



REVISTA

JUVENTUD Y CIENCIA SOLIDARIA:

En el camino de la investigación

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE IOT DE MONITOREO Y CONTROL AMBIENTAL PARA VERMICOMPOSTAJE INTEGRANDO TECNOLOGÍAS DE BAJO COSTO EN UN SISTEMA AGROECOLÓGICO DE PRODUCCIÓN LIMPIA

Dylan Alexis Vargas Basantes, Michael Bryan Morejon Moscoso,
Mateo Josué Santillán Cárdenas, Mathiu Fransua Rivera Salazar



Mi nombre es **Dylan Alexis Vargas Basantes**, tengo 17 años. Estudio en el tercer año BTI de la U.E. Técnico Salesiano “Don Bosco”. Me gusta escuchar música y jugar fútbol. Quiero estudiar una carrera relacionada con tecnologías de la información en la universidad.



Mi nombre es **Michael Bryan Morejon Moscoso**, tengo 17 años. Estudio en el tercer año BTI de la U.E. Técnico Salesiano “Don Bosco”. Me gustan los videojuegos, escuchar música y los deportes de contacto. Quiero estudiar Negocios Internacionales en la universidad.



Mi nombre es **Mateo Josué Santillán Cárdenas**, tengo 17 años y estudio en la U.E. Técnico Salesiano “Don Bosco”. Me gusta la tecnología, los videojuegos y aprender cosas nuevas. En el futuro, quiero estudiar una carrera relacionada con el desarrollo de software.



Mi nombre es **Mathiu Fransua Rivera Salazar**, tengo 18 años. Estudio en el tercer año BTI de la U.E. Técnico Salesiano “Don Bosco”. Me gusta ir al gimnasio y escuchar música mientras entreno o salgo a caminar. Quiero estudiar marketing e independizarme pronto.

Resumen

El presente proyecto consistió en el desarrollo de un prototipo de vermicompostero inteligente basado en Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo de variables ambientales en tiempo real.

El sistema fue instalado en la finca Santillán, ubicada en Calderón, para el tratamiento de residuos orgánicos mediante vermicompostaje con lombrices.

El objetivo fue diseñar y construir un sistema automatizado capaz de supervisar las condiciones necesarias para este proceso. La metodología incluyó investigación teórica, diseño, construcción y validación del prototipo. Los resultados demostraron que el sistema permitió monitorear eficientemente las variables ambientales y facilitar el control del proceso de producción de abono orgánico.

Palabras clave: vermicompostero inteligente, diseño, construcción, monitoreo ambiental, sistema IoT, abono orgánico

Explicación del tema

El proyecto consiste en la creación de un sistema de vermicompostero inteligente que automatiza el proceso de transformación de desechos orgánicos en abono de alta calidad, conocido como humus.

Para su funcionamiento se utilizó un microcontrolador ESP32 [1] junto con sensores especializados encargados de monitorear variables como la temperatura y la humedad del sustrato.

Mediante el seguimiento de estas condiciones, el sistema mantiene un ambiente adecuado para el desarrollo de las lombrices y el proceso de vermicompostaje.

Conceptos previos

Vermicompostero

El vermicompostaje es un proceso ecológico que utiliza lombrices, generalmente la roja californiana, para

transformar residuos orgánicos domésticos en humus de lombriz, un fertilizante de alta calidad rico en nutrientes. Es una técnica eficiente, rápida y limpia para reducir la basura orgánica del hogar, combatiendo el cambio climático al evitar la generación de metano en vertederos [2, 3].



Figura 1. Vermicompostaje
Fuente: Autores

Monitoreo ambiental

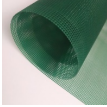
El monitoreo ambiental es el proceso sistemático y continuo de medición, muestreo y evaluación de componentes físicos, químicos y biológicos, como aire, agua, suelo y ruido. Su objetivo es gestionar impactos, asegurar el cumplimiento de normativas, proteger la salud humana y los ecosistemas, y detectar la contaminación en actividades industriales o proyectos [4].



Figura 2. Monitoreo ambiental
Fuente: Autores

Materiales y herramientas

Tabla 1. Materiales y componentes utilizados

Componente	Cantidad	Función	Imagen
ESP32	1	Control y automatización.	
SHIELD 30P	1	Energizar la placa.	
Bomba de agua 12 V	1	Impulsión del agua.	
Medidor de temperatura y humedad	2	Enviar datos de temperatura de la zona.	
DHT22	3	Monitorear la temperatura ambiental.	
MG811	1	Medir la concentración de dióxido de carbono.	
Madera	4	Armado estructural del vermicompostero.	
Mallas de plástico	4	Separación entre cajones y zonas del vermicompostero.	

Fuente: Autores

Metodología y diseño del vermicompostero

Arquitectura del prototipo

El sistema está conformado por una estructura de tres niveles destinada al proceso de vermicompostaje, donde se depositan los residuos orgánicos y se desarrolla la actividad de las lombrices para la producción

de humus. Para monitorear las condiciones internas se instalaron sensores de temperatura, humedad y dióxido de carbono (CO₂), encargados de recopilar información en tiempo real y enviarla al microcontrolador ESP32 [1, 4]. Todos los dispositivos se conectan mediante un sistema de cableado estructurado que utiliza cable UTP, conectores RJ45 y cajetines de conexión distribuidos en cada nivel.

La información obtenida por los sensores es procesada por el ESP32, que puede activar automáticamente el sistema de ventilación y el sistema de riego cuando las condiciones ambientales lo requieren. Además, se incorporó una etapa de potencia independiente alimentada con una fuente externa de 12 V para controlar los ventiladores y la bomba de agua mediante señales PWM [5]. Finalmente, los datos registrados son enviados a una página web para su visualización y monitoreo remoto.

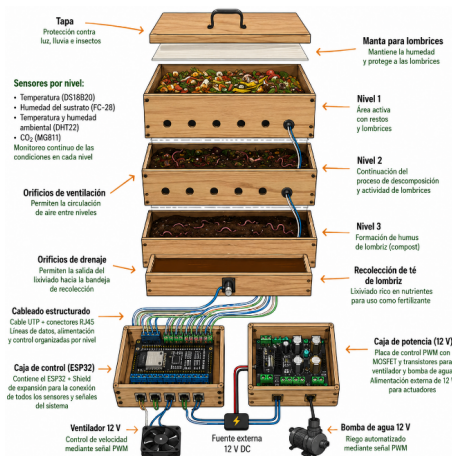


Figura 3. Metodología y diseño general del vermicompostero IoT
Fuente: Autores

Metodología de control

La metodología de control utilizada en el vermicompostero IoT se basa en la adquisición, procesamiento y respuesta automática de los datos obtenidos por los

sensores instalados en los diferentes niveles del sistema. Los sensores de temperatura, humedad y dióxido de carbono registran continuamente las condiciones internas del vermicompostero y envían esta información al microcontrolador ESP32, encargado de analizar las lecturas y compararlas con los parámetros definidos en la programación [5].

Cuando la humedad del sustrato desciende por debajo de los valores establecidos, el sistema activa automáticamente la bomba de agua. De igual forma, cuando la temperatura o la concentración de CO_2 alcanzan niveles que requieren una mayor renovación de aire, el ESP32 activa los ventiladores mediante señales PWM. Paralelamente, la información se envía a una página web alojada en el ESP32 para visualizar en tiempo real las variables monitoreadas y el estado de los actuadores.

Esquemas

Diagrama de bloques

El diagrama de bloques muestra el funcionamiento general del vermicompostero inteligente. Los sensores de temperatura, humedad y CO_2 recopilan datos en tiempo real y los envían al ESP32, que procesa la información y controla los actuadores según los parámetros establecidos. Cuando es necesario, activa el sistema de ventilación o el sistema de riego automático [4]. Mediante conexión WiFi, el ESP32 transmite los datos a una interfaz web.

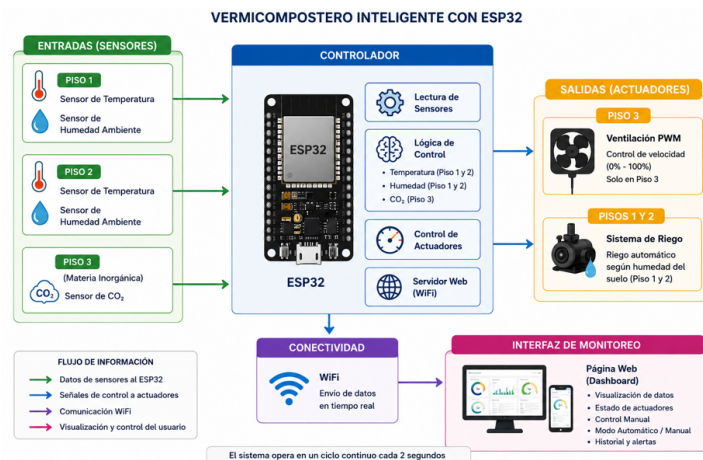


Figura 4. Diagrama de bloques del vermicompostero inteligente
Fuente: Autores

Diagrama de flujo

El proceso inicia con la configuración de los sensores, actuadores y la conexión WiFi. Luego, el sistema realiza la lectura continua de los sensores de temperatura, humedad y CO₂, verificando si opera en modo manual o automático. En modo automático, el ESP32 controla

los ventiladores según los valores de temperatura y CO₂, y activa la bomba de agua cuando la humedad del suelo es baja. Finalmente, los datos y el estado de los actuadores se envían a la página web para su monitoreo en tiempo real, repitiendo el ciclo cada dos segundos.

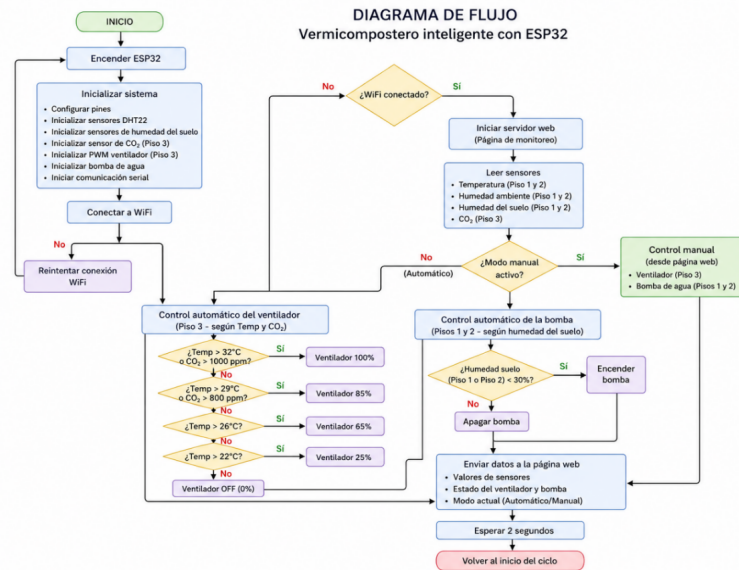


Figura 5. Diagrama de flujo del vermicompostero
Fuente: Autoras

Construcción y desarrollo

El circuito electrónico fue diseñado utilizando un ESP32 como controlador principal, encargado de procesar la información obtenida por los sensores de temperatura, humedad y dióxido de carbono [1]. Para automatizar el funcionamiento del sistema se incorporó

una etapa de potencia basada en transistores 2N3904 y MOSFET IRLZ44N, utilizada para controlar los ventiladores y la bomba de agua mediante señales PWM [5]. Además, se empleó una fuente de alimentación externa de 12 V para suministrar energía a los actuadores sin afectar el funcionamiento del microcontrolador.

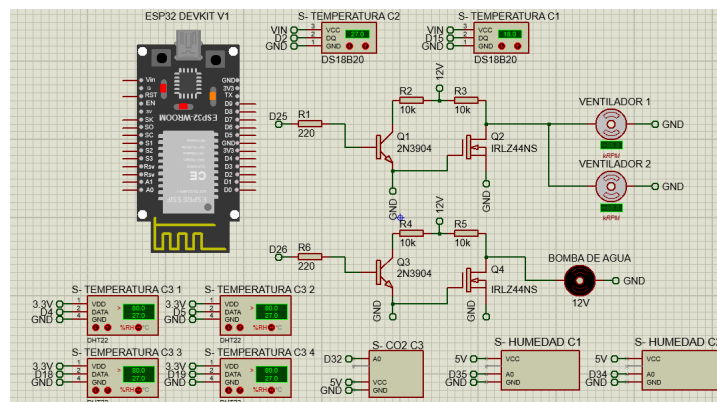


Figura 6. Conexiones eléctricas del vermicompostero
Fuente: Autores

Como parte del desarrollo del proyecto, se diseñó una página web integrada en el ESP32 para el monitoreo y control del vermicompostero inteligente. La interfaz permite visualizar en tiempo real las lecturas de temperatura, humedad y concentración de CO_2 obtenidas por los sensores [4]. También se incorporaron controles para operar los ventiladores y la bomba de agua en modo manual, junto con indicadores que muestran el modo de funcionamiento activo. La página web se aloja directamente en el ESP32 y puede ser accedida desde cualquier dispositivo conectado a la misma red WiFi.



Figura 7. Página web de monitoreo del vermicompostero
Fuente: Autores

Finalmente, se desarrolló una página web de monitoreo y control para supervisar en tiempo real el funcionamiento del vermicompostero inteligente. La interfaz fue diseñada para actualizar automáticamente la información cada tres segundos, permitiendo visualizar las mediciones de temperatura y humedad registradas en los sustratos monitoreados. Además, muestra el estado de las variables ambientales y permite activar o desactivar manualmente el sistema de riego cuando sea necesario.

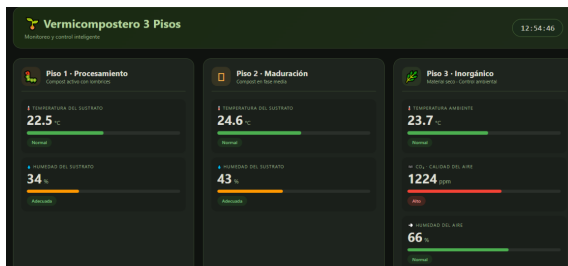


Figura 8. Interfaces finales de la página web
Fuente: Autores

Planos y distribución del vermicompostero

El bosquejo conceptual presenta la estructura general del vermicompostero inteligente. La propuesta está conformada por tres niveles destinados al proceso de vermicompostaje, permitiendo distribuir el material orgánico y monitorear las condiciones internas en cada compartimento [2]. Cada nivel incorpora un cajetín de conexión externo para organizar el cableado de los sensores. La estructura posee un diseño modular que permite retirar cada bandeja de forma independiente para mantenimiento, inspección o recolección del material procesado. En la parte superior se encuentra una tapa que protege el contenido de factores externos, mientras que la base proporciona estabilidad.

1. BOSQUEJO CONCEPTUAL



Figura 9. Bosquejo general del vermicompostero
Fuente: Autores

Implementación de los pisos del vermicompostero



Figura 10. Nivel 3 del vermicompostero
Fuente: Autores

Nivel 3 – Monitoreo ambiental. Este nivel supervisa las condiciones atmosféricas presentes dentro del vermicompostero mediante ventiladores de extracción encargados de renovar el aire, reducir la acumulación de CO_2 , disipar el calor generado por la actividad biológica y favorecer la oxigenación del sistema.

También incorpora sensores DHT22 que registran continuamente la temperatura y la humedad relativa del aire, y un sensor MG811 que mide la concentración de dióxido de carbono producida durante la descomposición de la materia orgánica.

Nivel 2 – Monitoreo del sustrato. Este compartimento controla las condiciones físicas del material en proceso de vermicompostaje mediante un sensor de humedad FC-28 y un sensor de temperatura DS18B20, permitiendo evaluar la actividad microbiana y la estabilidad térmica del proceso [2].

Nivel 1 – Monitoreo complementario. Este nivel incorpora sensores equivalentes a los del nivel 2 con el fin de obtener mediciones adicionales y comparar las condiciones presentes entre los compartimentos. Los cajetines de conexión funcionan como puntos de distribución y protección del cableado. En la base del vermicompostero se encuentra el cajetín principal de control, donde se alojan el ESP32, la fuente de alimentación, los módulos MOSFET y los circuitos auxiliares.



Figura 11. Conexiones de los pisos 1 y 2
Fuente: Autores

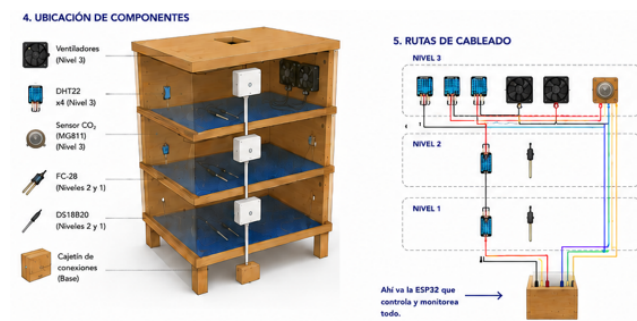


Figura 12. Conexiones de los pisos 1 y 2
Fuente: Autores

Diagrama de conexiones y rutas de cableado

El sistema eléctrico fue organizado mediante una arquitectura centralizada en la que todos los sensores y actuadores se conectan al microcontrolador ESP32 ubicado dentro del cajetín principal de control instalado en la parte inferior de la estructura [1]. En el Nivel 3 se encuentran conectados los sensores DHT22, el sensor de dióxido de carbono MG811 y los ventiladores. En el Nivel 2 se instalaron un sensor de humedad FC-28 y un sensor de temperatura DS18B20. De igual forma, en el Nivel 1 se ubicaron otro sensor FC-28 y otro sensor DS18B20. Todo el cableado se distribuye verticalmente mediante una canalización central que enlaza los diferentes niveles con el cajetín principal de control.

Resultados

Los datos obtenidos durante los diez días de monitoreo permiten observar el comportamiento de las principales variables evaluadas dentro del vermicompostero inteligente. La humedad del sustrato se mantuvo entre el 72% y el 79%, valores que indican una disponibilidad adecuada de agua para el desarrollo de las lombrices y la actividad microbiana responsable de la descomposición de la materia orgánica [2]. La temperatura registró valores comprendidos entre 24.5 °C y 26.8 °C, manteniéndose dentro de un rango estable durante el período de evaluación.

En cuanto a la concentración de dióxido de carbono, se registraron valores entre 820 ppm y 1050 ppm, evidenciando la actividad biológica generada durante la degradación de los residuos orgánicos. Los valores más elevados de CO₂ coincidieron con los días en los que se registraron temperaturas ligeramente superiores, lo que sugiere una mayor actividad microbiana en el sustrato.

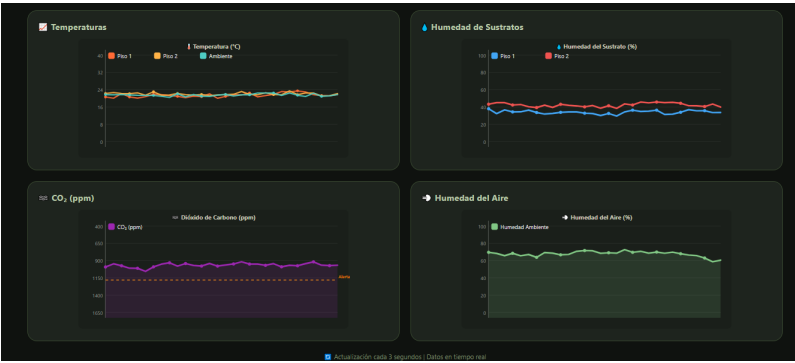


Figura 13. Comportamiento de las variables durante el monitoreo
Fuente: Autores

Tabla 2. Resultados obtenidos durante diez días de monitoreo

Día	Humedad del sustrato (%)	Temperatura (°C)	CO ₂ (ppm)
1	78	24.5	820
2	76	25.1	870
3	75	25.8	910
4	73	26.2	980
5	72	26.8	1050
6	74	26.0	970
7	77	25.4	890
8	79	24.9	850
9	76	25.6	930
10	74	26.1	1010

Fuente: Autores

Conclusiones

En el proyecto se evidenció que el uso de un sistema IoT basado en ESP32 conectado con sensores de humedad, temperatura y CO₂ para medir las condiciones del suelo logró mejorar y automatizar el proceso del vermicompostaje. Todo esto permitió supervisar y controlar a distancia, ofreciendo una solución de fácil acceso para la gestión sostenible de residuos orgánicos [1, 4].

La aplicación de la lógica de control a través de algoritmos condicionales, con límites establecidos previamente (humedad menor del 30%, temperatura mayor a 32 °C, CO₂ superior a 1000 ppm), posibilita que el sistema responda de manera autónoma y eficaz [5].

Esta automatización busca asegurar que las condiciones internas del vermicompostero permanezcan en niveles adecuados sin intervención constante. El sistema está compuesto por cuatro bloques funcionales

claramente definidos: actuadores, interfaz web, procesamiento ESP32 y sensores; además, presenta un diseño físico de tres cajones apilables. Esto facilita la escalabilidad y la replicación. Esta arquitectura modular permite ampliar el sistema en el futuro, por ejemplo añadiendo otros cajones de compostaje o sensores nuevos e integrándolo con plataformas para analizar datos en la nube.

El desarrollo del proyecto abarca desde la determinación de los componentes hasta el diseño del diagrama de bloques. Se realizó un diseño técnico con una estructura documental formal que evidencia los datos obtenidos por los sensores.

También este proyecto puede ser trasladado a futuros proyectos integradores en términos pedagógicos en el ámbito de sistemas IoT y sostenibilidad ambiental.

Referencia

- [1] Espressif Systems, *ESP32 Series Datasheet*, 2024. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- [2] J. Domínguez and C. A. Edwards, “Biología y ecología de las lombrices de tierra,” in *Manual de vermicompostaje*, C. A. Edwards, Ed. Mundi-Prensa, 2011, pp. 27–48.
- [3] R. Sherman. (2020) Raising earthworms successfully. North Carolina State University Extension. [Online]. Available: <https://content.ces.ncsu.edu/raising-earthworms-successfully>
- [4] P. P. Ray, “A survey on internet of things architectures,” *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 30, no. 3, pp. 291–319, 2018.
- [5] K. Ogata, *Ingeniería de control moderna*, 5th ed. Pearson Educación, 2019.