

# Implementación del Sistema PLC en el Diseño de Riego para Producción de Vermicompost en el ITSL.

Hernández-López, M<sup>1</sup>; Servín-Prieto A.J.<sup>2</sup>; Velásquez-Chávez, T.E.<sup>3</sup>; Adame-Delgado, R<sup>4</sup>; Martínez-Burrola, J.M.<sup>5</sup>.

## Datos de Adscripción:

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

<sup>2</sup> Alan Joel Servín-Prieto. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. [alan.sp@itslerdo.edu.mx](mailto:alan.sp@itslerdo.edu.mx)  
<https://orcid.org/0000-0002-5534-7875>

<sup>3</sup> Tania Elizabeth Velásquez Chávez. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. [tania.vc@itslerdo.edu.mx](mailto:tania.vc@itslerdo.edu.mx).  
<https://orcid.org/0009-0009-7788-1786>

<sup>4</sup> Raymundo Adame Delgado. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. [raymundo.ad@itslerdo.edu.mx](mailto:raymundo.ad@itslerdo.edu.mx).  
<https://orcid.org/0009-001-9623-2011>

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

**Resumen** - El presente trabajo describe el desarrollo de un sistema automatizado de riego para la generación de vermicompost a partir de residuos orgánicos generados en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. El sistema emplea un controlador PLC 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 vermicompost. 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 PLC 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. Este proyecto demuestra cómo la automatización puede mejorar la eficiencia y la sostenibilidad en la producción de vermicompost, 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, Vermicompost, PLC, Riego

**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 PLC 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 PLC 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** – Automation, Irrigation, PLC, Vermicompost

## I. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de prácticas agrícolas sostenibles exige un cambio de paradigma hacia alternativas ecológicas a los agroquímicos convencionales, donde el vermicompostaje automatizado emerge como una solución prometedora (Singh et al., 2019). La agricultura tradicional depende en gran medida de fertilizantes y pesticidas sintéticos, los cuales, si bien aumentan el rendimiento de los cultivos, representan amenazas significativas para la salud ambiental, la fertilidad del suelo y el bienestar humano (Hariadi et al., 2018). Estos químicos contribuyen a la contaminación del agua, la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad, lo que impulsa la necesidad de alternativas sostenibles que puedan mantener o mejorar la productividad agrícola y, al mismo tiempo, minimizar el daño ecológico (Ponmozhi et al., 2019). El vermicompost, producto de la descomposición de residuos orgánicos por lombrices de tierra, presenta un biofertilizante rico en nutrientes y una enmienda del suelo que puede reemplazar o reducir eficazmente la dependencia de insumos sintéticos (Pereira et al., 2014). El vermicompost mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo al mejorar la agregación, la porosidad y la capacidad de retención de agua (Singh et al., 2019). Además, introduce microorganismos benéficos en el suelo, promoviendo el ciclo de nutrientes, la supresión de enfermedades y la salud general del suelo (Liu et al., 2017). Los sistemas automatizados de vermicompostaje ofrecen un control preciso de los parámetros ambientales, optimizando la actividad de las lombrices y las tasas de descomposición, lo que resulta en un vermicompostaje consistente y de alta calidad (Enebe y Erasmus, 2023). La automatización minimiza la mano de obra, reduce el riesgo de errores humanos y permite un funcionamiento continuo, convirtiendo el vermicompostaje en una solución más eficiente y

escalable para la gestión de residuos orgánicos y la agricultura sostenible (Sayara et al., 2020).

El vermicompostaje automatizado tiene un inmenso potencial para transformar la gestión de residuos orgánicos en un recurso valioso para la agricultura sostenible. La integración de sensores, sistemas de control y tecnologías robóticas permite optimizar parámetros clave como la temperatura, la humedad, el pH y los niveles de oxígeno dentro del reactor de vermicompostaje (Manea et al., 2024). Este preciso control ambiental mejora la actividad de las lombrices, acelerando el proceso de descomposición y mejorando la calidad del vermicompost final. Además, los sistemas automatizados pueden monitorear y ajustar las tasas de alimentación, garantizando un suministro constante de residuos orgánicos para las lombrices, a la vez que evitan la sobrealimentación o la subalimentación, que pueden afectar negativamente su salud y productividad. La automatización del proceso podría resolver el crecimiento explosivo de los residuos sólidos. El uso del vermicompost se alinea con los principios de la economía circular, donde los residuos se convierten en recursos valiosos, minimizando el impacto ambiental y promoviendo la eficiencia de los recursos.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### 2.1 Selección de sensores.

Se llevó a cabo una investigación y selección de diversos transductores y sensores con la capacidad de medir variables clave como humedad, temperatura, conductividad, pH, nitrógeno, fósforo y potasio. El proceso incluyó la evaluación de sensores tanto individuales como integrados, priorizando aquellos que ofrecieran resistencia a la corrosión para su funcionamiento continuo en un entorno de vermicompost durante las 24 horas del día. Asimismo, se verificó que los dispositivos seleccionados tuvieran la compatibilidad y conectividad adecuadas para su integración con sistemas de control como PLC (Controlador Lógico Programable) o HMI (Interfaz Hombre-Máquina).

En el caso de los controladores, se realizó la investigación y selección de un controlador adecuado, considerando como criterio principal su compatibilidad con el protocolo de comunicación utilizado por el sensor encargado de medir las distintas variables del sistema. Además, se evaluó que el controlador ofreciera la robustez necesaria para permitir la conexión confiable de los elementos de control, así como su integración con una interfaz hombre-máquina (HMI) destinada al monitoreo en tiempo real del proceso.

### 2.2 Selección del controlador.

Se investigaron diferentes opciones de controladores, eligiendo aquel que ofreciera compatibilidad con los protocolos de comunicación utilizados por los sensores seleccionados. Además, se aseguró que el controlador tuviera la robustez necesaria para integrar los elementos de control y facilitar la interacción con la interfaz hombre-máquina para el monitoreo del sistema.

### 2.2 Integración de elementos eléctricos de control

Se seleccionaron los componentes eléctricos de control requeridos para garantizar el funcionamiento completo del sistema, desde el inicio hasta el fin del proceso. En esta etapa se cuidaron las especificaciones técnicas relacionadas con los

niveles de tensión y corriente, asegurando la correcta operación y protección de todos los dispositivos involucrados.

### 2.3 Programación del controlador PLC

Se desarrolló la programación del controlador lógico programable (PLC) utilizando lenguaje de escalera. El algoritmo de control fue diseñado con base en la heurística del proceso, permitiendo la ejecución automática y el monitoreo continuo del sistema.

### 2.4 Diseño de la interfaz nombre-máquina (HMI) y selección y diseño del gabinete de control

Se diseñó una interfaz gráfica para la supervisión del sistema, mediante una pantalla HMI conectada directamente al PLC. Esta interfaz permite la visualización en tiempo real de las condiciones del vermicompost, facilitando el monitoreo y la toma de decisiones por parte del operador. Se seleccionó un gabinete de control con dimensiones adecuadas para albergar todos los componentes del sistema. Posteriormente, se llevó a cabo el diseño de la platina y de la puerta del tablero, asegurando el cumplimiento de las especificaciones técnicas recomendadas por los fabricantes para la correcta instalación y operación de los elementos que así lo requerían.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las principales variables de medición que deben ser conocidas y analizadas para el correcto proceso de producción de vermicompost son temperatura, humedad, pH, conductividad, nitrógeno, fósforo y potasio.

Basado en las variables se eligió el sensor NPK 7 en 1, que se muestra en la Figura 1, el cual agrupa en un solo dispositivo de medición la capacidad de medir todas las variables que buscamos monitorear. Cuenta con 4 cables de diferentes colores, el cable rojo/café es la alimentación de 12-24VCD, el cable negro es el negativo de alimentación, el cable azul es B(positivo) y el cable amarillo es A(negativo), los dos últimos son para la transmisión de datos. Las características principales se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
Características del sensor NPK.

| Parámetro                   | Unidad                       |
|-----------------------------|------------------------------|
| Alimentación                | 12-24V DC                    |
| Señal de salida             | RS485                        |
| Rango de temperatura        | -40°C a 80°C                 |
| Exactitud de temperatura    | ±0.5°C                       |
| Resolución de temperatura   | 0.1°C                        |
| Rango de humedad            | 0-100%                       |
| Exactitud de humedad        | ±3% en 0-53%; ±5% en 53-100% |
| Resolución de humedad       | 0.1%                         |
| Rango de conductividad      | 0-10000 µs/cm                |
| Resolución de conductividad | 10 µs/cm                     |
| Rango de pH                 | 3-9 pH                       |
| Exactitud de pH             | ±0.3 pH                      |
| Resolución de pH            | 0.01 pH                      |
| Rango de NPK                | 0-1999mg/kg                  |
| Exactitud de NPK            | ±2%                          |
| Resolución de NPK           | 1mg/kg                       |
| Entorno del ambiente        | -20°C a 60°C                 |
| Tiempo de respuesta         | 1s                           |
| Nivel de protección         | IP68                         |

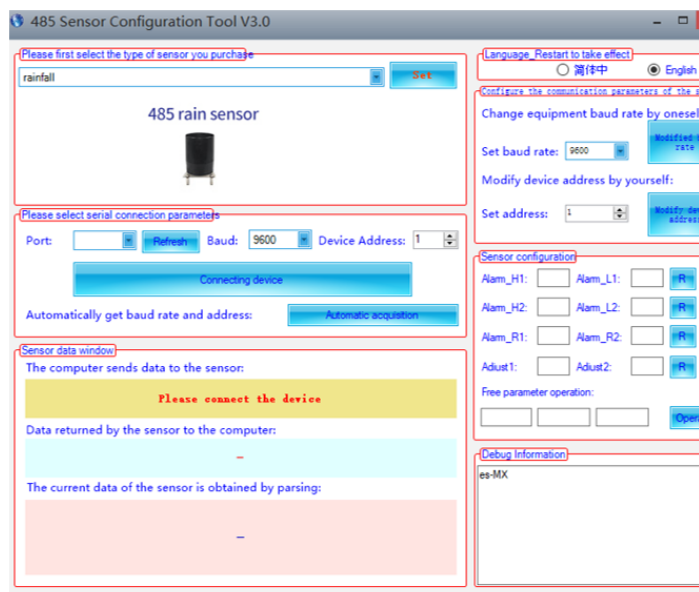
Dentro de las principales características tomadas en cuenta para su elección son su protocolo de comunicación rs-485 por tener la capacidad de la conexión de múltiples dispositivos del mismo protocolo en un mismo puerto con la modificación del código de dirección, además de que este protocolo permite comunicación a largas distancias de hasta 1200 metros. De igual manera cuenta con los rangos de medición y resolución que necesitamos para el monitoreo del vermicompost. Como conclusión, se seleccionó un sensor que engloba en un solo dispositivo la solución a todas las variables que se necesitan medir, así como el nivel de protección que se requiere para operar en el ambiente del Vermicompost.

**Figura 1**  
Sensor NPK.



Para realizar la conexión de los cuatro sensores fue necesario modificar el código de dirección, por lo que utilizó el software "485 Sensor Configuration Tool V3.0" en el que se asignó la dirección 1 para el sensor de la cama 1, la dirección 2 para la cama 2, la dirección 5 para la cama 3 y la dirección 4 para la cama 4. La interfaz del software se muestra en la figura 2 y es necesario para su uso un adaptador 485 a USB.

**Figura 2**  
Software de configuración 485.



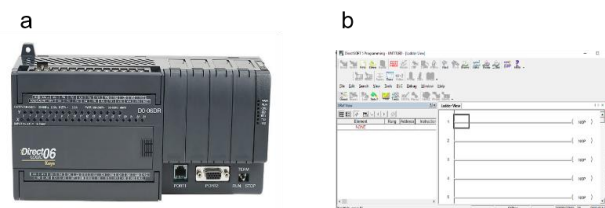
Para la selección del controlador se eligió entre dos opciones, el Arduino Mega 2560 y el PLC D0-06-DR, en la Tabla 2 se presenta la comparación de los dos controladores.

**Tabla 2**  
*Comparación de Arduino y PLC.*

| Características                                   | Arduino Mega 2560                           | DL06-DR                                          |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Alimentación                                      | 5VCD                                        | 110VCA/24VCD                                     |
| Terminales de entradas                            | 60 pines                                    | 20                                               |
| Terminales de salidas                             | 54                                          | 16                                               |
| Voltaje de operación en pines de entrada y salida | 7-12VCD                                     | 12-24VCD en entradas<br>6-24VCD/6-240VCA salidas |
| Compatibilidad protocolo RS485                    | Solo con un adaptador de RS485 a serial TTL | Si                                               |

Dadas las características con las que cuentan las dos opciones se definió como la mejor alternativa el PLC D0-06-DR. Este dispositivo de control cumple con los criterios definidos para el funcionamiento del proyecto, ya que cuenta con dos puertos compatibles con diferentes protocolos de comunicación para la conexión de elementos y uno de ellos por sí solo funciona para la conexión de los sensores NPK 7 en 1, además de esto es un dispositivo más robusto en sus entradas y salidas lo que nos permite utilizar un mayor número de elementos de control sin hacer arreglos de voltaje para su utilización. Por último, es de destacar que el controlador tiene cuatro puertos para la conexión de módulos de expansión, lo que permitirá que se puedan realizar mejoras al proyecto con el uso de módulos del catálogo del PLC. Para llevar a cabo el código se utilizó el software DirectSOFT 5 programming de la marca AUTOMATIONDIRECT, en la Figura 3 se muestra el PLC y el software de programación.

**Figura 3**  
a) PLC D0-06DR, b) Software DirectSOFT 5.

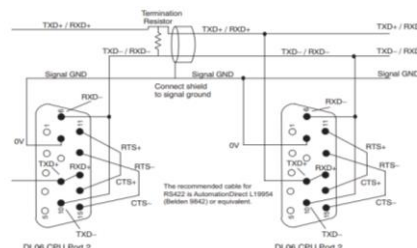


La conexión del sensor NPK se realizó en el puerto 2, el cual es el único que cuenta con la capacidad de mantener comunicación a través del protocolo modbus con dispositivos RS485, para lo cual fue necesario una configuración en las conexiones del conector, dicha configuración esta especificada en el manual del PLC y se muestra en la Figura 4.

**Figura 4**  
Configuración del Puerto 2.

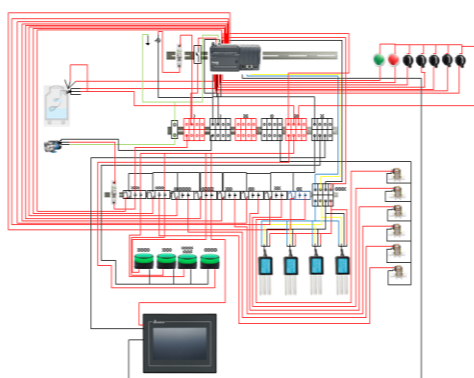
#### RS-485 Network

RS-485 signals are for longer distances (1000 meters max) and for multi-drop networks. Use termination resistors at both ends of RS-485 network wiring, matching the impedance rating of the cable (between 100 and 500 ohms).



El sistema de control para la automatización del riego y monitoreo del vermicompost tiene como elementos principales el PLC DO-06-DR, a los cuales se le agregaron los sensores NPK 7en 1, una bomba JETINOX82M de 0.75 hp para la recirculación del lixiviado y electroválvulas de 24 VCD, cuatro de ellas para el riego de la vermicomposta, una para la extracción del lixiviado y una más para el riego con agua limpia. Con esos elementos seleccionados se realizó un diseño mediante el Software Microsoft Visio 2010, donde se muestra el diagrama de conexión, con la finalidad de definir los demás elementos necesarios para el funcionamiento del sistema (Figura 5). Aquí se muestran los relevadores, dos sensores de electro nivel para el tanque de lixiviado, así como lámparas indicadoras y botones de control del tablero, así como las clemas de conexión entre el cableado.

**Figura 5**  
Diagrama de conexión.



Para el desarrollo del código se utilizó el software de programación DirectSOFT 5. En la figura 6 se muestra las primeras dos líneas del programa, la primera sirve para el arranque y paro del sistema, en la cual se conectaron dos botones pulsadores en X1 y X2, igualmente se utilizó una bobina de memoria C300 para hacer el enclavamiento con un contacto abierto en paralelo al contacto de arranque, además se agregó una bobina de una salida física Y6, donde se conectó el indicador de arranque.

**Figura 6**  
Línea 1.



Las siguientes cuatro líneas del programa que se muestran en la Figura 7, son las encargadas de la activación o desactivación del riego en cada una de las 4 camas. En el principio de cada una de las líneas se tiene un contacto abierto de una entrada física conectada en X3, X4, X5 y X6 y una bobina de memoria C400, C401, C402 y C403, estas se utilizan más adelante para permitir o interrumpir la instrucción del riego en la cama 1, cama 2, cama 3 y cama 4 respectivamente.

**Figura 7**  
Líneas 2, 3, 4 y 5.



Con el fin de facilitar el monitoreo de las condiciones para el usuario se desarrolló una interfaz para una pantalla HMI, el modelo de pantalla utilizado es DOP-107BV de la marca Delta. Para el diseño de la interfaz que se cargó al HMI se utilizó el software DOPSoft 4.00.16, el mismo tiene licencia gratis y pertenece a la marca Delta para la programación de sus equipos, además de que cuenta con la configuración que tiene que ser cargadas al HMI para la comunicación con los distintos modelos de PLC's que hay en el mercado, este es el primer paso para la realización del diseño, en donde primero se seleccionó el modelo del HMI y al dar siguiente se seleccionó la marca del PLC y el modelo, y se configuró el puerto y el HMI para la comunicación que entablan los dos dispositivos. Las necesidades que se cubrieron con el diseño de la interfaz son el monitoreo en tiempo real de las condiciones de humedad, temperatura, conductividad y nutrientes de la vermicomposta en cada una de las camas, así como también el histórico de las condiciones a través del tiempo, por lo que se optó por un diseño simple y minimalista para la presentación de todos estos datos. En general se diseñaron nueve pantallas para presentar todos los elementos, la primera pantalla es el inicio, esta es la primera que se presenta al ser encendido el equipo, como se muestra en la figura 8 contiene del lado izquierdo cinco cuadros que son botones Goto Screen que nos dirigen a las pantallas de cada una de las camas, así como señala por la tonalidad de su fondo la pantalla en la que nos encontramos, también del lado derecho muestra el logo y el nombre del Instituto, la fecha y la hora.

**Figura 8**  
Inicio interfaz HMI.

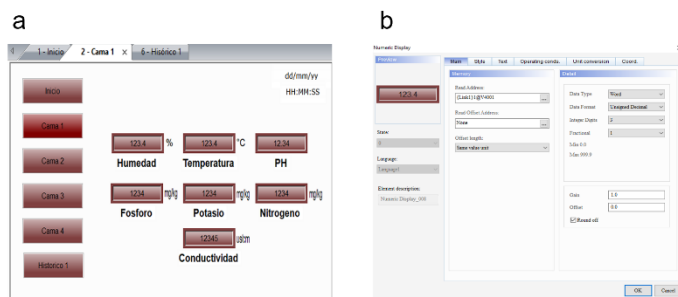


Instituto Tecnológico Superior de Lerdo

Las siguientes cuatro pantallas son de cada una de las camas (figura 9), esta cuenta con un botón Goto Screen extra que nos dirige a la pantalla del histórico de la cama que se tiene seleccionada, de igual manera se tienen siete numeric display con un texto en la parte de abajo para señalar el dato que muestra, así como las unidades que maneja el display, también en la figura 7 observar el cuadro de diálogo en el que se programa el numeric display, donde en los tres puntos de Read Address se selecciona de dónde obtendrá la lectura y se escribe la dirección, dado el valor que nos arroja el sensor sin puntos decimales es necesario designar cuanto dígitos son enteros y cuántos son fraccionales en el menú de detalles.

**Figura 9**

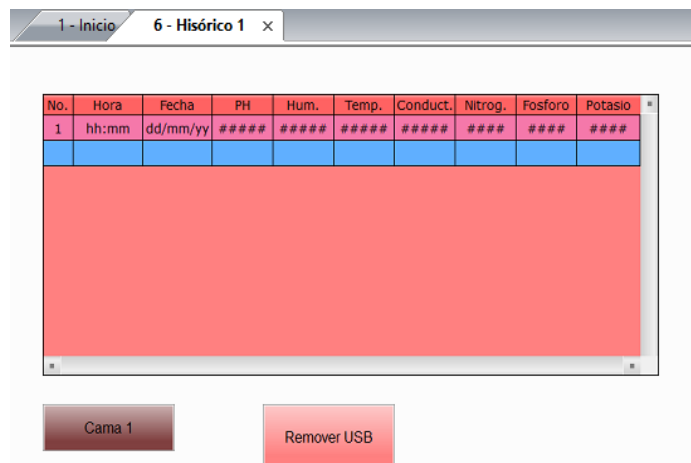
a) pantalla de datos en tiempo real, b) configuración del numeric display.



Por último, están las cuatro pantallas de los históricos de cada cama, como se ve en la figura 10, cuenta con un botón goto screen para regresar a la pantalla de la cama en tiempo real y un botón remove storage para expulsar la memoria USB, ambos en la parte de abajo. Aun más importante tiene una tabla de datos históricos donde se muestra el histórico de cada dato.

**Figura 10**

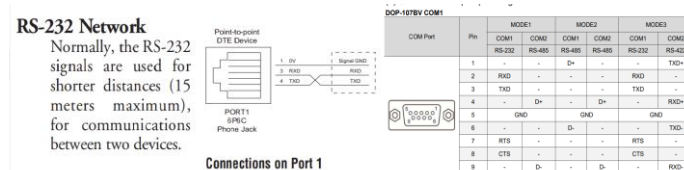
Pantalla de histórico.



En cuanto a la conexión del HMI con el PLC se utilizó un plug telefonico RJ12 para conectar al PLC y un conector DB9 macho para su conexión al HMI, en la Figura 11 se muestra la conexión que se realizó basado en los manuales de los dos dispositivos para su comunicación por el protocolo RS232.

**Figura 11**

Conexión de puertos de comunicación HMI-PLC.



El gabinete se diseñó como se muestra la figura 12, con tres niveles de riel DIN, el primer nivel de arriba contiene el PLC, una clemata portafusible y dos clemas para la alimentación de 127VCA y una pastilla termomagnética. En el segundo nivel tiene 6 bloques de clemas las primeras dos para la alimentación de 12VCD, las siguientes dos para la alimentación de 24VCD y las otras dos para la alimentación de 127VCA. Al final se encuentra la pastilla termomagnética de protección para el motor, después están siete relés para la conexión primero del motor, después la electroválvula de la cisterna, después para la electroválvula de lixiviado, después para la alimentación del HMI y finalmente los últimos cuatro para las electroválvulas de las camas, también está un bloque de clemas para la conexión de los cuatro sensores. Además, se hicieron tres orificios, uno en la parte de abajo para los cables de la extracción y la bomba, y otros dos del costado izquierdo del tablero para la conexión de las dos fuentes de voltaje de 12VCD y 24VCD.

**Figura 12**

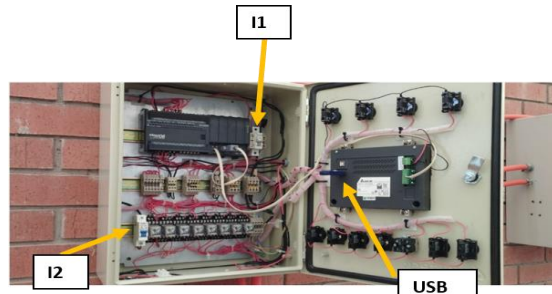
Diseño de la platina.



La conexión completa de todos los elementos se muestra en la figura 13, en esta se puede apreciar el cableado y peinado de todas las conexiones que se realizaron de manera eficiente. Primeramente, se levanta el interruptor de voltaje 110 V (VCA) del sistema (I1) el cual energiza el tablero de control, al tiempo que se ilumina la lámpara L1 mostrada en la Figura 12.

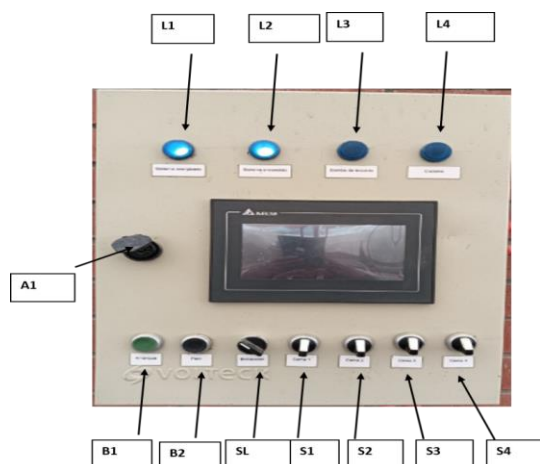
**Figura 13**

Conexiones de los elementos en el tablero



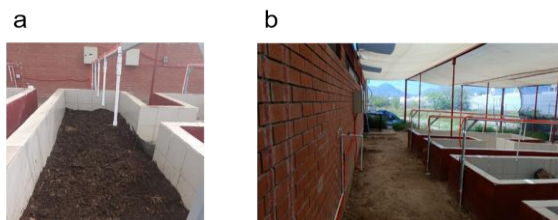
Se realizó una prueba de funcionamiento durante un periodo de un mes en el que el sistema estuvo encendido, en dicho periodo el funcionamiento del sistema entero se desarrolló con éxito, solo se obtuvo como cambio la adaptación del nivel de humedad programado para un mejor control (figura 14).

**Figura 14**  
Sistema encendido.



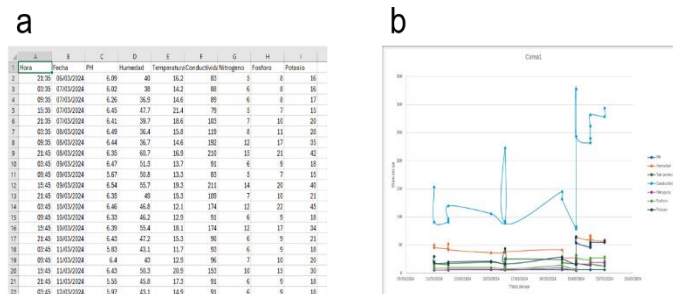
El sistema de riego con la instalación de las electroválvulas y el sensor NPK 7 en 1 que es el que registra las variables entre esta humedad para activar el sistema de riego, se instaló en las 4 camas existentes en área destinada al proceso de vermicomposteo, cada una de las camas cuenta con los sensores, los cuales envían la información al tablero que se encuentra instalado en el interior del área para llevar a cabo la automatización del riego. Al girar a la derecha el selector 1 (S1, Figura 15) se activa el sistema de riego, en el cual el sistema detectará que la cisterna contenga líquido suficiente para que se active la bomba de recirculación, de lo contrario, se activará una electroválvula para que entre agua de la red pública como inicio del sistema. En caso de que la cisterna contenga agua o lixiviado de la producción, ésta se activará en la lámpara 3 (L3) al igual que se ilumine L4 para llenar completamente dicha cisterna. Por lo tanto, se tendrá que activar manualmente cada selector correspondiente a la cama que se desea mantener con humedad (S2, S3, S4). SL es la perilla que se deberá girar cuando L4 se muestre activa y el tinaco se encuentre lleno con el lixiviado, de otra manera no saldrá el producto.

**Figura 15**  
a) sistema de riego automatizado; b) camas de vermicomposteo automatizadas.



Por ultimo las mediciones realizadas se muestran la tabla de Excel generada por el HMI para mostrar el histórico de los cambios en las variables medidas por los sensores, estos datos son grabados en un archivo .CSV que es almacenado directamente en la memoria USB que se conecta en el puerto del HMI. También se muestra una gráfica que presenta la variación de los datos obtenidos de las lecturas de las siete variables a través del tiempo (figura 16).

**Figura 16**  
a) Tabla de Excel y b) gráfica de datos.



## IV. CONCLUSIONES

Se logró concretar un sistema automatizado para el monitoreo de variables fisicoquímicas y de humedad para la producción de vermicompost en el ITSL, ya que son aspectos fundamentales para garantizar un proceso eficiente y de mayor productividad. Mediante la implementación de sensores, sistemas de control y tecnología de monitoreo en tiempo real, se ha demostrado que es posible observar el comportamiento de ciertas variables de interés como la Temperatura, Humedad, pH, Nitrógeno, Fósforo, potasio y conductividad eléctrica para promover la actividad microbiana y el desarrollo saludable de las lombrices. Además, el monitoreo continuo de parámetros clave permite detectar oportunamente cualquier desviación o anomalía en el sistema, facilitando la rápida corrección y prevención de problemas mayores, como puede ser una falla de sensor, falla de un componente electrónico entre otros factores. Teniendo como beneficios la reducción de la intervención humana, la mejora de la precisión y la coherencia en el manejo de procesos, así como la capacidad de recopilar datos detallados para su posterior análisis y optimización. Además, la integración de sistemas de control inteligentes puede proporcionar retroalimentación en tiempo real y ajustes automáticos, mejorando aún más la eficiencia y la calidad del producto final como es el lixiviado. Además, se redujo considerablemente evitar inundar las camas de vermicompost, ya que con la cantidad de humedad determinada se maximiza la reproducción de las lombrices, de lo contrario se pueden ahogar por exceso de agua sobre la cama. Otra ventaja es que el sistema puede ser mejorado al ser monitoreado desde vía remota para ejecutar el control de inicio/apagado debido a los constantes apagones en el Instituto que limitan la activación del sistema físicamente. Finalmente, el seguimiento y control de un sistema automatizado de vermicompostaje son elementos esenciales para maximizar la producción del fertilizante orgánico y que sea de alta calidad, minimizando costos operativos y ambientales.

## V. AGRADECIMIENTOS

Deseamos manifestar nuestro más profundo agradecimiento al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por todas las facilidades brindadas para llevar a cabo nuestro proyecto de investigación. Su apoyo fue fundamental tanto en el uso del laboratorio para realizar los análisis como en el área de vermicompostaje para probar los diferentes sustratos.

Expresamos nuestro sincero reconocimiento a las autoridades, docentes y personal del Instituto por permitirnos el acceso a sus instalaciones y equipos, así como por el valioso respaldo técnico y logístico ofrecido durante todo el desarrollo del proyecto. Su colaboración y disponibilidad fueron esenciales para lograr los objetivos planteados.

El Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo ha reafirmado su compromiso con el progreso del conocimiento científico y la formación de profesionales preparados para enfrentar los retos actuales en investigación y tecnología. Les reiteramos nuestro agradecimiento y esperamos poder colaborar nuevamente en futuras iniciativas.

## VI. REFERENCIAS

- Hariadi, Yuli Suharnoto and Arief Sabdo Yuwono. (2018); Design and performance test of appropriate on-farm composting package for small farmers. *Int. J. of Adv. Res.* **6** (Jun). 1146-1160] (ISSN 2320-5407). <https://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/7320>
- C. Liu, K.K. Sakimoto, B.C. Colón, P.A. Silver, & D.G. Nocera, (2017) Ambient nitrogen reduction cycle using a hybrid inorganic-biological system, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **114** (25) 6450-6455, <https://doi.org/10.1073/pnas.1706371114>
- Manea, E. E., Bumbac, C., Dinu, L. R., Bumbac, M., & Nicolescu, C. M. (2024). Composting as a Sustainable Solution for Organic Solid Waste Management: Current Practices and Potential Improvements. *Sustainability*, **16**(15), 6329. <https://doi.org/10.3390/su16156329>
- Matthew Chekwube Enebe, Mariana Erasmus (2023), Vermicomposting technology - A perspective on vermicompost production technologies, limitations and prospects, *Journal of Environmental Management*, Volume 345, 118585, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118585>
- Pereira, Madson de Godoi, Cardoso de Souza Neta, Lourdes, Fontes, Maurício Paulo Ferreira, Souza, Adriana Nascimento, Carvalho Matos, Thaionara, de Lima Sachdev, Raquel, dos Santos, Arnaud Victor, Oliveira da Guarda Souza, Marluce, de Andrade, Marta Valéria Almeida Santana, Marinho Maciel Paulo, Gabriela, Ribeiro, Joselito Nardy, Verónica Flores Nardy Ribeiro, Araceli, (2014). An Overview of the Environmental Applicability of Vermicompost: From Wastewater Treatment to the Development of Sensitive Analytical Methods, *The Scientific World Journal*, 2014, 917348, 14 pages. <https://doi.org/10.1155/2014/917348>
- Ponmozhi Iniya, C.N., Rabindra Kumar, YasinAbrar Baba and GantaMallikarjuna Rao. 2019. Effect of Integrated Nutrient Management on Growth and Yield of Maize (*Zea mays* L.). *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* **8**(11): 2675-2681. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.811.306>
- Sayara, T., Basheer-Salimia, R., Hawamde, F., & Sánchez, A. (2020). Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture. *Agronomy*, **10**(11), 1838. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111838>
- Singh, D.P., Prabha, R., Renu, S. (2019) Agrowaste bioconversion and microbial fortification have prospects for soil health, crop productivity, and eco-enterprising. *Int J Recycl Org Waste Agricult* **8** (Suppl 1), 457–472. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0243-0>
- Sulaimonov, O. N., & Zokirova, M. L. (2021). Role of californian red worm in biohumus preparation. *ISJ Theoretical & Applied Science*, **12** (104), 1332-1334. So: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-12-104-152> Doi: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2021.12.104.152>
- Vyas, P., Sharma, S., Gupta, J. (2022). Vermicomposting with microbial amendment: Implications for bioremediation of industrial and agricultural waste. *BioTechnologia*, **103**(2), 203-215. <https://doi.org/10.5114/bta.2022.116213>