

**SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE LAS CONDICIONES DE  
PRODUCCIÓN PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE LOS LOMBRICULTIVOS  
PROMOVIDOS POR LA SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL Y AMBIENTE  
DEL MUNICIPIO DE ZIPAQUIRÁ**

**SEBASTIAN CANO FONSECA  
LAURA MARIA CARRANZA CABRA**

**Fundación Universitaria Agraria de Colombia  
Facultad de ingeniería  
Ingeniería mecatrónica  
Ingeniería industrial  
Bogotá  
2023**

**SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE LAS CONDICIONES DE  
PRODUCCIÓN PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE LOS LOMBRICULTIVOS  
PROMOVIDOS POR LA SECRETARÍA DE DESARROLLO RURAL Y AMBIENTE  
DEL MUNICIPIO DE ZIPAQUIRÁ**

**SEBASTIAN CANO FONSECA  
LAURA MARIA CARRANZA CABRA**

**Proyecto de grado para optar a los títulos  
de ingenieros mecatrónicos e ingenieros industriales**

**Asesores**

**NYDIA CAROLINA CHAVES GARCÍA  
ANDRÉS POLO ROA**

**Fundación Universitaria Agraria de Colombia**

**Facultad de ingeniería**

**Ingeniería mecatrónica**

**Ingeniería industrial**

**Bogotá**

**2023**

## RESUMEN

En el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca) se lleva a cabo el proyecto *Lombricompostaje* liderado por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente; a través de este, se entrega 1 Kg de pie de cría, y otros elementos necesarios para que voluntarios inicien sus propios lombricultivos en una cama de 1 m<sup>2</sup>. Por su parte, la Alcaldía espera una retribución social inmersa en una mejor calidad de vida de los ciudadanos, gracias a los ingresos económicos que puedan obtener a partir de la venta de humus; así como también un mejoramiento de los suelos debido al uso de este producto.

Dentro de los talleres de capacitación que venían desarrollando, se evidenciaron diversas falencias por parte de los voluntarios, pues se observó materia orgánica que dificultaba la alimentación y reproducción de las lombrices debido a temperaturas, humedades y radiaciones inadecuadas. Para la Secretaría, estas problemáticas generan retrasos en el desarrollo del proyecto, dado que no es posible brindar un seguimiento técnico continuo a los lombricultivos.

De las personas que recibieron los materiales, el 25% no había iniciado el proceso productivo; el 44% pusieron en marcha el lombricultivo, pero no generaban ingresos al no llevar a cabo la metodología indicada en los talleres; los productores restantes percibían ingresos por la producción de abono orgánico y venta de pie de cría, pero no sabían cuánta materia orgánica necesitaban para producir una cantidad determinada de humus.

Para solucionar esto, se desarrolló una revisión bibliográfica donde se determinó que los niveles teóricos que conducen a una óptima reproducción de la lombriz roja californiana son entre 15°C y 25°C de temperatura; entre 70% y 80% para humedad porcentual, y una radiación porcentual que tienda al 0%.

Posteriormente, se implementaron sistemas de monitoreo para diagnosticar las condiciones actuales de los lombricultivos promovidos por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá. Se estableció que los procesos

productivos se mantienen entre 13.43°C y 20.11°C, entre 68.62% y 99.76% de humedad, y radiación porcentual de 0.24% a 40.14%.

Luego se implementaron sistemas de control de temperatura, humedad y radiación porcentual en un diseño experimental donde se compararon las diferentes condiciones en las que se encontraron los lombricultivos del municipio de Zipaquirá, se encontró que los valores que mejoran la reproducción de la *Eisenia Foetida* son: temperatura entre 18°C y 20°C, humedad porcentual entre 70% y 80%, y radiación porcentual baja.

Finalmente, se instaló de un sistema de monitoreo y control que mantuvo las anteriores condiciones en un lombricultivo nuevo de 1 m<sup>2</sup>. Se estableció a través de análisis de productividad que el 51% de materia orgánica se convirtió en humus al cabo de 3 meses, y un 5% se convirtió en desperdicios de comida no procesable por la *Eisenia Foetida*. Por otro lado, se obtuvo un rendimiento de pie de cría de 4.4 lombrices obtenidas al final del proceso por cada lombriz adulta con que se inició el lombricultivo.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>10</b>
1. Formulación del problema .....	13
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
1. Objetivo general .....	14
2. Objetivos específicos.....	14
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>18</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
1. Lombriz roja californiana y su alimentación .....	25
<b>MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>27</b>
<b>MARCO HISTÓRICO.....</b>	<b>28</b>
<b>MARCO GEOGRÁFICO .....</b>	<b>31</b>
1. Características físicas del territorio.....	33
2. Temperatura .....	34
3. Relieve.....	34
4. Clima .....	34
5. Hidrografía.....	34
6. Economía .....	35
7. Descripción del sector agropecuario .....	35
8. Sistemas de producción agrícola.....	36

9. Sistema de producción pecuaria .....	36
<b>MARCO LEGAL.....</b>	<b>39</b>
1. Reglamentos .....	39
2. Políticas.....	39
<b>TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>40</b>
1. Enfoque .....	40
2. Tipo de investigación .....	40
3. Diseño de investigación.....	40
4. Hipótesis de investigación .....	41
<b>POBLACIÓN.....</b>	<b>41</b>
1. Muestra.....	42
<b>DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>42</b>
1. Técnicas de recolección de información.....	42
2. Procedimiento metodológico .....	43
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>52</b>
Etapa 1 .....	53
Etapa 2 .....	70
Etapa 3 .....	108
Impacto del proyecto .....	117
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>120</b>
Etapa 1 .....	120
Etapa 2 .....	122
Etapa 3 .....	124

<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>126</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>128</b>
Etapa 1 .....	128
Etapa 2 .....	129
Etapa 3 .....	129
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>130</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>143</b>
1. Planos mecánicos sistema de monitoreo .....	143
2. Planos mecánicos sistema de monitoreo y control .....	143
3. Datos técnicos sensor de humedad capacitivo SEN0193 .....	143
4. Datos técnicos sensor de temperatura DS18B20 .....	143
5. Datos técnicos sensor de radiación fotocelda .....	143
6. Datos técnicos electroválvula .....	143
7. Datos técnicos resistencia eléctrica .....	143
8. Datos técnicos celda peltier .....	143
9. Datos técnicos ventiladores .....	143
10. Encuestas a productores .....	143

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagnóstico inicial realizado por la Secretaría. ....	17
Ilustración 2. Límites geográficos municipio de Zipaquirá. ....	31
Ilustración 3. División política de Cundinamarca. ....	32
Ilustración 4. Veredas del municipio de Zipaquirá. ....	33
Ilustración 5. Actividades económicas Zipaquirá. ....	35
Ilustración 6. Uso del suelo de Zipaquirá. ....	36
Ilustración 7. Veredas de ubicación de los productores. ....	37
Ilustración 8. Ubicación de los lombricultivos analizados. ....	37
Ilustración 9. Procedimiento metodológico. ....	51
Ilustración 10. Plano electrónico sistema de monitoreo. ....	58
Ilustración 11. Diseño de PCB sistema de monitoreo. ....	59
Ilustración 12. Conexión eléctrica sistema de monitoreo. ....	60
Ilustración 13. Diseño mecánico sistema de monitoreo. ....	60
Ilustración 14. Ensamble de PCB sistemas de monitoreo. ....	61
Ilustración 15. Clasificación de la <i>Eisenia Foetida</i> . ....	62
Ilustración 16. Peso de muestras de materia orgánica. ....	63
Ilustración 17. Recolección y peso de muestra. ....	63
Ilustración 18. Clasificación de <i>Eisenia Foetida</i> . ....	64

Ilustración 19. Pesado de lombrices.....	64
Ilustración 20. Medición de longitud de lombrices adultas. ....	65
Ilustración 21. Densidad de lombrices adultas. ....	68
Ilustración 22. Densidad de lombrices sub-adultas. ....	68
Ilustración 23. Densidad de lombrices jóvenes. ....	69
Ilustración 24. Densidad de cocones.....	69
Ilustración 25. Materia orgánica para diseño experimental. ....	72
Ilustración 26. Imagen de referencia cestillo utilizado. ....	77
Ilustración 27. Comparación de los sistemas de enfriamiento.....	78
Ilustración 28. Diagrama de bloques general para el control de humedad.....	81
Ilustración 29. Diagrama de bloques general para el control de temperatura. ....	81
Ilustración 30. Diagrama de bloques específico para el control de humedad. ....	82
Ilustración 31. Diagrama de bloques específico para el control de temperatura. ....	82
Ilustración 32. Respuestas del sistema de humedad a lazo abierto.....	83
Ilustración 33. Diagrama de bode del sistema de humedad a lazo abierto. ....	84
Ilustración 34. Diagrama de bode sistema humedad con ganancia encontrada. ....	85
Ilustración 35. Respuestas del sistema de humedad controlado.....	86
Ilustración 36. Respuestas del sistema de temperatura a lazo abierto. ....	87
Ilustración 37. Diagrama de bode del sistema de temperatura a lazo abierto. ....	89
Ilustración 38. Diagrama de bode sistema temperatura con ganancia encontrada. ....	90

Ilustración 39. Respuestas del sistema de temperatura controlado. ....	91
Ilustración 40. Diagrama alimentación eléctrica diseño experimental. ....	92
Ilustración 41. Esquema electrónico sistema de monitoreo y control. ....	94
Ilustración 42. Vistas en 3D sistema de monitoreo y control. ....	94
Ilustración 43. Ensamble sistema de monitoreo y control. ....	96
Ilustración 44. Algoritmo de microcontrolador (sistema de control). ....	97
Ilustración 45. Aceptación de materia orgánica por parte de las lombrices. ....	99
Ilustración 46. Cestillo 1 diseño experimental. ....	100
Ilustración 47. Cestillo 2 diseño experimental. ....	100
Ilustración 48. Cestillo 3 diseño experimental. ....	101
Ilustración 49. Cestillo 4 diseño experimental. ....	101
Ilustración 50. Gráfica de cubos para potencial reproductor. ....	104
Ilustración 51. Efectos principales para potencial reproductor. ....	105
Ilustración 52. Interacción entre variables para potencial reproductor. ....	105
Ilustración 53. Diagramas de contornos para potencial reproductor. ....	106
Ilustración 54. Diagrama de superficies para potencial reproductor. ....	106
Ilustración 55. Optimización de respuesta de potencial reproductor. ....	107
Ilustración 56. Inicio lombricultivo de 1 m <sup>2</sup> con materia orgánica precompostada. ....	108
Ilustración 57. Instalación de sistema de control en etapa final. ....	109
Ilustración 58. Adaptador para el sistema de monitoreo y control (etapa final). ....	109

Ilustración 59. Trampeo de individuos en lombricultivo antiguo. ....	110
Ilustración 60. Pesaje, muestreo y conteo de lombrices. ....	110
Ilustración 61. Revisión de lombricultivo 15 días.....	111
Ilustración 62. Revisión de lombricultivo 28 días.....	111
Ilustración 63. Incorporación de materia orgánica precompostada. ....	111
Ilustración 64. Recolección de lixiviado para el riego de la materia orgánica.....	112
Ilustración 65. Trampeo de la lombriz roja Californiana. ....	113
Ilustración 66. Proceso de secado del humus. ....	114
Ilustración 67. Tamiz para el humus seco. ....	114
Ilustración 68. Humus y desperdicio obtenido al final del proceso. ....	115
Ilustración 69. Parámetros para la estandarización de lombricultivos en Zipaquirá. .	116
Ilustración 70. Aceptabilidad de los sistemas de monitoreo y control.....	119
Ilustración 71. Caracterización productor 5. ....	120
Ilustración 72. Caracterización productor 6. ....	120
Ilustración 73. Materia orgánica seca y compacta.....	128
Ilustración 74. Exceso de humedad en lombricultivo.....	128

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Relación de productores, veredas y altitud de los lombricultivos estudiados.	38
Tabla 2. Variables que afectan la reproducción de la lombriz roja californiana.	52
Tabla 3. Necesidades sensores de humedad.	53
Tabla 4. Matriz de decisión sensores de humedad.	54
Tabla 5. Necesidades sensores de temperatura.	54
Tabla 6. Matriz de decisión sensores de temperatura.	55
Tabla 7. Necesidades microcontrolador	56
Tabla 8. Matriz de decisión microcontroladores.	56
Tabla 9. Lombricultivos analizados.	65
Tabla 10. Condiciones actuales de los lombricultivos.	70
Tabla 11. Rangos de niveles diseño experimental.	71
Tabla 12. Niveles de cada tratamiento experimental.	71
Tabla 13. Condiciones de humedad en lombricultivo sin controlar.	72
Tabla 14. Necesidad actuador sistema de control de humedad.	73
Tabla 15. Matriz de decisión actuadores de humedad.	74
Tabla 16. Condiciones de temperatura en la ubicación del experimento.	74
Tabla 17. Necesidad actuadores para la reducción de temperatura.	75
Tabla 18. Matriz de decisión actuadores para la reducción de temperatura.	76

Tabla 19. Necesidad actuadores para el aumento de temperatura.....	78
Tabla 20. Matriz de decisión actuadores para el aumento de temperatura.....	79
Tabla 21. Potencia consumida en diseño experimental.....	93
Tabla 22. Resultados reprobilógicos diseño experimental.....	103
Tabla 23. Condiciones promedio de tratamientos del diseño experimental.....	107
Tabla 24. Alimentación del lombricultivo durante los 3 meses.....	112
Tabla 25. Condiciones del lombricultivo elegido en etapa final.....	116
Tabla 26. Resultados de encuestas a productores.....	118
Tabla 27. Condiciones de los productores 5 y 6.....	121

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Todos los cultivos de frutas, verduras y hortalizas e incluso las plantas de áreas urbanas necesitan una serie de nutrientes para vivir y crecer de manera adecuada; de allí surge la necesidad de emplear abonos (Hualpa Males & Coral Chacon, 2021; Martey, 2018). De acuerdo con Luque (2018) actualmente se encuentran en el mercado dos tipos principales de abono: orgánicos y químicos. Los segundos presentan algunas ventajas como tener una composición definida, formas de aplicación más sencillas, y mayor variedad de aplicaciones; esto genera un crecimiento más rápido y eficiente de las plantas (Lili Guo et al., 2021).

Lamentablemente también presentan algunas desventajas como aumentar solamente la presencia de nutrientes en el suelo, pero no mejora sus características físicas, Fan et al (2023) señalan que los fertilizantes químicos generan contaminación ambiental cuando son aplicados en exceso. Por otra parte, Savari & Gharechae (2020) indican que estos fertilizantes producen algunas enfermedades hacia el ser humano como cáncer, mutaciones en cromosomas y deformación de embriones. Adicionalmente el conflicto actual entre Rusia y Ucrania ha generado un alza en sus precios, a consecuencia de que este tipo de fertilizantes vienen en gran proporción de estos países o de los de su órbita (Londoño, 2022).

Aunque los abonos orgánicos se deben aplicar en mayores cantidades, gracias a que la concentración de nutrientes no es tan fuerte como en los químicos, se obtienen mejores resultados en cuanto a rendimiento de las plantas y a la mejora de las características físicas del suelo (Mutlu, 2021). Según Wang et al (2018) se deben emplear los abonos orgánicos, pues contribuyen a disminuir la erosión del suelo, retienen su humedad, mejoran su estructura brindando aireación y temperaturas adecuadas. M. Zhang et al (2018) apoya esta idea, señalando que mejoran la eficiencia de la fertilización, aumentan la población de macro y microorganismos benéficos del suelo, e incrementan el contenido de materia orgánica.

Se debe buscar la manera de fortalecer la producción de abonos orgánicos especialmente el humus de lombriz roja californiana *Eisenia Foetida*, como lo comentan Ilie & Mihalache (2019) este producto contribuye a la reducción de la contaminación ambiental y a reducir los costos de producción generando una mayor competitividad de los campesinos en el mercado. Abdel-Azeem et al (2022) comentan que la lombriz roja californiana se relaciona con diversas actividades y aplicaciones como por ejemplo fines de esparcimiento, comerciales, industriales e investigación científica.

Revisando la forma como se lleva a cabo actualmente la producción de humus de lombriz, se encuentra que se realiza empíricamente y con metodologías muy manuales (Zayas Sierra et al., 2022). Como ejemplo de esto H. Zhang et al (2020b), comentan que la temperatura óptima del medio donde se encuentra la lombriz *Eisenia Foetida* debe ser entre 15°C y 25°C. A pesar de esto, Alvarado & Díaz (2019) señalan que si no posee termómetros basta con revisar la primer capa del compost, si esta presenta manchas blancas circulares o si humea significa que se debe regar y airear de inmediato.

Por otro lado, H. Zhang et al (2020a) indican que la humedad óptima es entre el 70% y 80%, debido a que por debajo de este rango se paraliza la actividad reproductiva y se reduce la población; Indrani Ramnarain et al (2019) dicen que la humedad se comprueba al comprimir un puñado de estiércol en la mano y verificar que estando totalmente húmedo, no suelta agua; se recomienda un control diario de humedad en épocas calurosas (Parseh et al., 2021).

Por su parte, Lopez (2019) comenta que la *Eisenia Foetida* habita en los primeros 50 cm del suelo siendo susceptible a cambios climáticos y a los rayos ultravioletas declarándolo un anélido foto fóbico; para suplir esta necesidad se recomienda colocar un techo oscuro sobre las camas lombricultoras. En Colombia este tipo de prácticas empíricas se desarrollan en casi todos los lugares donde hay un lombricultivo, puesto que en el momento es la manera más fácil y certera de conocer

el estado del compost; pero en algunos casos no son desarrolladas dichas técnicas, lo que da lugar a cultivos con diversas fluctuaciones cayendo finalmente en detrimento con productos finales de baja calidad (Tikoria & Puja Ohri, 2023).

En el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca), se lleva a cabo la iniciativa *negocios verdes* liderada por la Alcaldía y la CAR, con ésta se fomenta a la comunidad para que tomen iniciativas de emprendimiento agrícola y pecuario, buscando la sostenibilidad, junto con el desarrollo de procesos productivos amigables con el medio ambiente (Alcaldía de Zipaquirá, 2021). Por su parte, la Alcaldía espera obtener una retribución social inmersa en una mejor calidad de vida de los ciudadanos, gracias a los ingresos económicos que puedan obtener a partir de la venta de sus productos agrícolas (Alcaldía Municipal de Zipaquirá, 2020).

La Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio lidera el proyecto *Lombricompostaje* que busca promover la producción circular, producciones más limpias y enfocar a la comunidad hacia la iniciativa de la Alcaldía (Bacata Stereo, 2022). Para lograr esto se encarga de entregar 1 Kg de pie de cría, así como la madera y el plástico negro necesario para que los voluntarios inicien sus procesos productivos en una cama lombricultora de 1 m<sup>2</sup>. Adicionalmente se desarrollan talleres de capacitación donde se indican las metodologías teóricas que conllevan a una óptima reproducción y alimentación de la lombriz (Portavoz Digital, 2020).

En uno de los talleres realizados, se evidenciaron diversas falencias al iniciar un proceso productivo; se tuvieron 5 fuentes de pie de cría. En ellas se observó materia orgánica que dificultaba la alimentación y reproducción de las lombrices debido a temperaturas inadecuadas, exposición de las lombrices a radiación; o condiciones de alta o baja humedad generando olores desagradables producto de la putrefacción de la materia orgánica. Adicionalmente, uno de los productores mencionó que las lombrices de su cultivo murieron, ya que no realizó el seguimiento correspondiente a la temperatura, humedad y radiación del compost.

Para la Secretaría, este tipo de problemáticas generan retrasos en el desarrollo del proyecto, dado que no es posible brindar un seguimiento técnico continuo a los lombricultivos; por lo tanto, tampoco se pueden evidenciar resultados con certeza ante la comunidad (Hernández Márquez & Cano Fonseca, 2022). Actualmente, de las 16 personas que han recibido los materiales necesarios, 4 no han iniciado el proceso productivo, 7 pusieron en marcha el lombricultivo, pero no están generando ingresos al no llevar a cabo la metodología indicada, los 5 productores restantes están percibiendo ingresos por la producción de abono orgánico y venta de pie de cría, pero no saben cuánta materia orgánica es necesaria para producir una cantidad determinada de humus.

Como lo comentan Meghvansi et al (2020), el mayor problema de estos productores es la falta de instrumentación, registro y control en sus lombricultivos. Estas herramientas mejorarían los procesos productivos implementando tecnología liviana y de bajo costo perfeccionando la producción a través de innovación, apoyándose de sistemas controlados de forma remota. Los dispositivos sensoricos y de control permitirían estandarizar y mejorar la calidad de los procesos disminuyendo la probabilidad de error, al mismo tiempo que se aumentaría la capacidad y velocidad de producción (Declaro, 2018).

Por otro lado, el control de producción por medio de estos dispositivos brindaría asistencias a la Secretaría, al tener procesos productivos estandarizados se generaría una mayor contribución al desarrollo regional y rural sostenible del municipio, a la vez que se facilitaría el seguimiento técnico y la verificación de los beneficios sociales que trae el proyecto *Lombricompostaje* para los productores.

## **1. Formulación del problema**

Luego de revisar las anteriores falencias, surge la siguiente interrogante:

¿Cómo desarrollar un sistema de monitoreo de temperatura y radiación, que controle la humedad, asegure las condiciones ideales y estandarice la producción de los lombricultivos promovidos por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá?

## **OBJETIVOS**

### **1. Objetivo general**

Desarrollar un sistema de monitoreo de temperatura y radiación, que controle la humedad, asegure las condiciones ideales y estandarice la producción de los lombricultivos promovidos por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá.

### **2. Objetivos específicos**

1. Determinar a través de revisión bibliográfica las características de temperatura, humedad y radiación del compost que conducen a una óptima reproducción de la lombriz roja californiana.
2. Diseñar un sistema de monitoreo que recopile información de las condiciones actuales de los lombricultivos promovidos por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá con el fin de diagnosticarlos.
3. Implementar sistemas de control que mantengan los valores de temperatura, humedad y radiación en un diseño experimental para que se comparen las diferentes condiciones en las que se encuentran los lombricultivos del municipio de Zipaquirá.
4. Evaluar la productividad en un lombricultivo relacionando la materia orgánica de entrada y el humus obtenido al final del proceso, apoyado en la instalación de sistemas de monitoreo y control que mantengan las condiciones con las cuales se determinen los parámetros de estandarización.

## JUSTIFICACIÓN

La propuesta de monitorear y controlar procesos de producción de abono orgánico en el municipio de Zipaquirá surge del interés de apoyar, innovar e intervenir tecnológicamente el campo (Declaro, 2018; Vijayalakshmi et al., 2022). Al llevar a cabo controles de producción por medio de dispositivos tecnológicos se facilitó la opción de que los campesinos estandarizaran sus procesos, obteniendo una mayor rentabilidad en sus cultivos comparada con la que obtenían empleando metodologías de producción al azar o utilizando abonos artificiales (Arango Orozco, 2017).

De esta manera como lo indican Navarrete (2017) & Wang et al (2018), los productores obtienen ventajas adicionales como mejorar la composición de sus suelos, reducir la contaminación ambiental, temperaturas más frescas, mayor humedad, a la vez que contribuyen al desarrollo regional y rural sostenible promovido por la Fundación Universitaria Agraria de Colombia.

Teniendo en cuenta que la industria de abonos orgánicos tendrá una mayor demanda cada año, desde la ingeniería industrial se profundizó en temáticas relacionadas con la estandarización de procesos productivos agrícolas empleando herramientas que ayudaron a determinar una metodología de producción que potencialice dichos productos en el mercado (Ghorbani & Sabour, 2021). Como lo dicen Mupambwa et al (2020), el lombricompostaje en un futuro será el medio más rápido y eficiente para la recuperación de suelos en las zonas rurales; adicionalmente este proceso ayuda a reducir la contaminación ambiental, Castañeda Torres & Rodríguez Miranda (2017) indican que los lombricultivos reducen las emisiones de gases efecto invernadero capturando el CO<sub>2</sub> en abonos y fertilizantes orgánicos, generando un modelo que es ambientalmente sostenible a través del tiempo (Ilie & Mihalache, 2019).

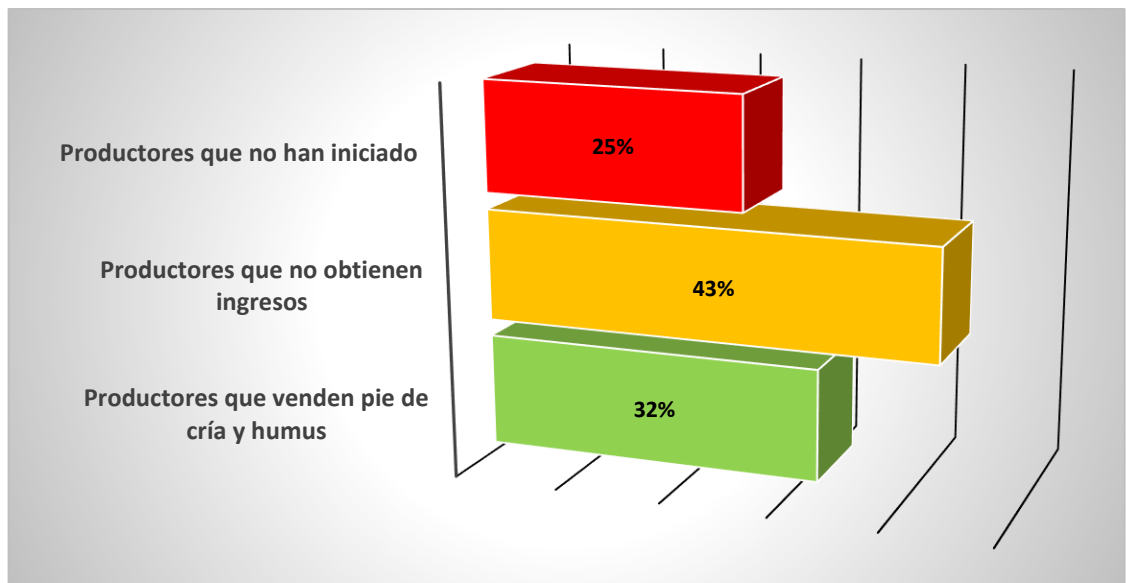
El correcto monitoreo y control de variables aseguró que las condiciones físicas y químicas del compost fueran las adecuadas conduciendo a una óptima reproducción y alimentación de las lombrices, así como también a una producción de humus de mejor calidad (Nakonechnyi et al., 2020; Vodounnou et al., 2016).

Tal como lo indica (Liyue Guo et al., 2015) el lombricompostaje trae consigo diversos beneficios a costos muy bajos; se ocupan los desperdicios agrícolas, generando a la vez compuestos para potencializar las plantas. La implementación de este proceso aporta a la gestión de residuos orgánicos, genera fertilizantes sólidos y líquidos, y aporta al manejo de los residuos domésticos (Kostecka et al., 2018).

Debido a que la *Eisenia Foetida* se alimenta de desechos orgánicos, el proyecto trae consigo una producción rápida y eficiente de alimento para otros seres vivos (Mohanta et al., 2016; Hussain et al., 2017). Aprovechando que entre el 60% y 80% del peso seco de la lombriz es proteína, estos anélidos pueden ser empleados para consumo animal (Khan et al., 2016; Sosa Blas, 2013). Por otro lado, a causa de la higiene y alto contenido nutricional, la carne de la lombriz roja californiana llega a ser empleada para consumo humano, llegando al punto de posicionarla como mejor alimento que la carne de cerdo (Alcívar et al., 2016).

Otra posible aplicación de la *Eisenia Foetida* que potencializa el lombricompostaje es emplear dicho anélido como filtro biológico de agua proporcionando un método sustentable de reutilización de agua debido a su capacidad de retener sólidos y residuos contaminantes (Rojas A, 2020; Shao et al., 2017).

Este tipo de aplicaciones beneficia a los productores, considerando que pueden obtener ingresos adicionales por la venta de lombrices con otras finalidades, y no solamente como pie de cría o venta de humus como lo realiza actualmente el 32% de los productores; esto se vería reflejado en la mejora de calidad de vida buscada por la Secretaría, teniendo en cuenta que el 43% de los lombricultivos fomentados no están generando ingresos y que el 25% de productores restantes ni si quiera ha iniciado el proceso productivo (Hernández Márquez & Cano Fonseca, 2022).



**Ilustración 1. Diagnóstico inicial realizado por la Secretaría.**

Fuente: Propia de los autores.

Adicionalmente la ejecución de este proyecto contribuye al cumplimiento de los programas 23, 24 y 25 del plan de desarrollo municipal propuesto por la Alcaldía de Zipaquirá para el periodo 2020-2024, puesto que se aumenta la productividad rural, a la vez que se favorece la obtención de producciones más limpias y de calidad a través de la innovación tecnológica logrando un desarrollo sostenible (Alcaldía Municipal de Zipaquirá, 2020).

## ESTADO DEL ARTE

Aillón Abril (2010) diseñó un sistema de supervisión, control y adquisición de temperatura y humedad en la producción de humus de lombriz en la empresa BIOAGROTECSA CÍA. LTDA. Ubicada en Ambato, Ecuador con el fin de tecnificar su producción. Este autor caracterizó y clasificó las diferentes tecnologías que podía emplear tomando en cuenta costos y requerimientos, tomo finalmente la decisión de emplear microcontroladores debido a la flexibilidad de uso que ofrecen y a su costo reducido.

Como evaluación del proyecto, Aillón Abril (2010) realizó un análisis costo-beneficio dando como resultado una relación costo beneficio de 1.06, esto indica que el proyecto es factible debido a que la productividad de la empresa se aumenta, además de tecnificar la producción, se optimizan los recursos que se emplean en la producción de humus de lombriz en los lechos de compostaje como por ejemplo ahorro de agua y luz eléctrica junto con un ahorro de tiempo por parte de los operadores como también del supervisor.

Manyuchi et al (2013) mezclaron la pulpa de maíz de desecho con estiércol de vaca, la vermicompostaron durante 30 días utilizando especies de lombrices *Eisenia Foetida*. Monitorearon diariamente el pH, la temperatura, el contenido de humedad y la conductividad eléctrica. La materia prima, el vermicompost y el abono líquido se analizaron para determinar la composición de nutrientes. Obtuvieron que la temperatura media y el contenido de humedad en el vermi-reactor fue de 22,5 ° C y 42,5%, respectivamente.

En este estudio el vermicompost y el abono líquido tuvieron un pH casi neutro mientras que la conductividad eléctrica fue un 21% mayor en el vermicompost. El contenido de nitrógeno y potasio fue 57% y 79,6% más rico en el vermicompost, respectivamente, en comparación con el abono líquido. Sin embargo, el abono

líquido era un 84% más rico en fósforo en comparación con el vermicompost. Ambos biofertilizantes eran ricos en nutrientes (Manyuchi et al., 2013).

Cano Prudencio (2018) desarrolló un trabajo de investigación con el objetivo de determinar la incidencia del Cambio Climático en la sobrevivencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) simulando el factor temperatura en el suelo mediante radiación infrarroja. Este proceso fue desarrollado sometiendo a las lombrices a altas temperaturas de suelo (40°C y 45°C), creó una caja acrílica de 50x50x40 con un foco infrarrojo, con una termocupla midió la temperatura de suelo, con un termorregulador y un dimmer reguló y manipuló la intensidad de luz.

Los tratamientos utilizados por Cano Prudencio (2018) fueron: To= Lombrices a temperatura ambiente T1= Lombrices a 40°C de Suelo, T2 = Lombrices a 45°C, T3= Lombrices + Grass a 45°C, con 5 repeticiones cada una. Con este estudio determinó que la sobrevivencia de lombrices fue afectada de manera significativa por las diferentes temperaturas. Evidenció que a 40°C las lombrices sobreviven por 4 días mientras que a 45°C las lombrices mueren en un día. De igual manera determinó que las temperaturas altas en el suelo afectan sus propiedades físicas y químicas, junto con las características de la lombriz roja californiana *Eisenia Foetida*.

Barcelon et al (2019) desarrollaron un estudio donde buscan potencializar el compostaje de residuos orgánicos en vista de que es una tecnología eficiente para convertir los residuos orgánicos en compost útiles utilizados como biofertilizantes para la agricultura sostenible. Este estudio tenía como objetivo proporcionar un sistema automatizado para la producción de vermicompost que puede mejorar todo el concepto de agricultura orgánica.

Para esto implementaron un sistema que examinó automáticamente la ubicación de lombrices, que se utiliza para producir vermicompost o admite el proceso de vermicompostaje. Dos microcontroladores Arduino y Raspberry Pi capturan las lecturas de datos de los sensores. El microcontrolador Arduino controla el mantenimiento del entorno de lombrices y los interruptores para la

activación/desactivación del sistema, y los datos recopilados se almacenan en Raspberry Pi. Sólo en el lapso de catorce, dieciséis y diecinueve días, el experimento realizado todavía produce una calidad adecuada de nutrientes y compost para un fertilizante (Barcelon et al., 2019).

Las lecturas de sensores con combinaciones de sistemas de aspersores de agua mantienen el entorno adecuado para las condiciones de vida de *Eisenia Foetida*. Concluyen finalmente que, mediante el uso de los microcontroladores, Arduino y Raspberry Pi, la intervención humana se reduce; por otro lado, el sistema se acelera si el proceso de vermicompostaje se automatiza en lugar de realizarlo de manera manual (Vijayalakshmi et al., 2022).

Aquino et al (2019) determinan que los parámetros vitales, como la humedad y la temperatura, deben considerarse en la producción de vermicompost para lograr un rendimiento óptimo. Sin embargo, la supervisión manual y la corrección de estos parámetros no dan resultados garantizados. Además, el proceso tradicional de recolección de vermicompost consume más tiempo y requiere más intervención humana.

Como solución, Aquino et al (2019) introdujeron el desarrollo de un sistema que monitorea y corrige estos parámetros vitales, determina la preparación de vermicompost para la cosecha utilizando el procesamiento de imágenes digitales y tamiza automáticamente el vermicompost. El sistema utiliza microcontrolador Raspberry Pi, sensores y un teléfono Android para la supervisión. Para medir la fiabilidad y eficiencia del sistema, los proponentes llevaron a cabo dos configuraciones del sistema de lombricultura: una controlada y la otra incontrolada. A partir de los datos recogidos, el sistema automatizado superó a este último en términos de tiempo de producción, calidad de rendimiento y cantidad.

Guaca Giron & Lopez Hurtado (2020) hacen parte del Centro Agropecuario del SENA en Popayán (Cauca, Colombia) cuentan con una biofábrica constituida por una cama doble de lombrices para producir abono orgánico, plantearon un proyecto

para monitorizar las variables de temperatura y humedad, las cuales deben permanecer en valores específicos a fin de asegurar la supervivencia y reproducción de las lombrices, así como la producción de lombrinaza.

Estos autores diseñaron el sistema de monitoreo de la biofábrica, conectando una red de sensores de temperatura, luminosidad y humedad a un nodo coordinador y de allí a un centro de datos remoto. Estos datos serán mostrados en tiempo real y se generarán alertas cuando las variables tomen valores fuera del rango. En el estudio que han realizado indican que para la comunicación se requiere usar tecnologías de redes de área amplia de baja potencia LPWAN (Low Power Wide Area Network), tecnología de conectividad que está orientada a dispositivos IoT con restricción de energía; para concluir esto desarrollaron un análisis comparativo entre las diferentes tecnologías LPWAN disponibles para el desarrollo del proyecto (Guaca Giron & Lopez Hurtado, 2020).

Guerra Plazas (2020) generó un proyecto que busca dar solución al impacto negativo de la disposición actual de los residuos sólidos de la población humana, para esto implemento lombricultivos y producción de humus implementando un cultivo de lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) en el Asilo San José de Tunja, Boyacá. Anteriormente el Asilo dejaba los residuos a cielo abierto generando impactos negativos para el ambiente.

El desarrollo de este proyecto consistió en el control y seguimiento de variables optimas del lombricultivo, y en el registro diario de parámetros fisicoquímicos (temperatura, humedad y pH) del lombricultivo y compostaje generado. Finalmente se instalaron 3 camas de lombrices y 1 cámara de estabilización. El proyecto da como conclusión que los residuos del Asilo son aptos para la generación de humus, pues se obtuvieron las mediciones diarias de pH, temperatura y humedad optimas; dando como producto final un abono orgánico de excelente calidad que se utilizó para cultivar alimentos sanos y libres de químicos en la propia institución (Guerra Plazas, 2020).

Rukhiran & Netinant (2020) desarrollan una investigación donde buscan apoyar un kit de cultivo inteligente de vermicultura basado en la tecnología IoT. Representan el diseño de arquitectura en capas para admitir la implementación de sensores, redes, sistemas de monitoreo, recopilación de datos y sistema de decisión de riego.

Por otro lado, proponen un diagrama de flujo de información para mejorar la forma en que la aplicación web del sistema de kit inteligente puede implementarse en función de los requisitos del sistema. Evaluaron el kit inteligente para tratar la consistencia y la eficacia que se comparan entre un kit tradicional y el kit inteligente de vermicompostaje de lombriz de tierra. Concluyen que las necesidades de los agricultores pueden ser satisfechas avanzando en mejores soluciones del kit agrícola inteligente (Rukhiran & Netinant, 2020).

## MARCO TEÓRICO

La cuarta Revolución, también conocida como Industria 4.0, está ocurriendo en estos momentos en que la tecnología de la digitalización y la robótica están aumentando (Jurburg & Cabrera, 2019). Esta revolución está conduciendo a automatizar gran parte de la producción, un estudio realizado por Frey & Osborne (2017) indica, que una de las áreas de producción que tiene el mayor riesgo de automatizarse es la agrícola. Este sector presenta una fuerza de trabajo con un bajo nivel educativo, que mayormente realiza tareas manuales y repetitivas (Declaro, 2018).

Aqeel-Ur-Rehman et al (2014) indican que, debido al avance de las tecnologías y la reducción del tamaño, los sensores se están involucrando en casi todos los campos de la vida. Prathibha et al (2017) realizaron un estudio que tiene como objetivo hacer uso de esta tecnología en evolución, indican que el seguimiento de las condiciones ambientales es el principal factor para mejorar el rendimiento de los cultivos eficientes. En este caso, realizaron el monitoreo de la temperatura y la humedad en el campo agrícola a través de sensores que utilizan chip único CC3200.

Al igual que en otros estudios realizados se emplearán sensores de humedad, temperatura y radiación, un microcontrolador y electroválvulas como actuadores; esto se debe a que son las principales características que afectan la reproducción y alimentación de *Eisenia Foetida* (Meghvansi et al., 2020). La propuesta realizada por Cardozo & Sanchez (2016) emplea un módulo HL69 como sensor de humedad de suelo, un DTH-11 que indica la temperatura, una electroválvula como actuador y una tarjeta Arduino como microcontrolador desarrollando un sistema de control de lazo abierto.

Mentsiev et al (2019) indican que la mecanización en el sector agrícola ha aumentado la producción de diferentes cultivos, el uso convencional de maquinaria agrícola se ha cambiado con la automatización de dispositivos agrícolas. En el

campo se han instalado diferentes tipos de sensores para un uso eficiente del agua de riego, fertilizantes, fungicidas y prevención de enfermedades en diferentes cultivos. Teniendo en cuenta esto, se implementará un sistema de riego en la cama controlada con el fin de reducir el desperdicio de agua y mantener las mejores condiciones de humedad (Vijayalakshmi et al., 2022).

Se implementará una interfaz gráfica, pues como lo comentan Gallego López & Castaño Sanchez (2019) Internet of Things o IoT está transformando el desarrollo, los procesos y la forma de funcionar en las industrias, la agricultura lidera el mercado mundial en adopción de este tipo de tecnología, con cerca de 60% de la inversión realizada en la materia. Desde tractores autónomos hasta sensores para medir humedad y reconocer plagas, los procesos automatizados y los dispositivos de IoT permiten una producción más eficiente y con menor riesgo (Aquino et al., 2019).

Becerra & Stenberg (2020) diseñaron un sistema de control para el lombricultivo del vivero de la Universidad Autónoma de Occidente encargado de sensar, captar y almacenar los datos registrados para su posterior análisis bajo una plataforma IoT. Estos autores emplearon los sensores de humedad de suelo tipo capacitivos, sensor de temperatura DS18B20, y sensores de luminosidad con los cuales determinaron que la humedad debe mantenerse entre un 70% y 80%, visto que por encima de este rango se genera una oxigenación deficiente y por debajo causa una resequedad del alimento haciéndolo difícil de digerir (Lopez Correa, 2019).

También indican que la temperatura debe mantenerse entre 18 y 25 °C, un valor por fuera de este rango dificulta la reproducción de las lombrices; finalmente establecen que la iluminación debe ser lo más mínima posible, teniendo en cuenta que las lombrices mueren al verse expuestas a los rayos ultravioleta (H. Zhang et al., 2020). De acuerdo con Flores-Pacheco et al (2018) bajo estas condiciones ideales las lombrices adultas llegan a transformar hasta el 60% del alimento que consumen en humus.

Aillón Abril (2010) en su aplicación para la empresa BIOAGROTECSA CÍA. LTDA empleo el sensor LM35 para adquirir la temperatura del compost, un LM555 para tener acceso a la humedad, un microcontrolador PIC 16F877A, una electroválvula como actuador para regular el agua que ingresa a las camas, una pantalla LCD y una interfaz gráfica para los operadores de la producción.

Aillón Abril (2010) también indica que las camas deben ser de tipo rectangular con un ancho de entre 1 m y 1.5 metros para facilitar las actividades operativas y la cosecha de humus, un alto de máximo 50 cm teniendo en cuenta que la *Eisenia Foetida* trabaja entre los 20 y 40 cm; además de esto, comenta que el largo no presenta mayor influencia, pero entre más longitud se tenga se puede incrementar el tiempo de cosecha (Ilie & Mihalache, 2019).

Al igual que en los estudios mencionados se busca estandarizar la producción de los lombricultivos por medio de estos dispositivos tecnológicos e innovadores, con el fin de que la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá pueda verificar el mejoramiento en la calidad de vida de los productores (Nausa Cáceres, 2022).

### **1. Lombriz roja californiana y su alimentación**

De acuerdo con Becerra & Stenberg (2020) la lombriz roja californiana *Eisenia Foetida* posee un cuerpo alargado, cilíndrico y segmentado que utilizan para desplazarse, llegan a medir de 5 a 8 cm, tienen 5 corazones y 6 riñones, lo que favorece su actividad fisiológica. Al nacer las lombrices son blancas, transcurridos 5 o 6 días se ponen rosadas, a los 120 días presentan un color rojizo y están en condiciones de aparearse.

Según Loza Murguía et al (2010) & Toccalino et al (2004) la densidad poblacional de esta lombriz presenta un comportamiento lineal a través del tiempo, al favorecer el proceso reproductivo del anélido se acelera la producción de abono orgánico. Schuldt (2006) menciona que la lombriz prospera mejor en pilas de materia orgánica

parcial o totalmente triturada, de tal manera que se facilite su alimentación; algunos autores como Ortegón & Zuñiga (2016) indican que el alimento se debe precompostar para activar la población microbiana y permitir que se drenen las impurezas; pero otros expertos en el tema como Sales (2008), indican que el alimento debe ser fresco para obtener mejores resultados, debido a que el precompostaje genera pérdidas de nutrientes.

## MARCO CONCEPTUAL

Lombricultura: es el cultivo de lombrices, su objetivo es aumentar continuamente el número de gusanos para obtener una cosecha sostenible. Los gusanos se utilizan para expandir una operación de vermicompostaje o venderse a clientes que los utilizan para el mismo u otros fines (Munroe, 2004). Es el desarrollo de poblaciones de lombrices, un proceso limpio y de fácil aplicación para reciclar una amplia y variada gama de residuos biodegradables, produciendo abono y lombrices (Schuldt, 2006b).

Lombricompostaje: es el proceso mediante el cual se utilizan gusanos para convertir orgánicos materiales en un material similar al humus conocido como vermicompost (Munroe et al., 2007). Es una tecnología que utiliza la lombriz roja californiana *Eisenia Foetida*, obteniendo a partir de residuos orgánicos humus rico en nutrientes, carne y harina de lombriz; en consecuencia, tiene un impacto benéfico en lo agrícola, social y económico (Morales Munguía et al., 2013).

Sistema de monitoreo: Comprende de dispositivos de seguimiento que permiten recolectar, tratar, analizar y difundir información con un conjunto de actores involucrados en la implementación de un proyecto, a fin de favorecer la decisión, de informar y de capitalizar (Lauriac, 2016).

Control de procesos: consiste en la manipulación de variables, variables controladas y procesos. Las variables de manipulación y las variables controladas generalmente corresponden a las entradas y salidas del proceso, respectivamente. El objetivo del control de procesos es hacer que las salidas del proceso “variables controladas” se comporten de la manera deseada ajustando las entradas del proceso “variables de manipulación” (Whan Sung et al., 2009).

Estandarización: Es un procedimiento que minimiza la variabilidad y reduce errores en los procesos manteniéndolos bajo condiciones similares, esto se hace con el fin de obtener siempre un mismo resultado (Gallo Poma, 2017).

## MARCO HISTÓRICO

De acuerdo con Pengue (2009) el fertilizante ha existido desde que hubo presencia de humanos en el planeta; en sus inicios se hizo a partir de estiércol animal extendiéndolo sobre los cultivos evidenciando que satisfacía las necesidades de crecimiento de las plantas, otra aplicación inicial de los abonos fue el uso de azufre para deshacerse de los insectos en las cosechas (Monómeros Colombo Venezolanos, 1986).

El uso excesivo de estos abonos mataba las plantas, y el no usarlos generaba un empobrecimiento progresivo de las tierras gracias a la pérdida de nutrientes que los productos cultivados les habían robado. Sin embargo, durante muchos siglos no se utilizaron abonos, en algunos casos porque no se conocían las técnicas anteriores o en otros casos porque eran muy escasos. Los agricultores se veían obligados a enviar el ganado a pastar a las montañas debido a la falta de pastos ocasionada por las sequías estivales, esto conllevaba a una pérdida de producción de estiércol durante gran parte del año (Smil, 1997).

Con la Revolución Agraria en el siglo XVIII, se cubre parte de esta problemática debido a que se empiezan a cultivar forrajes y raíces, este tipo de cultivos presentaron varias ventajas; por un lado, las plantas utilizaban como nutriente el nitrógeno del aire y, por otra parte, se aprovechaba la tierra de cultivo durante todo el año evitando enviar el ganado a otros sitios para su pastoreo. Esto favoreció la cría de ganado y la producción de estiércol comenzando una nueva era para la agricultura, cuyo nacimiento tuvo lugar en Inglaterra y Escocia extendiéndose posteriormente hacia el continente europeo (Luelmo, 1975).

En el siglo XIX la población mundial creció considerablemente, dando lugar a una fuerte demanda de cereales, base de la alimentación humana. Pero los abonos empleados hasta el momento no eran capaces de suplir las necesidades de los suelos cultivables, por lo tanto, se volvieron cada vez más pobres. A pesar de esto,

se continuo con el ascenso de la agricultura, debido a tres factores fundamentales: la intensificación del drenaje de aguas para el riego de los cultivos, la invención de maquinaria agrícola y el descubrimiento de un nuevo tipo de abonos (Pinto cañón, 2014).

La solución principal a esta problemática la brindó Liebig en mediados del siglo XIX desde una perspectiva científica, con una teoría mineral y de abonos inorgánicos, de donde surgió la poderosa industria de fertilizantes sintéticos que se conoce hoy día por contribuir a superar en gran parte las deficiencias de alimentación del hombre (Vega Ronquillo et al., 2009). Como antecedente a este tipo de fertilizantes surgió la “teoría del humus” propuesta por el científico alemán Albrecht Thaer, según la cual los nutrientes para las plantas eran tan sólo agua y materia orgánica (Thaer, 1893).

Liebig, se opone de manera contundente a la teoría del humus, resaltando el papel de los minerales en la nutrición de la planta por medio de la “teoría mineral”, con la cual indica que las plantas no se forman únicamente de sustancias orgánicas, sino que también de minerales. Además de esto, afirma que los principales nutrientes de las plantas son: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, potasio y fósforo; esto junto con la “ley del mínimo”, le ayuda a sugerir que el rendimiento de las cosechas es determinado por el nutriente que se encuentre en menor cantidad (Black, 1978).

Liebig cometió algunos errores en su teoría, como ejemplo de esto, aplicó algunos fertilizantes directamente al suelo generando costras sobre los terrenos debido a la baja solubilidad de los abonos; con esto se ve obligado a aceptar que el humus es necesario, ya que su presencia contribuye a mejorar las características del suelo; pero indica que no es imprescindible para el crecimiento de las plantas (Javier Pérez & Santos Soledad, 2007).

Posteriormente empieza a crecer la tecnología de los abonos inorgánicos, sintéticos o artificiales dejando a un lado la producción de humus y demás abonos orgánicos, inicialmente este tipo de prácticas presentaron buenos resultados, pero se privó al

suelo de la materia orgánica que evita su erosión y mantiene el desarrollo de microorganismos que lo enriquecen (Leyva Galán, 2008).

Actualmente gracias a la excesiva mineralización de los suelos, se genera un fenómeno llamado eutrofización, que consiste en la contaminación de las aguas debida a los fertilizantes. Este problema se da ya que en un momento determinado las raíces no son capaces de absorber más fertilizante, dejándolo como lixiviado el cual es arrastrado a las aguas superficiales y subterráneas ocasionando graves problemas en la flora y fauna. Como evidencia de esto, en la llamada “zona muerta” del Golfo de México, se tiene una gran superficie de aguas eutrofizadas que junto con pesticidas, plaguicidas y otros agroquímicos causa la muerte de los peces y otras especies marinas (Manahan, 2007).

Para solucionar este nuevo inconveniente se promueve la producción y uso de abonos orgánicos nuevamente, con el fin de obtener un desarrollo sostenible y amigable con el medio ambiente; teniendo en cuenta que este tipo de abonos contribuyen a disminuir la erosión del suelo, retienen su humedad, y mejoran su estructura, brindando aireación y mejores temperaturas de producción (Vega, 2017). En la última década del siglo pasado Heinz Sturzbaum desarrolló las primeras experiencias retomando la producción de humus con lombrices rojas californianas llegando a comercializar lombricompost en Santa Cruz (Cosio et al., 2014; Garg et al., 2006).

En el año 2005 personal de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA), dirigidos por el Dr. Miguel Schuldt, inician el Proyecto de Investigación “Reconversión de residuos agroindustriales y urbanos en abono mediante lombricultura, en la Cuenca del Río Turbio”. Así como este, se han venido desarrollando diversos proyectos enfocados a la producción de humus de lombriz roja californiana, ya que como lo comentan Jaramillo Henao & Zapata Márquez (2008), el lombricompostaje es el medio más rápido y eficiente para la recuperación de suelos en las zonas rurales.

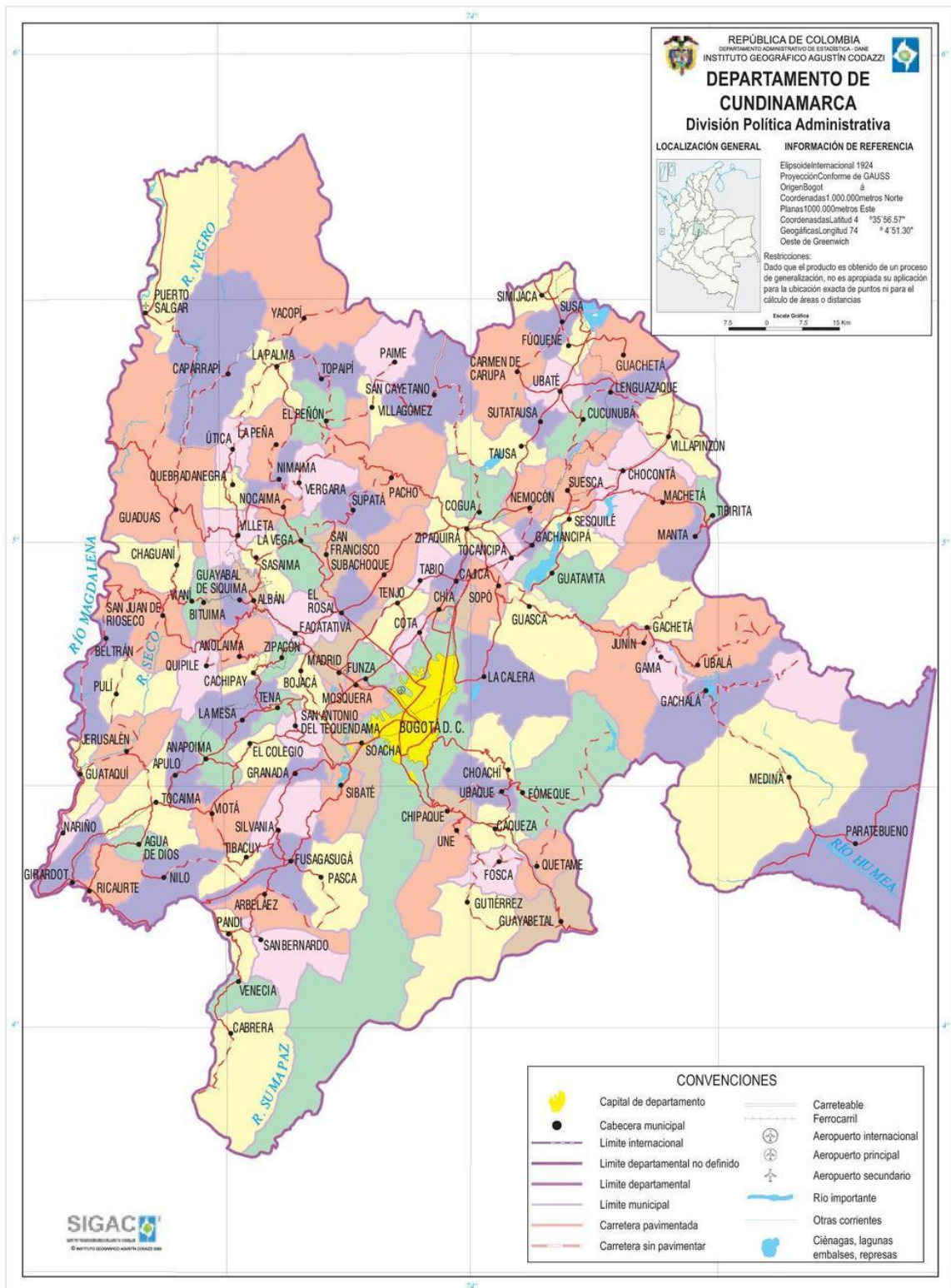
## MARCO GEOGRÁFICO

El municipio de Zipaquirá se ubica en el departamento de Cundinamarca, hace parte de la provincia de Sabana Centro de la cual es capital. Se encuentra situado en el Valle del Abra, sobre la cordillera Oriental, en el altiplano Cundiboyacense, este municipio se sitúa en promedio a 2.652 msnm. El municipio limita por el norte con el municipio de Cogua; por el sur con los municipios de Tabio, Cajicá, Sopó y Tocancipá; por el occidente con los municipios de Subachoque y Pacho y por el oriente con los municipios de Tocancipá, Nemocón y Cogua (Alcaldía municipal de Zipaquirá, 2020).



**Ilustración 2. Límites geográficos municipio de Zipaquirá.**

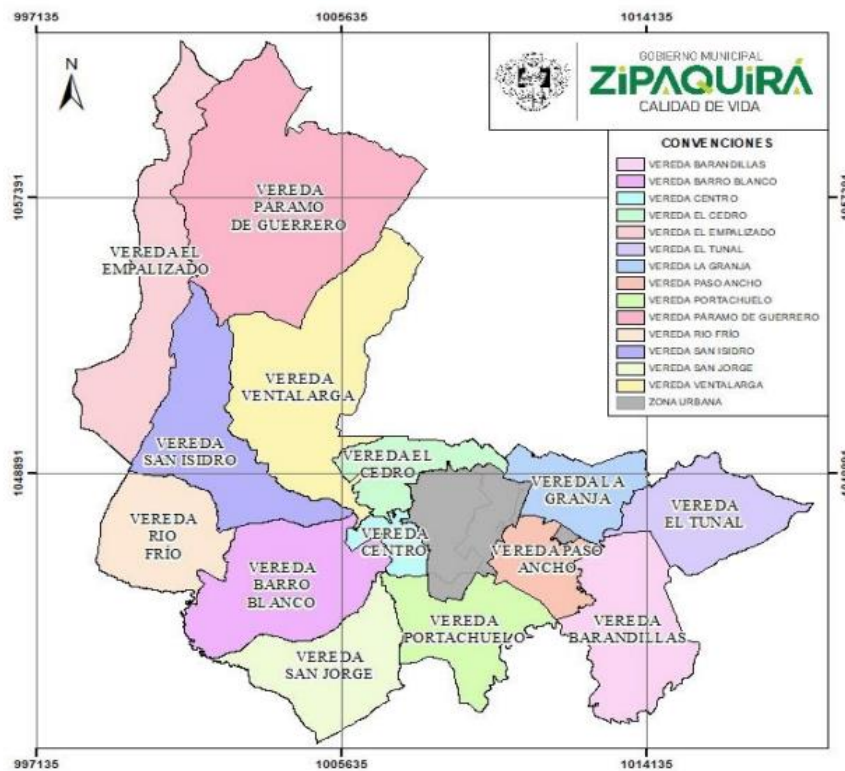
Fuente: Alcaldía de Zipaquirá (2020)



**Ilustración 3. División política de Cundinamarca.**

Fuente: Alcaldía de Zipaquirá (2020).

El área urbana está compuesta por 884,5 hectáreas (4 % del total del territorio), se divide en cinco (5) comunas y estas últimas se dividen en ochenta y cinco (85) barrios. El área rural del municipio de Zipaquirá está compuesta por 18582,4 Hectáreas (96 % del total del territorio), subdivididas en catorce (14) veredas. El territorio municipal tiene una extensión total de 194 Km<sup>2</sup>, forma parte de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá y las subcuencas de los ríos Frío, Negro, Neusa y Susaguá (Alcaldía municipal de Zipaquirá, 2020).



**Ilustración 4. Veredas del municipio de Zipaquirá.**

Fuente: Alcaldía de Zipaquirá (2020).

### 1. Características físicas del territorio

El área urbana del municipio de Zipaquirá se encuentra a 2.650 msnm, mientras que en la zona rural se encuentran altitudes que oscilan entre los 3.000 y 3.500 msnm, dentro de este último se encuentra el Páramo de Guerrero (Alcaldía municipal de Zipaquirá, 2020).

## **2. Temperatura**

La temperatura del municipio varía entre 11 °C y 16 °C a lo largo del año, con una media de 14°C; esta se ve influenciada por las variaciones de altura entre los 2.600 y 3.500 msnm. Los valores mínimos de temperatura oscilan entre 7 y 12°C y los valores máximos con variaciones entre 17°C y 20°C. Los meses más fríos corresponden a julio, agosto y septiembre, los cuales coinciden con la temporada de mayores vientos. Los meses más cálidos son marzo y abril (Alcaldía municipal de Zipaquirá, 2020).

## **3. Relieve**

Los suelos del municipio se caracterizan por clima ambiental frío, húmedo y precipitación promedio anual variable entre 1.000 y 2.000 mm (Alcaldía municipal de Zipaquirá, 2020).

## **4. Clima**

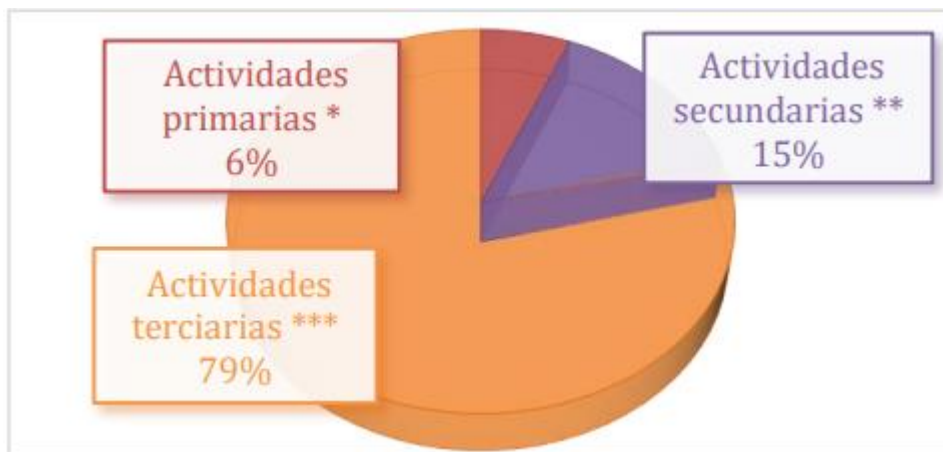
De acuerdo con la clasificación Caldas - Lang, este municipio presenta un clima de Páramo bajo semihúmedo (Pbsh), con una temperatura media anual entre 4 °C y 8 °C a una altitud por encima de los 3.400 msnm; y un clima Frío Semihúmedo (Fsh), con una temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C con altitudes entre 2.600 y 3.400 msnm (Alcaldía municipal de Zipaquirá, 2020).

## **5. Hidrografía**

En Zipaquirá. el páramo de Guerrero, el Páramo Alto y Pantano Redondo constituyen un ecosistema para la producción de agua en el territorio, estos dan origen al río Frío y a una serie de microcuencas que forman parte del sistema hídrico en la región, en esta zona nacen aproximadamente 111 quebradas, de las cuales el 76.6 % alimentan la subcuenca del Río Frío, el 9% la subcuenca del Río Negro, el 5% la subcuenca del río Neusa y el porcentaje restante, las quebradas que drenan el Municipio (Alcaldía municipal de Zipaquirá, 2020).

## 6. Economía

Zipaquirá se caracteriza por tener una economía sustentada en sus actividades terciarias, pues del valor agregado total del municipio en 2018 que fue de 1521 millones de pesos, el 79% provino de las actividades como el comercio, turismo, salud, educación y otros servicios. Las industrias contribuyeron el 15% del Producto Interno Bruto (PIB) del municipio, generando un valor agregado de 227 millones de pesos; finalmente, las actividades primarias como agricultura, ganadería, silvicultura y pesca que representan el 6% del PIB municipal (Alcaldía de Zipaquirá, 2020).

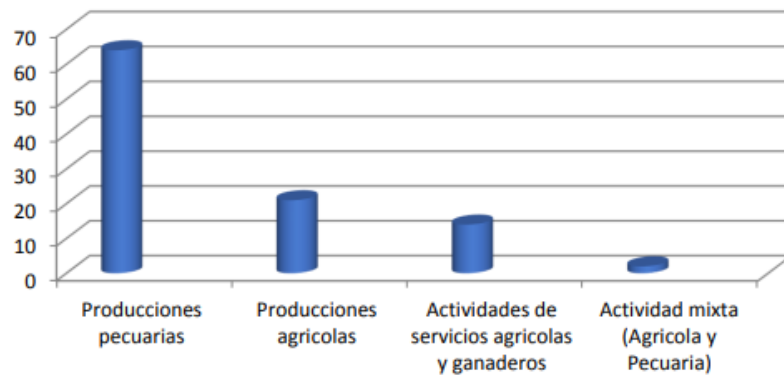


**Ilustración 5. Actividades económicas Zipaquirá.**

Fuente: Alcaldía municipal de Zipaquirá (2020).

## 7. Descripción del sector agropecuario

De acuerdo con el POT se encuentran sub-clasificaciones en agricultura intensiva, áreas de granjas campesinas, zona de servicios, área de bosque protector, centros poblados rurales, área de reserva forestal, área de bosque protector de sabana. La dedicación del suelo es el 64% a la producción pecuaria, un 21% a la producción agrícola y actividades de servicio agrícola o ganadero 13% y solo el 2% se dedica a actividades mixtas agrícolas y pecuarias en la misma unidad productiva (Alcaldía municipal de Zipaquirá, 2020).



**Ilustración 6. Uso del suelo de Zipaquirá.**

Fuente: Alcaldía municipal de Zipaquirá (2020).

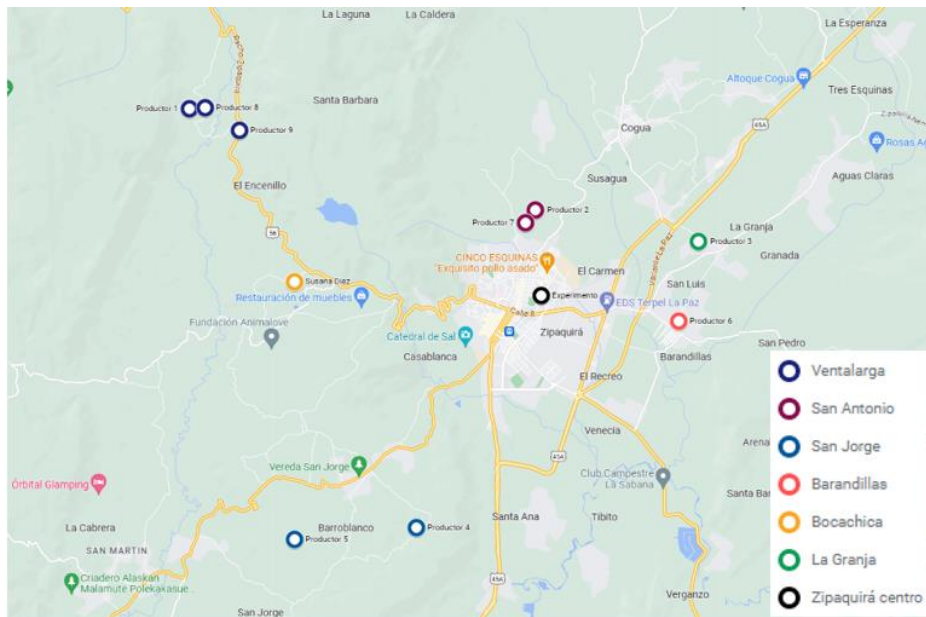
### **8. Sistemas de producción agrícola**

En el área agrícola el 52% de los cultivos del municipio se dedica a la siembra de papa, alverja y zanahoria, el 22% se dedica a cultivos varios no tradicionales, el 19% a la siembra de hortalizas, y el 7 % a la siembra de flores (Alcaldía municipal de Zipaquirá, 2020).

### **9. Sistema de producción pecuaria**

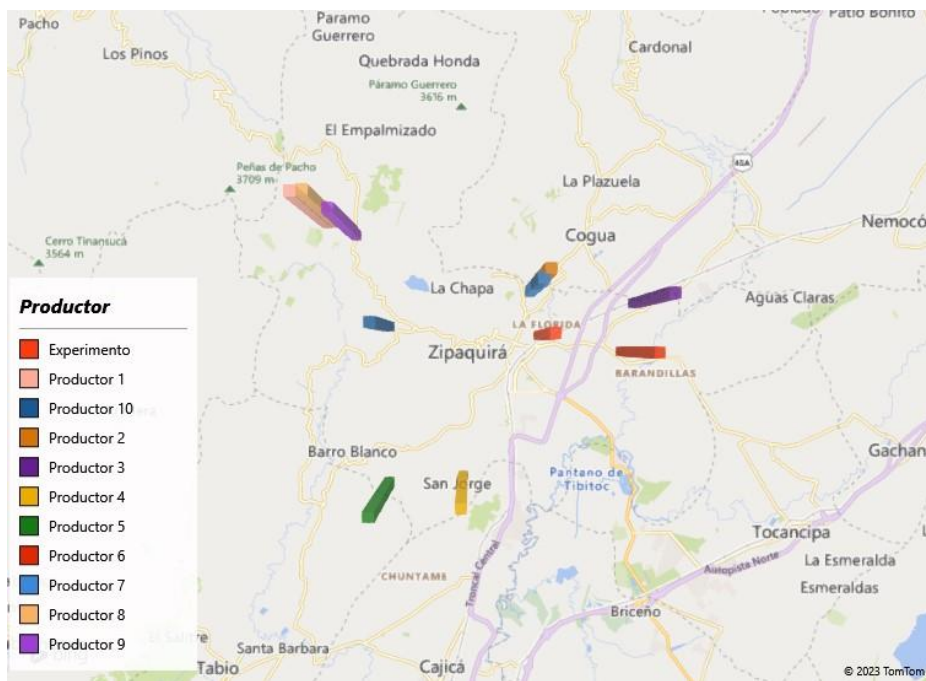
El 91% de los productores pecuarios se dedican a la explotación bovina, 7% a la producción de aves de corral, 1% a la cría de porcinos y el 1% a la cría de otras especies ovejas, cabras, conejos, equinos (Alcaldía municipal de Zipaquirá, 2020).

A continuación, se muestra la ubicación de los lombricultivos analizados durante el desarrollo de este proyecto de investigación:



**Ilustración 7. Veredas de ubicación de los productores.**

Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 8. Ubicación de los lombricultivos analizados.**

Fuente: Propia de los autores.

**Tabla 1. Relación de productores, veredas y altitud de los lombricultivos estudiados.**

<b>Vereda</b>	<b>Productor</b>	<b>Altitud (m.s.n.m)</b>
<i>Venta larga</i>	Productor 1	3.057
<i>San Antonio</i>	Productor 2	2.661
<i>La Granja</i>	Productor 3	2.577
<i>San Jorge</i>	Productor 4	2.869
<i>San Jorge</i>	Productor 5	2.821
<i>Barandillas</i>	Productor 6	2.572
<i>San Antonio</i>	Productor 7	2.687
<i>Venta larga</i>	Productor 8	3.025
<i>Venta larga</i>	Productor 9	3.025
<i>Bocachica</i>	Productor 10	2.898
<i>Zona Urbana</i>	Experimento	2.589

Fuente: Propia de los autores.

## **MARCO LEGAL**

### **1. Reglamentos**

**Reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaque, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización de Productos Agropecuarios Ecológicos.**

Este reglamento tiene como objetivo garantizar la sostenibilidad y renovabilidad de la base natural, mejorar la calidad del ambiente mediante limitaciones en la utilización de tecnologías, fertilizantes o plaguicidas, antibióticos y otros de origen químico sintético, que puedan tener efectos nocivos para el medio ambiente y la salud humana. Se describen los principios, directrices, normatividad y requisitos mínimos que deben cumplir los operadores para la producción primaria, procesamiento, empaque, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización interna de productos obtenidos mediante sistemas de producción agropecuaria ecológica, así como los organismos de control y el sistema de control para dichos productos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2002).

### **2. Políticas**

**POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS**

Esta política tiene como objetivo general lograr el manejo integral de los residuos sólidos, no peligrosos y peligrosos incorporando los aspectos técnicos, administrativos, económicos, ambientales y sociales dirigidos a evitar y minimizar la generación de los mismos, fomentando su valorización y reduciendo la cantidad de residuos destinados a disposición final, a fin de prevenir y reducir sus riesgos para la salud y el ambiente, disminuir las presiones que se ejercen sobre los recursos naturales y elevar la competitividad de los sectores productivos, en un contexto de desarrollo sustentable y de responsabilidad compartida (Departamento Nacional de Planeación DNP, 2016).

## **TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

### **1. Enfoque**

El desarrollo de este proyecto contiene dos enfoques, tanto cualitativo como cuantitativo; dado que se caracterizó el tipo y estado de la materia orgánica que emplea cada uno de los productores para definir con cual se obtiene la mejor reproducción de la lombriz. Posteriormente, a través de la información entregada por los sistemas de monitoreo y control, se determinaron los valores de radiación, temperatura y humedad para obtener el mejor proceso productivo posible con el que se establecieron los parámetros de estandarización.

### **2. Tipo de investigación**

La investigación fue de tipo correlacional, inicialmente se revisaron las condiciones de cada uno de los procesos productivos a través de sistemas de monitoreo; posteriormente se determinaron los mejores valores de humedad, temperatura y radiación de acuerdo con el análisis de reproducción de la lombriz llevado a cabo en el diseño experimental P5L; finalmente se midieron y controlaron dichas variables en un lombricultivo de 1 m<sup>2</sup> con el fin de establecer los parámetros de estandarización especificando la producción de abono orgánico que se llega a obtener bajo los valores encontrados.

### **3. Diseño de investigación**

El desarrollo de esta investigación consta de tres etapas:

En la etapa I se tiene un diseño no experimental debido a que no se manipuló ninguna de las variables relacionadas con la producción, sino que se realizó una medición de humedad, temperatura y radiación en 10 lombricultivos; este diseño corresponde al tipo longitudinal de evolución de grupo ya que los mejores valores de estas variables fueron determinados de acuerdo con el análisis de reproducción

de las lombrices durante un mes, por lo que se tomaron 4 mediciones en el transcurso de este periodo.

La etapa II consta de un diseño experimental puro en el cual se analizaron los efectos que se tienen sobre el potencial reproductor de la lombriz roja californiana, al manipular por medio de sistemas de control las variables independientes (temperatura, humedad y radiación), dentro de los rangos encontrados en la etapa I; este proceso se realizó a través de un diseño factorial 2<sup>3</sup>, con el propósito de encontrar las condiciones en las cuales se mejora la reproducción de la *Eisenia Foetida* y por consiguiente la producción de abono orgánico en el municipio de Zipaquirá.

La etapa III de esta investigación tuvo como finalidad determinar la producción de abono orgánico y demás parámetros de estandarización implementando sistemas de monitoreo y control para que mantengan los valores encontrados en la etapa II. Se tiene un diseño cuasiexperimental puesto que el lombricultivo con el que se ejecutó esta etapa no fue elegido de manera aleatoria sino a través de un muestreo no probabilístico intencional.

#### **4. Hipótesis de investigación**

Hi: Las mejores condiciones de producción en los lombricultivos promovidos por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá son aquellas que se encuentran dentro de los rangos de temperatura, humedad y radiación teóricos transformando aproximadamente el 60% de materia orgánica en humus.

#### **POBLACIÓN**

La población se encuentra representada por 10 camas lombricultoras pertenecientes a las personas que actualmente se encuentran produciendo abono orgánico; en estas se realizaron las mediciones de humedad, temperatura y radiación ejecutando la etapa I del proyecto.

## **1. Muestra**

Teniendo en cuenta que la finalidad de este proyecto de investigación consistía en determinar los parámetros de estandarización que permitieran incrementar la productividad de los lombricultivos, para la etapa III se llevó a cabo un muestreo no probabilístico intencional.

Fue seleccionado el proceso productivo que se encontraba con los valores de temperatura, humedad y radiación más cercanos a los mejores encontrados en la etapa II, adicionalmente se implementaron sistemas de control de humedad y temperatura para asegurar que las condiciones fueran siempre las adecuadas.

Para esta etapa también se tuvieron en cuenta las condiciones halladas en la revisión bibliográfica; las mejores condiciones encontradas en la segunda etapa se encuentran dentro de los valores teóricos de temperatura, humedad y radiación; por este motivo, no fue necesario elegir otro proceso productivo para implementar los valores teóricos como se había propuesto inicialmente a través del procedimiento de selección de muestras tómbola (Hernández Sampieri et al., 2014).

## **DISEÑO METODOLÓGICO**

### **1. Técnicas de recolección de información**

Se empleó la observación participante dado que se implementaron los sistemas de medición y control directamente sobre la producción de abono orgánico, investigando y reconociendo el comportamiento de la lombriz roja californiana; además de esto se emplearon encuestas a las personas encargadas de los procesos productivos para conocer su opinión acerca del sistema propuesto y también para conocer la aceptabilidad que tiene la aplicación del proyecto.

Se obtuvieron fuentes de información secundarias como manuales, informes, artículos de investigación, tesis y otros proyectos de grado que se relacionaron con

la temática de este proyecto, estas fueron encontradas en fuentes de literatura académica, científica y bibliotecas electrónicas como lo es Google académico, Scielo, ScienceDirect, Proquest, Google Books, webs universitarias, revistas de ingeniería, entre otras.

## 2. Procedimiento metodológico

Objetivo 1: Determinar a través de revisión bibliográfica las características de temperatura, humedad, y radiación del compost que conducen a una óptima reproducción de la lombriz roja californiana.	
FASE	METODOLOGÍA
Recopilación de información	1.1 Obtener información clara y específica de informes, estudios y manuales acerca de las propiedades y características de la lombriz roja californiana, del humus que producen y de los procedimientos que se deben llevar a cabo para realizar seguimiento y control a los lombricultivos.
Análisis de información	1.2 Establecer, por medio de la información obtenida de informes, estudios y manuales, las variables a controlar que conducirán a una mejor reproducción de la lombriz roja californiana y a una mayor producción de abono orgánico.
	1.3 Determinar un rango de valores específico para cada variable a controlar por medio de un análisis bibliográfico de los resultados obtenidos en la investigación.

Objetivo 2: Diseñar un sistema de monitoreo que recopile información de las condiciones actuales de los lombricultivos promovidos por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá con el fin de diagnosticarlos.

FASE	METODOLOGIA
Selección de instrumentos	<p>2.1 Seleccionar los sensores que envíen señales electrónicas a los microcontroladores teniendo en cuenta que deben ser instrumentos aptos para medición en materia orgánica con cierto contenido de humedad.</p> <p>2.2 Seleccionar los microcontroladores que procesarán las señales de entrada, envíen datos a la nube y controlarán las variables del proyecto.</p> <p>2.3 Seleccionar la forma de envío y sitio de almacenamiento de datos, teniendo en cuenta los rangos de las variables a medir y/o controlar, capacidad, confiabilidad y costo.</p>
Diseño de prototipo	<p>2.4 Diseñar los circuitos electrónicos en los software aptos para esto, teniendo en cuenta los diferentes dispositivos a emplear.</p> <p>2.5 Realizar una toma de mediciones físicas a cada uno de los sensores, microcontroladores y demás dispositivos seleccionados.</p>

	<p>2.6 Diseñar un prototipo en 3D funcional tomando en cuenta las mediciones físicas realizadas a cada uno de los instrumentos y a los demás elementos del proceso productivo.</p> <p>2.7 Asegurar un correcto funcionamiento tanto de la parte electrónica como mecánica a través de simulaciones de tal manera que no se vea afectado el funcionamiento de los dispositivos ni el proceso productivo.</p>
Implementación de sistema de monitoreo	<p>2.8 Realizar la conexión de los diferentes dispositivos electrónicos y eléctricos teniendo en cuenta el diseño propuesto.</p> <p>2.9 Conectar la estructura mecánica con la parte electrónica evitando rozamientos y errores de ensamblajes.</p> <p>2.10 Implementar los sistemas de monitoreo en los 10 lombricultivos que actualmente producen abono orgánico.</p>
Verificar el funcionamiento	<p>2.11 Verificar que la magnitud de cada una de las señales medidas es correcta revisando los valores que llegan a los microcontroladores y los que, a su vez, estos le envían al centro de almacenamiento de datos.</p> <p>2.12 Realizar una verificación periódica del funcionamiento del sistema de medición.</p>

<p>Recopilación de información real</p>	<p>2.13 Obtener información a través de los sistemas de monitoreo implementados en los diferentes lombricultivos estudiados.</p> <p>2.14 Tomar mediciones del proceso reproductivo de la lombriz en el transcurso de un mes.</p> <p>2.15 Realizar una revisión de la metodología llevada a cabo por cada lombricultor para producir abono orgánico con la <i>Eisenia Foetida</i> por medio de una observación participante y realizando encuestas a las personas encargadas.</p>
<p>Análisis de información</p>	<p>2.16 Diagnosticar los lombricultivos en estudio, estableciendo las condiciones de temperatura, humedad y radiación que se mantienen en cada uno de estos mediante la información entregada por los sistemas de monitoreo.</p> <p>2.17 Realizar un análisis estadístico con los resultados de reproducción obtenidos al final del mes con el fin de establecer las mejores condiciones de producción existentes en los lombricultivos estudiados.</p>

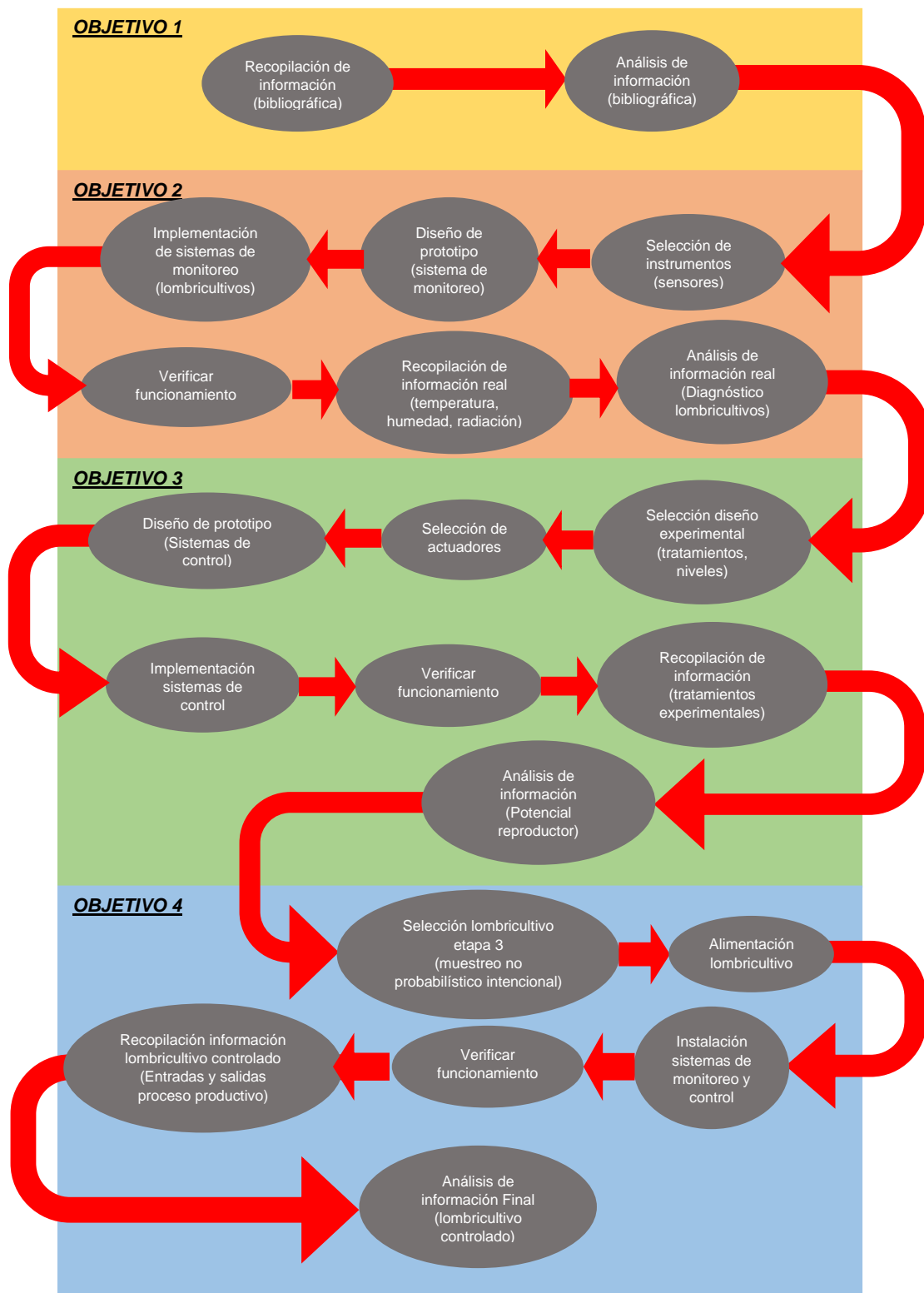
Objetivo 3: Implementar sistemas de control que mantengan los valores de temperatura, humedad y radiación en un diseño experimental para que se comparen las diferentes condiciones en las que se encuentran los lombricultivos del municipio de Zipaquirá.

FASE	METODOLOGIA
Selección de diseño experimental	<p>3.1 Seleccionar el tipo de diseño experimental a implementar de acuerdo con las condiciones encontradas en los diagnósticos.</p> <p>3.2 Determinar las variables independientes, los rangos sobre los cuales deben mantenerse para cada tratamiento y la variable dependiente del diseño experimental.</p> <p>3.3 Definir el número de replicas a implementar para cada tratamiento.</p>
Selección de actuadores	<p>3.4 Elegir los actuadores teniendo en cuenta los rangos de variables a mantener en los tratamientos del diseño experimental; así como corrientes y voltajes aptos para que no se afecten las condiciones de la lombriz roja californiana.</p>
Diseño de prototipo	<p>3.5 Diseñar los sistemas de control y los circuitos electrónicos en los software aptos para esto, teniendo en cuenta los diferentes dispositivos a emplear.</p> <p>3.6 Asegurar un correcto funcionamiento tanto de la parte electrónica como mecánica a través de simulaciones de tal manera que no se vea afectado el funcionamiento de los dispositivos ni el comportamiento de los tratamientos experimentales.</p>

Implementación del sistema de control	3.7 Conectar los actuadores del sistema de control con la parte electrónica en cada uno de los tratamientos experimentales
Verificar el funcionamiento	<p>3.8 Comprobar el correcto funcionamiento de cada uno de los actuadores por medio de activaciones y desactivaciones intermitentes.</p> <p>3.9 Realizar una verificación periódica del funcionamiento de los sistemas de medición y control.</p>
Recopilación de información de los tratamientos experimentales	<p>3.10 Obtener información a través de los sistemas de monitoreo implementados en los tratamientos experimentales.</p> <p>3.11 Tomar mediciones de densidad poblacional al finalizar el diseño experimental para determinar el potencial reproductivo de la lombriz roja californiana bajo las diferentes condiciones de cada tratamiento experimental.</p>
Análisis de información	3.12 Determinar cuáles son los valores de cada variable que permiten obtener el mayor potencial reproductivo de la lombriz roja californiana en el municipio de Zipaquirá, con el fin de establecer las condiciones que mejoran la reproducción de esta especie y por consiguiente la producción de abono orgánico.

<p>Objetivo 4: Evaluar la productividad en un lombricultivo relacionando la materia orgánica de entrada y el humus obtenido al final del proceso, apoyado en la instalación de sistemas de monitoreo y control que mantengan las condiciones con las cuales se determinen los parámetros de estandarización.</p>	
FASE	METODOLOGIA
Selección de lombricultivo	4.1 Seleccionar el lombricultivo donde se evaluará la productividad de acuerdo con las condiciones obtenidas para el mejoramiento de la reproducción de la <i>Eisenia Foetida</i> y la producción de abono orgánico.
Instalación de sistemas de monitoreo y control	4.2 Instalar el sistema de monitoreo y control en el lombricultivo seleccionado.
Alimentación del lombricultivo	4.3 Alimentar con materia orgánica durante 90 días el lombricultivo seleccionado realizando las respectivas mediciones de la materia orgánica.
Verificar el funcionamiento	4.4 Comprobar el correcto funcionamiento de cada uno de los actuadores; así como también de las mediciones realizadas por el sistema de monitoreo revisando que los valores de temperatura, humedad y radiación se mantengan sobre los valores esperados.

	<p>4.5 Realizar una verificación periódica del funcionamiento de los sistemas de medición y control.</p>
<p>Recopilación de información del lombricultivo controlado</p>	<p>4.6 Obtener información a través del sistema de monitoreo implementado en el lombricultivo seleccionado.</p> <p>4.7 Tomar mediciones de la producción final de abono orgánico, y de las demás salidas del sistema de producción.</p>
<p>Análisis de información final</p>	<p>4.8 Evaluar la productividad del lombricultivo seleccionado relacionando la materia orgánica de entrada con la producción final de abono orgánico.</p> <p>4.9 Establecer los parámetros de estandarización que pueden obtener los productores al acoger esta metodología de producción.</p> <p>4.10 Establecer conclusiones que evidencien que el sistema de monitoreo y control realmente contribuye a la determinación de los parámetros de estandarización de los lombricultivos estudiados.</p>



**Ilustración 9. Procedimiento metodológico.**

Fuente: Propia de los autores.

## RESULTADOS

De acuerdo con la revisión bibliográfica, se logró determinar que las principales variables que afectan la reproducción de la lombriz roja californiana y por consiguiente la producción de abono orgánico son la temperatura, humedad y radiación; las cuales deben mantenerse bajo los siguientes parámetros:

**Tabla 2. Variables que afectan la reproducción de la lombriz roja californiana.**

Variable	Mínimo	Máximo
<i>Temperatura "°C"</i>	15	25
<i>Porcentaje de Humedad "%"</i>	70	80
<i>Radiación porcentual "%"</i>	% → 0	

Fuente: Propia de los autores.

Se encontró que por fuera de estos rangos de temperatura se da una menor reproducción de la lombriz roja californiana Zhang et al (2020); para la humedad se encontró que valores por encima del rango establecido dan lugar a oxigenación deficiente del alimento, y debajo de este provocan dificultad de alimentación debido a la resequedad de la materia orgánica, Guanche (2015).

Entre menor radiación porcentual se tenga, se obtendrán mejores resultados de reproducción ya que como lo comentan Toccalino et al (2004), el apareamiento de la lombriz roja californiana ocurre durante la noche presentando una duración de entre 30 a 240 minutos.

Loza Murguía et al (2010) indican que bajo estos parámetros se brinda el ambiente necesario para que de la reproducción se obtengan de 0 a 9 lombrices hijas provenientes de una capsula (cocón), este último es producido por las lombrices adultas entre 7 y 10 días, y se incuba en un periodo entre 14 a 21 días.

## Etapa 1

De acuerdo con los parámetros de cada variable y con las condiciones climáticas del municipio de Zipaquirá se realiza la elección de los diferentes instrumentos del sistema de monitoreo basado en las necesidades presentadas:

La selección de los sensores de humedad y temperatura se basó principalmente en la baja corrosión que deben presentar estos instrumentos, ya que se exponen a altos porcentajes de humedad generando afectaciones en las mediciones. Adicionalmente, se tuvo en cuenta la disponibilidad para la compra de los instrumentos como una de las prioridades frente a otras necesidades expuestas en las tablas 3 y 5.

**Tabla 3. Necesidades sensores de humedad.**

SENSORES DE HUMEDAD	
NECESIDADES	IMPORTANCIA
<i>Baja corrosión</i>	10
<i>Amplio rango de lectura</i>	7
<i>Alta Precisión</i>	9
<i>Velocidad de medición</i>	6
<i>Alta Impermeabilidad</i>	9
<i>Bajo consumo de energía</i>	8
<i>Disponibilidad</i>	10
<i>Bajo costo</i>	7

Fuente: Propia de los autores.

De acuerdo con los valores de importancia se determinó el peso específico de cada característica, se obtuvo la matriz de decisión de la tabla 4 realizando una comparación entre los sensores YL-69 resistivo, Sensor de humedad HD-38 y Sensor de humedad capacitivo SEN0193.

**Tabla 4. Matriz de decisión sensores de humedad.**

	<b>PESO</b>	<b>YL-69 RESISTIVO</b>	<b>SENSOR DE HUMEDAD HD-38</b>	<b>SENSOR SEN0193</b>
<i>Baja corrosión</i>	10	-1	1	1
<i>Amplio rango de lectura</i>	7	1	1	1
<i>Alta precisión</i>	9	-1	-1	1
<i>Velocidad de medición</i>	6	1	-1	1
<i>Alta Impermeabilidad</i>	9	1	1	1
<i>Bajo consumo</i>	8	1	1	1
<i>Disponibilidad</i>	10	1	1	1
<i>Bajo costo</i>	7	1	-1	1
<b>TOTAL</b>		<b>28</b>	<b>22</b>	<b>66</b>

Fuente: Propia de los autores.

El sensor capacitivo de humedad SEN0193 presenta alta resistencia a la corrosión, alta impermeabilidad; la disponibilidad y el costo de este sensor es asequible, además de un amplio rango de lectura, rango de precisión promedio de 5% de error y alta velocidad de medición, cumpliendo con los requerimientos del sistema, [ver anexo 3](#).

Los sensores de temperatura presentan los siguientes requerimientos:

**Tabla 5. Necesidades sensores de temperatura.**

<b>SENSORES DE TEMPERATURA</b>	
<b>NECESIDADES</b>	<b>IMPORTANCIA</b>
<i>Baja corrosión</i>	7
<i>Baja oxidación</i>	10
<i>Amplio rango de lectura</i>	8

<i>Alta precisión</i>	9
<i>Velocidad de medición</i>	6
<i>Alta Impermeabilidad</i>	9
<i>Bajo consumo de energía</i>	9
<i>Disponibilidad</i>	10
<i>Bajo costo</i>	7

Fuente: Propia de los autores.

Cada peso es evaluado en la matriz de decisión de la tabla 6, realizando un comparativo entre los sensores DS18B20 tipo sonda, PT100 tipo sonda, LM35 y TMP36.

**Tabla 6. Matriz de decisión sensores de temperatura.**

	<b>PESO</b>	<b>TIPO SONDA DS18B20</b>	<b>TIPO SONDA PT100</b>	<b>LM35</b>	<b>TMP36</b>
<i>Baja corrosión</i>	7	1	1	-1	-1
<i>Baja oxidación</i>	10	1	1	-1	-1
<i>Amplio rango de lectura</i>	8	1	1	1	1
<i>Alta precisión</i>	9	1	1	1	-1
<i>Velocidad de medición</i>	6	1	-1	1	1
<i>Alta Impermeabilidad</i>	9	1	1	-1	-1
<i>Bajo consumo de energía</i>	9	1	1	1	1
<i>Disponibilidad</i>	10	1	1	1	1
<i>Bajo costo</i>	7	1	-1	1	1
<b>TOTAL</b>		<b>75</b>	<b>49</b>	<b>23</b>	<b>5</b>

Fuente: Propia de los autores.

El sensor tipo sonda DS18B20 posee una precisión de 0.5°C aproximadamente, con una lectura desde -55°C hasta 125°C. La velocidad de lectura es la más baja entre

los 4 sensores evaluados dado que su tiempo de respuesta es de 750 ms, y posee una alta resistencia a la corrosión debido a su estructura impermeable tipo sonda, [ver anexo 4](#).

Para la selección del microcontrolador se revisaron las siguientes características:

**Tabla 7. Necesidades microcontrolador**

<b>MICROCONTROLADOR PARA ETAPA DE CONTROL</b>	
<b>NECESIDADES</b>	<b>IMPORTANCIA</b>
<i>Voltaje de alimentación</i>	8
<i>Velocidad de procesamiento (MHz)</i>	8
<i>Voltaje de entrada y salida</i>	5
<i>Alta cantidad de entradas analógicas</i>	7
<i>Alta cantidad de salidas digitales</i>	8
<i>Disponibilidad</i>	10
<i>Bajo costo</i>	7

Fuente: Propia de los autores.

Entre estos está Arduino nano (ATMEGA328P), PIC 16F88 18 pines, PIC 18F2550 28 pines, ESP8266 y Raspberry Pi.

**Tabla 8. Matriz de decisión microcontroladores.**

	<b>PESO</b>	<b>ATMEGA 328P</b>	<b>PIC 16F88 18 PINES</b>	<b>PIC 18F2550 28 PINES</b>	<b>ESP8266</b>	<b>RASPERRY PI</b>
<i>Voltaje de alimentación</i>	8	1	1	1	1	1
<i>Velocidad de procesamiento (MHz)</i>	8	1	1	1	1	1

<i>Voltaje de entrada y salida</i>	5	1	1	1	-1	1
<i>Alta cantidad de entradas analógicas</i>	7	1	-1	1	-1	1
<i>Alta cantidad de salidas digitales</i>	8	1	-1	1	1	1
<i>Disponibilidad</i>	10	1	-1	-1	-1	-1
<i>Bajo costo</i>	7	1	1	1	-1	-1
<b>TOTAL</b>		<b>53</b>	<b>3</b>	<b>33</b>	<b>-5</b>	<b>19</b>

Fuente: Propia de los autores.

El mayor detonante para la elección del Arduino Nano (ATMEGA328P) como microcontrolador es la disponibilidad. Se tiene en cuenta que el sistema no requiere de velocidades altas, este microcontrolador trae un oscilador de 16MHz, y cuenta con los pines digitales, analógicos y de comunicación necesarios para la aplicación, reduciendo el uso de periféricos adicionales.

Para la selección de la plataforma IoT de almacenamiento de datos se realiza una comparación entre los siguientes parámetros:

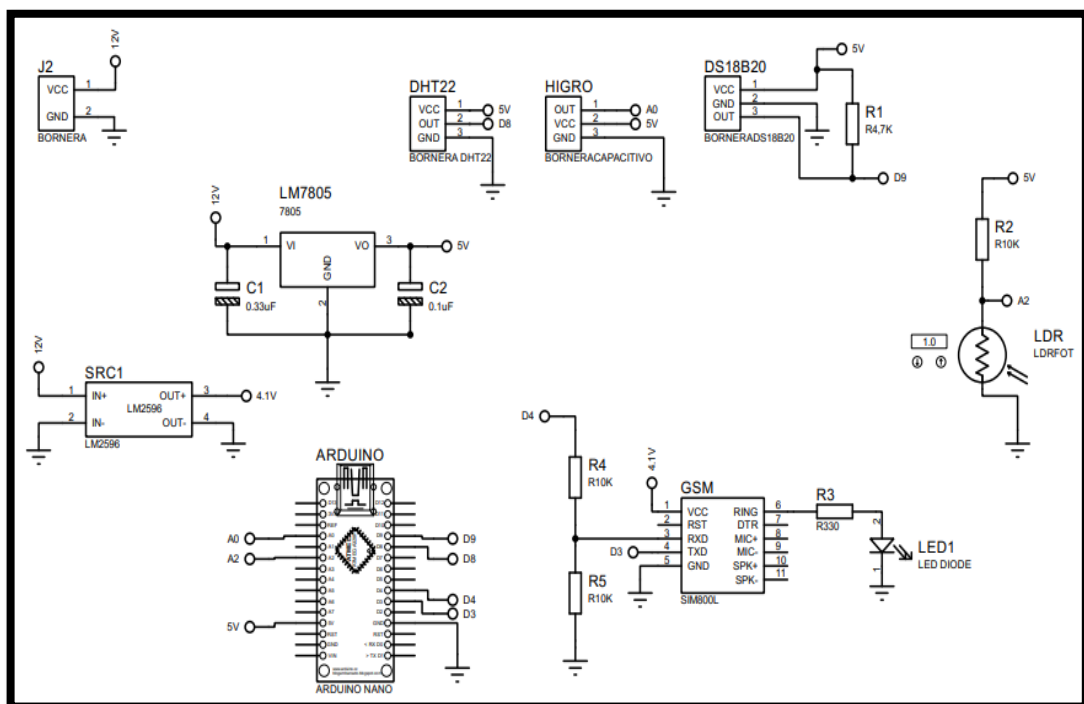
- Capacidad de almacenamiento
- Costo
- Facilidad de uso
- Disponibilidad de descarga de los datos
- Posibilidad de análisis de datos
- Tiempo de implementación

Al realizar una comparación entre los servicios de almacenamiento de datos de Amazon, la plataforma IoT ThingSpeak y la creación de plataformas de almacenamiento de datos personales, se dio una prioridad a ThingSpeak; teniendo en cuenta que permite realizar almacenamiento cada 20 segundos de forma gratuita

reduciendo costos mensuales por almacenar en otras plataformas, la facilidad de uso es mayor dado que es una plataforma especialmente diseñada para almacenar datos de proyectos IoT académicos y profesionales. Por otro lado, es una plataforma a la cual no se le deben editar parámetros adicionales y/o programaciones para el almacenamiento de datos como sucedería con plataformas creadas personalmente.

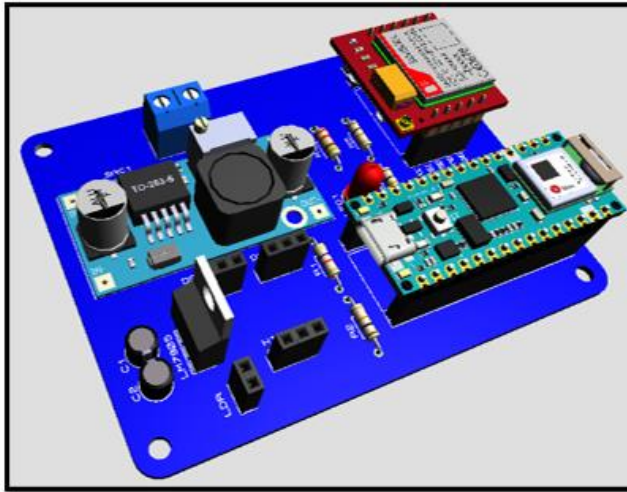
Con la selección de los instrumentos y plataforma IoT realizada, se desarrollan los diferentes diseños de los dispositivos de monitoreo, llevando a cabo el desarrollo de Hardware y Software. Como desarrollo de hardware se encuentra el diseño mecánico, eléctrico y electrónico de los dispositivos.

### Diseño electrónico



**Ilustración 10. Plano electrónico sistema de monitoreo.**

Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 11. Diseño de PCB sistema de monitoreo.**

Fuente: Propia de los autores.

### **Diseño eléctrico**

Para la etapa de monitoreo se utiliza una fuente de alimentación tipo adaptador con las siguientes características:

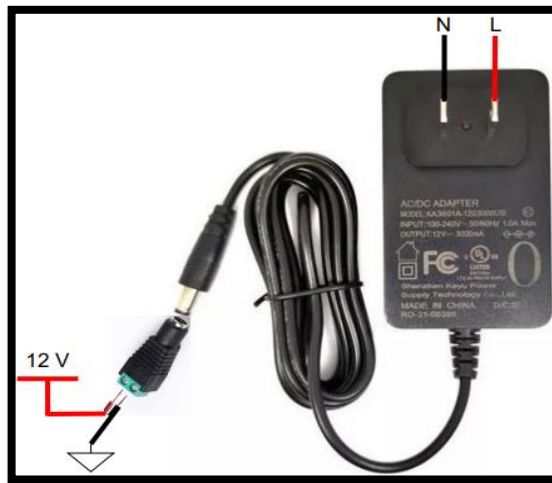
Voltaje de entrada: 110 V – 240 V AC

Voltaje de salida: 12 V

Máxima corriente de salida: 3 A

Potencia Máxima: 36 W

Consumo de potencia del sistema de monitoreo: 10,55 W

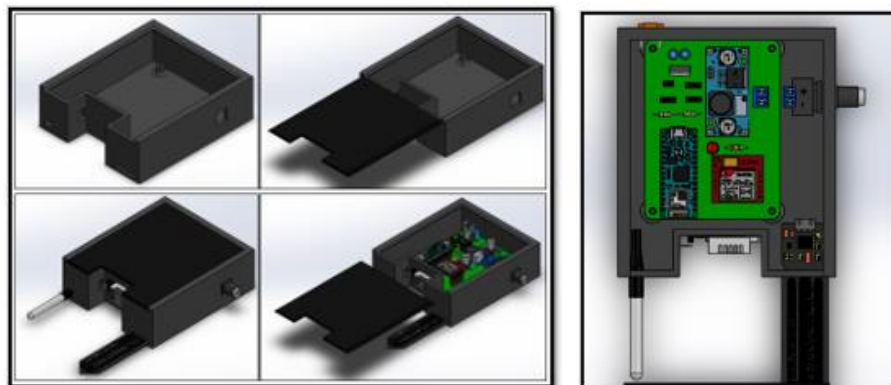


**Ilustración 12. Conexión eléctrica sistema de monitoreo.**

Fuente: Propia de los autores.

- **Diseño mecánico**

En el [anexo 1](#) se encuentran los planos del dispositivo de monitoreo diseñado.

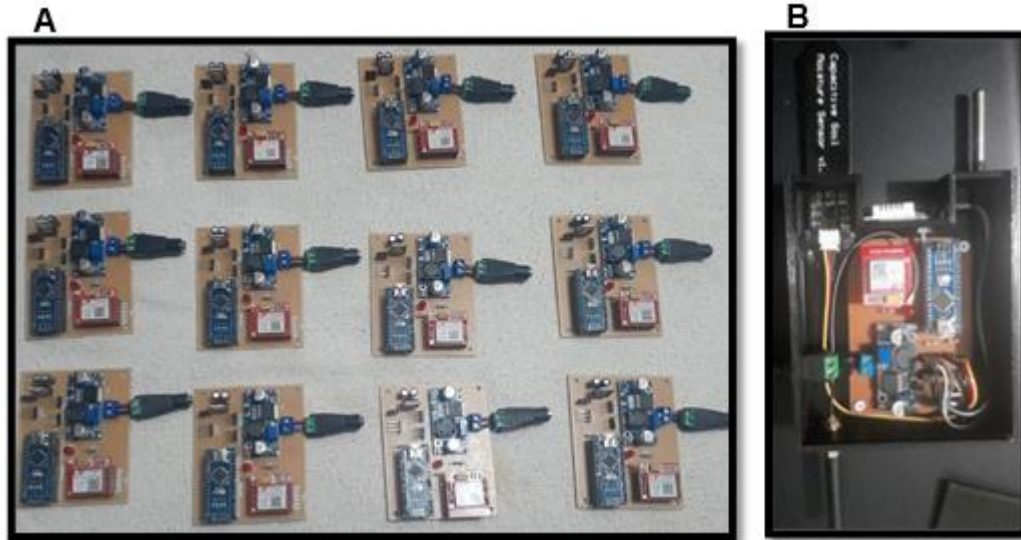


**Ilustración 13. Diseño mecánico sistema de monitoreo.**

Fuente: Propia de los autores.

Como desarrollo de Software se encuentra la programación del microcontrolador AT-Mega 328P encargado del procesamiento de señales de los sensores, y envío de los datos correspondientes hacia el centro de almacenamiento ThingSpeak empleando como medio transmisor el MODEM GSM SIM800L.

Al tener los distintos diseños de los sistemas de monitoreo, se desarrolla el ensamblaje de estos:



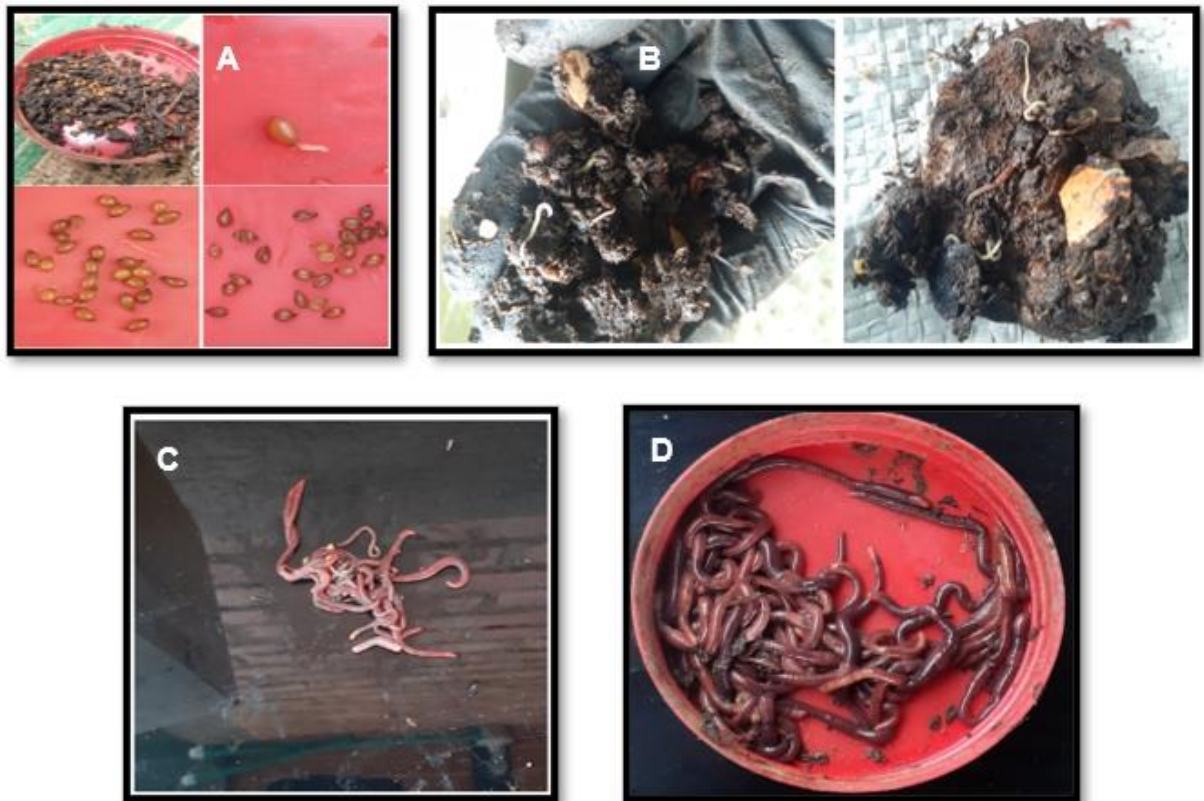
**Ilustración 14. Ensamble de PCB sistemas de monitoreo.**

**A. PCB para cada lombricultivo; B. Ensamble completo del sistema de monitoreo.**

Fuente: Propia de los autores.

Estos dispositivos de monitoreo se utilizan en 10 lombricultivos para llevar a cabo las mediciones de temperatura, humedad y radiación porcentuales en el transcurso de un mes, con el fin de determinar las condiciones actuales sobre las cuales trabaja cada uno de estos lombricultivos.

Junto con la recolección de datos de cada variable, se realizan 4 muestreos de densidad poblacional, con el fin de verificar cuál de los lombricultivos estudiados presenta la mayor cantidad de individuos. Para esto se definen primero las clases y características en los cuales se subdivide la lombriz roja californiana (Schuldt, Rumi, & Gutiérrez Gregoric, 2005).



**Ilustración 15. Clasificación de la *Eisenia Foetida*.**

**A. Cocones; B. Lombriz joven: su medida es entre 0 cm y 1,5 cm; C. Lombriz subadulta: su medida es entre 1,5 cm y 3 cm; D. Lombriz adulta: medida mayor a 3 cm.**

Fuente: Propia de los autores.

Las mediciones se realizaron con una caja muestreadora de 10 cm x 10 cm x 30 cm, tal como lo recomienda (Sales, 2008), esta presenta una tara de 1.08 Kg; todas las muestras fueron pesadas con una gramera de capacidad máxima 5 Kg, generalmente las muestras presentaron un peso de entre 2.8 Kg y 4.1 Kg (muestra + caja muestreadora), esta variación entre los pesos de cada muestra se da principalmente por la humedad porcentual presente en cada lombricultivo.

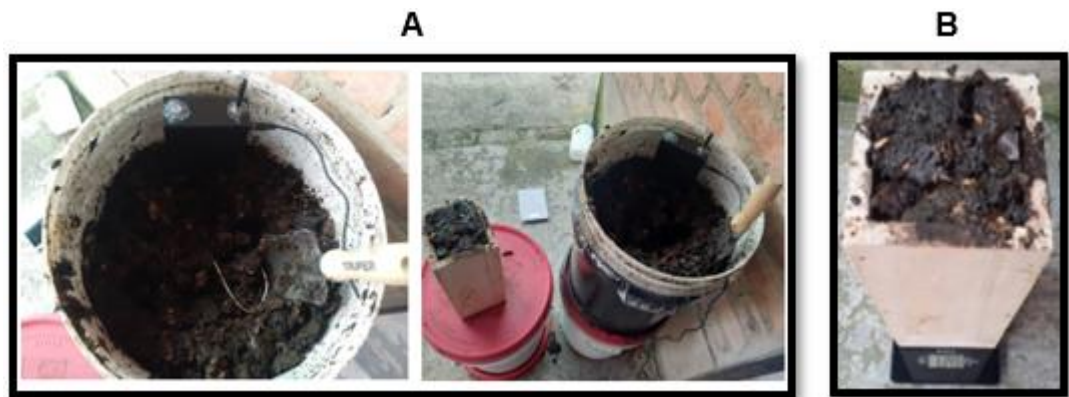


**Ilustración 16. Peso de muestras de materia orgánica.**

Fuente: Propia de los autores.

Los muestreos sobre la densidad poblacional en los lombricultivos fueron realizados los días 1, 15, 21 y 30 del período analizado; a continuación, se muestra el procedimiento realizado.

#### **Recolección de muestra**



**Ilustración 17. Recolección y peso de muestra.**

**A. Se toma una cantidad de materia orgánica para llenar la caja muestreadora; B. Se coloca la caja de muestreo llena de materia orgánica sobre la gramera.**

Fuente: Propia de los autores.

## Selección y conteo de clases de lombrices



**Ilustración 18. Clasificación de *Eisenia Foetida*.**

**Se identifica cada individuo según su etapa de vida (cocón, joven, subadulto o adulto)**

Fuente: Propia de los autores.

## Peso de clases de lombrices



**Ilustración 19. Pesado de lombrices.**

**Este proceso se realiza únicamente para las lombrices subadultas y adultas.**

Fuente: Propia de los autores.

## Medición de lombrices adultas










**Ilustración 20. Medición de longitud de lombrices adultas.**




Fuente: Propia de los autores.

A continuación, se muestran imágenes de los lombricultivos analizados:

**Tabla 9. Lombricultivos analizados.**

PRODUCTOR	IMAGEN	TAMAÑO DE LA CAMA LOMBRICULTORA
<i>Productor 1</i>		270 cm x 80 cm x 20 cm.
<i>Productor 2</i>		130 cm x 100 cm x 20 cm.

<p><i>Productor 3</i></p>		<p>100 cm x 80 cm x 50 cm</p>
<p><i>Productor 4</i></p>		<p>100 cm x 100 cm x 15 cm.</p>
<p><i>Productor 5</i></p>		<p>120 cm x 80 cm x 50 cm.</p>
<p><i>Productor 6</i></p>		<p>150 cm x 115 cm x 40 cm.</p>
<p><i>Productor 7</i></p>		<p>150 cm x 80 cm x 30 cm.</p>

<i>Productor 8</i>		270 cm x 70 cm x 30 cm.
<i>Productor 9</i>		D = 30 cm; H = 40 cm.
<i>Productor 10</i>		150 cm x 70 cm x 20 cm.

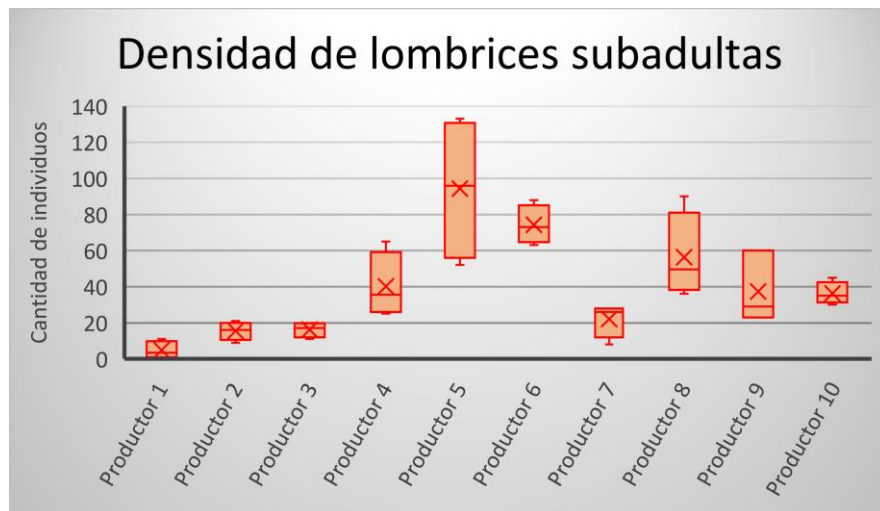
Fuente: Propia de los autores.

Posteriormente se realizaron análisis estadísticos sobre la densidad poblacional en los diferentes lombricultivos de acuerdo con las investigaciones realizadas por (Cano Prudencio, 2018; Loza Murguía et al., 2010; Nakonechnyi et al., 2020; Schuldt, Rumi, Gutiérrez Gregoric, et al., 2005); a través de diagramas de caja y bigotes se muestra la media de densidad poblacional en cada lombricultivo, así como también la variabilidad obtenida para los muestreos.



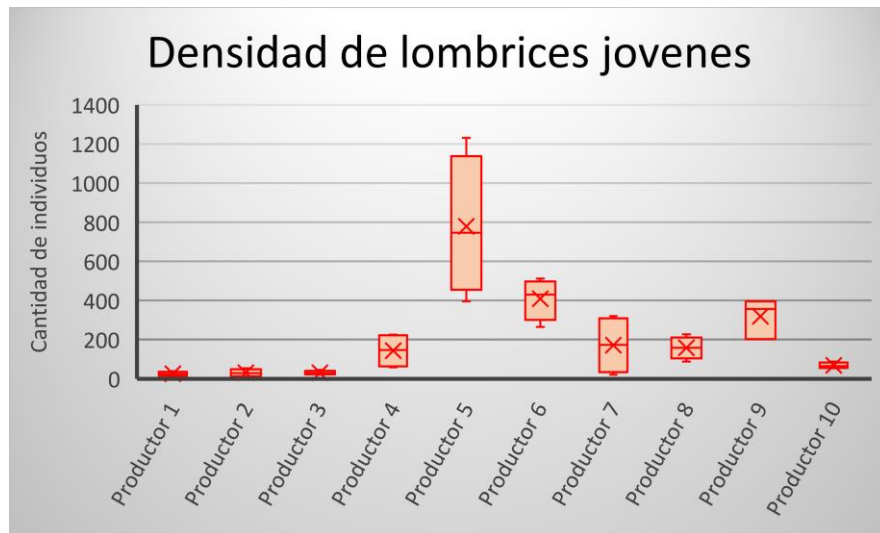
**Ilustración 21. Densidad de lombrices adultas.**

Fuente: Propia de los autores.



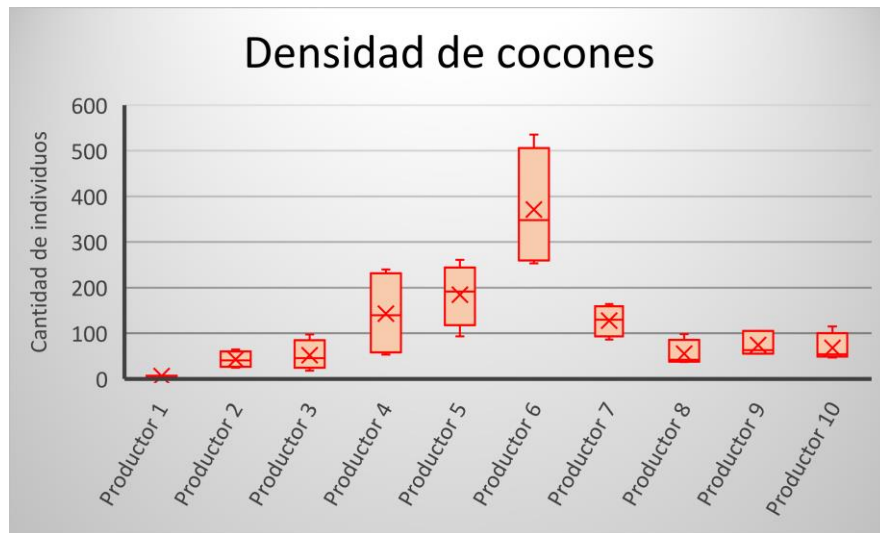
**Ilustración 22. Densidad de lombrices sub-adultas.**

Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 23. Densidad de lombrices jóvenes.**

Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 24. Densidad de cocones.**

Fuente: Propia de los autores.

Los sistemas de monitoreo implementados en esta etapa del proyecto permitieron determinar que las condiciones sobre las que se mantiene cada lombricultivo son las siguientes:

**Tabla 10. Condiciones actuales de los lombricultivos.**

Productor	Temperatura (°C)		Humedad porcentual (%)		Radiación porcentual (%)	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
1	14.69	0.99	93.13	6.87	0.41	5.87
2	15.91	1.05	68.62	13.12	40.14	41.96
3	18.09	1.04	97.69	4.12	2.28	14.40
4	12.85	1.05	69.76	5.78	8.22	15.93
5	14.48	0.47	80.83	8.49	4.47	12.30
6	20.11	1.12	84.52	5.71	0.62	7.03
7	17.40	1.85	93.65	12.02	1.89	10.93
8	15.08	1.52	75.43	7.40	8.05	24.40
9	13.43	0.85	99.76	2.03	2.42	8.30
10	14.00	1.01	98.90	2.80	0.24	4.67

Fuente: Propia de los autores.

## **Etapas 2**

Este experimento, se basó en las investigaciones realizadas por (Schuldt & Testa, 2010, 2011) para determinar el potencial reproductor de la lombriz roja californiana; cada una de las réplicas del diseño experimental consta de un medio confinado (bandejas P5L) bajo condiciones de temperatura, humedad y radiación específicas acorde con el tratamiento correspondiente. Los niveles de las variables mencionadas se determinaron de acuerdo con los datos obtenidos de los sistemas de monitoreo en la etapa 1; este experimento consta de un diseño factorial 2<sup>3</sup>, debido a que son 3 variables por controlar y cada variable cuenta con los siguientes 2 niveles.

**Tabla 11. Rangos de niveles diseño experimental.**

<b>Niveles</b>	<b>-</b>	<b>+</b>
<i>Temperatura "°C"</i>	13 - 15	18 - 20
<i>Humedad "%"</i>	69 - 80	90 - 100
<i>Radiación porcentual "%"</i>	cubierto	sin cubrir

Fuente: Propia de los autores.

En la Tabla 12 se determinan las condiciones de cada uno de los 8 tratamientos; se tuvo en cuenta que la materia orgánica representaba una variable que no se podía controlar debido a que esta depende de la disponibilidad que tiene cada uno de los productores; se optó por colocar 3 réplicas a cada uno de los tratamientos, cada réplica con una dieta distinta: a) Desechos de frutas, verduras y hortalizas (Dieta 1); b) Estiércol de oveja (50%) mezclado con estiércol de caballo (50%) (Dieta 2); y c) Estiércol vacuno (Dieta 3).

**Tabla 12. Niveles de cada tratamiento experimental.**

<b>Tratamiento</b>		<b>Temperatura</b>	<b>Humedad</b>	<b>Radiación</b>
	<i>1</i>	-	-	-
<i>a</i>	<i>2</i>	+	-	-
<i>b</i>	<i>3</i>	-	+	-
<i>ab</i>	<i>4</i>	+	+	-
<i>c</i>	<i>5</i>	-	-	+
<i>ac</i>	<i>6</i>	+	-	+
<i>bc</i>	<i>7</i>	-	+	+
<i>abc</i>	<i>8</i>	+	+	+

Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 25. Materia orgánica para diseño experimental.**

Fuente: Propia de los autores.

Para los sistemas de control se emplearon los mismos instrumentos empleados en la etapa de monitoreo, y se realizó la selección de los actuadores de acuerdo con los requerimientos presentados; en el caso de las unidades experimentales que requerían baja radiación porcentual se realizó un cubrimiento a través de Polietileno negro, las demás réplicas se dejaron expuestas a la radiación solar.

En cuanto a la humedad, se realizaron evaluaciones iniciales teniendo en cuenta la información entregada por los sistemas de monitoreo en la etapa 1; se establecieron las condiciones a las que puede llegar la materia orgánica cuando no se realiza un correcto control de esta variable. A continuación, se presenta información de un lombricultivo (productor 2) al cual le realizaron un riego donde llegó la humedad porcentual a 95.73%, posteriormente permitieron que esta se redujera hasta 53.15%, en promedio se mantuvo la humedad porcentual alrededor de 64%.

**Tabla 13. Condiciones de humedad en lombricultivo sin controlar.**

<b>HUMEDAD PORCENTUAL EN LOMBRICULTIVO CON FALTA DE CONTROL</b>	
<i>Promedio</i>	63.89 %
<i>Mínimo</i>	53.15 %
<i>Máximo</i>	95.73 %

Fuente: Propia de los autores.

Al evidenciar estas condiciones, se determinó que era necesario el diseño e implementación de sistemas de control que mantuvieran humedades porcentuales de acuerdo con los rangos requeridos por cada uno de los tratamientos experimentales.

Se presenta en la tabla 14 las necesidades y nivel de importancia para la selección del actuador de humedad.

**Tabla 14. Necesidad actuador sistema de control de humedad.**

<b>ACTUADORES DE HUMEDAD</b>	
<b>NECESIDADES</b>	<b>IMPORTANCIA</b>
<i>Menor potencia de consumo</i>	10
<i>Facilidad de uso</i>	7
<i>Velocidad de respuesta</i>	8
<i>Vida útil</i>	10
<i>Baja corrosión</i>	9
<i>Baja oxidación</i>	9
<i>Facilidad de ensamblaje</i>	9
<i>Disponibilidad</i>	10
<i>Bajo costo</i>	7

Fuente: Propia de los autores.

Los actuadores que mejor se adaptan a las necesidades en el diseño del sistema son: una electroválvula de 12 V y una bomba de agua sumergible de 110 V.

**Tabla 15. Matriz de decisión actuadores de humedad.**

	<b>PESO</b>	<b>ELECTROVALVULA 12V</b>	<b>BOMBA DE AGUA SUMERGIBLE 110V</b>
<i>Menor potencia de consumo</i>	10	1	-1
<i>Facilidad de uso</i>	7	1	-1
<i>Velocidad de respuesta</i>	8	1	1
<i>Vida útil</i>	10	1	-1
<i>Baja corrosión</i>	9	1	1
<i>Baja oxidación</i>	9	1	-1
<i>Facilidad de ensamblaje</i>	9	1	-1
<i>Disponibilidad</i>	10	1	1
<i>Bajo costo</i>	7	1	-1
<b>TOTAL</b>		<b>79</b>	<b>-25</b>

Fuente: Propia de los autores.

Por sus características, es elegida la electroválvula como actuador del sistema, dado que tiene una mayor vida útil, la posibilidad de oxidación es baja y el consumo es mínimo en comparación con la bomba sumergible de 110V, [ver anexo 5](#).

En cuanto a la temperatura se tuvieron en cuenta las condiciones climáticas del sitio donde se desarrolló el experimento; se realizaron mediciones durante tres días y posteriormente una estadística descriptiva de los datos obtenidos encontrando que en este sitio se presentan temperaturas promedio de 17.91 °C llegando a 19.83 °C durante el día, pero se reducen a 15.81 °C en horas de la noche.

**Tabla 16. Condiciones de temperatura en la ubicación del experimento.**

<b>TEMPERATURA EN EL SITIO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL</b>	
<i>Promedio</i>	17.91 °C
<i>Mínimo</i>	15.81 °C
<i>Máximo</i>	19.83 °C

Fuente: Propia de los autores.

De acuerdo con esta información, se evidenció la necesidad de diseñar e implementar sistemas de control de temperatura teniendo en cuenta que, para los tratamientos experimentales que requieren bajas temperaturas deben asegurarse rangos de 13 °C a 15 °C; mientras que en los tratamientos que requieren temperaturas altas deben mantenerse entre 18 °C y 20 °C.

Para este sistema de control, se requiere de un sistema más robusto basado en el funcionamiento de dos actuadores en paralelo, uno que ayude a controlar las bajas temperaturas y otro que ayude a controlar las altas temperaturas.

**Tabla 17. Necesidad actuadores para la reducción de temperatura.**

<b>ACTUADORES DE TEMPERATURA (REDUCCIÓN)</b>	
<b>NECESIDADES</b>	<b>IMPORTANCIA</b>
<i>Menor potencia de consumo</i>	8
<i>Facilidad de uso</i>	7
<i>Velocidad de respuesta</i>	6
<i>Vida útil</i>	10
<i>Baja corrosión</i>	9
<i>Baja oxidación</i>	9
<i>Facilidad de ensamblaje</i>	9
<i>Disponibilidad</i>	10
<i>Bajo costo</i>	5

Fuente: Propia de los autores.

De acuerdo con estas características se obtiene la matriz de decisión presentada en la tabla 18 realizando una comparación entre los actuadores Ventilador 12 V y celda Peltier 12 V.

**Tabla 18. Matriz de decisión actuadores para la reducción de temperatura.**

	<b>PESO</b>	<b>VENTILADOR 12V</b>	<b>CELDA PELTIER 12V</b>
<i>Menor potencia de consumo</i>	8	1	-1
<i>Facilidad de uso</i>	7	1	1
<i>Velocidad de respuesta</i>	6	1	-1
<i>Vida útil</i>	10	-1	1
<i>Baja corrosión</i>	9	1	1
<i>Baja oxidación</i>	9	-1	1
<i>Facilidad de ensamblaje</i>	9	1	1
<i>Disponibilidad</i>	10	1	1
<i>Bajo costo</i>	5	1	-1
<b>TOTAL</b>		<b>35</b>	<b>35</b>

Fuente: Propia de los autores.

Teniendo en cuenta esta calificación se realiza el cálculo de capacidad de enfriamiento de los ventiladores.

### **Cálculo de capacidad de enfriamiento de ventiladores**

Basado en la investigación realizada por Mejía Echeverría (2019), para determinar la capacidad de enfriamiento de un sistema por ventiladores, se debe calcular el caudal de aire a entregar por los ventiladores; este depende del volumen del sitio donde se desea controlar la temperatura, en este caso son cestillos donde se localizaron las bandejas (P5L) y de la cantidad de renovaciones del aire que se requiere, tomando como referencia realizar 60 renovaciones por minuto:

Largo: 60 cm

Ancho: 40 cm

Alto: 25 cm

Volumen: 0.06 m<sup>3</sup>



**Ilustración 26. Imagen de referencia cestillo utilizado.**

### **Caudal**

$$Q = \text{Volumen} * \text{renovaciones} \quad (1)$$

$$Q = 0.06\text{m}^3 * 60 = 3.6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Para este espacio se requiere un ventilador de al menos 3.6 m<sup>3</sup>/h o 6.11 cfm; se eligieron dos ventiladores de 52.31 cfm cada uno, como aireadores de tiro forzado; cada uno de estos presenta unas dimensiones de 12 cm\*12 cm\* 2.5 cm.

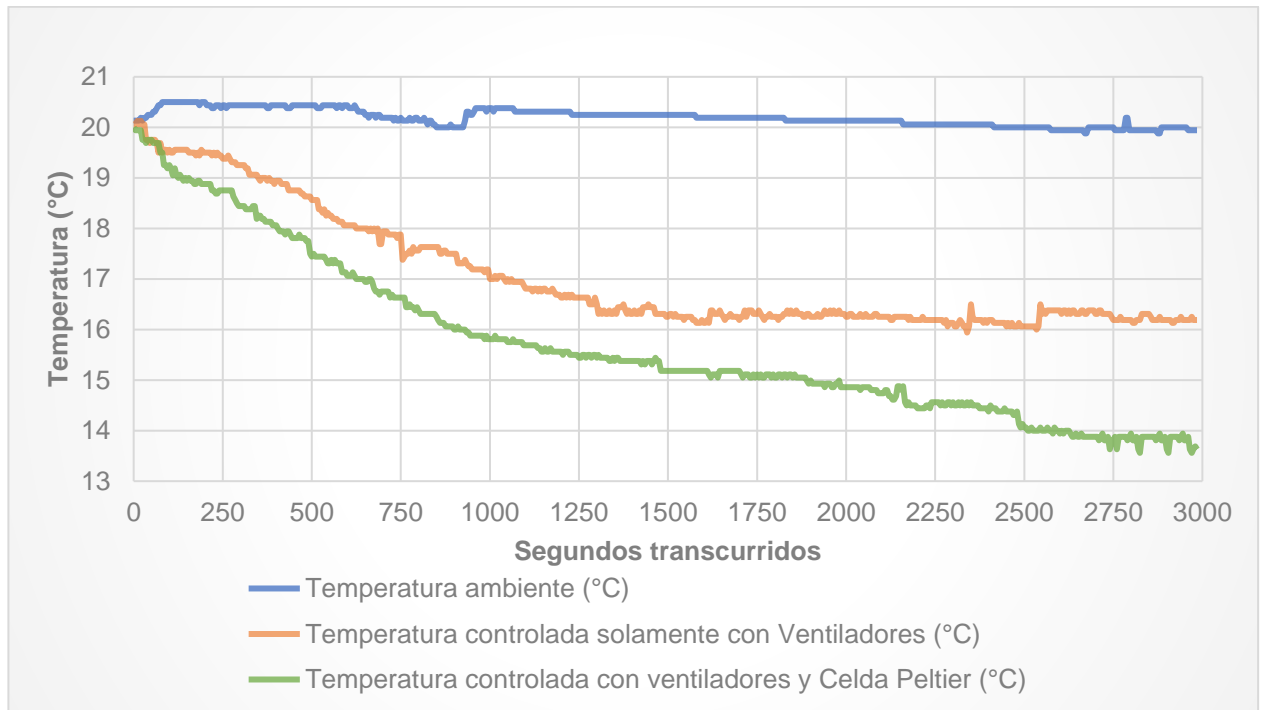
De acuerdo con Lara Jáuregui (2015), con un sistema de ventiladores se puede llegar a disminuir de 5 a 6 °C moviendo caudales que representen entre 60 a 45 renovaciones por hora (r/h) del invernadero; teniendo en cuenta que, en Zipaquirá se alcanzan temperaturas de hasta 23°C en el sitio del experimento, no basta solamente con los ventiladores como sistema de enfriamiento, deben utilizarse también las celdas peltier en conjunto, [ver anexos 7 y 8](#).

A continuación, se muestran las diferencias entre los sistemas de enfriamiento propuestos:

Sistema 1: Ventiladores únicamente.

Sistema 2: Sistema híbrido de ventiladores y celdas Peltier.

Las celdas Peltier fueron instaladas en serie con uno de los ventiladores con el fin de que el aire que se introduce de manera forzada sea más frío que el que generalmente se podría introducir. Al realizar pruebas con los diferentes sistemas se obtuvieron los siguientes resultados de capacidad de enfriamiento en un transcurso de 50 minutos aproximadamente.



**Ilustración 27. Comparación de los sistemas de enfriamiento.**

Fuente: Propia de los autores.

Para la selección de actuadores de aumento de temperatura se analizaron las siguientes características:

**Tabla 19. Necesidad actuadores para el aumento de temperatura.**

<b>ACTUADORES DE TEMPERATURA (AUMENTO)</b>	
<b>NECESIDADES</b>	<b>IMPORTANCIA</b>
<i>Menor potencia de consumo</i>	10
<i>Impacto negativo al sistema</i>	10

<i>Facilidad de uso</i>	7
<i>Velocidad de respuesta</i>	8
<i>Vida útil</i>	10
<i>Baja corrosión</i>	9
<i>Baja oxidación</i>	9
<i>Facilidad de ensamblaje</i>	9
<i>Disponibilidad</i>	10
<i>Bajo costo</i>	7

Fuente: Propia de los autores.

Se determina que los actuadores aptos para estas necesidades son la bombilla eléctrica, la resistencia eléctrica para horno y la resistencia eléctrica en silicona.

**Tabla 20. Matriz de decisión actuadores para el aumento de temperatura.**

	<b>PESO</b>	<b>BOMBILLA ELECTRICA</b>	<b>RESISTENCIA ELECTRICA PARA HORNO</b>	<b>RESISTENCIA ELECTRICA SILICONA</b>
<i>Menor potencia de consumo</i>	10	-1	-1	1
<i>Impacto negativo al sistema</i>	10	-1	-1	1
<i>Facilidad de uso</i>	7	1	1	1
<i>Velocidad de respuesta</i>	8	1	1	1
<i>Vida útil</i>	10	-1	-1	1
<i>Baja corrosión</i>	9	1	1	1
<i>Baja oxidación</i>	9	1	-1	1
<i>Facilidad de ensamblaje</i>	9	1	-1	-1
<i>Disponibilidad</i>	10	1	1	1
<i>Bajo costo</i>	7	1	-1	-1
<b>TOTAL</b>		<b>29</b>	<b>-21</b>	<b>57</b>

Fuente: Propia de los autores.

El actuador más conveniente es la resistencia eléctrica en silicona debido a su baja potencia de consumo comparado con los demás actuadores y su larga vida útil debido a la composición de silicona en su estructura que evita el desgaste por factores externos y disipa el calor de manera más homogénea, [ver anexo 6](#). A continuación, se presentan los cálculos de la potencia eléctrica requerida para este actuador.

### **Cálculo de capacidad de aumento de temperatura**

De acuerdo con Gustavo López de Paz (2016), se realizó el cálculo de las BTU/hora requeridos para elevar y mantener la temperatura a 20 °C.

$$Energíat\acute{e}rmica \left[ \frac{BTU}{h} \right] = \frac{\Delta T [^{\circ}C]}{T_p [^{\circ}C]} * Ae [ha] * 4500000 \left[ \frac{BTU}{h*ha} \right] \quad (2)$$

Donde:

$\Delta T$  es la diferencia entre la temperatura deseada y la mínima temperatura ambiente que se puede presentar en el sitio del experimento

$$\Delta T = 20^{\circ}C - 8^{\circ}C = 12^{\circ}C \quad (3)$$

$T_p$  es la temperatura a la cual se desarrollan los lombricultivos; en este caso

$$T_p = 15^{\circ}C \quad (4)$$

$Ae$  es el área en hectáreas donde se desea mantener la temperatura.

$$Ae = 0.00006 \text{ ha} \quad (5)$$

Y 4500000 BTU/h es el calor generado de protección; BTU/h que son necesarios para mantener los Grados de protección en una hectárea (ha).

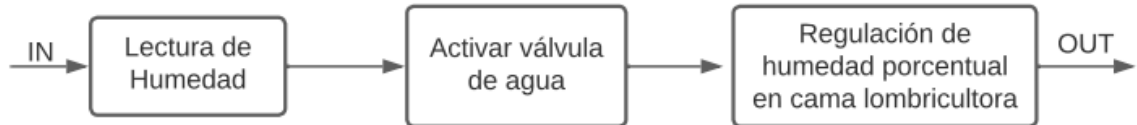
Finalmente se obtiene:

$$Energíat\acute{e}rmica = 216 \frac{BTU}{h}$$

Equivalente a un actuador de 63 W; por esta razón se eligió una resistencia eléctrica recubierta en silicona de 74 W con una longitud total de 5 metros flexible que permite la distribución a lo largo de las diferentes canastillas obteniendo una mejor distribución de la energía térmica.

Con la selección de los actuadores realizada se procede a diseñar los sistemas de control a través del modelamiento de la planta.

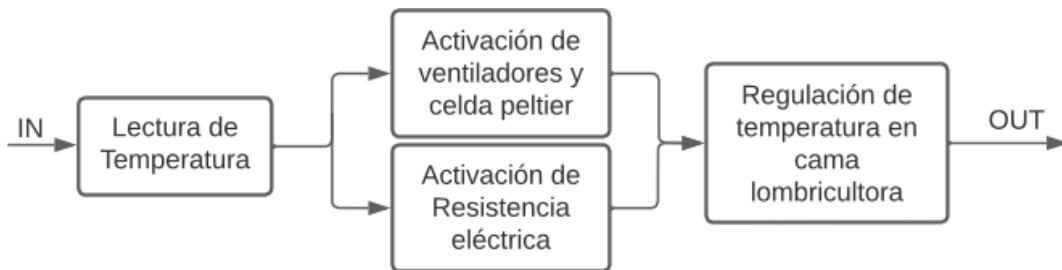
El primer sistema de control se basa en la medición y regulación del porcentaje de humedad, cuyo rango fue establecido para cada uno de los tratamientos, a continuación, se muestra el modelamiento general del sistema.



**Ilustración 28. Diagrama de bloques general para el control de humedad.**

Fuente: Propia de los autores.

Ahora se muestra el modelamiento general del sistema para control de temperatura, teniendo en cuenta la dinámica condicional de calentamiento o enfriamiento que se debe presentar en cada tratamiento.

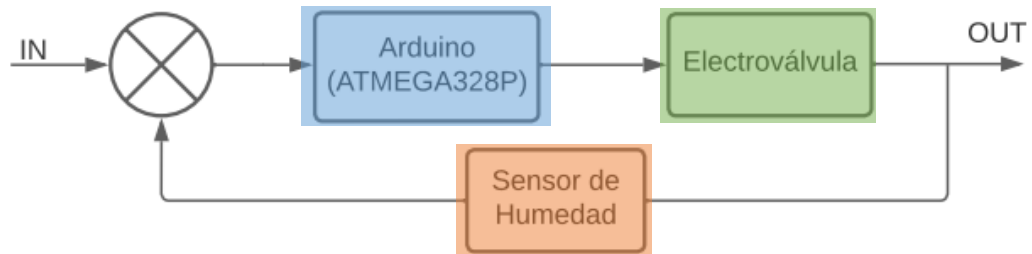


**Ilustración 29. Diagrama de bloques general para el control de temperatura.**

Fuente: Propia de los autores.

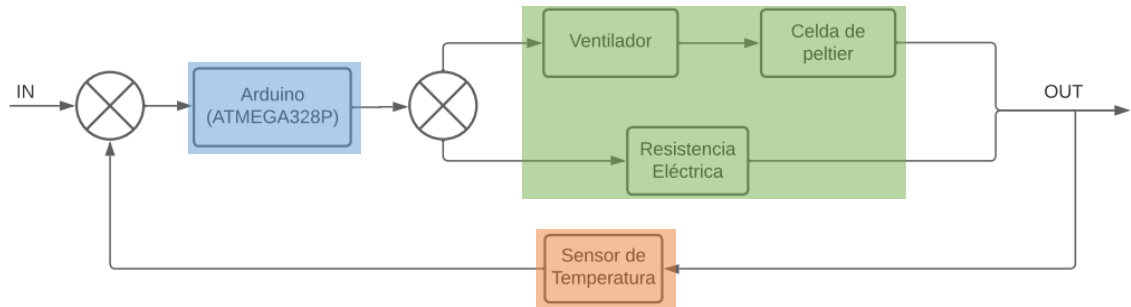
Se propusieron sistemas de control en lazo cerrado ya que el objetivo general se basa en el control continuo de las variables que afectan directamente la reproducción de la lombriz; gracias a la realimentación, se disminuye en gran medida las perturbaciones externas generando que el sistema sea menos sensible y se reduzca el rango de error en su respuesta.

A continuación, se presentan los diagramas en lazo cerrado para el sistema de control de humedad y temperatura.



**Ilustración 30. Diagrama de bloques específico para el control de humedad.**

Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 31. Diagrama de bloques específico para el control de temperatura.**

Fuente: Propia de los autores.

El recuadro azul resalta el controlador utilizado, el recuadro naranja simboliza los sensores que realimentan el sistema y el recuadro verde indica los actuadores.

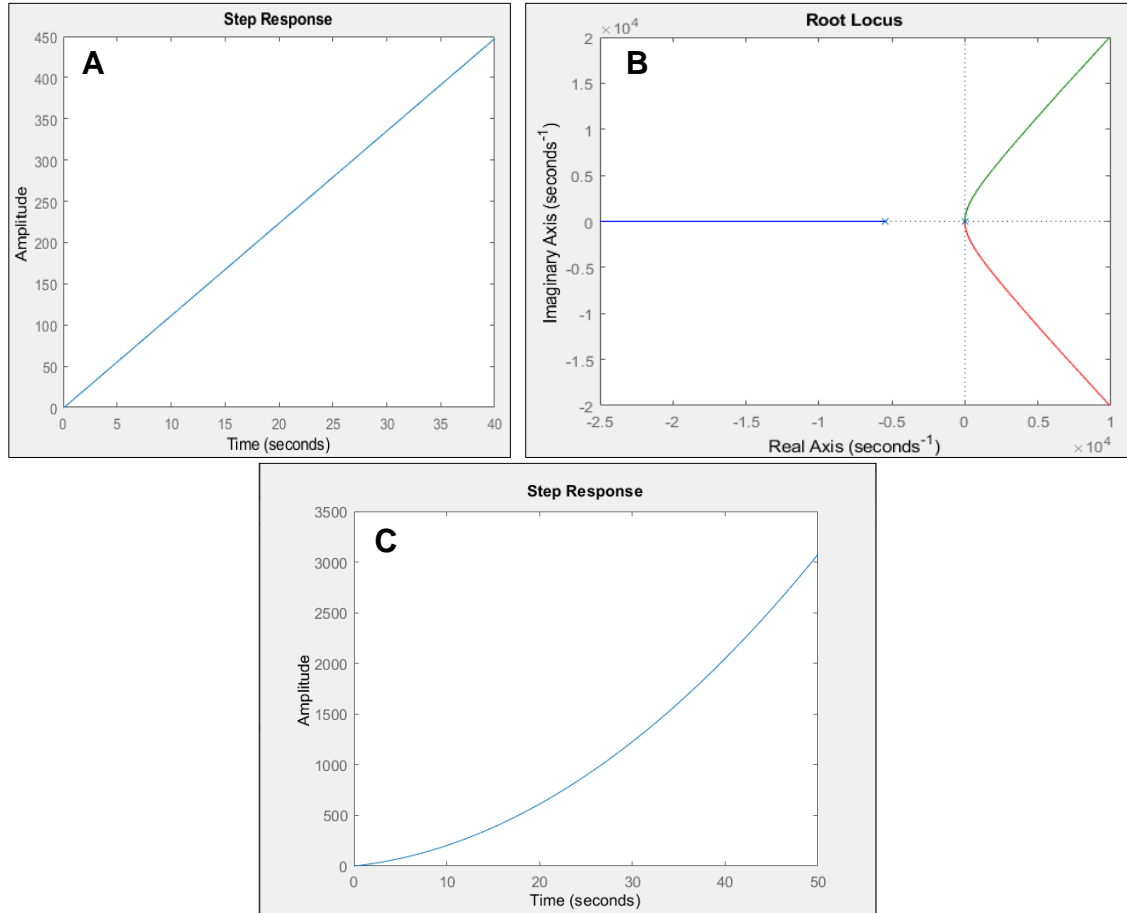
El sistema de control de humedad es un sistema de único actuador con realimentación de sensor; mientras que el control de temperatura está constituido por una condición de aumentar o disminuir la temperatura, por ello se presentan 3 actuadores en este elemento. El ventilador junto a la celda de Peltier ayuda a disminuir la temperatura, mientras que la resistencia eléctrica cumple la función de aumentarla según la lectura del sensor de realimentación.

## 2.1 CONTROL DE HUMEDAD

A partir de las características del actuador (electroválvula), se determinó la función de transferencia en frecuencia compleja a partir del dominio temporal como se presenta en la Eq(6).

$$G(S) = \frac{H(s)}{V(s)} = \frac{720712.1522s}{s(s+11.72828)(s+5485.138879)} \quad (6)$$

Este sistema es simulado obteniendo las siguientes ilustraciones como respuesta del sistema sin controlar a lazo abierto.



**Ilustración 32. Respuestas del sistema de humedad a lazo abierto.**

**A. Respuesta del sistema a lazo abierto; B. Lugar geométrico de las raíces del sistema lazo abierto sin controlar; C. Respuesta del sistema lazo cerrado sin controlar.**

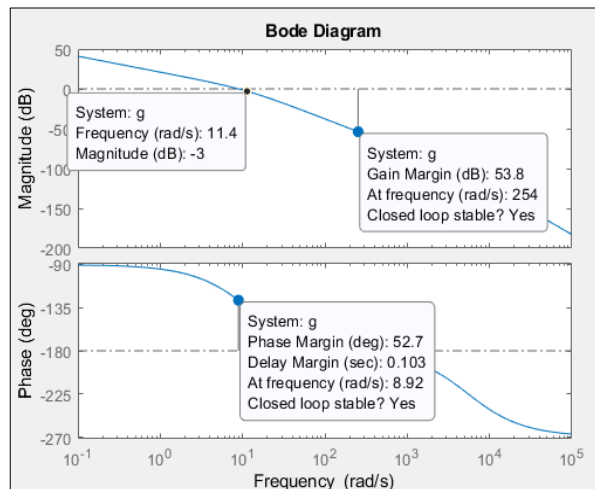
Fuente: Propia de los autores.

Como se puede observar en la ilustración 32a el sistema no llega a estabilizarse en ningún momento y presenta una respuesta de tipo creciente. Por otro lado, en el gráfico de lugar geométrico de las raíces (LGR) se tienen tres ramas asimétricas representando los tres polos que posee el sistema; esta asimetría confirma la inestabilidad de la planta.

Se realiza el cierre de lazo con retroalimentación por medio del sensor de humedad capacitivo SEN193 con el fin de observar la respuesta total del sistema obteniendo como resultado el siguiente comportamiento.

De acuerdo con el comportamiento del sistema a lazo cerrado se realiza el diseño de un compensador en adelanto de fase debido a que este permite modificar y regular la parte transitoria, por lo tanto, se realiza la elección de parámetros como tiempo de retardo y levantamiento con el fin de llegar finalmente a la estabilización del sistema y mantener la regulación necesaria para el comportamiento requerido.

Factor de amortiguamiento  $\zeta = 0.7$  para disminuir la velocidad de respuesta del sistema, y reducir el error de estado estable. El error de velocidad establecido para los parámetros de diseño corresponde a uno mayor a 20. La tolerancia se elige de 2% ya que el sistema necesita precisión para mantener la electroválvula encendida hasta que llegue al porcentaje de humedad necesario para el lombricultivo.



**Ilustración 33. Diagrama de bode del sistema de humedad a lazo abierto.**

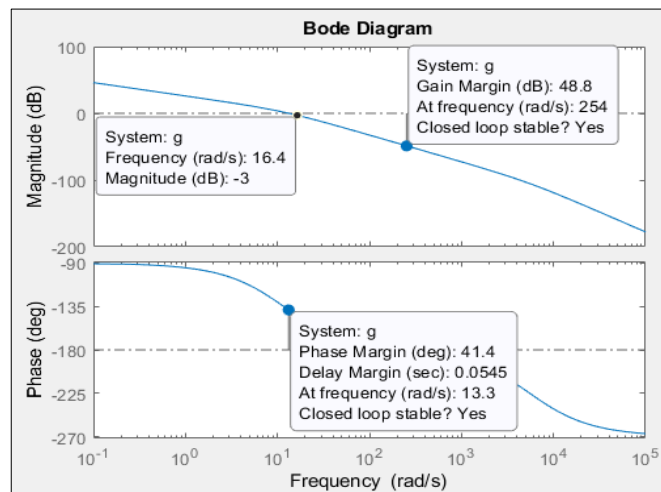
Fuente: Propia de los autores.

En el diagrama de Bode de la ilustración 33 se halló que el margen de fase es de 52.7° positiva, el margen de ganancia es de 52.8 dB positivo. También se observa que no se presentan picos de frecuencia ni de resonancia demostrando la estabilidad del sistema. Se procede a compensar la ganancia con el error de velocidad elegido en los parámetros iniciales, además de aplicarla directamente a

la función de transferencia, hallando la ganancia con un valor de 1.7825 y viéndose aplicada en la Eq (7).

$$G(s) = \frac{1286624.892}{s(s+11.72828)(s+5485.138879)} \quad (7)$$

A partir de la Eq(7), se realiza nuevamente la gráfica del diagrama de bode con la ganancia encontrada para determinar el margen de fase y ganancia actuales del sistema.



**Ilustración 34. Diagrama de bode sistema humedad con ganancia encontrada.**

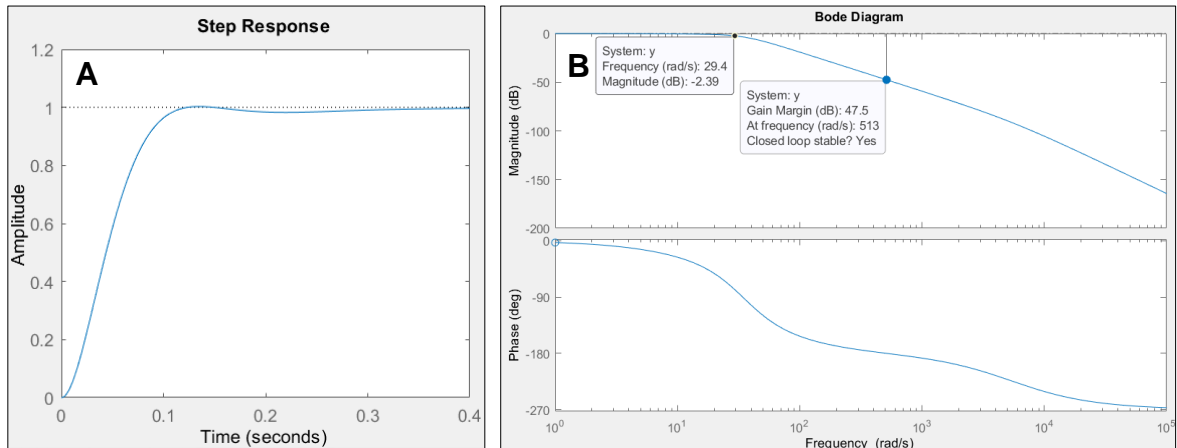
Fuente: Propia de los autores.

La respuesta del sistema después de aplicar la ganancia encontrada como se muestra en la ilustración 34 fue: margen de ganancia de 48.8dB y margen de fase de 41.4°, nuevamente se tiene un margen de fase y ganancia positivos, confirmando la estabilidad del sistema.

A continuación, se presenta la ecuación del sistema compensado completamente:

$$G(s) = \frac{6.08 \cdot 10^6 s + 5.905 \cdot 10^7}{s^4 + 5543s^3 + 316600s^2 + 9.033 \cdot 10^6 s + 5.905 \cdot 10^7} \quad (8)$$

Al simular el sistema compensado, se verificó la efectividad de los cambios realizados demostrando el acortamiento de la parte transitoria, y la estabilización del sistema en la parte estacionaria dentro de los tiempos esperados.



**Ilustración 35. Respuestas del sistema de humedad controlado.**

**A. Respuesta del sistema lazo cerrado controlado; B. Diagrama de bode del sistema compensado**

Fuente: Propia de los autores.

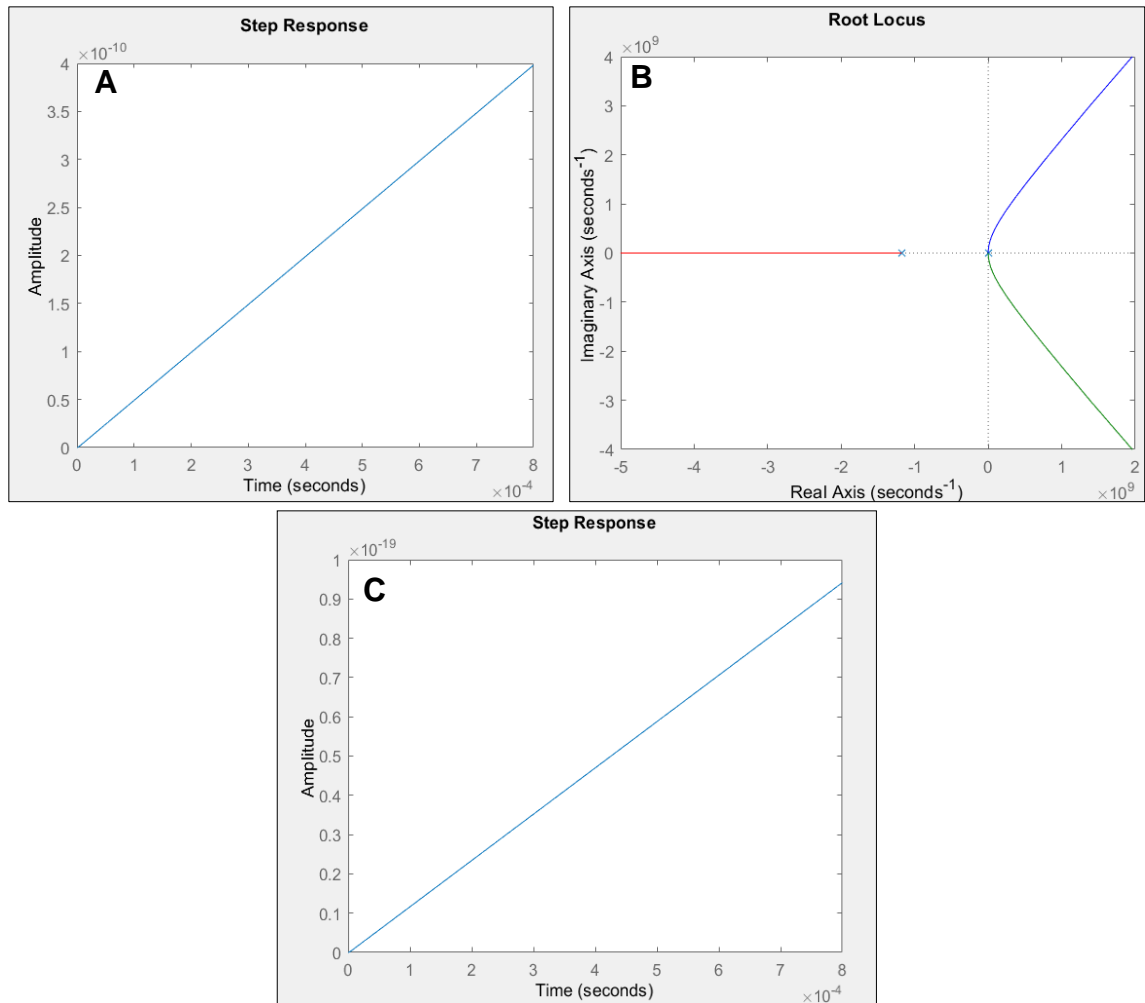
En la ilustración 35a se puede notar que el sistema se estabiliza en aproximadamente 0.3 segundos. El comportamiento obtenido no afecta el sistema ya que no existen sobre impulsos de gran magnitud entre la parte transitoria y la parte estacionaria; con esto se confirma que el compensador en adelanto de fase implementado cumple con su función de estabilizar el sistema de control de humedad.

## 2.2 CONTROL DE TEMPERATURA

Se determinó la función de transferencia en frecuencia compleja a partir del dominio temporal, teniendo en cuenta que se trabaja con 3 actuadores en este sistema de control, ver Eq(9).

$$G(S) = \frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{371729649.9}{(s+632539.768)(s+1178194959)(s)} \quad (9)$$

Este sistema es simulado obteniendo las siguientes ilustraciones como respuesta del sistema sin controlar.



**Ilustración 36. Respuestas del sistema de temperatura a lazo abierto.**

**A. Respuesta del sistema temperatura a lazo abierto; B. Lugar geométrico de las raíces del sistema sin controlar; C. Respuesta del sistema lazo cerrado sin controlar.**

Fuente: Propia de los autores.

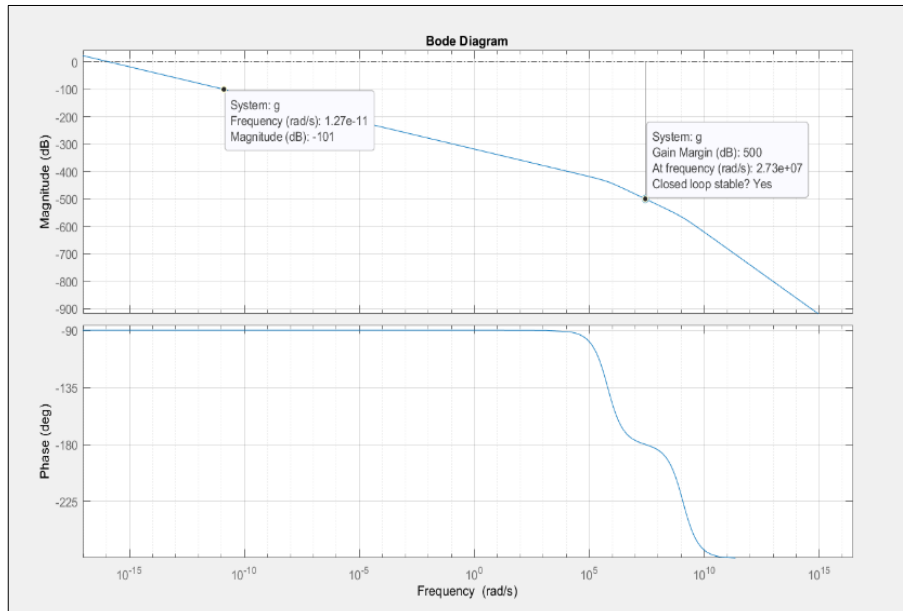
En la ilustración 36a se presenta que el sistema no se estabiliza en ningún instante de tiempo, además de observar la respuesta de tipo creciente. Al evaluar el lugar geométrico de las raíces se observan los 3 polos del sistema, 2 de ellos se encuentran al lado derecho según se muestra en la ilustración 36b confirmando la

inestabilidad del sistema; adicionalmente, no se percibe simetría en la gráfica lo que valida esta inferencia.

Se realiza el cierre de lazo con retroalimentación por medio del sensor de temperatura tipo sonda DS18B20 con el fin de observar el comportamiento del sistema. El sistema presenta una respuesta creciente linealmente demostrando el aumento en la parte transitoria del modelo.

Por medio de un compensador de atraso se permite, suprimir los efectos de ruido en altas frecuencias, esto dado a la cantidad de actuadores que deben trabajar al tiempo, lo que puede generar un aumento de ruido en el sistema general, por lo tanto, al controlar este factor se genera una ventaja significativa para mantener las condiciones ideales; adicionalmente, mejora la respuesta del sistema volviendo más lenta la parte transitoria evitando daños y/o errores en los componentes de la planta.

Para los parámetros iniciales de diseño, el factor de amortiguamiento elegido es de  $\zeta = 0.8$ , ya que disminuye la velocidad de respuesta del sistema, así como también elimina en su mayoría el error de estado estable. El error de velocidad establecido para los parámetros de diseño corresponde a uno mayor a 20. La tolerancia se elige de 2% ya que el sistema necesita precisión a razón que cada actuador sea utilizado en el momento indicado.



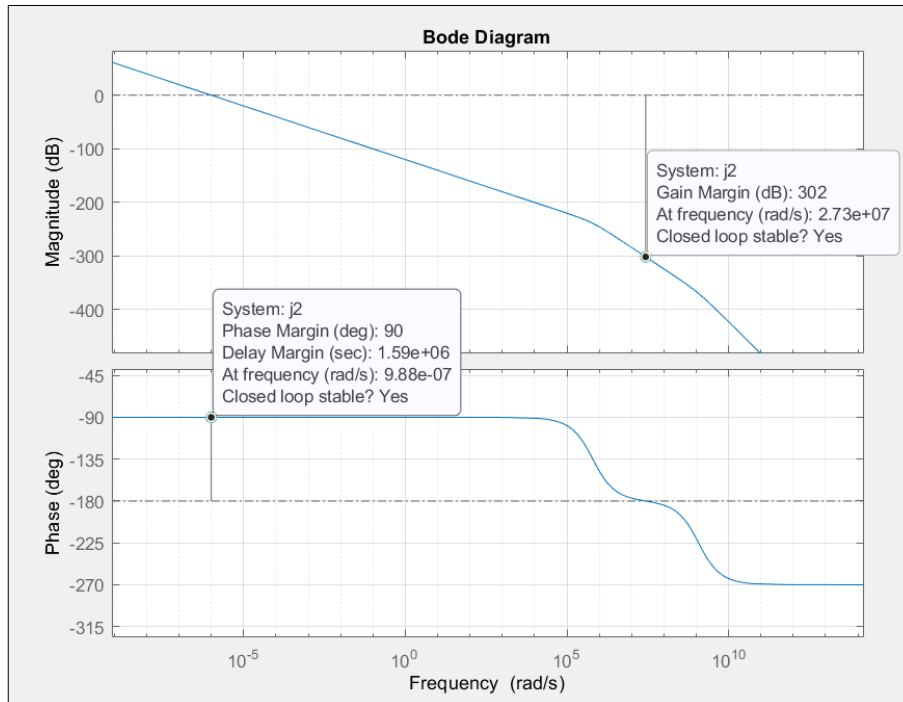
**Ilustración 37. Diagrama de bode del sistema de temperatura a lazo abierto.**

Fuente: Propia de los autores.

Se determina que el margen de ganancia es de 500dB positivo, mientras que el margen de fase tiende a ser infinito demostrando la inestabilidad del sistema. Por otro lado, no se tienen picos de frecuencia ni de resonancia. Se procede a compensar la ganancia con el error de velocidad elegido en los parámetros iniciales, además de aplicarla directamente a la función de transferencia, hallando la ganancia por un valor de 1.98 y viéndose aplicada en la Eq (10).

$$G(s) = \frac{7.36 \cdot 10^8}{s^3 + 1.179 \cdot 10^9 s^2 + 7.453 \cdot 10^{14} s} \quad (10)$$

A partir de la Eq (10), se realiza nuevamente la gráfica del diagrama de bode con la ganancia encontrada para determinar el margen de fase y ganancia actuales del sistema.



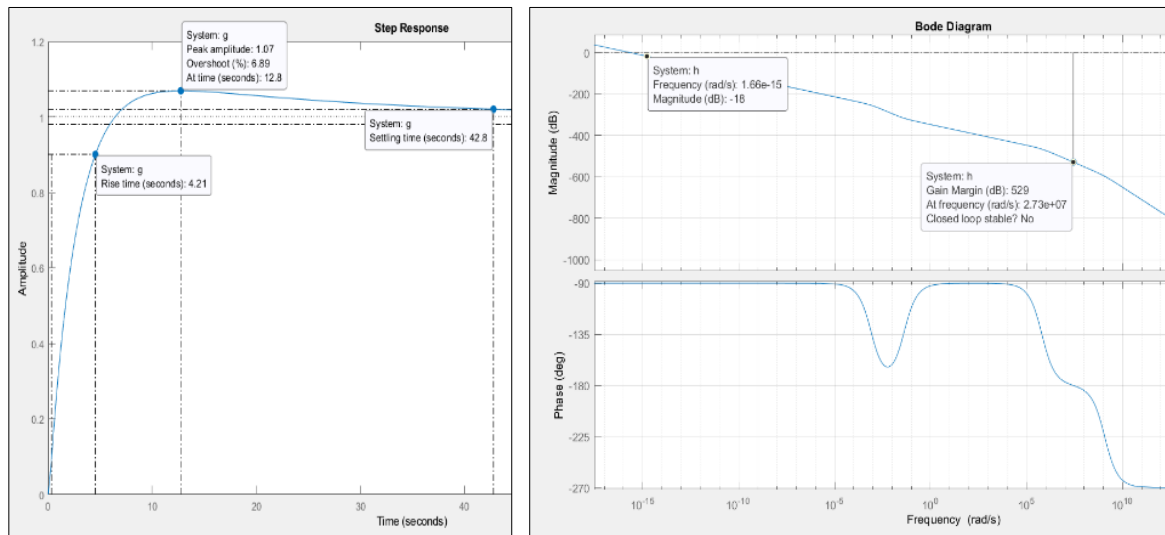
**Ilustración 38. Diagrama de bode sistema temperatura con ganancia encontrada.**

Fuente: Propia de los autores.

La respuesta del sistema después de aplicar la ganancia encontrada como se muestra en la ilustración 38 fue margen de ganancia de 302dB y margen de fase de 90°. Se tiene un margen de fase y ganancia positivos, confirmando la estabilidad del sistema. Por otro lado, aumento significativamente el ancho de banda hasta un valor de  $1.4 \cdot 10^{-6}$  rad/s, lo que indica que disminuyo la respuesta transitoria y la volvió más lenta.

A pesar de la notable mejora por el lado del análisis del diagrama de bode, la respuesta del sistema continua sin estabilización. Por tal motivo se calculan los parámetros del compensador en atraso, la ecuación del sistema compensado completamente es la siguiente:

$$G(s) = \frac{0.003191s + 0.0001295}{s^4 + 1.179 \cdot 10^9 s^3 + 7.453 \cdot 10^4 s^2 + 6.186 \cdot 10^{11} s} \quad (11)$$



**Ilustración 39. Respuestas del sistema de temperatura controlado.**

**A. Respuesta del sistema lazo cerrado compensado; B. Diagrama de bode del sistema compensado.**

Fuente: Propia de los autores.

El sistema demuestra una parte transitoria y una parte estacionaria cumpliendo con el objetivo de implementación del compensador.

En la ilustración 39a se puede notar que el sistema se estabiliza en aproximadamente 42.8 segundos. El comportamiento obtenido no afecta el sistema ya que no existen sobre impulsos de gran magnitud entre la parte transitoria y la parte estacionaria que afecten los actuadores utilizados; esto confirma que el compensador en atraso de fase implementado para este sistema cumple con la función de estabilizar el sistema de control de temperatura.

### 2.3 Sistema de alimentación de energía diseño experimental

Para la etapa experimental se utiliza una fuente de alimentación las siguientes características:

Voltaje de entrada: 110 V – 220 V AC

Voltaje de salida: 12 V

Potencia Máxima: 360 W

Con esta fuente se tiene la suficiente capacidad de alimentación para todos los sistemas de monitoreo, control y actuadores de la etapa de potencia del experimento realizado.

Consumo de potencia de sistemas de monitoreo y control (12 VDC) = 76.5 W

Consumo de potencia de actuadores (12 VDC) = 278.4 W

Consumo total de potencia a 12 V = 355 W

Consumo de potencia de actuadores a 110 VAC (resistencia eléctrica) = 148 W



**Ilustración 40. Diagrama alimentación eléctrica diseño experimental.**

Fuente: Propia de los autores.

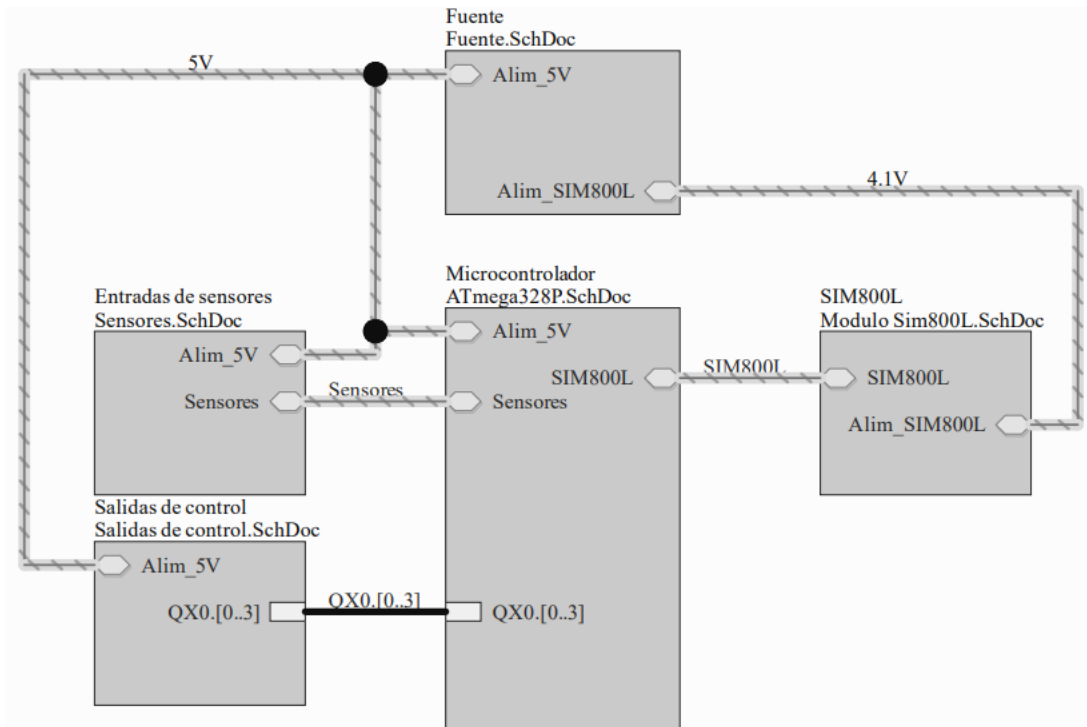
En la aplicación, se realizó el diseño de una PCB. Para esto, se calculó la potencia consumida en todo el sistema obteniendo la siguiente tabla:

**Tabla 21. Potencia consumida en diseño experimental.**

	<b>Corriente (mA)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Potencia (mW)</b>
<b>Comunicación</b>			
<b>LM2596 alimenta</b>	<b>2000</b>	<b>4.1</b>	<b>8200</b>
<i>sim800L</i>	2000	4.1	8200
<b>Sistemas a 5V</b>			
<b>LM7805 alimenta</b>	<b>470.5</b>	<b>5</b>	<b>2352.5</b>
<i>Arduino (ATMEGA328P)</i>	25	5	125
<i>Sensor de radiación</i>	100	5	500
<i>Sensor temperatura DS18B20</i>	20	5	100
<i>Higrómetro capacitivo</i>	5	5	25
<i>DHT22</i>	3	5	12.5
<i>Control Relé 1</i>	30	5	150
<i>Control Relé 2</i>	30	5	150
<i>Control Relé 3</i>	30	5	150
<i>Control Relé 4</i>	30	5	150
<b>Actuadores</b>			
<i>Electroválvula</i>	1000	12	12000
<i>2 ventiladores</i>	600	12	7200
<i>Celda Peltier con Ventilador</i>	5000	12	60000
<i>Ventilador celda Peltier</i>	200	12	2400
<i>Resistencia Eléctrica</i>	670	110	74000

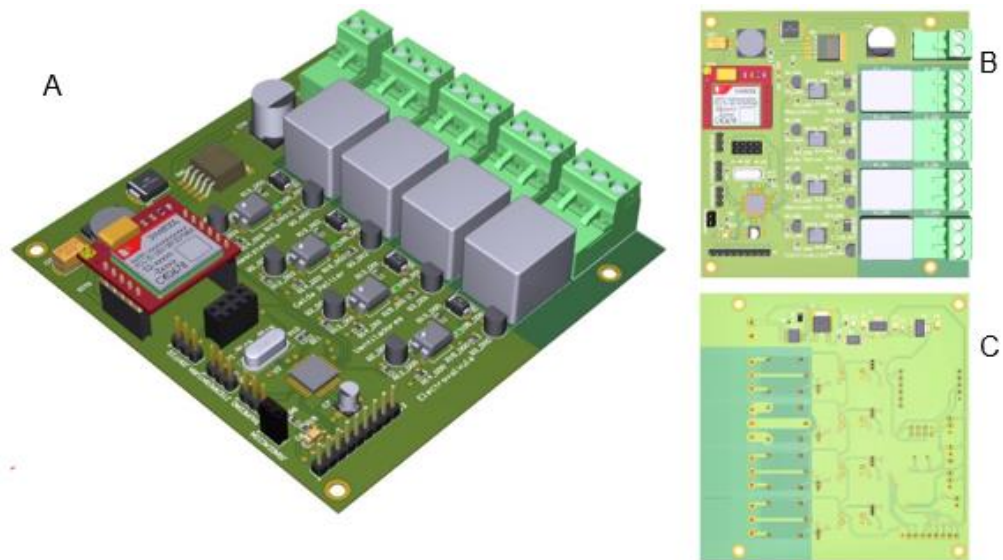
Fuente: Propia de los autores.

En las siguientes imágenes, se muestra el esquemático electrónico de la PCB, junto con su diseño en 3D representados en la imagen 9, 10, 11 y 12.



**Ilustración 41. Esquema electrónico sistema de monitoreo y control.**

Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 42. Vistas en 3D sistema de monitoreo y control.**

**A. Vista isométrica de PCB, diseño 3D; B. Vista superior de PCB; C. Vista inferior de PCB.**

Fuente: Propia de los autores.

Se tienen diferentes etapas como se muestra en la ilustración 41:

Etapa 1: Alimentación.

Se cuenta con una bornera donde ingresa un voltaje de 12 V, regulado a 4.1V a través de un convertidor de corriente directa a corriente directa (DC-DC) reductor asíncrono LM2596, con el cual se alimenta el módulo SIM800L (según de muestra en la tabla 21 de potencia consumida en el diseño experimental). Por otro lado, a través de un regulador lineal, se entrega la alimentación hacia los sensores, microcontrolador y etapa de control del sistema (5 V).

Etapa 2: Conexión de sensores (entradas del sistema).

Se cuenta con 4 conectores tipo Header, donde se realizan las conexiones de los diferentes sensores seleccionados. Teniendo en cuenta los rangos de corriente y voltaje que operan los sensores seleccionados, no es necesario el aislamiento de estas entradas al sistema.

Etapa 3: Control.

En esta etapa se encuentra el microcontrolador ATMEGA328P encargado del procesamiento de las señales de los sensores y de dar respuesta generando salidas hacia los actuadores de acuerdo con los compensadores diseñados; así mismo también se encarga de enviar los datos respectivos hacia el módulo de comunicación GSM.

Etapa 4: Comunicación.

Se cuenta con un modem GSM, este recibe los datos procesados por el microcontrolador y los envía hacia la plataforma IoT ThingSpeak.

Etapa 5: Potencia (conexión de actuadores).

En esta etapa se cuenta con un arreglo de transistores, optoacopladores y dispositivos electromagnéticos encargados de aislar las señales de los actuadores con las del sistema de control, teniendo en cuenta las diferencias de potencia que se manejan entre estos sistemas.

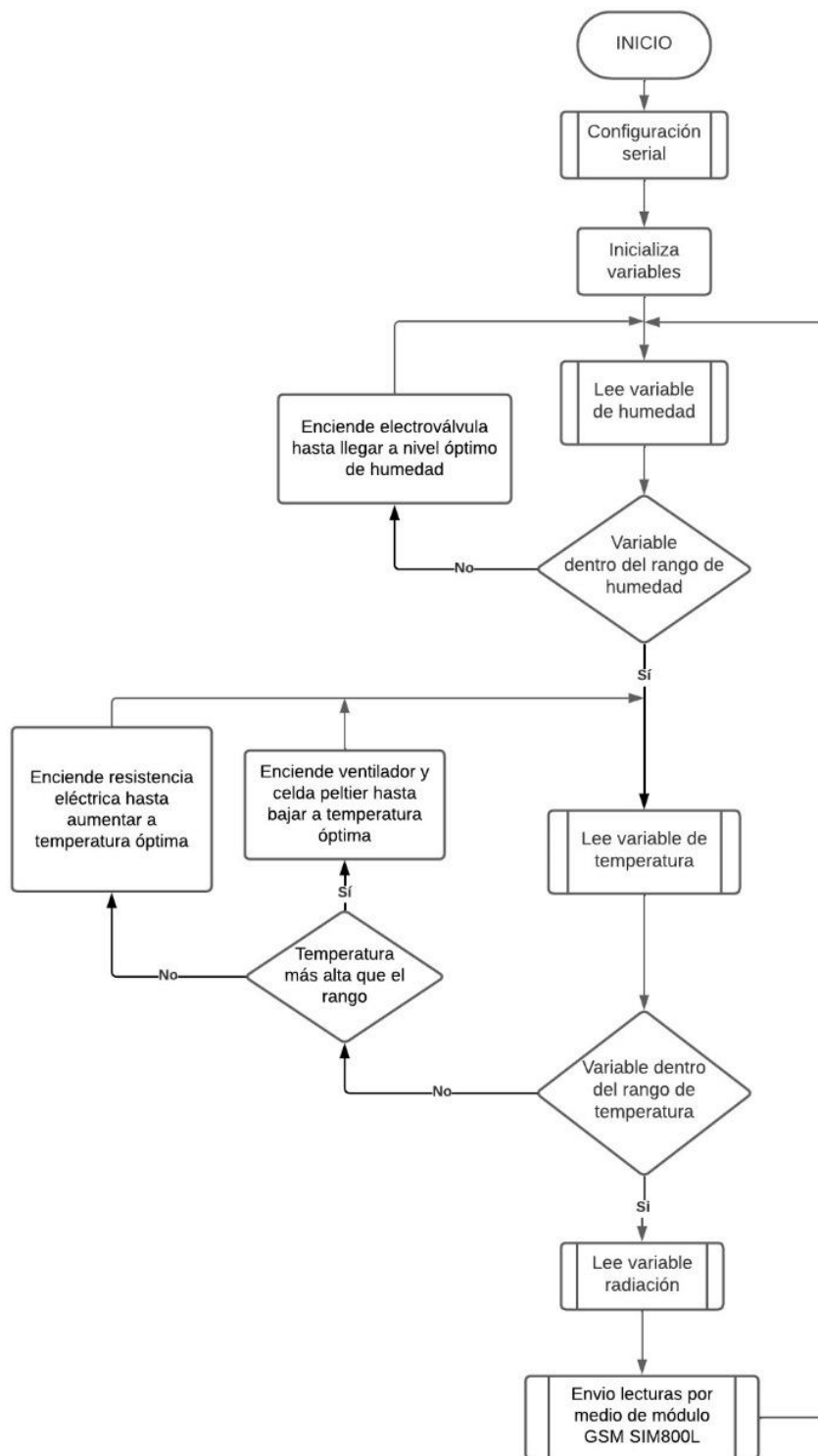


**Ilustración 43. Ensamble sistema de monitoreo y control.**

**En el [anexo 2](#), se encuentran los planos mecánicos del sistema de monitoreo y control.**

Fuente: Propia de los autores.

El algoritmo de funcionamiento del microcontrolador para los sistemas de control se muestra en la ilustración 44.



**Ilustración 44. Algoritmo de microcontrolador (sistema de control).**

Fuente: Propia de los autores.

## Inicio del diseño experimental

El experimento realizado consistió en colocar bandejas plásticas con materia orgánica y 5 lombrices c/u para cada uno de los tratamientos experimentales al igual que en el trabajo realizado por Miguel Schuldt & Testa (2011); a cada uno de los tratamientos se le asignaron 3 réplicas, cada una con diferente tipo de materia orgánica: a) Desechos de frutas, verduras y hortalizas (Dieta 1); b) Estiércol de oveja (50%) mezclado con estiércol de caballo (50%) (Dieta 2); y c) Estiércol vacuno (Dieta 3).

Cada una de las dietas fue dispuesta en bandejas plásticas (Pet) de 16x14x4 cm, se llenaron los recipientes con alimento hasta el borde. Cada bandeja fue introducida en otra de 26x18,5x5,5 cm con agua, esto con el fin de generar una trampa para mantener el control sobre las lombrices que deseaban fugarse en búsqueda de sustratos más adecuados. La trampa líquida contó con alturas de 2 a 3 cm para retener a los animales fugados que generalmente sobreviven más de 12 horas en el agua (Schuldt & Testa, 2010).

Tras 65 días de permanencia en las bandejas, se evaluó la densidad poblacional para determinar la incidencia de los niveles de cada variable en la biología reproductiva de las lombrices. Este lapso de 65 días se elige para evitar que los animales de algún cocón eclosionado evolucionen y proporcionen nuevos adultos que puedan confundirse con los progenitores iniciales. Las experiencias se iniciaron el 12.02.2023 y finalizaron el 18.04.2023.

Todas las dietas fueron aceptadas de inmediato por los animales, sin fugas ni mortalidad; según Miguel Schuldt & Testa (2011), el desplazamiento superficial sin ingreso al sustrato transcurridos 5 minutos es un comportamiento que indica falta de aceptación del alimento. La materia orgánica fue precompostada durante 15 días, período en el cual se dejó secar y se desmenuzó para facilitar la alimentación de la *Eisenia Foetida* durante el diseño experimental. Al iniciar el experimento se

humedeció la materia orgánica de acuerdo con los niveles correspondientes a cada una de las réplicas (bandejas).

Cabe aclarar que se utilizaron individuos de *Eisenia Foetida* adultas con tallas de 5 a 9 cm procedentes del lombricultivo del productor 6.



**Ilustración 45. Aceptación de materia orgánica por parte de las lombrices.**

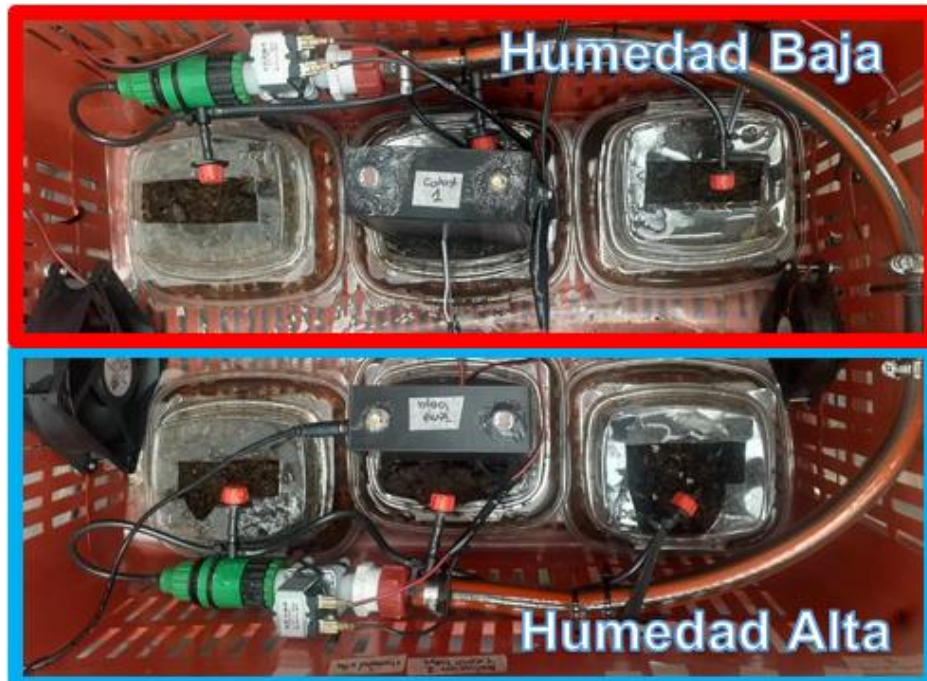
Fuente: Propia de los autores.

La inspección periódica de la trampa indica la aceptación del sustrato por parte de la lombriz roja californiana, la aparición de animales en la trampa de agua es una señal directa del intento de fugas (Schuldt, Rumi, & Gutiérrez Gregoric, 2005).

Las bandejas fueron puestas dentro de cuatro diferentes cestillos donde se controló la temperatura y radiación, esto con el fin de mantener volúmenes cerrados y facilitar

la implementación de los sistemas de control. Dentro de cada cestillo se controló la humedad porcentual correspondiente a cada tratamiento experimental.

Cestillo 1: Temperatura baja, sin cubrir (radiación porcentual alta)



**Ilustración 46. Cestillo 1 diseño experimental.**

Fuente: Propia de los autores.

Cestillo 2: Temperatura baja, cubierto (radiación porcentual baja)



**Ilustración 47. Cestillo 2 diseño experimental.**

Fuente: Propia de los autores.

Cestillo 3: Temperatura alta, sin cubrir (radiación porcentual alta)



**Ilustración 48. Cestillo 3 diseño experimental.**

Fuente: Propia de los autores.

Cestillo 4: Temperatura alta, cubierto (radiación porcentual baja)



**Ilustración 49. Cestillo 4 diseño experimental.**

Fuente: Propia de los autores.

A lo largo de toda la experiencia, se revisó semanalmente la trampa de agua de cada bandeja encontrando algunas fugas en 2 réplicas del tratamiento 8 y 1 réplica del tratamiento 3 [Ver Tabla 12](#) (Niveles de cada tratamiento experimental); se deduce que las fugas son presentadas por el alto contenido de humedad presente en estos tratamientos.

El día 65 (18.04.2023) se realizó el análisis de densidad poblacional en cada bandeja; se llevaron a cabo conteos de número de cocones (eclosionados y sin eclosionar), cantidad de lombrices jóvenes, subadultas y adultas, estos datos fueron utilizados posteriormente para el cálculo de fecundidad y potencial reproductor ( $R''$ ). Cabe aclarar que se tomaron en cuenta las recomendaciones realizadas por (Schuldt & Testa, 2010) para este proceso de conteo; según estos autores el desmenuzado insuficiente de la materia orgánica conlleva a la falta de detección de algunos cocones eclosionados; esto genera cálculos erróneos en la tasa de eclosión y fecundidad.

Se menciona adicionalmente que por esta razón algunos autores han obtenido valores que tienden a 22 lombrices / cocón para la fecundidad, cuando los valores máximos esperados se deberían encontrar entre 0 - 9 lombrices / cocón; el tiempo de análisis en cada bandeja indica el cuidado del investigador, ya que la evaluación de cada replica demora aproximadamente 1 hora. Quien realiza la evaluación, debe tener el entrenamiento adecuado para reconocer correctamente las clasificaciones de *Eisenia Foetida* (Schuldt & Testa, 2011).

Los autores de este proyecto recibieron el entrenamiento necesario al haber realizado las mismas mediciones en la etapa 2 de este proyecto (seguimiento de condiciones iniciales); en este se logró reconocer la dificultad de los conteos de cocones y lombrices jóvenes especialmente.

El promedio obtenido para cada uno de los tratamientos se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 22. Resultados reprobilógicos diseño experimental.**

Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8
Cocones eclosionados	16.67	12.67	14.33	17.33	28.00	26.33	29.67	9.00
Cocones sin eclosionar	32.33	31.33	32.67	34.67	50.67	44.33	48.00	17.33
Lombrices Jóvenes	11.67	33.00	18.00	21.33	14.33	22.00	27.00	16.00
Lombrices Subadultas	3.33	14.00	3.00	10.33	4.00	11.33	9.33	3.67
Lombrices Adultas	7.00	4.33	4.33	5.00	5.00	5.00	4.00	3.67
Fecundidad	0.70	2.61	1.26	1.23	0.51	0.84	0.91	1.78
Producción cocones	1.06	0.95	1.01	1.12	1.69	1.52	1.67	0.57
Potencial reproductor (para 100 lombrices)	3841.60	12838.74	6610.60	7168.00	4510.22	6612.25	7916.76	5243.26
Potencial reproductor por lombriz	38.42	128.39	66.11	71.68	45.10	66.12	79.17	52.43
Tasa de eclosión	34.01%	28.79%	30.50%	33.33%	35.59%	37.26%	38.20%	34.18%

Fuente: Propia de los autores.

Los cálculos de fecundidad, producción cocones, potencial reproductor por lombriz y tasa de eclosión, se obtuvieron a través de las siguientes ecuaciones provenientes de (Schuldt & Testa, 2010, 2011). Las variaciones en estos cálculos brinda información sobre fugas, colonización de sustratos y el grado de apiñamiento (Schuldt et al., 2007).

$$Fecundidad \left[ \frac{Lombriz}{cocón} \right] = \frac{Lombrices \text{ Jóvenes}}{cocones \text{ eclosionados}} \quad (12)$$

$$Producción \text{ cocones} \left[ \frac{cocones}{lombriz \text{ adulta} * semana} \right] = \frac{Total \text{ cocones}}{(Cantidad \text{ lombrices} \text{ adultas} * Cantidad \text{ semanas})} \quad (13)$$

$$Potencialreproductor \left[ \frac{Lombriz}{adulto * año} \right] = Fecundidad * producción \text{ cocones} * cantidad \text{ semanas} \text{ año} \quad (14)$$

$$Tasa \text{ de} \text{ eclosión} [\%] = \frac{Cocones \text{ eclosionados}}{Total \text{ cocones}} \quad (15)$$

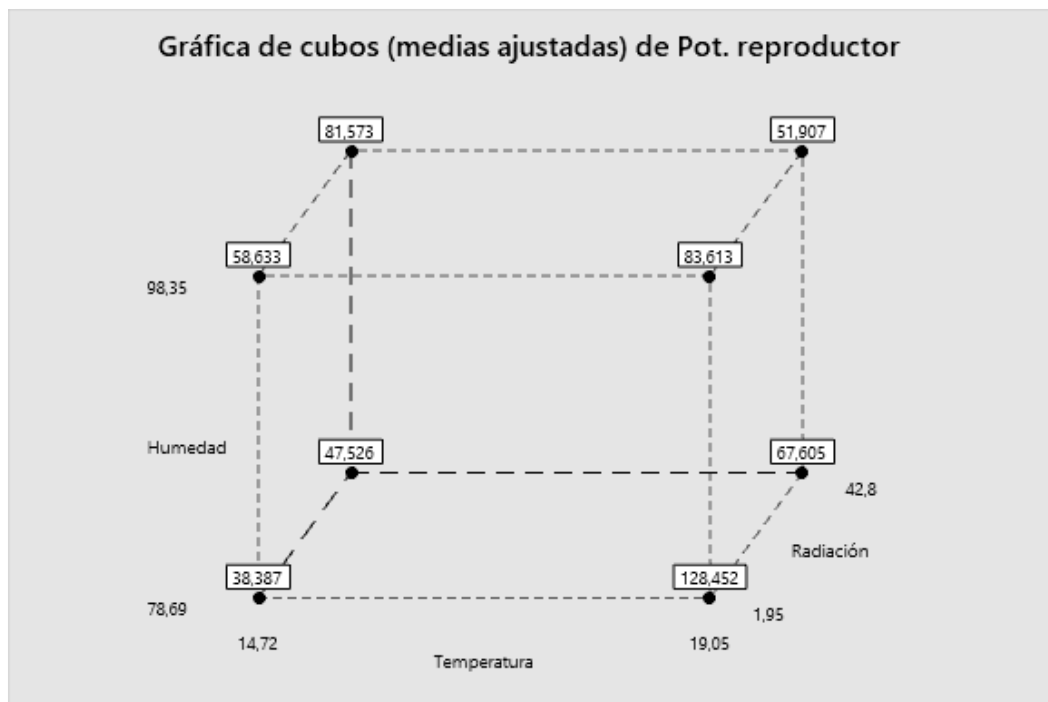
Donde:

Cantidad lombrices adultas: 5 lombrices con las cuales se inició el experimento en cada réplica.

Cantidad semanas: 65 días/7 días por semana; esto se debe a que el experimento presenta una duración de 65 días en total.

Cantidad semanas al año: 52 semanas; este valor se utiliza para estimar el potencial reproductor en un año.

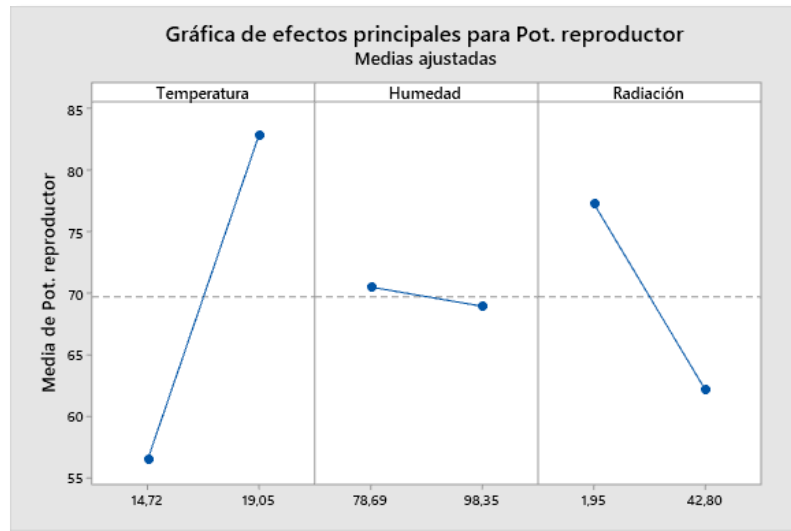
A continuación; se presentan los resultados del análisis estadístico realizado al potencial reproductor del diseño experimental a través del software Minitab:



**Ilustración 50. Gráfica de cubos para potencial reproductor.**

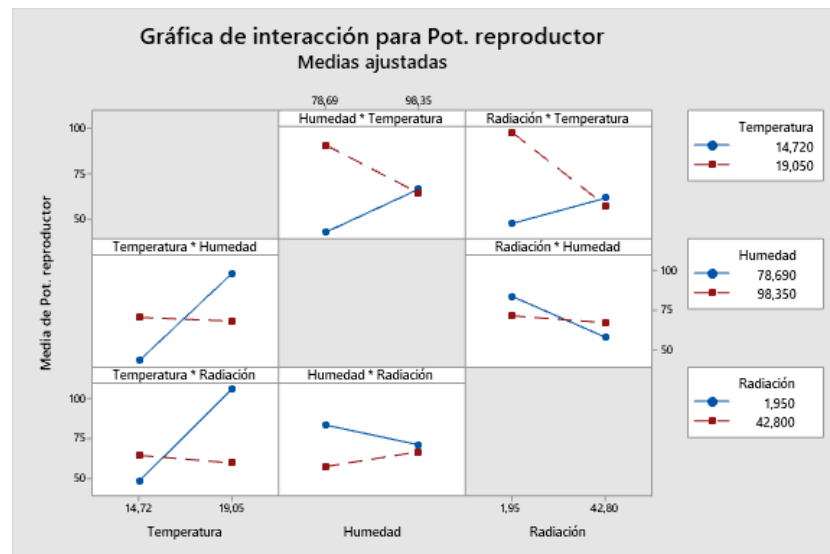
Fuente: Propia de los autores.

En esta imagen se observa el potencial reproductor para cada uno de los tratamientos en los vértices del cubo, también se muestra el promedio obtenido para los niveles de cada variable.



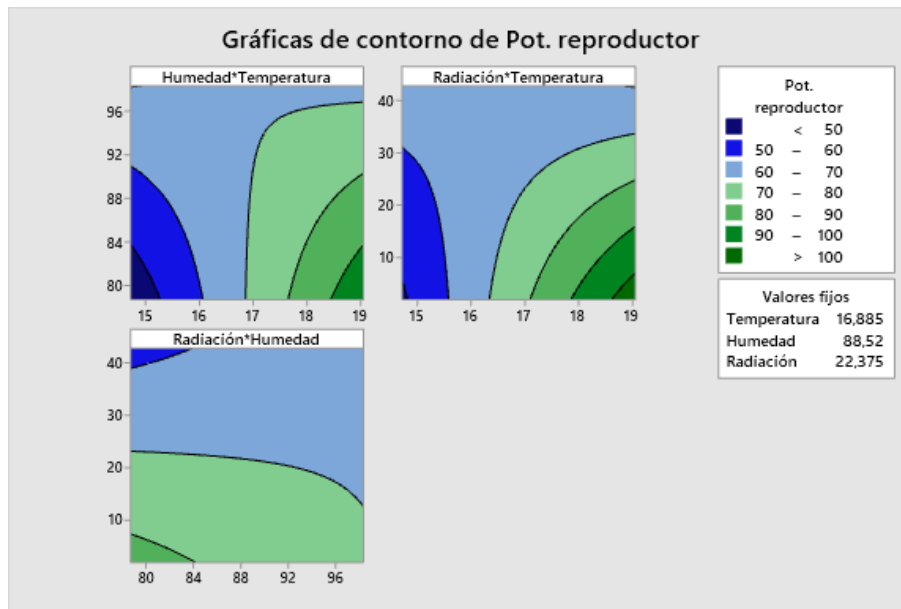
**Ilustración 51. Efectos principales para potencial reproductor.**

Fuente: Propia de los autores.



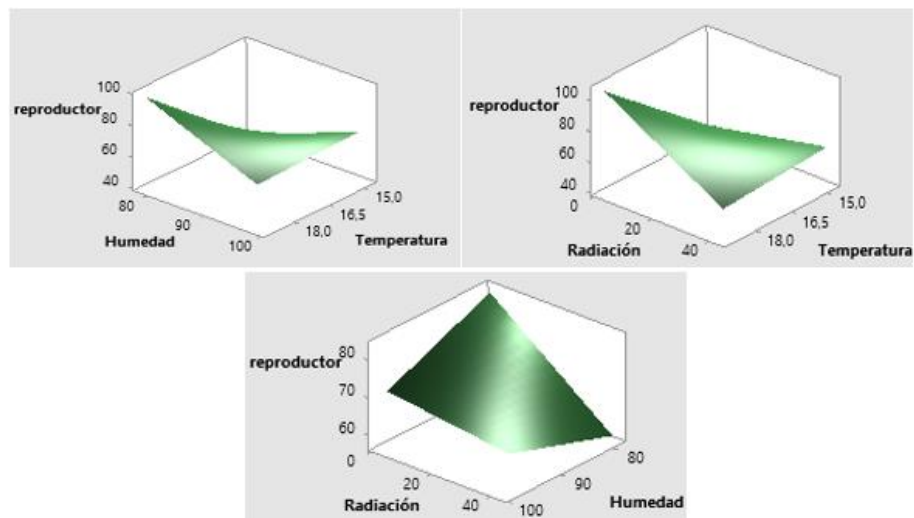
**Ilustración 52. Interacción entre variables para potencial reproductor.**

Fuente: Propia de los autores.



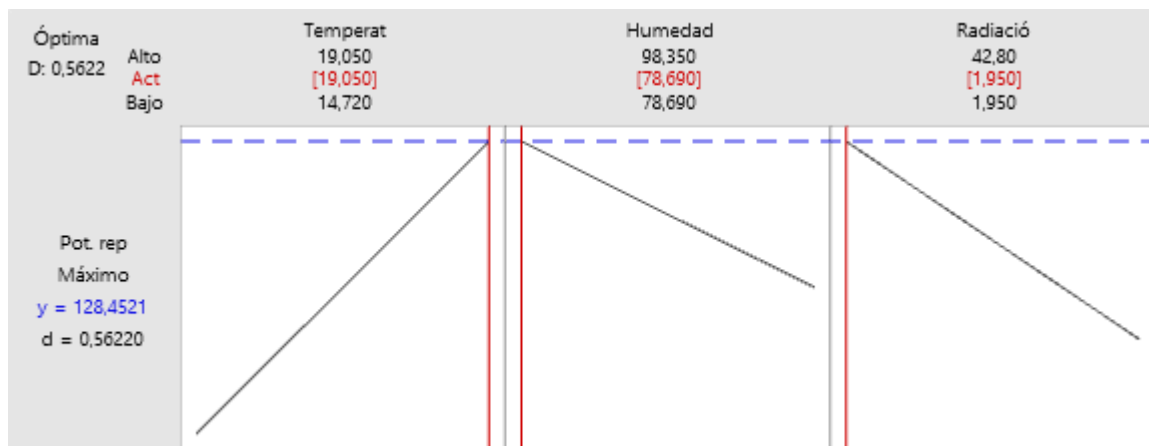
**Ilustración 53. Diagramas de contornos para potencial reproductor.**

Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 54. Diagrama de superficies para potencial reproductor.**

Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 55. Optimización de respuesta de potencial reproductor.**

Fuente: Propia de los autores.

En la tabla 23 (Condiciones promedio de tratamientos del diseño experimental), se muestran los valores reales obtenidos para cada uno de los tratamientos experimentales a través de los sistemas de control de humedad y temperatura. Cabe aclarar que la variación en la radiación porcentual para los tratamientos 5, 6, 7 y 8 se debe a que estos tratamientos estuvieron expuestos únicamente a la radiación solar; en las noches se reduce este valor a cero, mientras que en el día se presentan altos porcentajes de radiación.

**Tabla 23. Condiciones promedio de tratamientos del diseño experimental.**

Tratamiento	Temperatura (°C)		Humedad porcentual (%)		Radiación porcentual (%)	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
1	13.20	0.72	75.24	4.17	0.13	2.87
2	18.49	0.98	78.29	3.75	1.60	9.65
3	14.35	1.48	98.93	4.89	0.75	3.65
4	18.39	0.86	96.58	5.21	2.29	10.40
5	14.63	0.38	76.68	4.49	32.83	39.76
6	19.30	0.85	79.26	2.81	41.23	41.99
7	14.82	0.93	94.85	10.34	35.08	42.27
8	19.53	1.06	99.99	0.32	47.36	44.34

Fuente: Propia de los autores.

### Etapa 3

En la última etapa de la investigación se realiza un análisis de productividad en un lombricultivo iniciado desde cero bajo las mejores condiciones encontradas en el diseño experimental, esta fase inició el día 30 de abril de 2023 en el predio del productor 6; la selección de este lombricultivo se realizó a través de un muestreo no probabilístico intencional puesto que las condiciones de temperatura y radiación porcentual fueron similares a las mejores condiciones obtenidas en la etapa experimental; solamente fue necesario emplear un sistema de control de humedad. Se muestran evidencias de los seguimientos realizados a lo largo de 3 meses sobre este lombricultivo:



**Ilustración 56. Inicio lombricultivo de 1 m<sup>2</sup> con materia orgánica precompostada.**

**Se inicio el lombricultivo con aproximadamente 50 Kg de materia orgánica.**

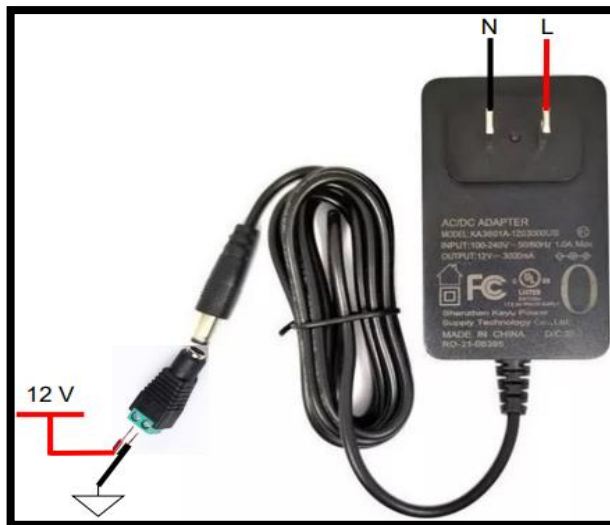
Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 57. Instalación de sistema de control en etapa final.**

Fuente: Propia de los autores.

Para esta etapa se utilizó nuevamente la fuente de alimentación tipo adaptador empleada para los sistemas de monitoreo:



**Ilustración 58. Adaptador para el sistema de monitoreo y control (etapa final).**

Fuente: Propia de los autores.

Voltaje de entrada: 110 V – 240 V AC

Voltaje de salida: 12 V

Máxima corriente de salida: 3 A

Potencia Máxima: 36 W

Consumo de potencia de sistemas de monitoreo y control (12 VDC) = 10.55 W

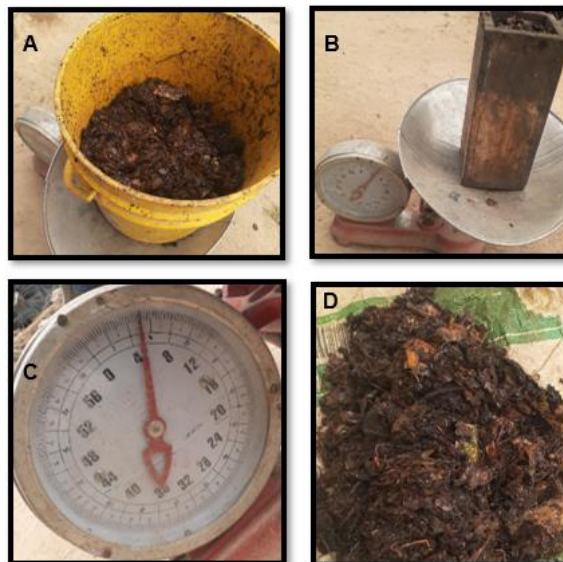
Consumo de potencia de actuadores (12 VDC) = 19.2 W

Consumo total de potencia a 12 V = 29.75 W



**Ilustración 59. Trampeo de individuos en lombricultivo antiguo.**

Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 60. Pesaje, muestreo y conteo de lombrices.**

**A. Pesaje del trampeo; B y C. Pesaje muestra; D. Conteo de lombrices.**

Fuente: Propia de los autores.

Se recogieron 5.45 Kg de lombriz con materia orgánica, de esta se tomó una muestra de 1.27 Kg para identificar la densidad poblacional, obteniendo 627 lombrices adultas; en total se inició el lombricultivo con 2,687 lombrices aproximadamente.



**Ilustración 61. Revisión de lombricultivo 15 días.**

Fuente: Propia de los autores.

**Ilustración 62. Revisión de lombricultivo 28 días.**

**A los 28 días de iniciado el lombricultivo, se agregaron 32 Kg de materia orgánica.**

Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 63. Incorporación de materia orgánica precompostada.**

Fuente: Propia de los autores.

En la tabla 24, se muestran las diferentes alimentaciones realizadas a lo largo del proceso productivo, para esto se empleó estiércol equino junto con desechos de frutas y verduras:

**Tabla 24. Alimentación del lombricultivo durante los 3 meses.**

Día de Alimentación	Materia orgánica agregada (Kg)	Agua agregada (Litros)	Agua agregada
1	50	9	Agua lluvia
28	32	18	Agua lluvia
41	24	18	Lixiviado
48	25	18	Agua lluvia
62	53	18	Lixiviado
70	0	18	Lixiviado
76	60	18	Lixiviado
<i>Total</i>	244	117	

Fuente: Propia de los autores.

El agua empleada para el riego de este lombricultivo fue una mezcla de lixiviado (72 litros) y agua de lluvia (45 litros) recolectada por el productor; al cabo de los 3 meses se utilizaron aproximadamente 117 litros de esta mezcla para mantener la humedad de la cama lombricultora de 1 m<sup>2</sup>.



**Ilustración 64. Recolección de lixiviado para el riego de la materia orgánica.**

Fuente: Propia de los autores.

Al cabo de 90 días (30 de Julio de 2023) se realizó un trampeo de las lombrices con materia orgánica fresca para separarlas del abono orgánico; pasados 15 días (13 de Agosto de 2023) se realizan las siguientes mediciones:

Materia orgánica procesada: 280 Kg.

Materia orgánica con lombrices (trampa): 56 Kg

Conteo de lombrices adultas en 1.5 Kg: 315 lombrices adultas

$$\frac{315 \text{ Lombrices}}{1.5 \text{ Kg}} = \frac{X \text{ Lombrices}}{56 \text{ Kg}} \quad (16)$$

$$X \text{ Lombrices} = \frac{317 \text{ Lombrices}}{1.5 \text{ Kg}} * 56 \text{ Kg}$$

$$X \text{ Lombrices} = 11,835 \text{ Lombrices}$$

Se obtienen aproximadamente 11,835 Lombrices al final del proceso de producción.



**Ilustración 65. Trampeo de la lombriz roja Californiana.**

Fuente: Propia de los autores.

Se obtiene que el peso del humus obtenido es mayor que el de la materia orgánica agregada, esto se debe al exceso de humedad que presenta el humus al finalizar el proceso productivo; por este motivo se debe dejar secar unos días con el fin de tamizarlo posteriormente y determinar el peso real de humus obtenido (sin desperdicios).

**Exceso de humedad del humus**



**Proceso de secado**



**Ilustración 66. Proceso de secado del humus.**

**El humus se deja secar 10 días (13 Agosto de 2023 - 23 Agosto de 2023).**

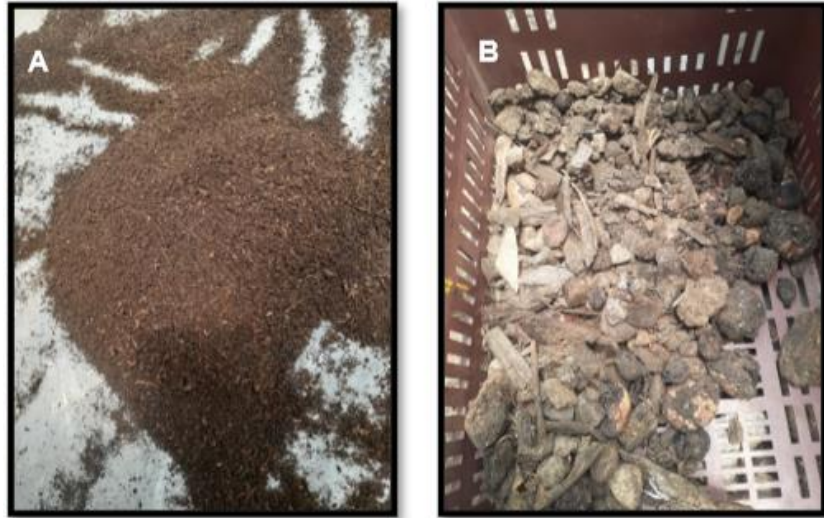
Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 67. Tamiz para el humus seco.**

Fuente: Propia de los autores.

Al desarrollar el secado y tamizaje del humus se obtuvo un total de 124 kg de humus, y 11.36 Kg de desperdicio correspondiente a cascara, semillas y demás desechos que no fueron procesados por la *Eisenia Foetida*.



**Ilustración 68. Humus y desperdicio obtenido al final del proceso.**

**A. Humus tamizado; B. Desperdicio no procesable por la *Eisenia Foetida*.**

Fuente: Propia de los autores.

Se emplearon las siguientes ecuaciones para el desarrollo de análisis de productividad, los resultados de estas ecuaciones se comparan con lo mencionado por Flores-Pacheco et al (2018); puesto que indican que bajo las condiciones óptimas teóricas las lombrices adultas llegan a transformar hasta el 60% del alimento que consumen en humus (abono orgánico).

$$Productividad\ materia\ orgánica = \frac{Producción\ abono\ orgánico}{Alimentación\ total\ Materia\ orgánica} \quad (17)$$

$$Productividad\ materia\ orgánica = \frac{124\ kg}{244\ kg} = 0.51 = 51\%$$

$$Productividad\ lombrices = \frac{Cantidad\ lombrices\ adultas\ al\ final\ del\ proceso}{Cantidad\ lombrices\ adultas\ al\ inicio\ del\ proceso} \quad (18)$$

$$Productividad\ lombrices = \frac{11,835\ Lombrices}{2,687\ Lombrices} = 4.40 \frac{lombrices}{lombriz\ adulta}$$

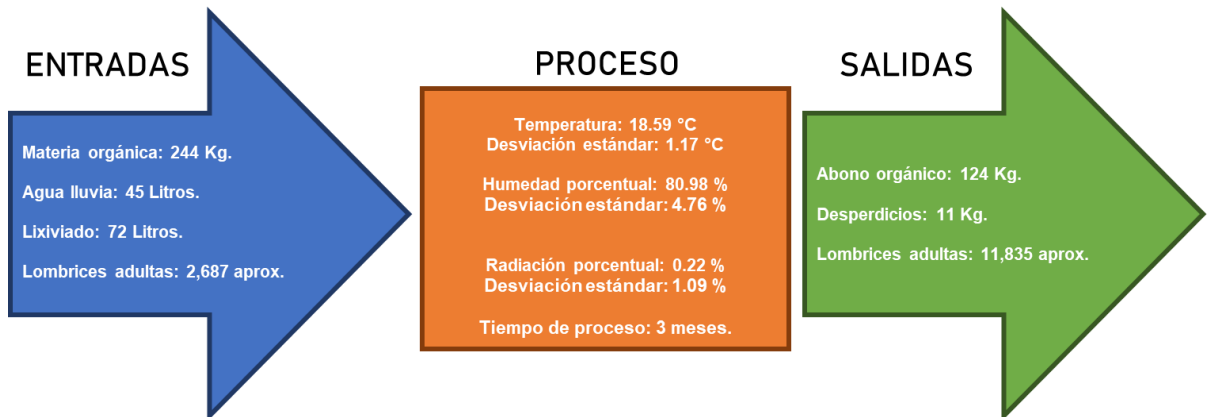
Por otro lado, según la información entregada por el sistema de monitoreo y control, se obtuvieron las siguientes condiciones para este lombricultivo.

**Tabla 25. Condiciones del lombricultivo elegido en etapa final.**

Etapa 3	Temperatura (°C)		Humedad porcentual (%)		Radiación porcentual (%)	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
1	18.59	1.17	80.98	4.76	0.22	1.09

Fuente: Propia de los autores.

De acuerdo con esta información, se estableció que los parámetros de estandarización para los lombricultivos promovidos por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá son los siguientes:



**Ilustración 69. Parámetros para la estandarización de lombricultivos en Zipaquirá.**

Fuente: Propia de los autores.

En total se agregaron 244 Kg de materia orgánica precompostada (2 meses) al lombricultivo de 1 m<sup>2</sup>, esta correspondió a estiércol equino junto con desechos de frutas y verduras. Para mantener la humedad necesaria se requirieron 45 litros de agua lluvia y 72 litros de lixiviado líquido producido por los lombricultivos del productor seleccionado. En cuanto a lombrices se inició con 5.45 Kg de pie de cría (2,687 lombrices aproximadamente).

Como condiciones del proceso, se mantuvieron temperaturas de 18.59 °C con una desviación estándar de 1.17 °C; humedad porcentual de 80.98 % con desviación típica de 4.76 %; radiación porcentual de 0.22 % con un error estándar de 1.09 %. Estas condiciones se mantuvieron durante los 3 meses que duró el proceso productivo para convertir la materia orgánica en humus de lombriz roja californiana.

Finalmente, el proceso productivo dejó como salidas 124 Kg de abono orgánico que correspondió al 51 % de los desechos orgánicos ingresados inicialmente; 11 Kg de desperdicios de comida no procesable por la *Eisenia Foetida*, como cáscaras, semillas de frutas, entre otros. Los desperdicios representan el 5 % de la materia orgánica agregada al lombricultivo; por otro lado, se obtuvieron 11,835 lombrices llegando a una productividad de 4.4 lombrices por cada lombriz adulta con la que se inició el proceso productivo.

### **Impacto del proyecto**

Luego de obtener los parámetros de estandarización de la producción de abono orgánico, se determina el impacto del proyecto comparándolo con las respuestas de las encuestas realizadas a los productores de los lombricultivos analizados en la etapa 1. Se encuentra que 3 de los productores nunca habían producido abono orgánico, mientras que 6 productores indican que obtienen abono orgánico entre 3 y 4 meses por cada cama lombricultora; cabe aclarar que no fue posible desarrollar encuesta al productor 7 debido a su baja disponibilidad de tiempo.

Se da una alta variabilidad en el tiempo de las camas lombricultoras analizadas, ya que oscilan desde 2 meses (tiempo normal en producción), hasta 2 años (tiempo excesivo para un lombricultivo), lo cual indica que no todos los productores tienen claro el tiempo que debe durar el proceso productivo (3 meses según los parámetros de estandarización).

En cuanto a la producción de abono orgánico, se evidencia que algunos productores se centran en el humus sólido, obteniendo al final desde 60 Kg (productor 8), hasta

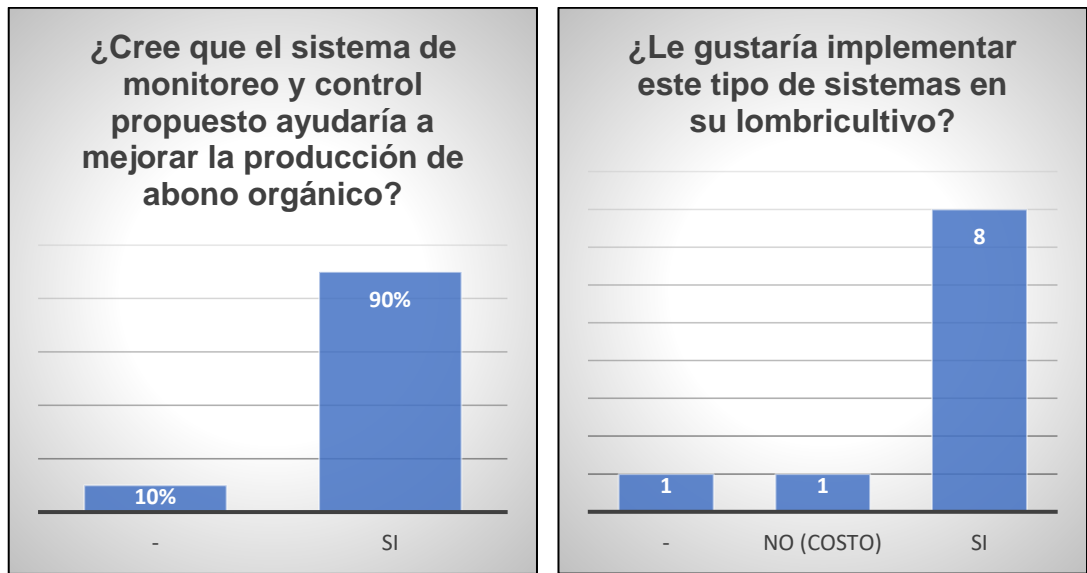
200 Kg (productores 3 y 6). Cabe aclarar que estos productores no realizaban el proceso de secado y tamizado propuesto en este proyecto, lo cual no les permite determinar una productividad real de los procesos productivos; por otro lado, tampoco realizaban una medición de la materia orgánica que ingresaba tal como se realizó en este trabajo de investigación.

En cuanto a la producción de lixiviado (abono líquido), algunos productores generan desde 12 litros por cama lombricultora en 4 meses hasta 25 litros por mes; en este caso sucede algo muy similar a la problemática anterior, ya que, las personas no realizan una medición del agua que ingresa a sus lombricultivos, lo cual les impide determinar la productividad de los lombricultivos.

**Tabla 26. Resultados de encuestas a productores.**

Productor	¿Cuánto tiempo tarda en obtener humus solido desde que inicia el proceso productivo? "Meses"	¿Cuánto tiempo tiene la cama lombricultora estudiada? Meses	¿Qué producto es el que más obtiene de su lombricultivo?	¿Qué cantidad promedio obtiene de una cama lombricultora de 1 m2?
1	No hay producción	12 meses	Ninguno	-
2	No hay producción	6 meses	Ninguno	-
3	4 meses	2 meses	Humus solido	200 kg
4	3 meses	2 meses	Lixiviado	24 litros en 3 meses
5	3 meses	2 años	Lixiviado	25 litros / mes
6	4 meses	2 meses	Humus solido	200 kg
7	-	-	-	-
8	4 meses	2 meses	Humus solido	60 kg
9	4 meses	8 meses	Lixiviado	12 litros
10	No hay producción	18 meses	Ninguno	-

Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 70. Aceptabilidad de los sistemas de monitoreo y control.**

Fuente: Propia de los autores.

Las encuestas realizadas permitieron determinar la aceptabilidad del proyecto encontrando que las 9 personas encuestadas consideran que el sistema de monitoreo y control propuesto ayudan a mejorar la producción de abono orgánico porque permiten mejorar el seguimiento de cada una de las variables que impactan este tipo de procesos productivos. De las 9 personas, solamente a 8 les gustaría implementar este tipo de sistemas en sus lombricultivos, la persona faltante considera que estos sistemas presentan costos altos, haciéndolo inasequible para su proceso productivo.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Etapa 1

Al realizar el análisis de densidad poblacional en la etapa 1, se obtuvo que el productor 5 es el que mayor cantidad de lombrices jóvenes, subadultas y adultas presenta; mientras que el productor 6 tiene la mayor densidad de cocones a pesar de que cuando se tomaron las mediciones era uno de los lombricultivos que había iniciado recientemente (4 meses) frente a otros lombricultivos que ya llevaban más de 12 meses de iniciados. De esta etapa 1 se obtiene que las lombrices con mayor tamaño fueron de 13 cm en el lombricultivo del productor 5.



**Ilustración 71. Caracterización productor 5.**

Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 72. Caracterización productor 6.**

Fuente: Propia de los autores.

Al revisar las condiciones de estos dos lombricultivos se encuentra que permanecen bajo condiciones similares de humedad y radiación; estas condiciones son cercanas a las óptimas teóricas. En el caso de la temperatura se encuentra que el productor 6 se encuentra dentro de los parámetros óptimos teóricos, lo cual indica porque en menos tiempo supero la cantidad de cocones de los demás lombricultivos.

El productor 5 presenta condiciones de temperatura por debajo de los rangos teóricos, al realizar las encuestas se encuentra que este productor llevaba más de 24 meses con su lombricultivo, esto permite deducir que presentó la mayor densidad poblacional de lombrices adultas, subadultas y jóvenes debido al factor tiempo.

**Tabla 27. Condiciones de los productores 5 y 6.**

	Temperatura (°C)		Humedad porcentual (%)		Radiación porcentual (%)	
	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar
<i>Productor 5</i>	14.48	0.47	80.83%	8.49%	4.47%	12.30%
<i>Productor 6</i>	20.11	1.12	84.52%	5.71%	0.62%	7.03%

Fuente: Propia de los autores.

Al realizar encuestas a los diferentes lombricultores ([Ver anexo 3](#)), se evidencia que la mayoría de las personas no tiene claridad de cuánto tiempo lleva en el proyecto lombricompostaje de la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio, ni tampoco desarrollan un seguimiento claro de los tiempos de inicio y finalización de sus lombricultivos, esto dificulta los análisis teniendo en cuenta que el factor tiempo afecta de manera directa la densidad poblacional de la lombriz en un lecho específico generando una variabilidad no controlable dentro de los resultados obtenidos; es por esto, que para determinar las condiciones que realmente mejoren el proceso reproductivo de la lombriz roja californiana en el municipio de Zipaquirá se realizó en la etapa 2 un diseño experimental con las 3 variables principales y 2 niveles para cada una de estas.

## Etapa 2

Para la ejecución del diseño experimental de esta etapa, fue necesario la elección de actuadores que permitan controlar las variables de estudio; la [Ilustración 27](#) (Comparación de los sistemas de enfriamiento) muestra la eficiencia térmica de los 2 sistemas de control de temperatura propuestos, en esta se evidencia que mientras la temperatura ambiente se mantenía sobre los 20°C; con el sistema de únicamente ventiladores se logró reducir y mantener la temperatura a 16°C, reduciendo en promedio máximo 4 °C. Por otro lado, a través del sistema híbrido de ventiladores y celdas Peltier se logró obtener temperaturas cercanas a 13.5°C, estas temperaturas se encuentran dentro de los niveles del diseño experimental, por lo cual se optó por elegir el sistema híbrido.

Fue necesario el diseño de sistemas de control de humedad y temperatura, pues al observar la [Ilustración 32](#) (Respuestas iniciales del sistema de humedad) y la [ilustración 36](#) (Respuestas iniciales del sistema de temperatura), se evidenció inestabilidad en las respuestas de los sistemas con respuestas únicamente transitorias; se comprobó el correcto diseño del compensador en adelanto de fase para la humedad, y del compensador en atraso de fase para la temperatura, en las ilustraciones [35](#) y [39](#) donde se observa la estabilización de los sistemas en tiempos deseados (respuesta en estado estable) junto con una baja cantidad y magnitud de oscilaciones en las respuestas, de tal manera que no afectan el comportamiento de los sistemas estudiados.

De acuerdo con la información de la [tabla 23](#) (Condiciones promedio de los tratamientos del diseño experimental), se evidenció que los sistemas de control mantuvieron las variables de temperatura y humedad dentro de los niveles elegidos para cada tratamiento del diseño experimental, se observaron mayores desviaciones estándar de las esperadas en algunos casos; esto se debe a que las condiciones climáticas afectaron las condiciones del diseño experimental.

A lo largo de toda la experiencia con el diseño experimental, se revisó semanalmente la trampa de agua de cada bandeja encontrando algunas fugas en 2 réplicas del tratamiento 8 y 1 réplica del tratamiento 3; se deduce que las fugas son presentadas por el alto contenido de humedad presente en estos tratamientos, [Ver Tabla 12](#) (Niveles de cada tratamiento experimental).

En la [ilustración 51](#) (Efectos principales para potencial reproductor) se observa la incidencia de cada una de las variables sobre el potencial reproductor de la *Eisenia Foetida*, en el caso de la temperatura se debe aumentar para mejorar el potencial; para la humedad y radiación porcentual se deben mantener valores bajos que permitan el mejoramiento en la variable de respuesta. Por otro lado, en la [ilustración 52](#) (Interacción entre variables para potencial reproductor) se muestra la influencia que presentan las distintas variables entre sí, es decir; las variables no se comportan de manera independiente cuando se analiza el potencial reproductor como variable de respuesta; por lo tanto, para obtener una mejora significativa en este potencial se requiere de una combinación apropiada en los niveles de las variables.

Los gráficos de contorno ([Ilustración 53](#)) y diagramas de superficie ([Ilustración 54](#)) muestran el comportamiento que se obtendrá en la variable de respuesta (potencial reproductor) según los niveles de temperatura, humedad y radiación; estos gráficos permitieron determinar el mejor valor de cada variable. Adicionalmente, se realizó la optimización de la variable de respuesta confirmando que los mejores valores son: temperatura (nivel alto), humedad (nivel bajo), radiación porcentual (nivel bajo); estos niveles corresponden a los rangos del tratamiento experimental 2, [Ver ilustración 55](#) (Optimización de respuesta de potencial reproductor).

La mayor producción semanal de cocones se dio en los tratamientos 5, 6 y 7 (1.69, 1.52 y 1.67 cocones /semana/adulto respectivamente). En el caso de la fecundidad se observan valores altos en el tratamiento 8 de 1.78 lombrices/cocón, pero el mayor obtenido fue en el tratamiento 2 con 2.61 lombrices/cocón. Para el potencial reproductor ( $R''$ ) se evidencia un valor muy superior en el tratamiento 2 con respecto

a los demás (128.39 lombrices / adulto / año); [Ver tabla 22](#) (Resultados reprobológicos diseño experimental). Según estos análisis, el segundo tratamiento da lugar a la mejor reproducción de la lombriz roja californiana según las condiciones ambientales de Zipaquirá; por esta razón, se recomiendan temperaturas entre 18 y 20 °C, humedades porcentuales entre 69 % y 80 %, y radiación porcentual baja (en lo posible cubierto).

Se confirmó la confiabilidad en el conteo de cocones y lombrices ya que no se obtuvieron valores de fecundidad mayores a 9 lombrices/cocón; los valores obtenidos fueron similares y en algunos casos menores a los obtenidos por (Schuldt & Testa, 2011); lo que implica que las condiciones evaluadas podrían mejorarse en otras investigaciones posteriores al aumentar la temperatura, teniendo en cuenta que teóricamente lo óptimo es llegar a los 25 °C, pero en Zipaquirá solamente se llega a máximo 20°C en las zonas de baja altitud (cercanas a la cabecera municipal); también se podrían desarrollar estudios sobre las dietas utilizadas por los diferentes productores.

### **Etapa 3**

Para esta etapa, se obtuvo que el peso de la materia orgánica es mayor al final del proceso, esto se debe al exceso de humedad presente en el humus al finalizar el proceso productivo; por este motivo se debe dejar secar unos días con el fin de tamizarlo posteriormente y determinar el peso real de humus obtenido; en este caso, el tamizaje del humus es necesario para retirar los desperdicios encontrados en la materia orgánica como cascaras o semillas de frutas que no fueron procesados por la lombriz roja Californiana.

La información de la [tabla 25](#) (Condiciones del lombricultivo elegido en etapa final) indica que el sistema de control de humedad mantuvo esta variable dentro del nivel deseado con una desviación estándar baja; en el caso de la temperatura se mantuvieron niveles esperados teniendo en cuenta que no se instaló sistema de control para esta variable al aprovechar que las condiciones del lombricultivo seleccionado estaban dentro del rango deseado.

En el caso de la radiación se obtuvieron bajos valores de media y desviación estándar; esto se da gracias al uso de plástico negro para cubrir la cama lombricultora, tal como lo hacen la mayoría de los productores.

Los resultados del análisis de productividad de lombrices permiten establecer un rendimiento de 4.4 lombrices adultas al final del proceso por cada lombriz adulta con que se inició; este valor es aproximado ya que no se realizaron conteos sobre la totalidad de lombrices al inicio o al final del proceso productivo. Para determinar estas cantidades se tomaron muestras de 1.5 Kg de la mezcla (materia orgánica + lombrices), se contaron las lombrices adultas presentes y se establecieron proyecciones de la cantidad de lombrices en la totalidad de la mezcla.

El análisis de productividad de la materia orgánica establece un rendimiento del 51%, este valor se obtuvo luego de realizar el secado y tamizado del humus. Si no se ejecuta la metodología mencionada se podrían generar errores en los resultados ya que se obtendrían valores de rendimiento mucho mayores; esto se debe a que cuando finaliza recientemente el proceso productivo se tiene un mayor peso en el humus gracias al exceso de humedad y a la presencia de desperdicios que no fueron procesados por la *Eisenia Foetida*. Este análisis permitió corroborar la teoría de Flores-Pacheco et al (2018); ya que indican que bajo las condiciones óptimas teóricas las lombrices adultas llegan a transformar hasta el 60% del alimento que consumen en humus (abono orgánico).

Finalmente, en la [ilustración 69](#) se establecieron los parámetros de estandarización de los lombricultivos en Zipaquirá bajo las siguientes condiciones: Temperaturas cercanas a 19°C, Humedad porcentual de 81%, y radiación porcentual próxima de 0%. En esta gráfica, se muestran las entradas y salidas del proceso productivo estudiado. Cabe aclarar que no fue posible determinar el lixiviado (abono orgánico líquido) que se podría obtener del proceso productivo, ya que la cama lombricultora estudiada se encuentra conectada con otras camas a través de una red de tuberías para la recolección de todo el lixiviado. El agua de lixiviado con que se regó el lombricultivo estudiado, salió de este sistema.

## CONCLUSIONES

1. A partir de la revisión bibliográfica realizada en manuales, informes, artículos, tesis y proyectos de investigación; se logró determinar que los niveles teóricos que conducen a una óptima reproducción de la lombriz roja californiana son entre 15 °C y 25 °C para la temperatura; entre 70% y 80% para la humedad porcentual, y una radiación porcentual que tienda al 0%.
2. Los sistemas de monitoreo diseñados e implementados en la etapa 1 de este proyecto de investigación, permitieron diagnosticar los lombricultivos promovidos por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá, de acuerdo con la información recopilada se estableció que los rangos mínimos y máximos de cada variable son: Temperatura (13.43 °C – 20.11 °C), Humedad porcentual (68.62 % - 99.76 %) y radiación porcentual (0.24 % - 40.14 %). Así mismo, se logró determinar que la principal diferencia entre las condiciones de los lombricultivos de los productores 5 y 6 fue la temperatura; estos dos procesos productivos fueron clave para el proyecto de investigación debido a que presentaron las mayores densidades poblacionales.
3. Gracias a los sistemas de control de temperatura, humedad porcentual y radiación porcentual implementados en el diseño experimental (etapa 2), se lograron comparar las diferentes condiciones en las que se encontraron los lombricultivos del municipio de Zipaquirá, permitiendo concluir que los rangos que mejoran el potencial reproductivo de la *Eisenia Foetida* y por consiguiente la producción de abono orgánico son: temperatura entre 18 °C y 20 °C, humedad porcentual cercana al 80%, y radiación porcentual que tienda a 0%.
4. La instalación del sistema de monitoreo de temperatura y radiación porcentual, que controló la humedad porcentual en la etapa 3 del proyecto, permitió identificar que las condiciones del lombricultivo de estudio (temperatura 18.59 °C, humedad porcentual 80.98 % y radiación porcentual

0.22 %) fueron muy similares a las mejores condiciones encontradas en la etapa 2 y a las condiciones teóricas encontradas en la revisión bibliográfica.

Finalmente, se establecieron los parámetros de estandarización bajo estas condiciones a través del análisis de productividad, obteniendo que aproximadamente el 51 % de materia orgánica se convirtió en humus al cabo de 3 meses, el 5 % restante fueron desperdicios de comida no procesable por la *Eisenia Foetida*; por otro lado, se obtuvieron cerca de 4.4 lombrices, por cada lombriz adulta con que se inició el proceso productivo.

## RECOMENDACIONES

### Etapa 1

De acuerdo con los diagnósticos realizados en la etapa 1 ([Ver tabla 10](#)); se recomienda que cada uno de los productores realice los cambios necesarios para que las variables se aproximen a los valores del lombricultivo estudiado en la etapa 3 de este proyecto ([Ver tabla 25](#)). Para lograr esto, se pueden emplear sistemas de control de humedad y/o temperatura de acuerdo con la necesidad de cada lombricultivo. En el caso de la radiación se recomienda que el productor 2 cubra sus camas lombricultoras con plástico negro, puesto que fue el único que presentó altos valores de radiación, esto provoca que la materia orgánica se seque y compacte, dificultando la alimentación de la lombriz roja Californiana.



**Ilustración 73. Materia orgánica seca y compacta.**

Fuente: Propia de los autores.



**Ilustración 74. Exceso de humedad en lombricultivo.**

**El exceso de humedad favorece los ambientes anaerobios impactando de manera negativa el proceso reproductivo de la lombriz.**

Fuente: Propia de los autores.

También se recomienda que los productores verifiquen las profundidades y ubicaciones de sus camas lombricultoras para que la *Eisenia Foetida* permanezca en ambientes óptimos de alimentación y reproducción; se encontró que el productor 4 tiene sus lombricultivos elevados a aproximadamente 40 cm del suelo y presentan profundidades menores a 20 cm; esta podría ser la principal razón de que sea el lombricultivo con temperaturas más bajas. Adicionalmente se recuerda que la Lombriz roja Californiana trabaja en ambientes de entre 20 y 40 cm de profundidad (Aillón Abril, 2010).

## **Etapas 2**

Para futuras investigaciones se recomienda la ejecución de los diseños experimentales en ambientes cerrados, preferiblemente en ambientes de laboratorio como los de Schuldt & Testa (2010), de tal manera que se descarten las desviaciones generadas por las condiciones climáticas; en esta investigación se realizó el diseño experimental en un ambiente semicerrado cubierto por un techo transparente para evitar las afectaciones por la humedad de agua lluvia, pero se tuvieron afectaciones debidas a la temperatura y humedad ambiente.

Adicionalmente, se recomienda realizar otros experimentos P5L donde se evalúe la materia orgánica empleada por los diferentes productores, con el fin de establecer qué tipo de desechos mejoran la reproducción de la Lombriz roja Californiana, así como también diseños experimentales con temperaturas más altas para comprobar si se obtienen mejores resultados de potencial reproductivo, similares a los obtenidos por Schuldt & Testa (2011).

## **Etapas 3**

Se recomienda que en otras investigaciones se evalúe la producción de abono orgánico líquido (lixiviado), para esto se deben analizar camas lombricultoras que se encuentren totalmente separadas; en este proyecto de investigación solamente se determinó la producción de abono orgánico sólido.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Azeem, A.-A., El-Zabalawy, K., & Abdelhaleem, H. (2022). Nutritional and health aspects of earthworms (*Eisenia Foetida*) supplementation in poultry diets: review article. *Egyptian Poultry Science Journal*, 42(1), 39–57. <https://doi.org/10.21608/EPSJ.2022.225214>
- Aillón Abril, M. X. (2010). “Diseño de un sistema scada de control automático de temperatura y humedad para los lechos de producción de humus de lombriz en la empresa Bioagrotecsa Cía. Ltda.” (*Bachelor’s Thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería En Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera Ingeniería Electrónica y Comunicaciones*).
- Alcaldía de Zipaquirá. (2021). *Alcaldía de Zipaquirá - Taller de Negocios Verdes en #Zipaquirá*. [https://web.facebook.com/AlcaldiaDeZipaquira/videos/taller-de-negocios-verdes-en-zipaquirá/998929954270432/?\\_rdc=1&\\_rdr](https://web.facebook.com/AlcaldiaDeZipaquira/videos/taller-de-negocios-verdes-en-zipaquirá/998929954270432/?_rdc=1&_rdr)
- Alcaldía de Zipaquirá, S. de O. P. / S. de D. R. y A. de Z. (2020). *Documento técnico proyecto adecuación del parque recreativo y de integración social en el barrio Algarra III del municipio de Zipaquirá, Departamento de Cundinamarca*. 1–40.
- Alcaldía Municipal de Zipaquirá, D. de C. (2020). *Acuerdo No. 05 de 2020. Plan de Desarrollo “Zipaquirá, ciudad de los servicios y las oportunidades 2020-2024.”* 7. [https://zipaquiracundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/zipaquiracundinamarca/content/files/000580/28960\\_acuerdo-municipal-n-05-de-2020\\_compressed\\_compressed.pdf](https://zipaquiracundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/zipaquiracundinamarca/content/files/000580/28960_acuerdo-municipal-n-05-de-2020_compressed_compressed.pdf)
- Alcaldía municipal de Zipaquirá, S. de D. R. y A. (2020). *Plan general de asistencia técnica directa rural (PGAT)*. 7.
- Alcívar, U., Dueñas, A., Ely, L. B.-S., & Villanueva, G. (2016). Influencia de los tipos de secado para la obtención de harina de lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) a escala piloto. *Tecnología Química*, 36(2), 225–236. <https://doi.org/10.1590/2224-6185.2016.2>.

- Alvarado, A., & Díaz, E. J. (2019). Diseño de un lombricultivo para el aprovechamiento de los residuos orgánicos de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas- Facultad Tecnológica. *Universidad Distrital Francisco José De Caldas*. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/15563/1/DiazGarciaErikaJohana2019.pdf>
- Aqeel-Ur-Rehman, Abbasi, A. Z., Islam, N., & Shaikh, Z. A. (2014). A review of wireless sensors and network's applications in agriculture. *Computer Standards and Interfaces*, 36(2), 263–270. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.03.004>
- Aquino, A. U., Baylon, D. G., Dela Cruz, F. P. B., Medina, M. A. H. J. M., Reyes, G. A., Tulauan, J. M. L., Amado, T. M., Ramos, J. P. M., Tolentino, L. K. S., & Fernandez, E. O. (2019, November 1). Development of a solar-powered closed-loop vermicomposting system with automatic monitoring and correction via IoT and Raspberry Pi Module. *2019 IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management, HNICEM 2019*. <https://doi.org/10.1109/HNICEM48295.2019.9073372>
- Arango Orozco, M. J. (2017). Abonos orgánicos como alternativa para la conservación y mejoramiento de los suelos. *Doctoral Dissertation, Corporación Universitaria Lasallista*.
- Bacata Stereo. (2022). *Proyectos productivos 2022 en Zipaquirá*. <https://bacatastereo.com/proyectos-productivos-2022-en-zipaquirá/>
- Barcelon, M. S., Orilla, A. A., Mahilum, J. A., & Adtoon, J. J. (2019). Automated vermiculture monitoring and compost segregating system using microcontrollers. *In Proceedings of the 2019 6th International Conference on Bioinformatics Research and Applications*, (pp. 38-42). <https://doi.org/10.1145/3383783.3383786>
- Becerra Campo, A. F., & Stenberg Serna, Y. C. (2020). *Diseño de un sistema de monitoreo y control agroclimático para lombricultivo en la Universidad*

*Autónoma de Occidente, Valle del Cauca.*

- Black, G. W. (1978). Justus Liebig's contribution to agricultural chemistry. *Journal of Chemical Education*, 55(1), 33. <https://doi.org/10.1021/ED055P33.1>
- Cano Prudencio, B. N. (2018). *Incidencia del cambio climático en la sobrevivencia de la lombriz roja californiana (Eisenia Foetida) simulando el factor temperatura en el suelo mediante radiación infrarroja.*
- Cardozo Sarmiento, D. O., & Sanchez Mojica, K. Y. (2016). Diseño de un sistema de control de humedad y medición de temperatura para cultivos masivos de lombrices. *III Semana Internacional, XI Semana de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 362. [https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:wAdS3mLx3KsJ:scholar.google.com/+E++temperatura+para+cultivos+masivos+de+lombrices+&hl=es&as\\_sdt=0,5](https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:wAdS3mLx3KsJ:scholar.google.com/+E++temperatura+para+cultivos+masivos+de+lombrices+&hl=es&as_sdt=0,5)
- Castañeda Torres, S., & Rodríguez Miranda, J. P. (2017). Modelo de aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca, Colombia. *Universidad y Salud*, 19(1), 116–125. <https://doi.org/10.22267/rus.171901.75>
- Castaño Sanchez, D., & Gallego López, D. H. (2019). *Monografía introductoria en los sistemas IoT con énfasis en los sectores de la salud, la educación y la agro-industria.*
- Cosio, E. A., Cabrera, M., Schuldt, M., Christiansen, R., & Mayo, J. P. (2014). Evaluación de lombricompuestos como sustrato de crecimiento de Acer Negundo I. en Río Turbio. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 5(3), 56–65. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v5i3.81>
- Declaro, A. J. C. B. (2018). Design, fabrication, and performance evaluation of a vermicomposting machine. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/SSRN.3409213>
- Departamento Nacional de Planeación DNP. (2016). Documento CONPES 3874. Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos. *Consejo*

- Nacional de Política Económica y Social República De Colombia. Departamento Nacional De Planeación (DNP), 1–73. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3874.pdf>*
- Fan, P., Mishra, A. K., Feng, S., & Su, M. (2023). The effect of agricultural subsidies on chemical fertilizer use: Evidence from a new policy in China. *Journal of Environmental Management*, *344*, 118423. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2023.118423>
- Flores-Pacheco, J. A., Romero, O., Vivas, E., Lacayo, J., & Cassell's, R. (2018). Evaluation of the viability of different diets for the production of *lombrihumus* with the *Eisenia Foetida* & *Eudrillus Sp* species. *Nexo. Revista Científica*, *31(01)*, 28–46.
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, *114*, 254–280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>
- Gallo Poma, J. N. (2017). *Propuesta de un modelo de estandarización de procesos productivos a una asociación de Mypes del sector calzado en Lima para poder abastecer pedidos de grandes volúmenes logrando la mejora de la competitividad a través de la aplicación de la gestión por pr.* [http://hdl.handle.net/10757/337020%0Ahttps://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/337020/gallo\\_pj.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://hdl.handle.net/10757/337020%0Ahttps://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/337020/gallo_pj.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Garg, P., Gupta, A., & Satya, S. (2006). Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*, *97(3)*, 391–395. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2005.03.009>
- Ghorbani, M., & Sabour, M. R. (2021). Global trends and characteristics of vermicompost research over the past 24 years. *Environmental Science and Pollution Research*, *28(1)*, 94–102. <https://doi.org/10.1007/S11356-020-11119-X/METRICS>
- Guaca Giron, N. A., & Lopez Hurtado, M. A. (2020). Selección de tecnologías LPWAN para la implementación de un sistema IoT aplicado a la lombricultura.

*EXPOTECH 2020 Ciencia, Ingeniería y Sociedad “Tecnologías Exponenciales Para La Consolidación de La Industria,”* 4.0.  
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/memorias/article/view/4170/4152>

- Guanche, A. (2015). Las lombrices y la agricultura. *AgroCabildo*.
- Guerra Plazas, D. C. (2020). Diseño e implementación de un proyecto de lombricultura para la obtención de humus a partir del aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en el Asilo San José – Tunja (Boyacá). *SELL Journal*, 5(1), 55.  
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/38719/dcguerrap.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guo, Lili, Li, H., Cao, X., Cao, A., & Huang, M. (2021). Effect of agricultural subsidies on the use of chemical fertilizer. *Journal of Environmental Management*, 299, 113621. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.113621>
- Guo, Liyue, Wu, G., Li, C., Liu, W., Yu, X., Cheng, D., & Jiang, G. (2015). Vermicomposting with maize increases agricultural benefits by 304%. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 1149–1155.  
<https://doi.org/10.1007/s13593-015-0307-0>
- Gustavo López de Paz, R. (2016). Diseño del sistema de control de temperatura de un invernadero. *Lima - Perú*, 1–95.  
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6856>
- Hernández Márquez, C., & Cano Fonseca, S. (2022). *Formulación del proyecto lombricompostaje*.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Pilar Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta Edic, Vol. 59). McGraw-Hill.
- Hualpa Males, M. Y., & Coral Chacon, D. A. (2021). *Plan de negocios para la creación de una empresa para la producción y comercialización de abonos orgánicos en la ciudad de Ipiales para el año 2021*.  
<http://repositorio.aunar.edu.co:8080/xmlui/handle/20.500.12276/1211>
- Hussain, I., Khan Khyber, S., Sultan, A., Chand, N., Biosci, I. J., Khan, S., Khan, R.,

- Alam, W., & Ahmad, N. (2017). Meal worm (*Tenebrio Molitor*) as potential alternative source of protein supplementation in broiler. *International Journal of Biosciences (IJB)*, 10(04), 255–262. <https://doi.org/10.12692/ijb/10.4.255-262>
- Ilie, V., & Mihalache, M. (2019). *Vermicompost production and its importance for soil and agricultural production*. [https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2019/issue\\_1/Art8.pdf](https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2019/issue_1/Art8.pdf)
- Indrani Ramnarain, Y., Adil Ansari, A., & Ori, L. (2019). *Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm Eisenia Foetida*. 8, 23–36. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0225-7>
- Jaramillo Henao, G., & Zapata Márquez, L. M. (2008). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. *Monografía Para Optar El Título de Especialistas En Gestión Ambiental*, 49, 6–9.
- Javier Pérez, E., & Santos Soledad, E. (2007). *Fertilizantes: Su impacto en la agricultura y en el bienestar social*.
- Jurburg, D., & Cabrera, Á. (2019). Análisis de las principales competencias necesarias para la implementación de la Industria 4.0 en el sector agroindustrial uruguayo. *Memoria. Investigaciones En Ingeniería*, 17, 151–171. <https://doi.org/10.36561/ing.17.7>
- Khan, S., Naz, S., Sultan, A., Alhidary, I. A., Abdelrahman, M. M., Khan, R. U., Khan, N. A., Khan, M. A., & Ahmad, S. (2016). Worm meal: A potential source of alternative protein in poultry feed. In *World's Poultry Science Journal* (Vol. 1, Issue 72, pp. 93–102). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S0043933915002627>
- Kostecka, J., Garczyńska, M., Podolak, A., Paczka, G., & Kaniuczak, J. (2018). Kitchen organic waste as material for vermiculture and source of nutrients for plants. *Journal of Ecological Engineering*, 19(6), 267–274. <https://doi.org/10.12911/22998993/99691>
- Lara Jáuregui, K. A. (2015). *Diseño e implementación de un sistema de control microclimático para la preservación de orquídeas endémicas del Perú en*

*invernadero.*

- Lauriac, N. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo*. Terre des hommes.
- Leyva Galán, A. (2008). *Reflexiones sobre el Manejo ecológico de los suelos*. [https://vinculando.org/mercado/mexico\\_organico\\_chapingo/reflexiones\\_sobre\\_manejo\\_ecologico\\_de\\_suelos.html](https://vinculando.org/mercado/mexico_organico_chapingo/reflexiones_sobre_manejo_ecologico_de_suelos.html)
- Londoño, J. G. (2022). *La crisis de los fertilizantes, una Oportunidad para los abonos orgánicos*. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/crisis-fertilizantes-oportunidad-abonos-t49534.htm>
- Lopez Correa, D. E. (2019). *Efecto de la alimentación con estiércol animal en la densidad poblacional, peso y longitud de las lombrices roja californiana (Eisenia Foetida) en el distrito de Huacrachuco – Huanuco 2018*. <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/5247>
- Loza Murguía, M., Choque Mamani, B., Pillco Tancara, H., Huayta Tintaya, D., Chambi Osorio, I., & Cutili Palero, B. (2010). Comportamiento de lombriz roja californiana y lombriz silvestre en bosta bovina y rumia bovina como sustrato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(4), 555–565.
- Luelmo, J. (1975). *Historia de la agricultura en Europa y América*.
- Luque, S. (2018). *Abonos orgánicos vs Abonos químicos*. Suministros Agrícolas Luque S.L. <https://www.suministrosagricolasluque.com/abonos-organicos-vs-abonos-quimicos/>
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental* (p. 789). [https://books.google.com.co/books/about/Introducción\\_a\\_la\\_química\\_ambiental.html?id=5NR8DIk1n68C&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Introducción_a_la_química_ambiental.html?id=5NR8DIk1n68C&redir_esc=y)
- Manyuchi, M. M., Phiri, A., Muredzi, P., & Chitambwe, T. (2013). Comparison of vermicompost and vermiwash bio-fertilizers from vermicomposting waste corn pulp. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 78, 365–368.
- Martey, E. (2018). Welfare effect of organic fertilizer use in Ghana. *Heliyon*, 4, e00844. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018>

- Meghvansi, M. K., Chaudhary, K. K., Khan, M. H., Siddiqui, S., & Varma, A. (2020). *Molecular tools and techniques for understanding the microbial community dynamics of vermicomposting*. 127–151. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39173-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39173-7_7)
- Mejía Echeverría, C. D. (2019). *Modelamiento del flujo de aire forzado en un invernadero*.
- Mentsiev, A. U., Isaev, A. R., Supaeva, K. S., Yunaeva, S. M., & Khatuev, U. A. (2019). Advancement of mechanical automation in the agriculture sector and overview of IoT. *Journal of Physics: Conference Series*, 1399(4), 44042. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/4/044042>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, . (2002). Programa Nacional De Agricultura Ecológica. *República De Colombia Ministerio De Agricultura Y Desarrollo Rural Dirección De Desarrollo Tecnológico Y Protección Sanitaria*, 1, 1–48. [https://www.minagricultura.gov.co/tramites-servicios/Documents/Reglamento\\_para\\_la\\_produccion\\_Organica.pdf](https://www.minagricultura.gov.co/tramites-servicios/Documents/Reglamento_para_la_produccion_Organica.pdf)
- Mohanta, K. N., Subramanian, S., & Korikanthimath, V. S. (2016). Potential of earthworm (*Eisenia Foetida*) as dietary protein source for rohu (*Labeo Rohita*) advanced fry. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1138594>
- Monómeros Colombo Venezolanos, S. . (1986). *El azufre su importancia como nutriente en la agricultura tropical*. 5.
- Morales Munguía, J. C., Fernández Ramírez, M. V., Montiel Cota, A., & Peralta-Beltrán, B. C. (2013). *Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (Eisenia Foetida)*. Biotecnia. <https://doi.org/https://doi.org/10.18633/bt.v11i1.49>
- Munroe, G. (2006). Guide du lombricompostage et de la lombriculture à la ferme. *Québec, Canada: Centre d'agriculture Biologique Du Canada.*, 37. <https://www.agrireseau.net/documents/96310/guide-du-lombricompostage-et-de-la-lombriculture-a-la-ferme>

- Munroe, G. (2007). Manual of on-farm vermicomposting and vermiculture. *Organic Agriculture Centre of Canada*, 39–40.  
[https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/E-Learning/Moocs/Solid\\_Waste/W4/Manual\\_On\\_Farm\\_Vermicomposting\\_Vermiculture.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/E-Learning/Moocs/Solid_Waste/W4/Manual_On_Farm_Vermicomposting_Vermiculture.pdf)
- Mupambwa, H. A., Ravindran, B., Dube, E., Lukasho, N. S., Katakula, A. A. ., & Mnkeni, P. N. . (2020). Some perspectives on vermicompost utilization in organic agriculture. *Earthworm Assisted Remediation of Effluents and Wastes*, 290–331. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-4522-1\\_18/COVER](https://doi.org/10.1007/978-981-15-4522-1_18/COVER)
- Mutlu, A. (2021). The effect of organic fertilizers on grain yield and some yield components of barley ( *Hordeum Vulgare* L.). *Fresenius Environmental Bulletin*, 29, 10840–10846.  
<https://ezproxy.uniagraria.edu.co:2075/record/display.uri?eid=2-s2.0-85099649169&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=&st2=&sid=c0c7b621b0d55b3387acf27be649a7d4&sot=b&sdt=b&sl=24&s=ALL%28organic+fertilizers%29&relpos=1&citeCnt=0&searchTerm=>
- Nakonechnyi, N. V., Ibragimova, D. V., & Emtsev, A. A. (2020). The effect of complex composts on the growth and dynamics of the number of vermiculture *Eisenia Foetida*. *Conference Series: Earth and Environmental Science*, 548(6), 062094. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/6/062094>
- Nausa Cáceres, J. (2022). *Estandarización de procesos de destilación de solventes contaminados de la empresa Procesos Ecoambientales de Colombia SAS*. [http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/26150/1/NausaJobany\\_2022\\_ProcesosDestilacionSolventes.pdf](http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/26150/1/NausaJobany_2022_ProcesosDestilacionSolventes.pdf)
- Navarrete Molina, C. M. (2017). “Evaluación del rendimiento del cultivo de chíá (*Salvia hispánica* L.), con la aplicación de fuentes de abono químico y orgánico.” *Bachelor’s Thesis*.
- Ortegon, P. A., & Zuñiga, E. C. (2016). *Manual básico para establecer una planta de lombricultura* (pp. 1–24).

- <http://www.uaaan.mx/v3/images/stories/otros/manual-lombricomposta.pdf>
- Parseh, I., Mousavi, K., Badienejad, A., Golbini Mofrad, M., Hashemi, M., Azadbakht, O., & Karimi, H. (2021). Microbial and composition changes during vermicomposting process resulting from decomposable domestic waste, cow manure and dewatered sludge. *International Journal of Environmental Health Engineering (IJEHE)*, 2021(August), 1–7. [https://doi.org/10.4103/IJEHE.IJEHE\\_56\\_20](https://doi.org/10.4103/IJEHE.IJEHE_56_20)
- Pengue, W. (2009). La economía ecológica y el desarrollo en América Latina. *Vertientes Del Pensamiento Agroecológico: Fundamentos y Aplicaciones*, 53(9), 125–156.
- Pinto cañón, G. (2014). *Didáctica de la Química y Vida Cotidiana* (Issue May). [https://www.academia.edu/63615008/Didáctica\\_de\\_la\\_Química\\_y\\_Vida\\_Cotidiana](https://www.academia.edu/63615008/Didáctica_de_la_Química_y_Vida_Cotidiana)
- Portavoz Digital. (2020). *Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente de Zipaquirá, realiza proceso de lombricultura*. <https://portavozdigital.com/secretaria-de-desarrollo-rural-y-ambiente-de-zipaquirá-realiza-proceso-de-lombricultura/>
- Prathibha, S. R., Hongal, A., & Jyothi, M. P. (2017). IoT based monitoring system in smart agriculture. *In 2017 International Conference on Recent Advances in Electronics and Communication Technology (ICRAECT)*, 81–84. <https://doi.org/10.1109/ICRAECT.2017.52>
- Rojas A, D. A. (2020). *Estudio de filtros biológicos para aguas grises utilizando lombriz roja californiana (Eisenia Foetida)*. 1–93. <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/49675>
- Rukhiran, M., & Netinant, P. (2020). IoT architecture based on information flow diagram for vermiculture smart farming kit. *TEM Journal*, 9(4), 1330–1337. <https://doi.org/10.18421/TEM94-03>
- Sales, F. (2008). *Manual de lombricultura*. 39.
- Savari, M., & Gharechae, H. (2020). Application of the extended theory of planned behavior to predict Iranian farmers' intention for safe use of chemical fertilizers.

*Journal of Cleaner Production*, 263, 121512.  
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.121512>

- Schuldt, M. (2006a). *Lombricultura: Viveros domésticos de Eisenia foetida*. 9, 63–67.
- Schuldt, M. (2006b). *Lombricultura. Teoría y práctica*. Mundi-Prensa Libros.  
[https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=QaISAQAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Lombricultura&ots=z3ISaBsPfy&sig=iTpd7IBoKx4NSChz\\_JEoKM8Jtm0&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Lombricultura&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=QaISAQAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Lombricultura&ots=z3ISaBsPfy&sig=iTpd7IBoKx4NSChz_JEoKM8Jtm0&redir_esc=y#v=onepage&q=Lombricultura&f=false)
- Schuldt, M., Christiansen, R., Scatturice, L. A., & Mayo, J. P. (2007). Lombricultura. Desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 8(8), 1–10.
- Schuldt, M., Rumi, A., & Gutiérrez Gregoric, D. E. (2005). Determinación de “edades” (clases) en poblaciones de *Eisenia fetida* (Annelida: Lumbricidae) y sus implicancias reprobológicas. *Zoología*, 17(170), 1–10.
- Schuldt, M., Rumi, A., Gutiérrez Gregoric, D. E., Caloni, N., Bodnar, J., Revora, N., Tasso, V., Valenti, M., Varela, J., & De Belaustegui, H. (2005). Culture of *Eisenia fetida* (Annelida, Lumbricidae) on puffed rice scrap in outdoors and laboratory conditions. *Ecologia Austral*, 15(2), 217–227.
- Schuldt, M., & Testa, H. (2010). La fecundidad de las lombrices rojas – (Fecundity of red earthworms). *Redvet*, XI(10).
- Schuldt, M., & Testa, H. (2011). *Reconversión de residuos de lupulo mediante Aceptación de sustratos en bandejas y reprobología ( Test P5L ) – Reconversion of hop plant residues by vermicomposting . Substrate acceptance on trays and reproductive biology ( P5L Test )*. 1–10.
- Shao, Y., Du, Z., Zhang, C., Zhu, L., Wang, J., & Wang, J. (2017). Acute toxicity of imidazole nitrate ionic liquids with varying chain lengths to earthworms (*Eisenia Foetida*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 99(2), 213–217. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2082-x>
- Smil, V. (1997). Abonos nitrogenados. *Investigación y Ciencia* 252, 64–70.

- Sosa Blas, H. R. (2013). *Evaluación de la calidad nutricional de la harina de lombriz (Eisenia foetida) para la alimentación de cuyes (Cavia Porcellus)*.
- Thaer, A. (1893). The Principles of Agriculture. *Nature*, 48(1230), 74–74. <https://doi.org/10.1038/048074a0>
- Tikoria, R., & Puja Ohri, A. K. (2023). Physiological, biochemical and structural changes in tomato plants by vermicompost application in different exposure periods under glass house conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 197, 107656. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2023.107656>
- Toccalino, P. A., Agüero, M. C., Serebrinsky, C. A., & Roux, J. P. (2004). Comportamiento reproductivo de lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) según estación del año y tipo de alimentación. *Revista Veterinaria*, 15(2), 65–69. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/vet/article/download/2002/1749>
- Vega, C. (2017). *Problemas ambientales y de salud derivados del uso de fertilizantes nitrogenados*. [http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/CRISTINA VEGA OLIVA.pdf](http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/CRISTINA%20VEGA%20OLIVA.pdf)
- Vega Ronquillo, E., Rodríguez Guzmán, R., & Serrano González, N. (2009). Organic substrates used for the pepper chay (*Capsicum annum* L.) production in intensive organic garden of the tropic. *Sustratos Orgánicos Usados Para La Producción de Ají Chay (Capsicum Annum L.) En Un Huerto Orgánico Intensivo Del Tropic*, 9(3), 522–529. <https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/45495>
- Vijayalakshmi, A., Raj, G. H., Prasad, R. K. V. G., Abishek, B. E., & Stephen, A. (2022). Development of IoT based automation system for efficient production of vermicompost manure. *AIP Conference Proceedings*, 2519(1). <https://doi.org/10.1063/5.0110647/2827879>
- Vodounnou, D. S. J. V., Kpogue, D. N. S., Tossavi, C. E., Mennsah, G. A., & Fiogbe, E. D. (2016). Effect of animal waste and vegetable compost on production and growth of earthworm (*Eisenia Foetida*) during vermiculture. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5(1), 87–92.

<https://doi.org/10.1007/s40093-016-0119-5>

- Wang, Y., Zhu, Y., Zhang, S., & Wang, Y. (2018). What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers? *Journal of Cleaner Production*, 199, 882–890. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.07.222>
- Whan Sung, S., Lee, J., & Lee, I. B. (2009). Process identification and PID control. In *Process Identification and PID Control*. IEEE Press. <https://doi.org/10.1002/9780470824122>
- Zayas Sierra, F., Sánchez Bautista, N. I., Kesell, I. P., & Hernández Trujillo, A. I. (2022). Empleo del humus de lombriz como alternativa agroecológica para el incremento de los rendimientos agrícolas del cultivo plátano macho  $\frac{3}{4}$  ( *Musa* sp) en un sistema extradenso. *Investigación y Ciencia Aplicada a La Ingeniería*, 5(29), 53–60. <http://ojs.incaing.com.mx/index.php/ediciones/article/view/106>
- Zhang, H., Li, J., Zhang, Y., & Huang, K. (2020). Quality of vermicompost and microbial community diversity affected by the contrasting temperature during vermicomposting of dewatered sludge. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph17051748>
- Zhang, M., Yao, Y., Tian, Y., Ceng, K., Zhao, M., Zhao, M., & Yin, B. (2018). Increasing yield and N use efficiency with organic fertilizer in Chinese intensive rice cropping systems. *Field Crops Research*, 227, 102–109. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2018.08.010>

## **ANEXOS**

### **1. Planos mecánicos sistema de monitoreo**

1.1 Caja sistema de monitoreo

1.2 Tapa sistema de monitoreo

### **2. Planos mecánicos sistema de monitoreo y control**

2.1 Caja sistema de control

2.2 Tapa sistema de control

### **3. Datos técnicos sensor de humedad capacitivo SEN0193**

### **4. Datos técnicos sensor de temperatura DS18B20**

### **5. Datos técnicos sensor de radiación fotocelda**

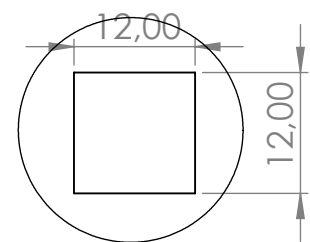
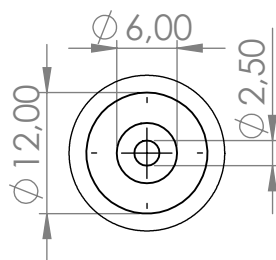
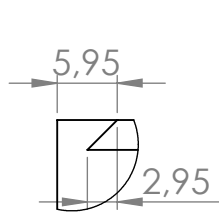
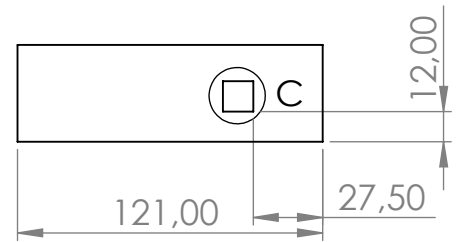
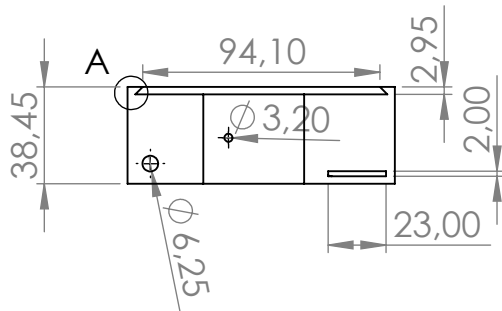
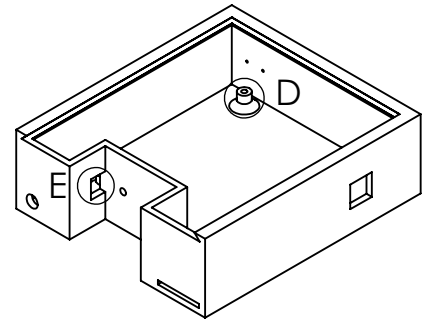
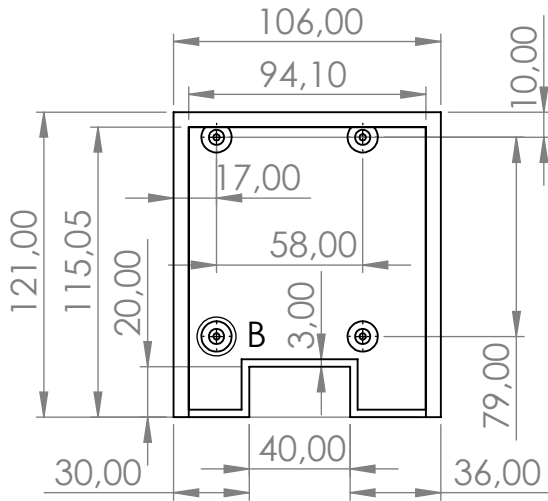
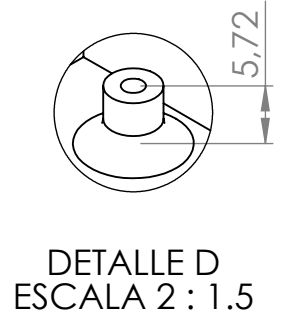
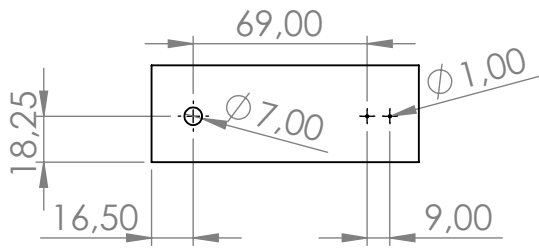
### **6. Datos técnicos electroválvula**

### **7. Datos técnicos resistencia eléctrica**

### **8. Datos técnicos celda peltier**

### **9. Datos técnicos ventiladores**

### **10. Encuestas a productores**



DETALLE A  
ESCALA 2 : 1.5

DETALLE B  
ESCALA 2 : 1.5

DETALLE C  
ESCALA 2 : 1.5



TODAS LAS MEDIDAS  
ESTÁN EN MILÍMETROS

MATERIAL:

PLA

TÍTULO:

CAJA SISTEMA DE  
MONITOREO

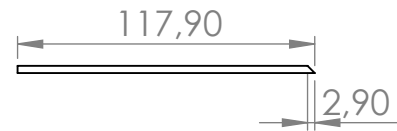
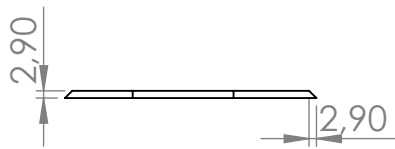
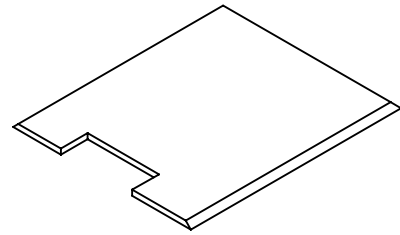
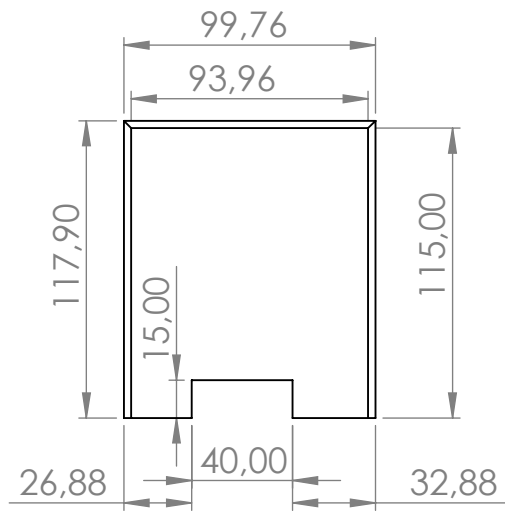
AUTORES

SEBASTIAN CANO FONSECA  
LAURA MARIA CARRANZA CABRA

A4

ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 4



TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN EN MILÍMETROS

MATERIAL:

PLA

TÍTULO:

TAPA SISTEMA DE MONITOREO

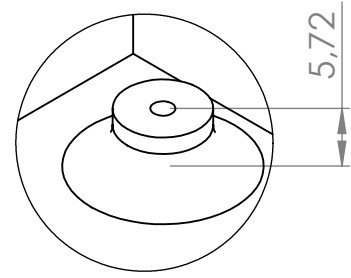
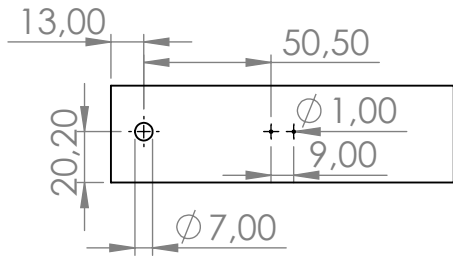
AUTORES

SEBASTIAN CANO FONSECA  
LAURA MARIA CARRANZA CABRA

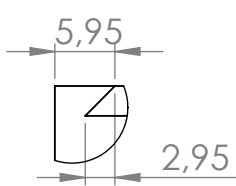
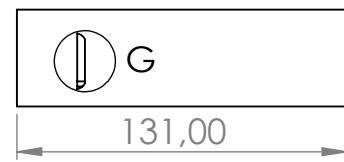
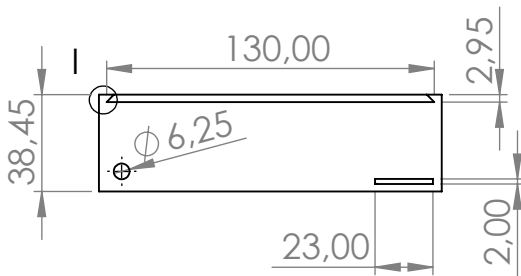
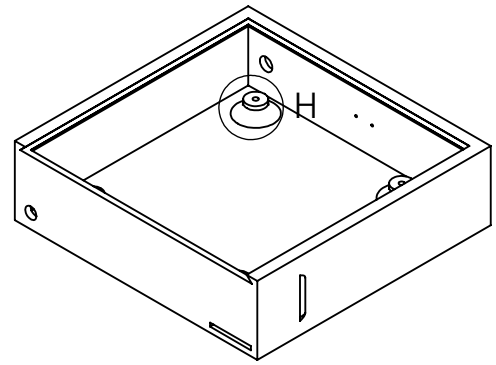
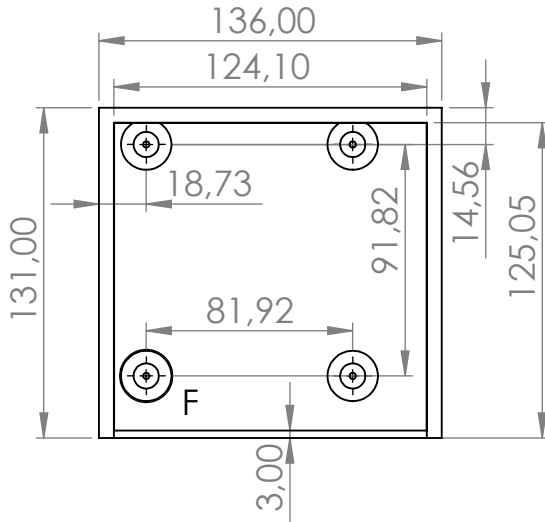
A4

ESCALA: 1:1

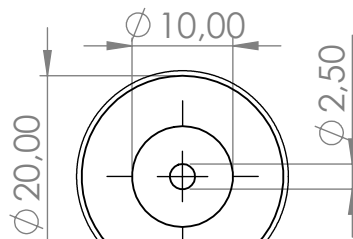
HOJA 2 DE 4



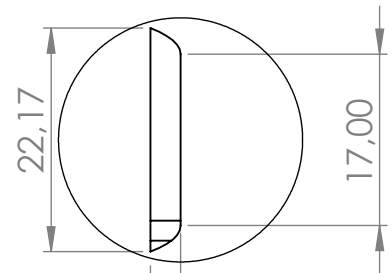
DETALLE H  
ESCALA 2 : 1.5



DETALLE I  
ESCALA 2 : 1.5



DETALLE F  
ESCALA 2 : 1.5



DETALLE G  
ESCALA 2 : 1.5



TODAS LAS MEDIDAS  
ESTÁN EN MILÍMETROS

MATERIAL:

PLA

TÍTULO:

CAJA SISTEMA DE  
CONTROL

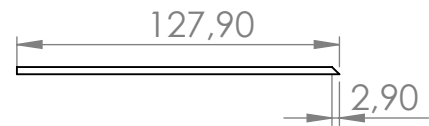
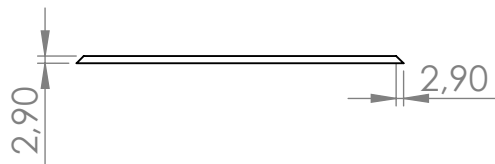
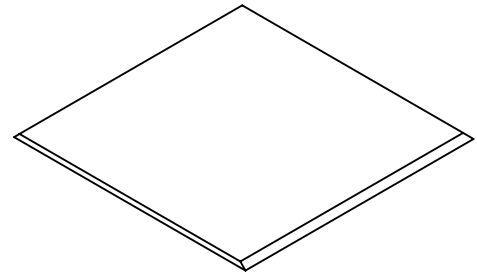
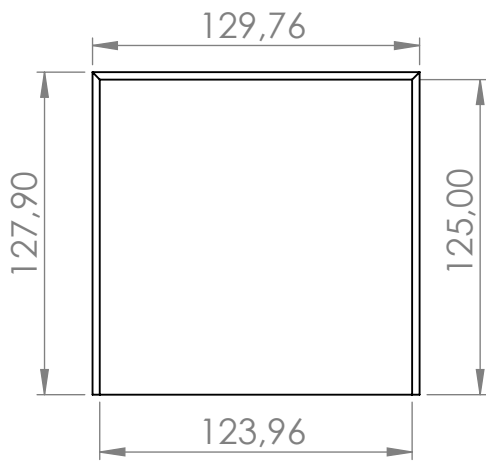
AUTORES

SEBASTIAN CANO FONSECA  
LAURA MARIA CARRANZA CABRA

A4

ESCALA:1:1

HOJA 3 DE 4



TODAS LAS MEDIDAS  
ESTÁN EN MILÍMETROS

MATERIAL:

PLA

TÍTULO:

TAPA SISTEMA DE  
CONTROL

AUTORES

SEBASTIAN CANO FONSECA  
LAURA MARIA CARRANZA CABRA

A4

ESCALA:1:1

HOJA 4 DE 4

# Capacitive Soil Moisture Sensor SKU:SEN0193

## Contents

- 1 Introduction
- 2 Specification
- 3 Tutorial
  - 3.1 Requirements
  - 3.2 Connection Diagram
  - 3.3 Calibration Code
  - 3.4 Calibration
    - 3.4.1 Calibration Range
    - 3.4.2 Section Settings
  - 3.5 Test Code
- 4 FAQ
- 5 More



(<https://www.dfrobot.com/product-1385.html>)

Capacitive Soil Moisture Sensor

(<https://www.dfrobot.com/product-1385.html>)

## Introduction

Our **soil moisture sensor** (<https://www.dfrobot.com/product-1385.html>) measures soil moisture levels by capacitive sensing rather than resistive sensing like other sensors on the market. It is made of corrosion resistant material which gives it an excellent service life.

Insert it in to the soil around your plants and impress your friends with real-time soil moisture data!

This module includes an on-board voltage regulator which gives it an operating voltage range of 3.3 ~ 5.5V. It is perfect for low-voltage MCUs, both 3.3V and 5V. For compatibility with a Raspberry Pi it will need an ADC converter.

This soil moisture sensor is compatible with our 3-pin "Gravity" interface, which can be directly connected to the Gravity I/O expansion shield.

## Specification

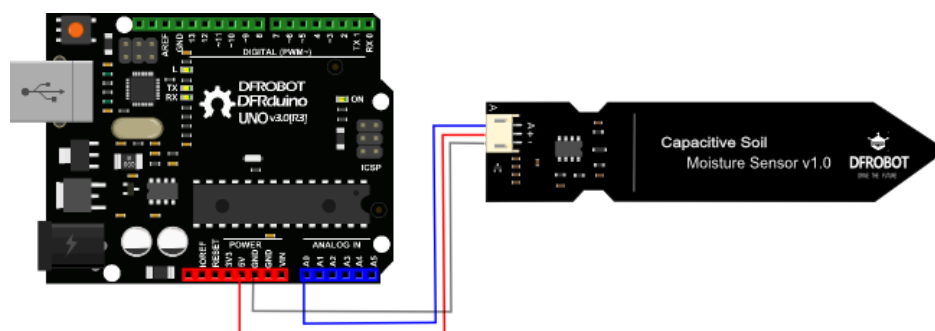
- Operating Voltage: 3.3 ~ 5.5 VDC
- Output Voltage: 0 ~ 3.0VDC
- Operating Current: 5mA
- Interface: PH2.0-3P
- Dimensions: 3.86 x 0.905 inches (L x W)
- Weight: 15g

## Tutorial

### Requirements

- **Hardware**
  - DFRduino UNO x1
  - Capacitive Soil Moisture Sensor x1
  - Jumper Cable x3
- **Software**
  - Arduino IDE V1.6.5 [Click to Download Arduino IDE \(https://www.arduino.cc/en/Main/Software\)](https://www.arduino.cc/en/Main/Software)

### Connection Diagram



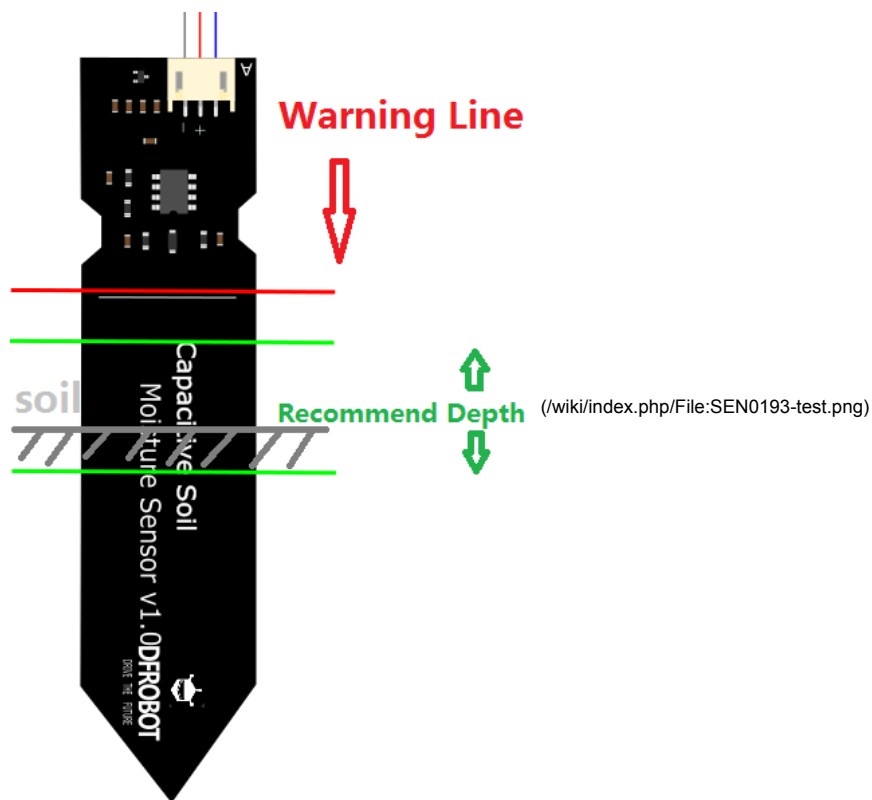
(/wiki/index.php/File:SEN0193-line.png)

## Calibration Code

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600); // open serial port, set the baud rate as 9600 bps  
}  
void loop() {  
  int val;  
  val = analogRead(0); //connect sensor to Analog 0  
  Serial.print(val); //print the value to serial port  
  delay(100);  
}
```

## Calibration

### Calibration Range



1. Open the serial port monitor and set the baud rate to 9600
2. Record the sensor value when the probe is exposed to the air as "Value 1". This is the boundary value of dry soil "Humidity: 0%RH"
3. Take a cup of water and insert the probe into it no further than the red line in the diagram
4. Record the sensor value when the probe is exposed to the water as "Value 2". This is the boundary value of moist soil "Humidity: 100%RH"



(/wiki/index.php/File:Warning\_yellow.png)

- The components on this board are NOT waterproof, do not expose to moisture further than the red line. (If you want to protect components from the elements, try using a length of wide heat shrink tubing around the upper-section of the board.)
- There is an inverse ratio between the sensor output value and soil moisture.

## Section Settings

The final output value is affected by probe insertion depth and how tight the soil packed around it is. We regard "value\_1" as dry soil and "value\_2" as soaked soil. This is the sensor detection range.

For example: Value\_1 = 520; Value\_2 = 260.

The range will be divided into three sections: dry, wet, water. Their related values are:

- Dry: (520 430]
- Wet: (430 350]
- Water: (350 260]

## Test Code

```
/*
 * This example reads Capacitive Soil Moisture Sensor.
 *
 * Created 2015-10-21
 * By berinie Chen <bernie.chen@dfrobot.com>
 *
 * GNU Lesser General Public License.
 * See <http://www.gnu.org/licenses/> for details.
 * All above must be included in any redistribution
 */

/******Notice and Trouble shooting*****
1.Connection and Diagram can be found here: https://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Capacitive_Soil_Moisture_Sensor_SKU:SEN0193
2.This code is tested on Arduino Uno.
3.Sensor is connect to Analog 0 port.
*****/

const int AirValue = 520; //you need to replace this value with Value_1
const int WaterValue = 260; //you need to replace this value with Value_2
int intervals = (AirValue - WaterValue)/3;
int soilMoistureValue = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600); // open serial port, set the baud rate to 9600 bps
}
void loop() {
  soilMoistureValue = analogRead(A0); //put Sensor insert into soil
  if(soilMoistureValue > WaterValue && soilMoistureValue < (WaterValue + intervals))
  {
    Serial.println("Very Wet");
  }
  else if(soilMoistureValue > (WaterValue + intervals) && soilMoistureValue < (AirValue - intervals))
  {
    Serial.println("Wet");
  }
  else if(soilMoistureValue < AirValue && soilMoistureValue > (AirValue - intervals))
  {
    Serial.println("Dry");
  }
  delay(100);
}
```


## FAQ

There are no questions about this product yet.

For any questions/advice/cool ideas to share with us, please visit **DFRobot Forum** (<http://www.dfrobot.com/forum/>).

## More

- **Documents**
  - Schematic ([https://github.com/ArduinoLibrary/DFRobot\\_Capacitive\\_Soil\\_Moisture\\_Sensor/raw/master/SEN0193%20%20Capacitive%20Soil%20Moisture%20SensorV1.0.PDF](https://github.com/ArduinoLibrary/DFRobot_Capacitive_Soil_Moisture_Sensor/raw/master/SEN0193%20%20Capacitive%20Soil%20Moisture%20SensorV1.0.PDF))
  - Product SVGs ([https://github.com/ArduinoLibrary/DFRobot\\_Capacitive\\_Soil\\_Moisture\\_Sensor/raw/master/SEN0193.zip](https://github.com/ArduinoLibrary/DFRobot_Capacitive_Soil_Moisture_Sensor/raw/master/SEN0193.zip))
- **Share**
  - Relative humidity to absolute humidity calculator (<http://planetcalc.com/2167/>)

 ([http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product\\_id=1385&search=sen0193&description=true#VnJZsvmqgAw](http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=1385&search=sen0193&description=true#VnJZsvmqgAw)) Get it from [Gravity: Analog Capacitive Soil Moisture Sensor- Corrosion Resistant](#) (<https://www.dfrobot.com/product-1385.html>) or **DFRobot Distributor** (<http://www.dfrobot.com/index.php?route=information/distributorslogo>).

Category: DFRobot (<https://www.dfrobot.com/>) > Sensors & Modules (<https://www.dfrobot.com/category-156.html>) > Sensors (<https://www.dfrobot.com/category-36.html>) > Temperature & Humidity Sensor (<https://www.dfrobot.com/category-64.html>)

This page was last modified on 25 May 2017, at 16:45.

Content is available under GNU Free Documentation License 1.3 or later (<https://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>) unless otherwise noted.



(<https://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>)



([//www.mediawiki.org/](https://www.mediawiki.org/))

## DS18B20

## Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

### General Description

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line (“parasite power”), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

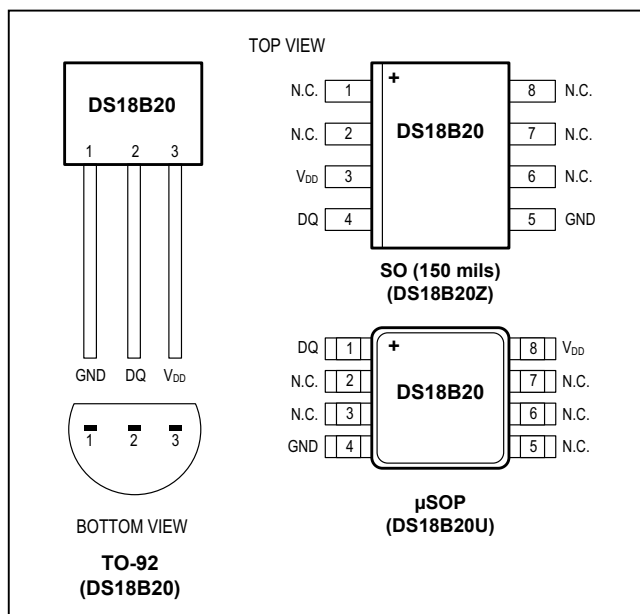
### Applications

- Thermostatic Controls
- Industrial Systems
- Consumer Products
- Thermometers
- Thermally Sensitive Systems

### Benefits and Features

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Reduce Component Count with Integrated Temperature Sensor and EEPROM
  - Measures Temperatures from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
  - ±0.5°C Accuracy from -10°C to +85°C
  - Programmable Resolution from 9 Bits to 12 Bits
  - No External Components Required
- Parasitic Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multidrop Capability
  - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in On-Board ROM
- Flexible User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin µSOP, and 3-Pin TO-92 Packages

### Pin Configurations



**Ordering Information** appears at end of data sheet.

1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.



**AC Electrical Characteristics–NV Memory**

(-55°C to +125°C; V<sub>DD</sub> = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
NV Write Cycle Time	t <sub>WR</sub>			2	10	ms
EEPROM Writes	N <sub>EEWR</sub>	-55°C to +55°C	50k			writes
EEPROM Data Retention	t <sub>EEDR</sub>	-55°C to +55°C	10			years

**AC Electrical Characteristics**

(-55°C to +125°C; V<sub>DD</sub> = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Temperature Conversion Time	t <sub>CONV</sub>	9-bit resolution			93.75	ms	
		10-bit resolution			187.5		
		11-bit resolution	(Note 12)				375
		12-bit resolution			750		
Time to Strong Pullup On	t <sub>SPON</sub>	Start convert T command issued			10	μs	
Time Slot	t <sub>SLOT</sub>	(Note 12)	60		120	μs	
Recovery Time	t <sub>REC</sub>	(Note 12)	1			μs	
Write 0 Low Time	t <sub>LOW0</sub>	(Note 12)	60		120	μs	
Write 1 Low Time	t <sub>LOW1</sub>	(Note 12)	1		15	μs	
Read Data Valid	t <sub>RDV</sub>	(Note 12)			15	μs	
Reset Time High	t <sub>RSTH</sub>	(Note 12)	480			μs	
Reset Time Low	t <sub>RSTL</sub>	(Notes 12, 13)	480			μs	
Presence-Detect High	t <sub>PDHIGH</sub>	(Note 12)	15		60	μs	
Presence-Detect Low	t <sub>PDLOW</sub>	(Note 12)	60		240	μs	
Capacitance	C <sub>IN/OUT</sub>				25	pF	

**Note 12:** See the timing diagrams in [Figure 2](#).

**Note 13:** Under parasite power, if t<sub>RSTL</sub> > 960μs, a power-on reset can occur.

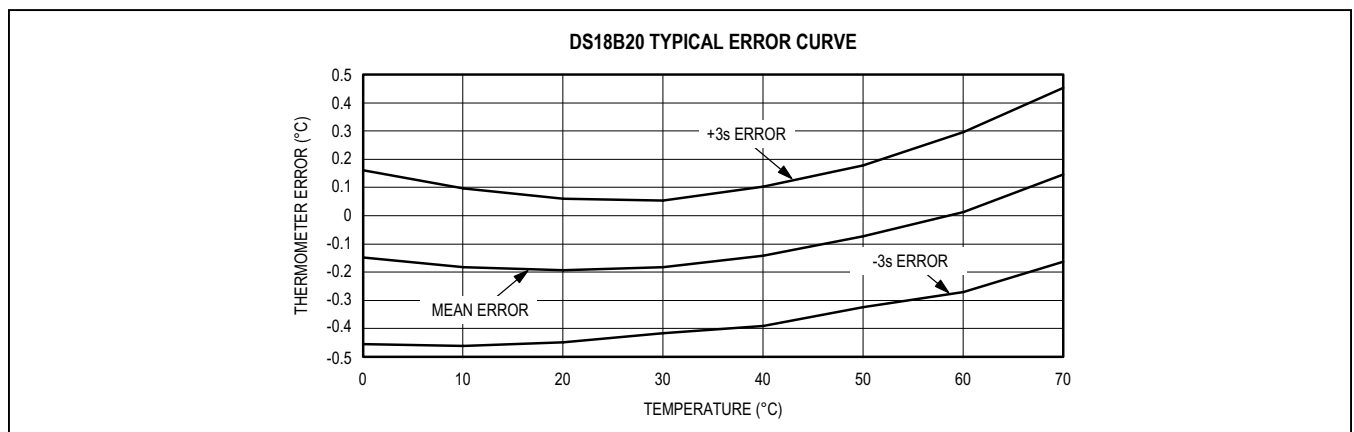


Figure 1. Typical Performance Curve

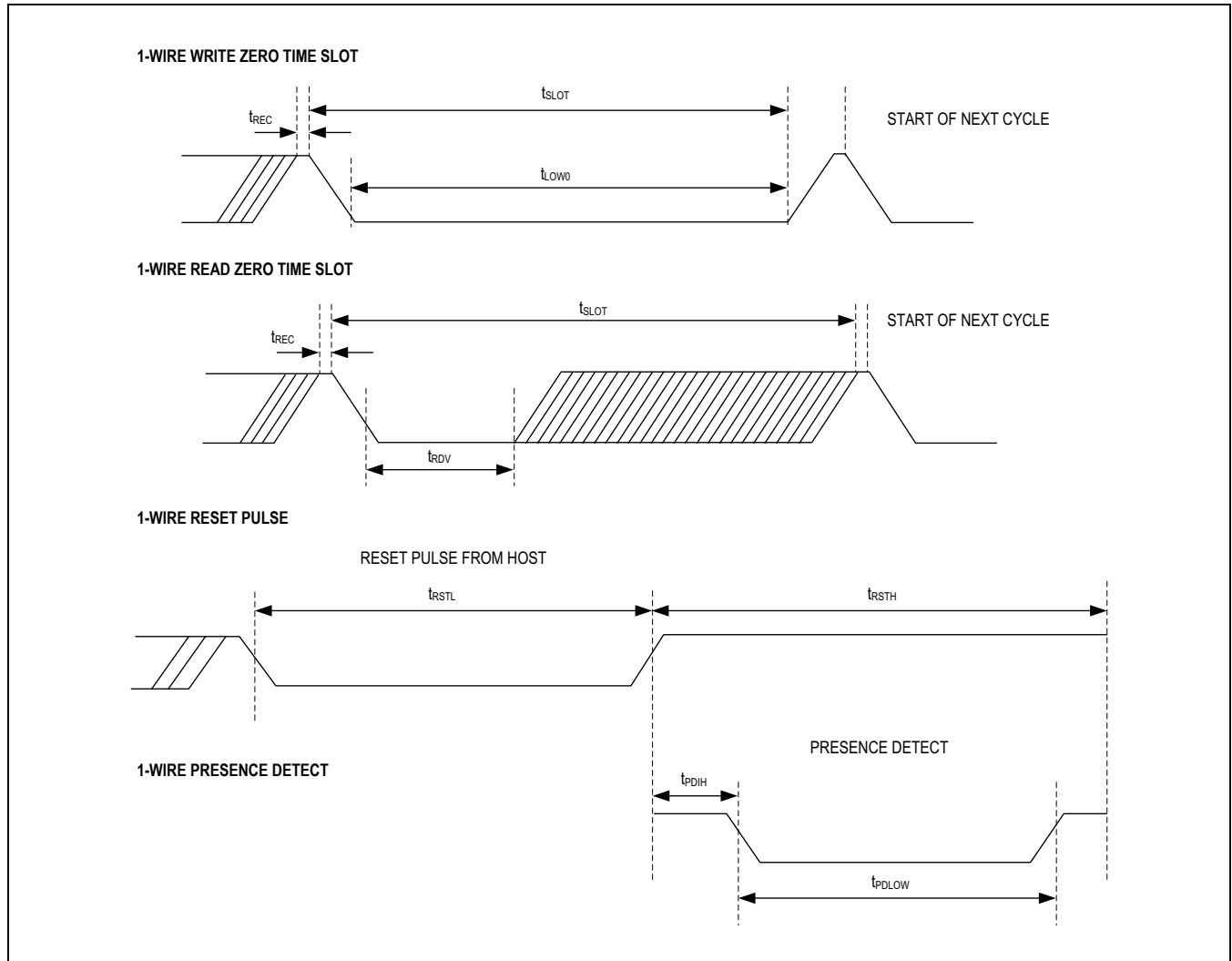


Figure 2. Timing Diagrams

### Pin Description

PIN			NAME	FUNCTION
SO	$\mu$ SOP	TO-92		
1, 2, 6, 7, 8	2, 3, 5, 6, 7	—	N.C.	No Connection
3	8	3	$V_{DD}$	Optional $V_{DD}$ . $V_{DD}$ must be grounded for operation in parasite power mode.
4	1	2	DQ	Data Input/Output. Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see the <i>Powering the DS18B20</i> section.)
5	4	1	GND	Ground

## Overview

Figure 3 shows a block diagram of the DS18B20, and pin descriptions are given in the *Pin Description* table. The 64-bit ROM stores the device's unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte upper and lower alarm trigger registers ( $T_H$  and  $T_L$ ) and the 1-byte configuration register. The configuration register allows the user to set the resolution of the temperature-to-digital conversion to 9, 10, 11, or 12 bits. The  $T_H$ ,  $T_L$ , and configuration registers are nonvolatile (EEPROM), so they will retain data when the device is powered down.

The DS18B20 uses Maxim's exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak pullup resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin in the case of the DS18B20). In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device's unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and "time slots," is covered in the [1-Wire Bus System](#) section.

Another feature of the DS18B20 is the ability to operate without an external power supply. Power is instead supplied through the 1-Wire pullup resistor through the

DQ pin when the bus is high. The high bus signal also charges an internal capacitor ( $C_{PP}$ ), which then supplies power to the device when the bus is low. This method of deriving power from the 1-Wire bus is referred to as "parasite power." As an alternative, the DS18B20 may also be powered by an external supply on  $V_{DD}$ .

## Operation—Measuring Temperature

The core functionality of the DS18B20 is its direct-to-digital temperature sensor. The resolution of the temperature sensor is user-configurable to 9, 10, 11, or 12 bits, corresponding to increments of 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, and 0.0625°C, respectively. The default resolution at power-up is 12-bit. The DS18B20 powers up in a low-power idle state. To initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T [44h] command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its idle state. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue "read time slots" (see the [1-Wire Bus System](#) section) after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18B20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the [Powering the DS18B20](#) section.

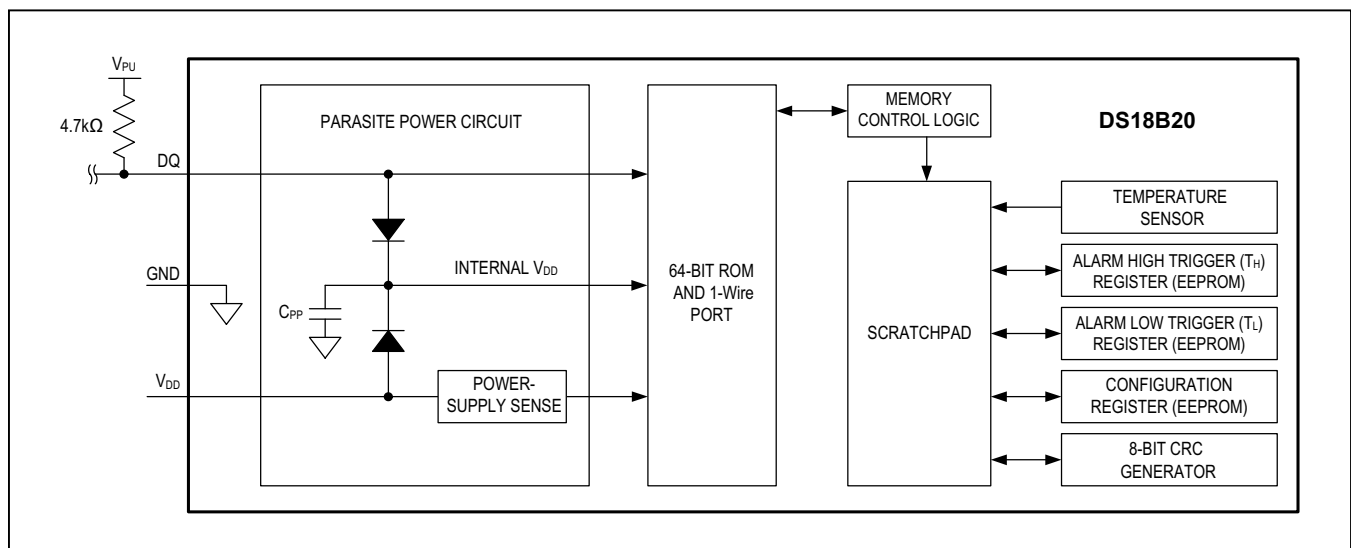


Figure 3. DS18B20 Block Diagram

The DS18B20 output temperature data is calibrated in degrees Celsius; for Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two's complement number in the temperature register (see [Figure 4](#)). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. If the DS18B20 is configured for 12-bit resolution, all bits in the temperature register will contain valid data. For 11-bit resolution, bit 0 is undefined. For 10-bit resolution, bits 1 and 0 are undefined, and for 9-bit resolution bits 2, 1, and 0 are undefined. [Table 1](#) gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading for 12-bit resolution conversions.

### Operation—Alarm Signaling

After the DS18B20 performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger values stored in the 1-byte T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> registers (see [Figure 5](#)). The sign bit (S) indicates if the value is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. The T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> registers are nonvolatile (EEPROM) so they will retain data when the device is powered down. T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> can be accessed through bytes 2 and 3 of the scratchpad as explained in the [Memory](#) section.

Only bits 11 through 4 of the temperature register are used in the T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> comparison since T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> are 8-bit registers. If the measured temperature is lower than

	<b>BIT 7</b>	<b>BIT 6</b>	<b>BIT 5</b>	<b>BIT 4</b>	<b>BIT 3</b>	<b>BIT 2</b>	<b>BIT 1</b>	<b>BIT 0</b>
<b>LS BYTE</b>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	2 <sup>-1</sup>	2 <sup>-2</sup>	2 <sup>-3</sup>	2 <sup>-4</sup>
	<b>BIT 15</b>	<b>BIT 14</b>	<b>BIT 13</b>	<b>BIT 12</b>	<b>BIT 11</b>	<b>BIT 10</b>	<b>BIT 9</b>	<b>BIT 8</b>
<b>MS BYTE</b>	S	S	S	S	S	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>

S = SIGN

Figure 4. Temperature Register Format

Table 1. Temperature/Data Relationship

TEMPERATURE (°C)	DIGITAL OUTPUT (BINARY)	DIGITAL OUTPUT (HEX)
+125	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85*	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5	0000 0000 0000 1000	0008h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55	1111 1100 1001 0000	FC90h

\*The power-on reset value of the temperature register is +85°C.

<b>BIT 7</b>	<b>BIT 6</b>	<b>BIT 5</b>	<b>BIT 4</b>	<b>BIT 3</b>	<b>BIT 2</b>	<b>BIT 1</b>	<b>BIT 0</b>
S	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>

Figure 5. T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub> Register Format

## DS18B20

## Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

or equal to  $T_L$  or higher than or equal to  $T_H$ , an alarm condition exists and an alarm flag is set inside the DS18B20. This flag is updated after every temperature measurement; therefore, if the alarm condition goes away, the flag will be turned off after the next temperature conversion.

The master device can check the alarm flag status of all DS18B20s on the bus by issuing an Alarm Search [ECh] command. Any DS18B20s with a set alarm flag will respond to the command, so the master can determine exactly which DS18B20s have experienced an alarm condition. If an alarm condition exists and the  $T_H$  or  $T_L$  settings have changed, another temperature conversion should be done to validate the alarm condition.

### Powering the DS18B20

The DS18B20 can be powered by an external supply on the  $V_{DD}$  pin, or it can operate in “parasite power” mode, which allows the DS18B20 to function without a local external supply. Parasite power is very useful for applications that require remote temperature sensing or that are very space constrained. Figure 3 shows the DS18B20’s parasite-power control circuitry, which “steals” power from the 1-Wire bus via the DQ pin when the bus is high. The stolen charge powers the DS18B20 while the bus is high, and some of the charge is stored on the parasite power capacitor ( $C_{PP}$ ) to provide power when the bus is low. When the DS18B20 is used in parasite power mode, the  $V_{DD}$  pin must be connected to ground.

In parasite power mode, the 1-Wire bus and CPP can provide sufficient current to the DS18B20 for most operations as long as the specified timing and voltage requirements are met (see the [DC Electrical Characteristics](#) and [AC Electrical Characteristics](#)). However, when the DS18B20 is performing temperature conversions or copying data from the scratchpad memory to EEPROM, the operating current can be as high as 1.5mA. This current can cause an unacceptable voltage drop across the weak 1-Wire pullup resistor and is more current than can be supplied

by  $C_{PP}$ . To assure that the DS18B20 has sufficient supply current, it is necessary to provide a strong pullup on the 1-Wire bus whenever temperature conversions are taking place or data is being copied from the scratchpad to EEPROM. This can be accomplished by using a MOSFET to pull the bus directly to the rail as shown in Figure 6. The 1-Wire bus must be switched to the strong pullup within 10 $\mu$ s (max) after a Convert T [44h] or Copy Scratchpad [48h] command is issued, and the bus must be held high by the pullup for the duration of the conversion ( $t_{CONV}$ ) or data transfer ( $t_{WR} = 10$ ms). No other activity can take place on the 1-Wire bus while the pullup is enabled.

The DS18B20 can also be powered by the conventional method of connecting an external power supply to the  $V_{DD}$  pin, as shown in Figure 7. The advantage of this method is that the MOSFET pullup is not required, and the 1-Wire bus is free to carry other traffic during the temperature conversion time.

The use of parasite power is not recommended for temperatures above +100°C since the DS18B20 may not be able to sustain communications due to the higher leakage currents that can exist at these temperatures. For applications in which such temperatures are likely, it is strongly recommended that the DS18B20 be powered by an external power supply.

In some situations the bus master may not know whether the DS18B20s on the bus are parasite powered or powered by external supplies. The master needs this information to determine if the strong bus pullup should be used during temperature conversions. To get this information, the master can issue a Skip ROM [CCh] command followed by a Read Power Supply [B4h] command followed by a “read time slot”. During the read time slot, parasite powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will let the bus remain high. If the bus is pulled low, the master knows that it must supply the strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions.

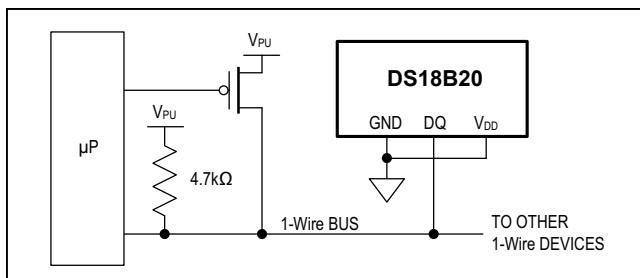


Figure 6. Supplying the Parasite-Powered DS18B20 During Temperature Conversions

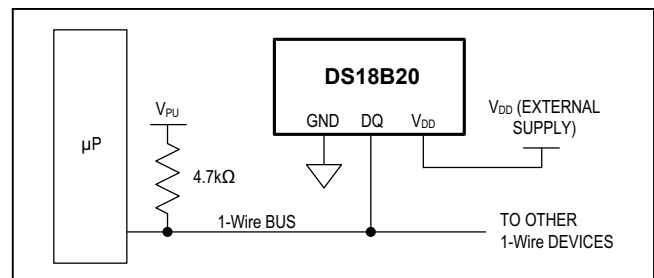


Figure 7. Powering the DS18B20 with an External Supply

**64-BIT Lasered ROM code**

Each DS18B20 contains a unique 64-bit code (see [Figure 8](#)) stored in ROM. The least significant 8 bits of the ROM code contain the DS18B20's 1-Wire family code: 28h. The next 48 bits contain a unique serial number. The most significant 8 bits contain a cyclic redundancy check (CRC) byte that is calculated from the first 56 bits of the ROM code. A detailed explanation of the CRC bits is provided in the [CRC Generation](#) section. The 64-bit ROM code and associated ROM function control logic allow the DS18B20 to operate as a 1-Wire device using the protocol detailed in the [1-Wire Bus System](#) section.

**Memory**

The DS18B20's memory is organized as shown in [Figure 9](#). The memory consists of an SRAM scratchpad with nonvolatile EEPROM storage for the high and low alarm trigger registers (T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub>) and configuration register. Note that if the DS18B20 alarm function is not used, the TH and TL registers can serve as general-purpose memory. All memory commands are described in detail in the [DS18B20 Function Commands](#) section.

Byte 0 and byte 1 of the scratchpad contain the LSB and the MSB of the temperature register, respectively. These bytes are read-only. Bytes 2 and 3 provide access to TH and TL registers. Byte 4 contains the configuration regis-

ter data, which is explained in detail in the [Configuration Register](#) section. Bytes 5, 6, and 7 are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten.

Byte 8 of the scratchpad is read-only and contains the CRC code for bytes 0 through 7 of the scratchpad. The DS18B20 generates this CRC using the method described in the [CRC Generation](#) section.

Data is written to bytes 2, 3, and 4 of the scratchpad using the Write Scratchpad [4Eh] command; the data must be transmitted to the DS18B20 starting with the least significant bit of byte 2. To verify data integrity, the scratchpad can be read (using the Read Scratchpad [BEh] command) after the data is written. When reading the scratchpad, data is transferred over the 1-Wire bus starting with the least significant bit of byte 0. To transfer the T<sub>H</sub>, T<sub>L</sub> and configuration data from the scratchpad to EEPROM, the master must issue the Copy Scratchpad [48h] command.

Data in the EEPROM registers is retained when the device is powered down; at power-up the EEPROM data is reloaded into the corresponding scratchpad locations. Data can also be reloaded from EEPROM to the scratchpad at any time using the Recall E<sup>2</sup> [B8h] command. The master can issue read time slots following the Recall E<sup>2</sup> command and the DS18B20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done.

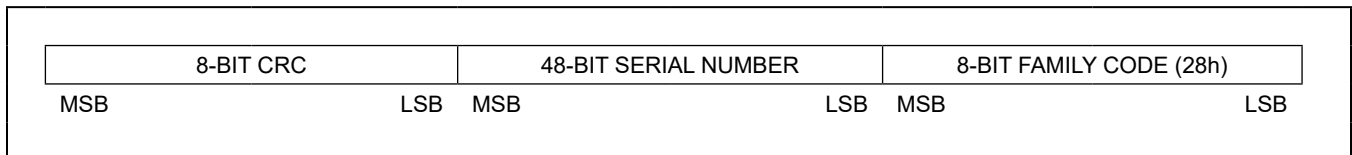


Figure 8. 64-Bit Lasered ROM Code

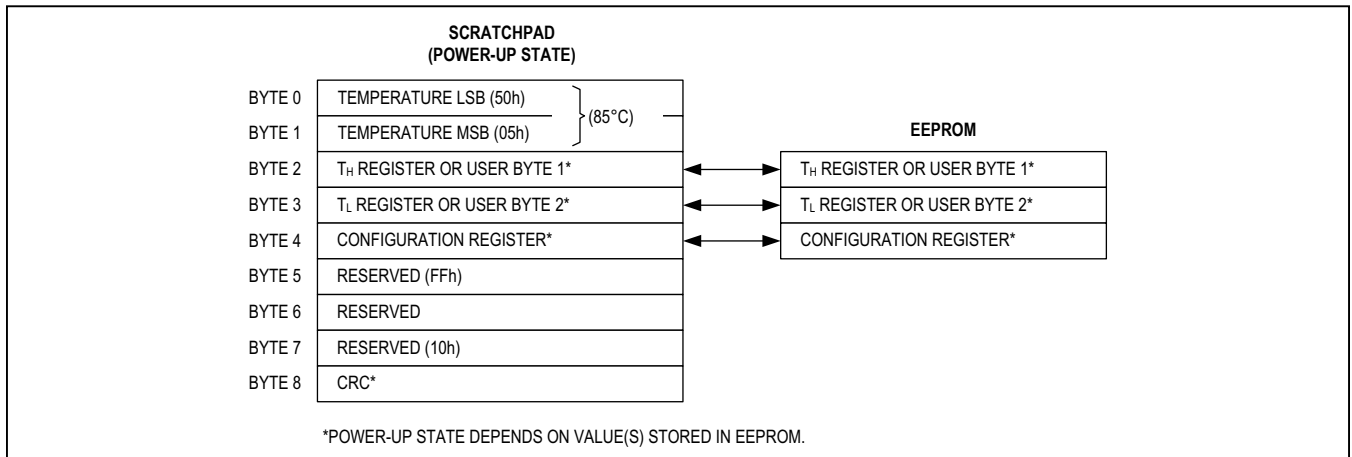


Figure 9. DS18B20 Memory Map

### Configuration Register

Byte 4 of the scratchpad memory contains the configuration register, which is organized as illustrated in [Figure 10](#). The user can set the conversion resolution of the DS18B20 using the R0 and R1 bits in this register as shown in [Table 2](#). The power-up default of these bits is R0 = 1 and R1 = 1 (12-bit resolution). Note that there is a direct tradeoff between resolution and conversion time. Bit 7 and bits 0 to 4 in the configuration register are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten.

### CRC Generation

CRC bytes are provided as part of the DS18B20's 64-bit ROM code and in the 9<sup>th</sup> byte of the scratchpad memory. The ROM code CRC is calculated from the first 56 bits of the ROM code and is contained in the most significant byte of the ROM. The scratchpad CRC is calculated from the data stored in the scratchpad, and therefore it changes when the data in the scratchpad changes. The CRCs provide the bus master with a method of data validation when data is read from the DS18B20. To verify that data has been read correctly, the bus master must re-calculate the CRC from the received data and then compare this value to either the ROM code CRC (for ROM reads) or to the scratchpad CRC (for scratchpad reads). If the calculated CRC matches the read CRC, the data has been

received error free. The comparison of CRC values and the decision to continue with an operation are determined entirely by the bus master. There is no circuitry inside the DS18B20 that prevents a command sequence from proceeding if the DS18B20 CRC (ROM or scratchpad) does not match the value generated by the bus master.

The equivalent polynomial function of the CRC (ROM or scratchpad) is:

$$CRC = X^8 + X^5 + X^4 + 1$$

The bus master can re-calculate the CRC and compare it to the CRC values from the DS18B20 using the polynomial generator shown in [Figure 11](#). This circuit consists of a shift register and XOR gates, and the shift register bits are initialized to 0. Starting with the least significant bit of the ROM code or the least significant bit of byte 0 in the scratchpad, one bit at a time should be shifted into the shift register. After shifting in the 56<sup>th</sup> bit from the ROM or the most significant bit of byte 7 from the scratchpad, the polynomial generator will contain the recalculated CRC. Next, the 8-bit ROM code or scratchpad CRC from the DS18B20 must be shifted into the circuit. At this point, if the re-calculated CRC was correct, the shift register will contain all 0s. Additional information about the Maxim 1-Wire cyclic redundancy check is available in *Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Maxim iButton Products*.

<b>BIT 7</b>	<b>BIT 6</b>	<b>BIT 5</b>	<b>BIT 4</b>	<b>BIT 3</b>	<b>BIT 2</b>	<b>BIT 1</b>	<b>BIT 0</b>
0	R1	R0	1	1	1	1	1

Figure 10. Configuration Register

### Table 2. Thermometer Resolution Configuration

R1	R0	RESOLUTION (BITS)	MAX CONVERSION TIME	
			93.75ms	(t <sub>CONV</sub> /8)
0	0	9	187.5ms	(t <sub>CONV</sub> /4)
0	1	10	375ms	(t <sub>CONV</sub> /2)
1	0	11	750ms	(t <sub>CONV</sub> )
1	1	12		

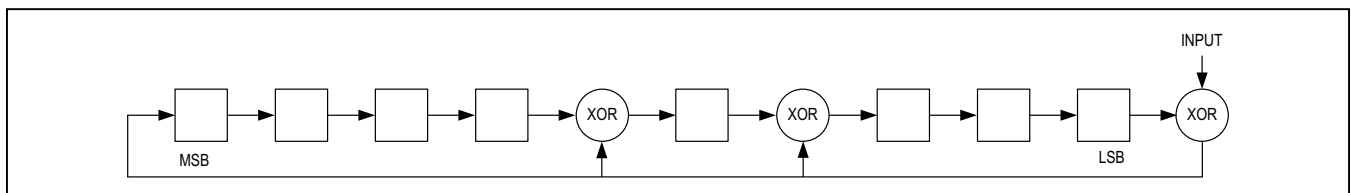


Figure 11. CRC Generator

### 1-Wire Bus System

The 1-Wire bus system uses a single bus master to control one or more slave devices. The DS18B20 is always a slave. When there is only one slave on the bus, the system is referred to as a “single-drop” system; the system is “multidrop” if there are multiple slaves on the bus.

All data and commands are transmitted least significant bit first over the 1-Wire bus.

The following discussion of the 1-Wire bus system is broken down into three topics: hardware configuration, transaction sequence, and 1-Wire signaling (signal types and timing).

### Hardware Configuration

The 1-Wire bus has by definition only a single data line. Each device (master or slave) interfaces to the data line via an open-drain or 3-state port. This allows each device to “release” the data line when the device is not transmitting data so the bus is available for use by another device. The 1-Wire port of the DS18B20 (the DQ pin) is open drain with an internal circuit equivalent to that shown in [Figure 12](#).

The 1-Wire bus requires an external pullup resistor of approximately 5kΩ; thus, the idle state for the 1-Wire bus is high. If for any reason a transaction needs to be suspended, the bus MUST be left in the idle state if the transaction is to resume. Infinite recovery time can occur between bits so long as the 1-Wire bus is in the inactive (high) state during the recovery period. If the bus is held low for more than 480μs, all components on the bus will be reset.

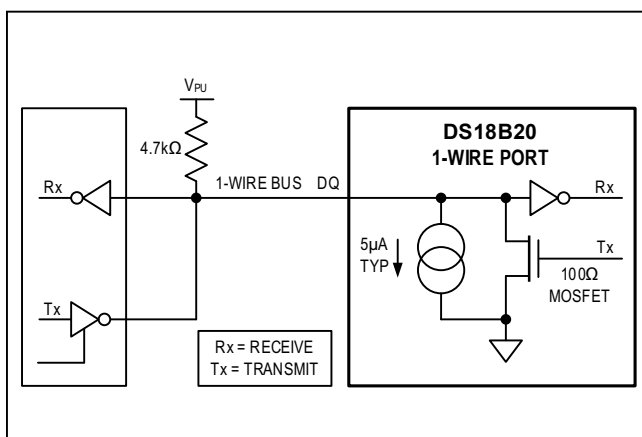


Figure 12. Hardware Configuration

### Transaction Sequence

The transaction sequence for accessing the DS18B20 is as follows:

- Step 1. Initialization
- Step 2. ROM Command (followed by any required data exchange)
- Step 3. DS18B20 Function Command (followed by any required data exchange)

It is very important to follow this sequence every time the DS18B20 is accessed, as the DS18B20 will not respond if any steps in the sequence are missing or out of order. Exceptions to this rule are the Search ROM [F0h] and Alarm Search [ECh] commands. After issuing either of these ROM commands, the master must return to Step 1 in the sequence.

### Initialization

All transactions on the 1-Wire bus begin with an initialization sequence. The initialization sequence consists of a reset pulse transmitted by the bus master followed by presence pulse(s) transmitted by the slave(s). The presence pulse lets the bus master know that slave devices (such as the DS18B20) are on the bus and are ready to operate. Timing for the reset and presence pulses is detailed in the [1-Wire Signaling](#) section.

### ROM Commands

After the bus master has detected a presence pulse, it can issue a ROM command. These commands operate on the unique 64-bit ROM codes of each slave device and allow the master to single out a specific device if many are present on the 1-Wire bus. These commands also allow the master to determine how many and what types of devices are present on the bus or if any device has experienced an alarm condition. There are five ROM commands, and each command is 8 bits long. The master device must issue an appropriate ROM command before issuing a DS18B20 function command. A flowchart for operation of the ROM commands is shown in [Figure 13](#).

### Search Rom [F0h]

When a system is initially powered up, the master must identify the ROM codes of all slave devices on the bus, which allows the master to determine the number of slaves and their device types. The master learns the ROM codes through a process of elimination that requires the master to perform a Search ROM cycle (i.e., Search ROM command followed by data exchange) as many times as necessary to identify all of the slave devices.

If there is only one slave on the bus, the simpler Read ROM [33h] command can be used in place of the Search ROM process. For a detailed explanation of the Search ROM procedure, refer to *Application Note 937: Book of iButton® Standards*. After every Search ROM cycle, the bus master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence.

### Read Rom [33h]

This command can only be used when there is one slave on the bus. It allows the bus master to read the slave's 64-bit ROM code without using the Search ROM procedure. If this command is used when there is more than one slave present on the bus, a data collision will occur when all the slaves attempt to respond at the same time.

### Match Rom [55H]

The match ROM command followed by a 64-bit ROM code sequence allows the bus master to address a specific slave device on a multidrop or single-drop bus. Only the slave that exactly matches the 64-bit ROM code sequence will respond to the function command issued by the master; all other slaves on the bus will wait for a reset pulse.

### Skip Rom [CCh]

The master can use this command to address all devices on the bus simultaneously without sending out any ROM code information. For example, the master can make all DS18B20s on the bus perform simultaneous temperature conversions by issuing a Skip ROM command followed by a Convert T [44h] command.

Note that the Read Scratchpad [BEh] command can follow the Skip ROM command only if there is a single slave device on the bus. In this case, time is saved by allowing the master to read from the slave without sending the device's 64-bit ROM code. A Skip ROM command followed by a Read Scratchpad command will cause a data collision on the bus if there is more than one slave since multiple devices will attempt to transmit data simultaneously.

### Alarm Search [ECh]

The operation of this command is identical to the operation of the Search ROM command except that only slaves with a set alarm flag will respond. This command allows the master device to determine if any DS18B20s experienced an alarm condition during the most recent temperature conversion. After every Alarm Search cycle (i.e., Alarm Search command followed by data exchange), the bus

*iButton* is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence. See the [Operation—Alarm Signaling](#) section for an explanation of alarm flag operation.

## DS18B20 Function Commands

After the bus master has used a ROM command to address the DS18B20 with which it wishes to communicate, the master can issue one of the DS18B20 function commands. These commands allow the master to write to and read from the DS18B20's scratchpad memory, initiate temperature conversions and determine the power supply mode. The DS18B20 function commands, which are described below, are summarized in [Table 3](#) and illustrated by the flowchart in [Figure 14](#).

### Convert T [44h]

This command initiates a single temperature conversion. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its low-power idle state. If the device is being used in parasite power mode, within 10 $\mu$ s (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for the duration of the conversion ( $t_{CONV}$ ) as described in the [Powering the DS18B20](#) section. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue read time slots after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting a 0 while the temperature conversion is in progress and a 1 when the conversion is done. In parasite power mode this notification technique cannot be used since the bus is pulled high by the strong pullup during the conversion.

### Write Scratchpad [4Eh]

This command allows the master to write 3 bytes of data to the DS18B20's scratchpad. The first data byte is written into the  $T_H$  register (byte 2 of the scratchpad), the second byte is written into the  $T_L$  register (byte 3), and the third byte is written into the configuration register (byte 4). Data must be transmitted least significant bit first. All three bytes MUST be written before the master issues a reset, or the data may be corrupted.

### Read Scratchpad [BEh]

This command allows the master to read the contents of the scratchpad. The data transfer starts with the least significant bit of byte 0 and continues through the scratchpad until the 9th byte (byte 8 – CRC) is read. The master may issue a reset to terminate reading at any time if only part of the scratchpad data is needed.

**Copy Scratchpad [48h]**

This command copies the contents of the scratchpad  $T_H$ ,  $T_L$  and configuration registers (bytes 2, 3 and 4) to EEPROM. If the device is being used in parasite power mode, within 10 $\mu$ s (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for at least 10ms as described in the [Powering the DS18B20](#) section.

**Recall E<sup>2</sup> [B8h]**

This command recalls the alarm trigger values ( $T_H$  and  $T_L$ ) and configuration data from EEPROM and places the data in bytes 2, 3, and 4, respectively, in the scratchpad memory. The master device can issue read time slots

following the Recall E<sup>2</sup> command and the DS18B20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done. The recall operation happens automatically at power-up, so valid data is available in the scratchpad as soon as power is applied to the device.

**Read Power Supply [B4h]**

The master device issues this command followed by a read time slot to determine if any DS18B20s on the bus are using parasite power. During the read time slot, parasite powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will let the bus remain high. See the [Powering the DS18B20](#) section for usage information for this command.

**Table 3. DS18B20 Function Command Set**

COMMAND	DESCRIPTION	PROTOCOL	1-Wire BUS ACTIVITY AFTER COMMAND IS ISSUED	NOTES
<b>TEMPERATURE CONVERSION COMMANDS</b>				
Convert T	Initiates temperature conversion.	44h	DS18B20 transmits conversion status to master (not applicable for parasite-powered DS18B20s).	1
<b>MEMORY COMMANDS</b>				
Read Scratchpad	Reads the entire scratchpad including the CRC byte.	BEh	DS18B20 transmits up to 9 data bytes to master.	2
Write Scratchpad	Writes data into scratchpad bytes 2, 3, and 4 ( $T_H$ , $T_L$ , and configuration registers).	4Eh	Master transmits 3 data bytes to DS18B20.	3
Copy Scratchpad	Copies $T_H$ , $T_L$ , and configuration register data from the scratchpad to EEPROM.	48h	None	1
Recall E <sup>2</sup>	Recalls $T_H$ , $T_L$ , and configuration register data from EEPROM to the scratchpad.	B8h	DS18B20 transmits recall status to master.	
Read Power Supply	Signals DS18B20 power supply mode to the master.	B4h	DS18B20 transmits supply status to master.	

**Note 1:** For parasite-powered DS18B20s, the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions and copies from the scratchpad to EEPROM. No other bus activity may take place during this time.

**Note 2:** The master can interrupt the transmission of data at any time by issuing a reset.

**Note 3:** All three bytes must be written before a reset is issued.

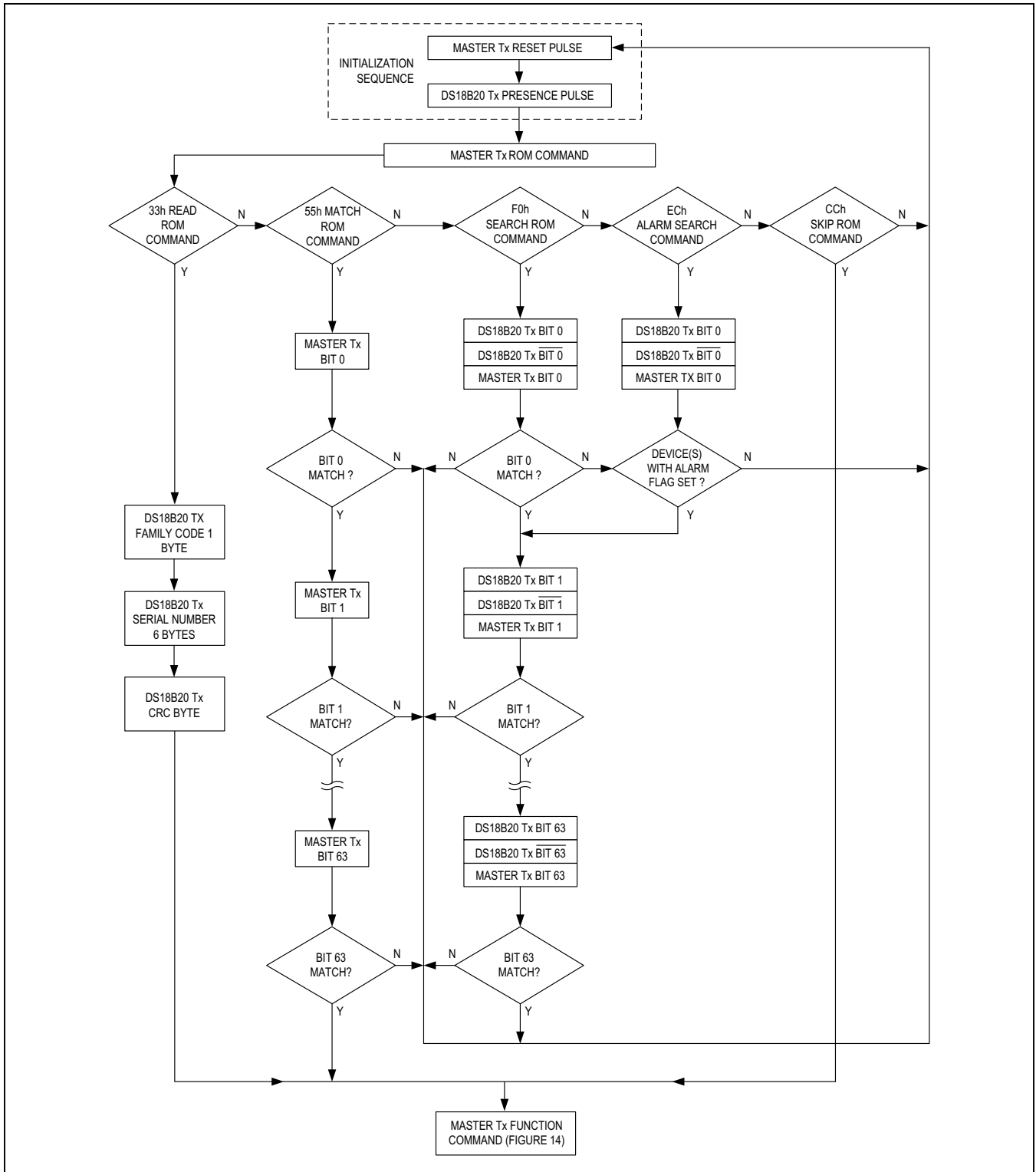


Figure 13. ROM Commands Flowchart

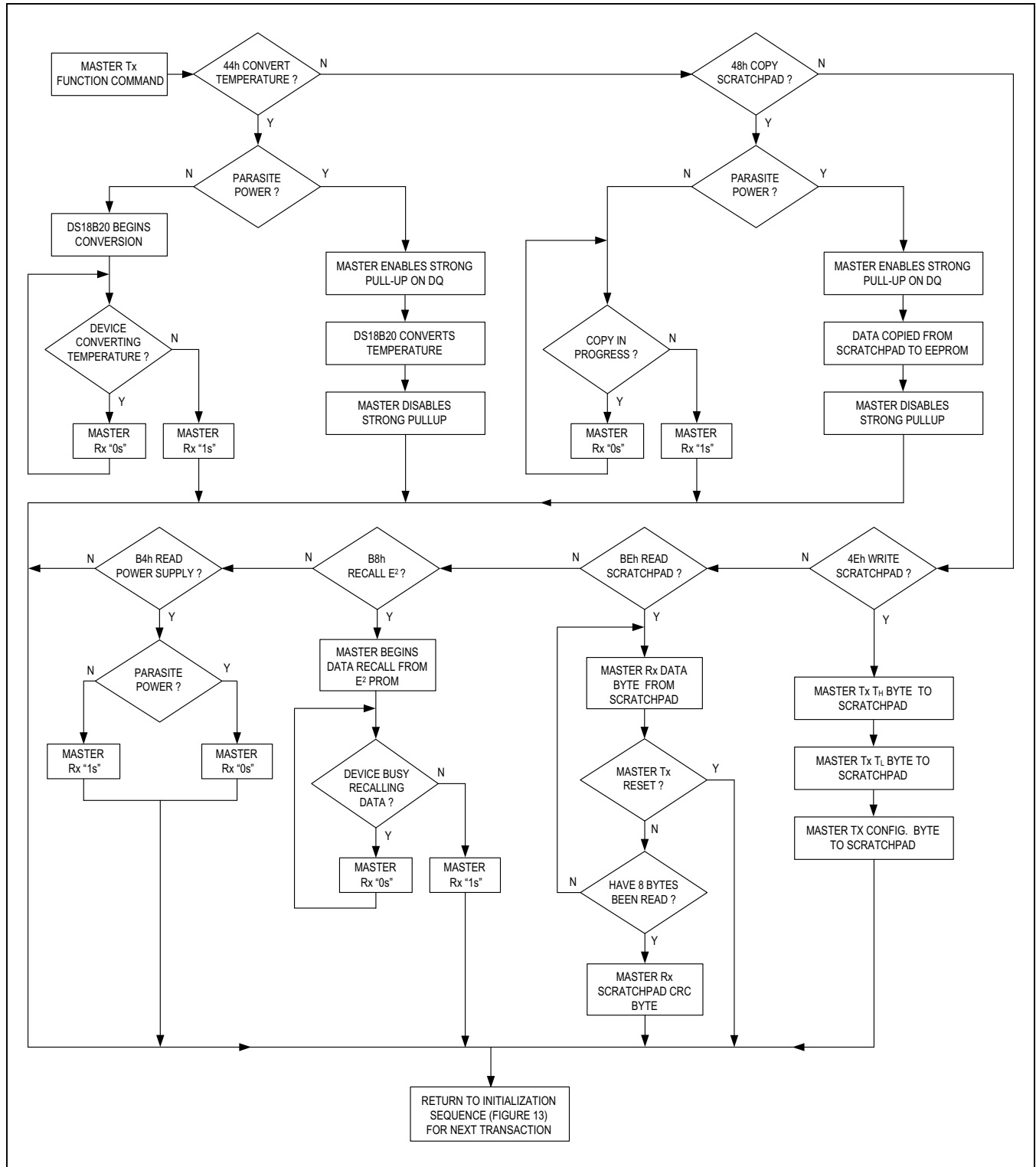


Figure 14. DS18B20 Function Commands Flowchart

### 1-Wire Signaling

The DS18B20 uses a strict 1-Wire communication protocol to ensure data integrity. Several signal types are defined by this protocol: reset pulse, presence pulse, write 0, write 1, read 0, and read 1. The bus master initiates all these signals, with the exception of the presence pulse.

### Initialization Procedure—Reset And Presence Pulses

All communication with the DS18B20 begins with an initialization sequence that consists of a reset pulse from the master followed by a presence pulse from the DS18B20. This is illustrated in Figure 15. When the DS18B20 sends the presence pulse in response to the reset, it is indicating to the master that it is on the bus and ready to operate.

During the initialization sequence the bus master transmits (Tx) the reset pulse by pulling the 1-Wire bus low for a minimum of 480µs. The bus master then releases the bus and goes into receive mode (Rx). When the bus is released, the 5kΩ pullup resistor pulls the 1-Wire bus high. When the DS18B20 detects this rising edge, it waits 15µs to 60µs and then transmits a presence pulse by pulling the 1-Wire bus low for 60µs to 240µs.

### Read/Write Time Slots

The bus master writes data to the DS18B20 during write time slots and reads data from the DS18B20 during read time slots. One bit of data is transmitted over the 1-Wire bus per time slot.

### Write Time Slots

There are two types of write time slots: “Write 1” time slots and “Write 0” time slots. The bus master uses a Write 1 time slot to write a logic 1 to the DS18B20 and a Write 0 time slot to write a logic 0 to the DS18B20. All write time slots must be a minimum of 60µs in duration with a minimum of a 1µs recovery time between individual write slots. Both types of write time slots are initiated by the master pulling the 1-Wire bus low (see Figure 14).

To generate a Write 1 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must release the 1-Wire bus within 15µs. When the bus is released, the 5kΩ pullup resistor will pull the bus high. To generate a Write 0 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must continue to hold the bus low for the duration of the time slot (at least 60µs).

The DS18B20 samples the 1-Wire bus during a window that lasts from 15µs to 60µs after the master initiates the write time slot. If the bus is high during the sampling window, a 1 is written to the DS18B20. If the line is low, a 0 is written to the DS18B20.

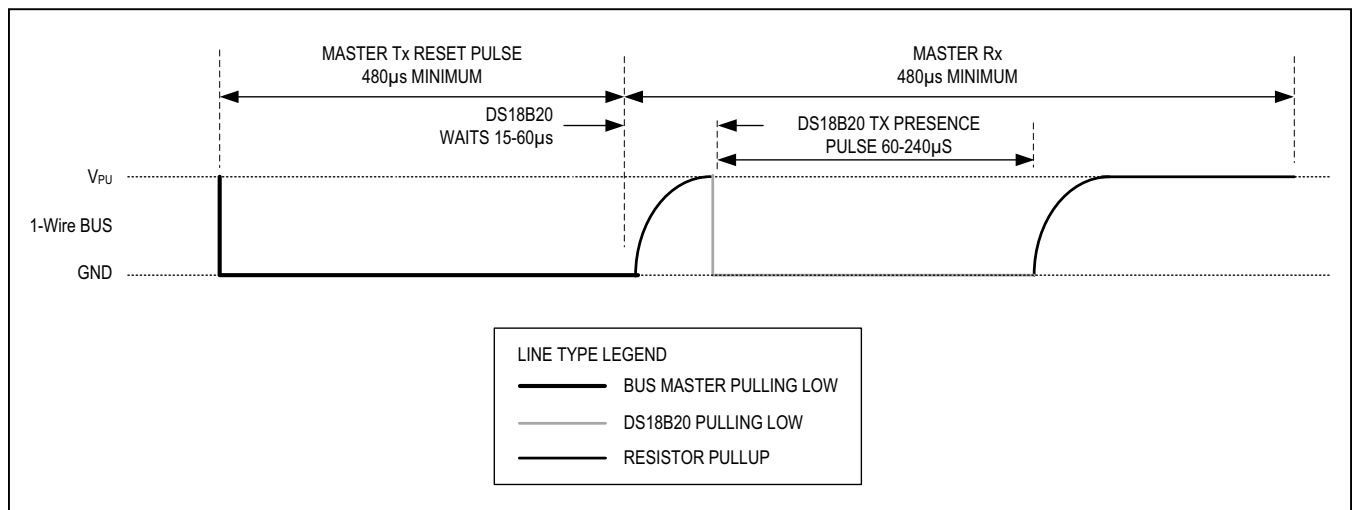


Figure 15. Initialization Timing

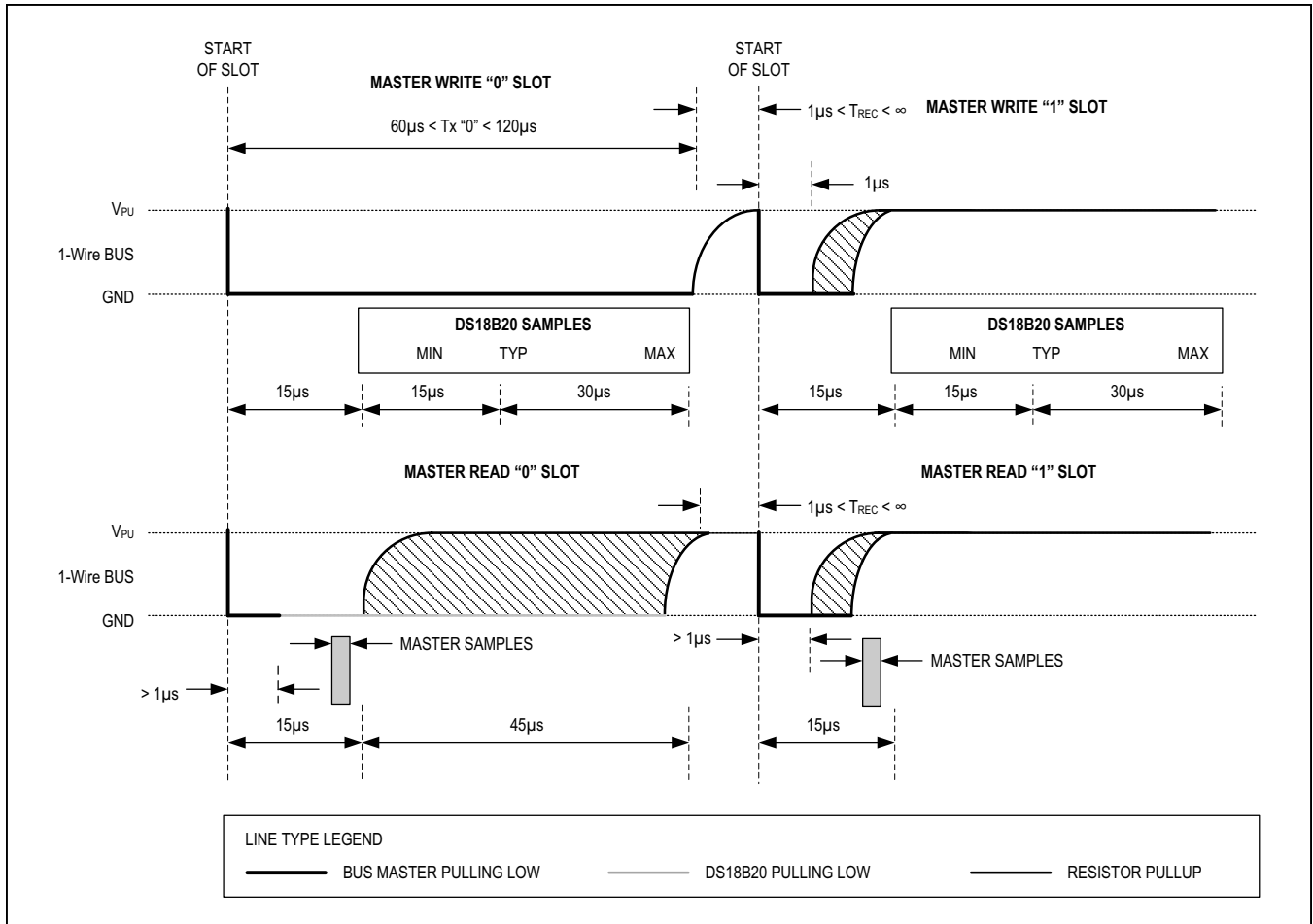


Figure 16. Read/Write Time Slot Timing Diagram

### Read Time Slots

The DS18B20 can only transmit data to the master when the master issues read time slots. Therefore, the master must generate read time slots immediately after issuing a Read Scratchpad [BEh] or Read Power Supply [B4h] command, so that the DS18B20 can provide the requested data. In addition, the master can generate read time slots after issuing Convert T [44h] or Recall E<sup>2</sup> [B8h] commands to find out the status of the operation as explained in the [DS18B20 Function Commands](#) section.

All read time slots must be a minimum of  $60\mu s$  in duration with a minimum of a  $1\mu s$  recovery time between slots. A read time slot is initiated by the master device pulling the 1-Wire bus low for a minimum of  $1\mu s$  and then releasing the bus (see [Figure 16](#)). After the master initiates the

read time slot, the DS18B20 will begin transmitting a 1 or 0 on bus. The DS18B20 transmits a 1 by leaving the bus high and transmits a 0 by pulling the bus low. When transmitting a 0, the DS18B20 will release the bus by the end of the time slot, and the bus will be pulled back to its high idle state by the pullup resistor. Output data from the DS18B20 is valid for  $15\mu s$  after the falling edge that initiated the read time slot. Therefore, the master must release the bus and then sample the bus state within  $15\mu s$  from the start of the slot.

[Figure 17](#) illustrates that the sum of  $T_{INIT}$ ,  $T_{RC}$ , and  $T_{SAMPLE}$  must be less than  $15\mu s$  for a read time slot. [Figure 18](#) shows that system timing margin is maximized by keeping  $T_{INIT}$  and  $T_{RC}$  as short as possible and by locating the master sample time during read time slots towards the end of the  $15\mu s$  period.

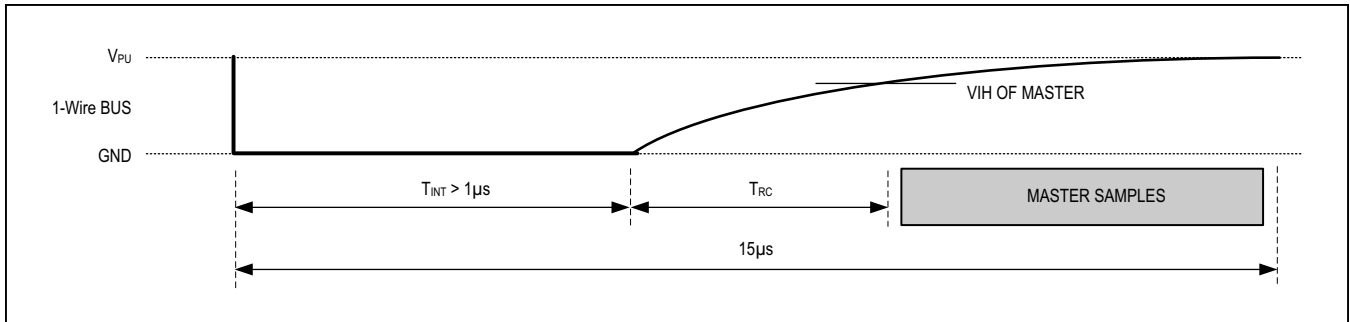


Figure 17. Detailed Master Read 1 Timing

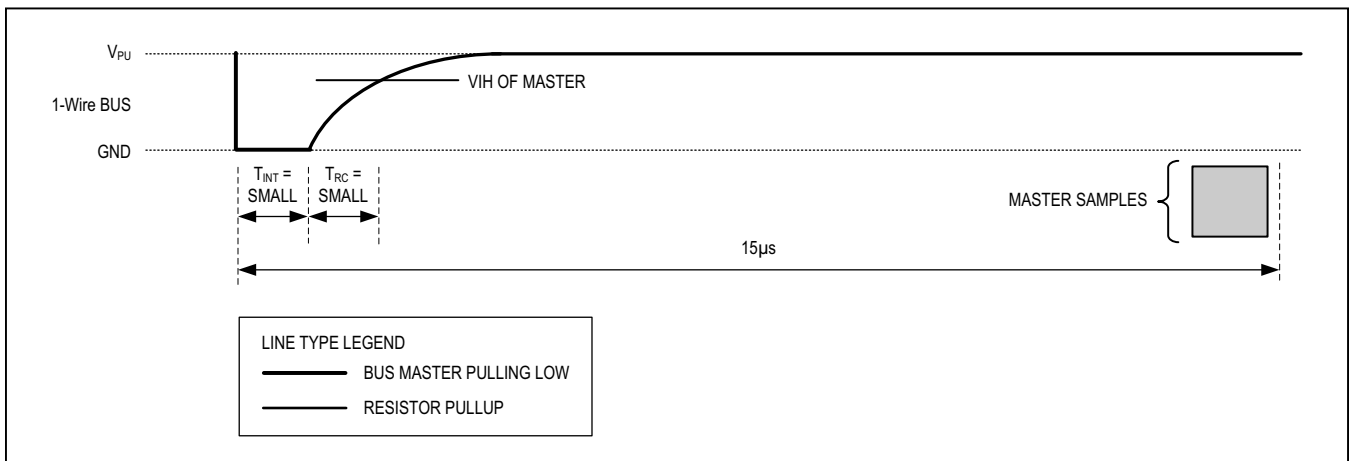


Figure 18. Recommended Master Read 1 Timing

**Related Application Notes**

The following application notes can be applied to the DS18B20 and are available at [www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com).

*Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Maxim iButton Products*

*Application Note 122: Using Dallas' 1-Wire ICs in 1-Cell Li-Ion Battery Packs with Low-Side N-Channel Safety FETs Master*

*Application Note 126: 1-Wire Communication Through Software*

*Application Note 162: Interfacing the DS18x20/DS1822 1-Wire Temperature Sensor in a Microcontroller Environment*

*Application Note 208: Curve Fitting the Error of a Bandgap-Based Digital Temperature Sensor*

*Application Note 2420: 1-Wire Communication with a Microchip PICmicro Microcontroller*

*Application Note 3754: Single-Wire Serial Bus Carries Isolated Power and Data*

Sample 1-Wire subroutines that can be used in conjunction with *Application Note 74: Reading and Writing iButtons via Serial Interfaces* can be downloaded from the Maxim website.

**DS18B20 Operation Example 1**

In this example there are multiple DS18B20s on the bus and they are using parasite power. The bus master initiates a temperature conversion in a specific DS18B20 and then reads its scratchpad and recalculates the CRC to verify the data.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20s respond with presence pulse.
Tx	55h	Master issues Match ROM command.
Tx	64-bit ROM code	Master sends DS18B20 ROM code.
Tx	44h	Master issues Convert T command.
Tx	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for the duration of the conversion ( $t_{CONV}$ ).
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20s respond with presence pulse.
Tx	55h	Master issues Match ROM command.
Tx	64-bit ROM code	Master sends DS18B20 ROM code.
Tx	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
Rx	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.

**DS18B20 Operation Example 2**

In this example there is only one DS18B20 on the bus and it is using parasite power. The master writes to the TH, TL, and configuration registers in the DS18B20 scratchpad and then reads the scratchpad and recalculates the CRC to verify the data. The master then copies the scratchpad contents to EEPROM.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	4Eh	Master issues Write Scratchpad command.
Tx	3 data bytes	Master sends three data bytes to scratchpad ( $T_H$ , $T_L$ , and config).
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
Rx	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	48h	Master issues Copy Scratchpad command.
Tx	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for at least 10ms while copy operation is in progress.

## Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE	TOP MARK
DS18B20	-55°C to +125°C	3 TO-92	18B20
DS18B20+	-55°C to +125°C	3 TO-92	18B20
DS18B20/T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)	18B20
DS18B20+T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)	18B20
DS18B20-SL/T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)*	18B20
DS18B20-SL+T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)*	18B20
DS18B20U	-55°C to +125°C	8 FSOP	18B20
DS18B20U+	-55°C to +125°C	8 FSOP	18B20
DS18B20U/T&R	-55°C to +125°C	8 FSOP (3000 Piece)	18B20
DS18B20U+T&R	-55°C to +125°C	8 FSOP (3000 Piece)	18B20
DS18B20Z	-55°C to +125°C	8 SO	DS18B20
DS18B20Z+	-55°C to +125°C	8 SO	DS18B20
DS18B20Z/T&R	-55°C to +125°C	8 SO (2500 Piece)	DS18B20
DS18B20Z+T&R	-55°C to +125°C	8 SO (2500 Piece)	DS18B20

+Denotes a lead-free package. A "+" will appear on the top mark of lead-free packages.

T&R = Tape and reel.

\*TO-92 packages in tape and reel can be ordered with straight or formed leads. Choose "SL" for straight leads. Bulk TO-92 orders are straight leads only.

## Revision History

REVISION DATE	DESCRIPTION	PAGES CHANGED
3/1/07	In the Absolute Maximum Ratings section, removed the reflow oven temperature value of +220°C. Reference to JEDEC specification for reflow remains.	19
10/12/07	In the <i>Operation—Alarm Signaling</i> section, added “or equal to” in the description for a TH alarm condition	5
	In the <i>Memory</i> section, removed incorrect text describing memory.	7
	In the <i>Configuration Register</i> section, removed incorrect text describing configuration register.	8
4/22/08	In the <i>Ordering Information</i> table, added TO-92 straight-lead packages and included a note that the TO-92 package in tape and reel can be ordered with either formed or straight leads.	2
1/15	Updated <i>Benefits and Features</i> section	1
09/18	Updated <i>DC Electrical Characteristics</i> table	2
7/19	Updated Figure 12	10

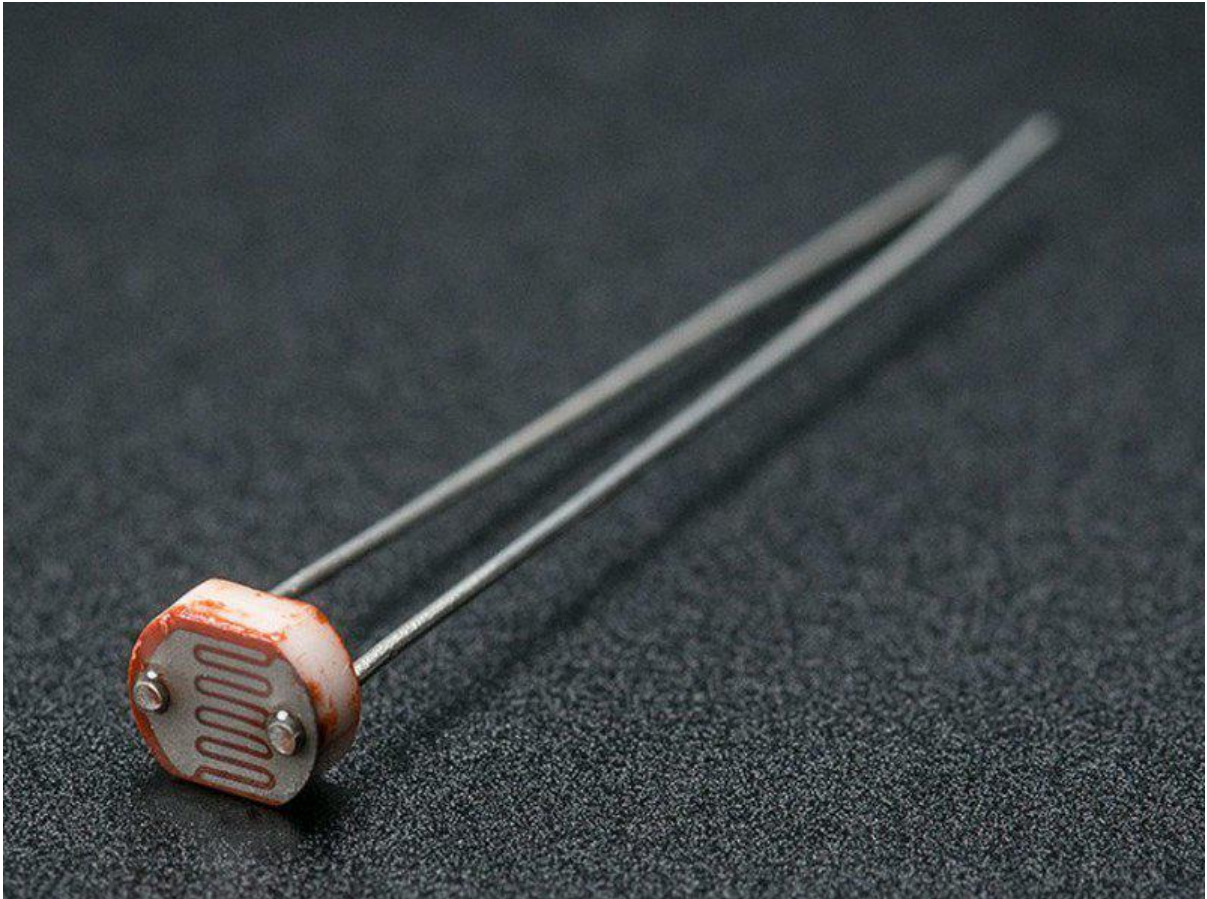
For pricing, delivery, and ordering information, please visit Maxim Integrated's online storefront at <https://www.maximintegrated.com/en/storefront/storefront.html>.

Maxim Integrated cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim Integrated product. No circuit patent licenses are implied. Maxim Integrated reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time. The parametric values (min and max limits) shown in the Electrical Characteristics table are guaranteed. Other parametric values quoted in this data sheet are provided for guidance.



# Photocells

Created by lady ada



<https://learn.adafruit.com/photocells>

Last updated on 2022-12-01 01:48:59 PM EST

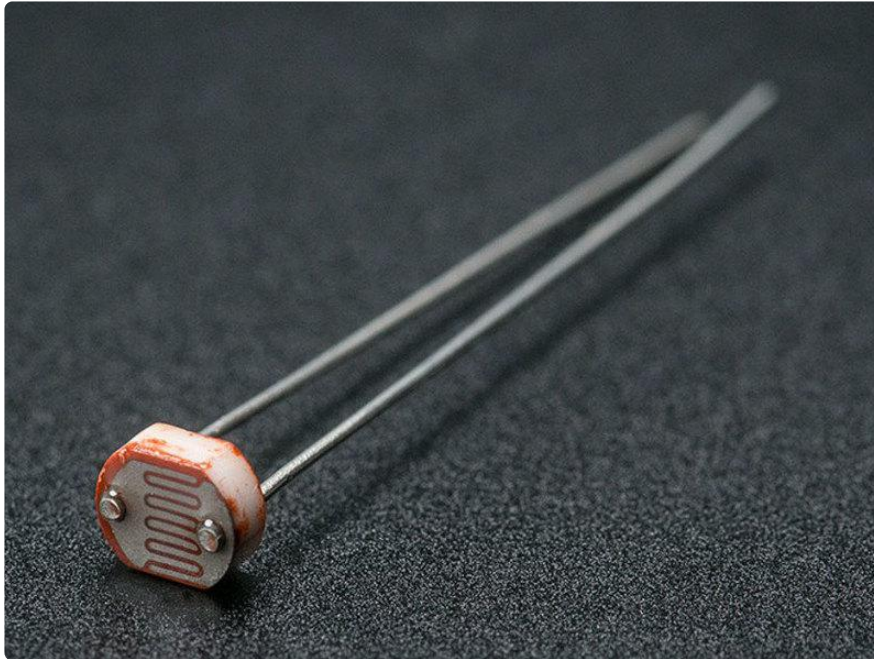
# Table of Contents

Overview	3
<ul style="list-style-type: none"><li>• Some Basic Stats</li><li>• Problems you may encounter with multiple sensors</li></ul>	
Measuring Light	5
<ul style="list-style-type: none"><li>• What the Heck is Lux?</li></ul>	
Testing a Photocell	7
Connecting a Photocell	8
Using a Photocell	9
<ul style="list-style-type: none"><li>• Analog Voltage Reading Method</li></ul>	
Arduino Code	11
<ul style="list-style-type: none"><li>• Simple Demonstration of Use</li><li>• Simple Code for Analog Light Measurements</li><li>• BONUS! Reading Photocells Without Analog Pins</li></ul>	
CircuitPython	18
Example Projects	21
Buy a Photocell	21

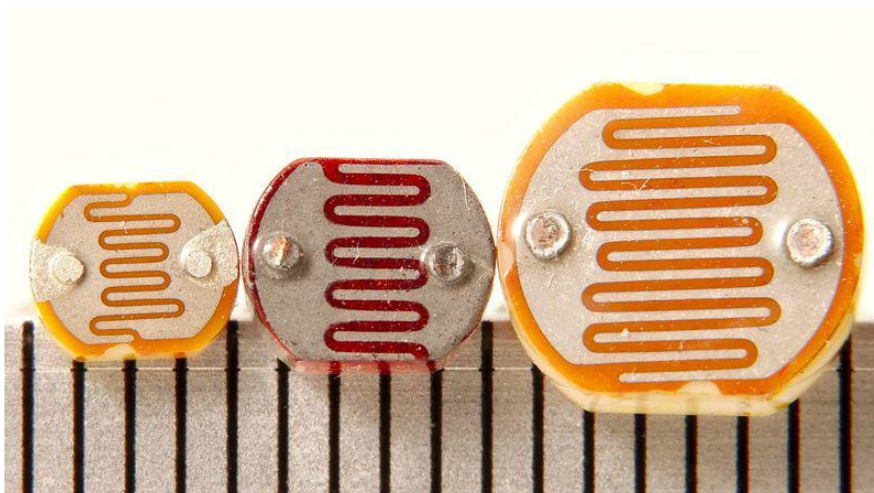
---

# Overview

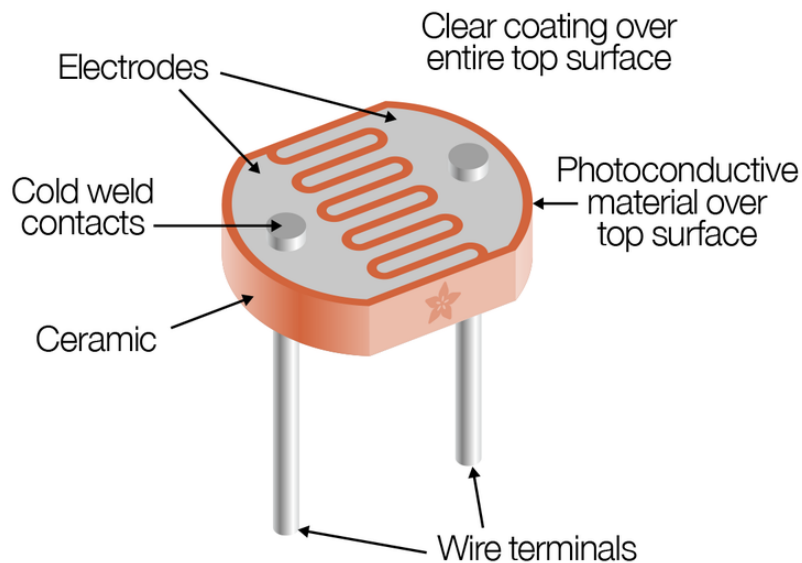
Photocells are sensors that allow you to detect light. They are small, inexpensive, low-power, easy to use and don't wear out. For that reason they often appear in toys, gadgets and appliances. They are often referred to as CdS cells (they are made of Cadmium-Sulfide), light-dependent resistors (LDR), and photoresistors.



Photocells are basically a resistor that changes its resistive value (in ohms  $\Omega$ ) depending on how much light is shining onto the squiggly face. They are very low cost, easy to get in many sizes and specifications, but are very inaccurate. Each photocell sensor will act a little differently than the other, even if they are from the same batch. The variations can be really large, 50% or higher! For this reason, they shouldn't be used to try to determine precise light levels in lux or millicandela. Instead, you can expect to only be able to determine basic light changes.



For most light-sensitive applications like "is it light or dark out", "is there something in front of the sensor (that would block light)", "is there something interrupting a laser beam" (break-beam sensors), or "which of multiple sensors has the most light hitting it", photocells can be a good choice!



## Some Basic Stats

These stats are for the photocell in the Adafruit shop which is very much like the [PDV-P8001 \(\)](#) . Nearly all photocells will have slightly different specifications, although they all pretty much work the same. If there's a datasheet, you'll want to refer to it

- Size: Round, 5mm (0.2") diameter. (Other photocells can get up to 12mm/0.4" diameter!)
- Price: [\\$1.00 at the Adafruit shop \(\)](#)
- Resistance range: 200K $\Omega$  (dark) to 10K $\Omega$  (10 lux brightness)
- Sensitivity range: CdS cells respond to light between 400nm (violet) and 600nm (orange) wavelengths, peaking at about 520nm (green).
- Power supply: pretty much anything up to 100V, uses less than 1mA of current on average (depends on power supply voltage)
- [Datasheet \(\)](#) and another [Datasheet \(\)](#)
- Two [application notes on using \(\)](#) and [selecting photocells \(\)](#) where nearly all of these graphs are taken from

## Problems you may encounter with multiple sensors

If, when adding more sensors, you find that the readings are inconsistent, this indicates that the sensors are interfering with each other when switching the analog

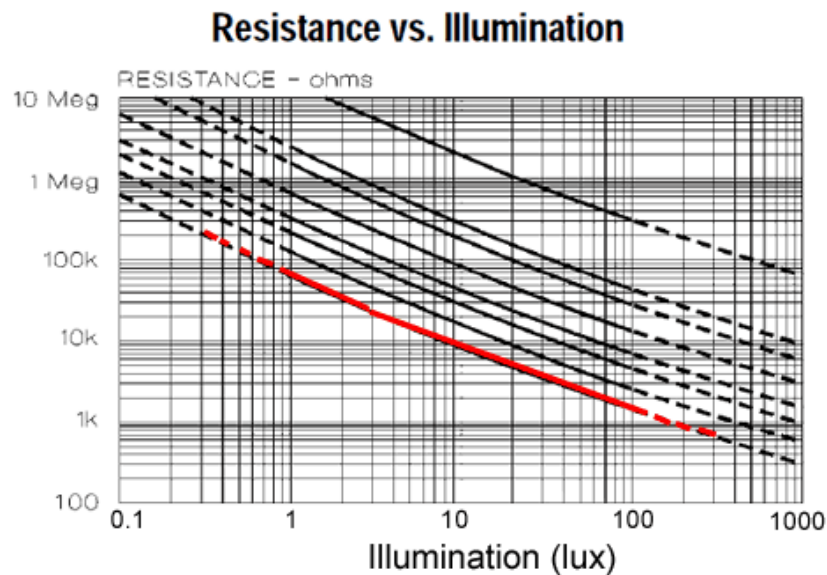
reading circuit from one pin to the other. You can fix this by doing two delayed readings and tossing out the first one.

[See this post for more information \(\)](#)

---

## Measuring Light

As we've said, a photocell's resistance changes as the face is exposed to more light. When its dark, the sensor looks like a large resistor up to  $10\text{M}\Omega$ , as the light level increases, the resistance goes down. This graph indicates approximately the resistance of the sensor at different light levels. Remember each photocell will be a little different so use this as a guide only!



Note that the graph is not linear, its a log-log graph!

Photocells, particularly the common CdS cells that you're likely to find, are not sensitive to all light. In particular they tend to be sensitive to light between 700nm (red) and 500nm (green) light.



Basically, blue light wont be nearly as effective at triggering the sensor as green/ yellow light!

## What the Heck is Lux?

Most datasheets use [lux \(\)](#) to indicate the resistance at certain light levels. But what is [lux \(\)](#) ? Its not a method we tend to use to describe brightness so its tough to gauge. Here is a table [adapted from a Wikipedia article on the topic! \(\)](#)

Illuminance	Example
0.002 lux	Moonless clear night sky
0.2 lux	Design minimum for emergency lighting (AS2293).
0.27 - 1 lux	Full moon on a clear night
3.4 lux	Dark limit of civil twilight under a clear sky
50 lux	Family living room
80 lux	Hallway/toilet
100 lux	Very dark overcast day
300 - 500 lux	Sunrise or sunset on a clear day. Well-lit office area.
1,000 lux	Overcast day; typical TV studio lighting
10,000 - 25,000 lux	Full daylight (not direct sun)
32,000 - 130,000 lux	Direct sunlight

# Testing a Photocell

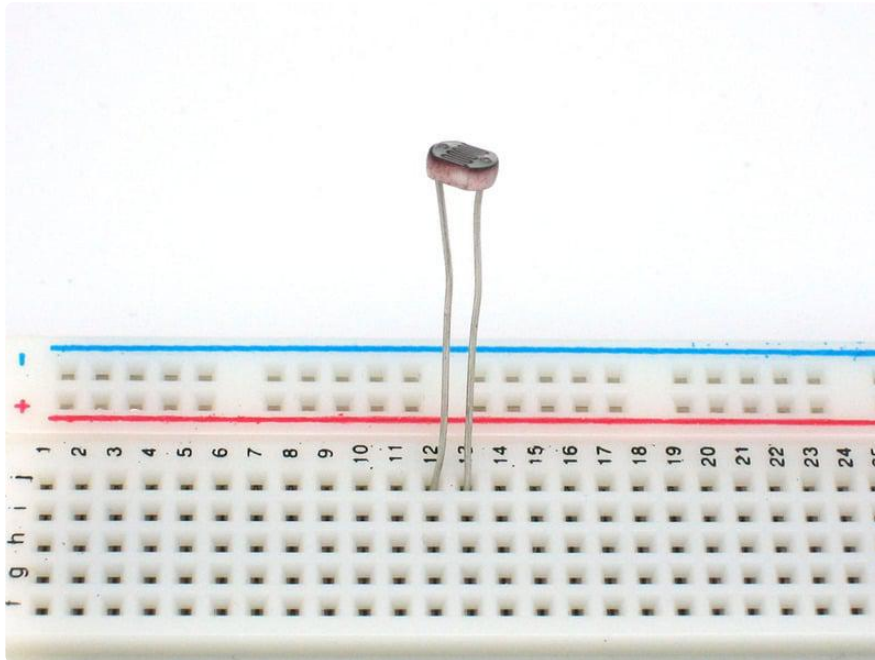
The easiest way to determine how your photocell works is to [connect a multimeter in resistance-measurement mode](#) () to the two leads and see how the resistance changes when shading the sensor with your hand, turning off lights, etc. Because the resistance changes a lot, an auto-ranging meter works well here. Otherwise, just make sure you try different ranges, between  $1\text{M}\Omega$  and  $1\text{K}\Omega$  before 'giving up'.



---

# Connecting a Photocell

Because photocells are basically resistors, they are non-polarized. That means you can connect them up 'either way' and they'll work just fine!



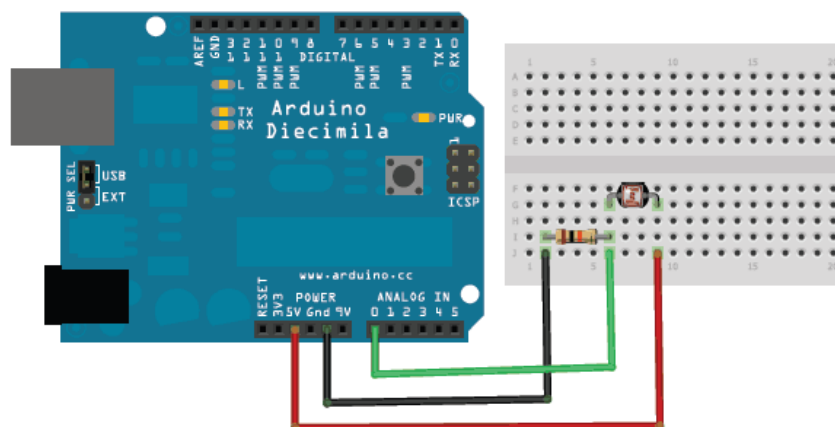
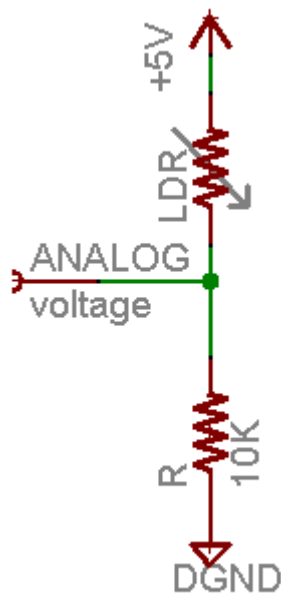
Photocells are pretty hardy, you can easily solder to them, clip the leads, plug them into breadboards, use alligator clips, etc. The only care you should take is to avoid bending the leads right at the epoxied sensor, as they could break off if flexed too often.



# Using a Photocell

## Analog Voltage Reading Method

The easiest way to measure a resistive sensor is to connect one end to Power and the other to a pull-down resistor to ground. Then the point between the fixed pulldown resistor and the variable photocell resistor is connected to the analog input of a microcontroller such as an Arduino (shown)



For this example I'm showing it with a 5V supply but note that you can use this with a 3.3v supply just as easily. In this configuration the analog voltage reading ranges from 0V (ground) to about 5V (or about the same as the power supply voltage).

The way this works is that as the resistance of the photocell decreases, the total resistance of the photocell and the pulldown resistor decreases from over 600KΩ to 10KΩ. That means that the current flowing through both resistors increases which in turn causes the voltage across the fixed 10KΩ resistor to increase. It's quite a trick!

Ambient light like...	Ambient light (lux)	Photocell resistance (Ω)	LDR + R (Ω)	Current thru LDR +R	Voltage across R
Dim hallway	0.1 lux	600KΩ	610 KΩ	0.008 mA	0.1 V
Moonlit night	1 lux	70 KΩ	80 KΩ	0.07 mA	0.6 V
Dark room	10 lux	10 KΩ	20 KΩ	0.25 mA	2.5 V
Dark overcast day / Bright room	100 lux	1.5 KΩ	11.5 KΩ	0.43 mA	4.3 V
Overcast day	1000 lux	300 Ω	10.03 KΩ	0.5 mA	5V

This table indicates the approximate analog voltage based on the sensor light/resistance w/a 5V supply and 10KΩ pulldown resistor.

If you're planning to have the sensor in a bright area and use a 10KΩ pulldown, it will quickly saturate. That means that it will hit the 'ceiling' of 5V and not be able to differentiate between kinda bright and really bright. In that case, you should replace the 10KΩ pulldown with a 1KΩ pulldown. In that case, it will not be able to detect dark level differences as well but it will be able to detect bright light differences better. This is a tradeoff that you will have to decide upon!

You can also use the "Axel Benz" formula by first measuring the minimum and maximum resistance value with the multimeter and then finding the resistor value with: Pull-Down-Resistor =  $\sqrt{R_{min} * R_{max}}$ , this will give you slightly better range calculations

Ambient light like...	Ambient light (lux)	Photocell resistance (?)	LDR + R (?)	Current thru LDR+R	Voltage across R
Moonlit night	1 lux	70 KΩ	71 KΩ	0.07 mA	0.1 V
Dark room	10 lux	10 KΩ	11 KΩ	0.45 mA	0.5 V

Dark overcast day / Bright room	100 lux	1.5 K $\Omega$	2.5 K $\Omega$	2 mA	2.0 V
Overcast day	1000 lux	300 $\Omega$	1.3 K $\Omega$	3.8 mA	3.8 V
Full daylight	10,000 lux	100 $\Omega$	1.1 K $\Omega$	4.5 mA	4.5 V

This table indicates the approximate analog voltage based on the sensor light/resistance w/a 5V supply and 1K pull-down resistor.

Note that our method does not provide linear voltage with respect to brightness! Also, each sensor will be different. As the light level increases, the analog voltage goes up even though the resistance goes down:

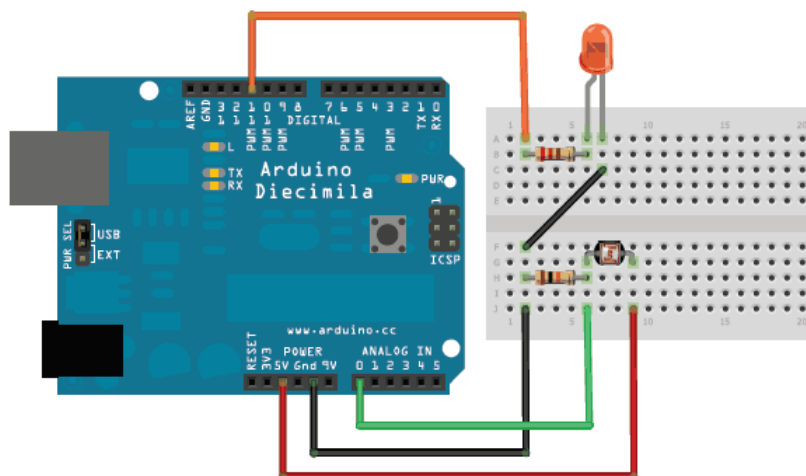
$$V_o = V_{cc} ( R / (R + \text{Photocell}) )$$

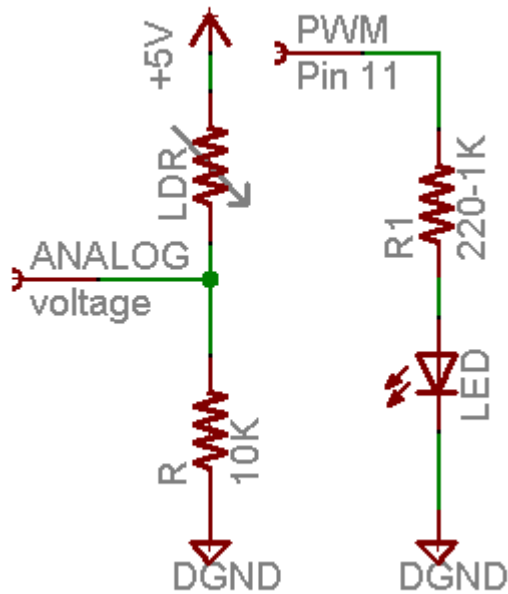
That is, the voltage is proportional to the inverse of the photocell resistance which is, in turn, inversely proportional to light levels.

## Arduino Code

### Simple Demonstration of Use

This sketch will take the analog voltage reading and use that to determine how bright the red LED is. The darker it is, the brighter the LED will be! Remember that the LED has to be connected to a PWM pin for this to work, I use pin 11 in this example.





These examples assume you know some basic Arduino programming. If you don't, [maybe spend some time reviewing the basics at the Arduino tutorial? \(\)](#)

```

/* Photocell simple testing sketch.

Connect one end of the photocell to 5V, the other end to Analog 0.
Then connect one end of a 10K resistor from Analog 0 to ground
Connect LED from pin 11 through a resistor to ground
For more information see http://learn.adafruit.com/photocells */

int photocellPin = 0;      // the cell and 10K pulldown are connected to a0
int photocellReading;     // the analog reading from the sensor divider
int LEDpin = 11;          // connect Red LED to pin 11 (PWM pin)
int LEDbrightness;        //
void setup(void) {
  // We'll send debugging information via the Serial monitor
  Serial.begin(9600);
}

void loop(void) {
  photocellReading = analogRead(photocellPin);

  Serial.print("Analog reading = ");
  Serial.println(photocellReading);    // the raw analog reading

  // LED gets brighter the darker it is at the sensor
  // that means we have to -invert- the reading from 0-1023 back to 1023-0
  photocellReading = 1023 - photocellReading;
  //now we have to map 0-1023 to 0-255 since thats the range analogWrite uses
  LEDbrightness = map(photocellReading, 0, 1023, 0, 255);
  analogWrite(LEDpin, LEDbrightness);

  delay(100);
}

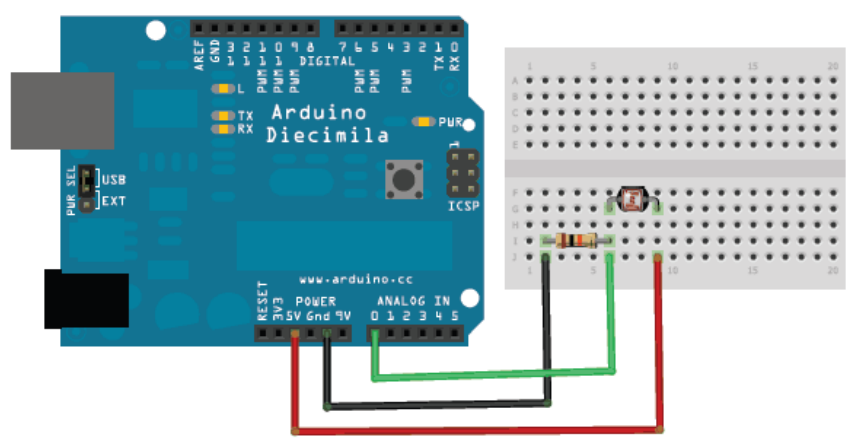
```

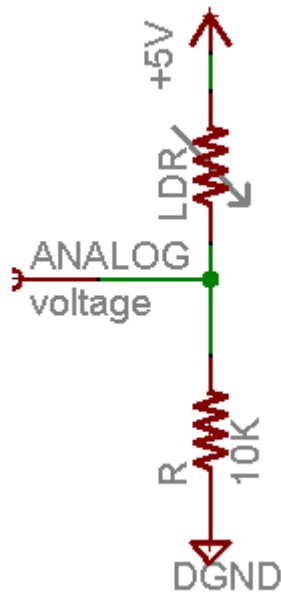
```
Analog reading = 940
Analog reading = 938
Analog reading = 932
Analog reading = 882
Analog reading = 863
Analog reading = 833
Analog reading = 776
Analog reading = 731
Analog reading = 677
Analog reading = 498
Analog reading = 453
Analog reading = 459
Analog reading = 463
Analog reading = 465
Analog reading = 472
Analog reading = 474
Analog reading = 480
Analog reading = 479
Analog reading = 480
Analog reading = 486
27
```

You may want to try different pulldown resistors depending on the light level range you want to detect!

## Simple Code for Analog Light Measurements

This code doesn't do any calculations, it just prints out what it interprets as the amount of light in a qualitative manner. For most projects, this is pretty much all that's needed!





```

/* Photocell simple testing sketch.

Connect one end of the photocell to 5V, the other end to Analog 0.
Then connect one end of a 10K resistor from Analog 0 to ground

For more information see http://learn.adafruit.com/photocells */

int photocellPin = 0;    // the cell and 10K pulldown are connected to a0
int photocellReading;   // the analog reading from the analog resistor divider

void setup(void) {
  // We'll send debugging information via the Serial monitor
  Serial.begin(9600);
}

void loop(void) {
  photocellReading = analogRead(photocellPin);

  Serial.print("Analog reading = ");
  Serial.print(photocellReading);    // the raw analog reading

  // We'll have a few thresholds, qualitatively determined
  if (photocellReading < 10) {
    Serial.println(" - Dark");
  } else if (photocellReading < 200) {
    Serial.println(" - Dim");
  } else if (photocellReading < 500) {
    Serial.println(" - Light");
  } else if (photocellReading < 800) {
    Serial.println(" - Bright");
  } else {
    Serial.println(" - Very bright");
  }
  delay(1000);
}

```

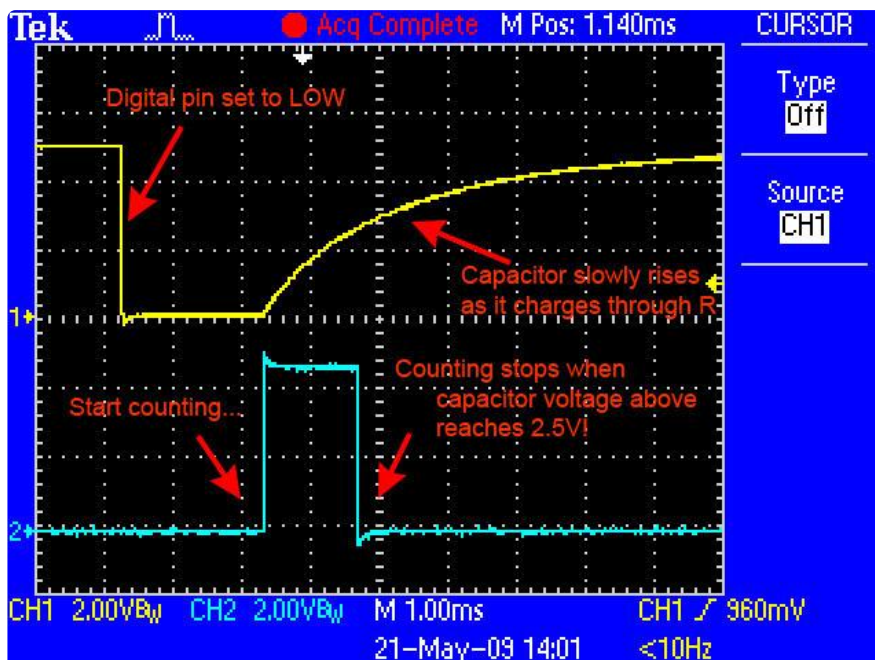
To test it, I started in a sunlit (but shaded) room and covered the sensor with my hand, then covered it with a piece of blackout fabric.

```
Analog reading = 942 - Very bright
Analog reading = 944 - Very bright
Analog reading = 918 - Very bright
Analog reading = 722 - Bright
Analog reading = 708 - Bright
Analog reading = 551 - Bright
Analog reading = 409 - Light
Analog reading = 250 - Light
Analog reading = 87 - Dim
Analog reading = 296 - Light
Analog reading = 118 - Dim
Analog reading = 74 - Dim
Analog reading = 52 - Dim
Analog reading = 35 - Dim
Analog reading = 12 - Dim
Analog reading = 8 - Dark
```

29

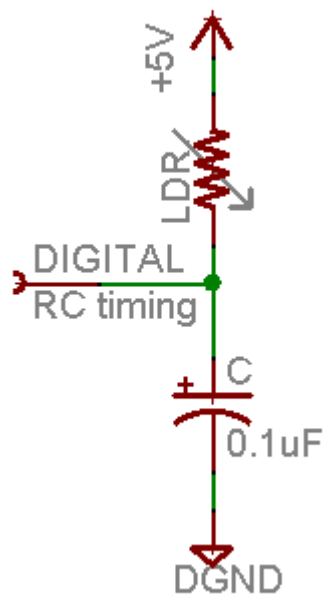
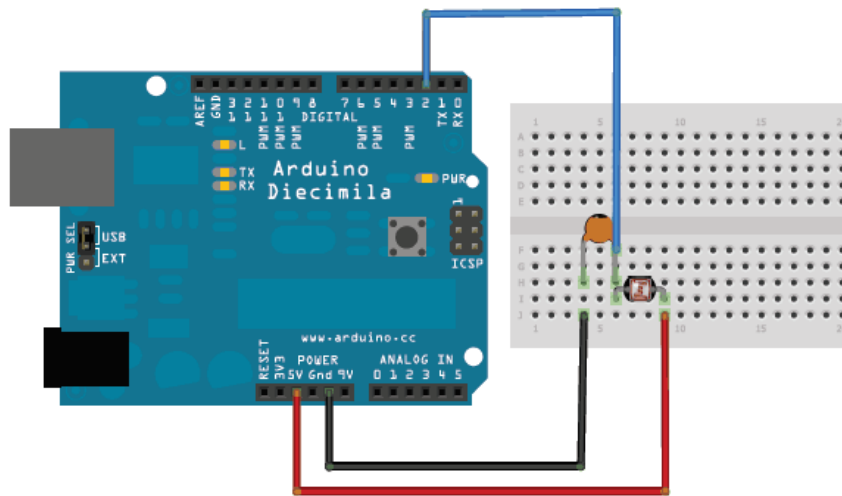
## BONUS! Reading Photocells Without Analog Pins

Because photocells are basically resistors, its possible to use them even if you don't have any analog pins on your microcontroller (or if say you want to connect more than you have analog input pins). The way we do this is by taking advantage of a basic electronic property of resistors and capacitors. It turns out that if you take a capacitor that is initially storing no voltage, and then connect it to power (like 5V) through a resistor, it will charge up to the power voltage slowly. The bigger the resistor, the slower it is.



This capture from an oscilloscope shows what's happening on the digital pin (yellow). The blue line indicates when the sketch starts counting and when the counting is complete, about 1.2ms later.

This is because the capacitor acts like a bucket and the resistor is like a thin pipe. To fill a bucket up with a very thin pipe takes enough time that you can figure out how wide the pipe is by timing how long it takes to fill the bucket up halfway.



In this case, our 'bucket' is a 0.1uF ceramic capacitor. You can change the capacitor nearly any way you want but the timing values will also change. 0.1uF seems to be an OK place to start for these photocells. If you want to measure brighter ranges, use a 1uF capacitor. If you want to measure darker ranges, go down to 0.01uF.

```
/* Photocell simple testing sketch.
Connect one end of photocell to power, the other end to pin 2.
Then connect one end of a 0.1uF capacitor from pin 2 to ground
For more information see http://learn.adafruit.com/photocells */

int photocellPin = 2;    // the LDR and cap are connected to pin2
int photocellReading;   // the digital reading
```

```

int ledPin = 13;    // you can just use the 'built in' LED

void setup(void) {
  // We'll send debugging information via the Serial monitor
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // have an LED for output
}

void loop(void) {
  // read the resistor using the Rctime technique
  photocellReading = Rctime(photocellPin);

  if (photocellReading == 30000) {
    // if we got 30000 that means we 'timed out'
    Serial.println("Nothing connected!");
  } else {
    Serial.print("Rctime reading = ");
    Serial.println(photocellReading);    // the raw analog reading

    // The brighter it is, the faster it blinks!
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
    delay(photocellReading);
    digitalWrite(ledPin, LOW);
    delay(photocellReading);
  }
  delay(100);
}

// Uses a digital pin to measure a resistor (like an FSR or photocell!)
// We do this by having the resistor feed current into a capacitor and
// counting how long it takes to get to Vcc/2 (for most arduinos, thats 2.5V)
int Rctime(int RCpin) {
  int reading = 0; // start with 0

  // set the pin to an output and pull to LOW (ground)
  pinMode(RCpin, OUTPUT);
  digitalWrite(RCpin, LOW);

  // Now set the pin to an input and...
  pinMode(RCpin, INPUT);
  while (digitalRead(RCpin) == LOW) { // count how long it takes to rise up to HIGH
    reading++; // increment to keep track of time

    if (reading == 30000) {
      // if we got this far, the resistance is so high
      // its likely that nothing is connected!
      break; // leave the loop
    }
  }
  // OK either we maxed out at 30000 or hopefully got a reading, return the count
  return reading;
}

```

```
RCtime reading = 20
RCtime reading = 25
RCtime reading = 26
RCtime reading = 27
RCtime reading = 28
RCtime reading = 31
RCtime reading = 33
RCtime reading = 38
RCtime reading = 148
RCtime reading = 188
RCtime reading = 240
RCtime reading = 270
RCtime reading = 281
RCtime reading = 284
RCtime reading = 282
RCtime reading = 18
RCtime reading = 14
RCtime reading = 13
27
```

---

## CircuitPython

It's easy to read how much light a photocell sees with CircuitPython and its [built-in analog input support](#) (). By wiring the photocell to an analog input of your board you can read the voltage from it and see how it changes as the amount of light hitting the sensor changes too.

First wire up a photocell to your board as shown on the previous page for Arduino. You'll want to setup the same voltage divider with a 10 kilo-ohm resistor circuit and feed the output into any analog input on your board (note the special method of reading photocells without an analog input is not currently supported by CircuitPython).

Here's an example of wiring a photocell to a Feather M0:



```
photocell.value
```

```
>>> photocell.value
58503
```

Try covering the photocell with your hand to block the light it can see and read the value again:

```
photocell.value
```

```
>>> photocell.value
22648
>>> █
```

Notice the value changed! When the sensor sees less light the value is reduced. The more light the sensor sees, the higher the value.

You might wonder, what's the range of possible values? It turns out for an analog input in CircuitPython the maximum values range from 0 to 65535 (or the maximum 16-bit unsigned integer value). If you shine an extremely bright light on the photocell you might see a value near 65k, and if you completely block the sensor you might see a value down near 0.

If you're curious you can also convert this value into a voltage that's higher or lower depending on how much light is hitting the sensor. Let's make a function to do this:

```
def analog_voltage(adc):
    return adc.value / 65535 * adc.reference_voltage
volts = analog_voltage(photocell)
print('Photocell voltage: {0}V'.format(volts))
```

```
>>> def analog_voltage(adc):
...     return adc.value / 65535 * adc.reference_voltage
...
>>> volts = analog_voltage(photocell)
>>> print('Photocell voltage: {0}V'.format(volts))
Photocell voltage: 2.98317V
>>> █
```

Cool! Notice the voltage increases up to near 3.3 volts as the light hitting the photocell increases. If you cover the photocell up and read the voltage you'll see it falls down near 0 volts.

You can use either the raw value or voltage to check how much light is hitting the photocell. Both will change proportionally to the amount of light hitting the sensor.

Here's a complete program that reads the photocell value and prints both the value and voltage every second. Save this as main.py on your board and open the serial output to see the printed values. Try shining light on the sensor or covering it up to see how the value and voltage change!

```
import time

import board
import analogio

# Initialize analog input connected to photocell.
photocell = analogio.AnalogIn(board.A1)

# Make a function to convert from analog value to voltage.
def analog_voltage(adc):
    return adc.value / 65535 * adc.reference_voltage

# Main loop reads value and voltage every second and prints them out.
while True:
    # Read the value, then the voltage.
    val = photocell.value
    volts = analog_voltage(photocell)
    # Print the values:
    print('Photocell value: {0} voltage: {1}V'.format(val, volts))
    # Delay for a second and repeat!
    time.sleep(1.0)
```

That's all there is to reading a photocell using an analog input with CircuitPython!

---

## Example Projects

[Noisemaker that changes frequency based on light level. \(\)](#)

Motor value and directional control with photoresistors and microcontroller

Line-following robot that uses photocells to detect the light bouncing off of white/black stripes

[Another robot, this one has two sensors and moves towards light \(\)](#) (they're called Braitenberg vehicles)

[Using a photocell and pocket laser pointer to create a breakbeam sensor \(\)](#)

---

## Buy a Photocell

[Buy a Photocell \(http://adafru.it/161\)](http://adafru.it/161)

# Mouser Electronics

Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

[Adafruit:](#)

[161](#)



Controlar el flujo de fluido utilizando esta válvula es fácil. Esta válvula tiene roscas de 1/2". Normalmente, la válvula está cerrada. Cuando se aplica 12VDC a los dos terminales, la válvula se abre y el agua puede pasar a través. La válvula tiene una disposición de junta interior. Además el líquido puede fluir sólo en una dirección.

Se realizó la prueba del solenoide con diversos voltajes DC y se encontró que se pudo accionar el solenoide a 6 VDC (aunque era un poco más lento para abrir). A continuación se presenta la tabla de consumo de corriente para diferentes tensiones. Sugerimos un TIP120 o FET de potencia de canal N con un diodo 1N4001 para controlar esto desde un pin del microcontrolador. Para una fuente de alimentación, nuestros adaptadores de corriente de 9V 1A o 12V 1A servirán.

Voltaje	Corriente
6V	229 mA
7V	267 mA
8V	305 mA
9V	343 mA
10V	382 mA
11V	422 mA
12V	465 mA

Estos solenoides no están clasificados para la seguridad alimentaria o su uso aparte de agua.

- 1/2" Nominal NPS
- **Presión de trabajo: 0.02 Mpa – 0.8 Mpa**
- Temperatura de trabajo: 1 °C – 75 °C
- Tiempo de respuesta (open):  $\leq 0.15$  sec
- Tiempo de respuesta (close):  $\leq 0.3$  sec
- Voltaje de actuación: 12VDC (ver tabla)
- Vida útil:  $\geq 50$  millones de ciclos
- Peso: 4.3 oz
- Dimensiones: 3" x 2.25" x 2"
- **Normalmente Cerrada**



## HEATING CABLE

-Give you a warm winter-



Quick warming



Mute



Environmental



Safety



Flame Retardant

### 1.K represents the meaning of thousands?

1K is a thousand silk, 24K is 24 thousands silk(24000) composition  
Different K numbers represent different resistors!

### 2.The difference between silica gel and PTFE

#### PTFE carbon fiber heating wire

Advantages:Wear, corrosion resistance, so smell  
Disadvantages: Relative to the silicone are not soft

#### Silicone carbon fiber heating wire

Advantages:Resistant to bending, soft  
Disadvantages: there is smell

### 3.what is the resistance per meter?

1K=400 Ohm/m 2K=220 Ohm/m 3K=133 Ohm/m  
6K=74 Ohm/m 9K=43 Ohm/m 12K=33 Ohm/m  
15K=24 Ohm/m 18K=21 Ohm/m 24K=17 Ohm/m  
36K=12 Ohm/m 48K=9 Ohm/m

### How to calculate power

Product power calculation:

$$(\text{Voltage} \cdot \text{Voltage}) / (\text{resistance} \cdot \text{length}) = \text{Power}$$

The longer the length, the smaller the power of the heating line

Model	36K	24K	18K	15K	12K	9K	6K	3K
resistance Ω/m	10.5	17	22.5	25	33	42	66	133
wire diameter	3.2	3.0	2.8	2.5	2.2	2.0	1.8	1.5

## PERFORMANCE CHARACTERISTICS



### QUICK HEATING

Far Infrared Ray of Life to  
Generate Human Needs  
8UM-15UM

### ENERGY SAVING

Carbon fiber electrotherm is  
a kind of all-black material. Thermal  
conversion efficiency is 30%  
higher than that of metal heating.



### HIGH TENSILE STRENGTH

Carbon fibers with the same  
allowable current composite  
area The strength of dimension  
is 6-10 times higher than that  
of wire

### CHEMICAL STABILITY

Corrosion resistance, not easy  
to be oxidized, in the anaerobic  
state Heating to 3000 degrees

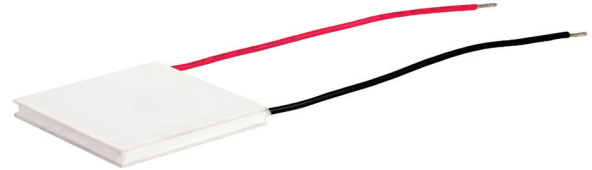




**SERIES:** CP50 | **DESCRIPTION:** PELTIER MODULE

**FEATURES**

- arcTEC™ structure on select models
- solid state device
- precise temperature control
- quiet operation


**MODEL**

	input voltage <sup>1</sup> max [Vdc]	input current <sup>2</sup> max [A]	internal resistance <sup>3</sup> typ [Ω±10%]	output Qmax <sup>4</sup>		output ΔTmax <sup>5</sup>	
				T <sub>n</sub> =27°C [W]	T <sub>n</sub> =50°C [W]	T <sub>h</sub> =27°C [°C]	T <sub>h</sub> =50°C [°C]
CP50141	2.1	5.0	0.31	5.5	6.1	68	75
CP50241	3.8	5.0	0.56	10.0	11.1	68	75
CP50301541	4.2	5.0	0.63	11	12.3	68	75
CP5030395 <sup>6</sup>	11.8	5.0	1.74	35.0	38.0	70	77
CP50341 <sup>6</sup>	8.6	5.0	1.29	23.0	25.7	70	77
CP50441 <sup>6</sup>	15.4	5.0	2.3	41.0	45.8	70	77

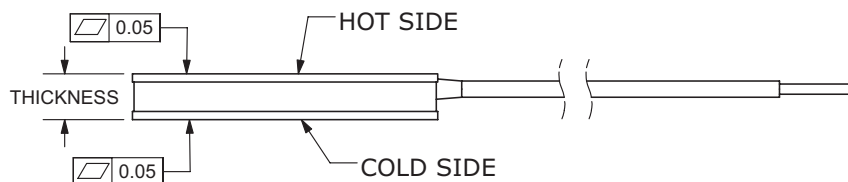
Notes: 1. Maximum voltage at ΔT max and T<sub>n</sub>=27°C  
 2. Maximum current to achieve ΔT max  
 3. Measured by AC 4-terminal method at 25°C  
 4. Maximum heat absorbed at cold side occurs at I<sub>max</sub>, V<sub>max</sub>, and ΔT=0°C  
 5. Maximum temperature difference occurs at I<sub>max</sub>, V<sub>max</sub>, and Q=0W (ΔT max measured in a vacuum at 1.3 Pa)  
 6. Designed with arcTEC™ structure

## SPECIFICATIONS

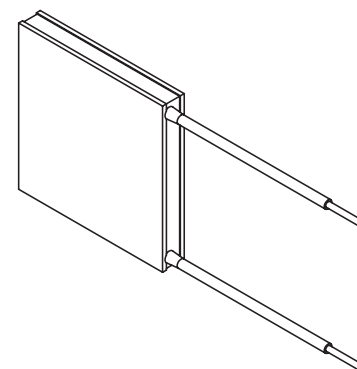
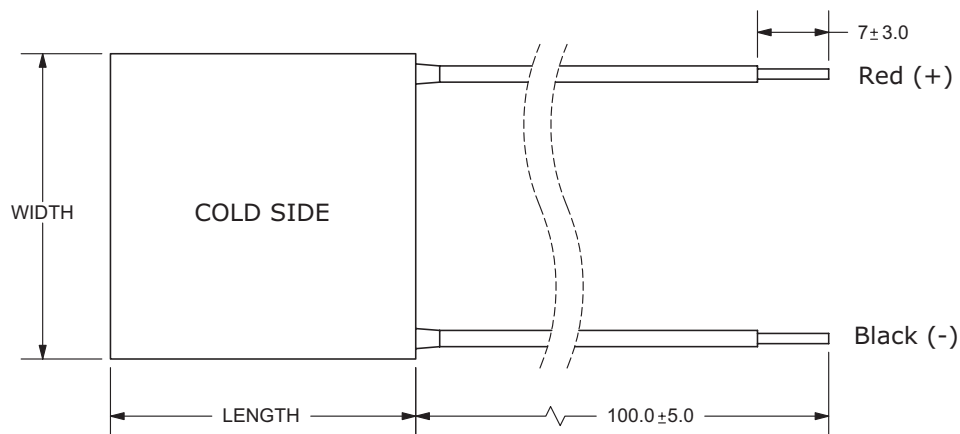
parameter	conditions/description	min	typ	max	units
solder melting temperature	connection between thermoelectric pairs	235			°C
assembly compression				1	MPa
RoHS	yes				

## MECHANICAL DRAWING

units: mm



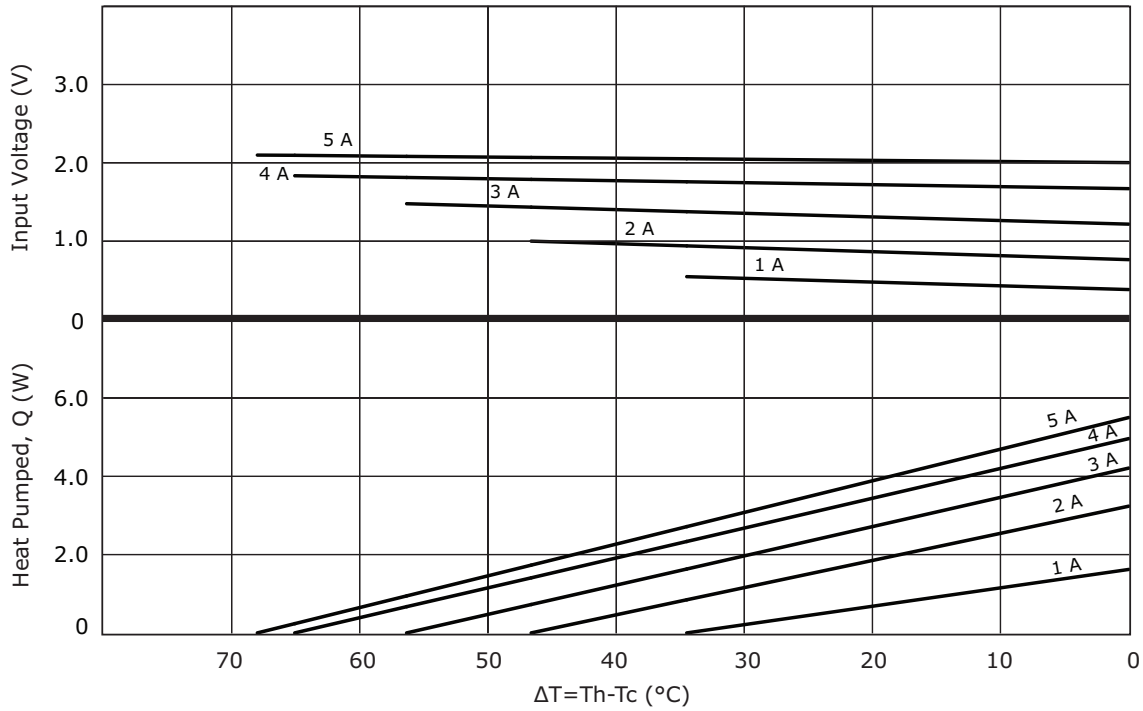
	MATERIAL	PLATING
ceramic plate	96% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
wire leads	20 AWG	tin
sealer	silicon rubber 703 RTV (between cold and hot side plates)	
joint cover	silicon rubber 703 RTV	
marking	P/N & S/N printed on cold side surface	



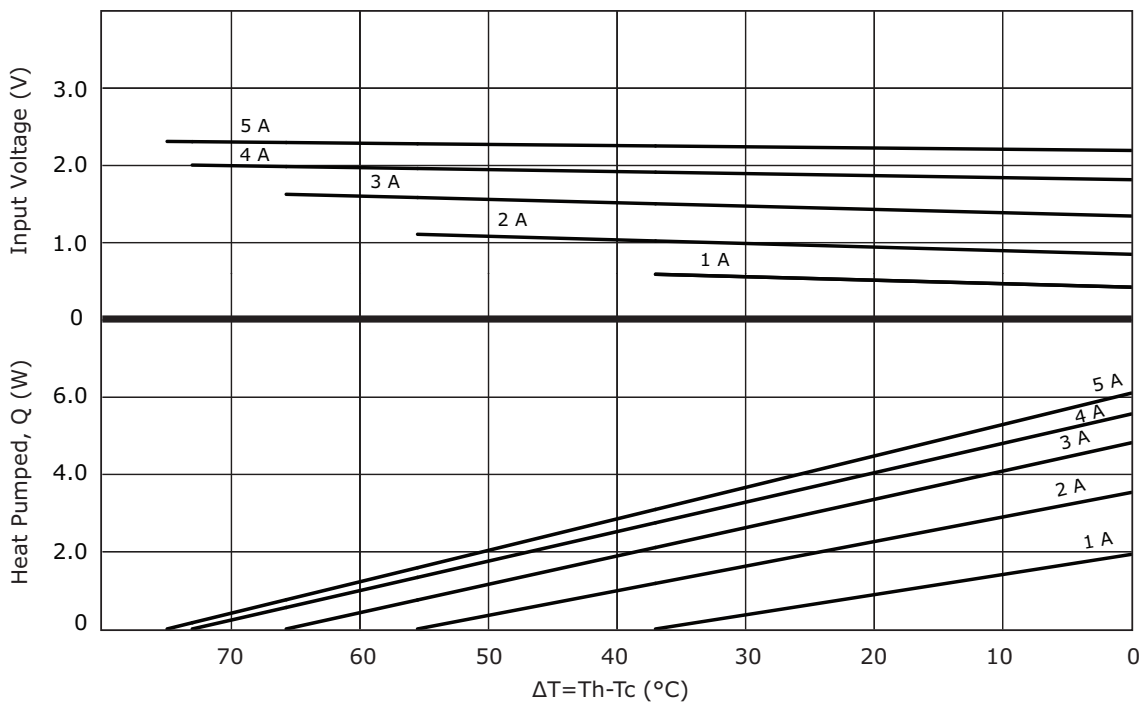
MODEL NO.	LENGTH [mm]	WIDTH [mm]	THICKNESS [mm]
CP50141	15 ± 0.3	15 ± 0.3	4.0 ± 0.1
CP50241	20 ± 0.3	20 ± 0.3	4.0 ± 0.1
CP50301541	30 ± 0.3	15 ± 0.3	4.0 ± 0.1
CP5030395	30 ± 0.3	30 ± 0.3	3.95 ± 0.025
CP50341 <sup>1</sup>	30 ± 0.3	30 ± 0.3	4.0 ± 0.1
CP50441 <sup>1</sup>	40 ± 0.3	40 ± 0.3	4.0 ± 0.1

Notes: 1. Wire lead strip length on models CP50341 & CP50441 is 10 ± 3.0 mm.

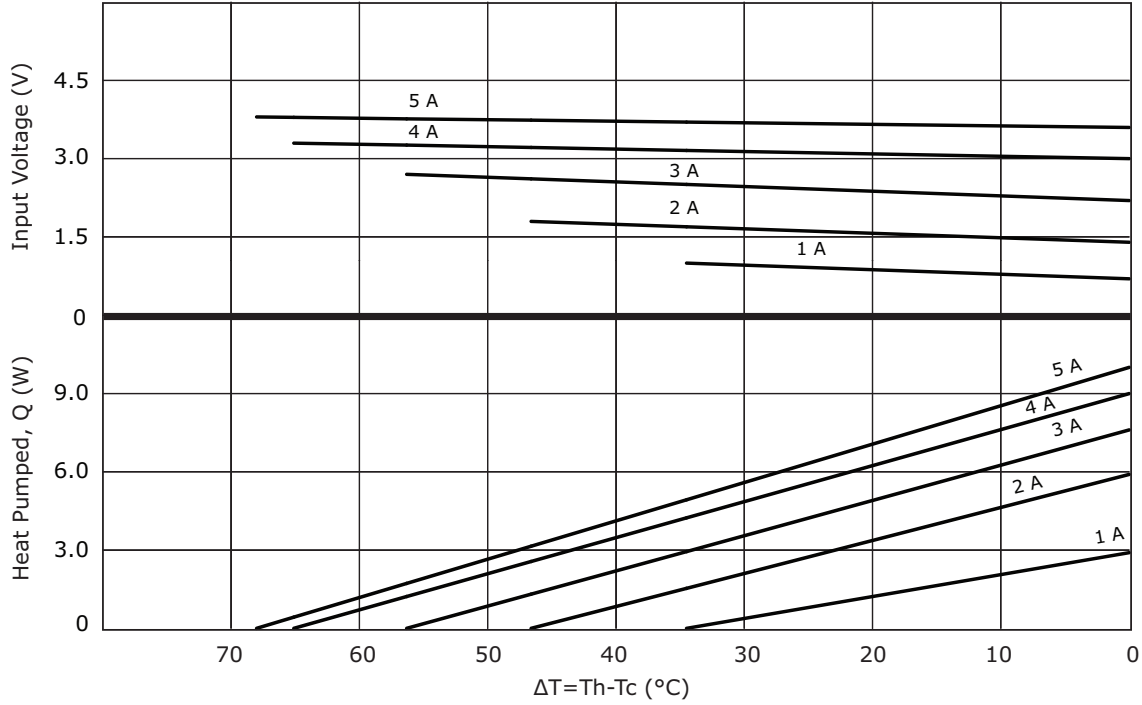
### CP50141 PERFORMANCE (Th=27°C)



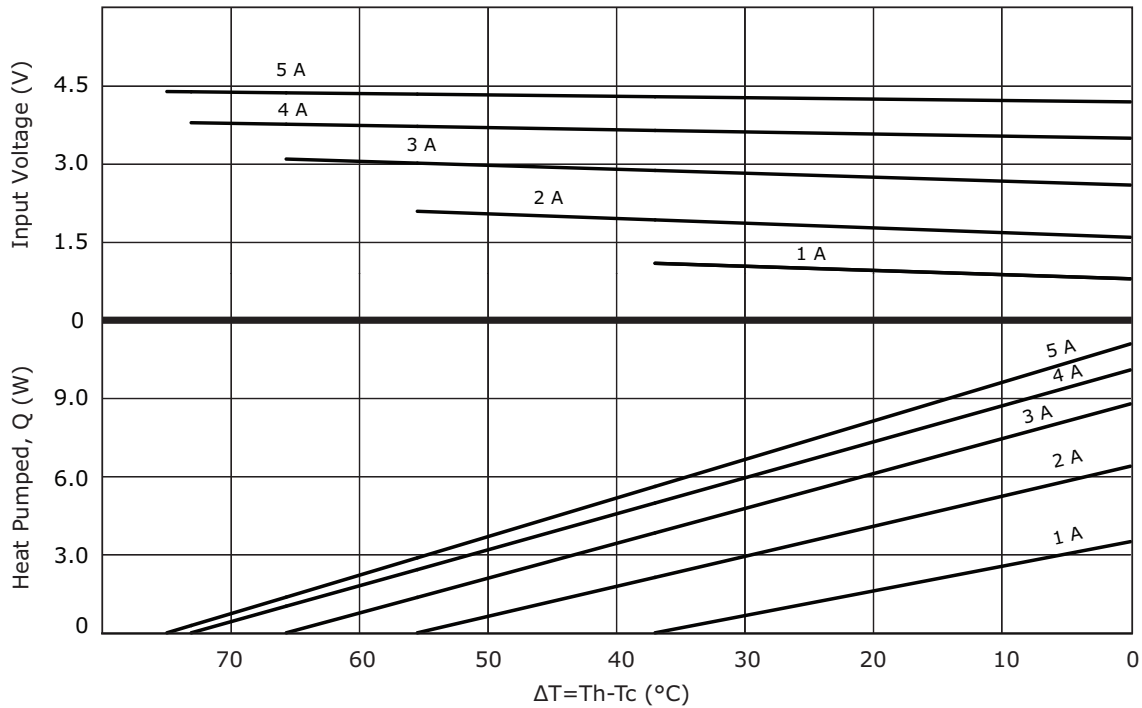
### CP50141 PERFORMANCE (Th=50°C)



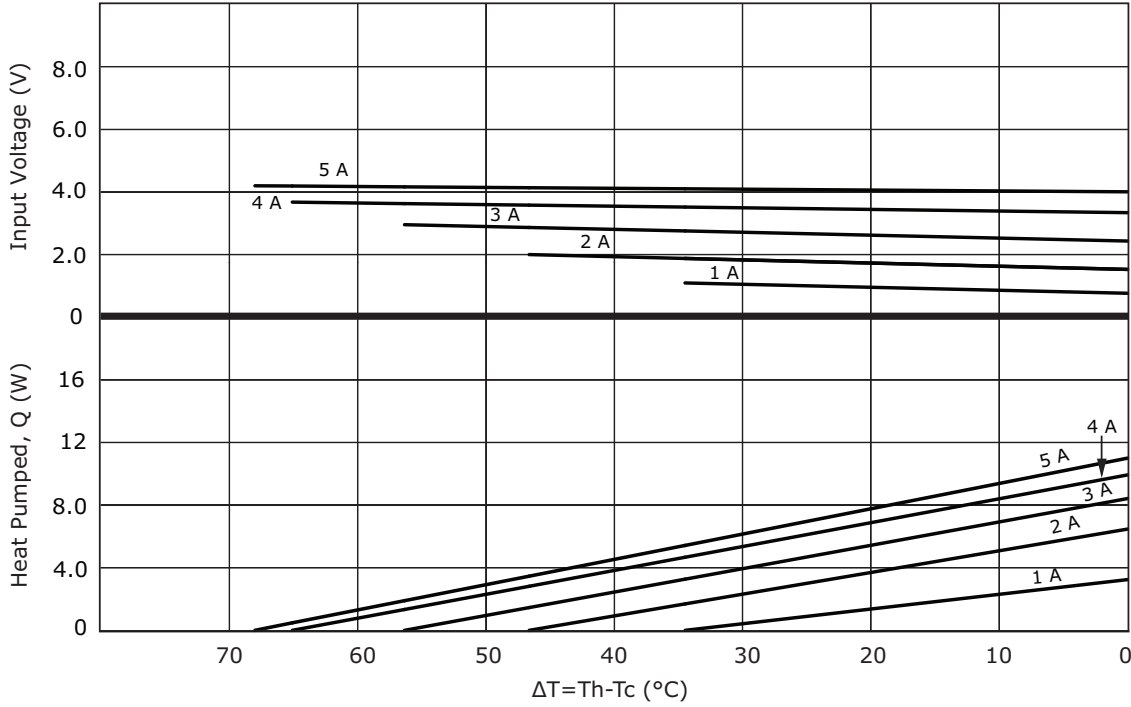
### CP50241 PERFORMANCE (Th=27°C)



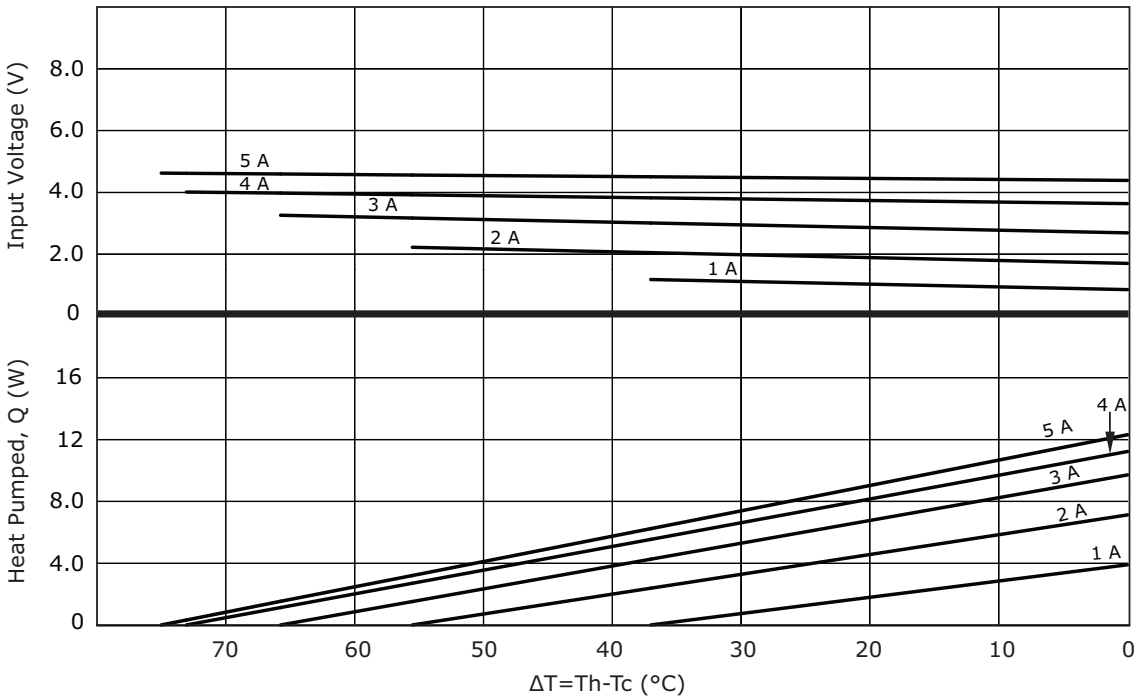
### CP50241 PERFORMANCE (Th=50°C)



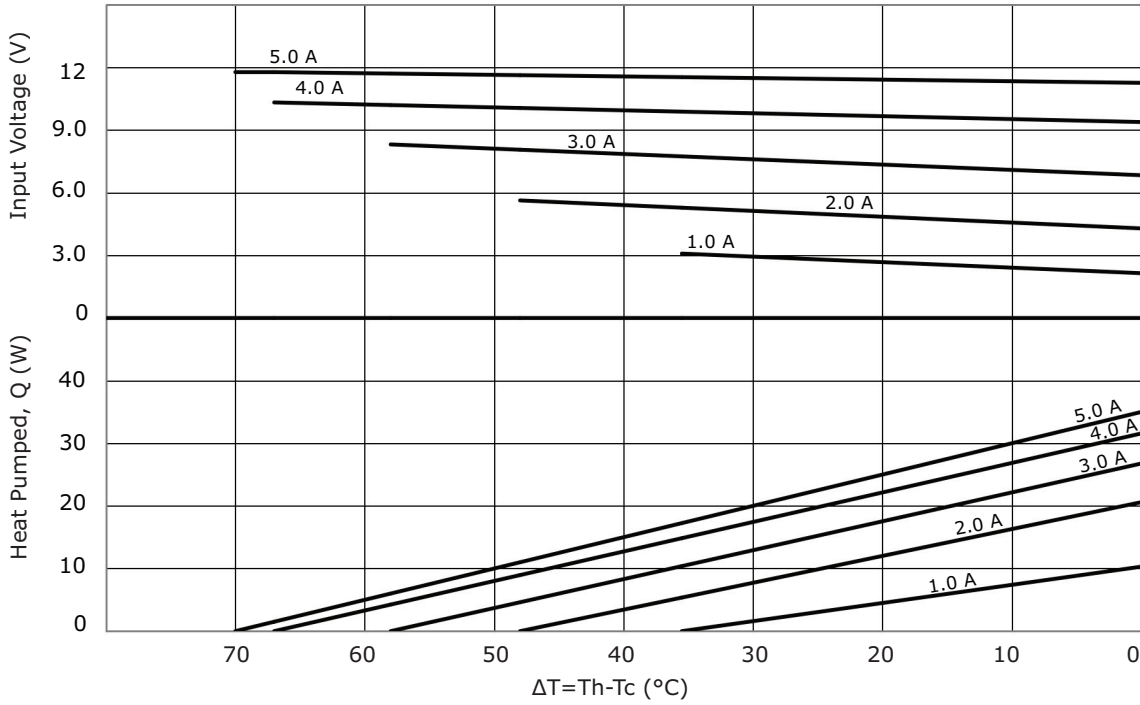
### CP50301541 PERFORMANCE (Th=27°C)



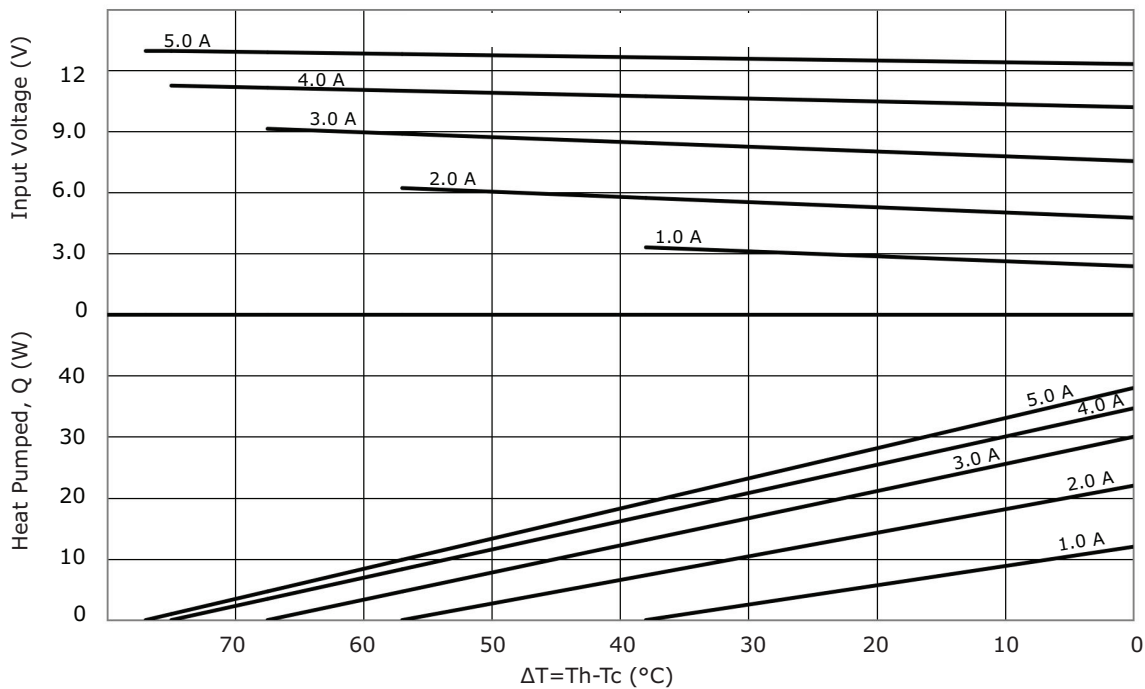
### CP50301541 PERFORMANCE (Th=50°C)



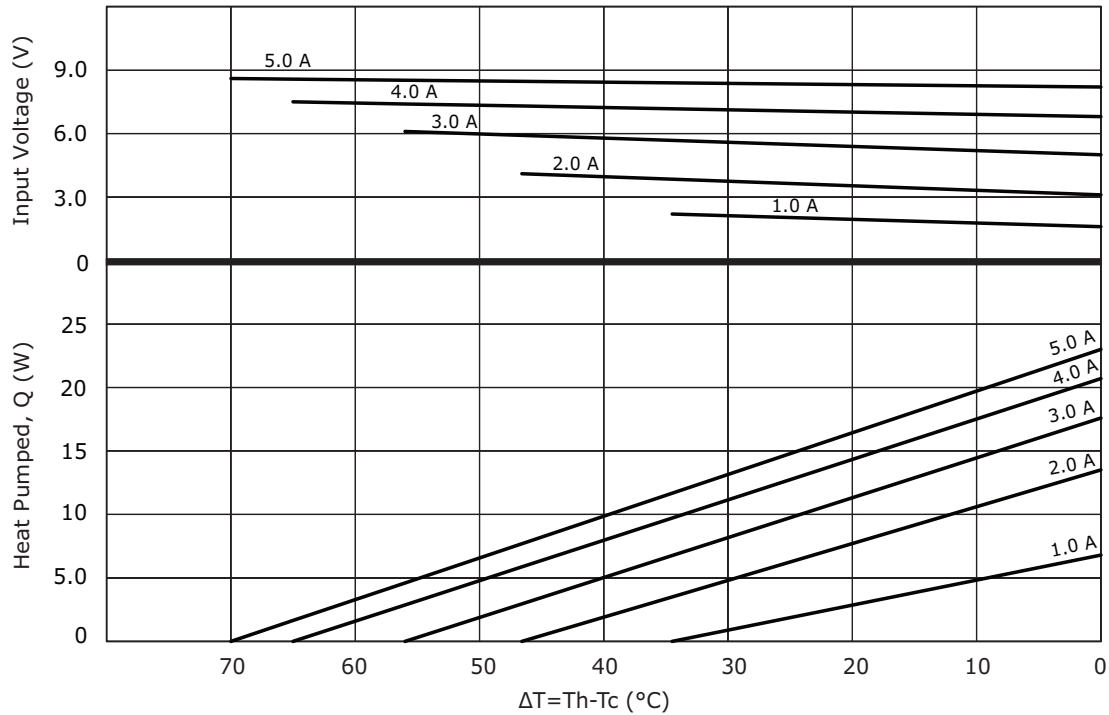
## CP5030395 PERFORMANCE (Th=27°C)



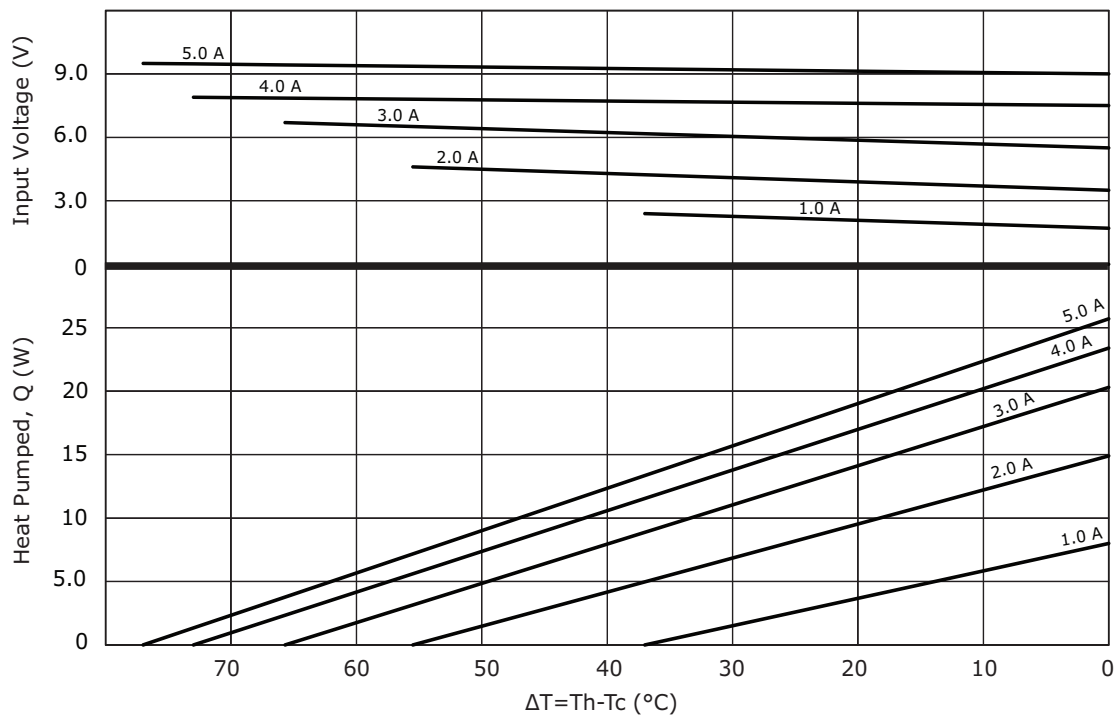
## CP5030395 PERFORMANCE (Th=50°C)



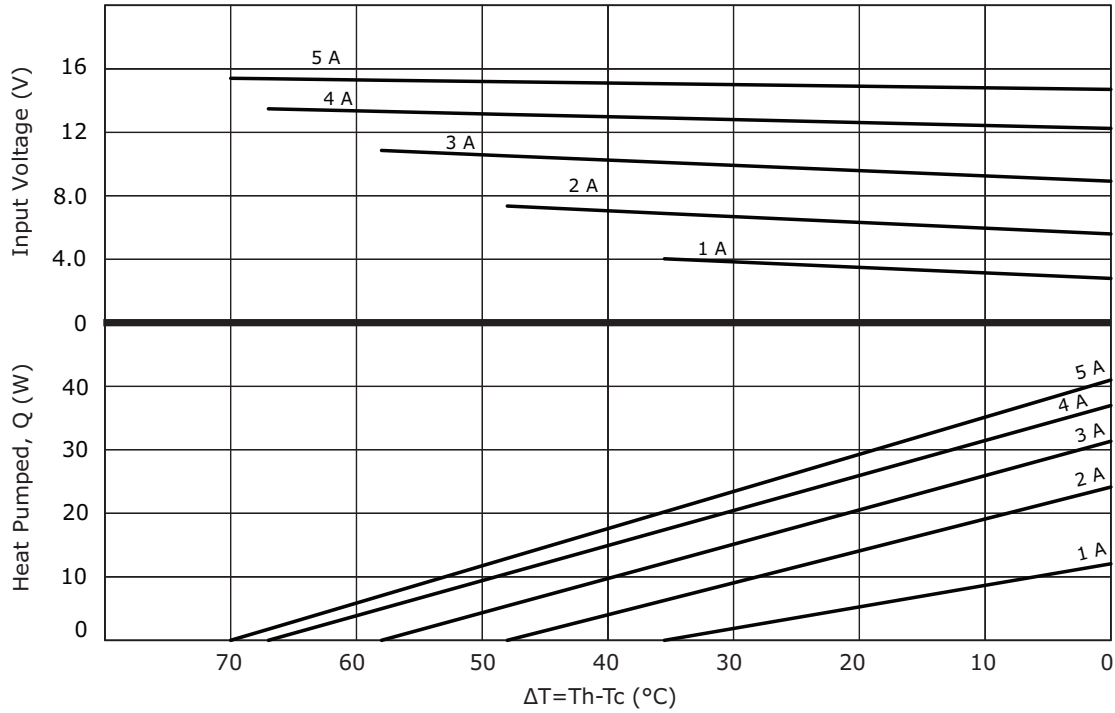
## CP50341 PERFORMANCE (Th=27°C)



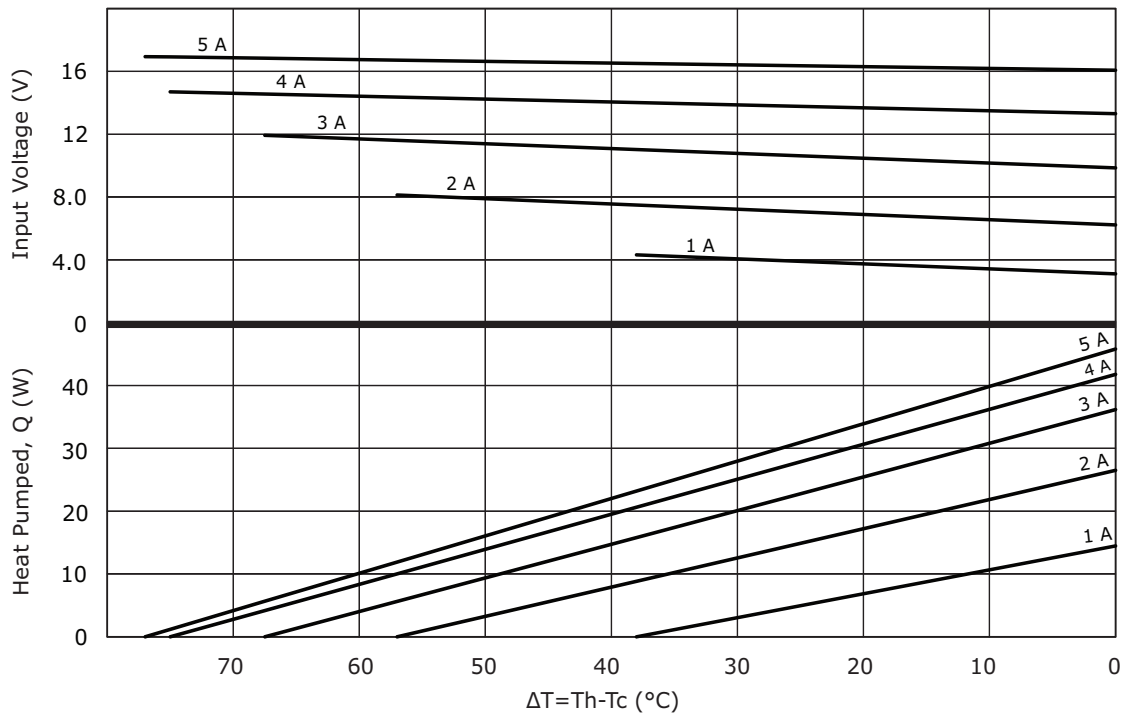
## CP50341 PERFORMANCE (Th=50°C)



## CP50441 PERFORMANCE (Th=27°C)



## CP50441 PERFORMANCE (Th=50°C)



## REVISION HISTORY

rev.	description	date
1.0	initial release	09/08/2016
1.01	changed models CP50341 & CP50441 to arcTEC™ structure	12/01/2017
1.02	changed thickness of CP50141, CP50241, CP50301541 models	09/20/2018
1.03	added model CP5030395, brand update	10/18/2019
1.04	logo, datasheet style update	08/05/2022

The revision history provided is for informational purposes only and is believed to be accurate.



CUI Devices offers a one (1) year limited warranty. Complete warranty information is listed on our website.

CUI Devices reserves the right to make changes to the product at any time without notice. Information provided by CUI Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by CUI Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use.

CUI Devices products are not authorized or warranted for use as critical components in equipment that requires an extremely high level of reliability. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

[cuidevices.com](http://cuidevices.com)

# Mouser Electronics

Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

## CUI Devices:

[CP50441](#) [CP50341](#) [CP50301541](#) [CP50241](#) [CP50141](#) [CP5030395](#)

**SERIES:** CFM-120B | **DESCRIPTION:** DC AXIAL FAN**FEATURES**

- dual ball bearing
- 120 x 120 mm frame
- multiple speed options
- tachometer signal available
- auto restart



MODEL	input voltage		input current <sup>1</sup>	input power <sup>1</sup>	rated speed <sup>1</sup>	airflow <sup>2</sup>	static pressure <sup>3</sup>	noise <sup>4</sup>
	rated (Vdc)	range (Vdc)	max (A)	max (W)	typ (RPM±10%)	(CFM)	(inch H <sub>2</sub> O)	typ (dBA)
CFM-A225B-015-287	5	4.5~5.5	0.24	1.20	1,500 <sup>5</sup>	52.31	0.06	24.8
CFM-A225B-018-327	5	4.5~5.5	0.45	2.25	1,800 <sup>5</sup>	62.77	0.09	28.8
CFM-A225B-020-350	5	4.5~5.5	0.57	2.85	2,000 <sup>5</sup>	69.74	0.10	37.8
CFM-A225B-115-287	12	10.8~13.2	0.11	2.76	1,500 <sup>5</sup>	52.31	0.06	24.8
CFM-A225B-120-350	12	10.8~13.2	0.23	2.76	2,000 <sup>5</sup>	69.74	0.10	37.8
CFM-A225B-125-398	12	10.8~13.2	0.41	4.92	2,500	87.18	0.13	42.7
CFM-A225B-220-350	24	21.6~26.4	0.17	4.08	2,000 <sup>5</sup>	69.74	0.10	37.8
CFM-A225B-230-438	24	21.6~26.4	0.30	7.20	3,000	104.62	0.21	46.6
CFM-A238B-126-435	12	10.8~13.2	0.48	5.76	2,600	100.71	0.24	43.5
CFM-A238B-132-480	12	10.8~13.2	0.86	10.32	3,200	123.71	0.34	48.0
CFM-A238B-138-529	12	10.8~13.2	1.10	13.20	3,800	146.90	0.48	53.0
CFM-A238B-226-435	24	21.6~26.4	0.27	6.48	2,600	100.71	0.24	43.5
CFM-A238B-232-480	24	21.6~26.4	0.53	12.72	3,200	123.71	0.34	48.0
CFM-A238B-238-529	24	21.6~26.4	0.58	13.92	3,800	146.90	0.48	53.0

- Notes:
1. At rated voltage, after 3 minutes.
  2. At rated voltage, room temperature, 65% humidity, 0 inch H<sub>2</sub>O static pressure.
  3. At rated voltage, 0 CFM airflow.
  4. Measured in an anechoic chamber as per ISO3745/GB4214-84 at rated voltage, with background noise 20±2 dBA at 1 m from the fan intake.
  5. Typical rated speed is measured as RPM±250 at rated voltage.
  6. All specifications are measured at 25°C, 65% relative humidity unless otherwise specified.

**PART NUMBER KEY****CFM-A225B-015-287 - XX - CXX**

Base Number

Fan Signals  
"blank" = no signals  
20 = tachometer signalReserved for Custom  
Configurations

## INPUT

parameter	conditions/description	min	typ	max	units
operating input voltage <sup>7</sup>	5 Vdc input models	4.5	5	5.5	Vdc
	12 Vdc input models	10.8	12	13.2	Vdc
	24 Vdc input models	21.6	24	26.4	Vdc
starting voltage	5 Vdc input models		4.0		Vdc
	12 Vdc input models		7.0		Vdc
	24 Vdc input models		14.0		Vdc

Note: 7. See Model section on page 1 for specific input voltage ranges.

## PERFORMANCE<sup>8</sup>

parameter	conditions/description	min	typ	max	units
rated speed	at rated voltage, 25°C, after 3 minutes	1,500		3,800	RPM
air flow	at 0 inch H <sub>2</sub> O, see performance curves	52.31		146.90	CFM
static pressure	at 0 CFM, see performance curves	0.06		0.48	inch H <sub>2</sub> O
noise	at 1 m, rated speed	24.8		53.0	dBA

Note: 8. See Model section on page 1 for specific values.

## PROTECTIONS / FEATURES<sup>9</sup>

parameter	conditions/description	min	typ	max	units
auto restart	on all models				
polarity protection	on all models				
tachometer signal	available on "20" models				

Notes: 9. See Application Notes for details.

## SAFETY & COMPLIANCE

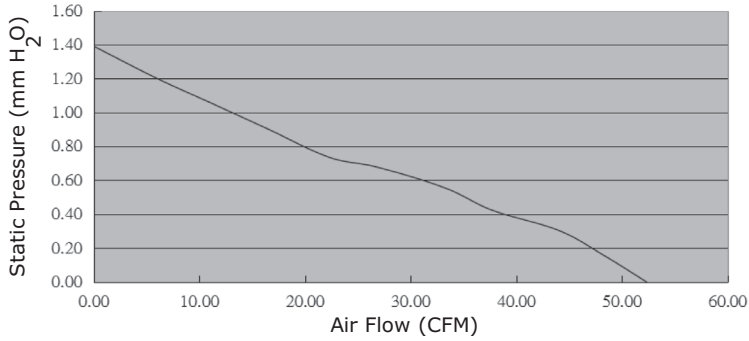
parameter	conditions/description	min	typ	max	units
insulation resistance	at 500 Vdc between frame and positive terminal	10			MΩ
dielectric strength	at 500 Vac, 60 Hz, 1 minute between housing and positive terminal			5	mA
safety approvals	UL/cUL 507, TUV (EN/IEC 62368-1:2020+A11)				
EMI/EMC	EN 55032:2015, EN 55035:2017				
life expectancy	at 40°C, 65% RH, 90% confidence level		70,000		hours
RoHS	yes				

## ENVIRONMENTAL

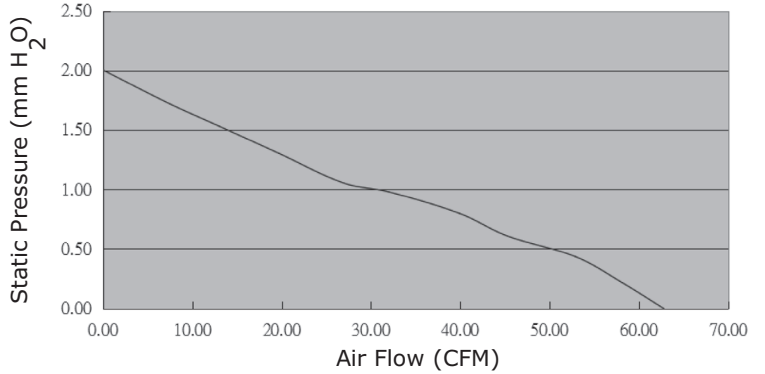
parameter	conditions/description	min	typ	max	units
operating temperature		-10		70	°C
storage temperature		-40		75	°C
operating humidity	non-condensing	35		85	%
storage humidity	non-condensing	35		85	%

## PERFORMANCE CURVES

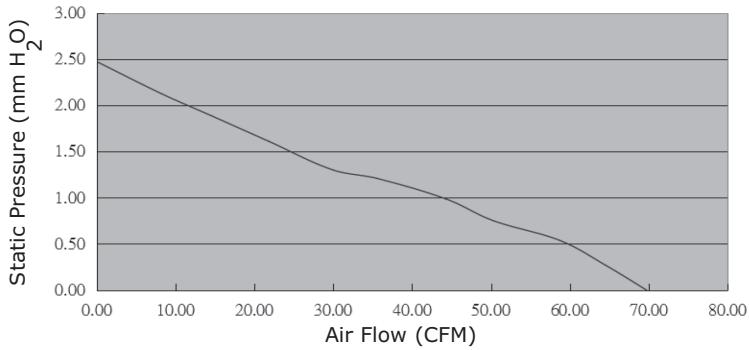
**CFM-A225B-015-287**



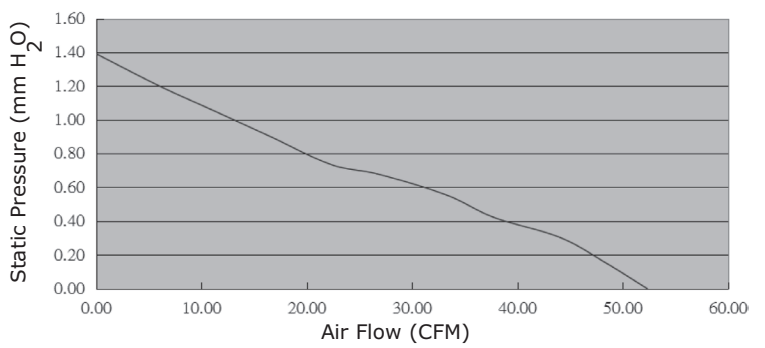
**CFM-A225B-018-327**



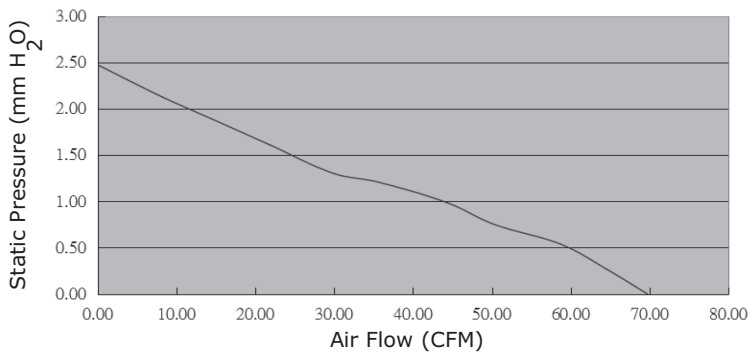
**CFM-A225B-020-350**



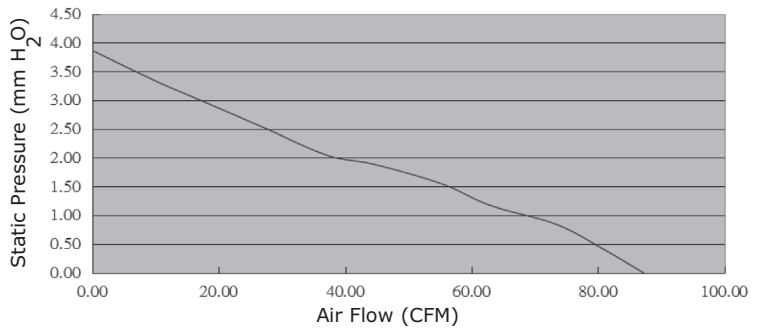
**CFM-A225B-115-287**



**CFM-A225B-120-350**

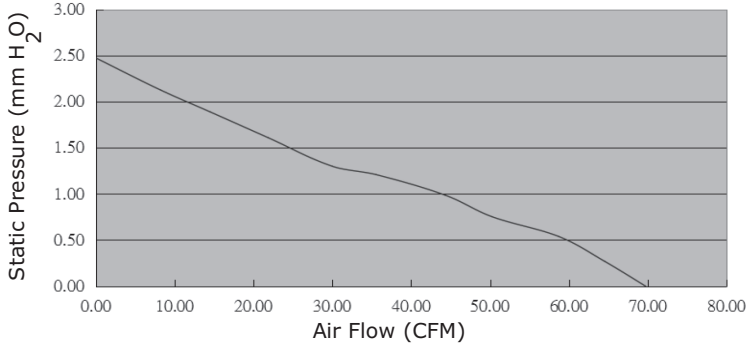


**CFM-A225B-125-398**

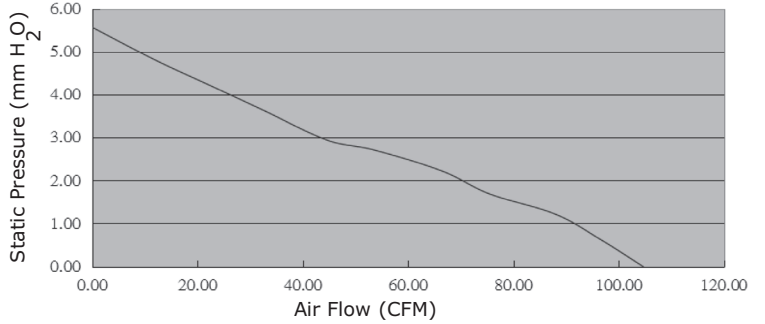


## PERFORMANCE CURVES (CONTINUED)

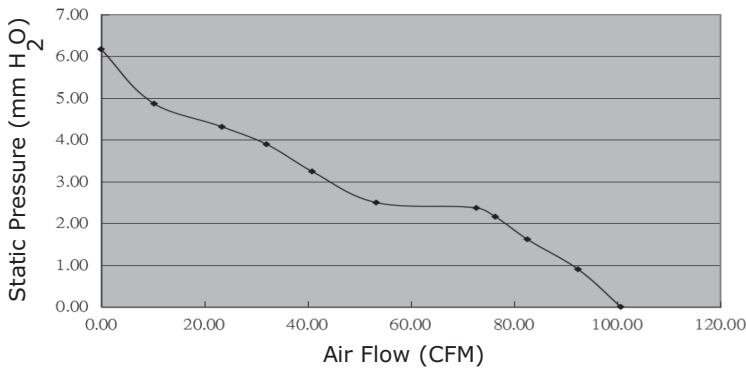
**CFM-A225B-220-350**



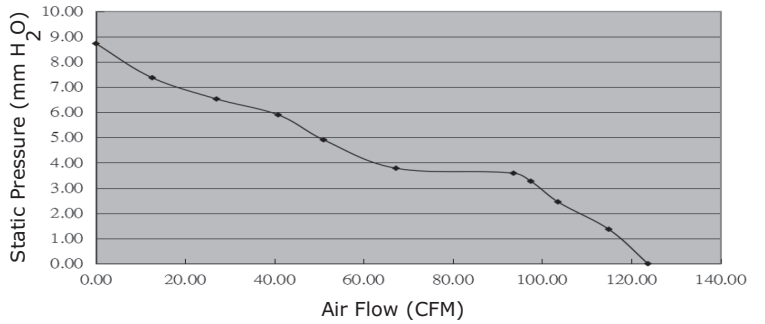
**CFM-A225B-230-438**



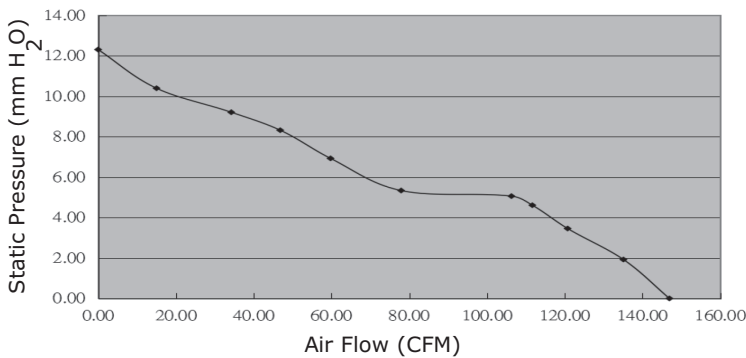
**CFM-A238B-126-435**



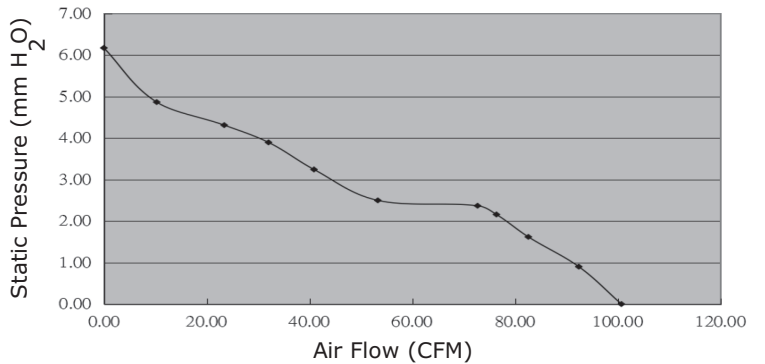
**CFM-A238B-132-480**



**CFM-A238B-138-529**

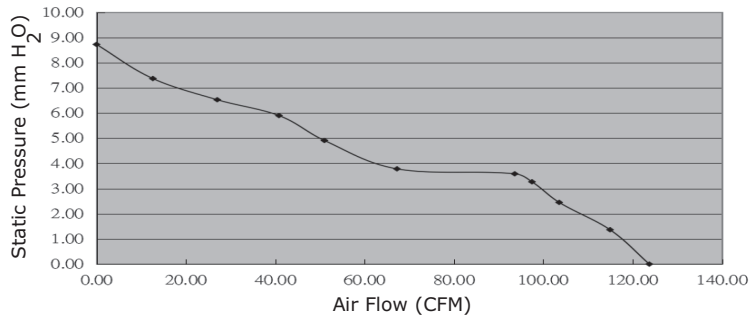


**CFM-A238B-226-435**

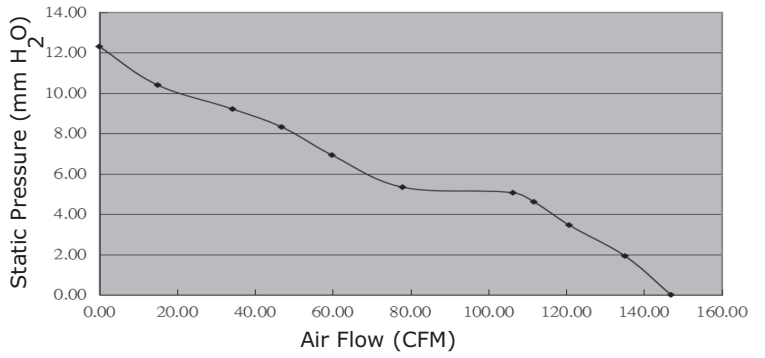


## PERFORMANCE CURVES (CONTINUED)

**CFM-A238B-232-480**



**CFM-A238B-238-529**



## MECHANICAL

parameter	conditions/description	min	typ	max	units
motor	4 pole DC brushless				
bearing system	dual ball bearing				
direction of rotation	counter-clockwise viewed from front of fan blade				
dimensions	CFM-A225B models: 120 x 120 x 25.4 CFM-A238B models: 120x 120 x 37.5				mm mm
material	PBT (UL94V-0)				
weight	CFM-A225B models CFM-A238B models		83.9 300		g g

## MECHANICAL DRAWING

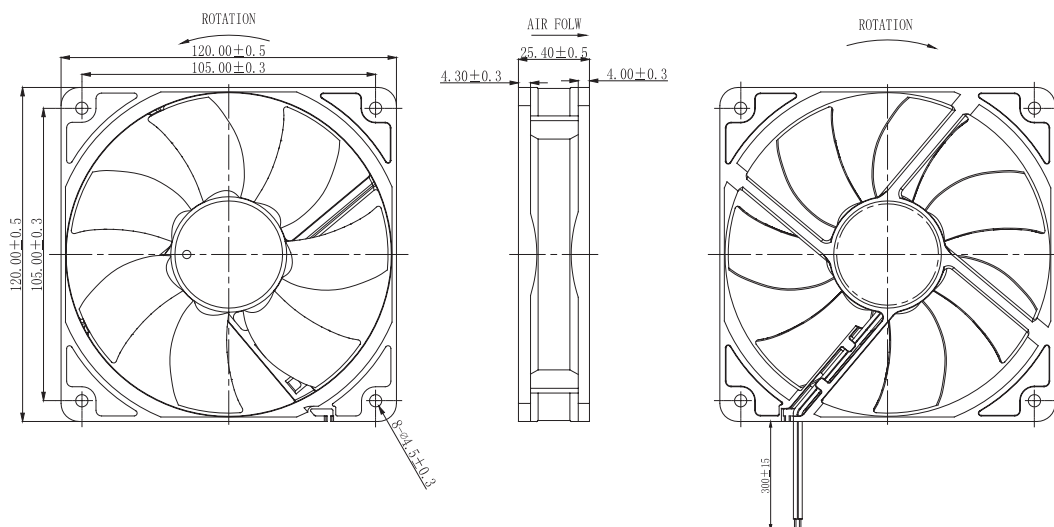
units: mm

wire: UL 1007, 24 AWG

MOUNTING SCREW (Pan Head)			
Screw Type	Size	Standard	Torque
Machine Screw	M4	JIS B1111-1974	4.5 kgf-cm
Self-tapping Screw	M5	JIS B1122 Type 2	5.5 kgf-cm

### CFM-A225B

WIRE CONNECTIONS	
Wire Color	Function
Red	+Vin
Black	-Vin
Yellow <sup>10</sup>	Tach Signal



Notes: 10. Wires only present on versions with output signals.

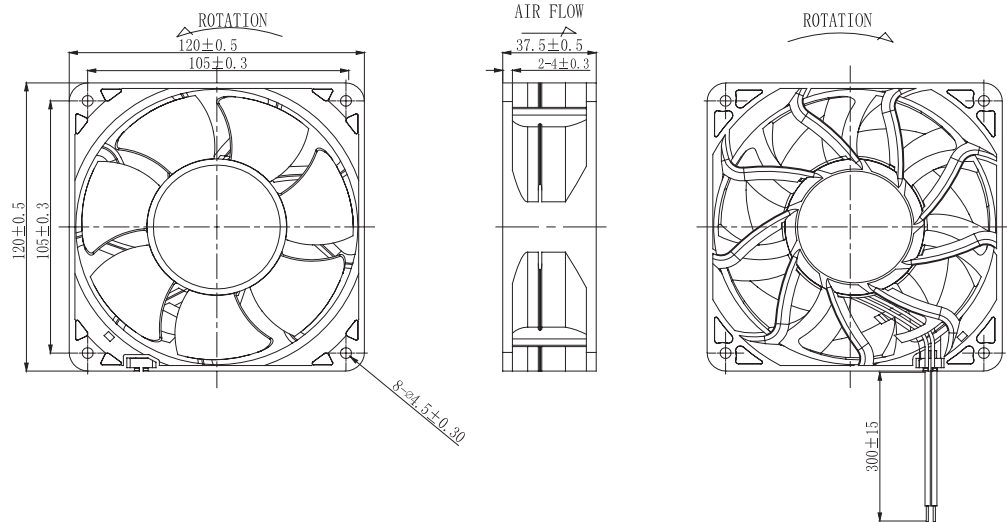
## MECHANICAL DRAWING (CONTINUED)

units: mm

wire: UL 1007, 24 AWG

### CFM-A238B

WIRE CONNECTIONS	
Wire Color	Function
Red	+Vin
Black	-Vin
Yellow <sup>10</sup>	Tach Signal



MOUNTING SCREW (Pan Head)			
Screw Type	Size	Standard	Torque
Machine Screw	M4	JIS B1111-1974	4.5 kgf-cm
Self-tapping Screw	M5	JIS B1122 Type 2	5.5 kgf-cm

Notes: 10. Wires only present on versions with output signals.

## APPLICATION NOTES

### Auto Restart Protection

When the fan motor is locked by an external force, the device will temporarily turn off electrical power to the motor and restart automatically when the locked rotor condition is released.

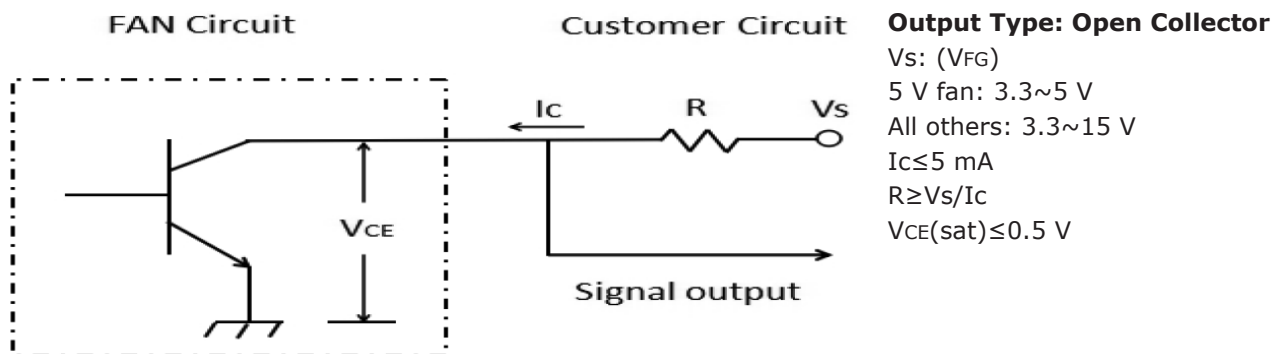
### Polarity Protection

Able to withstand 10 minutes of reverse polarity connection between the positive and negative wires without causing damage.

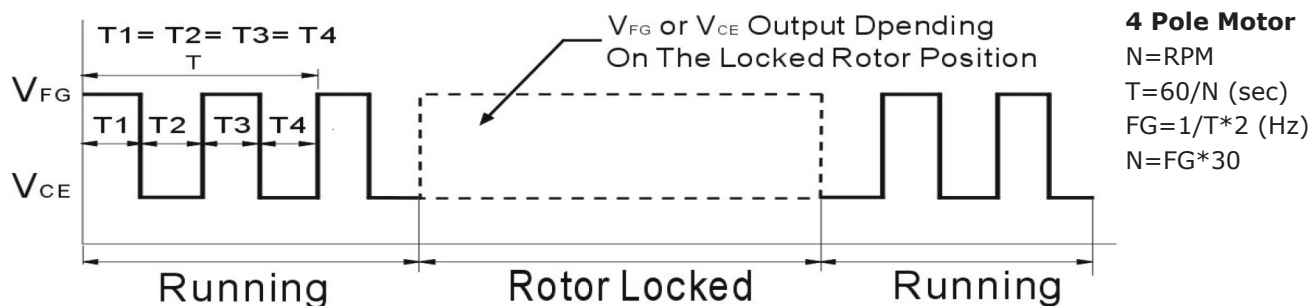
### Tachometer Signal (Yellow Wire)

The tachometer signal is for detecting the rotational speed of the fan motor. The output will be a square wave when fan is operating and  $V_{FG}$  or  $V_{CE}$  depending on the locked rotor position when fan motor is locked (See Figures 1~2 below).

**Figure 1: Tachometer Output Circuit**



**Figure 2: Tachometer Output Waveform**



## REVISION HISTORY

---

rev.	description	date
1.0	initial release	05/12/2021

The revision history provided is for informational purposes only and is believed to be accurate.

---

# CUI DEVICES

CUI Devices offers a one (1) year limited warranty. Complete warranty information is listed on our website.

CUI Devices reserves the right to make changes to the product at any time without notice. Information provided by CUI Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by CUI Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use.

CUI Devices products are not authorized or warranted for use as critical components in equipment that requires an extremely high level of reliability. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

# Mouser Electronics

Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

## CUI Devices:

[CFM-A225B-015-287](#) [CFM-A225B-015-287-20](#) [CFM-A225B-018-327](#) [CFM-A225B-018-327-20](#) [CFM-A225B-020-350](#)  
[CFM-A225B-020-350-20](#) [CFM-A225B-115-287](#) [CFM-A225B-115-287-20](#) [CFM-A225B-120-350](#) [CFM-A225B-120-](#)  
[350-20](#) [CFM-A225B-125-398](#) [CFM-A225B-125-398-20](#) [CFM-A225B-220-350](#) [CFM-A225B-220-350-20](#) [CFM-A225B-](#)  
[230-438](#) [CFM-A225B-230-438-20](#) [CFM-A238B-126-435](#) [CFM-A238B-126-435-20](#) [CFM-A238B-132-480](#) [CFM-A238B-](#)  
[132-480-20](#) [CFM-A238B-138-529](#) [CFM-A238B-138-529-20](#) [CFM-A238B-226-435](#) [CFM-A238B-226-435-20](#) [CFM-](#)  
[A238B-232-480](#) [CFM-A238B-232-480-20](#) [CFM-A238B-238-529](#) [CFM-A238B-238-529-20](#)

## ENCUESTA PARA PRODUCTORES

Esta encuesta se realiza a personas que hacen parte del proyecto *Lombricompostaje* promovido por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá, con el objetivo de conocer la aceptabilidad que tiene la implementación de dispositivos de monitoreo y control en lombricultivos. Adicionalmente, la información recopilada sobre la producción de abono orgánico será utilizada para la evaluación de algunos cultivos, permitiendo junto con otros datos, establecer los parámetros de estandarización de estos procesos productivos en el municipio.

### Información básica del encuestado

Nombre productor: Productor 1

Nombre de la localidad o vereda: \_\_\_\_\_

Nombre del predio: \_\_\_\_\_

Tamaño de la cama lombricultora estudiada (Largo x ancho x alto "cm"): 270 X 80 X 20

Tamaño total del lombricultivo (Largo x ancho x alto "cm"): 270 X 80 X 20

Número de camas lombricultoras: 1

### Encuesta:

1. ¿Cuánto tiempo lleva como productor del proyecto *Lombricompostaje*?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

2. ¿Antes de unirse a este proyecto, había tenido alguna experiencia con lombricultivos?

Si

No

- ¿Cuál?

- ¿Cuánto tiempo llevaba inmerso en la anterior experiencia con lombricultivos?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

3. ¿Cuánto tiempo tarda en obtener humus solido desde que inicia el proceso productivo?

Menos de 3 meses

Entre 3 y 4 meses

Mas de 4 meses ¿Cuánto? Mo hay producción

4. ¿Cuánto tiempo tiene la cama lombricultora estudiada?

1 mes

2 meses

3 meses

4 meses

Otro Casi 1 año

5. ¿Qué tipo de materia orgánica utiliza usted en su lombricultivo?

Desechos de cocina y estiércol de vaca

6. ¿Qué producto es el que más obtiene de su lombricultivo?

Pie de cría

Abono orgánico solido

Lixiviado

Ninguno

- ¿Con que fin utiliza este producto?

\_\_\_\_\_

7. ¿Qué cantidad promedio obtiene de una sola cama lombricultora?

\_\_\_\_\_

8. ¿Conoce usted los rangos óptimos de temperatura, humedad y radiación en los que se debe mantener un lombricultivo?

Si

No

9. ¿Realiza algún tipo de seguimiento a las diferentes variables de su lombricultivo?

Si

No

- ¿Cuál?

---

---

---

- ¿Con qué frecuencia?

1 vez por semana

2 veces por semana

3 veces por semana

Otro \_\_\_\_\_

- ¿Cómo realiza el control de las variables cuando no están en los rangos óptimos?

---

---

10. ¿Conoce algún tipo de sistema para monitorear y/o controlar las variables de un lombricultivo?

Si

No

- ¿Lo utiliza?

Si

No

11. ¿Le gustaría implementar un sistema de monitoreo de temperatura, radiación y control de humedad en su lombricultivo?

Si

No

12. ¿Cree que este sistema ayudaría a mejorar la producción de abono orgánico?

Si

No

- ¿Por qué?

Se puede mejorar la producción de abono al controlar las variables

13. ¿Considera usted que el comportamiento reproductivo de la lombriz genera algún impacto importante sobre la producción de abono orgánico?

Si

No

14. ¿Realiza usted pre - compostaje de la materia orgánica?

Si

No

- ¿Cómo lo realiza?

picar la materia orgánica, se revuelve y se aplica  
Solo para desechos de cocina

el estiércol de vaca lo agrega SIN pre-compostar

- ¿Por cuánto tiempo lo realiza?

menos de una semana

Entre 1 y 2 semanas

Más de 2 semanas ¿Cuánto? \_\_\_\_\_

Observaciones sobre el lombricultivo "Plagas, objetos extraños evidenciados":

Ratones, babosas, mosquitos blancos.

## ENCUESTA PARA PRODUCTORES

Esta encuesta se realiza a personas que hacen parte del proyecto *Lombricompostaje* promovido por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá, con el objetivo de conocer la aceptabilidad que tiene la implementación de dispositivos de monitoreo y control en lombricultivos. Adicionalmente, la información recopilada sobre la producción de abono orgánico será utilizada para la evaluación de algunos cultivos, permitiendo junto con otros datos, establecer los parámetros de estandarización de estos procesos productivos en el municipio.

### Información básica del encuestado

Nombre productor: **Productor 2**  
Nombre de la localidad o vereda: \_\_\_\_\_  
Nombre del predio: \_\_\_\_\_  
Tamaño de la cama lombricultora estudiada (Largo x ancho x alto "cm"): 130 x 100 x 20  
Tamaño total del lombricultivo (Largo x ancho x alto "cm"): \_\_\_\_\_  
Número de camas lombricultoras: 1

### Encuesta:

1. ¿Cuánto tiempo lleva como productor del proyecto *Lombricompostaje*?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

2. ¿Antes de unirse a este proyecto, había tenido alguna experiencia con lombricultivos?

Sí

No

- ¿Cuál?

- ¿Cuánto tiempo llevaba inmerso en la anterior experiencia con lombricultivos?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

3. ¿Cuánto tiempo tarda en obtener humus sólido desde que inicia el proceso productivo?

Menos de 3 meses

Entre 3 y 4 meses

Mas de 4 meses ¿Cuánto? No se ha producido

4. ¿Cuánto tiempo tiene la cama lombricultora estudiada?

1 mes

2 meses

3 meses

4 meses

Otro \_\_\_\_\_

5. ¿Qué tipo de materia orgánica utiliza usted en su lombricultivo?

Estiércol de caballo y de vaca

6. ¿Qué producto es el que más obtiene de su lombricultivo?

Pic de cría

Abono orgánico sólido

Lixiviado

- ¿Con que fin utiliza este producto?

\_\_\_\_\_

7. ¿Qué cantidad promedio obtiene de una soía cama lombricultora?

\_\_\_\_\_

8. ¿Conoce usted los rangos óptimos de temperatura, humedad y radiación en los que se debe mantener un lombricultivo?

Si

No

9. ¿Realiza algún tipo de seguimiento a las diferentes variables de su lombricultivo?

Si

No

- ¿Cuál?

---

---

---

- ¿Con qué frecuencia?

1 vez por semana

2 veces por semana

3 veces por semana

Otro \_\_\_\_\_

- ¿Cómo realiza el control de las variables cuando no están en los rangos óptimos?

Le agrega agua con manguera

---

---

10. ¿Conoce algún tipo de sistema para monitorear y/o controlar las variables de un lombricultivo?

Si

No

- ¿Lo utiliza?

Si

No

11. ¿Le gustaría implementar un sistema de monitoreo de temperatura, radiación y control de humedad en su lombricultivo?

Si

No

12. ¿Cree que este sistema ayudaría a mejorar la producción de abono orgánico?

Si

No

- ¿Por qué?

Se conocen los variables del lombricultivo para saber que falta o que está de más

---

---

13. ¿Considera usted que el comportamiento reproductivo de la lombriz genera algún impacto importante sobre la producción de abono orgánico?

Si

No

14. ¿Realiza usted pre - compostaje de la materia orgánica?

Si

No

- ¿Cómo lo realiza?

---

---

---

- ¿Por cuánto tiempo lo realiza?

menos de una semana

Entre 1 y 2 semanas

Más de 2 semanas ¿Cuánto? \_\_\_\_\_

Observaciones sobre el lombricultivo "Plagas, objetos extraños evidenciados":

---

---

---

---

## ENCUESTA PARA PRODUCTORES

Esta encuesta se realiza a personas que hacen parte del proyecto *Lombricompostaje* promovido por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá, con el objetivo de conocer la aceptabilidad que tiene la implementación de dispositivos de monitoreo y control en lombricultivos. Adicionalmente, la información recopilada sobre la producción de abono orgánico será utilizada para la evaluación de algunos cultivos, permitiendo junto con otros datos, establecer los parámetros de estandarización de estos procesos productivos en el municipio.

### Información básica del encuestado

Nombre productor: Productor 3  
Nombre de la localidad o vereda: \_\_\_\_\_  
Nombre del predio: \_\_\_\_\_  
Tamaño de la cama lombricultora estudiada (Largo x ancho x alto "cm"): 400 x 80 x 50  
Tamaño total del lombricultivo (Largo x ancho x alto "cm"): \_\_\_\_\_  
Número de camas lombricultoras: 5

### Encuesta:

1. ¿Cuánto tiempo lleva como productor del proyecto *Lombricompostaje*?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

2. ¿Antes de unirse a este proyecto, había tenido alguna experiencia con lombricultivos?

Sí

No

- ¿Cuál?

Pie de cría de Bogotá

- ¿Cuánto tiempo llevaba inmerso en la anterior experiencia con lombricultivos?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

3. ¿Cuánto tiempo tarda en obtener humus sólido desde que inicia el proceso productivo?

Menos de 3 meses

Entre 3 y 4 meses

Mas de 4 meses ¿Cuánto? \_\_\_\_\_

4. ¿Cuánto tiempo tiene la cama lombricultora estudiada?

1 mes

2 meses

3 meses

4 meses

Otro \_\_\_\_\_

5. ¿Qué tipo de materia orgánica utiliza usted en su lombricultivo?

Champiñonasa, Desechos de frutas y hortalizas  
Estiercol Bovino

6. ¿Qué producto es el que más obtiene de su lombricultivo?

Pic de cría

Abono orgánico sólido

Lixiviado

- ¿Con que fin utiliza este producto?

mejoramiento y restauración de suelo

7. ¿Qué cantidad promedio obtiene de una sola cama lombricultora?

10 bultos de 20 kg

8. ¿Conoce usted los rangos óptimos de temperatura, humedad y radiación en los que se debe mantener un lombricultivo?

Si

No

9. ¿Realiza algún tipo de seguimiento a las diferentes variables de su lombricultivo?

Si

No

- ¿Cuál?  
Medición, oxigenación, mejoramiento de las camas lombrícolas  
aplicación de Césped seco, inclinación de camas

- ¿Con qué frecuencia?

1 vez por semana

2 veces por semana

3 veces por semana

Otro \_\_\_\_\_

- ¿Cómo realiza el control de las variables cuando no están en los rangos óptimos?

aplicación de Césped Cobertura con Polisombra

10. ¿Conoce algún tipo de sistema para monitorear y/o controlar las variables de un lombricultivo?

Si

No

- ¿Lo utiliza?

Si

No

11. ¿Le gustaría implementar un sistema de monitoreo de temperatura, radiación y control de humedad en su lombricultivo?

Si

No

12. ¿Cree que este sistema ayudaría a mejorar la producción de abono orgánico?

Si

No

- ¿Por qué?

Porque mantendría los rangos en que se debe mantener el lombricultivo

13. ¿Considera usted que el comportamiento reproductivo de la lombriz genera algún impacto importante sobre la producción de abono orgánico?

Si

No

14. ¿Realiza usted pre-compostaje de la materia orgánica?

Si

No

- ¿Cómo lo realiza?

se hacen mezclas, se revuelven para aumentar oxigenación y reducir acidez. Cada tercer día

- ¿Por cuánto tiempo lo realiza?

menos de una semana

Entre 1 y 2 semanas

Más de 2 semanas ¿Cuánto? \_\_\_\_\_

Observaciones sobre el lombricultivo "Plagas, objetos extraños evidenciados":

moscos pequeños  
se desea incrementar producción y tecnificar el proceso  
se utiliza dispositivo mecánico para medir temperatura y pH.  
- En el momento del estudio se acababa de cambiar de camas lombricultoras del suelo a unas elevadas esto justifica la baja población de lombriz.

## ENCUESTA PARA PRODUCTORES

Esta encuesta se realiza a personas que hacen parte del proyecto *Lombricompostaje* promovido por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá, con el objetivo de conocer la aceptabilidad que tiene la implementación de dispositivos de monitoreo y control en lombricultivos. Adicionalmente, la información recopilada sobre la producción de abono orgánico será utilizada para la evaluación de algunos cultivos, permitiendo junto con otros datos, establecer los parámetros de estandarización de estos procesos productivos en el municipio.

### Información básica del encuestado

Nombre productor: Productor 4  
Nombre de la localidad o vereda: \_\_\_\_\_  
Nombre del predio: \_\_\_\_\_  
Tamaño de la cama lombricultora estudiada (Largo x ancho x alto "cm"): 100x100x15  
Tamaño total del lombricultivo (Largo x ancho x alto "cm"): \_\_\_\_\_  
Número de camas lombricultoras: 3

### Encuesta:

1. ¿Cuánto tiempo lleva como productor del proyecto *Lombricompostaje*?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

2. ¿Antes de unirse a este proyecto, había tenido alguna experiencia con lombricultivos?

Si

No

- ¿Cuál?

- ¿Cuánto tiempo llevaba inmerso en la anterior experiencia con lombricultivos?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

3. ¿Cuánto tiempo tarda en obtener humus sólido desde que inicia el proceso productivo?

Menos de 3 meses

Entre 3 y 4 meses

Mas de 4 meses ¿Cuánto? \_\_\_\_\_

4. ¿Cuánto tiempo tiene la cama lombricultora estudiada?

1 mes

2 meses

3 meses

4 meses

Otro \_\_\_\_\_

5. ¿Qué tipo de materia orgánica utiliza usted en su lombricultivo?

Estiércol de Huevo de caballo y residuos de cocina  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

6. ¿Qué producto es el que más obtiene de su lombricultivo?

Pie de cría

Abono orgánico sólido

Lixiviado

- ¿Con que fin utiliza este producto?

Para fertilizar plantas de la casa  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

7. ¿Qué cantidad promedio obtiene de una sola cama lombricultora?

24 L en los 3 meses  
\_\_\_\_\_

8. ¿Conoce usted los rangos óptimos de temperatura, humedad y radiación en los que se debe mantener un lombricultivo?

Si

No

9. ¿Realiza algún tipo de seguimiento a las diferentes variables de su lombricultivo?

Si

No

- ¿Cuál?  
humedad, prueba de puño  
Radiación no estar al sol directo

- ¿Con qué frecuencia?  
 1 vez por semana  
 2 veces por semana  
 3 veces por semana  
 Otro 1 vez cada 15 días.

- ¿Cómo realiza el control de las variables cuando no están en los rangos óptimos?  
Si esta muy seco se agrega agua con una regadera

10. ¿Conoce algún tipo de sistema para monitorear y/o controlar las variables de un lombricultivo?

Si  No

- ¿Lo utiliza?  
 Si  No

11. ¿Le gustaría implementar un sistema de monitoreo de temperatura, radiación y control de humedad en su lombricultivo?

Si  No

12. ¿Cree que este sistema ayudaría a mejorar la producción de abono orgánico?

Si  No

- ¿Por qué?  
se ha hecho empíricamente al fertilizar se pueden mejorar mas las condiciones

13. ¿Considera usted que el comportamiento reproductivo de la lombriz genera algún impacto importante sobre la producción de abono orgánico?

Si  No

14. ¿Realiza usted pre - compostaje de la materia orgánica?

Si  No

- ¿Cómo lo realiza?

---

---

---

- ¿Por cuánto tiempo lo realiza?

menos de una semana

Entre 1 y 2 semanas

Más de 2 semanas ¿Cuánto? \_\_\_\_\_

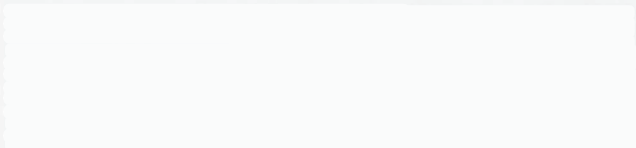
Observaciones sobre el lombricultivo "Plagas, objetos extraños evidenciados":

- Tijeretas, pajeros, ratones  
- Dificultad para sembrar a mayor escala porque  
no se consigue fácilmente la materia orgánica

---

---

---



## ENCUESTA PARA PRODUCTORES

Esta encuesta se realiza a personas que hacen parte del proyecto *Lombricompostaje* promovido por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá, con el objetivo de conocer la aceptabilidad que tiene la implementación de dispositivos de monitoreo y control en lombricultivos. Adicionalmente, la información recopilada sobre la producción de abono orgánico será utilizada para la evaluación de algunos cultivos, permitiendo junto con otros datos, establecer los parámetros de estandarización de estos procesos productivos en el municipio.

### Información básica del encuestado

Nombre productor: Productor 5  
Nombre de la localidad o vereda: \_\_\_\_\_  
Nombre del predio: \_\_\_\_\_  
Tamaño de la cama lombricultora estudiada (Largo x ancho x alto "cm"): 120x80x50  
Tamaño total del lombricultivo (Largo x ancho x alto "cm"): 12  
Número de camas lombricultoras: 3

### Encuesta:

1. ¿Cuánto tiempo lleva como productor del proyecto *Lombricompostaje*?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

2. ¿Antes de unirse a este proyecto, había tenido alguna experiencia con lombricultivos?

Si

No

- ¿Cuál?

\_\_\_\_\_

- ¿Cuánto tiempo llevaba inmerso en la anterior experiencia con lombricultivos?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

3. ¿Cuánto tiempo tarda en obtener humus sólido desde que inicia el proceso productivo?

Menos de 3 meses

Entre 3 y 4 meses

Mas de 4 meses ¿Cuánto? \_\_\_\_\_

4. ¿Cuánto tiempo tiene la cama lombricultora estudiada?

1 mes

2 meses

3 meses

4 meses

Otro 2 años

5. ¿Qué tipo de materia orgánica utiliza usted en su lombricultivo?

Residuos de Cascara de Fruta

6. ¿Qué producto es el que más obtiene de su lombricultivo?

Pie de cría

Abono orgánico sólido

Lixiviado

- ¿Con que fin utiliza este producto?

Para Fertilizar patines y plantas, fresa

Sólido para sembrar plantas frutales y decorativas

7. ¿Qué cantidad promedio obtiene de una sola cama lombricultora?

mas o menos 1 Coneca de 25 L mensual

8. ¿Conoce usted los rangos óptimos de temperatura, humedad y radiación en los que se debe mantener un lombricultivo?

Si

No

9. ¿Realiza algún tipo de seguimiento a las diferentes variables de su lombricultivo?

Si

No

- ¿Cuál?

humedad, con el puño y a ojo se va mirando  
radiación se mantiene tapado

- ¿Con qué frecuencia?

1 vez por semana

2 veces por semana

3 veces por semana

Otro \_\_\_\_\_

- ¿Cómo realiza el control de las variables cuando no están en los rangos óptimos?

Con unas persi si esta muy bajo la humedad, huecos en el plástico superior  
se mantiene tapado para radiación baja

10. ¿Conoce algún tipo de sistema para monitorear y/o controlar las variables de un lombricultivo?

Si

No

- ¿Lo utiliza?

Si

No

11. ¿Le gustaría implementar un sistema de monitoreo de temperatura, radiación y control de humedad en su lombricultivo?

Si

No

12. ¿Cree que este sistema ayudaría a mejorar la producción de abono orgánico?

Si

No

- ¿Por qué?

Al estudiar las variables se tiene una opción de  
mejora.

13. ¿Considera usted que el comportamiento reproductivo de la lombriz genera algún impacto importante sobre la producción de abono orgánico?

Si

No

14. ¿Realiza usted pre - compostaje de la materia orgánica?

Si

No

- ¿Cómo lo realiza?

Se echa la materia orgánica a una caneca y se deja ahí por ocho días, luego se pica y se le lleva a los lombrinos

- ¿Por cuánto tiempo lo realiza?

menos de una semana

Entre 1 y 2 semanas

Más de 2 semanas ¿Cuánto? \_\_\_\_\_

Observaciones sobre el lombricultivo "Plagas, objetos extraños evidenciados":

Pajaros,

- hay que tener un lombricultivo con materia orgánica limpia sin papeles, plástico y otras cosas que afecten el lombricultivo
- la experiencia en lombricultivos permite mantener en mejores condiciones el lombricultivo y la lectura de la humedad a simple vista

## ENCUESTA PARA PRODUCTORES

Esta encuesta se realiza a personas que hacen parte del proyecto *Lombricompostaje* promovido por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá, con el objetivo de conocer la aceptabilidad que tiene la implementación de dispositivos de monitoreo y control en lombricultivos. Adicionalmente, la información recopilada sobre la producción de abono orgánico será utilizada para la evaluación de algunos cultivos, permitiendo junto con otros datos, establecer los parámetros de estandarización de estos procesos productivos en el municipio.

### Información básica del encuestado

Nombre productor: **Productor 6**  
Nombre de la localidad o vereda: \_\_\_\_\_  
Nombre del predio: \_\_\_\_\_  
Tamaño de la cama lombricultora estudiada (Largo x ancho x alto "cm"): **2.90 x 1.15 x 40**  
Tamaño total del lombricultivo (Largo x ancho x alto "cm"): **9.000 x 1.15 x 40**  
Número de camas lombricultoras: **2 Grandes ó 8 Pequeñas**

### Encuesta:

1. ¿Cuánto tiempo lleva como productor del proyecto *Lombricompostaje*?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

2. ¿Antes de unirse a este proyecto, había tenido alguna experiencia con lombricultivos?

Sí

No

- ¿Cuál?

- ¿Cuánto tiempo llevaba inmerso en la anterior experiencia con lombricultivos?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

ESTRUCTURA DE ATENCIÓN

3. ¿Cuánto tiempo tarda en obtener humus solido desde que inicia el proceso productivo?

Menos de 3 meses

Entre 3 y 4 meses

Mas de 4 meses ¿Cuánto? \_\_\_\_\_

4. ¿Cuánto tiempo tiene la cama lombricultora estudiada?

1 mes

2 meses

3 meses

4 meses

Otro \_\_\_\_\_

5. ¿Qué tipo de materia orgánica utiliza usted en su lombricultivo?

Desperdicio de Frutas y hortalizas, Verduras de Fruter  
Estiércol Bovino

6. ¿Qué producto es el que más obtiene de su lombricultivo?

Pic de cría

Abono orgánico solido

Lixiviado

- ¿Con que fin utiliza este producto?

Para la venta, y Para huerto Casera los residuos del humus.

7. ¿Qué cantidad promedio obtiene de una sola cama lombricultora?

mas o menos 200 kg

8. ¿Conoce usted los rangos óptimos de temperatura, humedad y radiación en los que se debe mantener un lombricultivo?

Si

No

9. ¿Realiza algún tipo de seguimiento a las diferentes variables de su lombricultivo?

Si

No

- ¿Cuál?  
Prueba manual de humedad  
3 o 4 gotas es óptimo

- ¿Con qué frecuencia?  
 1 vez por semana  
 2 veces por semana  
 3 veces por semana  
 Otro \_\_\_\_\_

- ¿Cómo realiza el control de las variables cuando no están en los rangos óptimos?  
le agrega agua con una regadera

10. ¿Conoce algún tipo de sistema para monitorear y/o controlar las variables de un lombricultivo?

Sí  No

- ¿Lo utiliza?

Sí  No

11. ¿Le gustaría implementar un sistema de monitoreo de temperatura, radiación y control de humedad en su lombricultivo?

Sí  No

12. ¿Cree que este sistema ayudaría a mejorar la producción de abono orgánico?

Sí  No

- ¿Por qué?

hay mayor confiabilidad para la toma de decisiones

13. ¿Considera usted que el comportamiento reproductivo de la lombriz genera algún impacto importante sobre la producción de abono orgánico?

Sí  No

14. ¿Realiza usted pre-compostaje de la materia orgánica?

Sí  No

- ¿Cómo lo realiza?

Se trae Materia orgánica y se mezcla con material seco como cenizas secas, capa de cada tipo de materia orgánica hasta llegar a 1 metro de altura para aumentar temperatura y mantener la relación Carbono/Nitrogeno.

- ¿Por cuánto tiempo lo realiza?

menos de una semana

Entre 1 y 2 semanas

Más de 2 semanas ¿Cuánto? entre 2 a 3 meses

Observaciones sobre el lombricultivo "Plagas, objetos extraños evidenciados":

- Ratones, pocas lombriscas

- se utiliza dispositivo electrónico para medición PH, y temperatura

## ENCUESTA PARA PRODUCTORES

Esta encuesta se realiza a personas que hacen parte del proyecto *Lombricompostaje* promovido por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá, con el objetivo de conocer la aceptabilidad que tiene la implementación de dispositivos de monitoreo y control en lombricultivos. Adicionalmente, la información recopilada sobre la producción de abono orgánico será utilizada para la evaluación de algunos cultivos, permitiendo junto con otros datos, establecer los parámetros de estandarización de estos procesos productivos en el municipio.

### Información básica del encuestado

Nombre productor: Productor 7  
Nombre de la localidad o vereda: \_\_\_\_\_  
Nombre del predio: \_\_\_\_\_  
Tamaño de la cama lombricultora estudiada (Largo x ancho x alto "cm"): 270 X 70 X 30  
Tamaño total del lombricultivo (Largo x ancho x alto "cm"): 270 X 70 X 30  
Número de camas lombricultoras: 1

### Encuesta:

1. ¿Cuánto tiempo lleva como productor del proyecto *Lombricompostaje*?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

2. ¿Antes de unirse a este proyecto, había tenido alguna experiencia con lombricultivos?

Si

No

- ¿Cuál?

Pie de cría Tenjo

- ¿Cuánto tiempo llevaba inmerso en la anterior experiencia con lombricultivos?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

3. ¿Cuánto tiempo tarda en obtener humus sólido desde que inicia el proceso productivo?

Menos de 3 meses

Entre 3 y 4 meses

Mas de 4 meses ¿Cuánto? 4 meses

4. ¿Cuánto tiempo tiene la cama lombricultora estudiada?

1 mes

2 meses

3 meses

4 meses

Otro \_\_\_\_\_

5. ¿Qué tipo de materia orgánica utiliza usted en su lombricultivo?

Estiércol Bovino

6. ¿Qué producto es el que más obtiene de su lombricultivo?

Pic de cría

Abono orgánico sólido

Lixiviado

- ¿Con que fin utiliza este producto?

Fertilizor Potreros

7. ¿Qué cantidad promedio obtiene de una sola cama lombricultora?

1 bulto y medio, 60 kilos

8. ¿Conoce usted los rangos óptimos de temperatura, humedad y radiación en los que se debe mantener un lombricultivo?

Si

No

9. ¿Realiza algún tipo de seguimiento a las diferentes variables de su lombricultivo?

Si

No

- ¿Cuál?

---

---

---

- ¿Con qué frecuencia?

1 vez por semana

2 veces por semana

3 veces por semana

Otro \_\_\_\_\_

- ¿Cómo realiza el control de las variables cuando no están en los rangos óptimos?

---

---

10. ¿Conoce algún tipo de sistema para monitorear y/o controlar las variables de un lombricultivo?

Si

No

manual

- ¿Lo utiliza?

Si

No

11. ¿Le gustaría implementar un sistema de monitoreo de temperatura, radiación y control de humedad en su lombricultivo?

Si

No

12. ¿Cree que este sistema ayudaría a mejorar la producción de abono orgánico?

Si

No

- ¿Por qué?

al tener datos se pueden tomar decisiones y mejorar las condiciones

13. ¿Considera usted que el comportamiento reproductivo de la lombriz genera algún impacto importante sobre la producción de abono orgánico?

Si

No

14. ¿Realiza usted pre - compostaje de la materia orgánica?

Si

No

- ¿Cómo lo realiza?

---

---

---

- ¿Por cuánto tiempo lo realiza?

- menos de una semana
- Entre 1 y 2 semanas
- Más de 2 semanas ¿Cuánto? \_\_\_\_\_

Observaciones sobre el lombricultivo "Plagas, objetos extraños evidenciados":

No considera rentable el sistema propuesto con un lombricultivo pequeño al hacer más grande la producción de abono orgánico si lo frena.  
Ratones, piedras en el compost.

## ENCUESTA PARA PRODUCTORES

Esta encuesta se realiza a personas que hacen parte del proyecto *Lombricompostaje* promovido por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá, con el objetivo de conocer la aceptabilidad que tiene la implementación de dispositivos de monitoreo y control en lombricultivos. Adicionalmente, la información recopilada sobre la producción de abono orgánico será utilizada para la evaluación de algunos cultivos, permitiendo junto con otros datos, establecer los parámetros de estandarización de estos procesos productivos en el municipio.

### Información básica del encuestado

Nombre productor: Productor 8

Nombre de la localidad o vereda: \_\_\_\_\_

Nombre del predio: \_\_\_\_\_

Tamaño de la cama lombricultora estudiada (Largo x ancho x alto "cm"): 2 m x 1,20 m x 40 cm

Tamaño total del lombricultivo (Largo x ancho x alto "cm"): 2 m x 1,20 m x 0,40 m

Número de camas lombricultoras: 1

### Encuesta:

1. ¿Cuánto tiempo lleva como productor del proyecto *Lombricompostaje*?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

2. ¿Antes de unirse a este proyecto, había tenido alguna experiencia con lombricultivos?

Si

No

- ¿Cuál?

- ¿Cuánto tiempo llevaba inmerso en la anterior experiencia con lombricultivos?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

3. ¿Cuánto tiempo tarda en obtener humus sólido desde que inicia el proceso productivo?

Menos de 3 meses

Entre 3 y 4 meses

Mas de 4 meses ¿Cuánto? \_\_\_\_\_

4. ¿Cuánto tiempo tiene la cama lombricultora estudiada?

1 mes

2 meses

3 meses

4 meses

Otro 8 meses

5. ¿Qué tipo de materia orgánica utiliza usted en su lombricultivo?

DESECHOS ORGANICOS FRESCOS DE COCINA  
RESIDUOS DE PODA  
ESTIERCOL BOVINO

6. ¿Qué producto es el que más obtiene de su lombricultivo?

Pic de cría

Abono orgánico sólido

Lixiviado

- ¿Con que fin utiliza este producto?

FERTILIZA/ FONAL DE CULTIVOS PAPA, PASTOS

7. ¿Qué cantidad promedio obtiene de una sola cama lombricultora?

3 GALONES.

8. ¿Conoce usted los rangos óptimos de temperatura, humedad y radiación en los que se debe mantener un lombricultivo?

Sí

No

9. ¿Realiza algún tipo de seguimiento a las diferentes variables de su lombricultivo?

Sí

No

- ¿Cuál?

VERIFICACION DE LA HUMEDAD  
CONTROL DE LA RADIACION, o ENTRADA DE LUZ SOLAR

- ¿Con qué frecuencia?

1 vez por semana

2 veces por semana

3 veces por semana

Otro \_\_\_\_\_

- ¿Cómo realiza el control de las variables cuando no están en los rangos óptimos?

MANTENIENDO TAPADO EL LOMBRICULTIVO Y VERIFICACION  
DEL NIVEL DE HUMEDAD.

10. ¿Conoce algún tipo de sistema para monitorear y/o controlar las variables de un lombricultivo?

Si

No

- ¿Lo utiliza?

Si

No

11. ¿Le gustaría implementar un sistema de monitoreo de temperatura, radiación y control de humedad en su lombricultivo?

Si

No

12. ¿Cree que este sistema ayudaría a mejorar la producción de abono orgánico?

Si

No

- ¿Por qué?

MONITOREA EN TIEMPO REAL LAS VARIABLES QUE  
INTERVIENEN EN EL PROCESO

13. ¿Considera usted que el comportamiento reproductivo de la lombriz genera algún impacto importante sobre la producción de abono orgánico?

Si

No

14. ¿Realiza usted pre - compostaje de la materia orgánica?

Si

No

- ¿Cómo lo realiza?

---

---

---

---

- ¿Por cuánto tiempo lo realiza?

menos de una semana

Entre 1 y 2 semanas

Más de 2 semanas ¿Cuánto? \_\_\_\_\_



Observaciones sobre el lombricultivo "Plagas, objetos extraños evidenciados":

PLAGAS (ANFIBIOS, MOSCA BABOSA, ROEDORES  
NO UTILIZAR MATERIAL INORGANICO.

---

---

---

---

## ENCUESTA PARA PRODUCTORES

Esta encuesta se realiza a personas que hacen parte del proyecto *Lombricompostaje* promovido por la Secretaría de Desarrollo Rural y Ambiente del municipio de Zipaquirá, con el objetivo de conocer la aceptabilidad que tiene la implementación de dispositivos de monitoreo y control en lombricultivos. Adicionalmente, la información recopilada sobre la producción de abono orgánico será utilizada para la evaluación de algunos cultivos, permitiendo junto con otros datos, establecer los parámetros de estandarización de estos procesos productivos en el municipio.

### Información básica del encuestado

Nombre productor: Productor 9  
Nombre de la localidad o vereda: \_\_\_\_\_  
Nombre del predio: \_\_\_\_\_  
Tamaño de la cama lombricultora estudiada (Largo x ancho x alto "cm"): 150 x 70 x 20  
Tamaño total del lombricultivo (Largo x ancho x alto "cm"): 150 x 70 x 20  
Número de camas lombricultoras: 1

### Encuesta:

1. ¿Cuánto tiempo lleva como productor del proyecto *Lombricompostaje*?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

2. ¿Antes de unirse a este proyecto, había tenido alguna experiencia con lombricultivos?

Si

No

- ¿Cuál?

Lombrices conseguidas por parte de un vecino

- ¿Cuánto tiempo llevaba inmerso en la anterior experiencia con lombricultivos?

Menos de 6 meses

Entre 6 y 12 meses

Entre 12 y 24 meses

Mas de 24 meses

3. ¿Cuánto tiempo tarda en obtener humus sólido desde que inicia el proceso productivo?

Menos de 3 meses

Entre 3 y 4 meses

Mas de 4 meses ¿Cuánto? No se ha podido humus

4. ¿Cuánto tiempo tiene la cama lombricultora estudiada?

1 mes

2 meses

3 meses

4 meses

Otro año y medio

5. ¿Qué tipo de materia orgánica utiliza usted en su lombricultivo?

Estiércol de conejo y de vacas

6. ¿Qué producto es el que más obtiene de su lombricultivo?

Pie de cría

Abono orgánico sólido

Lixiviado

Ninguno

- ¿Con que fin utiliza este producto?

7. ¿Qué cantidad promedio obtiene de una sola cama lombricultora?

8. ¿Conoce usted los rangos óptimos de temperatura, humedad y radiación en los que se debe mantener un lombricultivo?

Si

No

9. ¿Realiza algún tipo de seguimiento a las diferentes variables de su lombricultivo?

Si

No

- ¿Cuál?

Procura mantener la ~~temperatura~~ cama lombricultora  
húmeda

- ¿Con qué frecuencia?

1 vez por semana

2 veces por semana

3 veces por semana

Otro \_\_\_\_\_

- ¿Cómo realiza el control de las variables cuando no están en los rangos óptimos?

humedece la cama, con un atomizador.

10. ¿Conoce algún tipo de sistema para monitorear y/o controlar las variables de un lombricultivo?

Si

No

- ¿Lo utiliza?

Si

No

11. ¿Le gustaría implementar un sistema de monitoreo de temperatura, radiación y control de humedad en su lombricultivo?

Si

No

12. ¿Cree que este sistema ayudaría a mejorar la producción de abono orgánico?

Si

No

- ¿Por qué?

Porque el sistema ayudaría a mantener las condiciones adecuadas  
y un buen resultado para producir humus.

13. ¿Considera usted que el comportamiento reproductivo de la lombriz genera algún impacto importante sobre la producción de abono orgánico?

Si

No

14. ¿Realiza usted pre - compostaje de la materia orgánica?

Si

No

- ¿Cómo lo realiza?

---

---

---

- ¿Por cuánto tiempo lo realiza?

- menos de una semana
- Entre 1 y 2 semanas
- Más de 2 semanas ¿Cuánto? \_\_\_\_\_

Observaciones sobre el lombricultivo "Plagas, objetos extraños evidenciados":

No ha sacado humus ya que no conoce el punto exacto para la  
obtención de este producto.  
No se ha obtenido la capacitación  
Ninguna plaga