

Análisis Comparativo de Sensores de Temperatura, Humedad y Luminosidad para su Uso en Sistemas de Producción de Lombricompost¹

Comparative Analysis of Temperature, Humidity and Light Sensors for Use in Vermicompost Production Systems

M. A. López, D.G. Rivera, I. C. Satizábal y W. Y. Ortíz

Recibido: noviembre 27 de 2023 – Aceptado: mayo 4 de 2024

Resumen—El lombricompost es un abono orgánico que ayuda a la fertilidad del suelo, generado por las lombrices de tierra. A través del internet de las cosas (IoT) se pueden crear redes de sensores para monitorear las condiciones ambientales del sustrato donde viven. En este artículo se hace una revisión de los diferentes tipos de sensores de humedad, luminosidad y temperatura encontrados en la literatura, con el fin de determinar cuáles de ellos son los más adecuados para un sistema de monitoreo de lombricultura, basado en IoT. Los resultados muestran que el sensor capacitivo I2C Soil Moisture es el más apropiado para monitorear la humedad, el fototransistor BH1750 es el elegido como sensor de luminosidad y el sensor de estado sólido DS18B20 es el que más se destaca para medir la temperatura.

Palabras clave—Arreglos de Sensores, IoT (Internet de las Cosas), Lombricompost, Lombricultura, Sensores de Humedad,

Sensores de Luminosidad, Sensores de Temperatura, Sistemas de Sensores.

Abstract—Vermicompost is an organic fertilizer that helps soil fertility, generated by earthworms, and sensor networks can be created through the Internet of Things (IoT) to monitor the environmental conditions of the soil where they live. They generate vermicompost, an organic fertilizer that helps soil fertility. This paper presents a review of the different types of humidity, luminosity and temperature sensors found in the literature, in order to determine which of them are the most suitable for a vermiculture monitoring system based on IoT. The results show that the I2C Soil Moisture capacitive sensor is the most appropriate to monitor humidity, the BH1750 phototransistor is the chosen as luminosity sensor and the DS18B20 solid state sensor is the most outstanding to measure temperature.

Keywords—Humidity Sensors, IoT (Internet of Things), Light Sensors, Sensor Arrays, Sensor Systems, Temperature Sensors, Vermicompost, Vermiculture

¹Producto derivado del proyecto de investigación “SGPS 5992 - Sistema de Monitoreo Remoto de las Condiciones Ambientales del Criadero de Lombrices en la Biofábrica del Centro Agropecuario (Popayán – Cauca).”, apoyado por el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) a través de la Convocatoria Interna de Proyectos SENNOVA 2020.

M. A. López, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Popayán, Colombia, email: malopezh@sena.edu.co

D.G. Rivera, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Popayán, Colombia, email: dgriveraf@sena.edu.co

I.C. Satizábal, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Popayán, Colombia, email: icsatizabal@sena.edu.co

W.Y. Ortiz Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Popayán, Colombia, email: wortiz@sena.edu.co

Como citar este artículo: López, M. A., Rivera, D. G., Satizábal, I.C., y Ortíz, W. Y. Análisis Comparativo de Sensores de Temperatura, Humedad y Luminosidad para su Uso en Sistemas de Producción de Lombricompost, Entre Ciencia e Ingeniería, vol. 18, no. 35, pp. 32-40, enero-junio 2024. DOI: <https://doi.org/10.31908/19098367.3045>.



Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

I. INTRODUCCIÓN

LA lombricultura es una biotecnología en la cual las lombrices de tierra, junto con los microorganismos, degradan la materia orgánica, con el objetivo de generar el lombricompost, un abono orgánico que ayuda a la fertilidad del suelo [1]-[4].

Ya que las lombrices de tierra son foto-fóbicas, y su reproducción depende de parámetros como la humedad y la temperatura del sustrato donde viven, se requiere controlar las condiciones ambientales de este [5], [6], a través de tecnologías como el internet de las cosas (IoT) [7], que permite monitorear remotamente las variables y hacerles seguimiento en tiempo real y con alta precisión, lo que propicia la toma oportuna de decisiones.

En los sistemas agrícolas, en general, y específicamente en lombricultura, se han implementado diversas soluciones IoT para monitorear las variables críticas identificadas [8]-

[11], que son: la temperatura y humedad del sustrato, y luminosidad del entorno, usando, en cada caso, diferentes tecnologías y sensores disponibles en el mercado para determinar su valor. Los sensores empleados cuentan con diversos parámetros, que condicionan la eficiencia de la solución y la precisión de la información recopilada y entregada al usuario final.

En el presente trabajo se realiza una revisión bibliográfica de los diferentes tipos de sensores de temperatura, humedad e intensidad lumínica, utilizados en sistemas de monitoreo IoT, mostrando al lector un análisis comparativo de sus características, con el fin de orientar la elección de los sensores más adecuados para soluciones de monitoreo de la lombricultura.

Este artículo se compone de las siguientes secciones: en la sección II, se presentan los conceptos relacionados con los distintos tipos de sensores de temperatura, humedad y luminosidad, así como los parámetros elegidos para hacer la elección; en la sección III se describe la metodología utilizada para recolectar, clasificar y analizar la información de los sensores; en la sección IV, se comparan los diferentes tipos de sensores; la sección V contiene el análisis de los resultados obtenidos; y en la sección VI se dan las conclusiones.

II. MARCO TEÓRICO

“Los sensores son dispositivos que permiten cuantificar una variable física” [12], pues reaccionan a las variaciones de las condiciones del entorno, lo que da como respuesta un cambio en sus propiedades eléctricas [13]. Este artículo se enfoca en los sensores de humedad, luminosidad y temperatura.

A. Sensores de humedad

La humedad es una variable física que indica la cantidad de agua que existe en un medio gaseoso o que fue absorbida por un sólido [14]. Los parámetros comunes para medir la humedad son: humedad relativa, humedad específica y humedad absoluta. Para materiales sólidos, como el lombricompost, la humedad específica es el parámetro por medir, pues corresponde a la relación entre la masa de agua y la masa de sustancia secar presentes en el medio (ambos expresados en kg) [15].

Existen diferentes métodos para medir la humedad del suelo, unos se clasifican como “directos”, debido a que miden la cantidad de agua sobre una porción de suelo; otros se denominan “indirectos”, pues obtienen la cantidad de humedad midiendo un parámetro diferente, pero que tiene relación con la ella. Normalmente, el parámetro a medir implica un método sencillo, lo que hace que obtener la humedad sea más fácil que por los métodos directos [16].

En la actualidad existen diversos métodos directos e indirectos para medir la humedad del sustrato, pero teniendo en cuenta el entorno de aplicación al que se hace mención y el propósito de su uso, se espera que el sensor permita: realizar una medida ágil, que no sea destructiva o invasiva en el terreno de medición; que ofrezca una respuesta de tipo

eléctrico para su procesamiento y transmisión remota; y que tenga un costo accesible [16]. En este grupo de sensores están:

- *Resistivos*: Miden la resistencia entre dos puntos de un material, por medio de dos electrodos conectados a este, y a partir de este valor se calcula el contenido de humedad [16]. El método utilizado por estos sensores se asume que el agua es el principal causante del cambio en la resistencia eléctrica del suelo. Una variante de este tipo son los sensores cerámicos, los cuales descomponen las moléculas de agua depositadas sobre su superficie en iones de H^+ y OH^- , lo que genera una salida resistiva mientras se aplica un voltaje AC de excitación [17], [18].
- *Capacitivos*: Miden la capacitancia que se genera entre un par de electrodos enterrados, que tienen como dieléctrico al sustrato. A partir de esta medida se estima la constante dieléctrica del suelo, la cual tiene relación con la cantidad de agua presente en el sustrato [16] - [19].
- *Por conductividad*: Miden la corriente eléctrica entre dos electrodos enterrados en un sustrato. Teniendo en cuenta que la conductividad varía de acuerdo con la humedad presente en el sustrato, la medición de humedad corresponde a la relación que existe con la corriente medida [14].

B. Sensores de luminosidad

Los sensores de luminosidad funcionan bajo el principio de transducción fotoeléctrica, mediante el cual se transforma luz en energía eléctrica o viceversa. Se usan para detectar niveles de luz y producir una señal de salida respecto a la cantidad de luz detectada [20], [21]. Existen sensores de luminosidad de diferentes tipos, de los cuales, los utilizados para medir la luminosidad del ambiente son [22], [23]:

- *Fotorresistores*: El fotorresistor o resistor dependiente de la luz es un tipo de resistor fotoconductor cuyo valor de resistencia depende de la cantidad de luz que incide sobre su superficie [24]. La base de funcionamiento radica en su componente principal, el sulfuro de cadmio (CdS), semiconductor que, al recibir mayor intensidad lumínica, disminuye la resistencia, pues facilita la movilidad de los electrones [25].
- *Fototransistores*: Los fototransistores son transistores convencionales con dos junturas y los elementos típicos: colector, base y emisor; se diferencian por su encapsulado, que es transparente, para permitir el ingreso de la luz y que se produzca el efecto fotoeléctrico. Cuando la luz incide sobre su base, se genera una corriente que fluye entre colector y emisor. La intensidad de esta corriente es proporcional a la luz que incide en las junturas [26].
- *Fotodiodos*: El fotodiodo es un diodo semiconductor, construido con una unión PN, sensible a la incidencia de la luz visible o infrarroja. Opera bajo condiciones de polarización inversa. Cuando no hay iluminación en el entorno, presenta una corriente de saturación normal que corresponde a una intensidad baja. En presencia de luz, se incrementa la intensidad de corriente de saturación de manera proporcional a la cantidad de luz detectada [26].

C. Sensores de temperatura

La temperatura es la intensidad de calor de un objeto. Los sensores usados para medir la temperatura se basan en diferentes fenómenos que ocurren cuando son sometidos a energía térmica, como la radiación; el voltaje generado por la unión de dos metales y el cambio de valor en la resistencia de un material [12].

Los tipos de sensores de temperatura, adecuados para el sistema de lombricompost, son:

- **Termistores:** Son resistencias que cambian su valor con la temperatura y aunque, teóricamente, todos los resistores se comportan como termistores, estos últimos cambian su resistencia drásticamente con las variaciones de temperatura [27].
- **Sensores Estado Sólido (unión PN):** Se refiere a un diodo o a un transistor bipolar. Estando el dispositivo conectado en polarización directa y siendo su corriente constante, se podrá obtener la temperatura con base en el voltaje que se tiene. La relación de la temperatura y el voltaje son inversos, lo que hace que este tipo de sensor sea atractivo para muchas aplicaciones, debido a su simplicidad y bajo costo [28].

III. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la revisión bibliográfica, se realizaron una serie de pasos que se ilustran en la Fig. 1. Cada paso consiste en acciones que generan insumos para la fase posterior hasta llegar a la consolidación de este documento.



Fig. 1. Metodología de revisión bibliográfica

- **Alcance del análisis:** Se delimita el alcance de la revisión a sensores utilizados en sistemas IoT aplicados a la lombricultura o capaces de medir las variables que son de interés en estos sistemas productivos.
- **Recopilación de la información:** Consistió en la búsqueda de referentes bibliográficos en fuentes secundarias como bases de datos, que ofrecen descripciones de los documentos y acceso a estos. Las bases de datos consultadas fueron Scopus, Proquest, EBSCO, Google Académico y Lens.org. Las palabras clave utilizadas para realizar la búsqueda fueron: “temperature sensor”, “moisture sensor”, “light sensor”, “review”, “vermiculture”, “IoT”, las cuales se combinaron utilizando los conectores AND y OR. También se usaron estas palabras en español.
- **Selección de la información:** Se seleccionó la información útil para el estudio, a partir de criterios de inclusión como: claridad, relación del título y resumen con el objeto de la revisión, contenido y relevancia de los resultados, así como el ámbito de aplicación y los tipos de sensores utilizados. Así mismo, se definen criterios de exclusión relacionados con la fecha de publicación, aplicación a otros sistemas y a la disponibilidad de los documentos.

- **Análisis de la información:** Los documentos seleccionados se clasificaron de acuerdo con las variables de interés: humedad, temperatura y luminosidad. Luego, se compararon los diferentes sensores encontrados, de acuerdo con los parámetros previamente definidos y las características técnicas deseables, propias de cada tipo de sensor. Posteriormente, se analizaron los resultados obtenidos, identificando los aspectos destacados y determinando qué sensores son los más adecuados para un sistema de sensado de variables, aplicado a lombricultura.

Parámetros para la selección de sensores

Existen diferentes parámetros de los sensores que se pueden utilizar para realizar una comparación entre ellos. Los que se evaluarán en los 3 tipos de sensores son [29]:

- **Tensión de alimentación:** Es la gama de tensión con la que debe energizarse el sensor para asegurar un funcionamiento seguro. “No están permitidas subtensiones ni sobretensiones” [30]. Viene de fábrica y es de gran importancia, pues se requiere compatibilidad con la alimentación eléctrica del sistema y con la tarjeta de desarrollo a utilizar. Usar sensores con tensiones de operación superiores implicaría hacer uso de fuentes de alimentación con salidas adicionales o de circuitos elevadores, lo que aumenta el consumo eléctrico total [31].
- **Consumo de corriente:** Corriente eléctrica que se utiliza durante el funcionamiento del sensor. Se debe tener en cuenta que no solo existe consumo de corriente durante las mediciones, sino que también se genera durante los periodos de espera o reposo del sensor. Es importante que los sensores tengan un consumo de corriente bajo, pues esto contribuiría a tener un sistema de alimentación de menor capacidad, lo que se traduce en menores costos de implementación. Por otro lado, si el suministro eléctrico proviene de un acumulador, como es el caso de las energías alternativas, como paneles solares o generadores eólicos, entre otros, un bajo consumo de corriente produce mayor tiempo de disponibilidad de la carga, permitiendo con esto mantener por más tiempo energizado el sistema [31].
- **Temperatura de operación:** Los sensores están diseñados para funcionar dentro de un rango de temperatura específico. Si se utilizan fuera de este rango, su rendimiento puede verse afectado, lo que da lugar a imprecisiones en las medidas y, en el largo plazo, pueden afectar la vida útil de los componentes. Es importante elegir sensores que puedan funcionar de manera confiable en el rango de temperatura del lugar donde vayan a estar ubicados, para garantizar mediciones precisas y consistentes [32].
- **Encapsulado:** Corresponde al encerramiento que presenta el sensor y que lo protege de las condiciones a las que puede verse expuesto. En el caso de los sensores para inmersión en el sustrato, el encapsulado debe proveer una protección contra la humedad y los niveles de acidez que se puedan presentar, si se desea que el sensor presente un periodo prolongado de operación.
- **Protocolo:** Aplica a los sensores con salida digital, los cuales entregan los resultados de la medición, empleando una serie de reglas de comunicación. El uso de protocolos brinda algunas

ventajas respecto a los sensores con salida analógica, por ejemplo, posibilita extender el cableado entre el sensor y la tarjeta de desarrollo y permite la interconexión de múltiples sensores al mismo cable, lo que reduce la necesidad de cables individuales por sensor [33], [34].

- **Costo:** Precio comercial del sensor. Claramente su importancia no se relaciona con lo técnico, sino que radica en su influencia en los costos finales que tendrá la implementación. Por tanto, son deseables los precios bajos, siempre y cuando no se sacrifique la precisión y el funcionamiento del sistema.

IV. COMPARACIÓN DE SENSORES

El análisis comparativo de los sensores, para un sistema de lombricultura basado en IoT parte de la revisión de aspectos operacionales que propician un mejor rendimiento del sistema productivo.

A. Comparación de sensores de humedad

Para realizar la comparación se tomaron cuatro sensores comerciales de humedad del suelo, de diferentes tipos: el sensor capacitivo SoilWatch10, desarrollado por la empresa Pino-Tech [35], el sensor por conductividad FC-28 [36], cuyo fabricante del componente activo LM393 es Onsemi, el sensor capacitivo I2C Soil Moisture, de Catnip Electronics [37] y el sensor resistivo conformado por la sonda de medición YL69 y la tarjeta adaptadora YL38, con componente activo LM393 [38] de Texas Instruments. El componente activo LM393 es un amplificador operacional doble, incorporado en la tarjeta, que define las características del sensor. En la TABLA I se comparan los sensores mencionados. Los valores se obtuvieron de las especificaciones técnicas de los fabricantes.

TABLA I
COMPARACIÓN DE SENSORES DE HUMEDAD

Sensor	SoilWatch 10 [35]	FC-28 [36]	I2C Soil Moisture [37]	YL69 + YL38 [38]
Tipo	Capacitivo	Conductividad	Capacitivo	Resistivo
Tensión de Alimentación	3.1V – 5.0V	3.3V - 5V	3.3 V - 5 V	3.3V - 5V
Consumo de Corriente	~15mA	~20 mA	14 mA a 5 V, 7.8 mA a 3.3 V.	~20 mA
Temperatura de operación	-20°C a 80°C	-25°C a 85°C	0 °C - 85 °C	0°C a 70°C
Encapsulado	Si	No	Si	No
Protocolo	Analógico	Analógico	I2C	Analógico
Costo*	\$51.800 COP	\$10.630 COP	\$3.990 COP	\$4.433 COP

*Precios tomados de Aliexpress [39] el día 27/07/2023.

En la TABLA I, se puede ver que la tensión de alimentación corresponde a las dos utilizadas por las tarjetas de desarrollo (3.3 V y 5V DC), por lo que los cuatro sensores comparados se adaptan a ellas.

El consumo de corriente es menor a 30 mA, por lo cual se considera que los cuatro sensores presentan bajo consumo de corriente. Destaca el I2C Soil Moisture, con el menor consumo, mientras el FC-28 y YL69+YL38 es el de mayor consumo.

La temperatura de operación debe ser acorde al sitio donde es utilizado el sensor. En este caso particular, la temperatura de Popayán (Colombia), donde está ubicada la cama de lombrices, “generalmente varía de 14 °C a 25 °C y rara vez baja a menos de 13 °C o sube a más de 27 °C” [40], durante todo el año, pues Colombia es un país tropical donde no hay estaciones. Por tanto, los cuatro sensores son adecuados para el sitio donde operarán; es el FC-28 el que tiene un rango más amplio de operación, y los que tienen el rango más reducido son el I2C Soil Moisture y el YL69+YL38.

Respecto al encapsulado, es importante tener en cuenta que la impermeabilidad de los sensores, principalmente en la zona de contacto con el sustrato, se relaciona con el tipo de sensor. En el caso de los sensores de tipo resistivo (YL69+YL38) y por conductividad (FC-28), necesitan estar en contacto directo con el sustrato donde se realizará la medición, por lo cual, en la zona de contacto del sensor no pueden incorporar protección contra intemperie o humedad. Esto los hace vulnerables a composiciones químicas y ácidas del sustrato, que pueden atacar el material conductor de la sonda de medición y deteriorarla, además de alterar la medición, debido a la oxidación de la zona de contacto y en consecuencia producir variación en la medición. Los sensores capacitivos (SoilWatch10 y I2C Soil Moisture), por su parte, ofrecen aislamiento eléctrico frente a posibles afectaciones producto de la salinidad, acidez o corrosión natural de algunos metales.

En cuanto al protocolo, de los cuatro sensores comparados solo el I2C Soil Moisture tiene salida digital, por tanto, aventaja a los otros al poderse comunicar más fácilmente con las tarjetas de desarrollo.

En cuanto al costo, se puede observar que los sensores I2C Soil Moisture y YL69+YL38 son los más económicos. Por lo cual, pueden ser apropiados para etapas de prototipado de un sistema de medición, donde es necesario manipular constantemente el sensor y en consecuencia podrían verse afectados por errores de conexión. Entre los de mayor costo se encuentran el FC-28 y el SoilWatch10, siendo estos sensores recomendados para sistemas en operación, en los cuales ya se cuenta con un prototipo terminado o sistema definitivo, donde se pueden seleccionar estos sensores dependiendo de los recursos económicos disponibles.

B. Comparación de sensores de luminosidad

En los sistemas de producción de lombricompost se requiere garantizar ausencia permanente de luz dada la característica de las lombrices de ser fotofóbicas. Para el análisis comparativo de sensores de luminosidad, considerando la oferta de sensores disponibles para sistemas IoT, se seleccionaron: un LDR (*Light Dependent Resistor*) convencional de tipo fotoconductor LDR NORP12RS [41], el fototransistor BH1750 [42] y el fotodiodo TSL2561 [43]. En la TABLA II se muestra la comparación de estos sensores.

TABLA II.
COMPARACIÓN DE SENSORES DE LUMINOSIDAD

Sensor	LDR NORP12 RS [41]	BH1750 [42]	TSL2561 [43]
Tipo	Fotoreistor	Fototransistor	Fotodiodo
Tensión de Alimentación	Variable Típico: 3.3V - 5V	2.4V - 3.6V	2.7V-3.6V
Consumo de Corriente	75 mA	Modo medición activo: 180 μ A Modo reposo < 1 μ A	Modo medición activo: 0.6 mA y 2.7 mA Modo reposo < 1 μ A
Temperatura de Operación	-60°C a 75°C	-40°C a 85°C	-30°C a 70°C
Encapsulado	Si	Si	Si
Protocolo	Analógico	I2C	I2C
Costo *	\$900 - \$2.000	\$12.000 - \$18.000	\$40.000- \$82.000
Rango de Medición	10 - 1000 lux	1 - 65535 lux	0.1 - 40000 lux
Precisión	Baja	Alta	Muy alta
Sensibilidad	Media - baja	Alta	Alta

*Precios tomados de Aliexpress [39] el día 27/07/2023.

En cuanto a la tensión de alimentación, los sensores BH1750 y TSL2561 pueden operar solo con las tarjetas de 3.3V, mientras que el LDR NORP12RS puede trabajar con los voltajes de 5V y 3.3V.

El consumo de corriente, en los sensores usados para sistemas IoT, debe ser lo más bajo posible, con el objetivo de maximizar la vida útil de las baterías y reducir los costos de operación. Por tanto, el BH1750 representa la mejor opción de los tres sensores en estudio mientras el LDR NORP12 RS es el de mayor consumo [44].

La temperatura de operación es un aspecto poco relevante para esta comparación debido a que la cama de lombrices se encuentra en un lugar donde no hay grandes variaciones de temperatura, como se mencionó anteriormente, y los tres sensores abarcan un amplio rango. El sensor que tiene un mayor rango de operación es el LDR NORP12RS y el de menor rango es el TSL2561.

Respecto al encapsulado, los sensores en revisión tienen diferentes encapsulados según el fabricante y el modelo específico, pero no es un factor crítico para esta variable, pues es el único de los sensores que no se sumerge en el sustrato, sino que se ubica sobre la cama de lombrices.

En cuanto al protocolo, el LDR NORP12RS, por ser de tipo analógico, requiere que se implemente en código la conversión de valores a una escala reconocible, para interpretar la variación de resistencia en una señal digital utilizable. Por otra parte, el BH1750 y el TSL2561 proporcionan salida digital, que favorece su integración con los microcontroladores empleados en sistemas IoT,

En el caso del BH1750, tienen dos posibles direcciones I2C: 0x23 y 0x5C, lo que significa que es posible conectar hasta dos sensores en el mismo bus I2C, configurando cada sensor con una dirección distinta. En el caso del sensor TSL2561 es posible seleccionar una de las tres direcciones

con que cuenta, para que se puedan conectar hasta tres sensores en una placa, cada uno con una dirección I2C diferente. Esta característica es importante en términos de los puertos de conexión de las tarjetas que se utilizan en IoT pues, según las dimensiones del lombricario, se determina el número de sensores que se requieren y por ende la ocupación de buses para su conexión.

En cuanto al costo, el TSL2561 tiene el valor más alto, que corresponde a más de cuatro veces el valor promedio de un BH1750. Por su parte, el LDR NORP12RS tiene un costo bajo dada la simplicidad de su fabricación. El BH1750 tiene un precio intermedio.

En relación con el rango de medición, y considerando que los lombricarios se instalan como entornos de oscuridad total, se espera que la iluminancia sea muy cercana a 0 lux. De esta manera, valores a partir de los 3 lux se toman como críticos, que corresponden a una percepción de luz mínima. Los sensores BH1750 y TSL2561 tienen un rango de medición aceptable, siendo la LDR la menos recomendada en este aspecto.

El TSL2561 incluye dos fotodiodos uno de ellos opera en el espectro de luz visible e infrarroja y el otro en el espectro de luz infrarroja únicamente, lo que permite medir niveles de iluminación en diversas condiciones. Integra además un conversor ADC que procesa las corrientes provenientes de los dos fotodiodos generando la salida en formato digital [43]. Esta característica representa una altísima precisión para entornos donde se manejen iluminancias en estos rangos del espectro, sin embargo, para el caso de estudio sólo se requiere que pueda detectar la luz visible, como es el caso de los tres sensores comparados. Por otra parte, los sensores con salida digital (BH1750 y TSL2561) proporcionan una mayor precisión y estabilidad de la magnitud medida en comparación con los sensores analógicos (LDR NORP12RS). Así, el TSL2561 cuenta con mayor precisión y sensibilidad, el BH1750 se ubica en un término medio y el LDR NORP12 RS es el que peores condiciones tiene de los tres.

C. Comparación de sensores de temperatura

Se compararon 3 sensores de temperatura: TMP36, DS18B20 y TMP421, como se muestra en la TABLA III.

TABLA III.
COMPARACIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA

Nombre	TMP36 [45]	DS18B20 [46]	MF523100 [47]
Tipo	Estado Sólido	Estado Sólido	Termistor
Tensión de Alimentación	2.7V - 5.5V	3.3V - 5V	3,3 V - 5V
Consumo de Corriente	50 μ A máximo.	1,5 mA máximo.	\leq 1,58 mA.
Temperatura de Operación	-40°C a 125°C	-10°C a 85°C	-55°C a 125°C
Encapsulado	No	Si	No
Protocolo	Analógico	One-wire [48]	Analógico
Costo *	\$ 14.000	\$10.000	\$7.000

*Precios tomados de Aliexpress [39] el día 27/07/2023.

La tensión de alimentación de los tres sensores comparados se encuentra en el rango de funcionamiento de las tarjetas de desarrollo, por lo que ninguno se destaca respecto al otro.

Adicionalmente, los tres sensores tienen un bajo consumo de corriente, pues no sobrepasan los 30mA. El TMP36 es el sensor que tiene un menor consumo y el MF523100 el que tiene un mayor consumo.

La temperatura de operación de los tres sensores cubre ampliamente el rango de temperatura del lugar donde van a operar los sensores, siendo el MF523100 el de mayor rango y el DS18B20 el de menor rango.

En cuanto al encapsulado, debido a que el sustrato en donde habitan las lombrices es un medio que permanece constantemente húmedo, los elementos que se introduzcan se afectarán mucho por la corrosión, por lo que el sensor DS18B20, al contar con encapsulado, se destaca sobre los otros dos.

Dado que se desea colocar varios sensores en la cama de lombrices para poder medir la temperatura simultáneamente en diferentes puntos, se prefieren los sensores digitales, como el DS18B20.

Respecto al costo, se debe tener en cuenta que se necesitan al menos 4 sensores de temperatura en la cama de lombrices, lo que incrementará el costo de implementación. En este caso, el sensor MF523100 es el menos costoso, el DS18B20 tiene un costo intermedio y el TMP36 tiene el costo más alto.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En general, las tensiones de alimentación de los sensores de humedad, luminosidad y temperatura, que fueron comparados, se adaptan a las tensiones de 3.3 V y 5V DC de las tarjetas de desarrollo, a excepción de los sensores de luminosidad BH1750 y TSL2561 que pueden operar solo con las tarjetas de 3.3V.

La temperatura ideal para el crecimiento de las lombrices es de 20°C a 25°C y la ideal para la formación de cocones e incubación de 12°C a 15°C [49]. Además, la temperatura de operación depende del lugar donde se implementará el sistema, que en este caso varía de 14 °C a 25 °C y rara vez baja a menos de 13 °C o sube a más de 27 °C [40], el rango de temperaturas de operación que manejan todos los sensores comparados es bastante amplio (el menor va de 0°C a 70°C y el mayor de -55°C a 125°C), por lo que este parámetro y la tensión de alimentación no son decisivos a la hora de elegir los sensores.

En cuanto al protocolo, debido al tamaño de la cama de lombrices, es necesario distribuir múltiples sensores en toda su extensión, lo que se facilita cuando el sensor es digital, pues se reduce el número de conductores eléctricos y se optimiza el uso de los puertos de conexión, factor clave en la implementación de estas soluciones, dado el número limitado de puertos con que cuentan las tarjetas microcontroladoras.

Adicionalmente, cuantos más sensores se conecten, mayor consumo de corriente se va a tener. Ya que estos sistemas de lombricultura, por lo general, operan en predios rurales, donde no siempre llega la energía eléctrica, se deben utilizar energías alternativas y hacer un manejo eficiente del consumo de energía; por lo tanto, cuanto más bajo sea el consumo de corriente del

sensor, mejor. Por lo cual se recomienda, además de un encapsulado para el componente electrónico, de una protección adicional que se puede realizar por *software* desde la tarjeta de desarrollo que lee los datos de la medición, la cual consiste en mantener desconectado eléctricamente al sensor y solo alimentarlo durante el tiempo que dure la medición. Esto se puede realizar a través de un relé controlado por la tarjeta de desarrollo que alimente a los sensores que realizarán las mediciones. De esta forma, los sensores solo estarán energizados en el momento de la medición.

En cuanto al encapsulado, los sensores de humedad y de temperatura, que se introducen dentro del sustrato, deberían tener protección contra la humedad y los niveles de acidez.

Normalmente, las camas de lombricompost se encuentran bajo techo, esto con el fin de poder controlar y mantener las condiciones ambientales requeridas [50]. Se podría pensar con esto que se proporciona un entorno de operación apropiado para los sensores donde la electrónica no estaría expuesta a la intemperie, pero existen factores como el contacto de los dedos de los operarios o la humedad del aire que podrían de alguna forma degradar la capacidad de los sensores.

Respecto al costo, estas soluciones no se implementan en ambientes industriales si no en ambientes de pequeños y medianos productores agropecuarios para quienes este aspecto resulta definitivo, por lo que, al requerirse varios sensores para el sistema, se preferirán los sensores de más bajo costo.

Los datos presentados de los sensores de humedad en la Tabla I, muestran que las características diferenciadoras importantes a la hora de seleccionar uno de estos sensores son: el tipo de sensor, el consumo de corriente, el encapsulado, el protocolo y el costo. Es así como el sensor capacitivo I2C Soil Moisture con aislamiento, bajo consumo de corriente (14 mA a 5 V, 7,8 mA a 3,3 V), con protocolo I2C y un costo de \$3990 COP se considera el más apropiado para monitorear la humedad del sistema de producción de lombricompost. Tener en cuenta que “debe proveerse a las camas una humedad inicial del 70% hasta llegar al 40% al final para facilitar la ingestión del alimento y el deslizamiento de las lombrices a través del material” [49].

De acuerdo con la comparación realizada de los sensores de luminosidad, mostrada en la Tabla II los parámetros que influyen en su selección son: consumo de corriente, protocolo, costo, rango de medición, precisión y sensibilidad. Por ello, se determina que el sensor de luminosidad más apropiado para los sistemas de monitoreo de lombricultura con IoT es el fototransistor BH1750 por su eficiencia en el consumo de corriente (Modo medición activo: 180 μ A, Modo reposo < 1 μ A), el uso del protocolo I2C, su valor comercial promedio (\$12.000 - \$18.000), así como su alta precisión y sensibilidad.

Según la comparación de los sensores de temperatura presentada en la TABLA III, las propiedades diferenciadoras para realizar la selección son: el encapsulado y el protocolo, por lo que el sensor de estado sólido DS18B20 se destaca al tener protección contra la corrosión y da la posibilidad de conectar múltiples sensores a un único puerto, a través del protocolo OneWire.

VI. CONCLUSIONES

De los sensores de humedad analizados se considera que el sensor capacitivo I2C Soil Moisture es el más idóneo en la implementación de sistemas de monitoreo para la producción de lombricompost, resaltando sus características de aislamiento ante la humedad, bajo consumo de corriente (14 mA a 5 V, 7.8 mA a 3.3 V), tensiones de operación compatibles con hardware comercial (3.3 V - 5 V), amplio rango de temperatura (0 °C - 85 °C) y conectividad I2C. En cuanto a la comercialización y costo, este sensor se puede adquirir en plataformas de comercio en línea con precios muy bajos (\$3.990 COP) y competitivos frente a otros sensores de humedad.

La luminosidad de los lombricultivos es un factor crítico para la reproducción y supervivencia de las lombrices y, por ende, para la producción asociada a esta práctica sostenible. Como debe garantizarse oscuridad total, dado que las lombrices son fotofóbicas, se analizaron tres sensores: una fotorresistencia convencional LDR NORP12 RS, y dos sensores digitales: BH1750 y TSL2561. Como sensor recomendado resulta el BH1750 considerando el menor consumo de corriente de los tres en modo activo, por ser un sensor digital que opera bajo el protocolo I2C que representa confiabilidad y precisión en la comunicación de datos, inmunidad a ruido eléctrico y la posibilidad de conectar varios sensores a la misma línea de comunicación utilizando direcciones únicas, característica determinante para implementaciones en unidades productivas que por sus dimensiones o condiciones específicas requerirán más de un sensor para el monitoreo de la variable. También el costo resulta decisivo para optar por este sensor, ya que tiene un valor medio comparado con los otros dos y, como estos sistemas de producción se dan principalmente en zonas rurales, se busca que las soluciones sean robustas y eficientes, con la mejor relación costo beneficio, que, para el caso, sería el BH1750.

Respecto a los sensores de temperatura analizados, se destaca el DS18B20 por su encapsulado, ya que garantiza una mayor durabilidad y resistencia, pues al estar aislado del sustrato se evita su temprana corrosión y deterioro, y también por el protocolo OneWire que implementa, debido a que permite la conexión de múltiples sensores a un solo cable, con lo que se logra una distribución y alcance de los sensores en toda el área de la cama de lombrices.

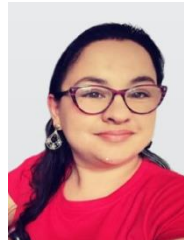
AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) a través de la Convocatoria Interna de Proyectos SENNOVA 2020, proyecto SGPS 5992-Sistema de Monitoreo Remoto de las Condiciones Ambientales del Criadero de Lombrices en la Biofábrica del Centro Agropecuario (Popayán – Cauca).

REFERENCIAS

- [1] L. E. Rubio Rodríguez, «Caracterización Físico-Química y Comparación Abonos Orgánicos Producidos a Partir de Estiércol por Medio de Lombricultura en Concá, Arroyo Seco, Querétaro,» 01 Mayo 2023. <https://ri-ng.uaq.mx/xmlui/handle/123456789/8205> [Último acceso: 17 julio 2023].
- [2] O. E. Trujillo Romero y D. De Armas Duarte, «Lombricultura: Práctica de Aprovechamiento a Partir de Residuos Orgánicos,» Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá D.C., 2021.
- [3] P. Román, M. M. Martínez y A. Pantoja, «Manual de Compostaje del Agricultor Experiencias en América Latina,» Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Santiago de Chile, 2013.
- [4] O. Carretero, «Estudio de Viabilidad para el Manejo y Tratamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos Mediante la Creación y Puesta en Funcionamiento de una Empresa Dedicada a la Lombricultura, en el Municipio de Orito Putumayo,» 2011. [En línea]. Disponible en: http://45.5.172.45/bitstream/10819/1468/1/Estudio_Orito_Putumayo_Carretero2011.pdf. [Último acceso: 15 mayo 2023].
- [5] M. Schuldt, Lombricultura Teoría y Práctica, Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2006.
- [6] N. K. Briones Arriaga, «Importancia de la Lombriz Roja Californiana Eisenia Foetida y su Comercialización,» Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo, 2023.
- [7] M. Barzola Yupanqui, R. Lizana Guebarra, J. B. Roca Arango y C. Tenorio Salvatierra, «Sistemas Operativos para Internet de las Cosas,» Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, 2016.
- [8] R. Alanis-Teutle, Y. Ramirez-Chocolatl, M. J. Alonso-Calpeño y J. Santander-Castillo, (2019) «Aplicación de Internet de las Cosas en el Monitoreo de la Producción de Lombricomposta,» *Revista de Tecnología Informática*, vol. 3, n° 10, pp. 23-32.
- [9] M. Rukhiran y P. Netinant, (2020), «IoT Architecture Based on Information Flow Diagram for Vermiculture Smart Farming Kit,» *TEM Journal*, vol. 9, n° 4, pp. 1330-1337.
- [10] M. S. Barcelon, A. A. Orilla, J. A. Mahilum y J. J. Adtoon, «Automated Vermiculture Monitoring and Compost Segregating System Using Microcontrollers,» de *Proceedings of the 2019 6th International Conference on Bioinformatics Research and Applications*, Seoul, 2019.
- [11] V. Bagali, V. Jiddi y W. Jahagirdar, «Vermicomposting of Biodegradable Waste: An IoT Based Approach,» de *5th International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer Technologies and Optimization Techniques (ICECCOT)*, Mysuru, 2021.
- [12] L. G. Corona Ramírez, G. S. Abarca Jiménez y J. Mares Carreño, Sensores y Actuadores Aplicaciones con Arduino, Azcapotzalco: Grupo Editorial Patria, 2014, pp. 173-196.
- [13] DescubreArduino.com, «Los 10 Tipos de Sensores Más Usados: Características y Usos,» 2014. [En línea]. Disponible en: <https://descubrearduino.com/tipos-de-sensores/>. [Último acceso: 15 agosto 2023].
- [14] A. A. Lepe Carrillo, «Desempeño de un Sensor de Humedad en un Suelo con Vegetación,» Universidad del Bío-Bío, Concepción, 2014.
- [15] A. Serna Ruiz, F. A. Ros García y J. C. Rico Noguera, «Sensores de Humedad,» de *Guía Práctica de Sensores*, Madrid, Creaciones Copyright, 2010, pp. 67-69.
- [16] L. Betancourth Castro, «Sensor de Humedad del Suelo Tipo Sonda con Sistema de Monitoreo para Aplicaciones en Agricultura de Precisión,» Universidad de los Llanos, Villavicencio, 2016.
- [17] S. Jimenez, L. Scarioni y K. Vano, (2013), «Nota Técnica: Sensores de Humedad de Tipo Capacitivo y Resistivo, Fabricados con NaCl, KBr y KCl,» *Revista Ingeniería UC*, vol. 20, n° 1, pp. 83-86.
- [18] L. Velázquez Vázquez, J. M. Barrios Díaz, B. Barrios Díaz, F. Vázquez Cruz, G. J. Pérez Marroquín y P. Zaldívar Martínez, «Sensores de Humedad del Suelo en el Cultivo de Cebolla (Allium Cepa L.) con Riego por Goteo,» de *Sexto Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas*, Hermosillo, 2021.
- [19] F. Reyes, J. Cid y E. Vargas, Mecatrónica Control y Automatización,

- ALFAOMEGA, 2013.
- [20] R. Pallas Anreny, *Sensores y Acondicionadores de Señal*, 4ta ed., Barcelona: Marcombo Boixareu Editores, 2003.
- [21] J. Singh, *Semiconductor Optoelectronics: Physics and Technology*, Londres: McGraw-Hill Education, 2012.
- [22] P. B. Zbar, A. P. Malvino y M. A. Miller, *Prácticas de Electrónica*, 7 ed., Barcelona: Marcombo-Alfaomega, 2003.
- [23] M. M. Cirovic, *Electrónica Fundamental: Dispositivos, Circuitos y Sistemas*, Madrid: Reverté, 2020.
- [24] B. Donadon, M. De Carvalho Gomes, G. H. Granado, A. Alves dos Santos, J. M. De Moura Cardoso, G. Gomes y E. Oliveira Dias, «Monitoramento de Luminosidade, Temperatura e Gás, Aplicação Baseada em IoT.» 31 Agosto 2022. [En línea]. Disponible en: https://lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-22-Brasil/papers/BTSym2022_085.pdf. [Último acceso: 16 agosto 2023].
- [25] J. M. Mena Rodríguez, *Prácticas de Electrónica Analógica*, Valladolid: Ediciones Universidad de Valladolid, 2003.
- [26] A. Malvino y D. J. Bates, *Principios de Electrónica*, 7ma ed., Madrid: McGraw-Hill, 2007.
- [27] O. A. Torrente, *ARDUINO Curso Práctico de Formación*, México D.F.: Alfaomega, 2017, pp. 423-434.
- [28] J. Fraden, *Handbook of Modern Sensor*, New York: Springer, 2010, pp. 556-560.
- [29] M. Vallejo Valencia y A. Arias Londoño, *Introducción a la Adquisición y Acondicionamiento de Señales*, ITM, 2022.
- [30] Wenglor, «Tensión de Alimentación.» Wenglor, 20 junio 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.wenglor.com/es/Tension-de-alimentacion/1/cxmCID73346>. [Último acceso: 9 Agosto 2023].
- [31] E. Mandado Pérez, J. Marcos Acevedo, C. Fernández Silva, I. Armesto Quiroga, J. L. Rivas López y J. M. Núñez Ortuño, *Sistemas de Automatización y Automatas Programables*, España: Marcombo, 2018.
- [32] M. Gómez Gómez, *Electrónica General*, México, D.F.: Alfaomega, 2007.
- [33] R. Pallás-Areny y J. G. Webster, *Sensors and Signal Conditioning*, New York: John Wiley & Sons, 2012.
- [34] D. Molloy, *Raspberry Pi® a Fondo para Desarrolladores*, Madrid: Marcombo Editores, 2019.
- [35] Pino-Tech, «Soilwatch 10.» Enero 2018. [En línea]. Disponible en: <https://pino-tech.eu/wp-content/uploads/2017/08/SoilWatch10.pdf>. [Último acceso: 15 noviembre 2022].
- [36] ONSEMI, «Low Offset Voltage Dual Comparators LM393, LM393E, LM293, LM2903, LM2903E, LM2903V, NCV2903.» 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/lm393-d.pdf>. [Último acceso: 25 junio 2023].
- [37] Catnip Electronics, «I2C Soil Moisture Sensor.» Tindie, [En línea]. Disponible en: <https://www.tindie.com/products/miceuz/i2c-soil-moisture-sensor/>. [Último acceso: 25 enero 2023].
- [38] Texas Instruments, «LM393B, LM2903B, LM193, LM293, LM393 and LM2903 Dual Comparators.» 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm393.pdf?ts=1687863112072&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FLM393. [Último acceso: 25 junio 2023].
- [39] AliExpress, «Electronic Components and Supplies.» AliExpress, 2023. Disponible en: https://www.aliexpress.com/category/502/electronic-components-supplies.html?spm=a2g0o.category_nav.1.233.218e48b66paV0t. [Último acceso: 27 julio 2023].
- [40] Weather Spark, «El Clima y el Tiempo Promedio en Todo el Año en Popayán.» 2023. <https://es.weatherspark.com/y/21480/Clima-promedio-en-Popay%C3%A1n-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>. [Último acceso: 22 junio 2023].
- [41] RS Components, «Data Sheet Light dependent Resistors.» 1997. Disponible en: <https://docs.rs-online.com/fb50/0900766b8001a9d6.pdf>. [Último acceso: 4 mayo 2023].
- [42] Rohm Semiconductor, «Ambient Light Sensor IC Series Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC BH1750FVI.» Abril 2009. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/338083/ROHM/BH1750FVI.html>. [Último acceso: 31 julio 2023].
- [43] Texas Advanced Optoelectronic Solutions, «TSL 2561 Light to digital converter Data Sheet.» Marzo 2009. [En línea]. Disponible en: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TSL2561.pdf>. [Último acceso: 4 mayo 2023].
- [44] M. Wendling, *Sensores*, São Paulo: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2010.
- [45] Analog Devices Inc., «Low Voltage Temperature Sensors TMP35/TMP36/TMP37.» 2002. <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/49108/AD/TMP36.html>. [Último acceso: 15 mayo 2023].
- [46] Dallas Semiconductor, «DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire® Digital Thermometer.» sa. <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html>. [Último acceso: 15 mayo 2023].
- [47] Cantherm, «MF52 Pearl-Shaped Precision NTC Thermistor for Temperature Measurement.» Cantherm, Marzo 2006. <https://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/240849/ETC2/MF523100.html>. [Último acceso: 27 julio 2023].
- [48] G. Deshpande, M. Goswami, J. Kolhe, V. Khandagale, D. Khope, G. Patel, R. Doijad, P. K. Rajani, M. Mujumdar, B. Bahadur Singh y N. Ganeshi, «IoT-Based Low-Cost Soil Moisture and Soil Temperature Monitoring System.» de *6th International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCCUBEA)*, Pune, Maharashtra, 2022.
- [49] E. Diaz, «Guía de Lombricultura.» Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior (ADEX), La Rioja, 2002.
- [50] Fundación Hogares Juveniles Campesinos, *Manual Cría de la lombriz de Tierra, Una Alternativa Ecológica y Rentable*, Bogotá D. C. : San Pablo, 2005.



María Alejandra López Hurtado. Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones egresada de la Universidad del Cauca (Popayán, 2008), especialista en Gerencia educativa de la Universidad Católica de Manizales (Popayán, 2017), magíster en Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca (Popayán, 2021). Instructora del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) en las áreas de Telecomunicaciones e Infraestructura desde noviembre de 2009. Docente de la Universidad Nacional Abierta y a distancia desde junio de 2018. Áreas de interés: Internet de las cosas IoT, medios de transmisión.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0417-8557>



David Guillermo Rivera Fierro. Ingeniero Electrónico de la Universidad de San Buenaventura (Cali, Colombia) en el año 2009 y especialista de en Redes y Servicios Telemáticos de la Universidad del Cauca (2013). Desde el año 2012 se ha desempeñado como Instructor del área de Telecomunicaciones en el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) de la Regional Cauca. Tiene interés especial en: Internet de las Cosas (IoT) y Redes de Nueva Generación (NGN).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4161-7528>



Isabel Cristina Satizábal Echavarría. Es ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones, egresada de la Universidad del Cauca (Popayán, Colombia) en el año 2000 y doctora en Ingeniería Telemática, egresada de la Universitat Politècnica de Catalunya (Barcelona, España) en el año 2007. Se desempeñó, durante 10 años, como docente universitaria del área de Telecomunicaciones, directora de trabajos de grado e investigadora en diferentes universidades públicas y privadas (Universidad de Pamplona (Pamplona, Colombia), Universidad Autónoma de Occidente (Cali, Colombia), Universidad de la Sierra Sur (Oaxaca, México), Universidad Pontificia Bolivariana (Bucaramanga, Colombia), Universidad Antonio Nariño (Armenia, Colombia)), y desde 2018 trabaja en el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Regional Cauca, como Dinamizadora del Conocimiento. Sus áreas de interés de investigación son: seguridad informática, diseño de protocolos seguros, gobierno electrónico y sistemas IoT.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6823-9718>



Wilson Yecit Ortiz Sánchez. Ingeniero en electrónica y telecomunicaciones egresado de la Universidad del Cauca en 2007 (Popayán, Colombia), especialista en Gerencia Informática de la Corporación Universitaria Remington en 2011 (Popayán, Colombia), magíster en Diseño y Gestión de Proyectos Tecnológicos de la Universidad Internacional de la Rioja en 2017 (Bogotá, Colombia). Desde 2007 trabaja como instructor del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) en el área de Telecomunicaciones, integrante y líder del grupo de investigación INNOVATEC CTPI. Áreas de interés: Internet de las cosas IoT aplicado al agro.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5958-8501>