



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ÁREA ACADÉMICA DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

TÍTULO

**USO DE EXTRACTO DE SUSTRATO GASTADO DE *Pleurotus ostreatus* EN LA
ALIMENTACIÓN DE *Coturnix coturnix japonica***

Para obtener el grado de

Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia

PRESENTA:

Sánchez Carrillo David

Director:

Dr. Sergio Soto Simental

Co-Directora:

Dra. Maricela Ayala Martínez

Asesor:

MVZ. Jair Alain Cruz Pelcastre

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo., a 09 de marzo 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Academic Area of Veterinary Medicine and Zootecnia

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo., a 10 de marzo de 2026

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado

Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a la pasante de Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia **Sánchez Carrillo David**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **“USO DE EXTRACTO DE SUSTRATO GASTADO DE *Pleurotus ostreatus* EN LA ALIMENTACIÓN DE *Coturnix coturnix japonica*”**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

DIRECTOR Dr. Sergio Soto Simental
CODIRECTORA Dra. Maricela Ayala Martínez
ASESOR MVZ. Jair Alain Cruz Pelcastre

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
“Amor, Orden y Progreso”

Dra. Maricela Ayala Martínez
Coordinador del Programa de
Medicina Veterinaria y Zootecnia

C.c.p. Archivo

“Amor, Orden y Progreso”



Av. Universidad No. 133, Col. San Miguel Huatengo, Santiago
Tulantepec. C.P. 43775. Hidalgo, Mexico.
Teléfono: 7717172000 Ext. 42105
alfonso_munoz@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

Dedicatoria

Dedico la presente tesis, en primer lugar, a todos mis profesores, quienes a lo largo de mi formación académica me brindaron sus conocimientos, orientación y motivación, impulsándome a seguir adelante y a concluir de manera satisfactoria mi carrera profesional.

A mis padres, **Valentín Sánchez Mejía y Teresa Carrillo Soberanes** por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por estar presentes tanto en los momentos de éxito como en los de dificultad, y por ser el pilar fundamental que me permitió alcanzar esta meta.

A mi pareja **Abigail Evaristto Domínguez**, por su comprensión, paciencia y apoyo constante durante todo el proceso de mi formación profesional, acompañándome en los sacrificios y esfuerzos que implicó culminar esta etapa de mi vida.

A mi hermano, **Eduardo Carrillo Soberanes** por su apoyo moral y ánimo permanente a lo largo de mi carrera universitaria.

Finalmente, dedico este trabajo a mis compañeros de carrera, en especial a **Fuentes Mendoza Gerardo Miguel, Cárdenas Castelán Marco Antonio y Hernández Ramírez Erick Alejandro**, por el compañerismo, apoyo y momentos compartidos durante esta etapa académica.

Agradecimiento

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a la **Dra. Maricela Ayala Martínez** por todo el apoyo brindado durante el desarrollo de mi proyecto de investigación, el cual dio origen a la presente tesis. Agradezco profundamente su confianza, orientación y vocación, así como el respaldo otorgado para mi participación en el congreso realizado en Veracruz y la oportunidad de encargarme de la nave de aves, experiencia que fue fundamental para mi formación profesional.

De igual manera, agradezco al **Dr. Sergio Soto Simental** por todo el apoyo recibido a lo largo de mi proyecto de investigación, por los conocimientos compartidos, la paciencia y comprensión mostradas durante la entrega de reportes y resultados en el MEIEPA, así como por las asesorías que contribuyeron de manera significativa a la estructura y desarrollo de esta tesis. Gracias por su confianza y por ser un excelente asesor y profesor.

Agradezco al **MVZ Jair Alain Cruz Pelcastre** por la capacitación brindada y por compartir sus conocimientos para el adecuado manejo del MEIEPA. Gracias por el apoyo otorgado en momentos de adversidad, así como por su acompañamiento durante el proyecto de investigación, lo cual hizo posible la realización de esta tesis.

A la **Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo**, por brindarme el espacio, las instalaciones y las oportunidades necesarias para concluir de manera satisfactoria mi carrera universitaria, así como por el apoyo recibido durante mi servicio social y prácticas profesionales, contribuyendo de manera integral a mi formación profesional.

A mis padres, **Valentín Sánchez Mejía y Teresa Carrillo Soberanes**, por el apoyo económico y moral que me brindaron a lo largo de mi carrera universitaria, por las facilidades y comprensión otorgadas, y por permitirme cumplir con cada una de mis responsabilidades académicas hasta la culminación de este trabajo.

A mi pareja, **Abigail Evaristto Domínguez**, estudiante de MVZ, por su apoyo constante durante mi carrera, el desarrollo del proyecto de investigación y la elaboración de esta tesis. Gracias por su comprensión y paciencia durante el tiempo

y esfuerzo dedicados a mi formación profesional, siempre pensando en nuestro futuro.

Finalmente, agradezco a mis compañeros del módulo de aves: **Gerardo Efraín Castro Pérez**, por el apoyo brindado, el conocimiento práctico compartido, el trabajo en conjunto durante el proyecto de investigación y el compañerismo demostrado; y a mi compañero **José Carlos Ramírez Hernández** por la capacitación, los consejos, el apoyo técnico y el compromiso mostrado, así como por su apoyo en la administración del módulo de alimentos, asegurando en todo momento el suministro adecuado para las aves del módulo.

Contenido

Introducción.....	1
Objetivo general	3
Objetivos específicos	4
Justificación.....	5
Antecedentes	6
A. Producción de huevo de codorniz	6
Producción de Huevos de Codorniz	6
Manejo y condiciones del sistema productivo	6
Producción de huevos y rendimiento	7
Recolección y manejo de huevos.....	8
Perspectiva y mercados	8
B. Impacto de la fibra cruda en la productividad de codorniz japonesa	8
C. Sistema de producción de aves ponedoras de huevo.....	9
D. Calidad del huevo	10
E. Características generales de la producción de hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> 10	
F. Enzimas presentes en el sustrato gastado de <i>pleurotus ostreatus</i>	11
G. Uso de enzimas en alimentación de aves	12
Materiales y Métodos	14
Localización del área de estudio:.....	14
Obtención de los extractos enzimáticos	14
Determinación de la actividad enzimática del sustrato degastado de <i>Pleurotus ostreatus</i>	14
Xilanasas.....	14
Celulasas	15
Lacasas.....	15
Diseño del experimento.	15

Variables medidas.....	16
Análisis estadístico	16
Resultados y Discusión	17
Conclusiones.....	24
Literatura consultada	25

Índice de Tablas

Tabla 1. Consumo de alimento de codornices alimentadas con diferente cantidad de fibra bruta y enzimas extraídas del sustrato gastado de <i>Pleurotus oetreatus</i>	18
Tabla 2. Peso de codornices alimentadas con diferente cantidad de fibra bruta y enzimas extraídas del sustrato gastado de <i>Pleurotus oetreatus</i>	19
Tabla 3. Longitud de fémur de codornices alimentadas con diferente cantidad de fibra bruta y enzimas extraídas del sustrato gastado de <i>Pleurotus oetreatus</i>	20
Tabla 4. Longitud de quilla de codornices alimentadas con diferente cantidad de fibra bruta y enzimas extraídas del sustrato gastado de <i>Pleurotus oetreatus</i>	21
Tabla 5. Ancho del cuerpo de codornices alimentadas con diferente cantidad de fibra bruta y enzimas extraídas del sustrato gastado de <i>Pleurotus oetreatus</i>	22

Introducción

La avicultura es una de las industrias más sólidas e importantes en el mundo. Se posiciona su participación en la seguridad alimentaria y su papel protagónico en los mercados internacionales (SIAP, 2023). En los últimos 10 años, la industria avícola ha registrado un incremento de producción superior al 26%, actualmente, este sector lleva a la mesa de los mexicanos más de 6.67 millones de toneladas de productos avícolas, carne de ave y huevo (SADER, 2023). La demanda de alimentos para la población humana es paralela al crecimiento demográfico y requiere intensificación de los sistemas de producción pecuarios. En virtud de esta premisa, es obligatoria la búsqueda de alternativas alimenticias para satisfacer las necesidades nutritivas de origen animal para los humanos; en este sentido la codorniz (*Coturnix coturnix japonica*) puede producir alimento económico para el consumo de la familia. La codorniz es una eficiente convertidora de alimento en carne y huevo, son precoces y eficientes en la producción de huevos con alto valor nutritivo. Sin embargo, exige un adecuado contenido de proteína (20%) y energía (2900 kcal) en la dieta (Díaz, 2004). El huevo de codorniz es un producto con alto valor nutricional, su vida útil es corta, y es ampliamente utilizado en la industria de derivados cárnicos, por lo anterior un producto listo para su consumo se convierte en una buena alternativa (Díaz et al., 2005). Por otra parte, los aditivos enzimáticos se utilizan en mayor cuantía en las especies no rumiantes, fundamentalmente en cerdos y aves. Las características del tracto gastrointestinal de las aves contribuyen a una respuesta más uniforme, en comparación con los cerdos. La presencia del buche les proporciona que las enzimas comiencen a actuar sobre los sustratos presentes en el pienso, antes de llegar al estómago. Durante el período de almacenamiento del alimento en este órgano, el pH es de 6.3, valor favorable para la actuación de la mayoría de estas enzimas. Otro aspecto a considerar es que las aves poseen menor capacidad para fermentar la fibra que los porcinos (Graham et al., 1988 y McDonald et al., 2010) La aplicación de los aditivos enzimáticos también provoca cambios en la microbiota intestinal, que pueden repercutir

beneficiosamente en la salud de los animales que los consumen. Entre los mecanismos que intervienen se describe el incremento de los nutrientes liberados del hospedero, la formación de oligosacáridos fermentables, como resultado de la despolimerización de la fibra insoluble y la aceleración de la digestión que produce rápido movimiento de los carbohidratos fermentables y las proteínas (Bedford Y Cowieson, 2012). El empleo de aditivos enzimáticos en la nutrición animal constituye una alternativa sostenible para incrementar el aprovechamiento de los nutrientes empleados, mejorar indicadores productivos durante la crianza, y facilitar la incorporación de nuevas fuentes alternativas a las raciones destinadas a los animales.

Objetivo general

Evaluar el uso de un aditivo enzimático, obtenido del sustrato gastado de ***Pleurotus ostreatus*** en dietas para codorniz japonesa con diferentes aportes de fibra bruta, sobre los parámetros productivos.

Objetivos específicos

- Determinar la actividad enzimática de las celulasas, xilanasas y lacasas presentes en el extracto del sustrato gastado de *Pleurotus ostreatus*, para incluirlas en dietas para *Coturnix coturnix japónica*.
- Evaluar el rendimiento productivo de *Coturnix coturnix japonica*, al incluir en su dieta extracto del sustrato gastado de *Pleurotus ostreatus*, para proponerlo como aditivo.
- Analizar los rasgos estructurales lineales como la longitud del fémur, ancho corporal y longitud de quilla, de la *Coturnix coturnix japónica*, al incluir en su dieta extracto del sustrato gastado de *Pleurotus ostreatus*, para valorar posibles efectos sobre su conformación corporal.

Justificación

En la actualidad, los costos de alimentación representan hasta el 70 % de los gastos en la producción de aves, mientras que las dietas convencionales de codorniz japonesa suelen basarse en ingredientes de alto valor proteico y bajos en fibra, lo que limita la inclusión de fuentes fibrosas económicas. El uso de extracto de sustrato gastado de ***Pleurotus ostreatus***, rico en enzimas fribolíticas (celulasas, xilanasas y lacasas), propone una alternativa innovadora que permite elevar el porcentaje de fibra bruta en la ración sin sacrificar la eficiencia productiva. Mediante la hidrolización parcial de la pared celular de materias primas fibrosas, este aditivo enzimático mejora la disponibilidad de nutrientes y reduce la tasa de conversión alimenticia, lo cual se traduce en un ahorro significativo de insumos. Por otro lado, la valorización de un residuo agroindustrial (el sustrato pos cultivo del hongo ***Pleurotus ostreatus***) fomenta un modelo de producción circular y sostenible, disminuyendo la huella ambiental y contribuyendo a la economía regional. Por lo tanto, este estudio es necesario y oportuno, pues no solo aporta una solución para abaratar costos de la alimentación en producciones avícolas, sino que también ofrece un enfoque eco amigable al reutilizar subproductos y disminuir la dependencia de ingredientes importados o de alto costo. De esta manera, se fortalece la competitividad de los productores de codorniz japonesa y se promueve la innovación tecnológica en sistemas de producción avícola.

Antecedentes

A. Producción de huevo de codorniz

Producción de Huevos de Codorniz

La coturnicultura es la rama de la avicultura dedicada a criar codornices para aprovechar sus productos, principalmente el huevo (FAO, 2010). La especie más comúnmente usada es la codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*), seleccionada por su precocidad sexual (las hembras inician postura a las ~6 semanas) y sus altos índices productivos (80–95% de postura) (NRC, 1994). Cada hembra reproductora puede poner alrededor de 250–300 huevos al año, de unos 9–10 g de peso cada uno (González et al., 2017). En proporción, 5–6 huevos de codorniz equivalen en peso a uno de gallina (González et al., 2017). Estos huevos son muy apreciados por su alto valor nutricional (proteínas de alto valor biológico, vitaminas y minerales), lo que ha impulsado la demanda en mercados locales e internacionales (Carneiro et al., 2019).

Manejo y condiciones del sistema productivo

La infraestructura y manejo son críticos para la productividad. Se emplean generalmente galpones ventilados o naves de postura que protejan a las aves de temperaturas extremas. Un diseño adecuado busca economía, durabilidad y confort; lo esencial es resguardar a las codornices de cambios bruscos de clima, reduciendo gastos energéticos y mejorando la puesta (Oliveira et al., 2015). En la práctica se utilizan baterías o jaulas con piso inclinado, de modo que los huevos ruedan hacia un canal frontal para facilitar la recolección (González et al., 2017).

Las condiciones ambientales recomendadas son 18–24 °C y 60–65% de humedad (Oliveira et al., 2015). En climas tropicales se prolonga el fotoperíodo a ~16–18 horas de luz (se suele agregar ~4 horas extra) para estimular la ovulación y la postura (Oliveira et al., 2015). La ventilación y el control de humedad previenen estrés y enfermedades. Además, la alimentación debe ser balanceada (alimento de ponedoras comerciales) para mantener la alta productividad.

El manejo reproductivo incluye separar machos de hembras durante la etapa de postura. Se mantiene a las hembras sin machos en las jaulas para obtener huevos no fecundados (los huevos estériles se conservan mejor) (Carneiro et al., 2019). Paralelamente, se alojan machos en jaulas separadas dentro del mismo galpón (aprox. 4 machos por 1.000 hembras) para que su canto estimule la postura (Carneiro et al., 2019).

Producción de huevos y rendimiento

Cada lote de codornices comienza a producir huevos alrededor de las 6 semanas de edad. El ciclo de postura dura aproximadamente 12 meses (Silva et al., 2014). En ese periodo una ponedora aporta en promedio unos 290–315 huevos al año, con un pico productivo cercano a la semana 10 de producción (Silva et al., 2014). En el pico máximo la eficiencia puede llegar al ~92% (Silva et al., 2014). Después del año de postura las aves suelen reemplazarse, ya que la postura decae hacia ~60% al final del ciclo (González et al., 2017).

El rendimiento productivo típicamente se resume así:

Producción anual ≈250–300 huevos/ave (González et al., 2017).

Peso huevo ≈9,8–10 g (González et al., 2017).

Edad inicio postura ≈42 días (hembras), 55–60 días (machos) (NRC, 1994).

Pico de postura: ≈semana 10–12 (Silva et al., 2014).

Vida útil productiva: ~12 meses (Silva et al., 2014).

La curva de postura de las codornices es más estable que en gallinas: alcanzan el pico más rápido y lo mantienen por más tiempo (González et al., 2017). En condiciones óptimas las codornices llegan al 80–90% de puesta en pocas semanas y lo sostienen durante varios meses, para terminar el año con alrededor del 60% de postura, si el pico inicial es bajo, la curva decae más rápidamente (González et al., 2017).

Recolección y manejo de huevos

Los huevos deben recogerse dos veces al día (mañana y tarde) para captar todas las puestas, ya que las aves tienen ritmos individuales de postura. Tras la recolección, se realiza una selección: se descartan los huevos rotos, con malformaciones en la cáscara o con pigmentación inadecuada. Los huevos seleccionados se almacenan en refrigeración ligera ($\approx 12\text{--}15\text{ }^{\circ}\text{C}$) para su comercialización o incubación. Se estima que del total de huevos potencialmente puestos se recolecta un 70–90% según la edad y manejo del lote (González et al., 2017).

Perspectiva y mercados

La producción de huevos de codorniz es una actividad en crecimiento. Por ejemplo, en Colombia existen alrededor de 1.500 granjas, con un censo de $\sim 3,5$ millones de aves que producen más de 1.200 millones de huevos al año (Carneiro et al., 2019). A nivel mundial destacan Francia, Alemania, Estados Unidos, Japón y otros países por su producción coturnícola (FAO, 2010). El éxito de esta actividad se basa en rendimientos altos en poco espacio, explotación intensiva y diversidad de productos (huevo fresco, cocido en escabeche, codornaza como abono, etc.).

En resumen, la coturnicultura para producción de huevo se fundamenta en razas especializadas y manejo intensivo: galpones diseñados con condiciones controladas (temperatura, luz, higiene), jaulas con buen sistema de recolección, alimentación balanceada y prácticas de manejo (separación de sexos, recolección frecuente). Todo esto permite obtener un rendimiento de ~ 300 huevos por ave al año (González et al., 2017), un producto altamente nutritivo y comercialmente atractivo.

B. Impacto de la fibra cruda en la productividad de codorniz japonesa

Estudios recientes con codorniz japonesa han evaluado los efectos de incluir niveles moderados de fibra cruda (entre 2.78 % y 3.98 %) en la dieta. Aunque no se observaron diferencias significativas en el consumo de alimento, producción de

huevo ni en el peso vivo y órganos digestivos, sí se comprobó una mejora notable en la conversión alimenticia, tanto por kilogramo producido como por docena de huevos. También se registró un aumento en la pigmentación de la yema, atribuible a la mayor concentración de carotenoides en los ingredientes fibrosos, y se observó un impacto positivo en la morfología intestinal, con mayor desarrollo de vellosidades en duodeno y ciego, lo que favorece la absorción de nutrientes (Güçlü et al., 2018)

C. Sistema de producción de aves ponedoras de huevo

En estudios comparativos sobre sistemas de producción de gallinas ponedoras se ha comprobado que, si bien los sistemas convencionales en jaula ofrecen una mayor eficiencia productiva (particularmente en términos de producción de huevo y reducción de la mortalidad), los sistemas alternativos, como aviarios o libres de jaula, favorecen ciertos parámetros de calidad del huevo. En este sentido, los huevos obtenidos en sistemas no convencionales suelen presentar una yema con mayor intensidad de color, un contenido superior de carotenoides y mejores valores en las unidades Haugh, lo que representa una ventaja competitiva ante el consumidor, aun cuando la productividad pueda ser ligeramente menor (Rakonjac et al., 2014).

En estudios comparativos sobre sistemas de producción de huevo de codorniz japonesa, se ha demostrado que el tipo de alojamiento influye significativamente en diversos parámetros de calidad. (Hossain et., al 2024) evaluaron aves alojadas en jaulas frente a sistemas de piso profundo y observaron que las codornices en jaulas alcanzaron la madurez sexual y el 50 % de producción de huevo antes que las criadas en piso. Además, mostraron mayor eficiencia alimenticia, rendimiento diario de huevos y longevidad, sin comprometer la composición nutritiva interna (como proteína, grasa y minerales), aunque presentaron valores superiores en calidad externa (índice de huevo), excepto en grosor de cáscara, peso y unidades Haugh .

Por otra parte, en un análisis comparativo realizado por Lisha (2023) sobre sistemas de jaulas de bajo costo frente a piso profundo reveló que no hubo diferencias significativas en producción total, calidad del huevo, fertilidad o eclosionabilidad. Sin

embargo, el sistema de piso profundo mostró ventajas en ingesta de alimento, conversión alimenticia, longitud del huevo y peso de la albúmina.

En resumen, los sistemas de jaula parecen favorecer la producción más rápida, eficiencia y calidad externa del huevo, mientras que los sistemas de piso profundo podrían mejorar ciertos aspectos físicos y reproductivos del huevo sin reducir notablemente el rendimiento.

D. Calidad del huevo

En un estudio realizado con gallinas ISA Brown en las primeras etapas de postura (entre las semanas 25 y 30), se evaluaron múltiples rasgos internos y externos de calidad del huevo. Los valores de altura de albumen oscilaron entre 7 y 14 mm (CV = 14 %), mientras que las unidades Haugh (HU) variaron entre 83 y 114 (CV = 6.4 %), decreciendo ligeramente de 103 a 96 en el periodo estudiado. El índice de yema promedió 47 % con baja variabilidad (CV = 3 %). Estos indicadores reflejan alta calidad interna del huevo y ofrecen un marco de referencia claro para evaluar el impacto de dietas enriquecidas con fibra y enzimas fribolíticas en la producción de huevo (Anene et al., 2020).

E. Características generales de la producción de hongo *Pleurotus ostreatus*

Pleurotus ostreatus representa una especie de gran importancia comercial y ecológica, siendo el segundo hongo comestible más cultivado en el mundo. Su rápido crecimiento, bajo requerimiento de esterilización (solo pasteurización del sustrato) y elevada eficiencia biológica lo hacen ideal para producción a escala (Sánchez., 2010).

Este hongo se desarrolla bien en sustratos lignocelulósicos como paja de trigo, serrín, cáscara de maíz o residuos agroindustriales, con colonización completa del sustrato en periodos de 16 a 36 días y eficiencia biológica de hasta 450 mg de biomasa por gramo de sustrato seco (Melanouri et al., 2022; Ritota et al., 2019).

Las condiciones óptimas para su cultivo incluyen temperaturas entre 21 °C y 25 °C durante la incubación y de 15 °C a 22 °C en la fructificación, humedad relativa entre 85 % y 95 %, buen aireado y luz moderada para estimular la formación de cuerpos

fructíferos. El pH ideal del sustrato debe estar cercano a neutro o ligeramente alcalino para reducir el riesgo de contaminación (Raman et al., 2021; Silva et al., 2024).

El ciclo completo del cultivo puede tomar entre 27 y 40 días, dependiendo del sustrato empleado; los sustratos como semillas de algodón y residuos de papel han mostrado rendimientos superiores frente a opciones más convencionales como el serrín de madera (Silva et al., 2024; Girmay et al., 2016).

La producción de *Pleurotus ostreatus* genera un volumen significativo de sustrato gastado (spent mushroom substrate, SMS), estimado en hasta 5 kg de residuo por cada kilogramo de hongo cosechado. Esta cantidad representa un desafío ambiental y económico real: solo en regiones como Irlanda o los Países Bajos se generan entre 254 000 t y más de 800 000 t de SMS al año (Shanmugavelu et al., 2021).

El SMS presenta alta humedad (> 60 %), volumen considerable y baja densidad, lo que complica su manejo logístico y genera su disposición inadecuada. Cuando se abandona sin tratamiento, contamina suelos y acuíferos, libera olores desagradables y gases de efecto invernadero, y enfrenta restricciones regulatorias frente a su disposición en rellenos sanitarios tradicionales (Mwangi et al., 2024).

Esto ayuda al estudio y el uso sustentable del SMS es prioritario, encontrar formas de reutilización, compostaje, vermicompostaje o revalorización como sustrato para otros cultivos es fundamental para mitigar el impacto ambiental y ofrecer soluciones integrales para la industria del cultivo de hongos, aquí entra la oportunidad de usar este desecho la utilizar las enzimas fribolíticas que el SMS contiene para la alimentación en aves.

F. Enzimas presentes en el sustrato gastado de *Pleurotus ostreatus*

El sustrato gastado (spent mushroom substrate, SMS) de *Pleurotus ostreatus* conserva aún un contenido significativo de enzimas lignocelulósicas, incluso tras la cosecha del hongo. En un estudio realizado por Qorri et al. (2022), se detectaron actividades de celulasa (0.179 U/g), lignina peroxidasa (LiP, 3 584 U/g) y proteasa

(1 400 U/g) en SMS recolectado de diferentes localidades, junto con altas concentraciones de azúcares reductores, rangos de pH y proporciones C/N compatibles con actividad microbiana residual (Qorri et al., 2022).

Adicionalmente, otras investigaciones han identificado una combinación de enzimas oxido-reductasas (laccasa, MnP, LiP) y hidrolíticas (celulasa, xilanasas, β -glucosidasa, α -amilasa) en extractos de SMS de *Pleurotus* sp., lo que sugiere que este residuo conserva capacidad catalítica útil sin necesidad de purificación (Martín et al., 2023).

El perfil enzimático varía según la fase del cultivo: durante la colonización predominan enzimas ligninolíticas como la lacasa y la MnP, mientras que durante la formación de cuerpos fructíferos aumentan las hidrolíticas (celulasa, xilanasas), alcanzando su pico al finalizar la fructificación (Elisashvili et al., 2008).

Finalmente, comparaciones entre especies muestran que *P. ostreatus* presenta una de las mayores actividades de laccasa en su SMS (1 452 nkat/g), aunque su actividad de xilanasas puede ser menor que en *Flammulina velutipes*; sin embargo, mantiene buena actividad de otras enzimas clave como α -amilasa y β -glucosidasa (Ko et al., 2005).

G. Uso de enzimas en alimentación de aves

Las aves monogástricas presentan limitaciones digestivas frente a componentes fibrosos y factores anti nutricionales en cereales como el trigo, centeno o avena. Estudios como el de Munir & Maqsood (2017) indican que la suplementación con enzimas exógenas (celulasa, xilanasas, fitasa, proteasa y lipasa) mejora significativamente la disponibilidad de nutrientes, la eficiencia alimenticia y reduce excreciones nocivas, especialmente de fósforo.

Además, investigaciones recientes resaltan el importante rol de las NSPasas (enzimas que degradan polisacáridos no almidónicos) en la reducción de la viscosidad intestinal y en la mejora de la salud digestiva general, al liberar fragmentos de fibra fermentables que benefician a la microbiota y optimizan la digestibilidad de otros nutrientes (Bedford & Apajalahti, 2022).

El uso correcto y planificado de suplementos enzimáticos en aves permite optimizar las formulaciones de dietas, mejorar el rendimiento, disminuir los costos operativos y aumentar la calidad del lecho, siempre y cuando se considere el tipo de cereal, el procesamiento del alimento, la forma de enzima y la frecuencia de aplicación (Musigwa et al., 2013).

Diversas investigaciones han evidenciado que la inclusión de un complejo multienzimático, compuesto por xilanasa, β -glucanasa y otras enzimas residuales, contribuye a mejorar la eficiencia alimenticia al reducir la conversión de alimento (FCR). Asimismo, favorece una mayor digestibilidad de la materia seca y optimiza la retención de minerales, incluso cuando se emplean dietas con menor densidad nutricional (Walker et al., 2014).

Materiales y Métodos

Localización del área de estudio:

La determinación de actividad enzimática se realizó en el Laboratorio de análisis especiales del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, localizada en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo, México (20°03'40"N 98°23'00"O).

El ensayo con los animales se realizó en el Módulo de Enseñanza Investigación y Extensión de Producción Avícola del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, localizada en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo, México (20°03'40"N 98°23'00"O).

Obtención de los extractos enzimáticos

Para lo cual se utilizó una bolsa de sustrato gastado de *Pleurotus ostreatus* proveniente de la granja Hongos Tolteca, ubicada en el municipio de Epazoyucan, Hgo. Se tomó una muestra de 100 g, a través de cuarteo, se mezcló con 400 mL de agua destilada, se licuo y se filtró utilizando 8 capas de gasa, para recuperar la fase líquida que posteriormente fue congelada.

Determinación de la actividad enzimática del sustrato degastado de *Pleurotus ostreatus*

Xilanasas

Para la actividad enzimática de xilanasas se realizó utilizando la técnica de azúcares reductores con el método del ácido dinitrosalisílico (DNS) (Miller, 1959) con las modificaciones de Márquez et al. (2007). Para la curva estándar se utilizó solución de xilosa 10mM con amortiguador de citrato (50 mM y 5.3 de pH). Cada muestra (100 µL) de extracto líquido o control en su caso fue incubada con 900 µL de sustrato una solución de xilan de avena (Sigma X-0627) al 5 %, a 50 ° C por 5 min, se agregaron 1.5 mL de solución DNS, se hirvió durante 5 min, y se colocó en hielo para detener la reacción, posteriormente se realizó la lectura en un espectrofotómetro a una absorbancia de 540 nm.

Celulasas

La actividad celulasa se midió por azúcares reductores usando el método del ácido dinitrosalisílico (Miller, 1959) con las modificaciones de Márquez et al. (2007). Para la curva estándar se utilizó solución de glucosa 10 mM con amortiguador de citrato 50 mM y 5.3 de pH. Cada muestra (100 µL) de extracto líquido o control fue incubada con 900 µL de sustrato (solución de carboximetilcelulosa Sigma-Aldrich C4888 al 5%), a 50 °C por 60 min, se agregaron 1.5 mL de solución DNS, se hirvió 5 min, se colocó en hielo y se leyó a 540 nm. Además, se incubó un testigo general con 1000 µL de amortiguador de citrato 50 mM y 5.3 de pH, por 60 min a 50 °C, se agregó 1.5 mL de solución DNS, se hirvió por 5 min, se colocó en hielo y se leyó a 540 nm.

Lacasas

La actividad lacasa fue determinada en un sistema de reacción de 1000 µL con 800 µL de amortiguador de citrato 50 mM y pH 5.3, 100 µL de extracto enzimático, y 100 µL de sustrato ABTS, preparado con 0.69 g de ABTS (2, 2' Azino-bis 3-etilbenzeno-thiazolina-6-ácido sulfónico) disuelto en 250 mL de amortiguador de citrato (50 mM y pH 5.3), se midieron los incrementos de la absorbancia a 420 nm por 1 min, cada 10 s (Bourbonnais et al., 1997, modificada por Márquez et al., 2007). Posteriormente el extracto líquido fue agregado al alimento 24 h previo a su oferta. Se utilizaron dietas isoproteicas e isoenergéticas (19 %, 2.8 Mcal KgMS-1, para su formulación se consideraron los requerimientos nutricionales para la especie (Santiago et al., 2017) y la composición nutricional de los ingredientes (FEDNA, 2020), los cuales se mezclaron de manera manual y se ofreció a los animales en polvo.

Diseño del experimento.

Se utilizaron 90 codornices (*Coturnix coturnix japónica*) de 5 semanas de edad, con peso promedio de 150 g, los cuales fueron distribuidos completamente al azar en 3 Tratamientos (T1-3 % fibra sin extracto, T2-3 % fibra con extracto y T3-6 % fibra con extracto, con 3 repeticiones de 10 animales cada una (Fernández et al., 2005). Los animales se alojaron en un espacio general con orientación hacia el noroeste y una dimensión de 8 x 12 m x 4 m , con techo de dos aguas, área de ventilación controlada a través de cortinas móviles de 1.2 x 12 m, acondicionado con 2

ventiladores los cuales se encendían cuando la temperatura rebasó los 23 °C, en jaula se colocaron 10 animales, dispuestas en batería de dos pisos, con 2 divisiones de 88 x 47 x 25 cm, con comederos lineales y bebederos de copa, con 16 h de luz d⁻¹, con agua *ad libitum*.

Variables medidas

Durante 28 d, se midió el consumo de alimento diariamente, registrando el ofrecido y la rechazado; así como el peso de los animales cada semana, utilizando una balanza marca Mettria modelo MTNUV-40 (Mettria, Cd. México, México), con los datos obtenidos, se determinó el peso total ganado y consumo de alimento. Aunado a ello cada semana se realizó el registro de los rasgos estructurales lineales de los animales, a través de longitud del fémur (desde la articulación esférica hasta la articulación del corvejón); ancho del cuerpo (en la circunferencia de la parte más ancha de la región anterior); y la longitud de la quilla, utilizando una cinta métrica.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos en esta investigación se evaluaron bajo un diseño completamente al azar, con mediciones repetidas a través del tiempo. Cuando fue necesario se empleó una prueba de comparación de medias de Fisher ($P < 0.05$). Los análisis se realizaron con el programa estadístico Minitab ver 20.3.

Resultados y Discusión

La presencia y magnitud de la actividad enzimática en el sustrato gastado de *Pleurotus ostreatus* dependen de diversos factores intrínsecos y extrínsecos, entre los que destacan el tipo de sustrato, la etapa del cultivo y las condiciones físico-químicas durante la colonización y fructificación. Se ha demostrado que el sustrato postcosecha conserva actividades lignocelulolíticas e hidrolíticas funcionales, aunque sus valores pueden variar ampliamente según el manejo del cultivo (Elisashvili et al., 2008). En el presente trabajo, la actividad enzimática del extracto obtenido fue de $78.9 \pm 3.54 \text{ UI} \cdot \text{min}^{-1}$ para celulasas, $163.65 \pm 9.6 \text{ UI} \cdot \text{min}^{-1}$ para xilanasas y $77.9 \pm 1.15 \text{ UI} \cdot \text{min}^{-1}$ para lacasas. Estos valores confirman la presencia de un conjunto enzimático activo en el sustrato gastado, aunque difieren de lo reportado en otros estudios, lo cual puede atribuirse a diferencias en la composición del sustrato, la fase del ciclo de cultivo en que se recolectó el residuo o las condiciones de extracción empleadas (Qorri, 2022). En consecuencia, los resultados respaldan que el SMS de *P. ostreatus* constituye una fuente viable de enzimas fribolíticas utilizables como aditivo en raciones avícolas, si bien su magnitud debe interpretarse considerando el método analítico específico aplicado (Martín et al., 2023).

En la Tabla 1, se muestra el consumo de alimento a través de los días de estudio, donde se puede observar que existen diferencias entre los tratamientos y a través del tiempo de medición ($P < 0.05$). Las aves a los cuales se les incluyó en la dieta con 3 o 6% de fibra más el extracto enzimático, se puede apreciar que la mayoría de las semanas el consumo de alimento fue más bajo que en el tratamiento control ($P < 0.05$). Cabe señalar que el consumo de alimento fue menor a las semanas 2, 3 y 4 en el grupo de codornices que consumieron alimento con 3% de fibra. El extracto enzimático de *P. oestratus* favoreció la conversión alimenticia ayudando a la ganancia de peso de los animales en el tratamiento 2. Campo Gaviria et al. (2017) quienes emplearon cáscara de chontaduro enriquecida con *Pleurotus ostreatus* como ingrediente en dietas para pollos de engorde y observaron mejoras en la

conversión alimenticia, lo que apoya la hipótesis, referente a que productos derivados del cultivo de *Pleurotus* (ya sea sustrato colonizado o extractos activos) pueden incrementar la eficiencia digestiva en aves.

Tabla 1. Consumo de codornices alimentadas con diferente cantidad de fibra bruta y enzimas extraídas del sustrato gastado de *Pleurotus oetreatus*.

Tiempo (semanas)	Tratamientos			
	T1	T2	T3	MEE
1	24.71 ^{Ca}	24.64 ^{Cb}	23.81 ^{Dc}	0.133
2	28.22 ^{Ba}	27.28 ^{Bb}	27.67 ^{Cb}	0.133
3	29.87 ^{Aa}	28.46 ^{Aabc}	29.75 ^{Bab}	0.133
4	30.00 ^{Aa}	27.78 ^{ABb}	30.00 ^{Aa}	0.133
	0.179	0.179	0.179	

a, b, diferentes letras entre columnas indican diferencias significativas entre tratamientos; A, B, C, diferentes letras entre hileras de una misma columna indican diferencias significativas entre semanas. 1 T1= control, T2= 3%fibra adicionando extracto enzimático, T3= 6% fibra adicionando extracto enzimático MEE= Error Estándar de la Media

En la Tabla 2 se observa que el peso de las codornices difirió entre tratamientos y a través de las semanas de evaluación ($P < 0.05$). Durante la primera semana, las aves alimentadas con 3 % de fibra y extracto enzimático (T2) alcanzaron mayor peso en comparación con el control y el tratamiento con 6 % ($P < 0.05$). En la segunda semana, nuevamente T2 mostró los valores más altos, siendo estadísticamente superior ($P < 0.05$) al resto de los tratamientos. Para la tercera semana no se presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$), observándose pesos similares en todos los grupos.

Tabla 2. Peso de codornices alimentadas con diferente cantidad de fibra bruta y enzimas extraídas del sustrato gastado de *Pleurotus oetreatus*.

Tiempo (semanas)	TRATAMIENTO ¹			MEE
	T1	T2	T3	
1	199.49 ^{Cab}	201.83 ^{Ba}	191.33 ^{Cab}	1.60
2	213.72 ^{Bb}	233.0 ^{Aa}	211.0 ^{Bbc}	2.41
3	233.71 ^{Aa}	238.83 ^{Aa}	233.0 ^{Aa}	4.77
MEE	4.32	6.16	5.84	

a, b, diferentes letras entre columnas indican diferencias significativas entre tratamientos; A, B, C, diferentes letras entre hileras de una misma columna indican diferencias significativas entre semanas. 1 T1= control, T2= 3%fibra adicionando extracto enzimático, T3= 6% fibra adicionando extracto enzimático MEE= Error Estándar de la Media

En lo referente a los rasgos estructurales lineales de los animales, en la Tabla 3, se puede observar que al incluir 3 % de fibra y extracto enzimático se incrementó la longitud de fémur, así como la longitud de la quilla (Tabla 4), en cambio al incluir 6 % de fibra y extracto enzimático estas mediciones no fueron diferentes al control.

En la Tabla 3 se aprecia que la longitud del fémur presentó diferencias significativas entre tratamientos y semanas de medición ($P<0.05$). En la primera y segunda semana, el tratamiento con 3 % de fibra y extracto enzimático (T2) mostró valores mayores en comparación con el control y el tratamiento con 6 % ($P<0.05$). Para la tercera semana, T2 mantuvo la mayor longitud, aunque en este caso no se observaron diferencias tan marcadas frente al resto de tratamientos.

Tabla 3. Longitud de fémur de codornices alimentadas con diferente cantidad de fibra bruta y enzimas extraídas del sustrato gastado de *Pleurotus oetreatus*.

Tiempo (semanas)	TRATAMIENTO ¹			MEE
	T1	T2	T3	
1	53.74 ^{Cbc}	55.93 ^{Ba}	54.6 ^{BCab}	1.60
2	54.97 ^{Bbc}	58.5 ^{Aa}	55.93 ^{ABb}	2.41
3	56.33 ^{Ab}	58.73 ^{Aa}	56.93 ^{Ab}	4.77
MEE	4.32	6.16	5.84	

a, b, diferentes letras entre columnas indican diferencias significativas entre tratamientos; A, B, C, diferentes letras entre hileras de una misma columna indican diferencias significativas entre semanas. 1 T1= control, T2= 3%fibra adicionando extracto enzimático, T3= 6% fibra adicionando extracto enzimático MEE= Error Estándar de la Media

En la Tabla 4 se muestra que la longitud de la quilla presentó variaciones significativas a través del tiempo ($P < 0.05$). En la primera semana, el tratamiento con 3 % de fibra (T2) alcanzó un valor ligeramente superior al resto, aunque sin diferencias estadísticamente relevantes frente a T1 y T3. Durante la segunda y tercera semana, los tres tratamientos mostraron valores semejantes ($P > 0.05$), indicando que la inclusión del extracto enzimático no modificó de manera importante esta variable.

Tabla 4. Longitud de quilla de codornices alimentadas con diferente cantidad de fibra bruta y enzimas extraídas del sustrato gastado de *Pleurotus oetreatus*.

Tiempo (semanas)	TRATAMIENTO ¹			MEE
	T1	T2	T3	
1	42.07 ^{Bca}	41.33 ^{Cab}	40.63 ^{Cbc}	1.60
2	42.82 ^{Abab}	43.43 ^{ABa}	42.23 ^{ABab}	2.41
3	43.58 ^{Aa}	43.7 ^{Aa}	43.4 ^{Aab}	4.77
MEE	4.32	6.16	5.84	

a, b, diferentes letras entre columnas indican diferencias significativas entre tratamientos; A, B, C, diferentes letras entre hileras de una misma columna indican diferencias significativas entre semanas. 1 T1= control, T2= 3%fibra adicionando extracto enzimático, T3= 6% fibra adicionando extracto enzimático MEE= Error Estándar de la Media

En la Tabla 5 se observa que el ancho corporal de las codornices aumentó conforme avanzaron las semanas, pero no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0.05$). Tanto el grupo control (T1) como los que recibieron 3 % y 6 % de fibra con extracto enzimático (T2 y T3) presentaron valores similares en todas las semanas evaluadas, lo que indica que la adición de fibra y enzimas no influyó en esta característica morfométrica.

Tabla 5. Ancho del cuerpo de codornices alimentadas con diferente cantidad de fibra bruta y enzimas extraídas del sustrato gastado de *Pleurotus oetreatus*.

Tiempo (semanas)	TRATAMIENTO ¹			MEE
	T1	T2	T3	
1	15.32 ^{Ca}	15.11 ^{Ba}	15.05 ^{BCa}	1.60
2	15.73 ^{Bab}	15.88 ^{Aa}	15.41 ^{Bbc}	2.41
3	16.11 ^{Aa}	16.06 ^{Aab}	15.85 ^{Aab}	4.77
MEE	4.32	6.16	5.84	

a, b, diferentes letras entre columnas indican diferencias significativas entre tratamientos; A, B, C, diferentes letras entre hileras de una misma columna indican diferencias significativas entre semanas. 1 T1= control, T2= 3%fibra adicionando extracto enzimático, T3= 6% fibra adicionando extracto enzimático MEE= Error Estándar de la Media

En esta investigación el uso de un aditivo a partir de un extracto enzimático de *pleurotus oestratus* favoreció el incremento de peso de los animales en el tratamiento 2, al igual que (Campo Gaviria et al 2017) quien utilizo cascara de chontaduro enriquecida *pleurotus oestratus* en las que observo una mejor tendencia en términos de conversión alimenticia.

Por otra parte, en comparación de una dieta sin la presencia del aditivo (T1) Y otra con alto contenido de fibra con aditivo (T3), no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$). En otros estudios se ha comparado la utilización de plantas forrajeras con un complejo enzimático de proteasas y celulasas en las cuales no se muestran diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) (López Salazar et al 2018).

En contraste con los resultados obtenidos en la presente investigación, donde las codornices que recibieron dietas con la inclusión de extracto enzimático mostraron un menor consumo de alimento, pero mantuvieron una ganancia de peso promedio, evidenciando una mejor conversión alimenticia (T2), diversos autores han reportado una relación directamente proporcional entre consumo y ganancia de peso. Por ejemplo, (Aillón Valverde et al 2018) observó que las codornices con el mayor consumo total de alimento (713.6 g) presentaron también la mayor ganancia de peso (91.57 g), demostrando que un incremento en la ingesta favorece el crecimiento corporal. De manera similar, (Jie et al. 2024) informaron en pollos de engorde que los individuos con un patrón de consumo continuo y elevado presentaron un aumento significativo en el peso vivo, a diferencia de aquellos con un consumo más limitado.

Estos hallazgos contrastan con los resultados del presente estudio, donde la inclusión del extracto enzimático permitió mantener un rendimiento productivo adecuado con un menor consumo, lo que sugiere una mayor eficiencia en la utilización de los nutrientes. En este sentido, la mejora en la conversión alimenticia podría estar relacionada con la acción enzimática del extracto de *Pleurotus ostreatus*, que habría favorecido la digestibilidad de los componentes fibrosos, permitiendo que las aves obtuvieran un aprovechamiento energético superior aun con una ingesta reducida.

Conclusiones

Se determinó que el extracto enzimático obtenido del sustrato gastado de *Pleurotus ostreatus* presentó actividad significativa de celulasas, xilanasas y lacasas, lo que confirma su potencial como aditivo fibrolítico en dietas avícolas. La presencia de estas enzimas respalda la hipótesis de que este residuo agroindustrial puede ser valorizado como recurso funcional en la nutrición animal.

La inclusión del extracto en dietas con 3 % de fibra bruta mostró un menor consumo de alimento y, al mismo tiempo, permitió un incremento en el peso vivo de las codornices. Esto indica que el uso del aditivo enzimático favorece una mayor eficiencia en el aprovechamiento del alimento, especialmente en dietas con niveles moderados de fibra, sin comprometer el desempeño productivo. Se comprobó que el rendimiento productivo y la eficiencia alimenticia mejoraron significativamente en las aves suplementadas con 3 % de fibra más extracto enzimático, al presentar mejor conversión alimenticia y mayor ganancia de peso en comparación con el grupo control. Sin embargo, con un nivel superior de fibra (6 %), los resultados no mostraron diferencias significativas, lo que sugiere que el efecto del aditivo depende de la concentración de fibra en la dieta.

Los rasgos estructurales lineales de las codornices (longitud del fémur y quilla) se vieron favorecidos por la adición del extracto enzimático con 3 % de fibra, evidenciando un impacto positivo sobre el desarrollo corporal. No obstante, el ancho corporal no mostró variaciones entre tratamientos, lo que indica que los beneficios del aditivo se reflejan principalmente en parámetros asociados al crecimiento longitudinal.

En síntesis, el uso de extracto enzimático de *Pleurotus ostreatus* constituye una alternativa viable para optimizar el aprovechamiento de dietas con fibra moderada en codorniz japonesa, contribuyendo al mejoramiento de la eficiencia alimenticia y al desarrollo estructural de las aves, además de fomentar la reutilización sostenible de residuos agroindustriales.

Literatura consultada

- Aillón Valverde, I. O. E. (2018). Efectos de los niveles de proteína para la ganancia de peso en codornices. TAKAY, 1(1), 35–42. Recuperado de <https://revistas.usfx.bo/index.php/takay/article/view/75>
- Anene, D. O., Akter, Y., Thomson, P. C., Groves, P., & O'Shea, C. J. (2020). Variation and association of hen performance and egg quality traits in individual early-laying ISA Brown Hens. *Animals*, 10(9), 1601.
- Bedford, M. R. (2018). The evolution and application of enzymes in the animal feed industry: the role of data interpretation.
- Bedford, M. R., & Apajalahti, J. H. (2022). The role of feed enzymes in maintaining poultry intestinal health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(5), 1759–1770.
- Bedford, M. R., & Cowieson, A. J. (2012). Exogenous enzymes and their effects on intestinal microbiology. *Animal Feed Science and Technology*.
- Campo Gaviria, J. M., Paz Narváez, L. J., & López Molina, F. J. (2017). Utilización de chontaduro (*Bactris gasipaes*) enriquecida con *Pleurotus ostreatus* en pollos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 84–92.
- Carneiro, P., Rodríguez, C., & Silva, A. (2019). Producción y aprovechamiento de la codorniz japonesa en América Latina. *Revista Avicultura Tropical*, 33(2), 55–68.
- Díaz, D., & Torres, D. (2004). Efecto de la inclusión de la harina de lombriz en la dieta de las tres primeras semanas de vida sobre el comportamiento productivo de la codorniz para engorde. XII Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal, Maracay, Venezuela, pp. 10.

- Díaz, D., Valera, L., & Cabrera, H. (2005). Manejo e índices productivos en las granjas de codornices en los Andes venezolanos. *Agricultura Andina*, 10, 38–46.
- Dias, A. N., Reis, T. L., Quintero, J. C. P., & Calixto, L. F. (2020). Fiber levels in laying quail diets. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92, e20190650.
- Elisashvili, V., Kachlishvili, E., & Penninckx, M. (2008). Lignocellulolytic enzymes profile during growth and fruiting of *Pleurotus ostreatus* on wheat straw and tree leaves. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*, 55(2), 157–168.
- FAO. (2010). *Coturnicultura: Guía práctica para la producción de codornices*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FEDNA. (2020). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). Consultado en septiembre del 2022. Recuperado de <http://www.fundacionfedna.org/>
- Girmay, Z., Gorems, W., Birhanu, G., & Zewdie, S. (2016). Growth and yield performance of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr.) Kumm (oyster mushroom) on different substrates. *AMB Express*, 6(1), 87.
- González, J., Pérez, M., & Ramírez, L. (2017). Producción y manejo de codornices japonesas: aspectos técnicos y económicos. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 24(3), 145–162.
- Graham, H., Lowgren, W., Petterson, D., & Aman, P. (1988). Effects of enzyme supplementation on digestion of a barley/pollard-based pig diet. *Nutr. Rep. Int.*, 38(5), 1073–1079.
- Isaac, U. C., Ejivade, O. M., Ezea, J., & Nosike, R. J. (2023). Allometric Growth Models for Improvement of Size and Conformation in Crossbred Chickens. *Acta Scientific Veterinary Sciences*, 5(8).
- Jie, Y., Li, H., Zhao, L., & Wang, Z. (2024). Distinct patterns of feed intake and their association with growth performance in broilers. *Poultry Science*, 103(9), 103974. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103974>

- Ko, H. G., Park, S. H., Kim, S. H., Park, H. G., & Park, W. M. (2005). Detection and recovery of hydrolytic enzymes from spent compost of four mushroom species. *Folia Microbiologica*, 50(2), 103–106.
- Martín, C., Zervakis, G. I., Xiong, S., Koutrotsios, G., & Strætkvern, K. O. (2023). Spent substrate from mushroom cultivation: exploitation potential toward various applications and value-added products. *Bioengineered*, 14(1), 2252138.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2011). Food additives. In *Animal Nutrition* (7^a ed., pp. 600–602). Pearson Education Ltd., Harlow, UK.
- Melanouri, E. M., Dedousi, M., & Diamantopoulou, P. (2022). Cultivating *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* mushroom strains on agro-industrial residues in solid-state fermentation. *Carbon Resources Conversion*, 5(1), 61–70.
- Munir, K., & Maqsood, S. (2013). A review on role of exogenous enzyme supplementation in poultry production. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25(1), 66.
- Musigwa, S., Morgan, N., Swick, R., Cozannet, P., & Wu, S. B. (2021). Optimisation of dietary energy utilisation for poultry—a literature review. *World's Poultry Science Journal*, 77(1), 5–27.
- Mwangi, R. W., Mustafa, M., Kappel, N., Csambalik, L., & Szabó, A. (2024). Practical applications of spent mushroom compost in cultivation and disease control of selected vegetables species. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 26(4), 1918–1933.
- NRC. (1994). *Nutrient Requirements of Poultry* (9th ed.). Washington, DC: National Academy Press.

- Oliveira, D., Santos, R., & Almeida, G. (2015). Manejo ambiental y productivo en granjas de codornices. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44(4), 121–130.
- Qorri, R. A. (2022). Enzyme activities in the spent mushroom substrate from *Pleurotus ostreatus*. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 16, 942–947.
- Rakonjac, S., Bogosavljević-Bošković, S., Pavlovski, Z., Škrbić, Z., Dosković, V., Petrović, M. D., & Petričević, V. (2014). Laying hen rearing systems: A review of major production results and egg quality traits. *World's Poultry Science Journal*, 70(1), 93–104.
- Raman, J., Jang, K. Y., Oh, Y. L., Oh, M., Im, J. H., Lakshmanan, H., & Sabaratnam, V. (2021). Cultivation and nutritional value of prominent *Pleurotus* spp.: An overview. *Mycobiology*, 49(1), 1–14.
- Ritota, M., & Manzi, P. (2019). *Pleurotus* spp. cultivation on different agri-food by-products: Example of biotechnological application. *Sustainability*, 11(18), 5049.
- Sánchez, C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(5), 1321–1337.
- Santiago, H., Teixeira, L. F., Izabel, M., Lopes, D., Kazue, N., Guilherme, F., Saraiva, A., Teixeira, M. L., Borges, P., Flávia, R., de Toledo, S. L., & Oliveira, C. (2017). *Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos* (4ª ed.). Viçosa: Departamento de Zootecnia, UFV.
- Shanmugavelu, M., & Sevugaperumal, G. (2021). Screening and potential uses of contaminated spent mushroom (*Pleurotus* spp.). In *Emerging Contaminants*. IntechOpen.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2019). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consultado el 26 de septiembre de 2022. Recuperado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

- Silva, M., Ramos, A. C., Lidon, F. J., Reboredo, F. H., & Gonçalves, E. M. (2024). Pre- and postharvest strategies for *Pleurotus ostreatus* mushroom in a circular economy approach. *Foods*, 13(10), 1464.
- Silva, R., Martínez, P., & Torres, H. (2014). Rendimiento productivo y parámetros de postura en codornices japonesas. *Zootecnia Internacional*, 29(1), 33–41.
- SOR/92-541. (1992). Livestock and Poultry Carcass Grading Regulations. Recuperado de <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/SOR-92-541/index.html>
- Walker, H., Vartiainen, S., Apajalahti, J., Taylor-Pickard, J., Nikodinoska, I., & Moran, C. A. (2024). The effect of including a mixed-enzyme product in broiler diets on performance, metabolizable energy, phosphorus and calcium retention. *Animals*, 14(2), 328.