Sistema Automatizado de Riego para Lombricompost con Control de Variables Ambientales.

Hernández-López, M.[1]; Velásquez-Chávez, T.[2]; Adame-Delgado R.[3]; Juárez-Hernández, J. M.[4]; Martínez-Burrola, J. M.[5]

Datos de Adscripción:

[1] Mónica Hernández López. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. monicahlop@gmail.com. https://orcid.org/0000-0001-6249-127X

[2]✉ Tania Elizabeth Velásquez Chávez. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. tania.vc@itslerdo.edu.mx. https://orcid.org/0009-0009-7788-1786

[3] Raymundo Adame Delgado. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. raymundo.ad@itslerdo.edu.mx. https://orcid.org/0009-0001-9623-2011

[4] José María Juárez Hernández. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. jose.jh@itslerdo.edu.mx. https://orcid.org/0009-0009-5790-651X

[5] Juan Manuel Martínez Burrola. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. juan.mb@itslerdo.edu.mx. https://orcid.org/0000-0002-0296-3076

Resumen **- En este trabajo se expone el desarrollo de un mecanismo de riego automatizado para la producción de lombricomposta, empleando residuos orgánicos generados en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. El sistema emplea un controlador Arduino para gestionar de forma automática las variables ambientales necesarias para el adecuado desarrollo de la lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida),* esencial en la producción de lombricomposta. Mediante un sistema de actuadores y sensores, el riego se automatiza para ajustar la humedad y temperatura en tiempo real, creando condiciones óptimas sin necesidad de intervención manual constante. El sistema automatizado ajusta de forma continua los parámetros ambientales, como la humedad, según las mediciones realizadas por los sensores, garantizando un entorno controlado y estable para el desarrollo de las lombrices. El código de la placa Arduino está diseñado para ejecutar acciones automáticas, permitiendo el ajuste preciso de las condiciones del riego con base en las lecturas obtenidas sin intervención externa. Además, se incorpora un módulo WiFi para monitorear de manera remota el sistema, facilitando su gestión a distancia y asegurando la eficiencia operativa. Los resultados del proyecto destacan que la automatización eleva la productividad y refuerza el enfoque sostenible del proceso en la producción de lombricomposta, optimizando el uso de recursos y reduciendo la intervención humana. La integración de tecnología avanzada permite un control continuo de las variables críticas, promoviendo prácticas sostenibles y eficientes en el manejo de residuos orgánicos en instituciones educativas.**

Palabras Clave **– Automatización, Control ambiental, Lombricomposta, Sistema de riego, Sostenibilidad**

Abstract **- This work describes the development of an automated irrigation system for the production of vermicompost from organic waste in an educational institution. The system uses an Arduino controller to automatically manage the environmental variables necessary for the proper development of the Red Californian worm (*Eisenia foetida*), which is essential for vermicompost production. Through a system of actuators and sensors, irrigation is automated to adjust humidity and temperature in real-time, creating optimal conditions without the need for constant manual intervention. The automated system continuously adjusts environmental parameters, such as humidity, based on sensor readings, ensuring a controlled and stable environment for the worms' development. The Arduino board's code is designed to perform automatic actions, allowing precise adjustment of irrigation conditions based on real-time measurements, without external intervention. Additionally, a WiFi module is integrated for remote system monitoring, facilitating remote management and ensuring operational efficiency. This project demonstrates how automation can improve efficiency and sustainability in vermicompost production, optimizing resource use and reducing human intervention. The integration of advanced technology allows continuous control of critical variables, promoting sustainable and efficient practices in organic waste management in educational institutions.**

Keywords **- Irrigation system, Environmental control, Sustainability**

I. INTRODUCCIÓN

La gestión sostenible de los residuos orgánicos se ha convertido en una prioridad global ante el creciente impacto ambiental generado por los desechos urbanos (Cruz y Ojeda, 2013). Entre las estrategias más efectivas y ecológicas para el tratamiento de estos residuos destaca la producción de lombricompost, un proceso biológico que aprovecha la capacidad transformadora de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para convertir materia orgánica en un abono natural de alta calidad (Villegas y Laines, 2017).

No obstante, el éxito de este proceso depende en gran medida del mantenimiento de condiciones ambientales óptimas —como la humedad y la temperatura—, las cuales requieren habitualmente un seguimiento y ajuste manual constante (Saraiba et al., 2023). En este sentido, la automatización se presenta como una herramienta clave para optimizar y simplificar el manejo de los sistemas de lombricompostaje (Ramírez-Joyo, 2017).

La integración de sensores, actuadores y tecnologías de control permite establecer entornos estables y controlados, que no solo aseguran el bienestar de las lombrices, sino que también incrementan la eficiencia del proceso (Mamani et al., 2017). Además, el uso de plataformas de hardware libre, como Arduino, junto con módulos de conectividad inalámbrica, representa una

https://doi.org/10.62805/cid2025.CID042

This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

solución accesible y escalable, especialmente útil en contextos educativos o comunitarios (Guerrero, 2023).

Entendida como una herramienta fundamental para la modernización de procesos, la automatización tiene como propósito reducir la intervención humana en tareas repetitivas, riesgosas o monótonas. Esta tecnología no solo disminuye costos de operación, sino que también mejora la calidad y consistencia de los productos generados (Corporación Universitaria del Huila, 2017). Su aplicación se extiende desde tareas cotidianas —como sensores de presencia para iluminación— hasta entornos industriales complejos controlados por máquinas inteligentes. Como plantea Agudelo et al. (2018), automatizar procesos permite potenciar las capacidades humanas y elevar significativamente el nivel de eficiencia.

En este contexto, el presente trabajo describe el desarrollo de un sistema automatizado de riego para la producción de lombricomposta, utilizando residuos orgánicos generados en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. El sistema está diseñado para controlar de manera precisa variables críticas como temperatura y humedad mediante sensores acoplados a un controlador programable. Asimismo, se incorpora un módulo WiFi que permite el monitoreo remoto del sistema, incrementando su eficiencia operativa. Esta propuesta busca demostrar cómo la automatización puede fomentar prácticas más sostenibles y eficientes en la gestión de residuos dentro de instituciones educativas.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Lombricompost y lixiviado

El lombricompost es un producto orgánico de textura terrosa, generado mediante la degradación de desechos vegetales y otros materiales biodegradables. Destaca por su elevada concentración de nutrientes asimilables, siendo empleado como enmienda para mejorar la calidad del suelo o como alternativa ecológica a los fertilizantes sintéticos. Por su parte, el lixiviado es el líquido generado durante el proceso de descomposición de la materia orgánica, el cual suele presentar un olor desagradable debido a su alta concentración de compuestos orgánicos en descomposición (Morales, 2011).

En la práctica agrícola, el lixiviado se aplica diluido (1:5 – 1:10 en agua) vía fertirriego o foliar, donde ha mostrado incrementos de hasta 20 % en el rendimiento de hortalizas y reducciones superiores al 60 % en el uso de fertilizantes sintéticos. Para garantizar su inocuidad, se recomienda filtrar, oxigenarlo 12–24 h y usarlo fresco (≤ 7 días), evitando su aplicación directa sobre frutos próximos a la cosecha. Una gestión adecuada minimiza olores y maximiza el aprovechamiento de los compuestos bioactivos.

2.2 Producción de lombricompost

A. Localización

El proyecto se realizó en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, situado en Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez – Lerdo km. 14.5 de Cd. Lerdo, Dgo.

B. Pre-composteo de los Residuos Orgánicos

Es la fase de acondicionamiento previa a la lombricultura; en ella se inicia la descomposición aeróbica y se eliminan patógenos, semillas viables y gases tóxicos que pueden dañar a las lombrices. En este proyecto, el material proviene de tres fuentes locales (Tabla 1):

Tabla 1
Materia prima para pre-composteo.

Componente	Origen	% en la mezcla (p/p)	Función principal
Estiércol bovino fresco	Granja Los Eucaliptos (Ejido 13 de Marzo)	70 %	Aporta nitrógeno, humedad y microbiota inicial
Hojarasca seca	Áreas verdes del ITSL	15 %	Suministra carbono estructural y mejora la aireación
Pasto recién cortado	Áreas verdes del ITSL	15 %	Aporta nitrógeno de liberación rápida y humedad

Relación C: N

Con valores típicos ≈ 20:1 (estiércol), 60:1 (hojarasca) y 17:1 (pasto), la mezcla resultante se aproxima a 25–26:1, dentro del rango óptimo de 25–30:1 para un compostaje eficiente.

C. Construcción del lombricario

Previo a la instalación, se ejecutaron labores de preparación del terreno en un área de 50 m² (5 × 10 m), que incluyeron limpieza, nivelación y relleno con material térreo proveniente de la misma institución, como medida preventiva contra encharcamientos durante eventos pluviales.

D. Construcción de las camas o pilas

Se diseñaron cuatro unidades de cultivo para lombrices, delimitadas perimetralmente con bloques de concreto con configuración rectangular.

E. Reproducción de lombriz y obtención de lixiviado

Tras la instalación de las camas en el lombricario, se depositaron los residuos orgánicos sometidos a precompostaje y se inoculó un pie de cría de 20 kg de *Eisenia foetida* (lombriz roja californiana), donado por el INIFAP Matamoros, Coahuila. Se implementó un protocolo de riego trianual para mantener niveles de humedad entre 60-80%, parámetros óptimos que favorecen tanto la reproducción del anélido como la producción eficiente de vermicompost.

F. Variables evaluadas

Las variables de observación son temperatura y % de humedad.

La temperatura permite identificar las fases del proceso:

- Fase termófila (compostaje):
50–65 °C

Indica una intensa actividad microbiana, esencial para la higienización del sustrato (eliminación de patógenos y semillas viables).

- Fase de enfriamiento y maduración:
< 45 °C

https://doi.org/10.62805/cid2025.CID042
This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Señala el descenso natural de la actividad microbiana y la estabilización del material.

- Fase de lombricompostaje:

20–30 °C

El rango óptimo de temperatura para la actividad metabólica de *Eisenia fetida* se sitúa entre 15-25°C, considerando que exposiciones prolongadas a temperaturas superiores a 35°C representan un umbral letal para esta especie.

La humedad influye directamente en la actividad microbiana y la movilidad de las lombrices:

- Rango óptimo para pre-composteo:

50–60 %

Favorece la descomposición aeróbica sin producir lixiviados excesivos.

- Rango óptimo para lombricompostaje:

70–80 %

Garantiza un entorno húmedo y aireado para las lombrices, similar al de su hábitat natural.

2.3 Condiciones ambientales para la producción de lombricompost

Según lo señalado por Domínguez y Gómez (2020), hay dos elementos clave que favorecen las condiciones físicas necesarias para que las lombrices se desarrollen adecuadamente.

A. Temperatura

El desarrollo ideal de las lombrices ocurre a una temperatura de 25 °C. No obstante, pueden crecer también en un rango de 25 a 28 °C, e incluso hasta 32 °C, siempre que hayan sido adaptadas gradualmente desde su nacimiento. Aun así, este último nivel térmico tiende a frenar su crecimiento. Si la temperatura alcanza o supera los 33.3 °C, las lombrices no sobreviven (Domínguez y Gómez, 2020). En cuanto al límite inferior, se estima que el crecimiento es posible desde los 10 °C. Aunque algunos estudios han documentado su desarrollo en temperaturas bajo cero, estas condiciones no son apropiadas para su crecimiento adecuado (Sánchez, 2017).

B. Humedad

El rango óptimo de humedad para el desarrollo de las lombrices se sitúa entre el 80 % y 85 %, aunque estos organismos pueden adaptarse a un espectro más amplio (Domínguez y Gómez, 2020). Sin embargo, es fundamental mantener un control constante sobre este parámetro, ya que, si la humedad desciende hasta un 12 % o menos, el proceso de descomposición se ve significativamente ralentizado (Díaz, 2018).

Las lombrices poseen una notable capacidad de adaptación frente a variaciones en la temperatura y la humedad. Cuando estas condiciones se vuelven desfavorables, pueden entrar en un estado de inactividad conocido como “diapausa”, durante el cual se mantienen firmemente enrolladas hasta que el ambiente vuelva a ser propicio para su desarrollo (Domínguez y Gómez, 2020).

2.4 Sensores

Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía presente en el medio donde se realiza la medición, genera una señal de salida interpretable que depende de la variable medida. En este sentido, los sensores amplían las capacidades de los sentidos humanos al permitir la detección de magnitudes físicas que, por su naturaleza o escala, no pueden ser percibidas directamente (Areny, 2003). Estos dispositivos transforman la variable física detectada en una señal útil que sirve como entrada para los sistemas de procesamiento de información (Ramírez, 2014).

2.5 Sensor DS18B20

El DS18B20 es un sensor digital de temperatura ampliamente utilizado en aplicaciones de monitoreo ambiental, automatización y sistemas embebidos debido a su precisión, bajo costo y facilidad de integración. Este dispositivo, fabricado por *Maxim Integrated*, destaca por su capacidad de comunicarse a través del protocolo 1-Wire, lo cual permite que múltiples sensores compartan una sola línea de datos, simplificando el cableado y reduciendo el uso de pines en microcontroladores.

El sensor DS18B20 mide la temperatura interna a través de un termopar de silicio y convierte esta información en una señal digital. A través del protocolo 1-Wire, un solo pin del microcontrolador puede leer múltiples sensores en serie, lo que lo hace ideal para sistemas distribuidos o de bajo consumo energético. Cada sensor tiene una dirección única de 64 bits, lo que permite identificarlo individualmente en una red de sensores.

La Tabla 2 muestra las características técnicas del sensor.

Tabla 2

Características técnicas del sensor DS18B20.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
Rango de medición: -55 °C a +125 °C
Precisión: ±0.5 °C en el rango de -10 °C a +85 °C
Resolución configurable: de 9 a 12 bits
Interfaz: protocolo digital 1-Wire
Voltaje de operación: 3.0V a 5.5V
Modo de alimentación: puede operar en modo parasitario (sin alimentación directa) o con fuente externa

2.6 Sensor FC-28

El FC-28 es un sensor electrónico de bajo costo diseñado para medir la humedad del suelo o de materiales orgánicos, como el sustrato utilizado en la producción de lombricomposta. Su funcionamiento se basa en principios de conductividad eléctrica, lo que le permite detectar la presencia de agua a través de la variación de resistencia entre dos electrodos metálicos.

El sensor FC-28 detecta la humedad midiendo la resistencia eléctrica entre dos sondas metálicas insertadas en el sustrato. A mayor humedad, mayor conductividad (menor resistencia), lo que se traduce en una señal de mayor voltaje en la salida analógica. Esta señal puede ser leída por un microcontrolador como Arduino o ESP32 para evaluar el contenido de humedad en tiempo real. El umbral de la salida digital puede configurarse manualmente mediante un potenciómetro.

La Tabla 3 muestra las características técnicas del sensor.

h t t p s : / / d o i . o r g / 1 0 . 6 2 8 0 5 / c i d 2 0 2 5 . C I D 0 4 2

This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Año: 2025. Volumen: 1. Numero:11 ISSN: 2448-623X

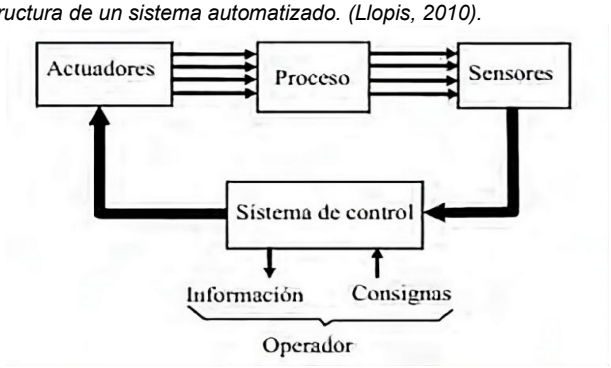
Tabla 3
Características técnicas del sensor FC-28.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
Tipo de sensor: sensor resistivo de humedad del suelo
Voltaje de operación: 3.3V a 5V
Salidas disponibles:
Analógica (AO): proporciona un valor proporcional al nivel de humedad
Digital (DO): se activa cuando la humedad alcanza un umbral definido por el potenciómetro

2.7 Automatización

Se define como sistema automatizado —ya sea una máquina o un proceso— como aquel capaz de responder de forma autónoma, sin intervención del operario, ante los cambios que se producen en su entorno o en su funcionamiento interno. Este tipo de sistemas ejecuta de manera automática las acciones necesarias para cumplir con la función para la cual ha sido diseñado. La Figura 1 presenta la estructura típica de un sistema automatizado (Llopis, 2010).

Figura 1
Estructura de un sistema automatizado. (Llopis, 2010).

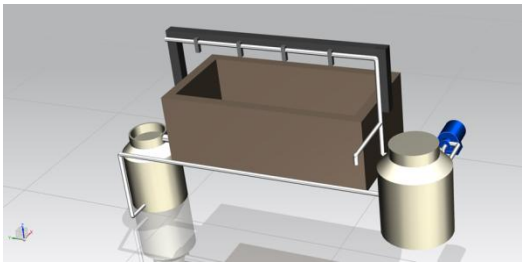


2.8 Diseño del sistema de riego

El presente estudio tiene como objetivo desarrollar una solución eficiente y de bajo costo para el control automatizado del riego en sistemas de lombricomposta, con el fin de mantener las condiciones ambientales óptimas requeridas por el proceso. La propuesta considera las necesidades funcionales y las restricciones propias del entorno en el que se implementará el sistema.

La Figura 2 muestra el diseño tridimensional del prototipo, elaborado mediante el software NX Siemens, el cual permite visualizar con mayor claridad la disposición física de los componentes involucrados en la automatización del riego.

Figura 2
Diseño en NX Siemens.



El diseño incluye la cama para producción de lombricomposta, una red hidráulica conformada por tubería de ½ pulgada, un sistema de captación de lixiviado con tubería de 2 pulgadas, y un depósito de almacenamiento con capacidad de 150 litros. Asimismo, se incorpora un segundo tanque, de igual capacidad, destinado al almacenamiento de agua limpia. El sistema se complementa con aspersores, un dispensador y una bomba de ¾ HP, los cuales permiten la distribución controlada del agua o del lixiviado a través del sistema.

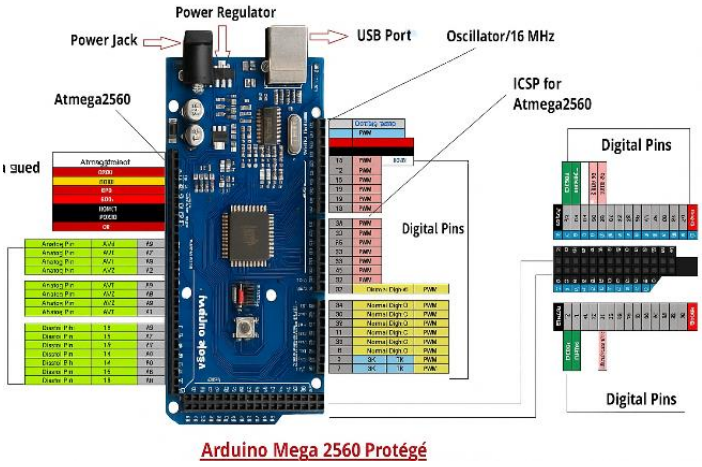
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Controlador

Para automatizar el control del riego, se analizaron variables ambientales clave como la humedad, la temperatura y el nivel de los tanques, así como el monitoreo en tiempo real de dichos parámetros. Para la implementación del sistema de control se seleccionó la placa de desarrollo Arduino MEGA 2560, debido a su capacidad de procesamiento y al elevado número de entradas y salidas, lo cual permitió integrar múltiples sensores y actuadores.

La Figura 3 muestra la placa Arduino MEGA 2560, basada en el microcontrolador ATmega2560. Esta placa dispone de 54 pines digitales de entrada/salida (15 de los cuales pueden emplearse como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 puertos UART, un cristal oscilador de 16 MHz, conexión USB, conector de alimentación tipo DC, conector ICSP y un botón de reinicio. Además, fue compatible con la mayoría de los *shields* desarrollados para Arduino UNO (Arduino, s.f.).

Figura 3
Configuración de pines.



Asimismo, en la Figura 3 se presenta la disposición de pines de la placa, lo cual facilitó su integración dentro del sistema automatizado de riego.

3.2 Instrumentos de medición.

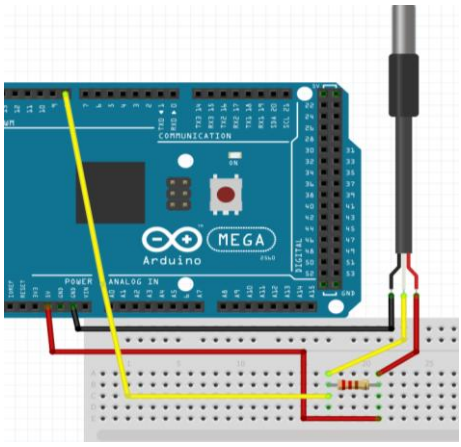
Dadas las condiciones en las que se encontraba el sistema manual de producción de lombricomposta, se seleccionó el sensor de temperatura DS18B20, debido a su compatibilidad con la placa Arduino MEGA 2560 y su capacidad para operar en ambientes con alta humedad y variaciones térmicas. Este sensor

https://doi.org/10.62805/cid2025.CID042
This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Año: 2025. Volumen: 1. Numero:11 ISSN: 2448-623X

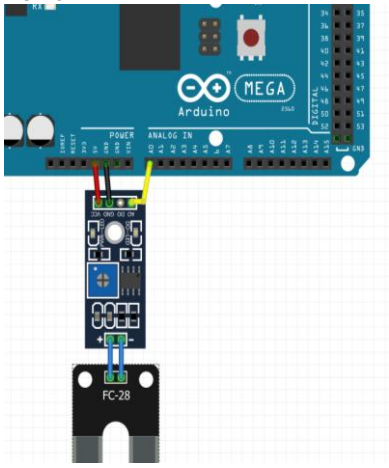
resultó adecuado para el sistema, ya que permite medir temperaturas dentro del rango óptimo de 15 a 25 °C, necesario para el correcto desarrollo del proceso de lombricompostaje.
Para su conexión a la placa Arduino, se conectó el cable rojo al terminal Vcc, el cable negro a GND y el cable amarillo (línea de datos) a un pin digital de la placa. Además, se incorporó una resistencia entre la línea de datos y el terminal Vcc para asegurar la correcta comunicación. La Figura 4 muestra el esquema de conexión del sensor DS18B20 al sistema de control.
Para la medición de la humedad, se utilizó el sensor FC-28, el cual, al igual que el sensor de temperatura, presentó compatibilidad con la placa Arduino MEGA 2560 y ofreció un rango de funcionamiento adecuado para las condiciones del sistema. La Figura 5 muestra el sensor utilizado, así como su esquema de conexión.

Figura 4
Conexión sensor DS18B20.



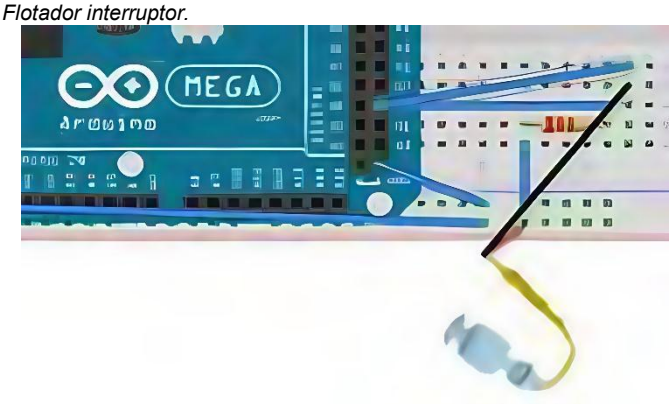
Este sensor fue conectado a los terminales Vcc y GND de la placa, de manera similar al sensor anterior. Sin embargo, dado que proporciona una señal de salida analógica, se conectó a uno de los pines analógicos del Arduino para su lectura e interpretación. La Figura 5 ilustra la configuración del cableado empleada en el sistema.

Figura 5
Conexión sensor FC-28.



Para la medición del nivel en los tanques, se seleccionó un flotador interruptor modelo ZP5210, el cual permitió detectar el llenado o vaciado de los depósitos, con el fin de controlar la activación de la bomba y la apertura de las electroválvulas correspondientes.
En cuanto a su conexión, el cable rojo se conectó al terminal Vcc, mientras que el cable negro se conectó a un pin digital de la placa Arduino. Adicionalmente, se colocó una resistencia de 10 kΩ entre el cable negro y GND, a fin de estabilizar la señal. La Figura 6 presenta el esquema de conexión del sensor de nivel al sistema de control.

Figura 6
Flotador interruptor.



3.3 Monitoreo de las variables.

Para el monitoreo de las variables asociadas al control de riego, se desarrolló una aplicación móvil, la cual se muestra en la Figura 7. Esta aplicación, aunque de diseño sencillo, permite visualizar en tiempo real los valores medidos por los sensores, facilitando el seguimiento del funcionamiento del sistema.

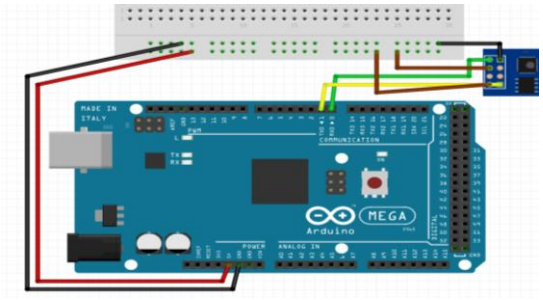
Figura 7
Interfaz de aplicación móvil.

Con el fin de transmitir los datos de humedad y temperatura hacia la aplicación, se utilizó el módulo WiFi ESP8266, el cual permitió almacenar la información en la nube y acceder a ella desde cualquier dispositivo con conexión a Internet. La configuración de conexión del módulo se muestra en la Figura 8: el pin 1 se conectó a GND, el pin 4 a TXD, el pin 5 a RXD, el pin 6 a 3.3 V, y el pin 8 también a 3.3 V.

https://doi.org/10.62805/cid2025.CID042
This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Año: 2025. Volumen: 1. Numero:11 ISSN: 2448-623X

Figura 8
Conexión del módulo WiFi ESP8266.



La Figura 9 muestra el diagrama de bloques elaborado en LabVIEW, el cual se utilizó para representar y describir el funcionamiento del sistema diseñado. Este diagrama permite visualizar de forma estructurada las etapas del proceso de automatización y las interacciones entre los diferentes componentes del sistema.
La Figura 10 muestra un fragmento del código implementado en la placa Arduino, desarrollado utilizando el software oficial del entorno de programación Arduino IDE. Dicho código incluyó las librerías necesarias para la comunicación con los sensores, así como la configuración del módulo WiFi ESP8266 y el protocolo correspondiente para la transmisión de datos hacia la nube.

Figura 9
Diseño de simulación en LABVIEW.

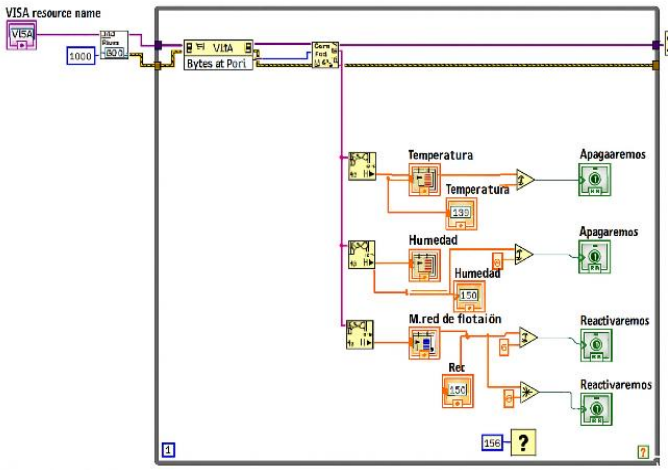


Figura 10
Código de Arduino.

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

OneWire ourWire(8);                //Se establece el pin 8  como bus OneWire

DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se declara una variable u objeto para nuestro sensor

int SensorPin=A0;//humedad
int SensorPin2=A2;//humedad
//lcd
#include <LiquidCrystal.h>

//Crear el objeto LCD con los números correspondientes (rs, en, d4, d5, d6, d7)
LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7);

//electrovalvulas
int t1=9;
int t2=10;
int a1=11;
int a2=12;
int b=13;
```

3.4 Prototipo

Se desarrolló un prototipo a escala que funcionó como simulador físico del sistema, tal como se muestra en la Figura 11. El diseño y la selección de los elementos de control para la automatización resultaron exitosos, permitiendo validar la operatividad del sistema en condiciones controladas.

Figura 11
Prototipo a escala del sistema de riego.

Finalmente, como se muestra en la Figura 12, se representan las conexiones de los sensores de humedad, temperatura y nivel al controlador Arduino MEGA 2560. Estas variables fueron utilizadas para el control automático de la activación de las electroválvulas y la bomba encargada de suministrar el riego. El sistema fue diseñado para mantener la humedad en un rango óptimo de 65 % a 80 % y la temperatura entre 15 °C y 25 °C, condiciones adecuadas para el desarrollo del proceso de lombricompostaje.

Figura 12
Conexiones internas del prototipo.

Finalmente, la tabla 3 muestra los registros de las lecturas de temperatura y humedad tomadas por los sensores DS18B20 y FC-28 respectivamente.

Tabla 3
Registro de lecturas de humedad y temperatura por los sensores.

HORA	FECHA	HUMEDAD	TEMPERATURA
21:35	06/03/2024	40.0	16.2
03:35	07/03/2024	38.0	14.2
09:35	07/03/2024	36.9	14.6
15:35	07/03/2024	47.7	21.4
21:35	07/03/2024	39.7	18.6

https://doi.org/10.62805/cid2025.CID042
This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

03:35	08/03/2024	36.4	15.8
09:35	08/03/2024	36.7	14.6
21:45	08/03/2024	60.7	16.9
03:45	09/03/2024	51.3	13.7
09:45	09/03/2024	50.8	13.3
15:45	09/03/2024	55.7	19.3
21:45	09/03/2024	49.0	15.3
03:45	10/03/2024	46.8	12.1
09:45	10/03/2024	46.2	12.9
15:45	10/03/2024	55.4	18.1
21:45	10/03/2024	47.2	15.3
03:45	11/03/2024	43.1	11.7
09:45	11/03/2024	43.0	12.9
15:45	11/03/2024	50.3	20.9
21:45	11/03/2024	45.8	17.3
03:45	12/03/2024	43.1	14.9

IV. CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema automatizado de riego adaptado a las necesidades del proceso de producción de lombricomposta en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, logrando cumplir con los objetivos propuestos de manera efectiva. El prototipo implementado fue funcional, de bajo costo y mostró un desempeño confiable en la medición y control de las variables críticas del sistema, principalmente la humedad y la temperatura, dentro del lecho de lombrices. La automatización del riego permitió mantener las condiciones ambientales dentro de los rangos óptimos (15 °C a 25 °C para temperatura), reduciendo así la necesidad de supervisión constante y minimizando errores humanos.

Además, se integró un sistema de monitoreo remoto mediante una aplicación móvil conectada a Internet, desarrollada específicamente para visualizar en tiempo real los datos recogidos por los sensores. Esta herramienta digital facilitó la gestión eficiente del sistema, permitiendo a los usuarios supervisar y reaccionar ante posibles alteraciones en las condiciones del proceso desde cualquier ubicación con acceso a la red. La incorporación del módulo ESP8266 para la transmisión de datos a la nube fue clave para garantizar la accesibilidad y confiabilidad del monitoreo remoto.

El sistema no solo demostró ser técnicamente viable, sino también replicable en otras instituciones o comunidades que busquen optimizar procesos de compostaje u otras actividades agrícolas mediante automatización accesible. La utilización de hardware de código abierto, como Arduino, y componentes económicos, permitió construir una solución eficiente sin comprometer la funcionalidad ni la precisión de las mediciones.

En conclusión, este proyecto evidenció cómo el uso de tecnologías emergentes puede contribuir significativamente a la eficiencia, sostenibilidad y modernización de procesos ambientales, como el manejo de residuos orgánicos. Se recomienda continuar con el perfeccionamiento del sistema, incorporando nuevos sensores (por ejemplo, de pH o dióxido de carbono), así como funcionalidades de control predictivo basado en inteligencia artificial para mejorar la toma de decisiones automatizada. A futuro, el sistema podría ser escalado o adaptado a diferentes entornos productivos, promoviendo así el uso de soluciones tecnológicas de bajo costo en el sector agrícola y ambiental.

V. AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por el apoyo brindado para la realización de este proyecto, especialmente por el acceso a laboratorios, equipos y al área del lombricario.
Asimismo, se reconoce la colaboración de autoridades, docentes y personal técnico, cuyo respaldo fue fundamental para el desarrollo exitoso de la investigación. Su compromiso con la formación académica y el avance científico hizo posible el cumplimiento de los objetivos planteados.

VI. REFERENCIAS

Agudelo Néstor, G. Tano, Vargas C.. (2018). HISTORIA DE LA AUTOMATIZACIÓN. Cundinamarca, Colombia: Universidad ECCI. https://www.ingenierovizcaino.com/ecci/aut1/corte1/articulos/Historia%20de%20la%20Automatizacion.pdf

Arduino. (s.f.). Arduino.cl. Obtenido de Arduino.cl: https://arduino.cl/arduino-mega-2560/

Areny, R. P. (2003). Sensores y Acondicionadores de señal. Barcelona, España: Marcombo.

Cruz Sotelo, S. E., & Ojeda Benítez, S. (2013). Gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 29(3), 7-8. https://www.redalyc.org/pdf/370/37029665017.pdf

Corporación Universitaria del Huila. (2017). Diseño de un sistema de control y automatización de temperatura, humedad del suelo y humedad relativa para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta en CORHUILA. Congreso internacional AmITIC.https://www.researchgate.net/publication/320958815_Diseno_de_un_sistema_de_control_y_automatizacion_de_temperatura_humedad_del_suelo_y_humedad_relativa_para_optimizar_el_rendimiento_de_cultivos_bajo_cubierta_en_CORHUILA

Díaz, E. (2018). Lombricultura, una alternativa de producción. ADEX.https://www.academia.edu/28416586/ADEX_La_Rioja_Abril_del_2002_GU%C3%8DA_DE_LOMBRICULTURA_Para_emprendedores_y_productores_del_agro

https://doi.org/10.62805/cid2025.CID042

This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Año: 2025. Volumen: 1. Numero:11 ISSN: 2448-623X

Domínguez, J., Gómez, B. (2020). Ciclos de vida de las lombrices de tierra aptas para el vermicompostaje. Acta Zoológica Mexicana Número Especial 2: 309-320. DOI: 10.21829/azm.2010.262896

Guerrero Salazar, L. (2023). Aplicación con software y hardware libre Arduino como eje facilitador del aprendizaje de competencias STEM. *Academia Y Virtualidad*, *16*(1), 69–88. https://doi.org/10.18359/ravi.5900

Llopis, R. S. (2010). Automatización industrial. Castellón de la Plana España: Sapientia.

Mamani, M., Villalobos, M., & Herrera, R. (2017). Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, 25*(4), 599-618. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052017000400599

Morales, M. R. (2011). Taller de elaboración de lombricomposta. México, DF: Universidad Iberoamericana. https://ibero.mx/web/filesd/publicaciones/taller-de-lombricomposta.pdf

Ramírez Joyo, N. del C. (2017). Lombricultivo en la Producción de Abono Orgánico para Fomento de Valores Ambientales. *Revista Scientific*, *2*(3), 276–288. https://doi.org/10.29394/scientific.issn.2542-2987.2017.2.3.15.276-288

Saraiba-Núñez, L. I., Arbella-Feliciano, Y., Moreno-Pino, M. R., & Torres-Sainz, R. (2023). La gestión del mantenimiento acorde a la criticidad de los activos. Ciencias Holguín, 29(2).https://www.redalyc.org/journal/1815/181574886002/181574886002.pdf

Sánchez, J. (2017). Vermicompostaje de residuos orgánicos con lombrices del género Eisenia. Caracterización del producto (tesis de pregrado). Universidad de Sevilla. http://hdl.handle.net/11441/64332

Villegas-Cornelio, Víctor Manuel, & Laines Canepa, José Ramón. (2017). Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *8*(2), 393-406. https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.59

h t t p s : / / d o i . o r g / 1 0 . 6 2 8 0 5 / c i d 2 0 2 5 . C I D 0 4 2

This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/