

CONTENEDOR PARA DESHIDRATACIÓN DE SETAS COMESTIBLES

EDIBLE MUSHROOM DEHYDRATION CONTAINER

Ballato Camarillo Joshua Hyrum

Universidad La Salle Pachuca, Hidalgo, MX

<https://orcid.org/0009-0001-5908-0194>

222028@lasallep.mx

Olvera Aguilar Armando

Universidad La Salle Pachuca, Hidalgo, MX

<https://orcid.org/0009-0001-0301-8113>

222262@lasallep.mx

Varguez Rojas Edgar

Universidad La Salle Pachuca, Hidalgo, MX

<https://orcid.org/0009-0006-1583-3576>

222118@lasallep.mx

Islas Bustamante Edwin Jovany

Universidad La Salle Pachuca, Hidalgo, MX

<https://orcid.org/0009-0005-5600-0274>

222095@lasallep.mx

Ordaz Oliver Mario Oscar

Tecnológico Nacional de México/ I.T. De Pachuca

<https://orcid.org/0000-0002-9302-0988>

mario.oo@pachuca.tecnm.mx

DOI: <https://doi.org/10.61273/neyart.v4i1.160>

| Recibido: 02/12/2025 | Aceptado: 06/02/2026 | Publicado: 10/03/2026

Esta obra está bajo
una licencia internacional
Creative Commons Atribución 4.0.





Resumen-- El desafío global de la seguridad alimentaria y la escasez de recursos afectó a poblaciones vulnerables en todo el mundo, una problemática alineada con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 2: Hambre Cero. Ante esto, se abordó la necesidad urgente de buscar soluciones innovadoras para mejorar la conservación de alimentos y fomentar la autonomía comunitaria hacia el año 2030.

Con base en este enfoque, el proyecto tuvo como objetivo desarrollar un contenedor para deshidratación de setas comestibles. Este sistema integró un sensor de temperatura, una fuente de calor, un ventilador y un microcontrolador Arduino NANO, que utilizó un algoritmo PID para un control preciso durante el proceso. En los resultados obtenidos se demostró que esta tecnología aseguró la eficiencia y uniformidad en la deshidratación para regular la temperatura interna del contenedor. Asimismo, se indicó que el diseño seleccionado fue el correcto, ya que mantuvo su simplicidad y facilidad de replicación.

De igual forma, se concluyó que esta solución extendió significativamente la durabilidad de las setas, un alimento de alto valor nutricional y potencial sostenible, facilitando su disponibilidad y contribuyendo a la seguridad alimentaria.

Palabras Clave-- Automatización, Control, Proceso, Programación, Sistema

Abstract--The global challenge of food security and resource scarcity affected vulnerable populations worldwide, an issue aligned with Sustainable Development Goal (SDG) 2: Zero Hunger. In light of this, the urgent need to seek innovative solutions to improve food preservation and foster community autonomy toward the year 2030 was addressed.

Based on this approach, the project aimed to develop an edible mushroom dehydration container. This system integrated a temperature sensor, a heat source, a fan, and an Arduino NANO microcontroller, which utilized a PID algorithm for precise control during the process. The results obtained demonstrated that this technology ensured efficiency and uniformity in dehydration by regulating the container's internal temperature. Furthermore, the selected design was deemed correct, as it maintained its simplicity and ease of replication.



Similarly, it was concluded that this solution significantly extended the durability of mushrooms, a food with high nutritional value and sustainable potential, facilitating their availability and contributing to food security.

Keywords-- Automation, Control, Process, Programming, System.

INTRODUCCIÓN

El desafío continuo de la inseguridad alimentaria y la falta de recursos, que afecta de manera desproporcionada a las poblaciones en riesgo, caracteriza el panorama global actual. Esta problemática está directamente alineada con el Objetivo 2 del Desarrollo Sostenible (ODS): Hambre Cero. Un factor esencial que empeora esta situación es la pérdida importante de alimentos perecederos, como las setas altamente nutritivas. En vista de esta necesidad, se volvió imprescindible la creación de soluciones tecnológicas novedosas que no solo optimicen la conservación de los alimentos, sino que además promuevan a largo plazo la autosuficiencia y la resiliencia a nivel comunitario.

De igual forma, la escasez de una buena infraestructura está íntimamente relacionada con la desnutrición en poblaciones que tienen una limitación debido a la falta de herramientas adecuadas para la conservación de alimentos. En particular, la alta perfectibilidad de artículos como las setas provoca que el trabajo productivo se pierda con rapidez, mermando los beneficios económicos y nutricionales obtenidos. En consecuencia, se prioriza la necesidad de buscar una solución tecnológica de bajo costo y alto impacto social significativo, para que las comunidades puedan asegurar la disponibilidad de estos alimentos.

Ante este panorama, el presente trabajo tiene como objetivo analizar y proponer una alternativa tecnológica orientada a la conservación de setas, que contribuya a disminuir las pérdidas postcosecha y a fortalecer la seguridad alimentaria en comunidades vulnerables. La importancia de esta investigación radica en su potencial impacto social, ya que una solución accesible y funcional no solo favorecería la disponibilidad continua de alimentos nutritivos, sino que también impulsaría la autosuficiencia, la resiliencia comunitaria y el aprovechamiento integral de los recursos locales a largo plazo.

OBJETIVO



El objetivo principal de este proyecto consistió en crear y construir un contenedor para la deshidratación de setas comestibles, utilizando un sistema de control a base de electrónica en lazo cerrado con principios de automatización. Asegurar la integridad nutricional del producto fue el propósito técnico, buscando conseguir una deshidratación que garantizara la eficacia y homogeneidad del proceso. Esta solución, en última instancia, tiene como objetivo inhibir el deterioro de los hongos para que estén disponibles y para ayudar de manera activa a la seguridad alimentaria cuando los recursos son escasos.

MÉTODO

Los procesos aplicados se caracterizaron por ser asequibles y fácilmente replicables. Se utilizó MDF y aislamiento térmico, materiales que son asequibles, para construir el sistema de deshidratación, el cual giraba en torno a un microcontrolador Arduino NANO. La esencia de la innovación está en implementar un algoritmo digital de Control Proporcional-Integral-Derivativo (PID), que posibilita la regulación exacta y en tiempo real de la temperatura dentro del contenedor. El sistema funciona midiendo la temperatura constantemente, y el algoritmo PID adapta de manera dinámica la potencia del generador de calor para sostener un punto de ajuste ideal para la preservación, mejorando los ciclos de secado y aumentando al máximo la eficiencia energética.

DESARROLLO

Diseño y Materiales del Contenedor

El contenedor para la deshidratación, cuyas dimensiones fueron de 20 x 20 x 20 cm con una capacidad útil de 0.5 kg de setas frescas por ciclo, se construyó utilizando una estructura de MDF de 3 mm de espesor. Dicha estructura se aisló térmicamente con el propósito fundamental de minimizar las pérdidas de calor y optimizar la eficiencia energética global del sistema. Para el calentamiento, se empleó una resistencia, concretamente un foco incandescente de 60 W. La circulación del aire se garantizó mediante un ventilador axial de 12 V / 0.25 A con un flujo de 100 CFM, cuya velocidad se reguló de manera precisa mediante una señal de Modulación por Ancho de Pulso (PWM) gestionada por un puente H L293N. La monitorización ambiental se realizó con un sensor especializado en la detección de temperatura y humedad, modelo DHT11, que fue el encargado de detectar las condiciones internas de la cámara y cerrar el lazo de control. La selección de todos estos componentes, caracterizados por su bajo costo y su fácil adquisición en mercados



locales, se consideró fundamental para garantizar la replicabilidad y la escalabilidad del diseño, especialmente en contextos comunitarios con recursos limitados.

Sistema de Control

El núcleo del sistema de control en lazo cerrado consistió en un algoritmo de programación para control de temperatura preciso, implementado mediante un controlador PID (Proporcional, Integral, Derivativo) digital. Este controlador fue programado en un microcontrolador Arduino Nano, el cual se encargó de calcular de forma continua el error térmico existente entre la temperatura medida por el sensor y el setpoint o valor deseado (por ejemplo, 50°C). Con base en este cálculo, el sistema ajustó de manera automática la potencia suministrada a la resistencia de calentamiento y la velocidad del ventilador, utilizando para ello la técnica de Modulación por Ancho de Pulso (del inglés Pulse Width Modulation) con el fin de mantener las condiciones óptimas y estables para la deshidratación [6]. La ley de control se implementó según la forma estándar continua del PID es:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(t) dt + k_d \frac{de(t)}{dt}$$

Misma que pasa su implementación digital sobre el microcontrolador, requirió de la programación integradora numérica por medio de la regla del trapecio en la forma:

$$\int_{t_0}^{t_N} e(t) dt \approx \sum_{k=1}^N \frac{h}{2} [e(t_k) + e(t_{k-1})]$$

Por otro lado, para la discretización de la acción derivativa se empleó el método de Euler implícito con un paso hacia atrás en la forma conocida como se presenta a continuación:

$$\left. \frac{de(t)}{dt} \right|_{t=t_k} \approx \frac{e(t_k) - e(t_{k-1})}{h}$$

Con el objetivo de aumentar la confiabilidad de las mediciones del sensor, los cuales podían verse afectados por ruido eléctrico o fluctuaciones transitorias, se programó e implementó un filtro de Kalman. Este filtro se encargó de estimar el estado térmico verdadero del sistema en tiempo real, proporcionando una lectura limpia de ruido y considerando la incertidumbre inherente tanto de la medición del sensor incorporado, como al modelo del proceso mismo. La selección de este filtro



se realizó tras evaluar otras alternativas, como filtros de media móvil o pasa-bajos, decantándose por el filtro de Kalman debido a su desempeño superior en lazos del sistema en tiempo real, su eficiencia computacional (característica ideal para la capacidad de procesamiento del Arduino Nano) y, también, porque introducía un retardo de fase mínimo, evitando así potenciales inestabilidades en el controlador. La temperatura filtrada por el filtro de Kalman alimentó directamente al controlador PID, lo que resultó en una mejora en la estabilidad del lazo y evitó los ciclos de encendido y apagados bruscos, los cuales no solo reducen la eficiencia energética, también acortan el ciclo de vida operativo de los actuadores.

Operación del Sistema

La operación del sistema de control se diseñó con el fin de ser sencilla y accesible para usuarios potenciales sin formación técnica especializada. El procedimiento para el usuario se limitaba a cargar las setas en la cámara, encender el sistema mediante un interruptor y seleccionar la temperatura deseada girando un potenciómetro. El tiempo total de secado no fue preprogramado, sino que se determinó de forma empírica en función de las pruebas con cargas específicas en volumen y la humedad inicial de las setas, correspondiendo al usuario finalizar el proceso manualmente una vez observara que el secado estaba completo. La eficiencia energética se logró mediante una combinación del aislamiento térmico de la cámara y la estrategia de control suave del PID. A diferencia de los termostatos convencionales con aplicaciones distintas que operan mediante ciclos activos (termo ciclado), un método menos eficiente que genera significativas fluctuaciones de temperatura, el controlador PID reguló la potencia de salida de manera progresiva y continua.

Este enfoque mecatrónico, se integró de manera cohesiva un diseño de hardware accesible con un esquema de control inteligente y sofisticado, garantizó un proceso de deshidratación uniforme y reproducible. Esta consistencia resultó crucial para preservar la calidad nutricional de las setas y demostró tener el potencial para ser aplicado en el futuro a otros productos agrícolas perecederos.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez construido y ajustado el prototipo, se realizaron las pruebas de estabilidad de temperatura requeridas. El objetivo de estas pruebas fue verificar que la temperatura del contenedor se estabilizara en el valor deseado, con el fin primordial de preservar y evitar el daño de los nutrientes



que contienen las setas durante el proceso de deshidratación. Inicialmente, se llevó a cabo una prueba en la que la temperatura interna del contenedor termo-regulable se elevó por encima de los 50 °C. Posteriormente, mediante la activación de los ventiladores y la acción del controlador, se logró regularla hasta alcanzar el valor establecido como objetivo. Durante esta prueba, se pudo observar que los ventiladores disminuyeron su velocidad de forma efectiva al aproximarse a la temperatura deseada, lo que permitió reducir simultáneamente la humedad en el interior del contenedor de manera controlada.

Las pruebas realizadas demostraron la eficacia del algoritmo implementado para el controlador PID, el cual funcionó en conjunto con el microcontrolador Arduino NANO y el sensor aplicado. Gracias a esta integración, se consiguió estabilizar la temperatura interna de la caja dentro de los rangos deseados, lo que resultó crucial para concretar de manera positiva y uniforme el proceso de deshidratación de las setas.

El sistema demostró no solo la capacidad de alcanzar altas temperaturas de manera eficiente, sino también la de regular y mantener la temperatura objetivo con variaciones mínimas, asegurando un ambiente estable para el secado. De igual forma, se gestionó eficazmente la humedad ambiental, lo que evidenció que el sistema de ventilación incorporado era el adecuado para la aplicación específica propuesta en el proyecto.

Los resultados del método de secado utilizando esta configuración permitieron albergar la expectativa de extender significativamente la vida útil del producto, al mismo tiempo que se preservaban sus cualidades nutricionales. Finalmente, se constató el cumplimiento de los objetivos planteados, ya que se logró prolongar la estabilidad de almacenamiento de las setas de manera considerable. El diseño propuesto demostró ser adecuado para eliminar rápidamente la humedad de los hongos, permitiendo así que un alimento altamente perecedero se transformara en un producto más duradero que no requiere refrigeración. Esta característica contribuye directamente a aumentar su periodo de consumo antes de ser considerado como desperdicio, impactando positivamente en la reducción de pérdidas alimentarias. Las siguientes gráficas muestran que el sistema lograba con éxito las pruebas que se le realizaron.

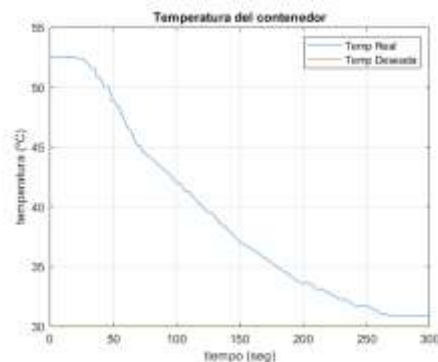


Figura 1. Gráfica de estabilización.

Fuente. Elaboración propia (2025).

La figura 1 muestra una prueba de estabilización de la temperatura deseada, empezando por una temperatura inicial de 52 a 53 grados centígrados, y conforme pasaron los 300 segundos la temperatura logró converger satisfactoriamente el valor consignado de la prueba, que fue de 30 grados centígrados.

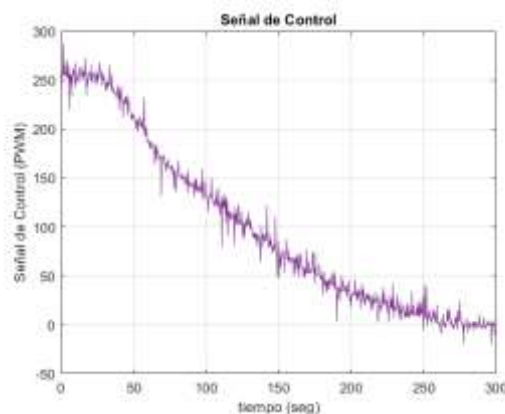


Figura 2. Señal de control del PID.

Fuente. Elaboración propia (2025).

En la figura anterior se muestra una prueba de estabilización de la señal PWM con el controlador PID, el cual se encarga de regular los ventiladores para tener un control de la temperatura, mostrando como es que estos empiezan a funcionar hasta que pasan los 300 segundos, funcionando de forma constante y más regulada.

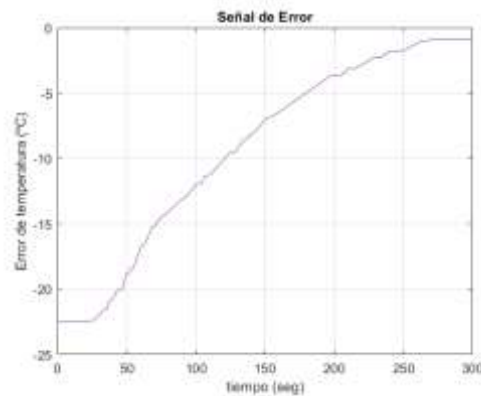


Figura 3. *Gráfica de estabilización.*

Fuente. *Elaboración propia (2025).*

La figura 3 muestra cómo es que el error está presente en un inicio de la prueba, y al pasar los 200 segundos el error empieza a disminuir hasta llegar a un valor cercano a 0, concordando con las gráficas anteriores y las pruebas deseadas.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son congruentes con los hallazgos reportados en el artículo Impact of dehydration techniques on the nutritional and microbial profiles of dried mushrooms, donde se establece que un control preciso de la temperatura durante el proceso de deshidratación es fundamental para preservar la calidad nutricional de los hongos comestibles. Gracias a esto, la estabilidad térmica alcanzada por el sistema desarrollado permitió realizar un secado uniforme, reduciendo el riesgo de degradación de nutrientes sensibles al calor y coincidiendo con lo señalado en dicha investigación.

De forma similar, el estudio titulado Traditional processing and preservation of wild edible mushrooms in Mexico describe diversos métodos convencionales utilizados para la conservación de hongos, los cuales, aunque efectivos en contextos rurales, presentan limitaciones importantes en términos de control del proceso y reproducibilidad de resultados. En comparación, lo propuesto en este trabajo incorpora un sistema automatizado de control en lazo cerrado que mejora la precisión del proceso, manteniendo la simplicidad y accesibilidad del diseño.

Por otro lado, investigaciones enfocadas en el aprovechamiento y estudio de hongos comestibles en contextos regionales, como el artículo Estudio micoflorístico de los hongos poliporoides del estado de Hidalgo, México, destacan la alta diversidad y disponibilidad de estos recursos, así como

la necesidad de implementar estrategias de conservación adecuadas para reducir pérdidas postcosecha. En este contexto, el sistema desarrollado responde a dicha necesidad al ofrecer una alternativa tecnológica de bajo costo que permite agregar valor a la producción local y extender la vida útil de un alimento altamente perecedero.

CONCLUSIONES

El sistema propuesto y desarrollado en esta investigación se basó en un microcontrolador Arduino Nano, un algoritmo PID y un filtro de Kalman, diseñado a partir de resultados prácticos, demostrando ser una solución técnicamente efectiva y de bajo costo para cumplir los objetivos iniciales, desarrollando de forma efectiva la deshidratación de setas y productos agrícolas endémicos del estado de Hidalgo. La integración del filtro de Kalman permitió reducir el ruido en las lecturas del elemento de detección, lo que mejoró la respuesta del controlador y aseguró una regulación térmica precisa (± 0.7 °C). La estabilidad en el proceso resultó fundamental para conservar el valor nutricional de las setas, reducir su desperdicio y extender su vida útil sin necesidad de refrigeración, la cual implicaba mayor tecnología y consumo de energía.

A partir de estos resultados, fue posible concluir que tanto el diseño como la construcción del contenedor termo-regulable presentado cumplieron con el objetivo propuesto, lo que validó su viabilidad como una herramienta tecnológica de alto potencial para contribuir a la seguridad alimentaria. Su operación, caracterizada por su sencillez (encendido y selección de temperatura), y su mantenimiento básico (limpieza periódica) facilitaron su potencial apropiación social en contextos comunitarios. Además, la plataforma desarrollada demostró ser una tecnología versátil y adaptable para la deshidratación de otros productos agrícolas perecederos (hierbas, chiles, frutas) mediante el simple ajuste del setpoint de temperatura, lo que amplió significativamente su potencial impacto. En conjunto con las investigaciones, volvemos a confirmar que el sistema se encuentra alineado con el estado actual del conocimiento, al tiempo que aporta una solución práctica y de bajo costo para la conservación de setas, con potencial impacto positivo en la seguridad alimentaria y el aprovechamiento de productos agrícolas perecederos.

Desde la perspectiva del ODS 2 de la ONU, el proyecto aportó a las metas 2.1 (acceso universal a alimentos seguros), 2.2 (mejora de la nutrición) y 2.3 (valor agregado a la producción local), lo cual robusteció la capacidad de respuesta local frente a los desafíos de la precariedad alimentaria.

Gracias a este proyecto, se nos dio la oportunidad de participar en el evento Memorias del Concurso Lasallista de Investigación, Desarrollo e innovación 2025 (CLIDI 2025), donde después de pasar por distintos filtros de selección, el proyecto logró brindar un lugar satisfactorio en la categoría de Diseño e innovación, dándonos una grata experiencia y resultado, incentivándonos a seguir adelante con nuestros proyectos y a trabajar cada vez más en ellos.

REFERENCIAS

- Admin. (2020, 22 de diciembre). *¿Qué es la clasificación "grado alimenticio"?* Cookinox. <https://www.cookinox.com/que-es-la-clasificacion-grado-alimenticio/>
- Barcelona Culinary Hub. (2025, 30 de julio). *La deshidratación de alimentos como gran técnica de conservación.* Barcelona Culinary Hub. <https://www.barcelonaculinaryhub.com/blog/deshidratcion-gastronomia>
- Cao, Y., Wu, L., Xia, Q., Yi, K., & Li, Y. (2024). Novel post-harvest preservation techniques for edible fungi: A review. *Foods*, 13(10), 1554. <https://doi.org/10.3390/foods13101554>
- Chen, S., Lu, X., Wu, H., Zhong, K., & Guo, L. (2014). College student's perception of the safety risks of food additives and its main influencing factors. *Food Science*, 35(13), 245-249. <https://www.spkx.net.cn/EN/abstract/article/1002-6630/51627.html>
- Difadi. (2025, 1 de septiembre). Así funciona el deshidratador de alimentos. Soluciones Hosteleras. Difadi. <https://www.solucioneshosteleras.com/blog/como-functiona-el-deshidratador-de-alimentos/>
- El Sol de Tulancingo. (2024, 11 de diciembre). *Más de 600 variedades de hongos se cultivan en Hidalgo.* El Sol de Tulancingo. <https://oem.com.mx/elsoldetulancingo/local/mas-de-600-variedades-de-hongos-se-cultivan-en-hidalgo-19101345>
- FoodUnfolded. (s.f.). *Comida deshidratada: ¿Cómo se hace?* FoodUnfolded <https://www.foodunfolded.com/es/articulo/comida-deshidratada-como-se-hace>
- Gamez, M. J. (2022, 24 de mayo). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible.* Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

- Hongos de México. (s.f.). *Boletus edulis*. Instituto de Biología, UNAM. https://hongoscomestiblesytoxicos.ib.unam.mx/fichas/Boletus_edulis.html
- JULABO GmbH. (s.f.). *Sistemas de control de temperatura en la industria alimentaria*. JULABO GmbH. <https://www.julabo.com/es-mx/aplicaciones/industrias-y-mercados/sistemas-control-temperatura-la-industria-alimentaria>
- Kaila by Zabala Innovation. (2025, 10 de noviembre). Sensores alimentarios: Innovación para la seguridad y la calidad. Kaila by Zabala Innovation. <https://kaila.eu/es/blog/sensores-alimentarios-innovacion-para-la-seguridad-y-la-calidad/>
- Marçal, S., Sousa, A. S., Taofiq, O., Antunes, F., Morais, A. M. M. B., Freitas, A. C., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R., & Pintado, M. (2021). Impact of postharvest preservation methods on nutritional value and bioactive properties of mushrooms. *Trends in Food Science & Technology*, (110), 418-431. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.007>
- Moutia, I., Lakatos, E., & Kovács, A. J. (2024). Impact of dehydration techniques on the nutritional and microbial profiles of dried mushrooms. *Foods*, 13(20), 3245. <https://doi.org/10.3390/foods13203245>
- Pérez-Ovando, C. (2017). Traditional processing and preservation of wild edible mushrooms in Mexico. *Annals of Food Processing and Preservation*, 2(1), 1013.
- Revista de Gastronomía y Cocina. (s.f.). *Materiales usados en utensilios de cocina y sus posibles efectos tóxicos en la salud humana*. Revista de Gastronomía y Cocina. <https://academiaculinaria.org/index.php/gastronomia-cocina/article/view/41/71>
- Romero-Bautista, L., Pulido-Flores, G., & Valenzuela, R. (2010). Estudio micoflorístico de los hongos poliporoides del estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Micología*, (31), 1-8. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682010000100001
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (s.f.). *Los hongos y setas, tradición de buena alimentación*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/los-hongos-y-setas-tradicion-de-buena-alimentacion>

Torrell, J. (2023, 7 de julio). *Materiales seguros y saludables en la cocina*. MAPFRE.

<https://www.salud.mapfre.es/nutricion/reportajes-nutricion/materiales-seguros-cocina/>

TABLA TRABAJO COLABORATIVO

Rol	Autor (es)
Conceptualización	Joshua Hyrum
Metodología	Armando Olvera
Software	Edwin Islas
Validación	Edgar Varguez
Análisis Formal	Mario Ordaz
Investigación	Joshua Hyrum
Recursos	Armando Olvera
Curación de datos	Edwin Islas
Escritura - Preparación del borrador original	Edgar Varguez
Escritura - Revisión y edición	Mario Ordaz
Visualización	Joshua Hyrum
Supervisión	Armando Olvera
Administración de Proyectos	Edwin Islas
Adquisición de fondos	Edgar Varguez