). <https://doi.org/10.5281/zenodo.4460452>
- Schilla, F., Mumladze, G., Soukupova, J., & Smutka, L. (2025). Economic analysis of *Agaricus bisporus* mushrooms production and the perspective of sharing economy. *Frontiers In Sustainable Food Systems*, 8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1415291>
- Secretaría De Agricultura Y Desarrollo Rural. (2023, 16 septiembre). *Desarrolla agricultura tecnología para aumentar producción de hongos silvestres comestibles*. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/desarrolla-agricultura-tecnologia-para-aumentar-produccion-de-hongos-silvestres-comestibles>
- Shin, H., Ro, H., Kawauchi, M., & Honda, Y. (2025). Review on mushroom mycelium-based products and their production process: from upstream to downstream. *Bioresources And Bioprocessing*, 12(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40643-024-00836-7>
- Sujatanagarjuna, A., Kia, S., Briechele, D. F., & Leiding, B. (2023). MushR: A Smart, Automated, and Scalable Indoor Harvesting System for Gourmet Mushrooms. *Agriculture*, 13(8), 1533. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081533>
- Taupa, G. J., Villarica, M. V., & Vinluan, A. A. (2025). Enhancing Oyster Mushroom Cultivation with Solar-Powered IoT and Machine Learning: Predicting Harvest Readiness. *Journal Of Information Systems Engineering & Management*, 10(33s), 451-458. <https://doi.org/10.52783/jisem.v10i33s.5551>
- Thakur, M. P., Singh, H. K., & Shukla, C. S. (2025). Current status and future prospects of mushroom cultivation and research in India: A review. *CABI Agriculture And Bioscience*. <https://doi.org/10.1079/ab.2025.0056>
- Vasco-Palacios, A. M., Peña-Cañón, R., Benavides, O. L., & Dávila-Giraldo, L. R. (2025). Hongos comestibles y desarrollo sostenible en Colombia. *Lilloa*, 223-251. <https://doi.org/10.30550/j.lil/1920>
- Vengoechea, F. (2023, 25 junio). Cultivo de pleurotus. Guía completa con 3 métodos diferentes. *Setas de Siecha*. <https://www.setasdesiecha.com/cultivo-de-pleurotus/>
- Zetina-Córdoba, P., Serna-Lagunes, R., & Aguilar-Ventura, D. A. (2020). Implicaciones biotecnológicas del cultivo de *Pleurotus*. *Revista BAC*, 17(1). <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/BAC/article/viewFile/5590/2295>

Análisis integral de la viabilidad económica, comercial y tecnológica del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) con enfoque hacia la automatización inteligente en el estado de Aguascalientes

Zhang, Y., Lu, Y., Li, Z., Xie, M., Wen, F., Li, J., Rensing, C., Azam, S. M., Chen, J., Luo, L., Yan, F., Okal, E. J., Aimable, N., Lin, Z., & Lin, D. (2025). Non-sterile substrate cultivation of oyster mushrooms on fresh Giant Juncao Grass: a scalable strategy for sustainable nutrition in underdeveloped regions. *Frontiers In Sustainable Food Systems*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1582869>