

Sistema IoT de monitoreo y control inteligente para cama de cría de lombriz californiana

IoT system for intelligent monitoring and control of Californian worm breeding beds

Diana Alejandra Ortega Castillo¹ ✉ , Israel Ulises Ponce Monarrez¹ 

¹Maestría en Tecnología, Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es desarrollar un sistema basado en Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo y control en tiempo real de variables climatológicas clave, como la temperatura y la humedad, en una cama de lombriz californiana (*Eisenia fetida*). Este sistema está diseñado para mantener la salud de la colonia de lombrices, mejorando las condiciones de cría y maximizando la producción de humus sólido y lixiviado. Se pretende que el sistema IoT propuesto permita un control remoto eficiente, monitoreando las condiciones de la cama de cría y ajustando las variables para prevenir escenarios desfavorables para la salud de las lombrices. Con la incorporación de sensores IoT y un diseño estructural, que incluye mecanismos de aireación y recolección de lixiviados, se busca garantizar un monitoreo y control óptimos para asegurar la producción continua de vermicomposta de alta calidad. Como resultados preliminares, se ha logrado la construcción de la caja de cría, la selección adecuada de los sensores y la validación del sistema mediante pruebas de medición de temperatura y humedad. Actualmente, el siguiente paso consiste en integrar todos los componentes y realizar ensayos con las lombrices, con el fin de evaluar el desempeño del sistema en condiciones reales de operación.

PALABRAS CLAVE: sistema IoT; monitoreo y control; vermicomposta; lombriz californiana.

ABSTRACT

The objective of this research is to develop an Internet of Things (IoT)-based system for real-time monitoring and control of key climatological variables, such as temperature and humidity, in a California worm bed (*Eisenia fetida*). This system is designed to maintain the health of the worm colony, improving breeding conditions and maximizing the production of solid humus and leachate. The proposed IoT system is intended to enable efficient remote control, monitoring the conditions of the breeding bed and adjusting variables to prevent unfavorable scenarios for worm health. By incorporating IoT sensors and a structural design, which includes aeration and leachate collection mechanisms, optimal monitoring and control are sought to ensure the continuous production of high-quality vermicompost. Preliminary results include the construction of the breeding box, the appropriate selection of sensors, and the validation of the system through temperature and humidity measurement tests. Currently, the next step is to integrate all the components and conduct tests with worms to evaluate the system's performance under real-life operating conditions.

KEYWORDS: IoT system; monitoring and control; vermicompost; earth worm.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Diana Alejandra Ortega Castillo
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez /
Instituto de Ingeniería y Tecnología
DIRECCIÓN: Av. del Charro núm. 450 norte, col. Partido Romero,
C. P. 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: al237868@alumnos.uacj.mx

Fecha de recepción: 3 de junio de 2025. **Fecha de aceptación:**
10 de julio de 2025. **Fecha de publicación:** 31 de agosto de
2025.



I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la cría de lombriz californiana (*Eisenia fétida*), conocida por su capacidad de convertir desechos orgánicos en vermicomposta de alta calidad, ha ganado importancia en la agricultura urbana y en la gestión de residuos sólidos urbanos [1], [2], [3]. Para que las lombrices prosperen y puedan producir el abono requerido, es fundamental que el entorno en el que se encuentran permanezca bajo condiciones ambientales adecuadas, particularmente en cuanto a temperatura y humedad. Las lombrices son organismos muy sensibles que exigen de un monitoreo constante para evitar cambios bruscos que puedan afectar su salud y rendimiento [4].

Tradicionalmente, el monitoreo y mantenimiento de las condiciones de temperatura y humedad ha sido un proceso manual que requiere de atención constante, lo cual puede resultar en un verdadero desafío cuando no es posible estar físicamente presente para realizar estas actividades. En este contexto, con los avances tecnológicos, la internet de las cosas (IoT) ha emergido una herramienta que permite supervisar y controlar remotamente distintos procesos, por lo que la integración de estos sistemas en la gestión de camas de cría de lombrices puede ofrecer una solución eficiente para garantizar su bienestar y mejorar la producción de humus.

El presente proyecto está desarrollando un sistema basado en IoT que no solo facilite el monitoreo en tiempo real de las variables críticas (temperatura y humedad) en las camas de cría, sino que, a su vez, permita realizar el ajuste necesario de manera inmediata de acuerdo con las necesidades del entorno de las lombrices. Con este enfoque, se espera mejorar tanto la supervivencia de la colonia como la producción de vermicomposta, aprovechando las ventajas de la tecnología IoT para reformar la gestión tradicional de estos anélidos en un proceso automatizado y eficiente [5].

La principal finalidad de este trabajo es la de desarrollar un sistema basado en IoT para el monitoreo y control de variables climatológicas, como temperatura y humedad, en tiempo real, para una cama de cría de lombriz californiana. Se está diseñando una red de sensores para monitorear las variables descritas, así como un sistema IoT para el control de las variables monitoreadas y se instalará la red de sensores en la cama de cría muestra que se estima tenga una superficie aproximada de 1 m² con una profundidad de 30 a 40 cm.

Ya teniendo listo el sistema, se analizará la información obtenida de los sensores en una base de datos para, finalmente, validar el sistema a través de herramientas estadísticas que aún no están definidas.

Por tanto, la pregunta de investigación gira en torno a cómo se puede desarrollar un sistema IoT para el monitoreo y control de variables de temperatura y humedad en una cama de cría de lombriz californiana.

A. AGRICULTURA URBANA Y PERIURBANA

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), para 2050 se prevé que el crecimiento de la población alcanzará aproximadamente los 9.7 billones de personas en todo el mundo, de las cuales el 70 % vivirán en zonas urbanas, en condiciones mayormente de ingresos medios a bajos. Aunado a una crisis agrícola que se enfrenta actualmente por diversas causas y la creciente emergencia a causa del cambio climático, se deben de repensar las distintas formas de producir y distribuir los alimentos [6], [7].

La agricultura urbana y periurbana (AUP) involucra la producción de alimentos y otros productos agrícolas dentro y alrededor de las ciudades, entorno que abarca diversas prácticas, como la jardinería en el hogar, jardinería comunitaria, huertos urbanos, agricultura comercial y el cultivo de alimentos en instituciones [6], [7], [8].

Dentro de los beneficios de la agricultura urbana están una mejor producción (se producen de forma local, reduce costos de transporte y promueve prácticas sostenibles); mejor nutrición (se consumen alimentos de temporada, frescos y nutritivos); medio ambiente (promueve la infraestructura verde, biodiversidad, el reciclaje de recursos contribuyendo a la mitigación del cambio climático) y calidad de vida (genera empleos, apoya medios de vida, fomenta la inclusión social y la convivencia comunitaria) [9], [10].

B. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS ORGÁNICOS

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), en el mundo se generan alrededor de 2000 millones de toneladas de residuos por año, donde el 50 % de estos es orgánico. Tan solo en América Latina se generan al-

rededor de 200 millones de toneladas al año, de los cuales 100 son residuos orgánicos biodegradables o que se pueden compostar, sin embargo, solo el 1 % termina en uso para composta [11].

Se prevé que, llevando a cabo distintos programas de compostaje, se pueden recuperar o mejorar hasta 6 millones de hectáreas al año para la agricultura regenerativa, orgánica y para la producción de alimentos sanos [11]. Comúnmente, el abono orgánico proveniente de animales o de desechos orgánicos vegetales de las cocinas es aprovechado para la agricultura urbana [5]. En Bangladesh, la FAO desarrolló un proyecto de 2015 a 2017 en el que se instalaron jardines en techos de las escuelas, en los que se aplicó vermicomposta desarrollada con desechos de cocina para mejorar la composición del suelo y enriquecerlo con nutrientes de manera natural y sin el uso de fertilizantes químicos.

C. BENEFICIOS DE LA VERMICOMPOSTA

La vermicomposta es el producto del proceso de transformación de los desechos orgánicos (biodegradación) en composta rica en nutrientes para la tierra, con la ayuda de las actividades de la vida diaria de la lombriz de tierra, que comúnmente es de la especie *Eisenia fetida* o lombriz californiana, y los microorganismos que se encuentran en el hábitat [12].

Además de mejorar los nutrientes de la tierra, se ha demostrado que la especie *Eisenia fetida* es capaz de acelerar la descomposición de colillas de cigarro, no únicamente desechos orgánicos vegetales. En [13] se destaca que las lombrices californianas pudieron mejorar la tasa de descomposición de las colillas de cigarro hasta en un 6 %.

D. DESAFÍOS DEL MANEJO DE LOMBRIZ CALIFORNIANA EN CLIMAS EXTREMOS

Los climas extremos son todo un desafío para el manejo de lombrices californianas, pues el aumento de las temperaturas y las lluvias irregulares afectan su crecimiento, reproducción y supervivencia, ya sea por inundación o falta de humedad, lo que lleva a una reducción considerable de la población y, por ende, de su producción de humus [14]. En [15] se destaca que los climas extremos inducen cambios en las lombrices de tierra, lo que complica su manejo debido a sus respuestas alteradas al estrés que esto les provoca.

E. SISTEMAS DE MONITOREO Y CONTROL DE VARIABLES

Los sistemas de monitoreo de variables, que son necesarios para rastrear y analizar distintos parámetros de alguna operación dada, utilizan diversas tecnologías cada vez más avanzadas para garantizar la recopilación precisa de datos, la detección de fallas y el análisis de desempeño, lo que mejora la eficiencia y la seguridad de las operaciones [16].

Los sistemas de monitoreo de hábitats se clasifican en esquemas espaciales (mapeo de campo, teledetección, etc.), esquemas no espaciales y cobertura de los hábitats [17].

Los sistemas de control de variables se encuentran en una gran variedad de aplicaciones en diversos campos, incluidos economía, energía, térmica, gestión del tráfico, etc. Estos sistemas se caracterizan por su capacidad de adaptar y modificar condiciones iniciales de un sistema, a través de acciones de control basadas en condiciones o requisitos específicos [18].

Un ejemplo de lo anterior es el ajuste que se hace a un ventilador en función de las mediciones de temperatura que se detectan a través de un sensor, donde el ventilador puede operar diferentes velocidades dependiendo de los límites de temperatura definidos [19], [20].

II. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en esta investigación se orienta al diseño y desarrollo de un sistema IoT para el monitoreo y control en tiempo real de variables críticas de temperatura y humedad en una cama de cría de lombrices de la especie *Eisenia fetida*. El objetivo es mantener un entorno saludable de la colonia para la producción de vermicomposta, mejorando así el ciclo de conversión de desperdicios vegetales en abono orgánico y de alta calidad.

Los pasos metodológicos incluyen el diseño y selección de sensores, la configuración del sistema IoT, el desarrollo de software de monitoreo y la implementación de pruebas de funcionalidad, con el fin de asegurar la efectividad del sistema en condiciones reales de operación.

La [Figura 1](#) presenta el diagrama de la metodología propuesta para el desarrollo de la investigación.

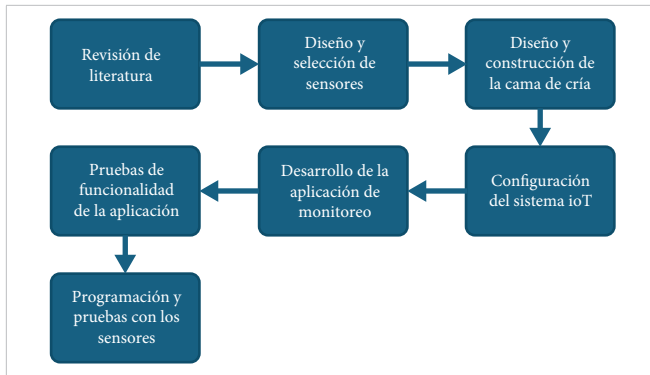


Figura 1. Metodología propuesta para el desarrollo de la investigación.

III. RESULTADOS PRELIMINARES

A. DISEÑO DE LA CAMA DE LOMBRICES

En este caso, la carcasa o cama de cría puede ser cualquier caja que contenga el hábitat. Se asumió como criterio que debe tener suficiente aireación, así como una profundidad mínima de 30 cm, preferentemente de un material aislante y resistente para evitar daños futuros. Para el diseño particular de esta investigación, se pretendía agregar un par de tornillos sinfín que promovieran el movimiento del sustrato y, con ello, la aireación del ambiente, como se muestra en la Figura 2. Sin embargo, se observó que los tornillos serían un elemento que obstaculice la manipulación de la red de sensores, por lo que se decidió removerlos, manteniendo el diseño sin los tornillos.

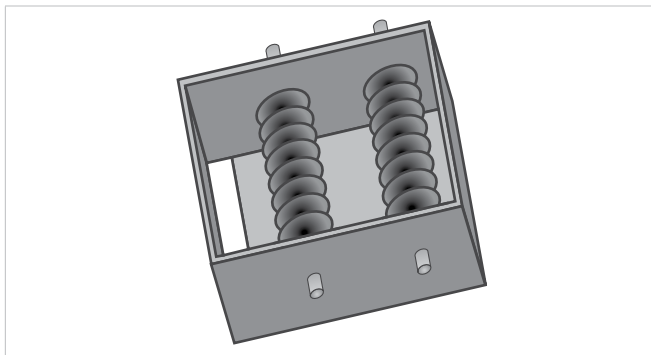


Figura 2. Diseño original de la cama de cría.

Este diseño cuenta también con un espacio por el cual se pueden recolectar los lixiviados de la vermicomposta, que son un producto muy importante de esta, ya que es un concentrado natural de nutrientes para las plantas.

Se pretende distribuir la red de sensores en puntos estratégicos de la cama de cría para tomar mediciones lo

más homogéneas posible. Se emplearán nueve sensores, distribuidos al dividir la caja en una cuadrícula de 3×3 , de manera que cada uno de ellos quede ubicado en el centro de cada sección.

B. DISEÑO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE VARIABLES

La Figura 3 muestra datos obtenidos al haber aplicado el método multicriterio PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) para la evaluación de cinco alternativas de sensores de temperatura. Ahí se presentan los criterios considerados (costo, conexión, entrega, desempeño eléctrico y medición), junto con los pesos asignados a cada uno de ellos en función de su importancia relativa (0.3, 0.2, 0.2, 0.2 y 0.1, respectivamente).

PROMETHEE							
Criteria Type	Indirect	Direct	Direct	Direct	Direct		
Weight (W _j)	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1		
CRITERIA NAMES							
ALTERNATIVE NAME		Costo	Conexión	Entrega	Eléctrico	Medición	Rank
	S. Temp 1	260	1	2	3	1	2
	S. Temp 2	350	1	2	3	1	1
	S. Temp 3	30000	1	2	2	1	3
	S. Temp 4	752	0	2	1	1	4
	S. Temp 5	1000	0	1	1	1	5
	MAX(x _{ij})	30000	1	2	3	1	
	MIN(x _{ij})	260	0	1	1	0	

Figura 3. Toma de decisión multicriterio sensores.

Los parámetros que adoptados para el análisis de la toma de decisiones fueron *menor costo*; *tipo de conexión* (1 para alámbrica, 0 para inalámbrica); *tiempo de entrega en cantidad de semanas* (2 para menos de 1 y 1 para más de 1 semana); *diseño eléctrico*, contando con la cantidad de hilos para la conexión (3 para 4 hilos, 2 para 3 hilos y 1 para 2 hilos) y *rango de medición*, donde coincidió que todos tienen un amplio rango de medición.

Cada sensor fue evaluado de acuerdo con estos criterios y enseguida se normalizaron los valores utilizando los máximos y mínimos de cada categoría. Finalmente, el método PROMETHEE permitió obtener un *ranking* de desempeño global, donde el sensor S. Temp 2 resultó ser la mejor opción (primer lugar), seguido por S. Temp 1 y S. Temp 3, mientras que S. Temp 4 y S. Temp 5 ocuparon las últimas posiciones. Este análisis multicriterio proporciona una base objetiva para la toma de decisiones en la selección de componentes tecnológicos.

En cuanto a la topología que llevarán los sensores, se optó por la conexión tipo estrella, ya que será más sencillo conectarlos a un Arduino para obtener los datos de temperatura y humedad requeridos.

Asimismo, se determinó la utilización de un microcontrolador de la familia ESP32 para la adquisición, análisis de datos y control del sistema. La elección de este dispositivo se justifica por diversas ventajas: en primer lugar, su capacidad de conexión inalámbrica mediante Wi-Fi y Bluetooth, lo que facilita la comunicación directa con dispositivos móviles para el monitoreo en tiempo real. En segundo lugar, su procesador de alto rendimiento permite manejar múltiples tareas simultáneamente y procesar datos de forma eficiente. Además, el ESP32 ofrece soporte para la integración de una amplia variedad de sensores y módulos, lo que otorga flexibilidad al diseño del sistema. Finalmente, su compatibilidad con librerías de código abierto y plataformas de desarrollo ampliamente utilizadas reduce los tiempos de programación y facilita la implementación de algoritmos de control avanzados. Estas características convierten al ESP32 en una opción idónea para el presente proyecto, al garantizar tanto eficiencia en el procesamiento de datos como escalabilidad en aplicaciones futuras.

La [Figura 4](#) ilustra el funcionamiento del sistema propuesto basado en Internet de las Cosas (IoT). En primer lugar, los sensores instalados en la cama de vermicomposta registran variables críticas como la temperatura y la humedad. Estos datos son adquiridos por el microcontrolador ESP32, que cuenta con conectividad Wi-Fi integrada. Posteriormente, la información se envía a la nube, donde queda disponible para su almacenamiento, visualización y análisis.

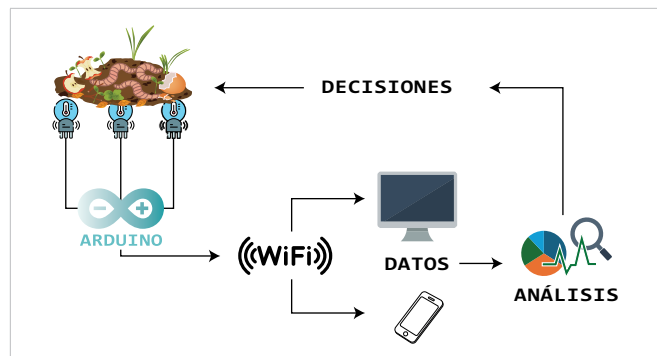


Figura 4. Diagrama de conexiones.

El análisis de los datos permite identificar variaciones en las condiciones del sistema y, a partir de ello, se generan

decisiones orientadas a mantener parámetros óptimos para la salud de la lombriz californiana (*Eisenia fetida*). Dichas decisiones pueden implicar ajustes en la aireación, humedad o temperatura de la cama, garantizando así un entorno adecuado para la producción eficiente de humus y lixiviados. Asimismo, los datos pueden ser consultados en tiempo real mediante dispositivos móviles o computadoras, lo que facilita el monitoreo remoto y el control continuo del proceso.

C. DESARROLLO DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL

Este apartado aún se encuentra en desarrollo, ya que se están probando los sensores, así como la programación de estos para obtener las lecturas correctas en tiempo real, tanto de temperatura como de humedad.

De manera complementaria, el código para la adquisición y análisis de la información proveniente de los sensores se está desarrollando en el entorno de programación Arduino IDE, dado que el sistema emplea un microcontrolador ESP32. Una vez configurados los sensores en su totalidad, el software será validado mediante pruebas funcionales

Asimismo, se está implementando una aplicación basada en Blynk, la cual permite la visualización y el control de los datos en tiempo real. Esta plataforma es compatible con sistemas operativos Windows y MacOS, además de ofrecer acceso mediante dispositivos móviles con Android e iOS. Su interfaz intuitiva y amigable facilita que el usuario pueda obtener la información de manera sencilla, rápida y accesible, favoreciendo así la interacción eficiente con el sistema de monitoreo y control.

D. ESTRATEGIA DE PRUEBAS

La validación del sistema se ejecutará a través de experimentos sencillos para medir los siguientes rubros:

- **Precisión de sensores.** Asegurará que las lecturas estén dentro de un margen de error aceptable,
- **Estabilidad del sistema en tiempo real.** Se ejecutará el sistema por un periodo de tiempo largo, de manera ininterrumpida para verificar frecuencia de errores, inconsistencia en la señal, así como el envío y recepción de datos.

- **Respuesta de cambios al ambiente.** Se simularán cambios bruscos de temperatura y humedad para evaluar la rapidez y precisión con el que el sistema detecta las variaciones generadas para así poder realizar los ajustes necesarios.
- **Comunicación y conectividad.** Se interrumpirá intencionalmente la conexión de red para luego ser restaurada y poder observar la reconexión tanto como que se reanude el envío de datos de manera automática.
- **Acceso y control remoto.** Se llevará a cabo una serie de pruebas de acceso remoto desde diferentes dispositivos electrónicos (teléfonos celulares, computadoras, tabletas, etc.) con el fin de identificar si los usuarios pueden acceder y controlar el sistema sin fallas en la conexión ni errores en la aplicación en los ajustes de los parámetros.
- **Respuesta ante situaciones extremas.** Se simulará una emergencia de sobrecalentamiento o una helada, y se observará si el sistema envía las señales de alerta, activa los controles predefinidos para dicha acción y/o enciende los ventiladores o el sistema de calentamiento.
- **Manejo del usuario final.** Se realiza una prueba con potenciales usuarios finales que simulen un día de operación del sistema, de tal forma que se observe si los usuarios pueden navegar en la interfaz sin confusión, errores y con facilidad.

En consecuencia, las observaciones y datos obtenidos podrán ser evidencia suficiente para validar la funcionalidad y operación del sistema.

E. ANÁLISIS DE DATOS

Se recolectarán los datos obtenidos en bases de datos para poder ser analizados a través de alguna técnica estadística, de acuerdo con cada una de las pruebas. En algunas se utilizará un Diseño de Experimentos para verificar la lectura de variables como temperatura y humedad.

En algunas otras se utilizarán muestreos aleatorios y/o estratificados, dependiendo de la naturaleza de la prueba. Finalmente, cuando los usuarios finales utilicen el sistema, se aplicarán encuestas o cuestionarios a estos

con la finalidad de encontrar las oportunidades de mejora en el sistema.

Una vez obtenida la información será analizada por medio de herramientas de estadística descriptiva, así como análisis de series temporales para los cambios de temperatura y humedad, y algunos gráficos de control con el fin de monitorear la estabilidad del sistema durante periodos prolongados de tiempo en los que esté trabajando sin supervisión.

F. AJUSTE DEL SISTEMA

Una vez que se cuente con la información y el análisis de esta, se realizará una lista de las posibles oportunidades de mejora que se presentaron y se acomodarán por orden de prioridad para realizar las modificaciones pertinentes.

IV. CONCLUSIONES

Debido a que esta es una investigación en desarrollo, se espera que los resultados esperados redunden en los siguientes aspectos. En primer lugar, el sistema debería permitir el monitoreo y ajuste de las variables de temperatura y humedad en tiempo real, asegurando las condiciones óptimas para la cría de lombrices y mejorando con ello la tasa de supervivencia y crecimiento de la colonia. Al mantener un entorno adecuado de crianza, se proyecta maximizar la producción de humus sólido y lixiviado, ambos ricos en nutrientes y de alta calidad, lo que garantiza un abono orgánico libre de químicos para su uso en la agricultura urbana.

De igual forma, gracias al monitoreo remoto y a la capacidad de ajuste automático del sistema, se anticipa una reducción en las horas hombre requeridas para la supervisión constante, optimizando así el uso de recursos y disminuyendo los costos operativos asociados al manejo de la cama de lombrices.

El proyecto también busca demostrar que la vermicompostera constituye una alternativa viable y sostenible para la gestión de residuos orgánicos, contribuyendo a reducir la dependencia de fertilizantes químicos y minimizando el impacto ambiental en entornos urbanos. Finalmente, se prevé que los resultados obtenidos puedan extrapolarse o adaptarse a otros escenarios de agricultura urbana, impulsando prácticas sostenibles de gestión de residuos y fomentando la producción de

fertilizantes naturales a pequeña escala, con beneficios directos en jardines y huertos urbanos.

Es importante destacar que, en las primeras etapas de la investigación, la definición de criterios de selección desempeña un papel clave en la viabilidad y éxito del proyecto. La elección de la caja de cría y de los sensores adecuados, por ejemplo, no solo asegura la confiabilidad de los datos obtenidos, sino que también facilita la integración con el sistema IoT propuesto. Establecer criterios claros desde el inicio permite orientar el diseño experimental hacia resultados más consistentes, garantizar una mejor adaptación tecnológica y optimizar la eficiencia de las pruebas posteriores.

REFERENCIAS

- [1] R. Manchal, T. Venustey S. R. Verma, "Vermicomposting, a key to sustainable agriculture: A review", *Farm. Manage.*, vol. 8, n.º 2, pp. 81-93, dic. 2023, doi: [10.31830/2456-8724.2023.fm-128](https://doi.org/10.31830/2456-8724.2023.fm-128).
- [2] K. Yadav, N. Singh, S. Nayak y S. Kumar, "Sustainable vermicomposting: an eco-friendly approach to boost crop productivity", en *Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences*, IIIP Series, 2024, cap. 4. doi: [10.58532/v3bcag16p2ch1](https://doi.org/10.58532/v3bcag16p2ch1).
- [3] V. B. Shalini, A. U. Maheswari, C. Marimuthu y J. Jeshima, "Vermi-Composting using AI in IoT", 2022 *International Conference on Applied Artificial Intelligence and Computing (ICAAIC)*, Salem, India, 2022, pp. 1489-1493, doi: [10.1109/ICAAIC53929.2022.9793207](https://doi.org/10.1109/ICAAIC53929.2022.9793207).
- [4] P. Román, M. M. Martínez y A. Pantoja, *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Chile: FAO, 2013.
- [5] V. G. Sonole, Soumya CB, A. Meghana y M. G. Shetty, "Vermicompost: An integral part in urban agriculture", *Int. J. Res. Agron.*, vol. 7, n.º 8, parte B, pp. 89-92, 2024, doi: [10.33545/2618060x.2024.v7.i8b.1191](https://doi.org/10.33545/2618060x.2024.v7.i8b.1191).
- [6] FAO, Rikolto y RUAF, *Urban and peri-urban agriculture sourcebook. From production to food systems*. Roma: FAO and Rikolto, 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.4060/cb9722en>
- [7] "Growing greener cities in Africa", Food and Agriculture Organization, Roma, Italia, First status report on urban and peri-urban horticulture in Africa, 2012. Accedido: en. 11, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.fao.org/4/i3002e/i3002e.pdf>
- [8] "¿Qué es un huerto urbano?". Iberdrola.com. Accedido: oct. 20, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/que-es-un-huerto-urbano>
- [9] I. I. Bashour y A. H. Sayegh, *Methods of Analysis for Soils of Arid and Semi-arid Regions*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007.
- [10] FAO, *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. Roma: FAO / Madrid: Mundi-Prensa, 2011.
- [11] "Economía Circular de los residuos orgánicos para la ciudad y el campo". One planet. Accedido: oct. 28, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.oneplanetnetwork.org/knowledge-centre/resources/economia-circular-de-los-residuos-organicos-para-la-ciudad-y-el-campo>
- [12] Q. Abad y S. Shafiqi, "Vermicompost: Significance and Benefits for Agriculture", *J. Res. Appl. Sci. Biotechnol.*, vol. 3, n.º 2, 2024, doi: [10.55544/jrasb.3.2.36](https://doi.org/10.55544/jrasb.3.2.36).
- [13] D. I. Korobushkin, P. G. Garibian, L. A. Pelgunova y A. S. Zaitsev, "The earthworm species *Eisenia fetida* accelerates the decomposition rate of cigarette butts on the soil surface", *Soil Biol. Biochem.*, vol. 151, p. 108022, 2020, doi: [10.1016/j.soilbio.2020.108022](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108022).
- [14] H. Kaka, P. A. Oputey M. S. Maboeta, "Potential Impacts of Climate Change on the Toxicity of Pesticides towards Earthworms", *J. Toxicol.*, vol. 2021, p. 8527991, 2021, doi: [10.1155/2021/8527991](https://doi.org/10.1155/2021/8527991).
- [15] N. Tilikj, M. de la Fuente, A. B. Muñoz, J.-L. Martínez-Guitarte y M. Novo, "Surviving a multistressor world: Gene expression changes in earthworms exposed to heat, desiccation, and chemicals", *Environ Toxicol Pharmacol*, vol. 108, p. 104428, 2024, doi: [10.1016/j.etap.2024.104428](https://doi.org/10.1016/j.etap.2024.104428).
- [16] Sequence indicating monitoring system, por J. Sargent, K. C. Linder y A. I. Goodman. (1996, oct. 11). Patente US3278920A [En línea]. Disponible: <https://patents.google.com/patent/US3278920A>

- [17] S. Lengyel *et al.*, “A review and a framework for the integration of biodiversity monitoring at the habitat level”, *Biodivers. Conserv.*, vol. 17, n.º 14, pp. 3341-3356, 2008, doi: [10.1007/S10531-008-9359-7](https://doi.org/10.1007/S10531-008-9359-7).
- [18] A. Arsenashvili. (2023). Variable Structure Optimal Control Problem for the Economic-Political Systems with Continuous Intermediate Conditions. Presentado en conferencia. [En línea]. doi: [10.55896/978-9941-8-5764-5/2023-225-234](https://doi.org/10.55896/978-9941-8-5764-5/2023-225-234).
- [19] Variable speed blower control for HVAC systems, por D.-K. Hung y R. Hundt, Roger. (2020, oct. 13). Patente US10801765-B2 [En línea]. Disponible: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/patent/US-10801765-B2>
- [20] Y. Ren *et al.*, “Soil Temperature and Humidity Monitoring System Design for Farm Land Based on ZigBee Communication Technology”, *DEStech Trans. Environ. Energy Earth Sci.*, 2019, doi: [10.12783/DTEES/ICEPE2019/28932](https://doi.org/10.12783/DTEES/ICEPE2019/28932).

RECONOCIMIENTO

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI).