



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E  
INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**Tema:**

---

**“SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO ELECTRÓNICO EN LA  
ELABORACIÓN DE ABONO ORGÁNICO.”**

---

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniera en Electrónica y Comunicaciones.

**ÁREA:** Física y Electrónica.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Sistemas de Control.

**AUTOR:** Nelson Stalin Villagrán Poaquiza.

**TUTOR:** Ing. Mg. Santiago Manzano.

**AMBATO – ECUADOR**

**Febrero 2021**

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: “SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO ELECTRÓNICO EN LA ELABORACIÓN DE ABONO ORGÁNICO.”, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación, por el señor Nelson Stalin Villagrán Poaquiza, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo

Ambato, febrero 2021.



Firmado electrónicamente por:  
VICTOR SANTIAGO  
MANZANO  
VILLAFUERTE

---

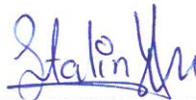
Ing. Mg. Santiago Manzano

TUTOR

## AUTORÍA

El presente proyecto de investigación titulado: “SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO ELECTRÓNICO EN LA ELABORACIÓN DE ABONO ORGÁNICO”, es absolutamente original, auténticos y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, febrero 2021.



---

Nelson Stalin Villagrán Poaquiza

CC: 1804277752

AUTOR

## APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Nelson Stalin Villagran Poaquiza estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad de Proyecto de Investigación , titulado “SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO ELECTRÓNICO EN LA ELABORACIÓN DE ABONO ORGÁNICO” nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, febrero 2021.



Firmado electrónicamente por:  
**ELSA PILAR  
URRUTIA**

-----

Ing. Pilar Urrutia, Mg.  
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:  
**MARCO ANTONIO  
JURADO LOZADA**

-----

Ing. Marco Antonio Jurado Lozada.  
PROFESOR CALIFICADOR



Firmado electrónicamente por:  
**PERCY ALBERTO  
RIOS  
VILLACORTA**

-----

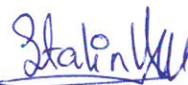
Dr. Percy Alberto Ríos Villacorta.  
PROFESOR CALIFICADOR

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, febrero 2021.



---

Nelson Stalin Villagrán Poaquiza

CC: 1804277752

AUTOR

## DEDICATORIA

*Mi camino, como estudiante, ha sido y es una labor ardua, más aligerada por la guía de todos los docentes que me han ido transmitiendo sus conocimientos. Sin embargo, hay alguien especial, muy por encima de ellos y de mí, que desde el inicio, me ha guiado con su sabiduría y amor incondicional; con su apoyo y esfuerzo en los peores momentos; con la inmensa alegría de compartir cada pequeño logro. Por eso este trabajo está dedicado fundamentalmente a ella,*

*Madre, por ti y para ti.*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a Dios por permitirme ser parte de esta vida y cada día despertar con nuevas iniciativas para poder cumplir con muchos de mis sueños en mi vida personal y profesional.*

*Agradezco a mi madre y a mi hermana quienes han depositado en totalidad su confianza y sacrificio constante día tras día para poder cumplir con unos de mis grandes objetivos, el cual me llena de una inmensa felicidad.*

*Agradezco a la prestigiosa Universidad Técnica de Ambato que me ha permitido ser parte del gran trabajo que crea, así como también a cada uno de sus docentes que me impartieron de saberes y conocimientos con paciencia en cada etapa de mi carrera, en especial a mi tutor Ing. Mg. Santiago Manzano por brindarme una guía en mi aprendizaje y compartir sus conocimientos.*

## ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	iv
DERECHOS DE AUTOR.....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS. ....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
Antecedentes Investigativos.....	1
Contextualización del problema.....	3
Fundamentación teórica .....	4
Agricultura .....	4
Agricultura tradicional .....	4
Agricultura convencional.....	4
Agricultura orgánica.....	4
Suelo.....	5
Fertilización del suelo .....	6
Abono orgánico.....	6
Compostaje para condiciones aerobias .....	7
Compostaje en condiciones anaeróbicas.....	8
Temperatura .....	8
Oxigenación .....	10
Humedad .....	11
pH.....	11

Gas metano CH-4 .....	11
Granja integral.....	12
Sistemas electrónicos .....	12
Sistemas control .....	13
Sistemas de Control en Lazo Cerrado .....	13
Sistemas de Control en Lazo Abierto.....	14
Sistemas Monitoreo.....	15
Red de sensores .....	15
Sensores.....	16
Sensor de humedad .....	16
Sensor de Temperatura.....	16
Sensor de gas.....	16
Sensores fotoeléctricos.....	17
Sensores de proximidad .....	17
Plataformas de Hardware Libre .....	17
Arduino .....	18
Base de Datos.....	18
MySQL.....	18
Servidor Web .....	19
Objetivos .....	20
Objetivos General.....	20
Objetivos Específicos.....	20
CAPÍTULO II .....	22
METODOLOGÍA .....	22
Materiales.....	22
Métodos.....	22
Modalidad de la Investigación .....	22
Investigación Aplicada.....	22
Investigación experimental .....	22

Investigación de campo.....	23
Recolección de Información .....	23
Procesamiento y Análisis de Datos .....	23
Desarrollo del Proyecto.....	23
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>25</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>25</b>
Introducción .....	25
Estudio de Factibilidad.....	25
Factibilidad Técnica .....	25
Factibilidad Económica.....	26
Factibilidad Bibliográfica.....	26
Desarrollo de la propuesta.....	26
Determinación del Área de Localización.....	26
Diagrama de bloques del proceso del sistema de control y monitoreo electrónico. ....	28
Adquisición De Datos .....	29
Análisis de sensor para un medio Aerobio.....	29
Sensor de pH .....	30
Sensor de Temperatura.....	31
Sensor de humedad .....	32
Electroválvula .....	33
Análisis de sensor para un medio anaerobio.....	34
Sensor Temperatura .....	35
Sensor Gas Metano .....	36
Análisis de las placas controladoras.....	37
Shield ethernet.....	38
Técnica de ubicación de un sensor de humedad .....	39
Diseño del sistema electrónico para un medio aerobio.....	42
Diseño del sistema electrónico para un medio anaerobio.....	43
Esquema de conexión medio aerobio.....	44
Esquema electrónico individual .....	45
Esquema de conexión medio anaerobio.....	45

Instalación del sistema operativo AWS .....	46
Servidor AWS .....	46
Instalación de servidor LAMP .....	48
Creación de una base de datos. ....	51
Desarrollo de interfaz Web. ....	54
Elaboración de la placa de circuito impreso .....	60
Análisis de resultados.....	68
Presupuesto. ....	88
CAPÍTULO IV.....	92
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
Conclusiones .....	92
Recomendaciones.....	93
Referencias Bibliográficas .....	94
Anexos.....	99

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1.- Fases presentes en la digestión aerobia. ....	9
Tabla 2.- Fases presentes en la digestión anaerobia.....	10
Tabla 3.- Rangos de los parámetros del proceso de descomposición en medio aerobio.....	27
Tabla 4.- Rangos de los parámetros del proceso de descomposición en medio anaerobio. ....	27
Tabla 5.- Análisis de sensor de pH SEN-0161 y sensor pH-4502C.....	30
Tabla 6.- Análisis de los diferentes tipos de sensores de temperatura. ....	31
Tabla 7.- Revisión de tipos de sensores de humedad.....	32
Tabla 8.- Características de una electroválvula.....	33
Tabla 9. Válvula solenoide eléctrica Micro N/C.....	34
Tabla 10.- Comparación de los sensores de humedad y temperatura. ....	35
Tabla 11.- Sensor MQ-4 vs Sensor infrarrojo inteligente MH-742B.....	36
Tabla 12.- Arduino Mega 2560 vs Arduino Uno. ....	37
Tabla 13.- conexión alámbrica vs inalámbrica. ....	38
Tabla 14.- Asignación de pines Arduino Mega 2560. ....	65
Tabla 15.- Distribución de pines Arduino Mega 2560.....	67
Tabla 16.- Determinación de la curva de temperatura en medio anaerobio.....	71
Tabla 17.-. Determinación de la curva de humedad en medio anaerobio. ....	73
Tabla 18.- Determinación de la curva de Gas Metano en un medio anaerobio. ....	75
Tabla 19.- Pines para una conexión por Software SPI.....	77
Tabla 20.- Valores obtenidos de presencia de Gas Metano. ....	79
Tabla 21.- prueba de funcionamiento del sistema de control de actuadores.....	80
Tabla 22.-Almacenamiento de los datos en phpmyadmin medio Aerobio. ....	82
Tabla 23. Almacenamiento de los datos en phpmyadmin medio Anaerobio.....	84
Tabla 24.- Pruebas de Funcionamiento del sistema de monitorizacion.....	87
Tabla 25- Costos de Equipos Electrónicos.....	89
Tabla 26.-Costos de Herramientas. ....	90
Tabla 27.-Costos de Materiales.....	90
Tabla 28.- Costos de Elaboración de estructura prototipo ....	91
Tabla 29.- Costo de presupuesto final.....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.- Horizontes del suelo. ....	5
Figura 2.- Factores presentes en el metabolismo biológico del compostaje. ....	8
Figura 3 .- Diagrama de bloques de un sistema electrónico. ....	13
Figura 4.- Esquema general de un sistema de control.....	13
Figura 5.- Sistema de Control de Lazo Cerrado.....	14
Figura 6.- Sistema de Control de Lazo Abierto. ....	14
Figura 7.-Sistema de monitoreo. ....	15
Figura 8. Estructura de un servidor web. ....	19
Figura 9. Selección del área de implementación del prototipo.. ....	26
Figura 10. Diagrama de bloques del sistema de control y monitoreo electrónico. ....	28
Figura 11. Ubicación de Sensores de humedad y temperatura. ....	39
Figura 12. Técnicas de instalación del sensor de humedad. ....	40
Figura 13. Límites de seguridad del sensor de humedad .....	41
Figura 14. Medición de volumen del sensor de humedad.....	41
Figura 15. Diseño electrónico para un medio de descomposición aerobio.....	42
Figura 16.- Diseño electrónico para un medio de descomposición anaerobio.....	43
Figura 17.-Esquema electrónico en compostera 1. ....	44
Figura 18.- Esquema electrónico en envase 1.....	45
Figura 19.-Diseño final del sistema electrónico anaerobio.....	46
Figura 20. Creación de un servidor AWS. ....	46
Figura 21. Servidor virtual en la nube con dirección IP 3.23.127.12 .....	47
Figura 22. Inicio remoto del servidor AWS con SecureCRT. ....	47
Figura 23. Página predeterminada de Apache.....	48
Figura 24. Información de la versión de PHP utilizada. ....	49
Figura 25. Consola MariaDB. ....	49
Figura 26. Página de ingreso de PhpMyadmin. ....	50
Figura 27. Base de datos compostaje .....	51
Figura 28. Tablas contenidas en base de datos compostaje .....	51
Figura 29. Parámetros para prototipo 1.....	52
Figura 30. Parámetros para prototipoA.....	52
Figura 31. Parámetros adecuados para el medio de descomposición aerobio. ....	53

Figura 32. Parámetros adecuados para el medio de descomposición anaerobio.....	53
Figura 33. Parámetros para la configuración de alertas. ....	54
Figura 34. Dirección de ubicación de plantillas bootstrap.rar .....	55
Figura 35. Pantalla de inicio del sistema.....	55
Figura 36. Menú principal.....	56
Figura 37 . Menú de las gráficas en tiempo real. ....	56
Figura 38. Menú reporte de datos. ....	57
Figura 39. Interfaz de mantenimiento operativo.....	58
Figura 40. Menú de configuración.....	58
Figura 41. Configuración de las fases en el medio aerobio. ....	59
Figura 42. Configuración de las fases en el medio anaerobio.....	59
Figura 43. Configuración de alerta y notificaciones para medios aerobio y anaerobio. .....	60
Figura 44. Diseño PCB para un sistema aerobio.....	61
Figura 45. Implementación física del circuito impreso para un medio aerobio.....	61
Figura 46. Diseño PCB sistema anaerobio.....	62
Figura 47. Implementación física del circuito impreso para un medio anaerobio. ....	62
Figura 48 Diseño PCB para los sensores BME280 y CH-4.....	63
Figura 49. Ubicación de los sensores BME280 y MQ-4 sistema anaerobio.....	63
Figura 50 Etapas implementadas en el sistema aerobio.....	64
Figura 51. Etapa del sistema aerobio. ....	65
Figura 52. Determinación de la curva de temperatura en el proceso de compostaje. 69	
Figura 53. Determinación de la curva de humedad en el proceso de compostaje .....	69
Figura 54. Determinación de la curva de pH en el proceso de compostaje .....	70
Figura 55. Determinación de la curva de nivel de agua en el proceso de compostaje. .....	70
Figura 56. Pruebas de funcionamiento del sistema de control.....	81
Figura 57. Eficiencia del sistema de control. ....	81
Figura 58 Diagrama de pruebas eficientes y pruebas fallidas del sistema de monitoreo. .....	87
Figura 59. Eficiencia del sistema de Monitoreo.....	88

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realizó un sistema de control y monitoreo electrónico de dos sistemas de descomposición en diferentes medios, aerobio y anaerobio, mediante el aprovechamiento de residuos orgánicos, en el sistema aerobio se realizó la elaboración de abono orgánico, mientras que en el sistema anaerobio se determinó la formación de gas metano tomando en cuenta cada uno de los parámetros que intervienen en cada sistema de descomposición.

El sistema de descomposición aerobio se encuentra constituido por una compostera con residuos orgánicos para la formación de abono orgánico, los parámetros que intervienen para la formación son temperatura, humedad y pH, además se realizó un sistema de ocho biodigestores con cuatro diferentes tipos de excretas en cada uno y sus respectivas replicas para realizar el estudio de descomposición anaerobia que se genera llevando el respectivo control de sus parámetros como son: temperatura, humedad y generación de gas metano CH<sub>4</sub> formado en cada biodigestor.

El sistema electrónico está conformado por una etapa de sensorización en la cual se hace uso del sensor ds18b20, sensor capacitivo de humedad v1.2 y sensor de pH para un medio aerobio y sensores BME280 y sensores MQ-4 para un medio anaerobio. Y una etapa de control mediante el accionamiento de válvulas solenoides, la lectura de estos valores son almacenados una base de datos phpmyadmin y luego son enviados a un servidor externo AWS para ser monitoreado. El diseño de la página web es amigable con el usuario, este permite revisar el estado actual de la composta y los 8 biodigestores brindando información del tiempo que dura en descomponerse, formar el abono orgánico y el gas metano, también nos permite visualizar a través de Gráficas cada uno de los parámetros, un reporte de datos y alertas de cada fase para una acción preventiva. Además, se realiza el mantenimiento operativo de la expulsión de agua para el llenado del tanque y para el sistema de goteo dentro de la composta en el medio aerobio y la expulsión de gas metano para el medio anaerobio.

**Palabras Claves:** Sistemas de Control, Sistema de Monitorización, Sistema Electrónico, Sistema Anaerobio, Sistema Aerobio, comunicación SPI, Residuos Orgánicos.

## ABSTRACT

In the present work of investigation I realize a system of control and electronic monitoring of two systems of decomposition in different aerobic and anaerobic means, by means of the utilization of organic residues, in the aerobic system I realize the elaboration of organic fertilizer whereas in the anaerobic system I determine the formation of gas methane taking into account each one of the parameters that intervene in every system of decomposition.

The aerobic decomposition system is constituted by a composter with organic waste for the formation of organic fertilizer, the parameters that intervene for the formation are temperature, humidity and pH, in addition, a system of eight biodigesters was made with four different types of excreta in each one and their respective replicas to carry out the study of anaerobic decomposition that is generated taking the respective control of its parameters such as: temperature, humidity and generation of methane gas CH<sub>4</sub> formed in each biodigester.

The electronic system consists of a sensorization stage in which the ds18b20 sensor, capacitive humidity sensor v1.2 and pH sensor are used for an aerobic environment and BME280 sensors and MQ-4 sensors for an anaerobic environment. And a control stage through the actuation of solenoid valves, the reading of these values are stored in a phpmyadmin database and then sent to an external AWS service to be monitored. The design of the web page is user friendly, it allows to review the current status of the compost and the 8 biodigesters providing information on the time it takes to decompose, form organic fertilizer and methane gas, also allows us to visualize through graphs each of the parameters, a report of data and alerts for each phase for preventive action. In addition, the operational maintenance of the water expulsion for filling the tank and for the drip system inside the compost in the aerobic environment and the expulsion of methane gas for the anaerobic environment is performed.

**Key words:** Control Systems, Monitoring System, Electronic System, Anaerobic System, Aerobic System, SPI communication, Organic Wast.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### **Antecedentes Investigativos.**

En las investigaciones realizadas de los repositorios en diferentes universidades nacionales e internacionales, así como en artículos científicos publicados en diferentes revistas, se describen varios proyectos de investigación sobre el tema propuesto:

P. Jordán, A. Elizalde y M. Millán, en su trabajo de investigación titulado: “Diseño e implementación de un prototipo de telecontrol de biodigestor de abono con interfaz web mediante uso de hardware y software libre”, desarrollado en la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, ESPOL, en Guayaquil 2017, lleva a cabo un prototipo conformado por hardware, el cual está compuesto por sensores y actuadores. Desarrollando una interfaz entre el sistema de control y el operador del biodigestor el cual consta de dos escenarios, una página web y un pequeño panel eléctrico en donde gestiona las actividades del sistema de manera local a través de botones y presenta los datos a través de una pantalla LCD, cuenta con una base de datos donde se registran las variables y se almacena los datos de los usuarios para establecer las sesiones y un archivo programado en lenguaje Python que enlaza la página web con la BeagleBone Black y la base de datos, obteniendo así una tecnología novedosa y sostenible en la producción del biol, logrando un aumento en la fertilización del suelo y un alto rendimiento en el crecimiento de la planta [1].

En la Revista Cubanas de Ciencias Informáticas, el artículo titulado “Automatización de un proceso de biodigestión anaeróbica”, de Carlos López, Fanny Martínez y Oscar Paredes, en la temática de Ingeniería y Calidad de Software, 2016, hace mención del desarrollo de un sistema conformado por un programa creado mediante el uso integrado de entornos de programación tales como: FlowCode, Proteus y Visual Basic,

con el fin de comunicar la aplicación con el hardware, el cual está integrado por un controlador de interfaz periférica PIC 16F676 y una serie de sensores conectados a el mismo, para comunicar todo el sistema electrónico que comprende el PIC y los sensores, con la computadora se utilizó una tarjeta TTL-USB de marca: Prolific, y modelo: PL2303, transmitiendo así la información obtenida en tiempo real. Además, la aplicación permite establecer alarmas para cada variable del proceso y visualizarlas en un ordenador, obteniendo datos precisos con el mínimo porcentaje de error [2].

En Tunja Colombia, D. Montenegro y J. Zorro, en el año 2017, realizo el trabajo “Prototipo de biorreactor aeróbico para el monitoreo y control del proceso compostaje, a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos orgánicos de plaza de mercado”, desarrollado en la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Electrónica, UPTC, se elaboró un prototipo de un biorreactor para controlar las variables de temperatura y humedad utilizando para el control de la temperatura un sensor RTD PT100, y para el control de la humedad un sensor resistivo YL-69. Empleando una plataforma de desarrollo Arduino Mega 2560, y una interfaz remota Ubidots controlando y monitoreando la temperatura y humedad para cumplir con las demandas de tiempo que requiere el proceso experimental de compostaje para la producción de bioabono [3].

En el trabajo de investigación titulado: “Desarrollo e implementación de sistema de control de calidad de compostaje” de Víctor Gallardo desarrollado en el Departamento de Ingeniería Informática y Ciencias de la Computación ,Concepción, Chile 2018, se propone la creación de una sonda funcional capaz de medir los datos de temperatura y humedad haciendo uso de un sensor de temperatura Ds18b20 y de un sensor de humedad YL-69, desarrollado con una plataforma arduino además de un software complementario que ayuda a generar reportes que certifican la calidad del proceso de compostaje, con el fin de hacer posible la producción autónoma del abono orgánico beneficiando a pequeños y medianos agricultores [4].

## **Contextualización del problema**

En la actualidad en el Ecuador se tiene uso inadecuado de los suelos agrícolas, ya que para la producción de diferentes productos hacen un uso excesivo de fertilizantes, herbicidas y pesticidas químicos, presentando en los suelos un nivel alto de degradación. Agrocalidad menciona que el 0.8 % de los predios agrícolas en el Ecuador se dedican a la producción de alimentos orgánicos, durante generaciones las familias agricultoras han conocido la importancia del abono orgánico, los nutrientes que aportan a la fertilización de los suelos de cultivo. Para ello, han utilizado métodos tradicionales basados en la descomposición natural de la materia orgánica, de tal manera que se propone como nueva técnica, utilizar la tecnología para la elaboración de abono orgánico para medios aerobios y anaerobios. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO hay que tomar en cuenta diversos factores en el momento de la elaboración de abonos orgánicos, tales como temperatura, pH, humedad, y gas metano [1].

La agricultura orgánica tiene un crecimiento importante en cuanto a la superficie dedicada la producción de alimentos orgánicos, el costo de alimentos orgánicos es más elevado que otros alimentos convencionales, siendo de 10 o 15% de diferencia, debido a que son más saludables y mejoran el estilo de vida de las personas que los consumen en su diario vivir. Los agricultores de granjas integrales requieren que los procesos de elaboración de abono orgánico sean eficientes, por esta razón se busca implementar un sistema de control y monitoreo electrónico para la elaboración de abono orgánico, con la finalidad de optimizar recursos económicos y el tiempo de descomposición.

La evolución tecnológica ayuda a tener métodos eficientes, como puede ser un sistema electrónico para el control y monitorización las magnitudes presentes en la elaboración de abonos orgánicos. Empleando una red de sensores, controlados por una interfaz sencilla y cómoda para el usuario, en el cual se generen reportes constantes del proceso, con el objetivo de tomar decisiones y obtener un producto de mejor calidad. Esto permitiría optimizar el tiempo de descomposición y optimizar la utilización de el mismo para el sector Agrícola en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, campus Querochaca.

## **Fundamentación teórica**

### **Agricultura**

La agricultura abarca un grupo de acciones humanas basadas en la combinación de conocimientos y habilidades para el tratamiento y cultivo de los suelos, destinados a la producción de alimentos. El cultivo de los campos son la principal fuente de alimentación del ser humano, por lo que hoy en día la agricultura se ha convertido en una fuente de ingresos económicos generando un gran desarrollado en la variedad de técnicas de cultivos [5].

De acuerdo con el método y objetivo de la agricultura son:

### **Agricultura tradicional**

La agricultura tradicional se caracteriza por su sistema social y practicas agropecuarias indígenas, arraigada en viejas costumbres y en la tradición histórica de la comunidad. Sus técnicas se caracterizan por no ser tecnificadas y carecer de tecnología en sus procesos de cultivos, cuida el medio ambiente de una forma intuitiva; en principio supone un ahorro económico para el agricultor pero, a la larga puede generar un coste elevado debido a enfermedades subyacentes provocadas por el arduo trabajo al agricultor y bajos rendimiento en la producción de alimentos [5].

### **Agricultura convencional**

La agricultura convencional es un sistema productivo artificial, debido al alto consumo de productos químicos como pesticidas, abonos químicos etc., para el control de plagas y enfermedades. Estas técnicas se consideran erróneas para los cultivos ya que provocan un desgaste rápido del ecosistema, del suelo y fomentan otras enfermedades. Reduce el espacio y el tiempo de producción de alimentos teniendo como resultado un alto nivel de producción pero ocasiona daños irreversible en el ambiente [5].

### **Agricultura orgánica**

La agricultura orgánica es una práctica que provee una producción sana y natural de alimentos basándose en el enriquecimiento del suelo, utiliza la mayor parte de sus

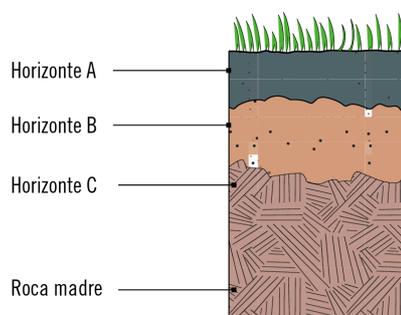
recursos y actividades biológicas para una fertilización compleja. Este tipo de agricultura genera mayor estabilidad al medio ambiente, suelo y ser humano, además que es una opción viable para el desarrollo social, cultural y económico para las familias agricultoras [7].

La aplicación de pesticidas, hormonas, antibióticos y maquinaria de arados del suelo están prohibidos. Los microorganismos que se encuentran presentes en el suelo se alimentan de abonos verdes, desechos vegetales, estiércol de animales, etc., manteniendo así un equilibrio del ecosistema y la actividad biológica del suelo fortaleciendo los cultivos contra la presencia de plagas [8].

## Suelo

El suelo es un material complejo está compuesto por sólidos de materia mineral, materia orgánica e inorgánica que son necesarios para el desarrollo de la vida vegetal, es capaz de aportar los nutrientes fundamentales para el crecimiento de los vegetales se obtienen directamente de su corteza terrestre y otorgan una base alimentaria para la vida vegetal, animal y humana [9].

Los residuos vegetales en descomposición o también conocido como compostaje está ubicada en el horizonte A del suelo como se muestra en la figura 1. En este nivel se da la transformación de la materia orgánica gracias a la actividad biológica que presenta el suelo, ya que mediante la descomposición genera micronutrientes que ayudan a la alimentación de la vegetación favorecido por las condiciones climáticas y de temperaturas [10].



*Figura 1.- Horizontes del suelo.*

Las características que presenta un suelo fértil son las siguientes:

- El crecimiento de las raíces crea resistencia contra las plagas y se adhieren fijamente al suelo, ofreciendo un crecimiento saludable en los cultivos
- Aporta grandes cantidades de nutrientes a los cultivos.
- Es capaz de facilitar agua y macronutrientes a las plantas mediante su conservación, ya que estarán disponibles para cuando el cultivo necesite alimentarse.
- La composición el suelo contiene suficiente oxígeno.
- No contiene sustancias tóxicas que afecten el crecimiento del cultivo[11].

### **Fertilización del suelo**

La fertilización es la técnica que requiere una asistencia constante mediante la aplicación de abonos, orgánicos e inorgánicos, para dar vitalidad a los nutrientes y mejorar el rendimiento del cultivo hasta un 70%.

La eficiencia de cada fertilizante va a depender del tipo y composición del mismo, los requisitos del cultivo y condiciones del suelo. Combinando estas condiciones y los componentes, se puede generar un óptimo desarrollo, una producción elevada y una mejora de su calidad en los productos cultivados [12].

El fertilizante tiene como objetivo principal:

- Aumentar los sustratos que necesita el suelo.
- Complementar los nutrientes naturales del suelo.
- Restituir nutrientes que ha perdido el suelo.
- Obtener un cultivo resistente y saludable [12].

### **Abono orgánico**

El abono orgánico es un fertilizante que proviene de animales, humanos, residuos vegetales u otras fuentes orgánicas y naturales, utilizada para nutrir el suelo gracias a sus propiedades enriquecedoras, el poder que tiene el abono orgánico sobre la tierra

es por la carga de microorganismo que posee en la degradación de cada uno de los elementos naturales que lo componen, su función principal es mantener al suelo apto para su cultivo, es decir, que contenga nutrientes que puedan servir de alimento para las plantas, impidiendo que el suelo pierda cierta cantidad de agua y suceda lo contrario que es conservarla para mantener su humedad, así como mantener el ablandamiento y el balance del suelo.

Las ventajas que presenta el abono orgánico son:

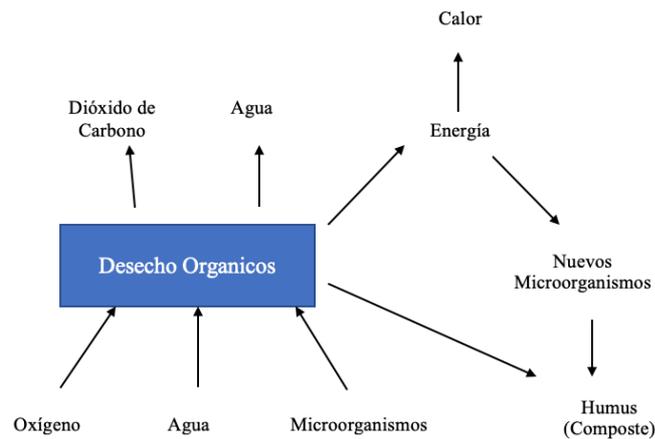
- Aportan y almacenan nutrientes, mejoran la fertilidad del suelo.
- Aumenta la retención del agua, su comportamiento es como una esponja y facilita la absorción del agua y de nutrientes que requiere el cultivo.
- Incrementa la materia orgánica del suelo y restituye los componentes químicos que alimenta la planta.
- Protege el suelo contra futuras enfermedades y aumenta la capacidad de resistencia de las plantas contra plagas y eventos climáticos externos.
- Facilita mayor aireación y oxigenación del suelo, por lo que provoca mayor actividad de las raíces y de los microorganismos que viven en el suelo [17].

### **Compostaje para condiciones aerobias**

El compostaje es la descomposición de todo tipo de materia orgánica en condiciones aeróbicas, este proceso es realizado por los microorganismos presentes en el suelo, esta acción se la hace para liberar el nitrógeno, fósforo y nutrientes los cuales serán absorbidos por el suelo, para mejorar su estructura y para alimentación de las plantas [18].

Para la conservación del suelo una de las técnicas aplicadas por los agricultores del Ecuador es la aplicación del compostaje por todos los beneficios y nutrientes que este puede aportar al cultivo.

En la Figura 2, se observa la producción del compostaje mediante su metabolismo biológico se generan varios factores importantes para la transformación de los desechos orgánicos mediante la presencia de oxígeno y la producción de dióxido de carbono, agua y calor produciendo nuevos microorganismos para la obtención de un humus de calidad [18].



*Figura 2.- Factores presentes en el metabolismo biológico del compostaje.*

### **Compostaje en condiciones anaeróbicas**

Para la producción de compostaje en condiciones anaeróbicas se produce la descomposición de sus componentes en ausencia de oxígeno, mediante esta degradación se obtienen elementos como: metano, dióxido de carbono y varios elementos orgánicos, también genera CH<sub>4</sub> gas metano a partir de desechos animales, agrícolas y residuos de humanos y urbanos siendo excelente fertilizante líquidos para los cultivos [25].

Los factores que intervienen en el proceso de compostaje son:

#### **Temperatura**

La temperatura es el factor fundamental para el seguimiento del compostaje. La degradación de la materia genera calor lo que hace que la temperatura aumente y

viceversa, cuando deja de producirse la actividad microbológica la temperatura disminuye [19].

Se muestra en la tabla 1, los cambios de temperatura en el proceso de degradación del abono en condiciones aerobias [20].

*Tabla 1.- Fases presentes en la digestión aerobia.*

<b>Fases</b>	<b>Descripción</b>
<b>Mesófila</b>	La mesófila es la primera fase que se presenta al inicio, se da a temperatura ambiente, mientras se va dando la actividad microbológica pasa a una temperatura de hasta 45°C por el uso de C y N que aplican calor, su pH baja. Esta fase tiene un límite de duración de hasta 8 días
<b>Termófila</b>	La termófila se presenta en el segundo periodo donde la temperatura es mayor a 45°C, su pH se vuelve alcalino, a partir de los 60°C empiezan a activarse algunos tipos de bacterias y a destruirse otras higienizando el compostaje.
<b>Mesófila II</b>	La mesófila inicia con la deficiencia de C y N en el compuesto, la temperatura baja hasta 40°-45°C, su pH se mantiene alcalino y se da la presencia de hongos en el compostaje.
<b>Maduración.</b>	La maduración es la etapa final en este proceso y se mantendrá a temperatura ambiente durante meses. En esta fase es significativa ya que desarrolla las propiedades optimas del compost.

La temperatura es el más dependiente del proceso de compostaje anaeróbico, está relacionado directamente con la velocidad del proceso, ya que el aumento de microorganismos presenta un aumento en su temperatura. En la tabla 2, se muestra las fases de fermentación metanogénica del sustrato en la digestión anaerobia [26].

*Tabla 2.- Fases presentes en la digestión anaerobia.*

<b>Fases</b>	<b>Descripción</b>
<b>Hidrólisis</b>	La hidrólisis es la fase inicial en donde se hidroliza los elementos orgánicos en compuestos solubles, permitiendo así que los microorganismos puedan descomponer estos compuestos solubles, mediante su pared celular.
<b>Acidogénica</b>	La acidogénica se genera la fermentación de algunos elementos orgánicos solubles para poder acceder a ellos con mayor facilidad. Además, se aseguran de restringir hasta la mínima cantidad de oxígeno.
<b>Acetogénica</b>	La acetogénica es la etapa donde los compuestos pueden ser metabolizados con mayor facilidad mientras que otros deben convertirlos en más sencillos por los organismos metanogénicos.
<b>Metanogénica</b>	La metanogénica es la etapa final obteniendo las diversas degradaciones las bacterias anaerobias pueden actuar con mayor facilidad, haciendo que los microorganismos metanogénicos completen en su totalidad el proceso de degradación anaeróbica y así formar el metano a partir de sustratos monocarbonados.

### **Oxigenación**

La oxigenación es la aireación producida dentro del compostaje, permitiendo el paso de aire en cada una de sus capas para evitar la pudrición de alguna de estas. Está directamente relacionada con la actividad microbiana, puesto que cuando la temperatura se eleva por la formación de calor el compostaje requiere mayor cantidad de aireación para evitar que se sofoque el compuesto. Para mantener la aireación en la mezcla se realizan técnicas de volteado durante periodos de tiempo regulados [21].

## **Humedad**

La humedad es el contenido de agua en el compostador, el riego de agua debe ser uniforme para alcanzar toda la mezcla del compuesto y para mantener los niveles óptimos.

Los rangos de humedad óptimos para la elaboración de abonos orgánicos en un medio aerobio es de el 50 y 60% para mantener la estabilidad y producción del compostaje [22].

Los rangos óptimos en el medio anaerobio de humedad esta entre 50 al 70 %.

## **pH**

El pH varía mediante las fases en las que se encuentra el proceso, estas variaciones son mínimas siendo el pH neutro el óptimo. El pH varía dependiendo de la susceptibilidad del tipo de microorganismo.

Los rangos de pH óptimos para la elaboración de abonos orgánicos en un medio aerobio es un rango de 5.8 a 7.2 de pH manteniéndose la actividad microbiana sin ser afectada [23].

En un medio anaeróbicos presentan tres rangos de pH en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos

- hidrolíticos entre 7.2 y 7.4;
- acetogénicos entre 7.0 y 7.2;
- metanogénicos entre 6.5 y 7.5 [28].

## **Gas metano CH<sub>4</sub>**

El gas metano es un gas inodoro, incoloro y altamente inflamable que existe naturalmente como uno de los compuestos orgánicos más abundantes en la Tierra. Además, el biogás generado está compuesto aproximadamente por 55 a 70% de

metano en su última fase de descomposición y se usa como combustible para generar calefacción o electricidad en distintas partes del mundo.

### **Granja integral**

La granja integral hace referencia a la combinación de sistemas agrícolas y pecuarios, que logran un uso eficiente de los recursos existentes en un determinado lugar. La producción de alimentos orgánicos en estas granjas está destinada principalmente, para consumo humano y los excedentes son utilizados para la alimentación animal. Este tipo de factores permiten una interacción entre el ser humano, las plantas y los animales [29].

### **Sistemas electrónicos**

Los sistemas electrónicos son un conjunto de circuitos electrónicos que interactúan entre sí para obtener un resultado, mediante la interacción de señales eléctricas se realiza tres tipos de operaciones:

- Los dispositivos de entradas captan diferentes tipos de datos presentes en el medio, generando señales de corriente o voltaje.
- Los dispositivos de proceso están conformados por varios elementos electrónicos conectados entre sí, se encargan de decidir qué acción deben realizar por los datos recibidos de los dispositivos de entrada.
- Los dispositivos de salida convierten las señales procesadas en señales físicas útiles es decir, a términos visuales, sonoros, impresos o de cualquier otra naturaleza [30].

En la Figura 3, se observa el diagrama de bloques de un sistema electrónico [31].

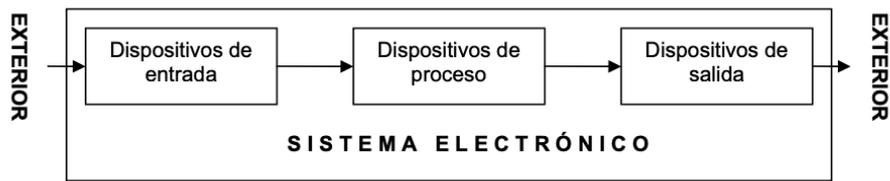


Figura 3 .- Diagrama de bloques de un sistema electrónico.

### Sistemas control

Un sistema de control es un conjunto de elementos físicos enlazados, siendo capaces de realizar determinadas acciones acorde al funcionamiento que permite administrar y controlar el mismo sistema u otros con la finalidad de evitar errores. El funcionamiento básico de un sistema de control en general es obtener un dominio de las variables de salida mediante la manipulación de las variables de control [32].

En la Figura 4, se visualiza el esquema general de un sistema de control.

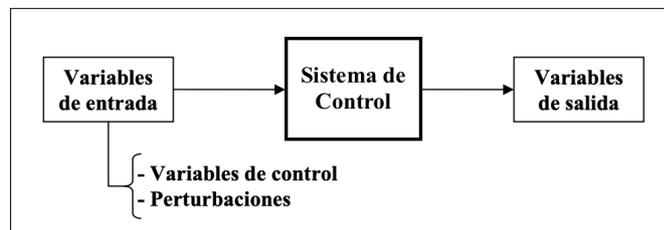


Figura 4.- Esquema general de un sistema de control.

### Sistemas de Control en Lazo Cerrado

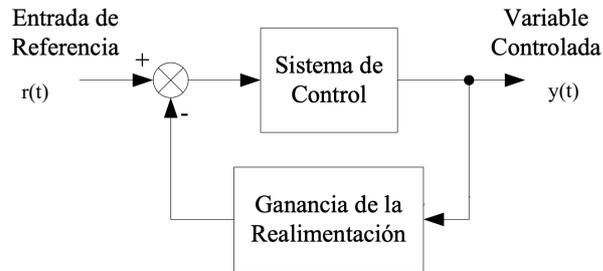
Un sistema de control de lazo cerrado también se denomina sistema de control retroalimentado, donde se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente [33] .

La Figura 5, se muestra el diagrama de bloques que constituye un sistema de control de lazo cerrado.

En donde:

$r(t)$  = Entrada de referencia.

$y(t)$  = Variable controlada [34] .



*Figura 5.- Sistema de Control de Lazo Cerrado.*

### **Sistemas de Control en Lazo Abierto**

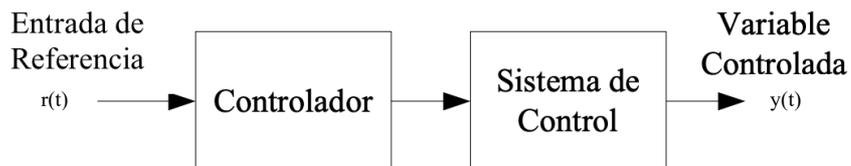
Se denominan sistemas de control en lazo abierto a aquellos sistemas en los cuales la variable de salida no afecta la acción de controlador es decir, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la variable salida ni se realimenta para compararla con la variable de entrada [34] .

La Figura 6, muestra el diagrama de bloques que constituye un sistema de control de lazo abierto.

En donde:

$r(t)$  = Entrada de referencia.

$y(t)$  = Variable controlada [34].

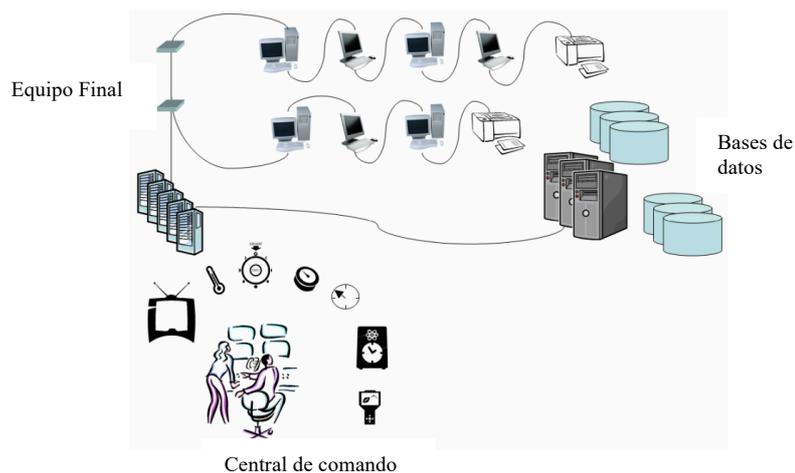


*Figura 6.- Sistema de Control de Lazo Abierto.*

## Sistemas Monitoreo

Un sistema de monitoreo se encarga de supervisar uno o más elementos mediante dispositivos especiales, al igual que el comportamiento de varios parámetros de un proceso de manera automática. Estos sistemas son indispensables en la industria, la actividad de monitoreo se puede realizar desde un centro de comando como se muestra en la Figura 7, en la cual se utiliza tanto hardware como software, Además, permite detectar y alertar fallas en la operación, haciendo posible su corrección al instante o de manera automática.[35].

Un buen sistema de monitorización es capaz de controlar diferentes dispositivos electrónicos, infraestructuras, aplicaciones, servidores, e incluso procesos de negocio.



*Figura 7.-Sistema de monitoreo.*

## Red de sensores

Una red de sensores es un conjunto de pequeños ordenadores o nodos que se encuentran equipados con un grupo de sensores con ciertas capacidades como son sensitivas y de actuación mediante la cual deben de cumplir tarea específica dependiendo del tipo de sensor.

## **Sensores**

Los sensores son dispositivos que determinan valores de diferentes señales o magnitudes físicas que se encuentran en el ambiente para ser convertidas en magnitudes eléctricas [36] .

Existe varios tipos de sensores cuya función varía de acuerdo con el tipo de estímulo que se le pueda detectare entre los cuales se tiene:

### **Sensor de humedad**

El sensor de humedad mide la humedad relativa y la temperatura de un ambiente. Está conformado por varios circuitos integrados permitiéndoles emitir una señal acondicionada, cuentan con un punto sensible que capta las señales del ambiente. Este punto es fabricado con polímeros y electrodos de platino tiene un buen rendimiento y un margen de error mínimo.

### **Sensor de Temperatura**

Un sensor de temperatura es un dispositivo que emite información sobre la temperatura del medio que se requiera analizar, a través de un impulso eléctrico. Este impulso eléctrico pasa en forma de voltaje, y la proporción de este voltaje es equivalente al valor de la temperatura medida.

### **Sensor de gas**

Los sensores de gas son dispositivos que indican la presencia de distintos componentes químicos en el aire, el modo de trabajo es que varían su resistencia cuando se ponen a un determinado gas, generalmente son usados para prevenir la exposición a gases combustibles y gases tóxicos. Estos sensores de preferencia deben estar ubicados en espacios confinados y pequeños debido a que su eficiencia es mayor.

### **Sensores fotoeléctricos**

Un sensor fotoeléctrico es un dispositivo que responde a los cambios de intensidad de luz. se usan para detectar el nivel de luz y producir una señal de salida. Este tipo de sensores incluyen un traductor para convertir la luz a una señal eléctrica.

### **Sensores de proximidad**

El sensor de proximidad se basa en la detección de objetos o señales que se encuentran cerca del sensor.

### **Plataformas de Hardware Libre**

Son herramientas informáticas de componentes físicos que permite utilizar determinados esquemas de libre acceso, pueden ser administrados por cualquier usuario permitiéndole ejecutar algunos programas o modificaciones en sus códigos dependiendo los requerimientos y así obtener las aplicaciones deseadas en la plataforma [37] .

Las ventajas de una plataforma de hardware libre son:

- El desarrollo de los recursos es independiente, no requiere dependencia tecnológica para su desarrollo.
- Dentro de sus características propias que beneficia la calidad están el modo sencillo de manejo y que son de bajo costo.
- Reduce tiempo en el desarrollo y mejora de diseños.

Las desventajas de una plataforma de hardware libre son:

- Las especificación y diseños únicos dificultan su ejecución.
- Se deben realizar simulaciones antes de elaborar la aplicación.
- Dificultad para la obtención de chips en países no desarrollados [37].

## **Arduino**

Un Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de código abierto, incorporado por un microcontrolador reprogramable que permite el desarrollo de diversas aplicaciones necesarias a través de la conexión entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de. Este hardware engloba campos como la electrónica, automatización y robótica[38].

Las ventajas de utilizar Arduino son:

- Bajo costo lo que genera mayor acceso en comparación con otras plataformas.
- Los sistemas operativos con los que funciona son: Windows, Mac os X, Linux y Android.
- Programación sencilla y de fácil manejo para el público principiante.
- Su lenguaje es amplio mediante la descarga de librerías C++.
- Gran variedad de placas de Arduino.

## **Base de Datos**

Base de datos es la recopilación organizada de datos almacenados de manera sistemática con el fin de facilitar su acceso y gestión de los datos que se necesiten por el usuario, el objetivo principal de un sistema de base de datos es proporcionar a los usuarios finales un visión abstracta de los dato, esto se logra escondiendo ciertos detalles de cómo se almacenan y mantienen los datos [41].

## **MySQL**

MySQL es un gestor de base de datos de código libre, es decir, se modifica según la necesidad del usuario, se encarga de ordenar y almacenar la información para poder administrarla de manera fiable y eficiente [41].

## Características principales de MySQL

- Su fácil manejo y modificación según las expectativas del usuario.
- MySQL esta desarrollado mediante el lenguaje C-C++.
- El soporte de almacenamiento que brinda para la optimización de la gestión de los datos.
- Su alto rendimiento trabajando a una velocidad optima de respuesta.
- Su alto estándar de seguridad crea confianza en el usuario.

## Servidor Web

Un servidor web permite el acceso de clientes a información que se encuentra almacenada en la base de datos, tales como, registros, aplicaciones web, etc., además se utiliza sin la necesidad de que la información sea subida a internet, ocupa el protocolo HTTP para la comunicación.

En el mercado existe varios servidores web uno de los más populares es Apache. A continuación en la figura 8, se muestra la estructura interna de un servidor web [42].

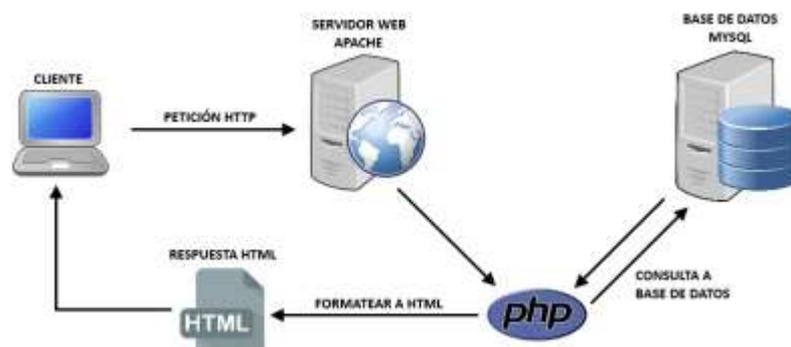


Figura 8. Estructura de un servidor web.

## **Objetivos**

### **Objetivos General**

El objetivo principal del presente proyecto de investigación es implementar un sistema de control y monitoreo electrónico en la elaboración de abono orgánico enfocado al sector agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (Campus Querochaca), de manera que el usuario pueda monitorizar los datos de los parámetros que intervienen en el proceso de descomposición aerobio y anaerobio, tomando acciones preventivas en caso de alteraciones y así mantener un control continuo de las condiciones del proceso.

Se realizo el sistema de control y monitoreo electrónico en la elaboración de abono orgánico

### **Objetivos Específicos**

- Revisar los factores que intervienen en el proceso de elaboración de abono orgánico.
- Analizar los dispositivos electrónicos adecuados para el proceso de elaboración de abono orgánico.
- Diseñar un sistema de control y monitoreo electrónico del proceso de elaboración de abono orgánico.

Para el análisis de la descomposición del abono orgánico es necesario conocer cada uno de los factores que intervienen y los rangos adecuados a los que deben mantenerse para un óptimo desarrollo del compostaje, así como también se debe conocer los medios de descomposición de la materia orgánica y las afectaciones que desarrolla en el medio. Para la consecución de este objetivo se llevará acabo las siguientes actividades:

- ✓ Análisis sobre el proceso de elaboración de abono orgánico en granjas integrales.
- ✓ Análisis de los medios de digestión aeróbica y anaeróbica para la producción de abono orgánico.

- ✓ Investigación de los parámetros que influyen en el proceso de compostaje.

En el sistema electrónico presentado para los medios de descomposición de la materia orgánica se debe recopilar características técnicas relevantes sobre los diferentes dispositivos apropiados acorde al diseño electrónico propuesto y así cumplir con cada una de las funciones necesarias desarrollando las siguientes actividades:

- ✓ Determinación de las características de los componentes para el diseño del sistema electrónico.
- ✓ Selección de los diversos componentes que se utilizaran para la implementación del prototipo.

Para un correcto funcionamiento del sistema electrónico es necesario desarrollar una interfaz de control de tal manera que el usuario monitoree el comportamiento presente en el periodo de descomposición del abono orgánico a través de un servidor web para lo cual se hará uso de las siguientes actividades.

- ✓ Elaboración de un diseño Sistema de Control y Monitoreo electrónico en la elaboración de abono orgánico.
- ✓ Selección del entorno de programación para la interfaz del usuario.
- ✓ Elaboración de una interfaz de monitorización para el usuario.

## **CAPÍTULO II METODOLOGÍA**

### **Materiales**

Para la implementación del presente proyecto de investigación son necesarios los siguientes materiales: Libros, artículos científicos, revistas, tesis y todo tipo de documentos afines al tema que puedan brindar la información verídica y necesaria. Se requiere contar con una instalación adecuada como una granja integral para realizar la instalación de los sistemas electrónicos.

### **Métodos**

#### **Modalidad de la Investigación**

El objetivo de este proyecto es tomar una acción preventiva en el proceso de descomposición del abono orgánico buscando la eficiencia, productividad y calidad del mismo. Con esta finalidad se desarrollaron las siguientes modalidades de investigación

#### **Investigación Aplicada**

La investigación aplicada recopila datos científicos relevantes, el desarrollo de un sistema electrónico de control y monitorización, para el que se aplicarán los conocimientos adquiridos los diferentes módulos de la malla curricular (en especial los referidos a electrónica y automatización).

#### **Investigación experimental**

La investigación tendrá carácter experimental dado que se diseña un sistema electrónico de control y monitoreo de los procesos de descomposición del abono orgánico y de análisis de los rangos de los parámetros que intervienen en este proceso para su óptimo rendimiento.

### **Investigación de campo**

La investigación de campo al recopila la información dentro de las instalaciones de la Facultad de Agronomía campus Querochaca, haciendo uso de los componentes necesarios y también realizar la validación del sistema electrónico implementado.

### **Recolección de Información**

La información científica se lo realizo mediante una investigación bibliográfica basada principalmente en consultas de revistas técnicas, libros, artículos científicos, publicaciones en internet, en proyectos de tesis similares referidos al tema y de la guía del docente tutor para el desarrollo del prototipo. Además, para el presente trabajo se contará con testimonios e información extraída directamente de entrevistas a los involucrados.

### **Procesamiento y Análisis de Datos**

Una vez reunida la información necesaria para el presente trabajo se consideró las siguientes actividades:

- Análisis de la documentación incidiendo en puntos estratégicos sobre el tema de investigación.
- Comparación entre las tecnologías necesarias a utilizarse para tener así una adecuada selección de dispositivos.
- Determinación de la mejor alternativa para la solución del problema y generar así una propuesta de solución.

### **Desarrollo del Proyecto**

El proyecto se desarrolló de la siguiente manera:

- Análisis sobre el proceso de elaboración de abono orgánico en granjas integrales.
- Análisis de los medios de digestión aeróbica y anaeróbica para la producción de abono orgánico.
- Investigación de los parámetros que influyen en el proceso de compostaje.
- Determinación de las características de los componentes para el diseño del sistema electrónico.

- Selección de los diversos componentes que se emplearon para la implementación del prototipo.
- Elaboración de un diseño Sistema de Control y Monitoreo electrónico en la elaboración de abono orgánico.
- Selección del entorno de programación para la interfaz del usuario.
- Elaboración de una interfaz de monitorización para el usuario.
- Implementación del diseño.
- Análisis de resultados y la obtención de conclusiones del sistema en funcionamiento.
- Elaboración del informe final.

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **Introducción**

En la actualidad y a nivel mundial el suelo está en constante peligro por contaminación ambiental, e industrialización a causa su degradación por falta de nutrientes y el uso excesivo de fertilizantes, químicos. Según la FAO el 40% del suelo se encuentra en un rango de degradación moderada por erosiones, acidificación, salinización y contaminación química. Los agricultores conocen la importancia de dejar descansar la tierra tras sus cosechas, pero, en la actualidad, no lo cumplen por un excesivo laboreo. Se abusa de su productividad, por lo que el suelo se encuentra por debajo de un 2% de materia orgánica. Los estudios de la Organización Mundial para la Agricultura (FAO) indican que, aumentar un centímetro el grosor de suelo puede demorarse 1.000 años. El suelo es de vital importancia para la producción de alimentos sanos y nutritivos por lo que, para mantener su salud, es necesario que se reemplacen los nutrientes perdidos, y se mantenga en condiciones adecuadas. El uso de abono orgánico para la restauración del suelo es importante, ya que aporta cada uno de los nutrientes que necesita. El abono orgánico se compone tanto materia vegetal como animal y en su proceso de descomposición, se debe mantener el equilibrio de cada uno de los factores que intervienen en su proceso. Esta investigación se basa en el desarrollo de un sistema de control y monitoreo electrónico para la elaboración de abono orgánico y así mantener las condiciones del proceso y la calidad del producto final.

#### **Estudio de Factibilidad**

El análisis de la factibilidad en la presente investigación se detalla a continuación.

#### **Factibilidad Técnica**

Desarrollar el presente tema de investigación es viable pues se puede disponer de los elementos electrónicos, a nivel nacional e internacional, en tiendas especializadas.

### **Factibilidad Económica**

El análisis realizado determina que es factible solventar este proyecto de investigación contando con la financiación económica del propio investigador.

### **Factibilidad Bibliográfica**

El acceso telemático a información especializada facilita sobradamente el desarrollo de la investigación bibliográfica. Se podrá contar con variedad de datos relevantes extraídos de numerosas y variadas fuentes.

### **Desarrollo de la propuesta**

#### **Determinación del Área de Localización**

La implementación del sistema de control y monitoreo de abono orgánico se realizará en los altos del edificio de investigación de la Facultad de Agronomía de la Universidad Técnica de Ambato, en el sector de Querochaca. Se ha seleccionado la terraza del área de investigación, basándome en las condiciones que necesitan los medios de descomposición aerobio y anaerobio como: la factibilidad de espacio, los dispositivos de agua, de luz y un punto de acceso de conexión a internet disponible en esta área.

En la Figura 9, se observa el área seleccionada para la aplicación del sistema.



*Figura 9.* Selección del área de implementación del prototipo.

**Elaborado por:** Investigador.

En la tabla 3, se observa los parámetros óptimos del proceso en medio aerobio que se presentan en el proceso de descomposición de abono orgánico [1].

Tabla 3.- Rangos de los parámetros del proceso de descomposición en medio aerobio.

<b>Descomposición en un medio aerobio</b>				
<b>FASES</b>	<b>TEMPERATURA</b> °C	<b>HUMEDAD</b> (%)	<b>pH.</b>	<b>C.E</b>
1ra Etapa (mesófila)	40	mantenerse en torno al 50%	acidifica (5)	C.E baja menor a 1 dSm-1
2da Etapa (termófila)	60-70		amoniacado (8)	
3ra Etapa (enfriamiento)	40		amoniacado (8)	
4ta Etapa (maduración)	ambiente		neutralidad (7)	

**Elaborado por:** Investigador [1].

En la tabla 4, se observa los parámetros óptimos del proceso en medio anaerobio que se presentan en el proceso de descomposición de la materia orgánica [27].

Tabla 4.- Rangos de los parámetros del proceso de descomposición en medio anaerobio.

<b>Descomposición en un medio anaerobio</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Fases</b>	<b>Rango optimo</b>	<b>Tiempo de Fermentación</b>
<b>TEMPERATURA</b> °C	Psicrofilico	15-18	> 100 Diaz
	Mesofilico	25-35	30-60 Diaz
<b>FASES</b>	Termofilico	50-60	10-15 Diaz
<b>Gas Metano CH<sub>4</sub></b>	Metanogénica (Aparición de metano)	50-70%	Proceso Final

**Elaborado por:** Investigador [27].

## Diagrama de bloques del proceso del sistema de control y monitoreo electrónico.

En la figura 10, se muestra el proceso mediante un diagrama de bloques en donde se desarrolla el proceso que se lleva a cabo en la implementación del sistema.

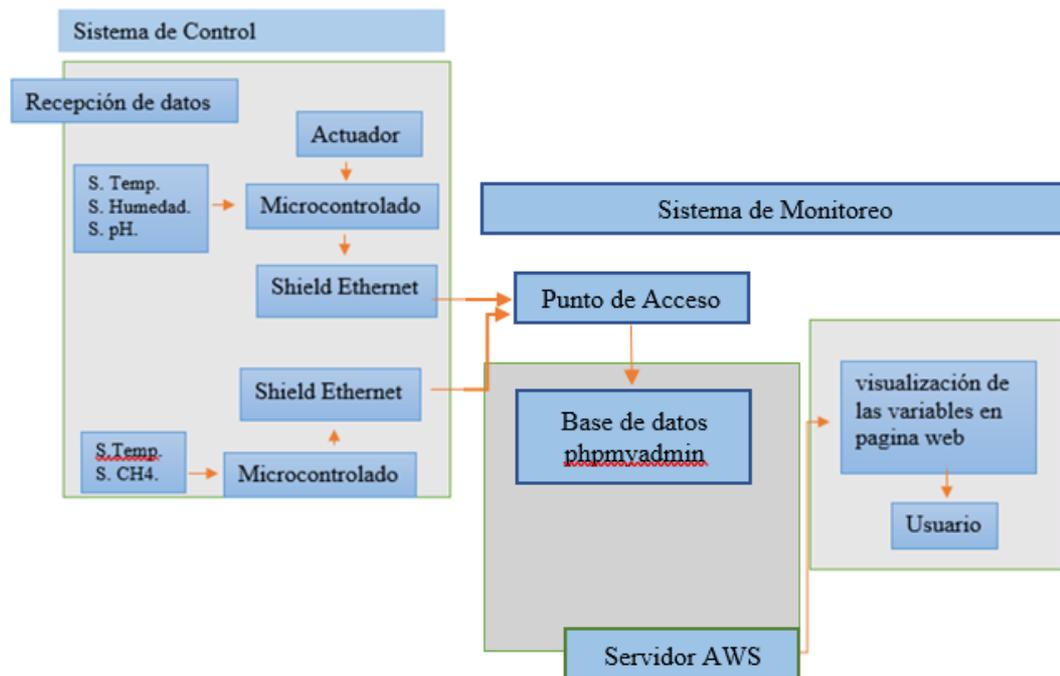


Figura 10. Diagrama de bloques del sistema de control y monitoreo electrónico.

**Elaborado por:** Investigador

La implementación del sistema de control y monitoreo se demuestra mediante un diagrama de bloques en donde se interpreta el proceso. El sistema está formado por tres etapas:

- En la primera etapa se da la recepción de datos de temperatura, humedad, pH y gas metano, que son factores que se presentan en la descomposición del abono orgánico a través de uso de sensores.
- Una vez recopilados los datos, se envían al microcontrolador, que es el encargado de procesar la información y automatizar el sistema de riego en base a los parámetros ya obtenidos, estos datos son transferidos mediante la shield ethernet hasta un punto de acceso donde se almacenaran las variables dentro de un servidor AWS.

- En la última etapa los datos almacenados se visualizan mediante una página web a los usuarios registrados en el sistema.

### **Adquisición De Datos**

La adquisición de datos se forma mediante sensores que requieren la lectura de las variables, se ajusta la señal en un nivel de voltaje, y su corriente es soportada por el microcontrolador.

Los sensores usados para el medio aerobio son:

- pH para detectar la acidez del suelo
- Temperatura para determinar los cambios en cada etapa del proceso.
- Humedad para poder controlar según, su rango óptimo, el proceso.

Los sensores para un medio anaerobio son:

- Temperatura para llevar un control de los cambios en el proceso
- Sensor de gas metano para detectar su presencia en el proceso de descomposición de abono orgánico.

Para obtener los valores de los parámetros de temperatura, humedad y gas metano se desarrolla códigos programados en software Arduino IDE, en el cual cada nodo sensor proporcionara la transmisión de datos hacia su servidor.

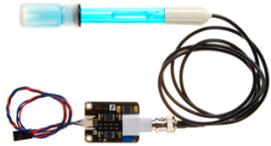
### **Análisis de sensor para un medio Aerobio.**

Para la obtención de los datos de los parámetros de temperatura, pH y humedad que intervienen en el proceso de descomposición en un medio aerobio, es necesario analizar los siguientes dispositivos electrónicos.

## Sensor de pH

El sensor de pH se emplea para la medición y monitoreo de acidez de la disolución de la materia orgánica mediante el proceso de descomposición, la tabla 5, muestra la revisión de dos sensores de humedad.

Tabla 5.- Análisis de sensor de pH SEN-0161 y sensor pH-4502C

Parámetros técnicos	SEN-0161	PH-4502C
		
Voltaje de alimentación	5V	5V
Corriente	5-10 mA	5-10 mA
Consumo	$\leq 0.5$ W	$\leq 0.5$ W
Punto cero	$7 \pm 0.5$ pH	$7X \pm 0.5$
Rango de temperatura	0-60 °C	0-60 °C
Tiempo de respuesta.	$\leq 1$ min	$\leq 2$ min
Rango de concentración detectable	0 - 14 pH	0 - 14 pH
Precisión	$\pm 0.1$ pH (25°C)	$\pm 0.1$ pH (25 °C)
Ajuste de Ganancia	potenciómetro	Ninguno
Costo	\$ 65.00	\$ 50 .00

**Elaborado por :** Investigador, en base a [43], [44].

Para la medición de pH se hace uso de un sensor de pH-4502C que refleja su nivel de alcalinidad y acidez de 0-14 pH, realiza toma de medidas constantemente dando respuesta en un lapso de 2 minuto, además dispone de un potenciómetro de calibración, se conecta a un microcontrolador mediante la interfaz PH2.O (salidas del módulo) mediante un conector BNC.



## Sensor de humedad

El sensor de humedad es usado para controlar la cantidad de agua presente en el compost, si es la necesaria para que se realice un proceso óptimo de descomposición. En la tabla 7, se hace un análisis entre los diferentes sensores de humedad para su adquisición.

Tabla 7.- Revisión de tipos de sensores de humedad.

Parámetros técnicos	Moisture sensor v 1.2	ECH20 EC-5	YL-69
			
Tipos	Capacitivo	Capacitivo	Resistivo
Tensión de Funcionamiento	3.3 ~ 5.5 VDC	2,5 – 3,6 VDC	3.3 V – 5.0 V
Resistencia del material	anticorrosión	anticorrosión	corrosión
Tensión de Salida:	0 ~ 3.0 V	2.5 - 3.6 V	0 – 4.2 V
Corriente de Operación	5mA	10mA	35 mA
Interfaz	Interfaz: PH2.0-3P.	Ninguna	Ninguno
Consumo energético	bajo	bajo	bajo
Estabilidad de lectura	Estable	Estable	Inestable
Capacidad de volumen	1 litro	1 litro	1 litro
Costo	\$ 6.00	\$ 30.00	\$ 3.00

Elaborado por : Investigador, en base a [47], [48], [49].

Se aplicará el sensor capacitive moisture sensor de suelos v1.2 ya que es aplicable en el área de agricultura, presenta estabilidad en la toma de datos en tiempo real, el

consumo energético es bajo por lo cual representa un bajo consumo de corriente de 5mA Además, está fabricado por un material anticorrosivo lo cual beneficia su aplicación.

### Electroválvula

Para mantener el control de la humedad se usa una electroválvula solenoide tipo abierto/cerrado de 12 V. Esta se accionará en caso de que el compost así lo requiera, controlando el paso del agua y manteniendo los porcentajes de humedad requeridos en el sistema.

En la tabla 8, se observa las características técnicas a detalle.

*Tabla 8.- Características de una electroválvula.*

<b>Especificaciones Técnicas</b>	
	
Voltaje de operación	12V, 24 V, 220V
Corriente de operación	0.6A
Potencia consumo	8W
Temperatura de funcionamiento	5°C a 100°C
Presión de funcionamiento mín.	0.02 MPa (0.2 Bar = 2.04 mca)
Tiempo de respuesta (apertura)	$\leq 0.15$ s
Tiempo de respuesta (cerrado):	$\leq 0.3$ s
Fluido de uso	Agua
Vida Útil	50 millones de ciclos
Dimensiones	60*85*26mm

**Elaborado por :** Investigador, en base a [50].

Para un sistema anaerobio se hace uso de válvula solenoide eléctrica Micro N/C de 12V que permitirá salir el gas metano  $CH_4$ , En la tabla 9, se observa las características técnicas a detalle.

*Tabla 9. Válvula solenoide eléctrica Micro N/C.*

<b>Especificaciones Técnicas</b>	
 <p style="text-align: center;">12.0V</p>	
Voltaje de operación	6V, 12V, 24V DC
Corriente de operación	<280mA      <160mA <100mA
Potencia consumo	<3W
Temperatura de funcionamiento	0 °C ~ 55 °C
Presión de funcionamiento mín.	0-450mmhg
Tiempo de respuesta (apertura)	$\leq 0.10$ s
Tiempo de respuesta (cerrado):	$\leq 0.5$ s
Fluido de uso	Agua/aire
Vida útil	500 CC

**Elaborado por :** Investigador, en base a [50].

### **Análisis de sensor para un medio anaerobio.**

Para la obtención de los niveles de temperatura, humedad y gas metano ( $CH_4$ ), que muestra los parámetros en un medio anaerobio, es necesario seleccionar los siguientes dispositivos electrónicos:

## Sensor Temperatura

Se realiza un análisis técnico entre 3 sensores como sensor de temperatura, humedad y presión BME280, sensor de humedad, temperatura, presión y gas BME680 y un sensor Dht22 como se muestra en la tabla 10.

*Tabla 10.- Comparación de los sensores de humedad y temperatura.*

Parámetros técnicos	Bme280	Bmp680	Dht22
			
Voltaje de operación	1.71V - 3.6V	1.71V - 3.6V	3,3V a 6v
Interfaz de Comunicación	I2C o SPI (3.3V)	I2C o SPI (3.3V)	No
Frecuencia de muestreo	157 Hz (MAX)	157 Hz (MAX)	2 Hz
Tecnología	BOSH	BOSH	Condensador de polímero
Consumo en el modo de espera	0.2 uA - 0.5 uA	0.2 uA - 0.5 uA	No
RoHS compliant, halogen-free.	Si	Si	No
Rango de Temperatura	-40°C a 85°C	-40°C a 85°C	-40°C a 80 °C
Rango de Humedad	0...100 % R.H.	0...100 % R.H.	0 a 100% RH
Rango de presión de aire	300 a 1100 hPa	300 a 1100 hPa	No
detección de gas	No	Si	No
Consumo de energía	bajo	bajo	bajo
Costo	\$ 7.99	\$ 35.00	\$ 4.00

**Elaborado por :** Investigador, en base a [51], [52], [53].

Para obtener el nivel de temperatura en medio de descomposición anaerobio, se utiliza un sensor de BME280 ya que conforma en un solo dispositivo sensores de humedad, temperatura y presión atmosférica. además, tiene una alta precisión, así como una estabilidad a largo plazo también es muy pequeño y de bajo consumo energético ideal para el sistema.

### Sensor Gas Metano

En relación con el gas metano se analizan los parámetros técnicos de los siguientes sensores, como se visualiza en la tabla 11.

*Tabla 11.- Sensor MQ-4 vs Sensor MQ-2.*

Parámetros técnicos	MQ-4	MQ-2
		
Uso	Comercial	Comercial
Tipo de gas	Gas metano, Gas Natural	Gas Metano, monóxido de carbono, y humo.
alimentación	5V	5 V
Corriente de operación	150 mA	150 mA
Consumo de potencia	0,9 W	0,8 W
Temperatura de operación	-10 a 50 °C	-20 °C a 55 °C
humedad	≤95% RH	≤ 95% RH
Rango de medición	300 a 10000ppm	300 a 10000 ppm
Confiabledad	95%	90%
Tiempo de respuesta	<10 segundos	< 10 segundos
Costo	\$ 4.50	\$ 10.00

**Elaborado por :** Investigador, en base a [54], [55].

Para la medición de gas metano del proceso de digestión anaeróbica, se toman en cuenta las características del sensor MQ-4 ya que este sensor mide la concentración de

gas metano y gas natural; este sensor es de alta sensibilidad al metano  $CH_4$ , da respuestas rápidas, es muy estable y es un circuito de accionamiento simple. Es un sensor de larga vida útil, de gran resistencia, adecuado para usarlo en el sistema.

### Análisis de las placas controladoras

En la tabla 12, se puede observar un análisis comparativo de los parámetros técnicos de dos placas de Arduino para la adquisición de los datos.

Tabla 12.- Arduino Mega 2560 vs Arduino Uno.

Parámetros técnicos	Arduino Mega 2560	Arduino UNO
		
Tensión de funcionamiento	5V	5V
Voltaje de entrada	7-12V	7-12V
Voltaje de salida	6-20V	6 -20 V
Corriente DC por pin I/O	40 mA	20 mA
Microcontrolador	Tmega2560	Atmega 328
Pines digitales I/O	54 (de los cuales 15 proveen salida PWM).	22(6 pines para PWM)
Pines de entrada analógicos	8	6
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz
Memoria flash	256 KB (8KB usados por el bootloader)	32 KB de los cuales 0.5 KB es usado para bootloader.
SRAM	8KB	2KB
EEPROM	4KB	1KB
Costo	\$ 20.00	\$12.00

**Elaborado por :** Investigador, en base a, [56], [57].

El Arduino Mega 2560 será utilizado en la implementación del sistema ya que mantiene un mayor número de pines los cuales son necesarios para la conexión de

varios sensores y actuadores, además la obtención de datos es más estable, tiene mayor capacidad de memoria de 256 KB para almacenar el código y tiene una interfaz sencilla de manejar.

### Shield ethernet

La tabla 13, se observa los parámetros técnicos entre una conexión alámbrica e inalámbrica.

*Tabla 13.- conexión alámbrica vs inalámbrica.*

Parámetros técnicos	<b>Ethernet Shield</b>	<b>NodeMCU <u>ESP8266</u></b>
		
Medio de Transmisión	Alámbrico Ethernet	inalámbrico IEEE 802.11 b/g/n
alimentación	5V	3.0V – 3.6V
Confiabilidad	Buena	Buena
Estabilidad	Si	No
Microcontrolador	chip ethernet Wiznet W5100.	MCU Single-Core 32 bits
Velocidad de conexión	10/100 Mb	110 ~ 460800 bps
Protocolos	TCP, UDP, ICMP, IPv4 ARP, IGMP, PPPoE, E	SPI/I2C/I2S/UART
costo	\$11.00	\$10.00

**Elaborado por :** Investigador, en base a [58], [59].

Para prevenir pérdidas de información que puede ocasionar en la transmisión de datos provocados por perturbaciones o pérdida de conexión a internet se selecciona una conexión alámbrica hasta el punto de acceso, haciendo uso de los protocolos de un sistema de comunicación TCP/IP para el envío de datos.

## Técnica de ubicación de un sensor de humedad

Para la colocación de cada uno de los dispositivos se toma en cuenta las dimensiones a las que están expuestos del nivel del suelo, la aplicación del abono orgánico se realiza en la capa A que es la capa superior del suelo, una vez determinada la capa se hace relación a la profundidad radicular para la selección y elaboración de la caja en la que se aplicará la mezcla de compost. Además, debe tener el espacio y área necesaria para la aireación y volteo por lo que en base a estos datos se elaboran las cajas de 40x40x40 cm: un área suficiente para un proceso adecuado, pudiendo el abono orgánico mantener las condiciones adecuadas para su descomposición. En la figura 11, se visualiza a que profundidades se colocan los sensores de temperatura y humedad [49].

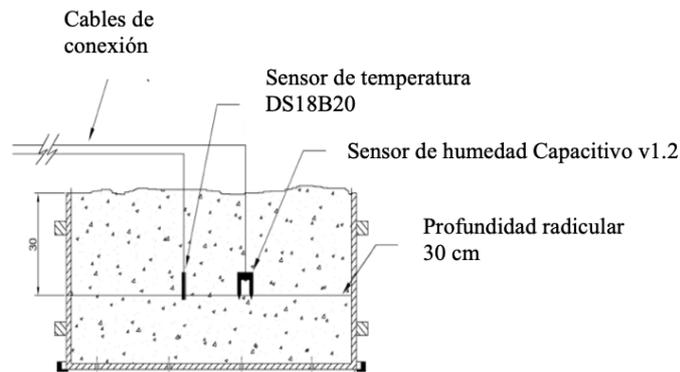


Figura 11. Ubicación de Sensores de humedad y temperatura.

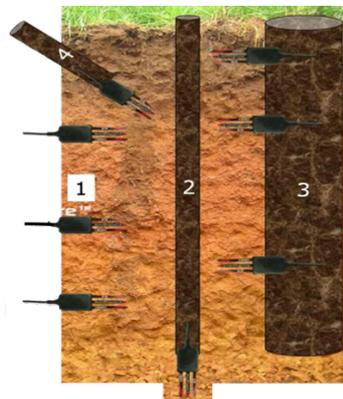
Una vez diseñada la maceta para la aplicación del compost se debe analizar la colocación de los sensores, ya que se debe mantener una ubicación en la que pueda dar una lectura real de toda el área y no únicamente de una parte de la superficie. Los sensores se entierran a diferentes profundidades con el fin de evaluar los diferentes parámetros con son: La humedad y la temperatura.

El sensor de humedad deja constancia de la toma de agua y ayudara a mantener los rangos óptimos de humedad por lo que su ubicación es esencial, la colocación del sensor es lo más importante para evitar que se genere un margen error de hasta 10% en los datos, por lo que el sensor se debe colocar en lugares representativos es decir en zonas medias del compost lo que nos permitirá monitorear de forma efectiva, además

es importantes en la instalación del sensor realizar la calibración mediante las normas de la guía técnica de fábrica.

Existen varias técnicas para realizar la instalación del sensor de humedad como se observa en la figura 12.

1. Pared vertical.
2. barrenar con el cabezal de 5cm de diámetro,
3. Barrenar con el cabezal a 10cm de diámetro pared lateral
4. barrenar con el cabezal de 5cm de diámetro y con 45°C [62].



*Figura 12.* Técnicas de instalación del sensor de humedad.

La profundidad del sensor va a ser la que se considere óptima en el proceso, tratando de centralizarlo para que, se pueda obtener un dato real de toda la mezcla de materia orgánica. La inserción del sensor se debe realizar de manera vertical, además en cualquiera de las técnicas de instalación se debe asegurar que el sensor quede completamente adherido al suelo y enterrado ya que lo más importante es el contacto entre el sensor y el suelo. Se deben respetar los límites de seguridad del sensor ya que, va a estar en contacto permanente con el suelo por lo que se debe evitar que una mala colocación pues la humedad puede afectar su funcionamiento. En la figura 13, se muestra los límites de funcionamiento del sensor, la zona segura y el límite de seguridad, hasta dónde se permite la inserción del sensor al suelo [48].

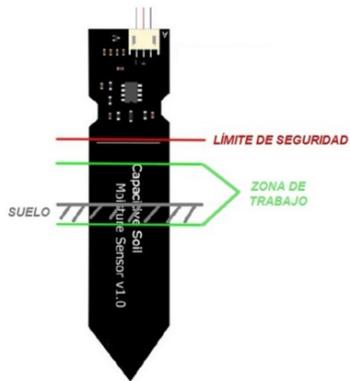


Figura 13. Límites de seguridad del sensor de humedad

En la figura 14, se muestra que el volumen en el que influye la medición del sensor de humedad es de 1 litro, en el que parece que tuviera forma de cilindro y está determinado por la forma y tamaño de las placas del condensador [62].

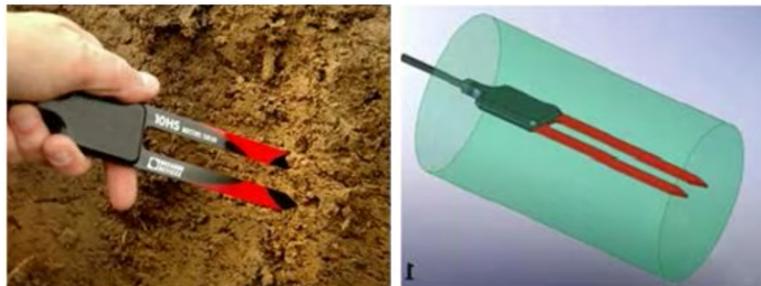


Figura 14. Medición de volumen del sensor de humedad.

La temperatura es un factor que va variando según condiciones climáticas, aireación, actividad microbiana, etc., en el proceso de descomposición aerobia se desarrollan cuatro etapas en las cuales se dan niveles óptimos a los que deben mantener el proceso de descomposición para un proceso bien elaborado, el control de este factor es bastante importante ya que nos da rangos indicadores los cuales deberán ser monitorizados por el sensor. El sensor de temperatura puede ir a la misma profundidad que el sensor de humedad en el área central de la maceta, pero con una distancia de 20 cm de dispositivo a dispositivo para que no exista inconveniente al receptor y monitorizar la información, su aplicación es de suma importancia ya que enviara datos reales del proceso con un margen mínimo de error por datos irreales, daños, y el deterioro del dispositivo.

## Diseño del sistema electrónico para un medio aerobio.

De acuerdo con la selección de sensores y tecnologías, se realiza el diseño del sistema de control y monitoreo electrónico en la elaboración de abono orgánico. Bajos los requerimientos que presenta un medio de descomposición aerobia.

Para el diseño del sistema electrónico se realizó un diseño de la planta del proceso de descomposición aerobio del abono orgánico, este se realizó en la plataforma de diseño llamada AutoCAD, este software fue detallado por una compañía estadounidense llamada Autodesk, su interfaz permite al diseñador utilizar imágenes de tipo vectorial, además de crear diseños propios en modelo de 2d y 3d.

El sistema electrónico para realizar la toma de datos de 4 composteras en las que se insertarán las muestras de la materia prima a descomponer en el medio aerobio está estructurado por un sistema de riego independiente y un sistema electrónico como se observa en la figura 15.

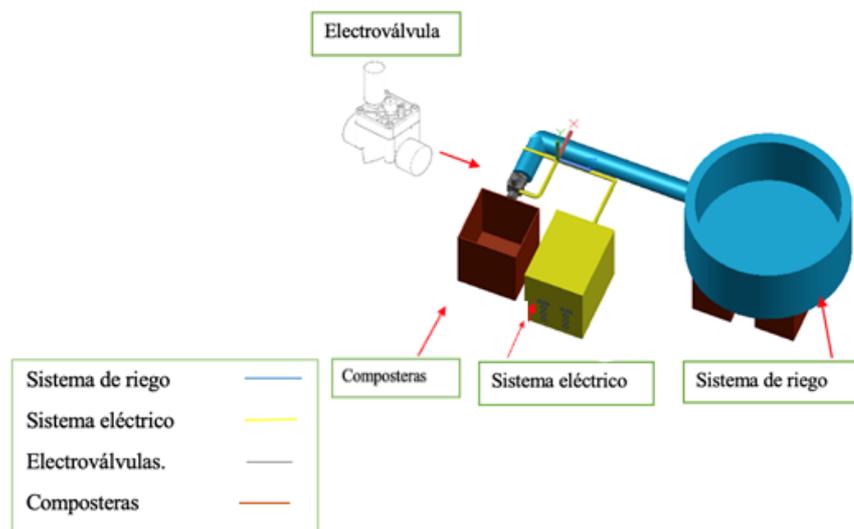


Figura 15. Diseño electrónico para un medio de descomposición aerobio.

**Elaborado por:** El investigador.

El sistema de riego está conformado por un sistema de tuberías en las que están adaptadas a sus salidas electroválvulas solenoides las cuales permitirán el paso del

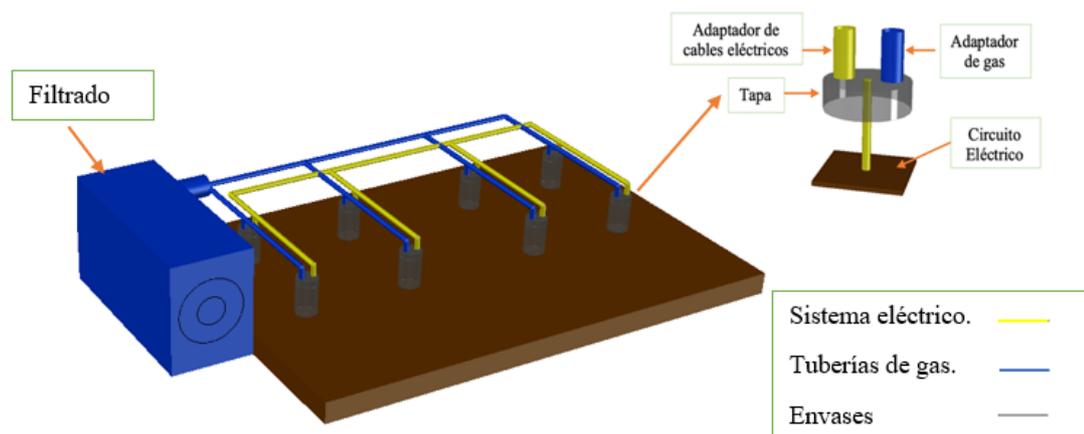
flujo del agua dentro de las composteras en las cuales se evalúan las muestras de compostaje, además, este sistema proporciona un sistema eléctrico que mediante un cableado se trasladara a un panel central el cual se conectara con el microcontrolador y posteriormente se enviara los datos hacia un punto de acceso.

### **Diseño del sistema electrónico para un medio anaerobio.**

El diseño del sistema electrónico para la descomposición anaerobia consta de un ajuste de conexiones de gas y de cableado eléctrico mediante adaptadores de cables eléctricos y adaptador de gas, además se incorporó la placa de circuito electrónico que permite realizar la medición de datos de temperatura y de gas metano presentes en el medio de descomposición anaerobia en las tapas de cada uno de los envases de vidrio.

Los envases deben mantenerse completamente sellados ya que se debe evitar el ingreso de aire al compuesto para la correcta toma de datos y que no existan perturbaciones en la formación del gas metano.

La figura 16, se puede observar el diseño electrónico para un medio anaerobio.



*Figura 16.- Diseño electrónico para un medio de descomposición anaerobio.*

**Elaborado por:** El investigador.

## Esquema de conexión medio aerobio.

El esquema electrónico está constituido por una red de sensores ubicados en la compostera. La colocación de estos sensores se lleva a cabo considerando las técnicas de inserción de los sensores de humedad y temperatura en el suelo. La compostera consta de un sensor capacitivo V1.2 y un sensor de temperatura DS18B20 que envían la lectura de datos a una placa Arduino UNO. Se ubica un tanque para el sistema de riego, en el cual se instaló un sensor de pH para controlar la acidez del agua, en caso de que la humedad no permanezca en los rangos recomendados se accionarán las electroválvulas mediante módulos relay, permitiendo el riego por goteo dentro de la compostera.

El diseño final del sistema electrónico para un medio aerobio está integrado por el esquema que se muestra en la figura 17, el tanque de agua instalado abastece a las composteras mediante el accionamiento de las electroválvulas.

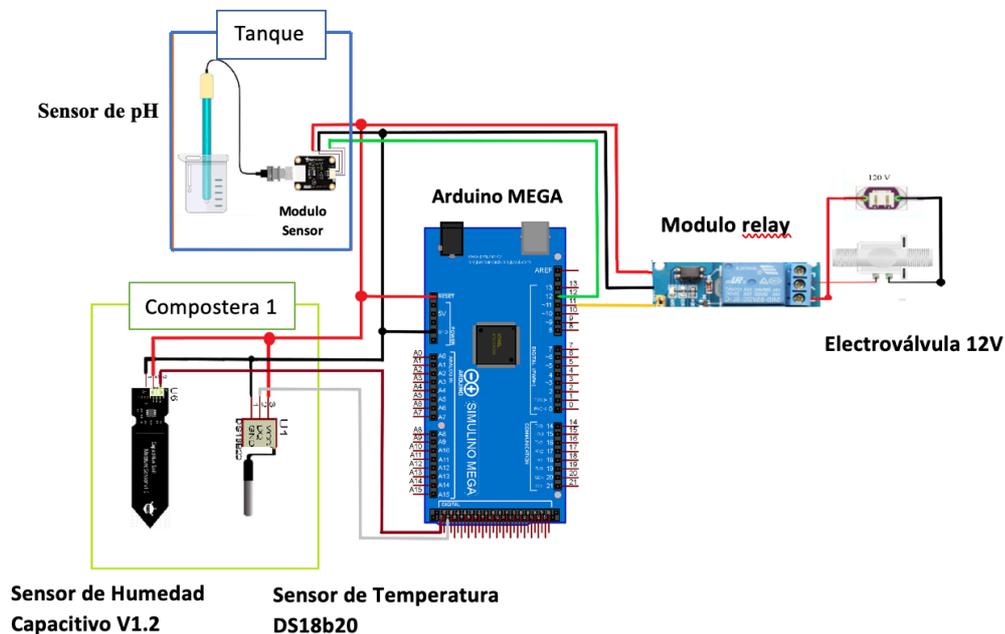


Figura 17.-Esquema electrónico en compostera 1.

Elaborado por: El investigador.

El microcontrolador se encarga de tomar la información de los sensores para el control de riego por goteo. El envío de la trama de datos se realizó mediante una shield ethernet hacia un punto de acceso para guardarlos dentro de la base de datos de un servidor AWS.

### Esquema electrónico individual

El esquema de conexión de medio anaerobio está compuesto por un circuito electrónico que consta de un sensor de gas metano MQ-4 y un sensor de temperatura, humedad y presión BME280 permitiendo la captura de datos dentro de este medio conectados a una placa Arduino mega 2560 como se muestra en la figura 18.

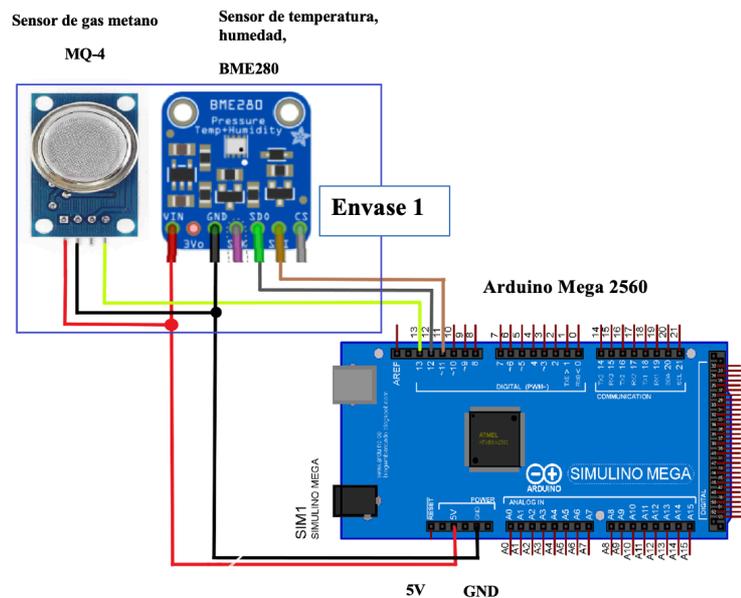


Figura 18.- Esquema electrónico en envase 1.

Elaborado por: El investigador.

### Esquema de conexión medio anaerobio.

El diseño final del sistema electrónico anaerobio está conformado por 8 envases de vidrio, cada envase está constituido en base al esquema individual de medio anaerobio. Los datos recibidos por el Arduino se transmitieron mediante una shield ethernet hacia un servidor local en donde se almacenan dichos datos.

A continuación, se observa en la figura 19 el diseño final para un medio anaerobio.

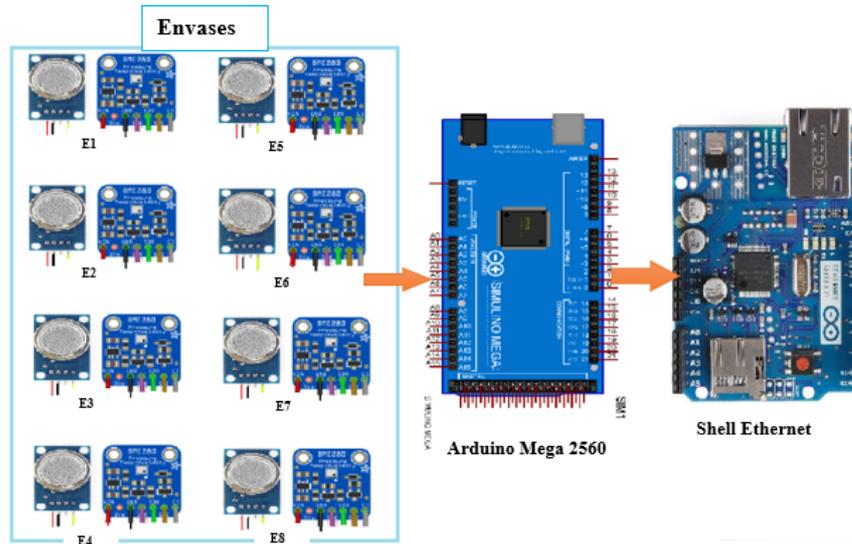


Figura 19.-Diseño final del sistema electrónico anaerobio.

**Elaborado por:** El investigador.

## Instalación del sistema operativo AWS

### Servidor AWS

El primer paso es crear una cuenta gratuita en la página oficial de AWS <https://portal.aws.amazon.com/billing/signup#/start>, la cual incluye 12 meses de acceso gratuito, en la figura 20 se observa la interfaz de registro del servidor.

Crear una cuenta de AWS

Dirección de correo electrónico

Contraseña

Confirmar contraseña

Nombre de la cuenta de AWS 

[Iniciar sesión en una cuenta de AWS existente](#)

Figura 20. Creación de un servidor AWS.

**Elaborado por:** El investigador.

Para la creación de un servidor virtual en la nube se debe ingresar a la Consola de administración de AWS y luego se selecciona la instancia Amazon EC2, la cual permite instalar y configurar el sistema operativo y las aplicaciones que se ejecutan. La figura 21, muestra el servidor virtual en la nube.

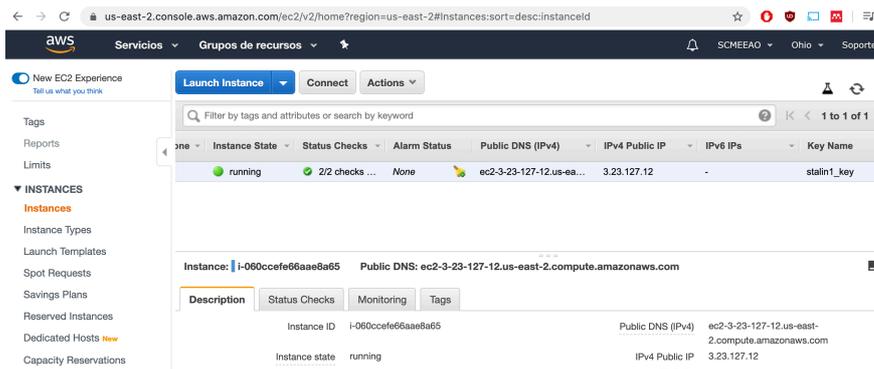


Figura 21. Servidor virtual en la nube con dirección IP 3.23.127.12

### Elaborado por: El investigador.

SecureCRT provee de una emulación de terminal sólida para Windows, Mac y Linux. Se caracteriza por la gestión avanzada de sesiones, ahorro de tiempo y optimización de tareas repetitivas, además proporciona acceso remoto seguro, transferencia de archivo y túnel de datos.

La figura 22, se visualiza la interfaz de conexión remota *SecureCRT* con el servidor.

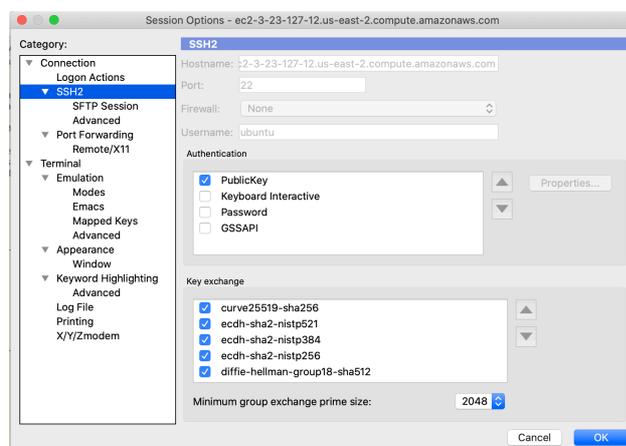


Figura 22. Inicio remoto del servidor AWS con *SecureCRT*.

## Instalación de servidor LAMP

Realizar la instalación del servidor LAMP que es un pack de software conformado por los siguientes elementos: Sistema operativo basado en GNU/Linux, un servidor web Apache, una base de datos MySQL y el lenguaje de programación PHP. Además, se instalará una interfaz de almacenamiento phpMyAdmin.

Para la instalación del servidor LAMP se requiere seguir los siguientes pasos.

- Actualizar los repositorios mediante los comandos:

- `sudo apt-get update`
- `sudo apt-get upgrade`

- instalar el servidor Apache con el comando

- `sudo apt-get install apache2`

Para verificar la correcta instalación del servidor Apache se debe insertar la dirección IP del servidor AWS en el navegador que permite visualizar la página oficial del servidor Apache. Como se observa en la figura 23.

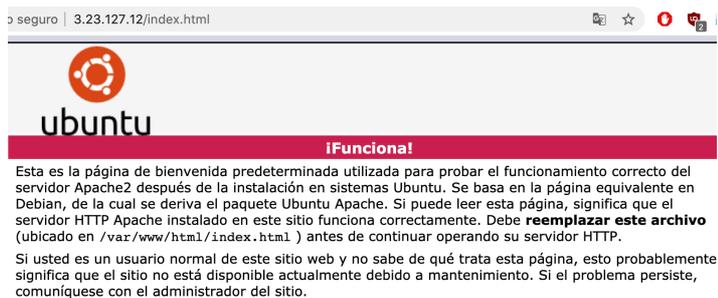


Figura 23. Página predeterminada de Apache.

**Elaborado por:** El investigador.

- instalar el lenguaje de programación PHP con el comando.

- `sudo apt install php libapache2-mod-php php-mysq sudo apt-get install php5-mysql`

Se debe insertar la dirección IP del servidor AWS seguida del nombre del archivo, en el navegador, como se observa en la figura 24.



Versión de PHP 7.2.24-0ubuntu0.18.04.4	
Sistema	Linux ip-172-31-47-40 4.15.0-1065-aws # 69-Ubuntu SMP jue 26 de marzo 02:17:29 UTC 2020 x86_64
La fecha de construcción	8 de abril de 2020 15:45:57
API del servidor	Apache 2.0 Handler
Soporte de directorio virtual	desactivado
Ruta del archivo de configuración (php.ini)	/etc/php/7.2/apache2
Archivo de configuración cargado	/etc/php/7.2/apache2/php.ini
Escaneo este directorio en busca de archivos .ini adicionales	/etc/php/7.2/apache2/conf.d
Archivos .ini adicionales analizados	/etc/php/7.2/apache2/conf.d/10-mysqld.ini, /etc/php/7.2/apache2/conf.d/10-opcache.ini, /etc/php/7.2/apache2/conf.d/10-pdo.ini, /etc/php/7.2/apache2/conf.d/15-xml.ini, /etc/php/7.2/apache2/conf.d/20-bz2.ini, /etc / php / 7.2 / apache2 / conf.d / 20-calendar.ini, /etc/php/7.2/apache2/conf.d/20-ctype.ini

Figura 24. Información de la versión de PHP utilizada.

**Elaborado por:** El investigador

- A continuación, se realiza la instalación del servidor de gestión de base de datos MySQL/MariaDB

- `sudo apt install mariadb-server`
- `sudo mysql_secure_installation`
- `systemctl status mysql.service`

Comprobar la instalación de MySQL mediante el comando “`sudo mysql -u stalin -p -h localhost`” el cual dirige a la consola de MariaDB como se muestra en la figura 25.

```
ubuntu@ip-172-31-47-40:~$ sudo mysql -u stalin -p -h localhost
Enter password:
Welcome to the MySQL monitor.  Commands end with ; or \g.
Your MySQL connection id is 7852
Server version: 5.7.30-0ubuntu0.18.04.1 (Ubuntu)

Copyright (c) 2000, 2020, Oracle and/or its affiliates. All rights reserved.

Oracle is a registered trademark of Oracle Corporation and/or its
affiliates. Other names may be trademarks of their respective
owners.

Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the current input statement.

mysql>
```

Figura 25. Consola MariaDB.

**Elaborado por:** El investigador.

A continuación, se debe crear un nuevo usuario llamado “Stalin” con su contraseña “compostaje” otorgando los permisos al nuevo usuario en las siguientes líneas de código.

- *CREATE USER 'Stalin'@'localhost' IDENTIFIED BY 'compostaje';*
- *GRANT ALL PRIVILEGES ON \*.\* TO 'stalin'@'localhost'*

- Instalación de PhpMyadmin

En la instalación del administrador de bases de datos PhpMyadmin se ingresa los siguientes comandos en la consola:

- *sudo apt install phpmyadmin php-mbstring php-gettext*

Se selecciona el servidor Apache y al aceptar se visualiza una ventana para la creación de una base de datos,

Para la verificación de PhpMyadmin se ingresa en el navegador la dirección IP del servidor AWS, seguido de PhpMyadmin, quedando así:

<http://3.23.127.12/phpmyadmin/index.php>

Finalmente, se visualiza la página predeterminada de PhpMyadmin como se observa en la figura 26.

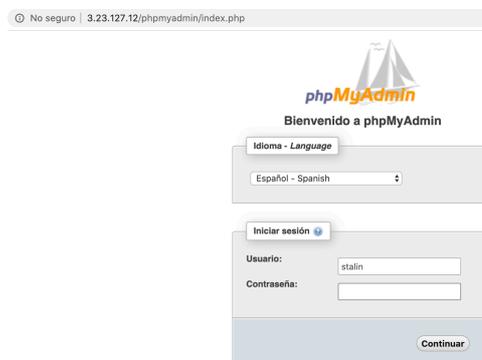


Figura 26. Página de ingreso de PhpMyadmin.

**Elaborado por:** El investigador.

## Creación de una base de datos.

Para almacenar los datos obtenidos mediante la sensorización del sistema se creó una base de datos llamada 'compostaje', como se muestra a continuación en la figura 27.

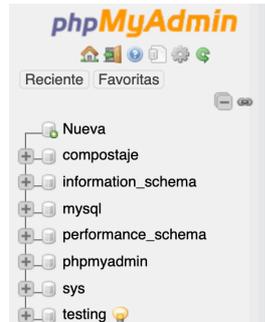


Figura 27. Base de datos compostaje

**Elaborado por:** El investigador.

Dentro de la base de datos 'compostaje', se crearon 9 tablas como se muestran a continuación:

Se etiquetan con el nombre de prototipo 1,2,3,4,5,6,7 y 8 para cada envase del sistema anaerobio y para el sistema aerobio se le denomina en el nombre de prototipoA, como se observa en la figura 28.

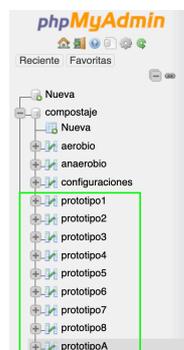


Figura 28. Tablas contenidas en base de datos compostaje

**Elaborado por:** El investigador.

La tabla ‘Prototipo 1’ es la encargada de almacenar los datos recolectados por todos los sensores que intervienen el proceso anaerobio como son la temperatura, la humedad, presión, altitud y gas metano. Además de que las tablas de los ‘prototipo 2,3,4,5,6,7,8’ almacenaran los datos de los mismos parámetros que contiene el ‘prototipo 1’

A continuación, se llenó la tabla ‘prototipo 1’ con los siguientes parámetros mostrados en la figura 29.



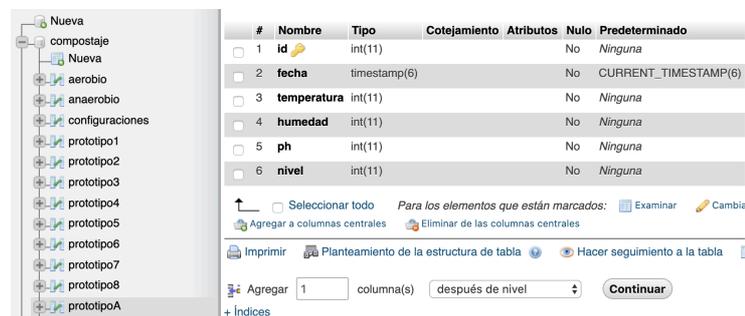
#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado
1	id	int(11)			No	Ninguna
2	fecha	timestamp(6)			No	CURRENT_TIMESTAMP(6)
3	temperatura	int(11)			No	Ninguna
4	humedad	int(11)			No	Ninguna
5	presion	int(11)			No	Ninguna
6	altitud	int(11)			No	Ninguna
7	gas	int(11)			No	Ninguna

Figura 29. Parámetros para prototipo 1.

**Elaborado por:** El investigador.

La tabla ‘PrototipoA’ es la encargada de almacenar los datos recolectados por todos los sensores que intervienen el proceso aerobio como son la temperatura, la humedad, pH y los niveles del tanque.

La figura 30, muestra las variables a almacenarse en la tabla ‘prototipoA’:



#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado
1	id	int(11)			No	Ninguna
2	fecha	timestamp(6)			No	CURRENT_TIMESTAMP(6)
3	temperatura	int(11)			No	Ninguna
4	humedad	int(11)			No	Ninguna
5	ph	int(11)			No	Ninguna
6	nivel	int(11)			No	Ninguna

Figura 30. Parámetros para prototipoA

**Elaborado por:** El investigador.

En la figura 31, se visualiza la tabla ‘aerobio’ que es la encargada de almacenar los datos de las fases que se presentan durante este proceso y adecuarlos a los rangos óptimos establecidos para este medio de descomposición.

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado
1	id	int(11)			No	Ninguna
2	fecha	timestamp(6)			No	CURRENT_TIMESTAMP(6)
3	aeMinTemp1	int(11)			No	Ninguna
4	aeMaxTemp1	int(11)			No	Ninguna
5	aeHum1	int(11)			No	Ninguna
6	aePH1	int(11)			No	Ninguna
7	aeMinTemp2	int(11)			No	Ninguna
8	aeMaxTemp2	int(11)			No	Ninguna
9	aeHum2	int(11)			No	Ninguna
10	aePH2	int(11)			No	Ninguna
11	aeMinTemp3	int(11)			No	Ninguna
12	aeMaxTemp3	int(11)			No	Ninguna
13	aeHum3	int(11)			No	Ninguna
14	aePH3	int(11)			No	Ninguna
15	aeMinTemp4	int(11)			No	Ninguna
16	aeMaxTemp4	int(11)			No	Ninguna
17	aeHum4	int(11)			No	Ninguna
18	aePH4	int(11)			No	Ninguna

Figura 31. Parámetros adecuados para el medio de descomposición aerobio.

**Elaborado por:** El investigador.

En la figura 32, se visualiza la tabla ‘anaerobio’ donde se almacenan los datos de las fases que se presentan durante este proceso y los adecua a rangos óptimos establecidos para este medio de descomposición.

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado
1	id	int(11)			No	Ninguna
2	fecha	timestamp(6)			No	CURRENT_TIMESTAMP(6)
3	anMinTemp1	int(11)			No	Ninguna
4	anMaxTemp1	int(11)			No	Ninguna
5	anMinTemp2	int(11)			No	Ninguna
6	anMaxTemp2	int(11)			No	Ninguna
7	anMinTemp3	int(11)			No	Ninguna
8	anMaxTemp3	int(11)			No	Ninguna
9	anMinGas4	int(11)			No	Ninguna
10	anMaxGas4	int(11)			No	Ninguna

Figura 32. Parámetros adecuados para el medio de descomposición anaerobio.

**Elaborado por:** El investigador.

En la figura 33, se visualiza la tabla ‘configuraciones’ que es la encargada de almacenar los datos de tiempos de muestreo y la cantidad de datos para las representaciones gráficas en tiempo real, también se añaden parámetros de alertas de

valores mínimos y máximos de los parámetros presentes en cada proceso de descomposición del abono orgánico.

#	Nombre	Tipo	Colejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado
1	id	int(11)			No	Ninguna
2	fecha	timestamp(6)			No	CURRENT_TIMESTAMP(6)
3	muestreo	varchar(20)	utf8_general_ci		No	Ninguna
4	cantidadMuestreo	int(11)			No	Ninguna
5	aeMinTempAlert	int(11)			No	Ninguna
6	aeMaxTempAlert	int(11)			No	Ninguna
7	aeMinHumAlert	int(11)			No	Ninguna
8	aeMaxHumAlert	int(11)			No	Ninguna
9	aeMinPHAlert	int(11)			No	Ninguna
10	aeMaxPHAlert	int(11)			No	Ninguna
11	anMinTempAlert	int(11)			No	Ninguna
12	anMaxTempAlert	int(11)			No	Ninguna
13	anMinHumAlert	int(11)			No	Ninguna
14	anMaxHumAlert	int(11)			No	Ninguna
15	anMinPresAlert	int(11)			No	Ninguna
16	anMaxPresAlert	int(11)			No	Ninguna
17	anMinGasAlert	int(11)			No	Ninguna
18	anMaxGasAlert	int(11)			No	Ninguna

Figura 33. Parámetros para la configuración de alertas.

**Elaborado por:** El investigador.

### Desarrollo de interfaz Web.

Para el desarrollo del sitio web se hizo uso de plantillas Bootstrap que es un framework de CSS, html y javaScript con el fin de obtener un sitio web adaptable a cualquier dispositivo de manera sencilla.

- Se ingresa a la siguiente dirección <https://getbootstrap.com/docs/4.0/getting-started/download/> y se descarga un archivo 'bootstrap.rar'
- Se inicia conexión remota con secureCRT y se direcciona a la siguiente ruta `sudo /var/www/html/compostaje`
- Se descomprime el archivo bootstrap.rar dentro de la carpeta 'compostaje' en la cual se encuentran Paquetes CSS y Complementos JavaScript, como se observa en la figura 34,

```
ubuntu@ip-172-31-47-40: /var/www/html/compostaje$ ls
404.html bootstrap.rar charts1.html data1.php index.html login.html register.html
LICENSE buttons.html configs.php forgot-password.html index.php login.php reporteAe.php
README.md cards.html css gulpfile.js js package-lock.json reporteAn.php
blank.html charts.html data.php img license package.json scss
ubuntu@ip-172-31-47-40: /var/www/html/compostaje$
```

Figura 34. Dirección de ubicación de plantillas bootstrap.rar

Elaborado por: El investigador.

- Se utilizo el programa ‘Visual Studio Code’ para facilitar la edición de las plantillas.

A continuación, la figura 35 muestra la página de inicio del sitio web, para el ingreso se debe de registrar el usuario y la contraseña.

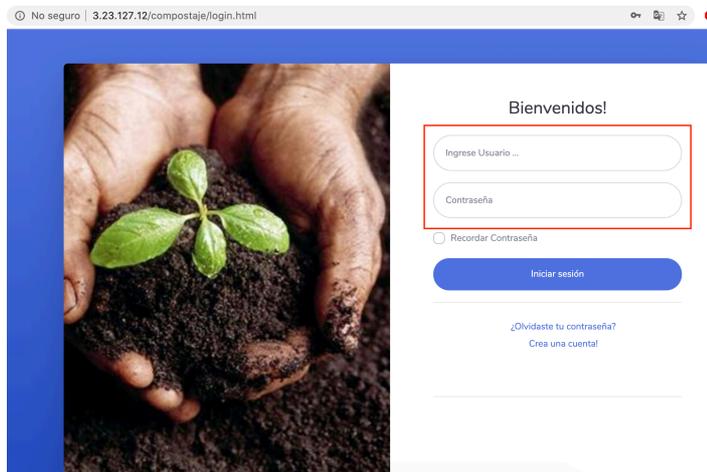


Figura 35. Pantalla de inicio del sistema.

Elaborado por: El investigador.

Al ingresar al sitio web se encuentra la pantalla de menú principal, en la parte lateral izquierda también se visualiza las opciones que se deseen seleccionar. Como primera opción está el resumen en cual se muestra la información de los parámetros que intervienen en cada medio del sistema aerobio y anaerobio. La figura 36, muestra la ubicación del menú principal.

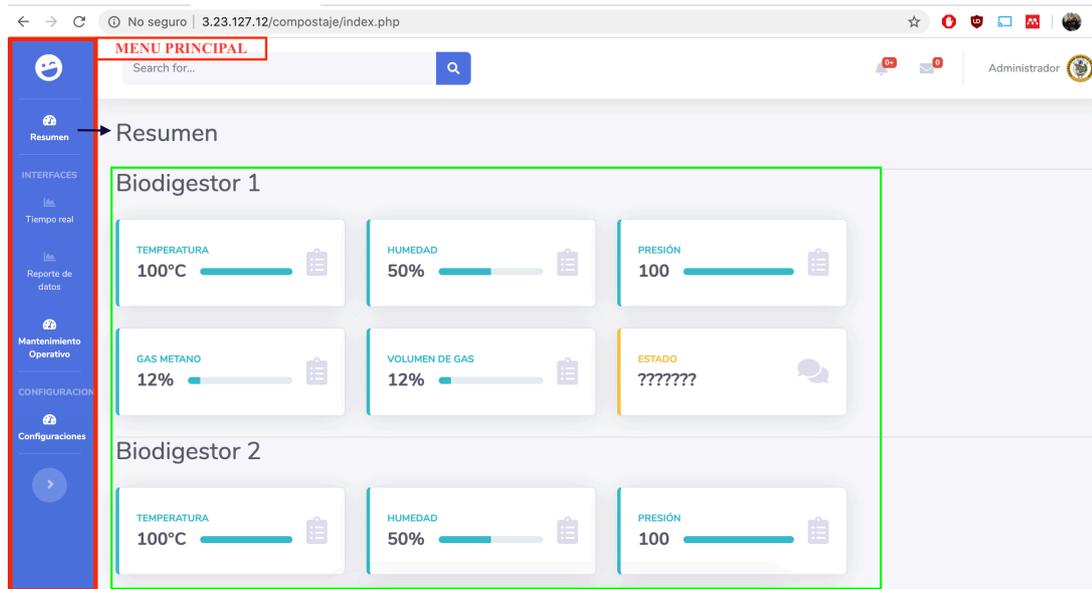


Figura 36. Menú principal.

Elaborado por: El investigador.

Como se observa en la figura 37, la segunda opción se encuentra el ‘tiempo real’ en la cual se debe elegir el medio que se desee visualizar aerobio o anaerobio, una vez elegido se selecciona el biodigestor que se desea analizar e inmediatamente se visualiza el comportamiento grafico de cada parámetro de los datos sensados para cada uno de los biodigestores y la compostera,

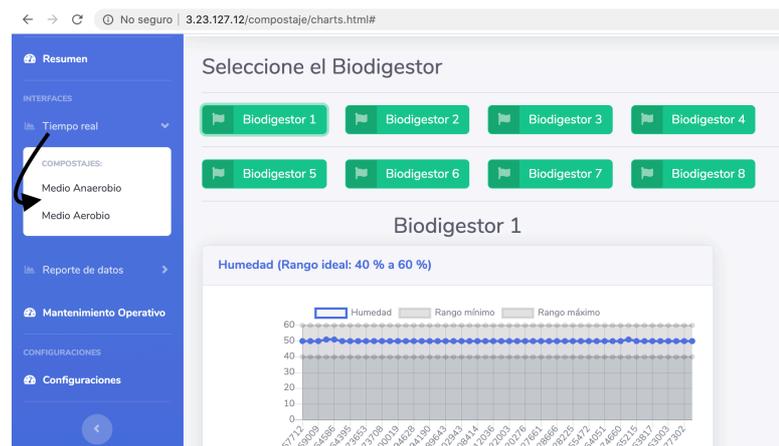


Figura 37 . Menú de las gráficas en tiempo real.

Elaborado por: El investigador.

La figura 38, muestra la opción ‘reporte de datos’, inicialmente se selecciona el medio anaerobio o aerobio, y se procede a establecer el intervalo de tiempo de los datos del proceso que se requiere visualizar, además, se selecciona las fechas de inicio y de finalización de la toma de datos que se desea consultar del comportamiento de los parámetros que intervienen en estos medios de descomposición.

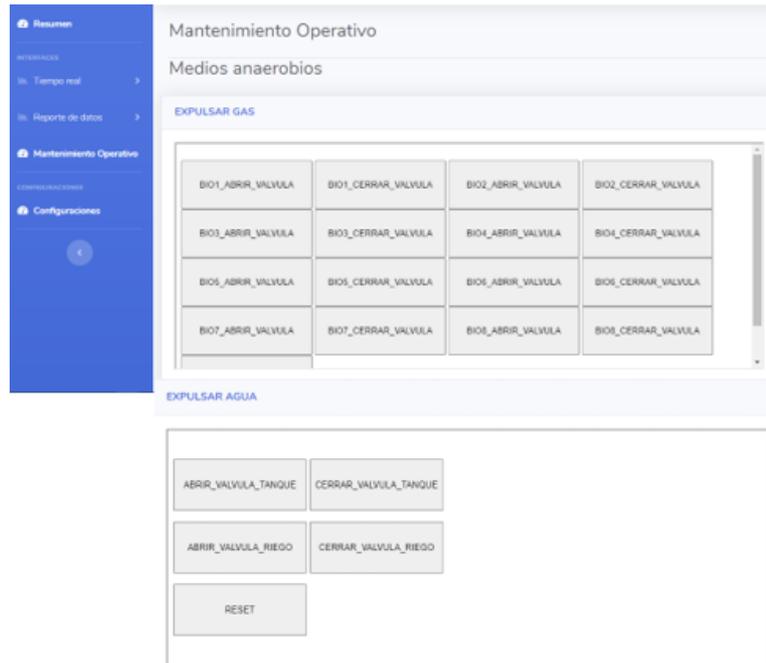


The image shows a software interface with a blue sidebar on the left and a white main content area on the right. The sidebar contains the following menu items: 'Resumen', 'INTERFACES' (with sub-items 'Tiempo real' and 'Reporte de datos'), 'Mantenimiento Operativo', and 'CONFIGURACIONES' (with sub-item 'Configuraciones'). The 'Reporte de datos' option is highlighted. The main content area contains the following fields: 'Tiempo de muestreo:' with a dropdown menu showing '5segundos'; 'Biodigestor:' with a dropdown menu showing '1'; 'Fecha de Inicio' with a text input field containing 'dd/mm/aaaa'; 'Fecha de Fin' with a text input field containing 'dd/mm/aaaa'; and a green button labeled 'CONSULTAR'.

*Figura 38.* Menú reporte de datos.

**Elaborado por:** El investigador.

En la opción ‘Mantenimiento Operativo’ como se visualiza en la figura 39, incluye una página html que contiene dos interfaces que permiten controlar los estados de abrir y cerrar las válvulas solenoides para expulsar gas y expulsar agua.



*Figura 39. Interfaz de mantenimiento operativo.*

**Elaborado por:** El investigador.

Como última opción esta la ‘configuración’ del sistema para parámetros y visualización de Gráficas en donde se pueden realizar los cambios requeridos por el administrador de la cuenta. En la primera sección como se muestra en la figura 40, se puede modificar el tiempo real de toma de datos, es decir el intervalo de tiempo en el que se requiere guardar los datos, además de la cantidad de datos que se deseen conservar.



*Figura 40. Menú de configuración.*

**Elaborado por:** El investigador.

En la segunda sección como se muestra en la figura 41, se encuentra la configuración para el compostaje en medio aerobio, e se deben de ingresar los intervalos máximos y mínimos de cada parámetro considerando los valores adecuados para cada fase ya mencionados en la tabla 3.

Fase	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Humedad (%)	PH (ph)
Configuraciones Fase 1 (Mesófila)	0	59	50	5
Configuraciones Fase 2 (Termófila)	60	75	50	8
Configuraciones Fase 3 (Enfriamiento)	40	59	50	8
Configuraciones Fase 4 (Maduración)	0	39	50	7

Figura 41. Configuración de las fases en el medio aerobio.

**Elaborado por:** El investigador.

En la tercera sección se encuentra la configuración para el compostaje en medio anaerobio, se puede modificar los intervalos de cada parámetro considerando los valores adecuados para cada fase ya mencionados en la tabla 4. En la figura 42 se muestra la configuración de las fases.

Configuraciones Fase 1 (Psicrofílico)	Configuraciones Fase 2 (Mesofílico)	Configuraciones Fase 3 (Termofílico)	Configuraciones Fase 4 (Metanogénica - Aparición de gas metano)
Temperatura Mínima (°C): 0	Temperatura Mínima (°C): 25	Temperatura Mínima (°C): 50	Porcentaje de gas Mínimo (%): 50
Temperatura Máxima (°C): 24	Temperatura Máxima (°C): 49	Temperatura Máxima (°C): 60	Porcentaje de gas Máximo (%): 70

Figura 42. Configuración de las fases en el medio anaerobio.

**Elaborado por:** El investigador.

En la cuarta y última sección se encuentra la configuración para las alertas de cada medio, cada fase del proceso de compostaje tiene ciertas alteraciones que lo pueden perjudicar, por lo tanto, en esta sección se plantean los parámetros inadecuados de cada medio aerobio y anaerobio, la figura 43 permite visualizar las configuraciones de alertas para generar notificaciones.

The image shows two side-by-side configuration panels for alerts. The left panel is titled 'Configuraciones para alertas Medio Aerobio' and the right panel is titled 'Configuraciones para alertas Medio Anaerobio'. Both panels have a light blue header and a white body with a green border. Each panel contains four sections: 'Rango óptimo de temperatura' with minimum and maximum temperature inputs; 'Rango óptimo de humedad' with minimum and maximum humidity percentage inputs; 'Rango óptimo de PH' with minimum and maximum pH inputs; and 'Rango óptimo de Gas Metano' with minimum and maximum gas percentage inputs.

Parámetro	Medio Aerobio	Medio Anaerobio
Temperatura Mínima (°C)	35	30
Temperatura Máxima (°C)	70	60
Porcentaje de humedad Mínimo (%)	45	40
Porcentaje de humedad Máximo (%)	60	60
Ph Mínimo (ph)	4	-
Ph Máximo (ph)	8	-
Presión Mínimo	-	50
Presión Máximo	-	70
Porcentaje de gas Mínimo (%)	-	50
Porcentaje de gas Máximo (%)	-	70

Figura 43. Configuración de alerta y notificaciones para medios aerobio y anaerobio.

**Elaborado por:** El investigador.

### **Elaboración de la placa de circuito impreso**

Para la elaboración de las placas de circuitos impresos del sistema aeróbico se acondicionó una placa que se insertará en un microcontrolador Arduino Mega 2560 la cual sustituirá el cableado eléctrico con el fin de reducir el tamaño del dispositivo.

Se utilizó del programa Proteus 8 professional para el diseño de la placa, como se observa en la figura 44.

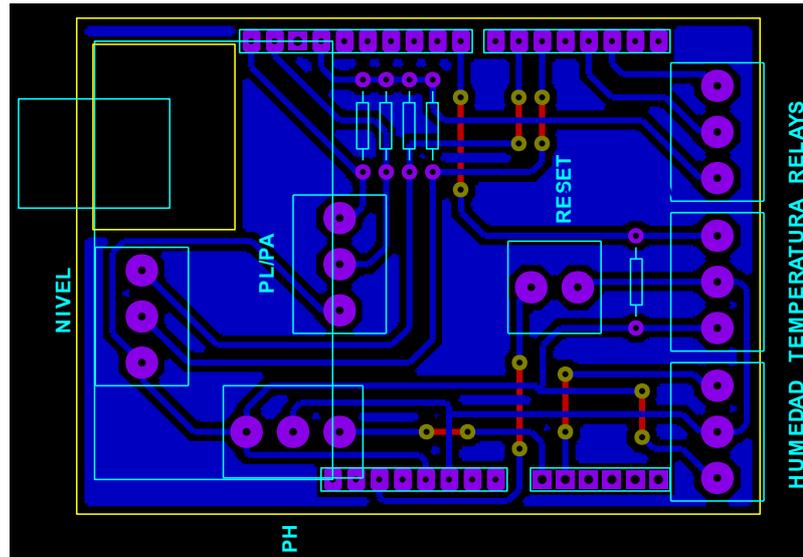


Figura 44. Diseño PCB para un sistema aerobio

Elaborado por: El investigador.

La figura 45, se observa la implementación física del circuito impreso acondicionada con el Arduino Mega en el medio de descomposición aerobio.

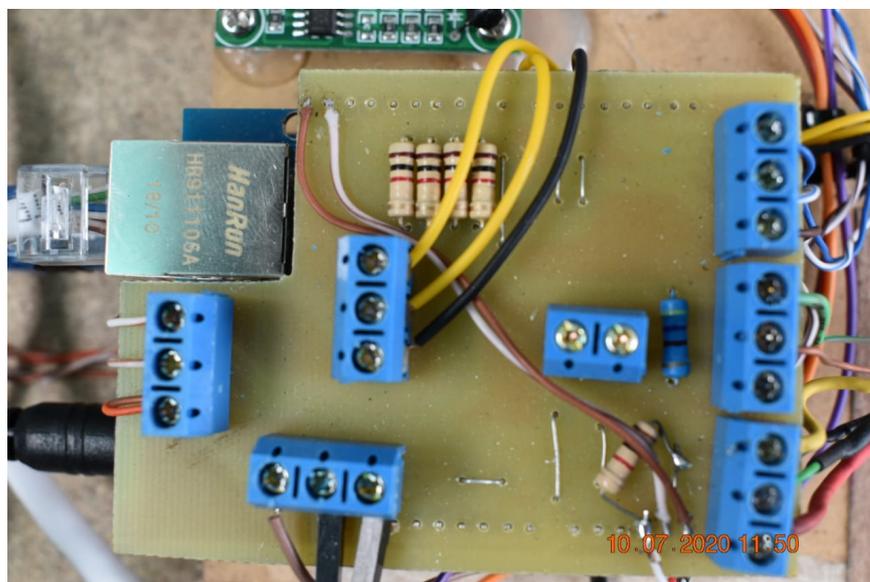
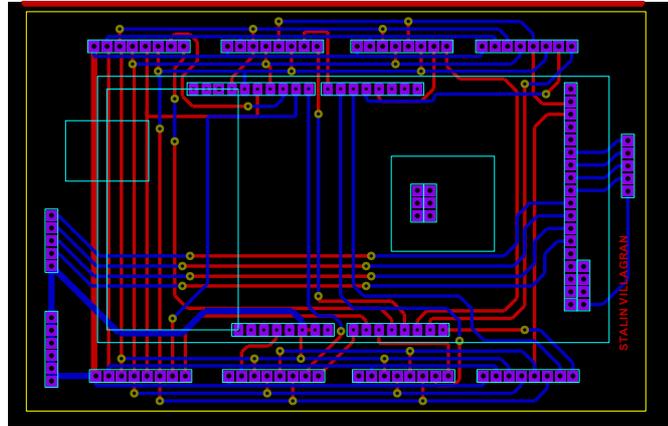


Figura 45. Implementación física del circuito impreso para un medio aerobio.

Elaborado por: El investigador.

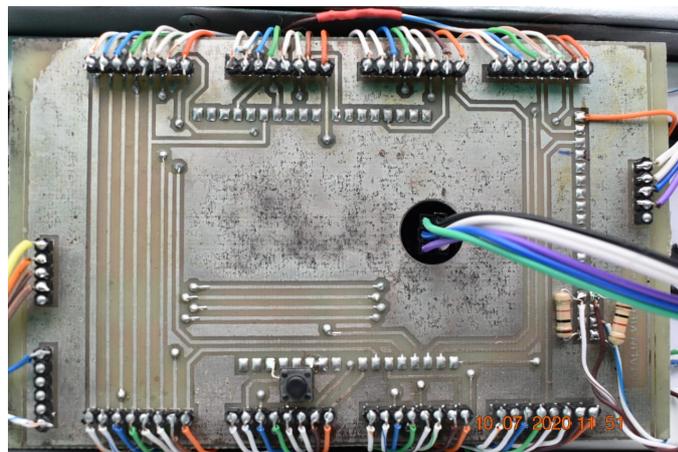
Para el desarrollo de la placa de circuito impreso en el medio de descomposición anaerobio en la figura 46, se muestra las asignaciones de las pistas conductoras elaboradas en el programa Proteus 8 professional.



*Figura 46. Diseño PCB sistema anaerobio.*

**Elaborado por:** El investigador.

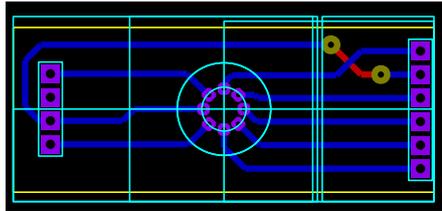
Se acondicionó una placa que se insertará en un microcontrolador Arduino Mega 2560 el cual permitirá establecer la comunicación mediante una comunicación SPI (Peripheral Interface) a los diferentes sensores BME280 para cada biodigestor, utilizando pines en común MISO, MOSI y señal de reloj SCL y para cada esclavo se designó pines CS. A continuación, la figura 47 muestra la asignación de pines para la comunicación.



*Figura 47. Implementación física del circuito impreso para un medio anaerobio.*

**Elaborado por:** El investigador.

Para medir los parámetros de temperatura, humedad presión y gas metano mediante sensores MQ4 y BM280, esta placa se ubicará dentro de cada uno de los biodigestores. La figura 48, se observa el diseño PCB de los sensores BME280 y CH-4.



*Figura 48* Diseño PCB para los sensores BME280 y CH-4

**Elaborado por:** El investigador.

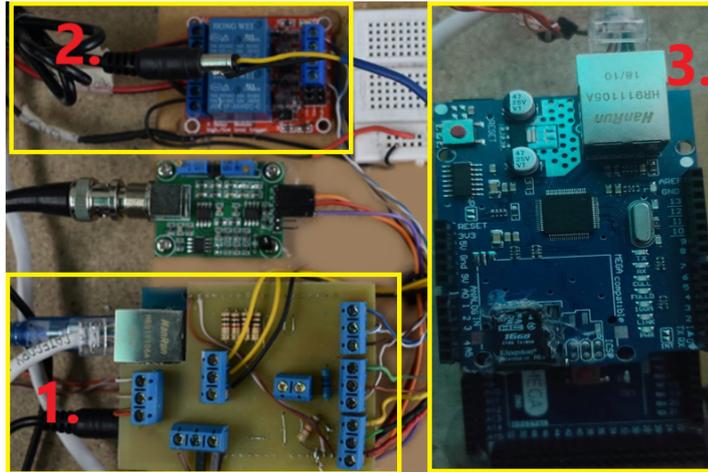
La figura 49, muestran la adaptación y la ubicación de la placa de PCB con la tapa del biodigestor



*Figura 49.* Ubicación de los sensores BME280 y MQ-4 sistema anaerobio.

**Elaborado por:** El investigador.

En la figura 50, se observa las diferentes etapas implementadas en el sistema aerobio los cuales cumplen diferentes funciones:



*Figura 50 Etapas implementadas en el sistema aerobio.*

**Elaborado por:** El investigador.

### **1.- Etapa de procesamiento de datos**

La etapa de procesamiento de datos es la cargada de recolectar los datos y procesarlos, dando como resultado la activación de los diferentes actuadores.

### **2.- Etapa de actuadores**

La etapa de actuadores se encarga de convertir las señales analógicas en acciones físicas según el requerimiento del programa diseñado.

### **3.- Etapa de transmisión de datos**

La etapa de transmisión de datos se encarga de transmitir todos los datos recolectados y almacenarlos en la base de datos phpmyadmin dentro del servidor AWS.

Para la programación en nuestro Arduino Mega se analizó una distribución de pines analógicos y digitales para establecer comunicación con los diferentes sensores y actuadores, como se muestra en la tabla14.

Tabla 14.- Asignación de pines Arduino Mega 2560.

Microcontrolador	Variables	Pines
Arduino Mega 2560	botón volteo	A3
	Sensor pH	A0
	Sensor humedad	A1
	Sensor Temperatura	D8
	Sensor de Nivel Alto	D6
	Sensor de Nivel bajo	D5
	Relay Llenado de tanque	D3
	Relay riego por goteo	D2

**Elaborado por:** El investigador.

En el prototipo del sistema anaerobio podemos observar como en la figura 51, tenemos una división de 6 etapas los cuales cumplen diferentes funciones para su correcto funcionamiento

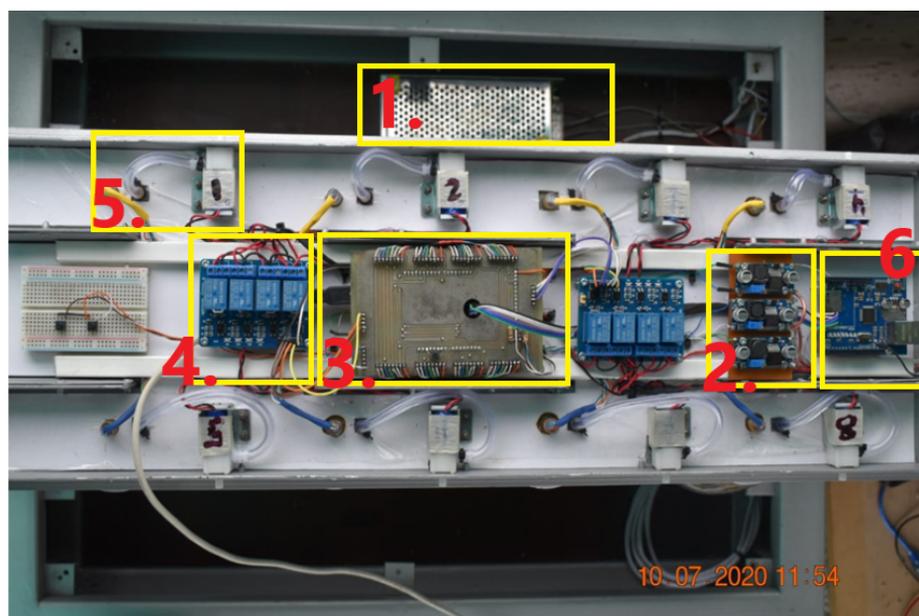


Figura 51. Etapa del sistema aerobio.

**Elaborado por:** El investigador.

### **1.-Etapa de alimentación**

En la etapa de alimentación se Encarga de alimentar todo el prototipo, para el cual se empleó una fuente de 12V de PC debido a que es una fuente de energía estable.

### **2.- Etapa de rectificación de voltaje**

En la etapa de rectificación de voltaje se encarga de estabilizar el umbral de corriente/voltaje para suministrar la energía necesaria en los diferentes elementos electrónicos y así evitar futuros daños.

### **3.- Etapa de procesamiento de datos**

La etapa de procesamiento de datos se encarga de recolectar los datos de las diferentes variables previamente establecidas en el código del programa y posteriormente procesarlos dando como resultado la activación de los diferentes actuadores.

### **4.- Etapa de actuadores**

En la etapa de actuadores se encarga de convertir las señales analógicas en acciones físicas según el requerimiento del programa.

### **5.-Etapa de control de fuga de gas**

La etapa de control de fuga de gas esta encargada de permitir o no el paso del gas.

### **6.- Etapa de transmisión**

La etapa de transmisión de datos se encarga de transmitir todos los datos recolectados y almacenarlos en la base de datos phpmyadmin dentro del servidor AWS.

Para la programación en el microcontrolador Arduino Mega 2560 se analiza las distribuciones de pines. Se utilizó 8 pines analógicos para conectar los sensores de gas natural MQ-4 y 21 pines digitales para conectar los 8 sensores bme280 y 8 actuadores Relay además de señales MOSI, MISO y SCL para establecer comunicación, como se muestra en la tabla 15.

*Tabla 15.- Distribución de pines Arduino Mega 2560.*

Microcontrolador	Variable	Pines				
		SDA/MOSI	CSB	SDO/MISO	SCL	
Arduino Mega 2560	<b>Sensor BME280</b>					
	1 sensor BME280	D11	D53	D12	D13	
	2 sensor BME280	D11	D7	D22	D13	
	3 sensor BME280	D11	D3	D22	D13	
	4 sensor BME280	D11	D4	D22	D13	
	5 sensor BME280	D11	D9	D12	D13	
	6 sensor BME280	D11	D8	D24	D13	
	7 sensor BME280	D11	D6	D24	D13	
	8 sensor BME280	D11	D5	D24	D13	
	<b>Sensor MQ-4</b>					
	1 sensor MQ-4	A3				
	2 sensor MQ-4	A4				
	3 sensor MQ-4	A5				
	4 sensor MQ-4	A6				
	5 sensor MQ-4	A1				
	6 sensor MQ-4	A0				
	7 sensor MQ-4	A2				
	8 sensor MQ-4	A7				
	<b>Relays</b>					
	1 Relay B1	D42				
	2 Relay B2	D44				
	3 Relay B3	D32				
	4 Relay B4	D30				
	5 Relay B5	D38				
	6 Relay B6	D40				
	7 Relay B7	D34				
	8 Relay B8	D36				

**Elaborado por:** El investigador.

## **Análisis de resultados**

En este capítulo se analiza los resultados obtenidos en el diseño de un sistema de control y monitoreo electrónico en la elaboración de abono orgánico.

El prototipo desarrollado para el control y monitoreo electrónico en la elaboración de abono orgánico describe de forma final el prototipo y sus especificaciones técnicas para un sistema anaerobio y aerobio.

- Prueba del funcionamiento del prototipo del sistema aerobio.

Se inicia el proceso de la descomposición con el día 21/06/2020 y finaliza el 19/08/2020, en el cual los parámetros de temperatura, humedad, pH y nivel del agua del tanque,

Los parámetros a analizar son los siguientes.

### **Temperatura**

En la Figura 52, se muestra la gráfica de los datos obtenidos en el periodo de 60 días de la fermentación de la materia orgánica en medio aerobio del proceso culminado de la elaboración del compost, la gráfica nos presenta el rango en el que se mantuvo la temperatura durante la fase de descomposición lo que significa que el proceso se demoró 30 días adicionales ya que las temperaturas no se mantuvieron en los rangos establecidos en cada una de las fases de descomposición por lo que retraso el proceso. Los datos obtenidos por el sensor de temperatura ds18b20 fueron bajos por lo cual se procedió a realizar mantenimiento preventivo a la composta, añadiendo abono extra además de realizar volteos y cubrir la zona de la composta con plásticos para volver a los rangos de la temperatura establecidos en cada una de las fases para obtener una mejor descomposición.

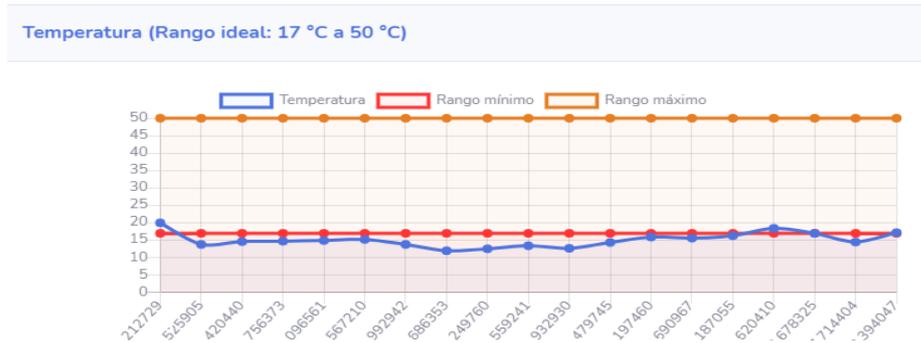


Figura 52. Determinación de la curva de temperatura en el proceso de compostaje

Elaborado por: El investigador.

## Humedad

En la figura 53, se observa que en el proceso de descomposición la humedad si se mantuvo en los rangos óptimos, lo cual se vio afectado en la cuarta fase en donde se presentaron alteraciones provocadas por factores externos, los niveles bajos de humedad se deben a los cambios climáticos y a la humedad del aire, ya que el sensor de humedad capacitivo mide la intensidad de la corriente que se produce y que varía en función del dieléctrico que en este caso el estado del suelo, por lo que se determina que afecta directamente factores como: viento, la humedad del aire y el tipo de tierra.

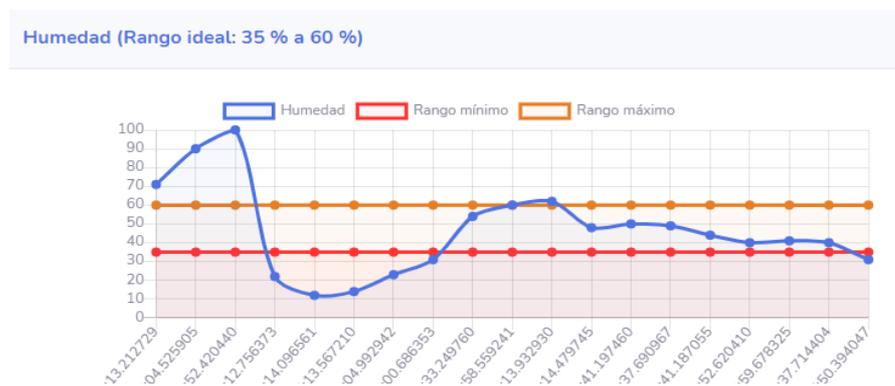


Figura 53. Determinación de la curva de humedad en el proceso de compostaje

Elaborado por: El investigador.

## pH

En la gráfica 54, se observa la variación de los niveles de pH en el compost, esto se debe a la humedad y a las sales que se presentan a medida que se descompone la

materia orgánica, los resultados de pH excedieron de los rangos óptimos, es decir, se mantuvo pH base por lo que se les añadió agentes reguladores de pH. Los resultados obtenidos del sensor de pH-4502C fueron los adecuados debido a que en la calibración se determinó que es necesario suministrar un voltaje de 5V permanente para que este emita las lecturas correctas y no genere errores, por lo cual este sensor fue conectado específicamente con un Módulo LM2596 y no se conectó con algún sensor extra.

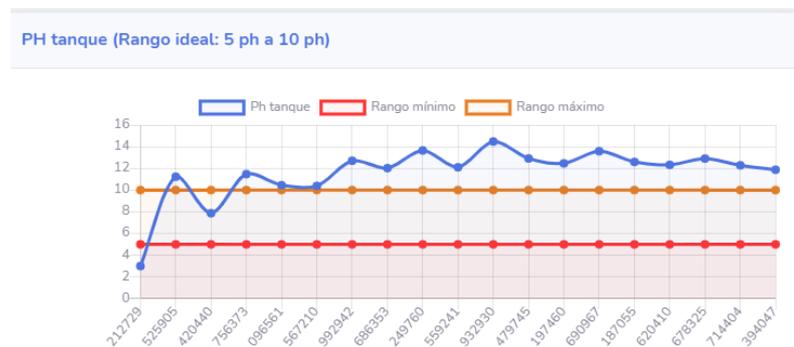


Figura 54. Determinación de la curva de pH en el proceso de compostaje

Elaborado por: El investigador.

### Nivel de Agua

En la figura 55, se muestra la gráfica de llenado de agua, el cual no presentó problemas en el llenado del tanque ni excedió los niveles bajos y se mantuvo constante al 50% debido al bajo flujo de agua, esto se debe a que el sistema de control del llenado del tanque reservorio está conformado por una electroválvula normalmente cerrada las cuales se activan dependiendo del estado de los sensores de nivel de agua alto/bajo que se encuentran adaptados en el tanque, la condición establecida para el control de llenado.



Figura 55. Determinación de la curva de nivel de agua en el proceso de compostaje.

Elaborado por: El investigador.

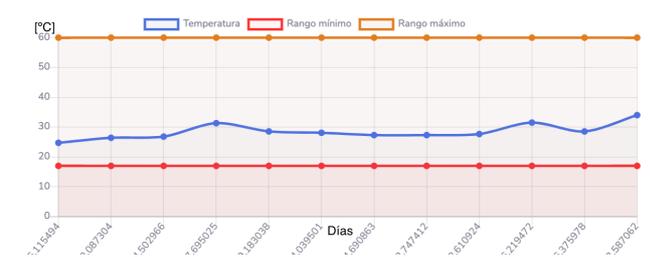
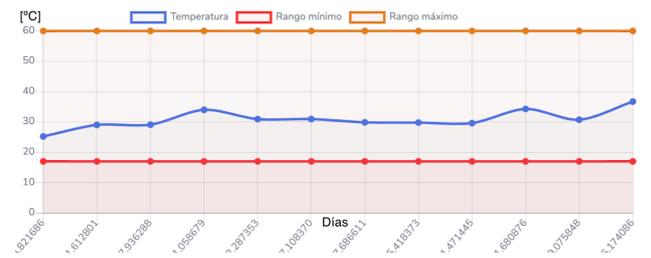
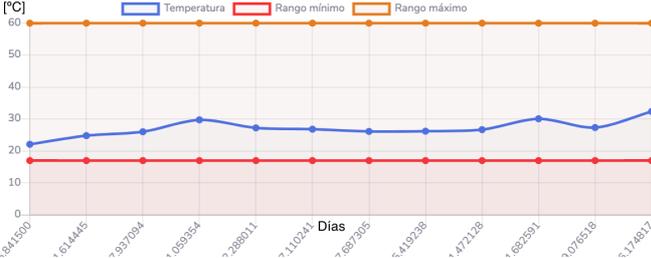
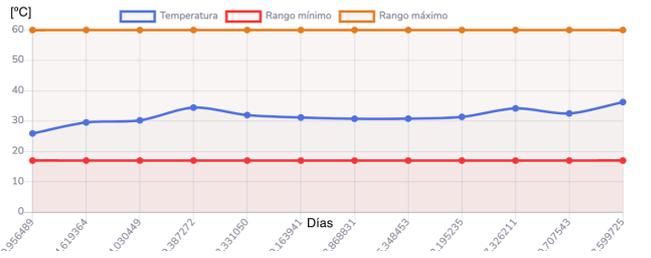
- Prueba del funcionamiento del prototipo del sistema anaerobio.
- Análisis de la lectura de los datos de los biodigestores.

Se inició el proceso de descomposición de la materia orgánica a temperatura ambiente el día 15/07/2020,

Las mezclas de los ocho biodigestores se las hizo con diferentes tipos de excretas con una relación 1:3 1 kg de excreta y 3 kg de agua según la normativa de la FAO, siendo la temperatura uno de los parámetros que más variaron en cada uno de los biodigestores, la temperatura se vio alterada debido a la descomposición anaerobia que se genera y de la que dependen la actividad de las bacterias. La temperatura se pudo ver afectada debido al lugar en donde fue instalado el sistema, ya que no estuvo totalmente sellado para evitar los cambios climáticos, además de la temperatura depende que el proceso de descomposición de las excretas se genere en diferentes tiempos. Como se observa en la tabla 16. La temperatura de cada biodigestor no sobrepasa los 40° C, debido a que la cantidad de muestras de excretas colocadas es muy pequeña por lo que el proceso de descomposición fue lento retardando la generación de gas metano.

Tabla 16.- Determinación de la curva de temperatura en medio anaerobio.

Biodigestores	Parámetros	Composición de la muestra
	Temperatura	
1		Excretas de llama

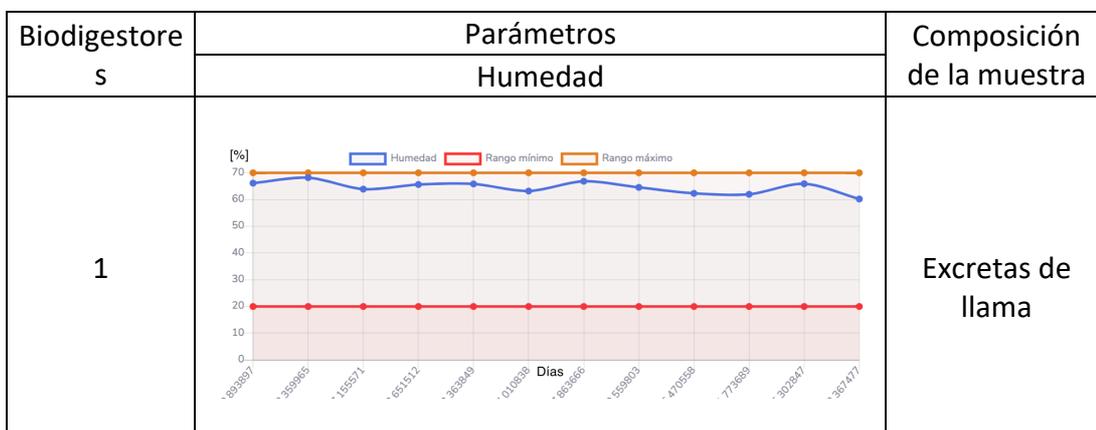
2		Excretas Mezclada Llama, borrego y vaca
3		Excretas de borrego
4		Excretas frescas de vaca
5		Excretas de llama
6		Excretas Mezclada Llama, borrego y vaca



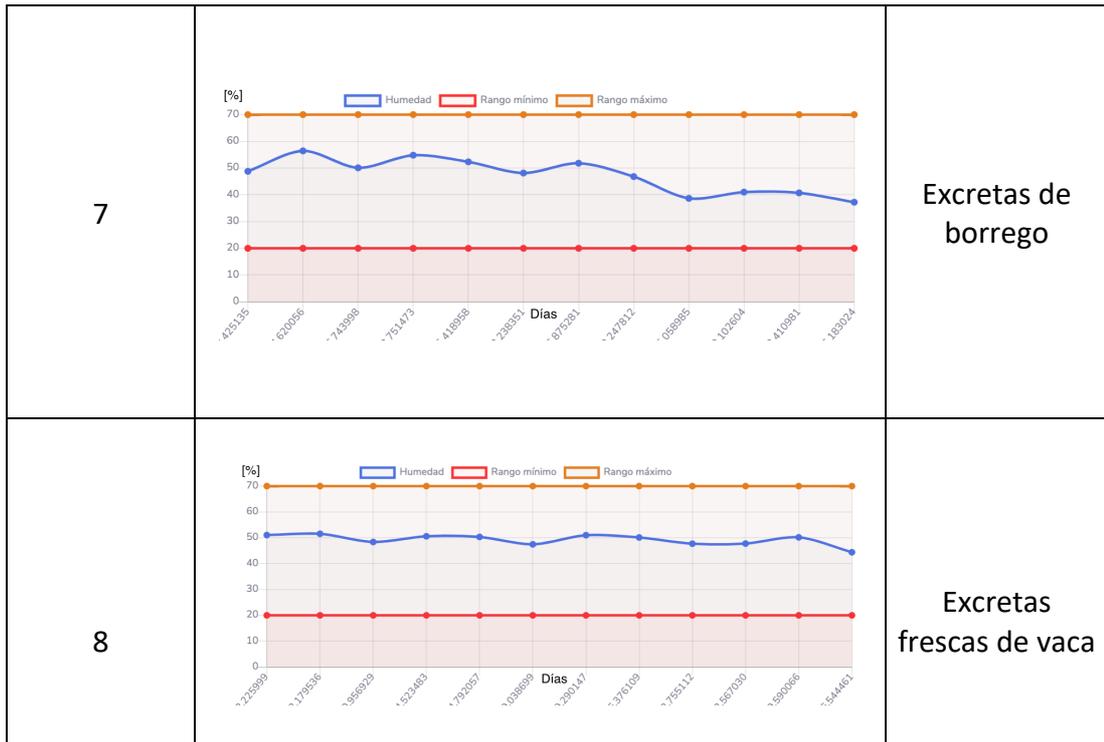
**Elaborado por:** El investigador.

En la tabla 17, se observa el porcentaje de humedad de cada biodigestor, los porcentajes varían debido a la composición de las muestras colocadas en cada uno, además en la humedad interviene la relación de mezcla con agua 1:3 que se realizó para la descomposición. En la descomposición de las excretas la humedad relativa debe mantenerse inferior al 60% de preferencia. En el caso del biodigestor 1 y 3 la humedad sobrepasa el límite lo cual no causa afectación directa en la descomposición sino cuando se expulsa el gas se puede llegar a condensar.

Tabla 17-. Determinación de la curva de humedad en medio anaerobio.



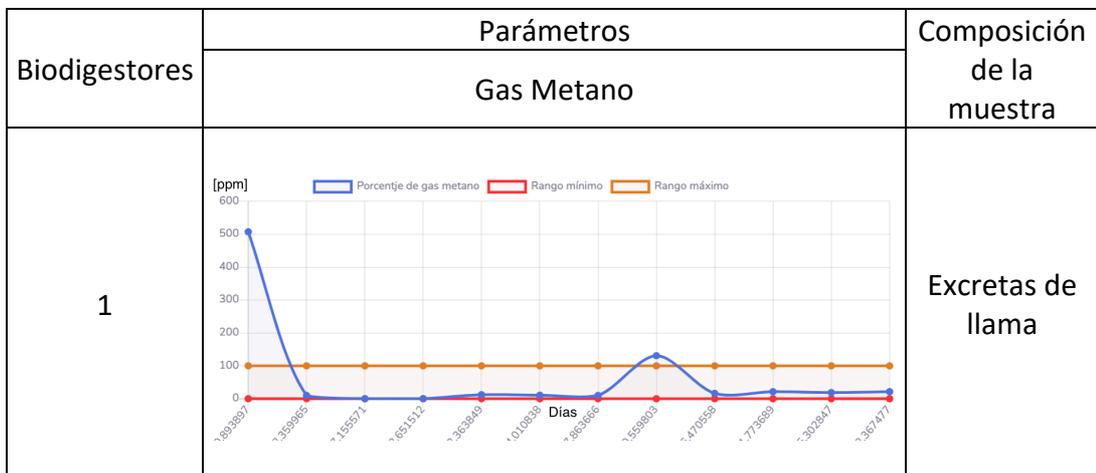
2	<p>Line graph showing Humedad (%) for Excretas Mezclada Llama, borrego y vaca. The y-axis ranges from 0 to 70. The x-axis shows 12 data points. Humedad fluctuates between approximately 45% and 50%. Rango mínimo is constant at 20%. Rango máximo is constant at 70%.</p>	Excretas Mezclada Llama, borrego y vaca
3	<p>Line graph showing Humedad (%) for Excretas de borrego. The y-axis ranges from 0 to 70. The x-axis shows 12 data points. Humedad fluctuates between approximately 45% and 55%. Rango mínimo is constant at 20%. Rango máximo is constant at 70%.</p>	Excretas de borrego
4	<p>Line graph showing Humedad (%) for Excretas frescas de vaca. The y-axis ranges from 0 to 70. The x-axis shows 12 data points. Humedad fluctuates between approximately 40% and 48%. Rango mínimo is constant at 20%. Rango máximo is constant at 70%.</p>	Excretas frescas de vaca
5	<p>Line graph showing Humedad (%) for Excretas de llama. The y-axis ranges from 0 to 70. The x-axis shows 12 data points. Humedad fluctuates between approximately 50% and 58%. Rango mínimo is constant at 20%. Rango máximo is constant at 70%.</p>	Excretas de llama
6	<p>Line graph showing Humedad (%) for Excretas Mezclada Llama, borrego y vaca. The y-axis ranges from 0 to 70. The x-axis shows 12 data points. Humedad fluctuates between approximately 40% and 45%. Rango mínimo is constant at 20%. Rango máximo is constant at 70%.</p>	Excretas Mezclada Llama, borrego y vaca



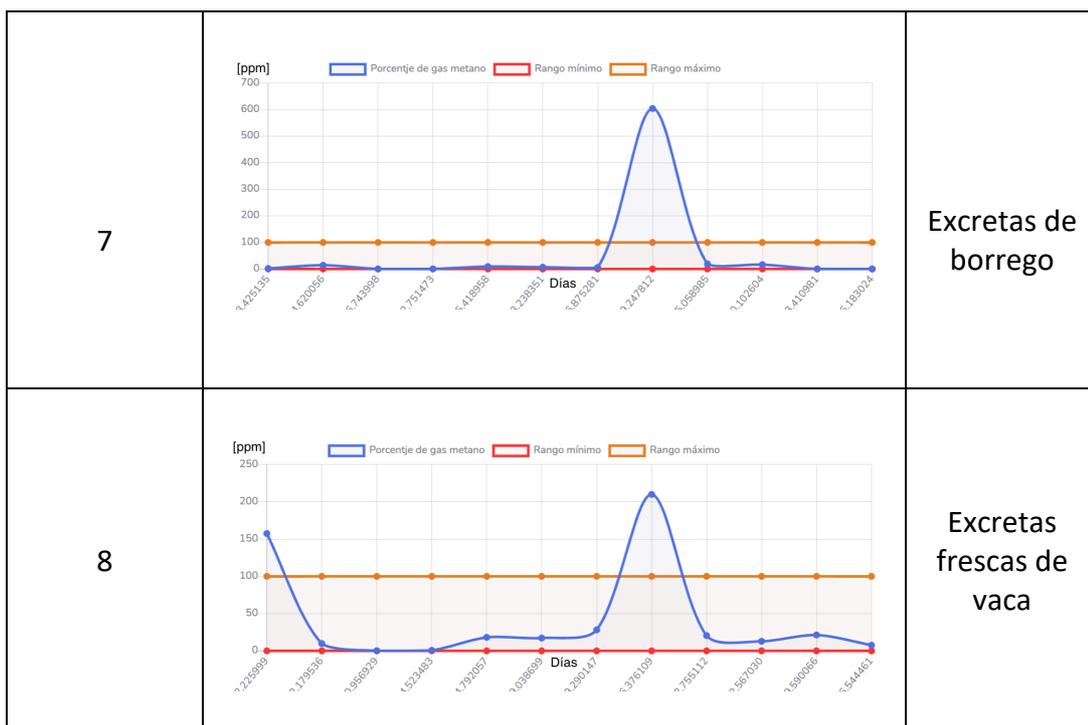
Elaborado por: El investigador.

El gas metano generado en los biodigestores es gracias a las bacterias metanogénicas que llegan a formar el metano, en cada uno de los biodigestores hubo presencia de gas metano siendo el del biodigestor 2 el que genero mayor porcentaje de biogás, la réplica de la mezcla no se generó de la misma manera. el mismo gas que cada vez que se formaba era expulsado por las electroválvulas. En la tabla 18, se observa la presencia de gas metano excediendo los límites permisibles en cada biodigestor.

Tabla 18.- Determinación de la curva de Gas Metano en un medio anaerobio.



2	<p>ppm</p> <p>Porcentaje de gas metano Rango mínimo Rango máximo</p> <p>Días</p>	Excretas Mezclada Llama, borrego y vaca
3	<p>ppm</p> <p>Porcentaje de gas metano Rango mínimo Rango máximo</p> <p>Días</p>	Excretas de borrego
4	<p>ppm</p> <p>Porcentaje de gas metano Rango mínimo Rango máximo</p> <p>Días</p>	Excretas frescas de vaca
5	<p>ppm</p> <p>Porcentaje de gas metano Rango mínimo Rango máximo</p> <p>Días</p>	Excretas de llama
6	<p>ppm</p> <p>Porcentaje de gas metano Rango mínimo Rango máximo</p> <p>Días</p>	Excretas Mezclada Llama, borrego y vaca



Elaborado por: El investigador.

El sistema anaerobio está conformado por una etapa de sensorización en el cual se hizo uso de sensores: BME280, MQ-4 y una etapa de control conformado por 2 módulos relay de 4 canales y 8 válvulas solenoides eléctricas pequeñas de ¼ a 12 V.

Para poder empezar a usar el sensor BME280 se debió instalar las librerías "BlueDot\_BME280.h" en arduino IDE, lo por que cada biodigestor contiene un sensor BME280 y un sensor MQ-4 se procedió a conectar los 8 sensores utilizando software SPI por cada sensor. En la tabla 19, se muestra los pines de asignación para la comunicación SPI.

Tabla 19.- Pines para una conexión por Software SPI.

BME280	Arduino Mega 2560					
	Chip Select	MOSI	MISO	SCK	VCC	GND
1	53	11	12	13	3,3 V	GND
2	7	11	22	13	3,3 V	GND
3	3	11	22	13	3,3 V	GND
4	4	11	22	13	3,3 V	GND

5	9	11	12	13	3,3 V	GND
6	8	11	24	13	3,3 V	GND
7	6	11	24	13	3,3 V	GND
8	5	11	24	13	3,3 V	GND

Para la puesta en marcha del sensor BME280 se alimentó con 3,3V que suministra el propio microcontrolador. Las mediciones de los parámetros de temperatura y humedad esta optimizado al ruido para obtener una resolución más alta, mediante un filtro IIR (respuesta de impulso infinito) suprimiendo las fluctuaciones de altas frecuencias.

Para la obtención de las lecturas de la concentración de gas metano se usó un sensor MQ-4 de tipo semiconductor, basado en oxido de estaño SnO<sub>2</sub>, este sensor trabaja con una resistencia de calentamiento de 5V en condiciones ambientales de hasta 10000 ppm y ha temperaturas de 20 °C y 65% de humedad relativa, este sensor se conectó en cada biodigestor hacia un Arduino mega 2560 y los datos se transmitieron vía entrada analógica.

Para una adecuada obtención de los datos se procede en primera instancia al precalentamiento y se dejó los 8 sensores MQ-4 conectada a su alimentación de 5V y Gnd durante 24 horas de una forma ininterrumpida para poder eliminar la humedad y cualquier contaminación por parte del fabricante.

Luego se procedió a la calibración para poder obtener lecturas precisas dentro de cada biodigestor, el valor resistivo de sensor MQ-4 es diferente a cada tipo de gases como se muestra en el Anexo D que contiene la gráfica de la curva característica de cada gas y se usó para convertir la lectura de la salida analógica del sensor a ppm.

Para poder establecer la comunicación se hizo uso de la librería “MQUnifiedsensor.h” además se define el voltaje de trabajo que es de 5V y un ADC (convertidor de señal analógica a digital) para una placa Arduino Mega 2560 de 10 bits la cual devuelve valores de 0 a 1023. Permite obtener datos reales dentro de cada biodigestor con un tiempo de espera de 5 minutos para que el sensor MQ-4 pueda estabilizarse y empezar a captar los valores.

En la tabla 20, se observan los valores mínimos medios y máximos establecidos en un lapso de 1 mes la presencia de gas metano.

*Tabla 20.- Valores obtenidos de presencia de Gas Metano.*

	Tiempo			
MQ-4	1 día	3 día	15 días	Residuo
#	V. mínimo (ppm)	V. medio (ppm)	V. máximo (ppm)	Tipo
1	4	10,72	162,37	Llama
2	5	13,36	254,4	Mezclado
3	3	13,03	169,37	Borrego
4	4	14,56	308,36	Vaca
5	3,5	14,43	143,97	Llama
6	3,3	13,88	173,88	Mezclado
7	2,1	13,89	169,89	Borrego
8	2,9	12,25	293,81	Vaca

**Elaborado por:** El investigador.

- Análisis del control de ventilación de gas  $CH_4$ , funcionamiento del control de riego por goteo en la composta y llenado del tanque.

Debido a que se realizaron pruebas en los estados de las electroválvulas de  $\frac{1}{4}$  para la ventilación/reposo se abrieron las válvulas por lo cual permitió ventilar el gas metano y se pudo determinar que los valores mostrados en la tabla de generación de gas metano en (ppm) son casi iguales en los diferentes compostajes.

Para esto se tuvo que integrar dentro del Arduino Mega 2560 una Memoria SD en la cual se cargó un archivo index.html, que contiene de los estados de cada relay para el abrir o cerrar las electroválvulas de cada prototipo de biodigestor, de esta manera que el microcontrolador funciona como cliente y servidor.

Mediante las pruebas realizadas del prototipo para la comprobación del mismo se ha simulado la apertura de los diferentes actuadores en el medio anaerobio la expulsión del gas y en el sistema aerobio el llenado del tanque y el accionamiento del sistema por goteo. En la tabla 21, se observa las pruebas realizadas al funcionamiento del sistema con un promedio de 10 pruebas diarias realizadas en el lapso de 15 días.

*Tabla 21.- prueba de funcionamiento del sistema de control de actuadores.*

Día	N° Pruebas	Pruebas Exitosas	Pruebas Fallidas	Tiempo de respuesta
1	10	10	0	1 segundo
2	10	10	0	1 segundo
3	10	10	0	1 segundo
4	10	9	1	3 segundos
5	10	10	0	1 segundo
6	10	10	0	1 segundo
7	10	10	0	1 segundo
8	10	9	1	3 segundo
9	10	10	0	1 segundo
10	10	8	2	300 segundos
11	10	9	1	3 segundos
12	10	9	1	3 segundos
13	10	10	0	1 segundo
14	10	10	0	1 segundo
15	10	10	0	1 segundo
Total	150	144	6	Promedio: 31,2 segundos

En la figura 56, se puede observar el número de pruebas exitosas y pruebas fallidas del funcionamiento del sistema mediante el periodo de prueba del control de apertura de los módulos relay para las aperturas de las válvulas solenoides, se presentaron fallas en la activación de los relay, por lo que tomo más tiempo para la activación de las electroválvulas.

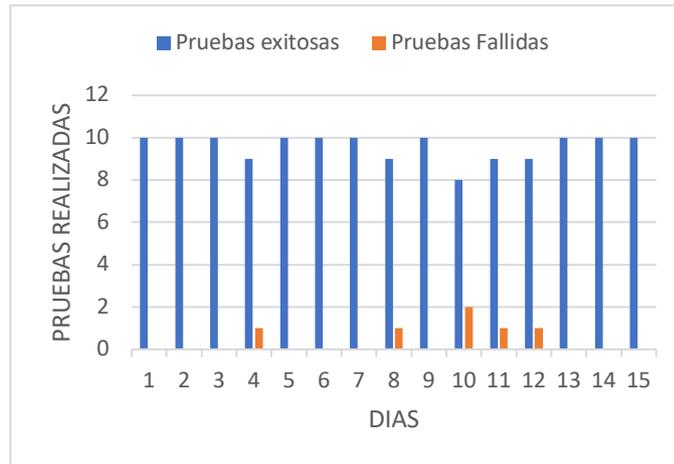


Figura 56. Pruebas de funcionamiento del sistema de control.

En la figura 57, se muestra que el funcionamiento del sistema de control tiene una eficiencia del 96% para el sistema aerobio y anaerobio

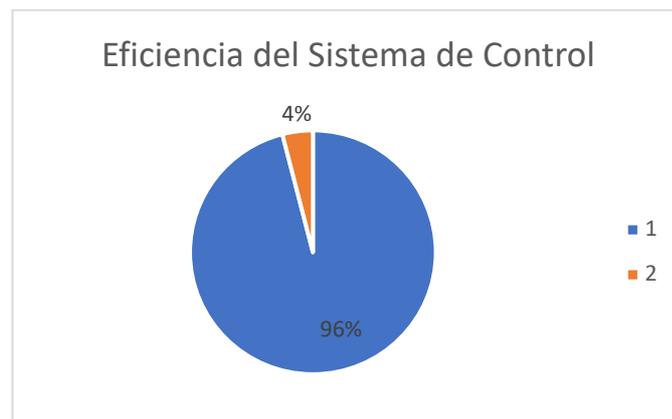


Figura 57. Eficiencia del sistema de control.

- Pruebas de funcionamiento de transmisión de datos al servidor AWS.

La transmisión de datos se ejecuta desde el método GET del Arduino Mega 2560 en un medio anaerobio con la petición GET /Database/iot.php/ y en un medio aerobio GET /Database/iotA.php/ en la carpeta Database almacena dos archivos .php, en donde concatena y almacena la trama de los datos medidos en una trama tipo URL de los parámetros expuestos en cada medio. Estos datos son almacenados dentro de una base de datos MariaDB y dentro de la interfaz phpmyadmin donde se puede administrar los valores obtenidos de cada medio de descomposición.

El almacenamiento de los datos en phpmyadmin muestra la siguiente información en El almacenamiento de los datos en phpmyadmin muestra la siguiente información en la tabla 22, los parámetros recibidos en este medio son de temperatura, humedad, pH, nivel de agua, en la que se establece del historial de los datos del día 09/10/2020, de donde se tomaron los datos de una hora desde las 16:41 hasta las 17:40.

*Tabla 22.-Almacenamiento de los datos en phpmyadmin medio Aerobio.*

ID	Tiempo	Temperatura	Humedad	pH	nivel de agua
1	9/10/20 16:41:13	15,44	36	5,92	50
2	9/10/20 16:42:13	15,44	36	6,05	50
3	9/10/20 16:43:13	15,44	36	6,05	50
4	9/10/20 16:44:13	15,44	36	6,05	50
5	9/10/20 16:45:13	15,44	36	6,05	50
6	9/10/20 16:46:13	15,5	36	6,05	50
7	9/10/20 16:47:14	15,5	36	6,05	50
8	9/10/20 16:48:14	15,5	36	6,05	50
9	9/10/20 16:49:14	15,5	35	6,05	50
10	9/10/20 16:50:14	15,5	36	6,05	50
11	9/10/20 16:51:14	15,5	36,1	6,05	50
12	9/10/20 16:52:14	15,5	36	6,05	50
13	9/10/20 16:53:14	15,5	36	6,05	50
14	9/10/20 16:54:14	15,5	36	6,05	50
15	9/10/20 16:55:14	15,5	36	6,05	50
16	9/10/20 16:56:15	16	36	6,05	50
17	9/10/20 16:57:15	16,1	36	6,05	50
18	9/10/20 16:58:15	16,1	36	7,3	50
19	9/10/20 16:59:15	16,1	36	7,3	50
20	9/10/20 17:00:15	16,1	36	7,3	100
21	9/10/20 17:01:15	16,1	36	7,3	100
22	9/10/20 17:02:15	16,1	36	7,3	100
23	9/10/20 17:03:15	16,1	36	7,3	100
24	9/10/20 17:04:15	16,1	36	7,3	100
25	9/10/20 17:05:15	16,1	36	7,3	100
26	9/10/20 17:06:15	16,1	36	7,3	100
27	9/10/20 17:07:15	16,1	36	7,3	100
28	9/10/20 17:08:15	17	35	7,63	100

29	9/10/20 17:09:15	17	35	7,63	100
30	9/10/20 17:10:15	17	35	7,63	100
31	9/10/20 17:11:16	17	35	7,63	100
32	9/10/20 17:12:16	17	35	7,63	100
33	9/10/20 17:13:16	17	35	7,63	100
34	9/10/20 17:14:16	17	35	7,63	100
35	9/10/20 17:15:16	17	35	7,5	100
36	9/10/20 17:16:16	17	35	7,5	100
37	9/10/20 17:17:16	18,2	35	7,5	100
38	9/10/20 17:18:16	18,2	35	7,5	100
39	9/10/20 17:19:16	18,2	35	7,5	100
40	9/10/20 17:20:16	18,2	35	7,5	100
41	9/10/20 17:21:16	18,2	35	7,5	100
42	9/10/20 17:22:16	18,2	35	7,5	100
43	9/10/20 17:23:17	18,2	35	7,5	100
44	9/10/20 17:24:17	18,3	35	7,5	100
45	9/10/20 17:25:17	18,2	35	7,5	100
46	9/10/20 17:26:17	19,5	32	7,5	100
47	9/10/20 17:27:17	19,5	35	7,5	100
48	9/10/20 17:28:17	19,5	32	7,5	100
49	9/10/20 17:29:17	19,5	32	7,5	100
50	9/10/20 17:30:17	19,5	32	7,5	100
51	9/10/20 17:31:17	19,5	32	7,5	100
52	9/10/20 17:32:17	19,5	32	7,5	100
53	9/10/20 17:33:17	19,5	32	7,5	100
54	9/10/20 17:34:18	19,5	32	7,5	100
55	9/10/20 17:35:18	19,5	32	7,5	100
56	9/10/20 17:36:18	19,5	32	7,5	100
57	9/10/20 17:37:18	19,5	32	7,5	100
58	9/10/20 17:38:18	19,5	32	7,5	100
59	9/10/20 17:39:18	19,5	32	7,5	100
60	9/10/20 17:40:18	19,5	32	7,5	100
Promedio		Temperatura	Humedad	pH	nivel de agua
		17,245	34,735	7,069	84,167

En la tabla 23, se muestra los datos obtenidos de parámetros de temperatura, humedad, presión, gas natural, se procedió a tomar los datos el día 09/10/2020, de donde se tomaron los datos de una hora desde las 16:41 hasta las 17:40.

*Tabla 23. Almacenamiento de los datos en phpmyadmin medio Anaerobio.*

ID	Tiempo	Temperatura	Humedad	Gas Natural
1	9/10/2020 16:41:13	32,65	55,66	24,36
2	9/10/2020 16:42:13	32,52	55,9	22,85
3	9/10/2020 16:43:13	32,36	56,15	22,85
4	9/10/2020 16:44:12	32,3	56,25	24,36
5	9/10/2020 16:45:13	32,14	56,47	22,85
6	9/10/2020 16:46:20	32,64	55,67	22,85
7	9/10/2020 16:47:13	32,3	55,96	24,36
8	9/10/2020 16:48:10	32,12	56,54	22,85
9	9/10/2020 16:49:13	32,63	55,75	22,85
10	9/10/2020 16:50:13	32,46	55,62	22,85
11	9/10/2020 16:51:13	32,1	56,44	22,85
12	9/10/2020 16:52:10	32,18	56,46	22,85
13	9/10/2020 16:53:19	32,22	56,32	22,85
14	9/10/2020 16:54:13	32,61	55,72	22,85
15	9/10/2020 16:55:18	32,65	55,65	24,36
16	9/10/2020 16:56:13	32,2	56,28	24,36
17	9/10/2020 16:57:13	32,23	56,24	22,85
18	9/10/2020 16:58:13	32,51	55,96	24,36
19	9/10/2020 16:59:13	32,68	55,69	22,85
20	9/10/2020 17:00:23	32,38	56,01	22,85
21	9/10/2020 17:01:23	32,33	56,05	22,85
22	9/10/2020 17:02:23	32,25	56,13	22,85
23	9/10/2020 17:03:23	32,33	55,92	22,85
24	9/10/2020 17:04:23	32,34	55,96	22,85
25	9/10/2020 17:05:13	32,32	55,89	22,85
26	9/10/2020 17:06:13	32,33	55,92	24,36
27	9/10/2020 17:07:23	32,26	56,12	24,36
28	9/10/2020 17:08:23	32,35	56	22,85
29	9/10/2020 17:09:23	32,33	55,73	22,85
30	9/10/2020 17:10:10	32,45	55,45	22,85
31	9/10/2020 17:11:12	32,35	56,01	22,85
32	9/10/2020 17:12:23	32,31	56,05	22,85
33	9/10/2020 17:13:23	32,25	56,13	24,36
34	9/10/2020 17:14:23	32,39	55,92	24,36
35	9/10/2020 17:15:10	32,45	55,96	22,85

36	9/10/2020 17:16:13	32,3	55,89	24,36
37	9/10/2020 17:17:13	32,32	55,92	22,85
38	9/10/2020 17:18:10	32,33	56,12	22,85
39	9/10/2020 17:19:23	32,26	56	22,85
40	9/10/2020 17:20:12	32,35	55,73	22,85
41	9/10/2020 17:21:23	32,33	55,45	22,85
42	9/10/2020 17:22:13	32,45	56,01	22,85
43	9/10/2020 17:23:03	32,39	56,05	22,85
44	9/10/2020 17:24:23	32,45	56,13	24,36
45	9/10/2020 17:25:23	32,3	55,92	24,36
46	9/10/2020 17:26:23	32,32	55,96	22,85
47	9/10/2020 17:27:23	32,23	55,89	22,85
48	9/10/2020 17:28:13	32,51	55,92	22,85
49	9/10/2020 17:29:20	32,68	56,12	22,85
50	9/10/2020 17:30:23	32,38	56	22,85
51	9/10/2020 17:31:23	32,33	55,73	22,85
52	9/10/2020 17:32:20	32,25	55,45	22,85
53	9/10/2020 17:33:20	32,23	56,01	22,85
54	9/10/2020 17:34:23	32,51	56,05	22,85
55	9/10/2020 17:35:23	32,68	56,13	22,85
56	9/10/2020 17:36:23	32,38	55,92	22,85
57	9/10/2020 17:37:13	32,33	55,96	24,36
58	9/10/2020 17:38:23	32,25	55,89	24,36
59	9/10/2020 17:39:23	32,32	55,92	22,85
60	9/10/2020 17:40:20	32,31	56,12	22,85
Promedio		Temperatura	Humedad	Gas Natural
		32,3685	55,97116667	23,2275

**Elaborado por:** El investigador.

En la transmisión y recepción de datos el medio de descomposición aerobio no presentó inconveniente alguno, en el sistema anaerobio se presentó un inconveniente en donde el sistema genera mucha humedad los sensores BME280 y MQ-4 se vieron afectados por el tipo de aislamiento propuesto (esmalte) en donde se llenaron de humedad e interrumpieron la transmisión de los datos enviados desde el Arduino hacia la base de datos.

- Pruebas de funcionamiento del sistema de monitoreo.

El sistema de monitoreo se desarrolló mediante las plantillas Bootstrap en donde se ingresa los permisos de login por parte del operador asignado, de tal manera que se podrá visualizar un menú desplegable mostrando un contenido dinámico entre resumen, tiempo real, reporte de datos, mantenimiento operativo y configuraciones.

Iniciamos el control de monitoreo desde la sección de configuraciones en donde se establece el tiempo de muestro y la cantidad de datos que vamos a mostrar en nuestro resumen, además la sección de tiempo real realiza una consulta en la base de datos mostrando en Gráficas los últimos datos de los parámetros obtenidos en las lectoras recibidas desde el Arduino.

De manera que los datos presentados en el tiempo real no son adecuados a las fases establecidas se generan alertas y el operador debe realizar mantenimientos operativos en los cuales involucra para un medio anaerobio un tipo de expulsión de gas y para un medio aerobio la expulsión de agua para el llenado del tanque y para el sistema de goteo además de realizar volteos de la composta.

En la sección de configuraciones se muestra los rangos optimizados para un adecuado control de cada una de las fases, estableciendo rangos mínimos y máximos para cada fase tanto en el medio anaerobio como en medio aerobio.

La interfaz de monitorización es amigable con el operados ya que, si se generó algún problema en el periodo total de descomposición en cada medio, se puede realizar una consulta de datos mostrando la curva final del periodo completo que se ha demorado en generar un abono orgánico en un medio aerobio y la detección de gas metano en el medio anaerobio. En la tabla 24, se observa las pruebas de funcionamiento realizadas para el sistema de monitorización con un promedio de 10 pruebas diarias en un periodo de 15 días.

Tabla 24.- Pruebas de Funcionamiento del sistema de monitorización

Dia	N° Pruebas	Pruebas Exitosas	Pruebas Fallidas	Tiempo de respuesta
1	10	10	0	20 segundo
2	10	9	1	24 segundo
3	10	10	0	20 segundo
4	10	9	1	26 segundos
5	10	10	0	21 segundo
6	10	8	2	31 segundo
7	10	10	0	21 segundo
8	10	9	1	23 segundo
9	10	10	0	20 segundo
10	10	8	2	38 segundos
11	10	9	1	23 segundos
12	10	9	1	23 segundos
13	10	10	0	20 segundo
14	10	9	1	25 segundo
15	10	10	0	20 segundo
Total	150	140	10	Promedio: 22,33 segundos

Elaborado por: El investigador.

En la figura 58, se muestra que únicamente se presentaron 10 pruebas de fallas en el sistema de monitorización, esto se debió a los tiempos de carga de la página web por el exceso de la recepción de datos.

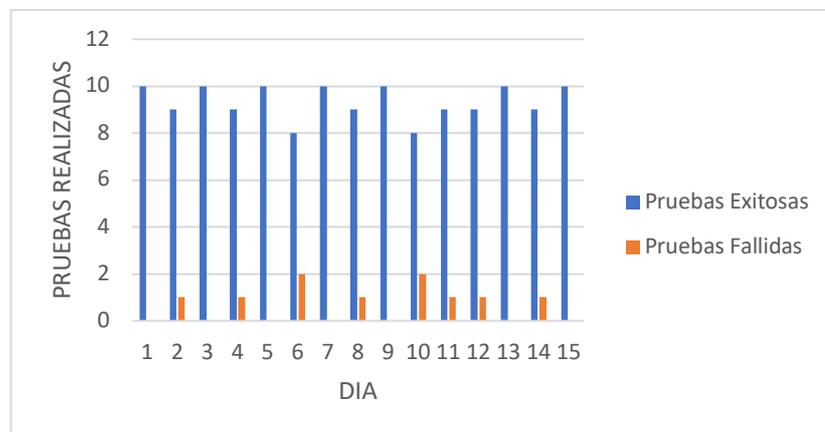
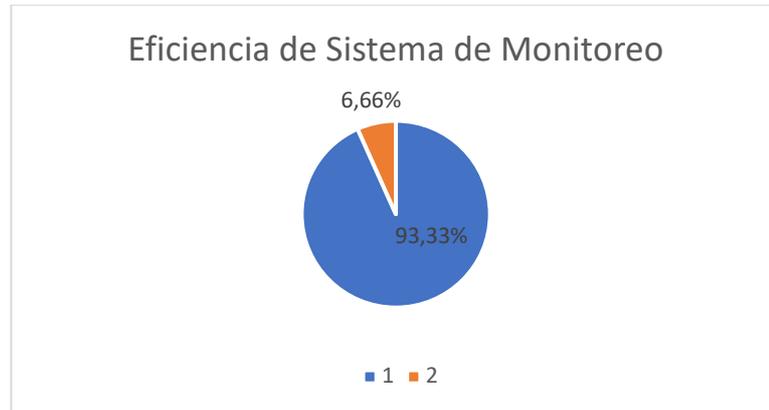


Figura 58 Diagrama de pruebas eficientes y pruebas fallidas del sistema de monitoreo.

**Elaborado por:** El investigador.

En la figura 59, se muestra la eficiencia del sistema de monitoreo es de 93,33% teniendo un funcionamiento óptimo y un alto rendimiento, lo que indica un sistema de monitorización seguro y confiable.



*Figura 59. Eficiencia del sistema de Monitoreo.*

**Elaborado por:** El investigador.

### **Presupuesto.**

A continuación, se indica el presupuesto que conllevo el presente prototipo a desarrollarse para medios aerobios y anaerobios, en primera instancia se analiza la tabla 25, en donde se visualiza los diferentes costos de equipos electrónico.

Tabla 25- Costos de Equipos Electrónicos.

Equipos Electrónicos					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario \$	Valor Total \$
1	Sensor BME280	c/u	8	10	80
2	Sensor MQ-4	c/u	8	5	40
3	modulo Relay 4 canales	c/u	2	7	14
4	modulo Relay 2 canales	c/u	1	4	4
5	Sensor de temperatura ds18b20	c/u	1	4	4
6	Sensor Capacitivo de Humedad de Suelo v1.2	c/u	1	5	5
7	Sensor de nivel de líquido de agua	c/u	2	6	12
8	Sensor pH	c/u	1	50	50
9	Step-Down 3A LM2596	c/u	3	3,5	10,5
10	Fuente para Arduino, 1A, 9VDC	c/u	1	7	7
11	Fuente para Arduino,2A, 12VDC	c/u	1	9	9
12	Fuente de poder P4-850W	c/u	1	15	15
13	Arduino Mega 2560	c/u	2	17	34
14	shield ethernet	c/u	2	18,99	37,98
15	memoria SD de 16gbs	c/u	2	8	16
16	válvula solenoide eléctrica 1/4 12V	c/u	8	8	64
17	válvula solenoide eléctrica 1/2 12V	c/u	2	12	24
18	pack de 40 cables Macho Hembra 30 cm	c/u	2	3,5	7
19	Router Tp-link Tl-wr940n	c/u	1	33	33
20	RJ-45	c/u	6	0,2	1,2
21	capuchones para Rj45	c/u	6	0,3	1,8
22	20 metros de cat 5	c/u	1	13	13
23	20 metros de cable de timbre	c/u	1	10	10
24	12 frascos de vidrio hermetico 1500ml	c/u	1	20	20
25	kit de colores tubo termoencogible	c/u	1	15	15
26	1 metro de tubo termo encogible 3/4	c/u	1	7	7
				Sub Total	\$534,48

En la tabla 26, se visualiza los costos de herramientas utilizadas en la construcción del prototipo.

*Tabla 26.-Costos de Herramientas.*

Herramientas					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario \$	Valor Total \$
1	cautín 40W	c/u	1	17	17
2	tubo de estaño	c/u	2	2	4
3	pasta para soldar	c/u	1	2	2
4	tubo de agua 1/2	c/u	1	9	9
5	tarraja	c/u	1	8	8
6	cinta de teflón	c/u	4	2	8
7	codos de PVC 1/2	c/u	4	1	4
8	Unión universal de PVC 1/2	c/u	2	1	2
9	Unión de PVC 1/2	c/u	7	1	7
10	llave de agua de paso	c/u	2	4	8
11	10 manguera	c/u	1	10	10
12	abrazaderas de manguera	c/u	8	0,75	6
13	adaptador de tanque junta 1/2	c/u	2	3	6
14	tapón macho 1/2	c/u	4	1	4
15	tubo PVC hidráulico	c/u	1	5	5
				Sub Total	\$100

La tabla 27, muestra los costos de materiales utilizados.

*Tabla 27.-Costos de Materiales.*

Materiales					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario \$	Valor Total \$
1	canaletas plásticas	c/u	2	3,5	7
2	papel Sintra	c/u	1	10	10
3	cortadora	c/u	1	7	7
4	desarmador	c/u	1	5	5
5	tubos de silicona	c/u	10	2,5	25
6	2m de tubo transparente flexible	c/u	1	3	3
7	pega Uhu Max Repair	c/u	2	3,5	7
8	Unión de manguera de gas de 1/4	c/u	4	2,5	10
9	Unión de manguera plástica de 1/8	c/u	2	1	2
10	Unión de manguera de gas de 1/8	c/u	2	2,5	5
				Sub Total	\$81

**Elaborado por:** El investigador.

La tabla 28, muestra los costos de la estructura para el sistema anaerobio.

*Tabla 28.- Costos de Elaboración de estructura prototipo*

Maqueta					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario \$	Valor Total \$
1	Estructura de metal	c/u	1	130	130
2	1 plancha Madera	c/u	1	40	40
3	2m de plástico negro	c/u	1	5	5
4	gato tijera	c/u	1	25	25
5	Costo de importación de equipos	c/u	1	50	50
6	tonillos 1/8 y rosca	c/u	30	0,2	6
7	ciento de tornillo de madera 1 1/2	c/u	1	3,5	3,5
8	baldes pequeños	c/u	5	2,5	12,5
9	muestras de materia orgánica	c/u	4	2,5	10
				Total	\$282

**Elaborado por:** El investigador.

A continuación, la tabla 29 muestra el precio final del prototipo. En donde el costo de mano de obra está por los \$400.00, ya que se requiere alrededor de 60 días diseñar un sitio web e instalar los diferentes dispositivos en cada sistema electrónico diseñado. además, se establece costos de transporte por \$60.00 ya que fue necesario transportarse desde Ambato-Querochaca para la respectiva recolección de información. También se asigna una cantidad de \$50.00 en costos de importación de equipos electrónicos, ya que se adquirieron dispositivos a través de tiendas electrónicas ubicadas en otras ciudades.

*Tabla 29.- Costo de presupuesto final.*

PRESUPUESTO					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario\$	Valor Total\$
1	Mano de obra	c/u	1	400	400
2	Equipos electrónicos	c/u	1	534,48	534,48
3	Herramientas	c/u	1	100	100
4	Materiales	c/u	1	81	81
5	Estructura de prototipo	c/u	1	282	282
6	Costos de importación	c/u	1	50	50
7	Costos de transporte	c/u	1	60	60
				Total	\$1507,48

**Elaborado por:** El investigador.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### **Conclusiones**

- Mediante la elaboración de este proyecto se determinó que los factores principales para el medio aerobios son temperatura, humedad y pH, necesarios para que empiece el proceso microbiano, mientras que en el medio anaerobio intervienen los factores de temperatura y humedad, necesarios para la aparición de gas metano CH<sub>4</sub>.
  
- Se ha implementado dos sistemas para la creación de compostaje a través de medio aerobio y medio anaerobio. Utilizando un microcontrolador Arduino Mega 2560 en cada sistema y una shields ethernet para establecer la transmisión de información hacia el servidor AWS. Además, se ha instalado una memoria SD de 16gb en la Shield Ethernet con el propósito de almacenar una página web que permite el control del accionamiento de la electroválvula en los dos sistemas.
  
- La interfaz de monitorización en la nube es amigable con el operador, permitiendo el control en cada fase de creación del compostaje en los medios de descomposición aerobio y anaerobio.

## **Recomendaciones**

- Para futuras implementaciones se recomienda adecuar un sistema de respaldo en el suministro eléctrico anticipándose a recortes de energía con el fin de recolectar datos de manera continua.
- El sistema electrónico debe tener una cubierta impermeable, evitando así la recepción de datos erróneos producidos por factores externos tales como viento, lluvia, y rayos solares en contacto directo a los sensores y equipos.
- Para monitorear nuestro sistema desde cualquier ubicación y dispositivo se recomienda asignar una dirección IP fija al punto de acceso, evitando así pérdidas de conexión en la nube y realizar futuros cambios en el código del programa.

## C. MATERIALES DE REFERENCIA

### Referencias Bibliográficas

- [1] P. C. Jordan Figueroa, A. P. Elizalde Orellana, and Espol, “Diseño e implementación de un prototipo de telecontrol de biodigestor de abono con interfaz web mediante uso de hardware y software libre,” Jul. 2017.
- [2] C. Lopez, F. Martínez, and O. Paredes, “Automatización de un Proceso de Biodigestión Anaeróbica,” *Rev. Cuba. Ciencias Informáticas*, vol. 10, p. 6, 2016.
- [3] D. Chaparro and J. Zorro, “Prototipo de biorreactor aeróbico para el monitoreo y control del proceso de co-compostaje, a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales y residuos solidos orgánicos de plaza de mercado,” universidad pedagógica y tecnológica de colombia, 2017.
- [4] V. Gallardo, “Desarrollo e implementación de sistema de control de calidad de compostaje,” UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, 2018.
- [5] A. M. Sáez Domingo, *La agricultura y su evolución a la agroecología*. Obrapropia, 2009.
- [6] “Agricultura natural contribuye a reducir el cambio climático -.” [Online]. Available: <https://mundoagropecuario.com/agricultura-natural-contribuye-a-reducir-el-cambio-climatico/>. [Accessed: 12-Feb-2020].
- [7] B. Murillo, E. Rueda, J. García, F. Ruiz, and F. Beltrán, *Agricultura Orgánica Temas de Actualidad*, 1ra ed. 2010.
- [8] L. F. Durán Ramírez, *Manual de Cultivos Orgánicos y Alelopatía*, 2da ed. 2006.
- [9] Hogares Juveniles Campecinos, *Granja Integral Autosuficiente*, 1ra ed. 2010.
- [10] B. Aguilas Alinquer, *El suelo de cultivos y las condiciones climáticas*, 2da ed. 2018.
- [11] “Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas.” [Online]. Available: <http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm>. [Accessed: 17-Feb-2020].
- [12] FAO, “Los fertilizantes y su uso,” Paris, 2002.
- [13] Y. Vivas, “Preparacion de abonos organicos.” 2002.
- [14] C. Reyes, “Abono de plantas,” 2015. [Online]. Available: <http://carlosreyez10.blogspot.com/2015/08/a-bono-de-plantas-el-abono-o.html>. [Accessed: 23-Mar-2020].
- [15] J. Benites, “Manual de practicas integradas de manejo y conservación de suelos,”

- Roma, Italia, 2000.
- [16] C. Borrero, “Abonos orgánicos.” [Online]. Available: [https://www.infoagro.com/documentos/abonos\\_organicos.asp](https://www.infoagro.com/documentos/abonos_organicos.asp). [Accessed: 23-Mar-2020].
- [17] inia, “Manejo y uso adecuado de los abonos organicos.” [Online]. Available: [https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/208/1/HD-Abonos\\_organicos.pdf](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/208/1/HD-Abonos_organicos.pdf). [Accessed: 23-Mar-2020].
- [18] H. W. Dalzell, A. J. Biddlestone, K. R. Gray, and K. Thurai Rajan, “Manejo del Suelo, Producción y Uso del Composte en Ambientes Tropicales y Subtropicales,” 1991. .
- [19] J.-R. Alonso Peña, *Cómo hacer compost : guía para amantes de la jardinería y el medio ambiente*. Mundi-Prensa, 2011.
- [20] P. Román, M. M. Martínez, and A. Pantoja, *MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR, Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile: Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 2013.
- [21] J. E. Garro Alfaro, “El suelo y los abonos orgánicos.”
- [22] S. De Santos and R. Urquiaga, “COMPOSTAJE Y VERMICOMPOSTAJE DOMÉSTICOS,” 2013.
- [23] A. Moreno Vega, *Programación y control del riego y la fertilización de los cultivos, UF0385*. .
- [24] M. A. Sánchez-Monedero, A. Roig, Paredes C, and Bernal M, “Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures,” *Bioresour. Technol.*, vol. 78, no. 3, pp. 301–308, 2001, doi: 10.1016/S0960-8524(01)00031-1.
- [25] B. Mosquera and FONAG, “Abonos orgánicos protegen el suelo y garantizan alimentación sana Manual para la elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos,” Estados Unidos de America, 2010.
- [26] A. H. Gutiérrez, L. B. Peña, and J. G. H. Díaz, “Obtención de biogás mediante la fermentación anaerobia de estiércol,” *Rev. Estud. AGRO-VET*, vol. 2, no. 2, pp. 185–191, 2018.
- [27] M. Varnero, “Manual de biogás,” Santiago de Chile, 2011.
- [28] J. Montoya, ““características físicoquímicas y microbiológicas del proceso de elaboración de biol y su efecto en germinación de semillas,”” universidad nacional agraria la molina, 2017.

- [29] F. Romero, “elaboración de abono orgánico a partir de los desechos sólidos y líquidos del pescado mediante la practica del compostaje, para minimizar el impacto ambiental en promarosa s. a., ubicado en la parroquia chanduy, provincia de santa elena, año 2017,” universidad estatal península de santa elena, 2017.
- [30] R. Leira Rodríguez and J. Gómez Suárez, *Electrónica Digital*. .
- [31] R. Garcia, “Sistemas electrónicos.” p. 12, 2012.
- [32] E. Fernandez, “Análisis temporal de los sistemas de control.” [Online]. Available: <https://es.calameo.com/read/0000716372c51ec7b8273>. [Accessed: 25-Mar-2020].
- [33] R. Hernandez, *Introduccion a los sistemas de control*. 2010.
- [34] F. M. Gonzalez, “Introducción a los Sistemas de Control,” Jun-2007. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/294721439\\_Capitulo\\_1\\_Introduccion\\_a\\_los\\_Sistemas\\_de\\_Control](https://www.researchgate.net/publication/294721439_Capitulo_1_Introduccion_a_los_Sistemas_de_Control). [Accessed: 25-Mar-2020].
- [35] “Monitorización y Control.” [Online]. Available: <http://gsti.yolasite.com/resources/ITIL-08-Monitorizacion-Control.pdf>. [Accessed: 24-Mar-2020].
- [36] L. Corona;G Abarca;J Carreñ, “*Sensores y Actuadores Aplicaciones con Arduino*,” Grupo Edit. Distrito Federal, MÉXICO, 2014.
- [37] “Hardware libre - EcuRed.” [Online]. Available: [https://www.ecured.cu/Hardware\\_libre](https://www.ecured.cu/Hardware_libre). [Accessed: 26-Mar-2020].
- [38] A. Jossué, “Utilización de Plataformas de Hardware Libre y Computadoras de Placa Única para la Intrusión no Autorizada a Redes y Equipos.,” 2015. .
- [39] “Computadores de Placas Únicas .” [Online]. Available: <https://www.hwlibre.com/que-es-una-placa-sbc/?fbclid=IwAR0bluDdstZ8fMgcAg6VSjUYo48Txo9eYsdPdQzFXmKs7Y3HgrGTeZUfNvg>. [Accessed: 26-Mar-2020].
- [40] “Raspberry Pi 3 - Modelo B - ARMv8 con 1G RAM.” [Online]. Available: <https://www.silverlineelectronics.in/raspberry-pi-3-model-b-armv8-with-1gb-ram.html?fbclid=IwAR0Kjz3yv6ucG-SSqC2KLQ5rOBj9ANfItDvSPKHqZ1zlgOgkerAx2cxOQEQ>. [Accessed: 26-Mar-2020].
- [41] O. Pérez Mora Carme Martín Escofet Marc Gibert Ginestà and L. Alberto Casillas Santillán, “Bases de datos .”
- [42] E. Mifsuf Talón, “Apache.” [Online]. Available:

- <http://descargas.pntic.mec.es/mentor/visitas/Apache.pdf>. [Accessed: 25-Mar-2020].
- [43] DATA, “PH meter(SKU: SEN0161).” [Online]. Available: [https://media.digikey.com/pdf/Data\\_Sheets/DFRobot\\_PDFs/SEN0161\\_SEN0169\\_Web.pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data_Sheets/DFRobot_PDFs/SEN0161_SEN0169_Web.pdf). [Accessed: 29-Mar-2020].
- [44] “Sensor de Ph con módulo (PH-4502C) | orgontec.” [Online]. Available: <https://www.orgontec.com/product-page/sensor-de-ph-con-módulo-ph-4502c>. [Accessed: 29-Mar-2020].
- [45] “Waterproof\_DS18B20\_Digital\_Temp-DFRobot.” [Online]. Available: [https://wiki.dfrobot.com/Waterproof\\_DS18B20\\_Digital\\_Temp](https://wiki.dfrobot.com/Waterproof_DS18B20_Digital_Temp). [Accessed: 29-Mar-2020].
- [46] “▷ Sensor de temperatura, tipos y uso con Arduino | Proyecto Arduino.” [Online]. Available: <https://proyectoarduino.com/sensor-de-temperatura/>. [Accessed: 29-Mar-2020].
- [47] C. G. Federico, J. Ismael, S. Tutores, F. Silveira, and P. Castro, “Proyecto SDHS: Sensor de Humedad de Suelos,” 2009.
- [48] “Medida de la humedad del terreno con sensor de humedad capacitivo | Mi Arduino Uno tiene un BLOG.” [Online]. Available: <https://miarduinounotieneunblog.blogspot.com/2018/09/medida-de-la-humedad-del-terreno-con.html>. [Accessed: 29-Mar-2020].
- [49] F. De, C. Agropecuarias, E. N. Agroecología, and Y. Ambiente, “UNiversidad de cuenca tesis previa a la obtencion del titulo de magister,” 2017.
- [50] “Válvula solenoide 1/2" 12V DC - Naylamp Mechatronics - Perú.” [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/valvulas/314-valvula-solenoide-12-12v.html>. [Accessed: 30-Mar-2020].
- [51] “BME280-Data sheet,” 2018.
- [52] “Sensor de gas BME680 | Bosch Sensortec.” [Online]. Available: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/gas-sensors-bme680/>. [Accessed: 28-Mar-2020].
- [53] “DHT22 datasheet | Código Electrónica.” [Online]. Available: <http://codigoelectronica.com/blog/dht22-datasheet>. [Accessed: 28-Mar-2020].
- [54] Manual, “MQ-4 Semiconductor Sensor for Natural Gas.”
- [55] “Sensor de gas metano infrarrojo inteligente con detección de gas NDIR CH4 MH 742B MH742B|Sensores| - AliExpress.” [Online]. Available:

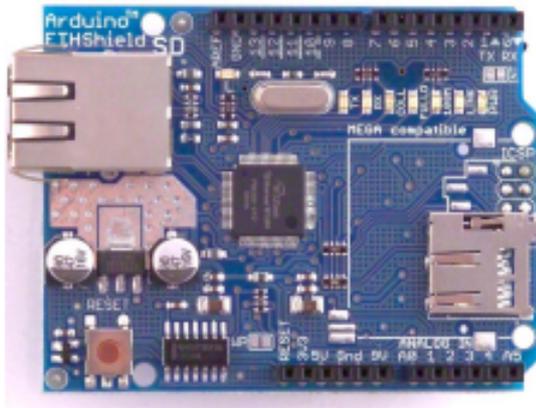
- [https://es.aliexpress.com/item/32960457198.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.f19b281chUbukC&algo\\_pvid=1d55d9df-5e07-43dd-9987-121b5ddc6d28&algo\\_expid=1d55d9df-5e07-43dd-9987-121b5ddc6d28-0&btsid=0ab6f83115854550051594090efcc7&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_,searchweb201603\\_](https://es.aliexpress.com/item/32960457198.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.f19b281chUbukC&algo_pvid=1d55d9df-5e07-43dd-9987-121b5ddc6d28&algo_expid=1d55d9df-5e07-43dd-9987-121b5ddc6d28-0&btsid=0ab6f83115854550051594090efcc7&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_). [Accessed: 28-Mar-2020].
- [56] “Arduino Mega 2560 Rev3 | Tienda oficial de Arduino.” [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>. [Accessed: 29-Mar-2020].
- [57] “Arduino Uno: Especificaciones y características | PlusElectric.” [Online]. Available: <https://pluselectric.wordpress.com/2014/09/21/arduino-uno-especificaciones-y-caracteristicas/>. [Accessed: 29-Mar-2020].
- [58] “Shield Ethernet económico W5100 wiznet - Geek Factory.” [Online]. Available: <https://www.geekfactory.mx/tienda/shields-arduino/ethernet-shield-economico-wiznet/>. [Accessed: 29-Mar-2020].
- [59] “NodeMCU ESP8266: Detalles y Pinout: 11 pasos - Instructables.” [Online]. Available: <https://www.instructables.com/id/NodeMCU-ESP8266-Details-and-Pinout/>. [Accessed: 29-Mar-2020].
- [60] J. Pastor, “Raspberry Pi 3 B+.” [Online]. Available: <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-3-model-b-analisis-mas-potencia-y-mejor-wifi-para-un-minipc-que-sigue-asombrando>. [Accessed: 29-Mar-2020].
- [61] “Raspberry Pi 2 Model B - Placa base (ARM Quad-Core 900 MHz, 1 GB RAM, 4 x USB, HDMI, RJ-45) de Raspberry Pi.” [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-2-model-b.php>. [Accessed: 29-Mar-2020].
- [62] “Certificado de calibración (rectas de calibración para suelo y sustratos) .” [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=2dTbIgrzih0>. [Accessed: 30-Mar-2020].

## Anexos

### Anexo A

En el Anexo, se puede observar el datasheet de la Shield Ethernet y sus características técnicas.

## Arduino Ethernet Shield



**Download:** [arduino-ethernet-shield-05-schematic.pdf](#), [arduino-ethernet-shield-05-reference-design.zip](#)

**Download:** [arduino-ethernet-shield-schematic.pdf](#), [arduino-ethernet-shield-reference-design.zip](#)

The Arduino Ethernet Shield allows an Arduino board to connect to the internet. It is based on the [Wiznet W5100](#) ethernet chip ([datasheet](#)). The Wiznet W5100 provides a network (IP) stack capable of both TCP and UDP. It supports up to four simultaneous socket connections. Use the [Ethernet library](#) to write sketches which connect to the internet using the shield. The ethernet shield connects to an Arduino board using long wire-wrap headers which extend through the shield. This keeps the pin layout intact and allows another shield to be stacked on top.

The latest revision of the shield adds a micro-SD card slot, which can be used to store files for serving over the network. It is compatible with the Arduino Duemilanove and Mega (using the Ethernet library coming in Arduino 0019). An SD card library is not yet included in the standard Arduino distribution, but the [sdfatlib](#) by Bill Greiman works well. See [this tutorial from Adafruit Industries](#) for instructions (thanks Limor!).

The latest revision of the shield also includes a reset controller, to ensure that the W5100 Ethernet module is properly reset on power-up. Previous revisions of the shield were not compatible with the Mega and need to be manually reset after power-up. The original revision of the shield contained a full-size SD card slot; this is not supported.

Arduino communicates with both the W5100 and SD card using the SPI bus (through the ICSP header). This is on digital pins 11, 12, and 13 on the Duemilanove and pins 50, 51, and 52 on the Mega. On both boards, pin 10 is used to select the W5100 and pin 4 for the SD card. These pins cannot be used for general i/o. On the Mega, the hardware SS pin, 53, is not used to select either the W5100 or the SD card, but it must be kept as an output or the SPI interface won't work.

Note that because the W5100 and SD card share the SPI bus, only one can be active at a time. If you are using both peripherals in your program, this should be taken care of by the corresponding libraries. If you're not using one of the peripherals in your program, however, you'll need to explicitly deselect it. To do this with the SD card, set pin 4 as an output and write a high to it. For the W5100, set digital pin 10 as a high output.

The shield provides a standard RJ45 ethernet jack.

## Anexo B

En el Anexo B se puede observar el datasheet del microcontrolador Arduino uno y sus características técnicas



### Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

### Index

Technical Specifications	Page 2
How to use Arduino Programming Environment, Basic Tutorials	Page 6
Terms & Conditions	Page 7
Environmental Policies half sqm of green via Impatto Zero®	Page 7



# Technical Specification

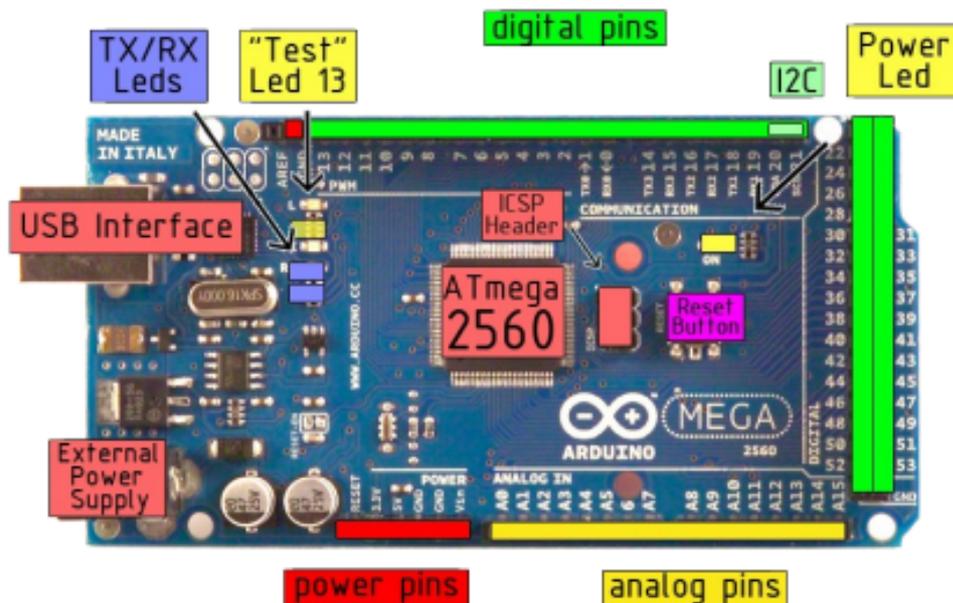


EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

## Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

## the board



*radiospares*

**RADIONICS**



Anexo C.

En el Anexo C se puede observar el datasheet del sensor BME 280 y sus características técnicas.



## **BME280** Combined humidity and pressure sensor



### **BME280 – Data sheet**

Document revision	1.6
Document release date	September 2018
Document number	BST-BME280-DS002-15
Technical reference code	0 273 141 185
Notes	Data and descriptions in this document are subject to change without notice. Product photos and pictures are for illustration purposes only and may differ from the real product appearance

## BME280

### Digital humidity, pressure and temperature sensor

#### Key features

- Package 2.5 mm x 2.5 mm x 0.93 mm metal lid LGA
- Digital interface I2C (up to 3.4 MHz) and SPI (3 and 4 wire, up to 10 MHz)
- Supply voltage  $V_{DD}$  main supply voltage range: 1.71 V to 3.6 V  
 $V_{DDIO}$  interface voltage range: 1.2 V to 3.6 V
- Current consumption 1.8  $\mu$ A @ 1 Hz humidity and temperature  
2.8  $\mu$ A @ 1 Hz pressure and temperature  
3.6  $\mu$ A @ 1 Hz humidity, pressure and temperature  
0.1  $\mu$ A in sleep mode
- Operating range -40...+85 °C, 0...100 % rel. humidity, 300...1100 hPa
- Humidity sensor and pressure sensor can be independently enabled / disabled
- Register and performance compatible to Bosch Sensortec BMP280 digital pressure sensor
- RoHS compliant, halogen-free, MSL1

#### Key parameters for humidity sensor

- Response time ( $\tau_{90\%}$ ) 1 s
- Accuracy tolerance  $\pm 3$  % relative humidity
- Hysteresis  $\pm 1$  % relative humidity

#### Key parameters for pressure sensor

- RMS Noise 0.2 Pa, equiv. to 1.7 cm
- Offset temperature coefficient  $\pm 1.5$  Pa/K, equiv. to  $\pm 12.6$  cm at 1 °C temperature change

#### Typical application

- Context awareness, e.g. skin detection, room change detection
- Fitness monitoring / well-being
  - Warning regarding dryness or high temperatures
  - Measurement of volume and air flow
- Home automation control
  - control heating, venting, air conditioning (HVAC)
- Internet of things
- GPS enhancement (e.g. time-to-first-fix improvement, dead reckoning, slope detection)
- Indoor navigation (change of floor detection, elevator detection)
- Outdoor navigation, leisure and sports applications
- Weather forecast
- Vertical velocity indication (rise/sink speed)

#### Target devices

- Handsets such as mobile phones, tablet PCs, GPS devices
- Navigation systems
- Gaming, e.g. flying toys
- Camera (DSC, video)
- Home weather stations
- Flying toys
- Watches

7.5 Package dimensions

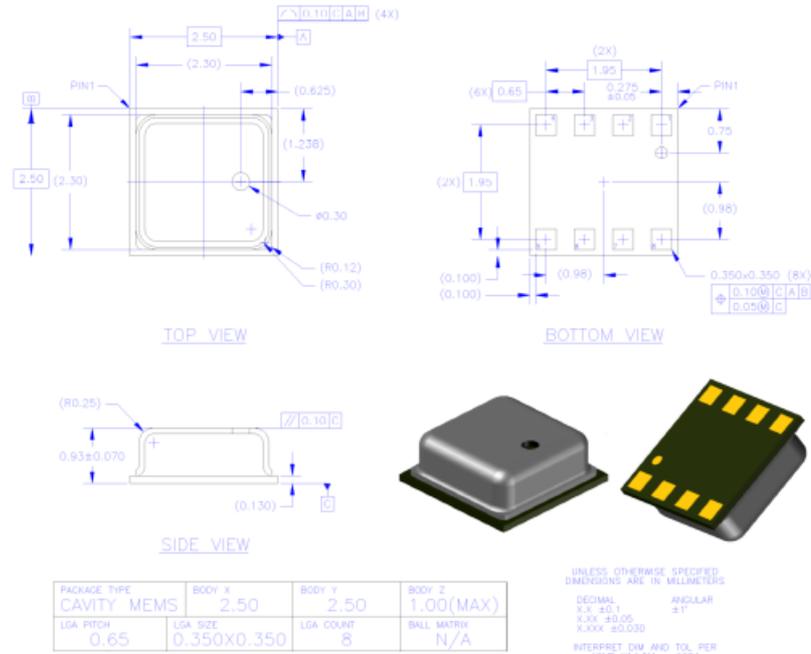


Figure 20: Package dimensions for top, bottom and side view

Anexo D

En el Anexo D se puede observar el datasheet del sensor MQ-4 y sus características técnicas.

**TECHNICAL DATA MQ-4 GAS SENSOR**

**FEATURES**

- \* High sensitivity to CH<sub>4</sub>- Natural gas.
- \* Small sensitivity to alcohol, smoke.
- \* Fast response . \* Stable and long life \* Simple drive circuit

**APPLICATION**

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of CH<sub>4</sub>, Natural gas, LNG, avoid the noise of alcohol and cooking fumes and cigarette smoke.

**SPECIFICATIONS**

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V <sub>c</sub>	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V <sub>H</sub>	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
R <sub>L</sub>	Load resistance	20K Ω	
R <sub>H</sub>	Heater resistance	33 Ω ± 5%	Room Tem
P <sub>H</sub>	Heating consumption	less than 750mw	

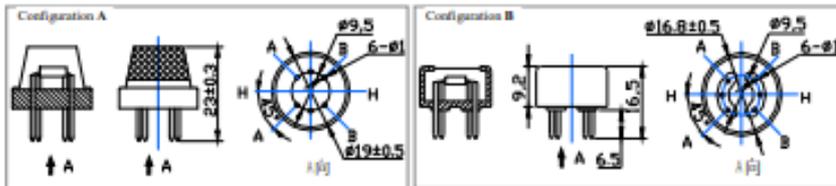
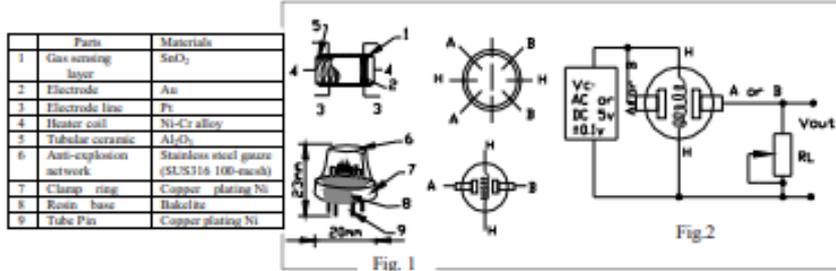
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T <sub>ao</sub>	Using Tem	-10℃-50℃	
T <sub>as</sub>	Storage Tem	-20℃-70℃	
R <sub>H</sub>	Related humidity	less than 95%Rh	
O <sub>2</sub>	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R <sub>s</sub>	Sensing Resistance	10K Ω - 60K Ω (1000ppm CH <sub>4</sub> )	Detecting concentration scope: 200-10000ppm CH <sub>4</sub> , natural gas
α (1000ppm/ 5000ppm CH <sub>4</sub> )	Concentration slope rate	≤0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20℃ ± 2℃ Humidity: 65%±5%	V <sub>c</sub> : 5V±0.1 V <sub>H</sub> : 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-4 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro  $Al_2O_3$  ceramic tube, Tin Dioxide ( $SnO_2$ ) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-4 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

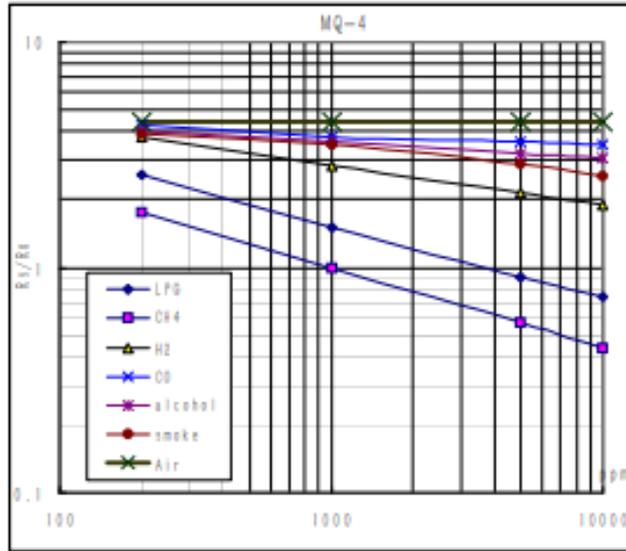


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-4

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-4 for several gases. in their: Temp: 20°C, Humidity: 65%,  $O_2$  concentration 21%,  $R_L=20k\ \Omega$ .  $R_0$ : sensor resistance at 1000ppm of  $CH_4$  in the clean air.  $R_s$ :sensor resistance at various concentrations of gases.

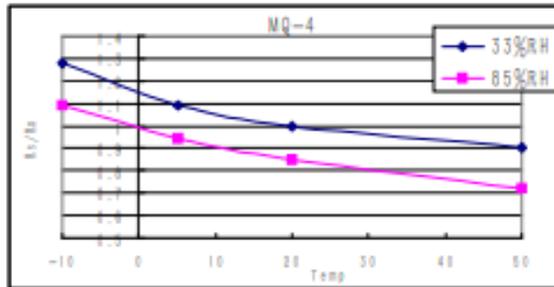


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-4 on temperature and humidity.  $R_0$ : sensor resistance at 1000ppm of  $CH_4$  in air at 33%RH and 20 degree.  $R_s$ : sensor resistance at 1000ppm of  $CH_4$  in air at different temperatures and humidities.

**SENSITIVITY ADJUSTMENT**

Resistance value of MQ-4 is difference to various kinds and various concentration gases. So,When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 5000ppm of  $CH_4$  concentration in air and use value of Load resistance ( $R_L$ ) about  $20K\ \Omega$  ( $10K\ \Omega$  to  $47K\ \Omega$ ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

## Anexo E

En el Anexo E se puede observar el datasheet del sensor de Suelo capacitivo y sus características técnicas.



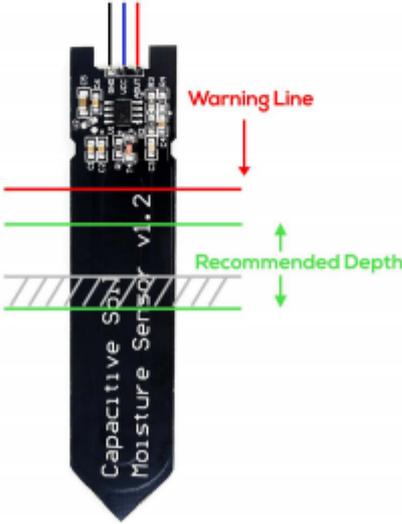
**Az-Delivery**  
Ihr Experte für Mikroelektronik!

**Hygrometer Modul V1.2**  
**Datenblatt**

### 5. Calibration

**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);  
}
```



The diagram shows a black, pointed sensor module labeled 'Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2'. A red horizontal line is drawn across the top of the sensor, labeled 'Warning Line' with a red arrow pointing to it. Below this, a green horizontal line is drawn, labeled 'Recommended Depth' with a green double-headed arrow indicating the distance between the two lines. The sensor is shown inserted into a cross-hatched area representing soil.

## Anexo F

Programación del sistema de descomposición aerobio. En el anexo C se muestra la programación del microcontrolador arduino Uno, encargado de la programación del circuito de control de elaboración de abono orgánico en un medio de descomposición aerobio

```
//ingresamos Librerias
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
//Recordar que los rele se activan con nivel BAJO (0)
#define RELAY_ON 0
#define RELAY_OFF 1
//Variables de pulsadores
#define PLAY A4
#define PAUSE A5
#define volteo A3
//variables ethernet
byte mac[] = {0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFF, 0xEE}; // Direccion MAC
byte ip[] = { 192, 168, 0, 54 }; // Direccion IP del Arduino
byte server[] = { 3, 23, 127, 12 }; // Direccion IP del servidor
EthernetClient client;
int ph_pin = A0; // Pin analogico "A0" para conectar la salida del sensor de pH
#define AOUT 1 // Pin analógico "A1" para conectar la salida del sensor de
humedad capacitivo
#define Pin 8 // Pin digital "8" para conectar la salida del sensor de temperatura
ds18b20
#include <OneWire.h> //Se importan las librerías
#include <DallasTemperature.h>

OneWire ourWire(Pin); //Se establece el pin declarado como bus para la
comunicación OneWire
DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se llama a la librería DallasTemperature
const int Valor_Sensor_Aire = 577; // Valor calculado con el programa de
calibración con el sensor al aire
const int Valor_Sensor_Agua = 303; // Valor calculado con el programa de
calibración con el sensor sumergido en agua

int valor_sensor = 0; // Variable que almacena el valor de salida del sensor de
humedad capacitivo
int porcentaje = 0; // Variable que almacena el porcentaje de humedad relativa del
terreno

long tiempo = 0;

//variable de entrada digital
```

## Anexo G

Programación del sistema de descomposición anaerobio. En el anexo G se muestra la programación del microcontrolador Arduino Mega 2560, encargado de la programación del circuito de control de elaboración de abono orgánico en un medio de descomposición aerobio.

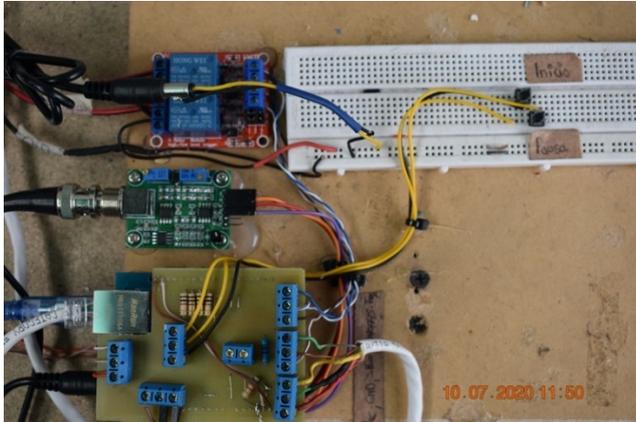
```
#include <Wire.h>
#include <SPI.h> //libreria SPI
#include "BlueDot_BME280.h" //libreria Sensor BME280
#include <MQUnifiedsensor.h> //libreria MQ-4
#include <Ethernet.h> //libreria shield ethernet

#define Board ("Arduino UNO")
#define Pin8 (A3) //Analog input of your arduino
#define Pin9 (A4) //Analog input of your arduino
#define Pin10 (A5) //Analog input of your arduino
#define Pin11 (A6) //Analog input of your arduino

#define Pin12 (A1) //Analog input of your arduino
#define Pin13 (A0) //Analog input of your arduino
#define Pin14 (A2) //Analog input of your arduino
#define Pin15 (A7) //Analog input of your arduino
/*****Macros relacionadas con el
software*****/
#define Type ("MQ-4") //MQ4
#define Voltage_Resolution (5)
#define ADC_Bit_Resolution (10) // For arduino UNO/MEGA/NANO
#define RatioMQ4CleanAir (4.4) //RS / R0 = 60 ppm
/*****
*****/
// variables para los botones
#define PLAY 48
#define PAUSA 49
/*****Globals*****/
*****/
//Declaracion del Sensor MQ-4
MQUnifiedsensor MQ41(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, Pin8,
Type);
MQUnifiedsensor MQ42(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, Pin9,
Type);
MQUnifiedsensor MQ43(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, Pin10,
Type);
```

Anexo H  
Resultado final del sistema de un medio aerobio.

Sistema electrónico



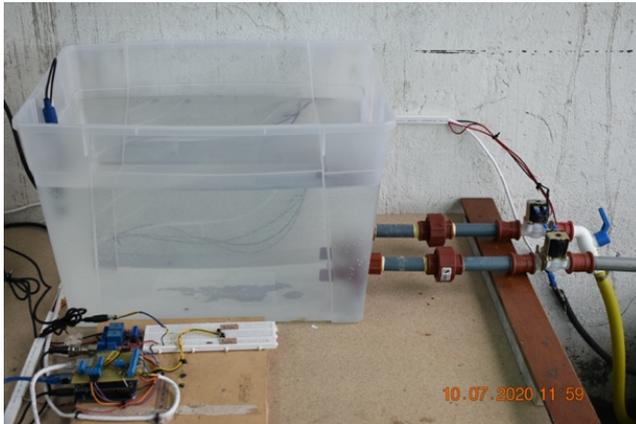
Sistema de control



Composta.



Llenado de tanque.



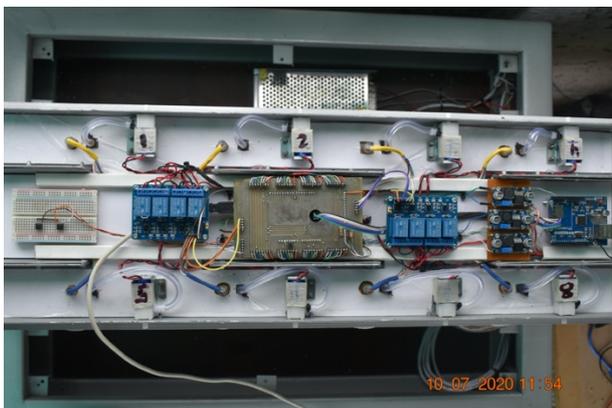
Sistema aerobio completa.



Anexo I

Resultado final del sistema de un medio anaerobio.

Sistema electrónico



Prototipo del sistema anaerobio antes de la adaptación de las muestras.



Colocación de sensores BME280 y CH-4



Preparación de materia orgánica con relación 1:3 (1kg de estiércol y 3 kg de Agua)



Mezcla de muestras, previa a su incorporación con el sistema electrónico y de control.



Sellado de las muestras a sensar.

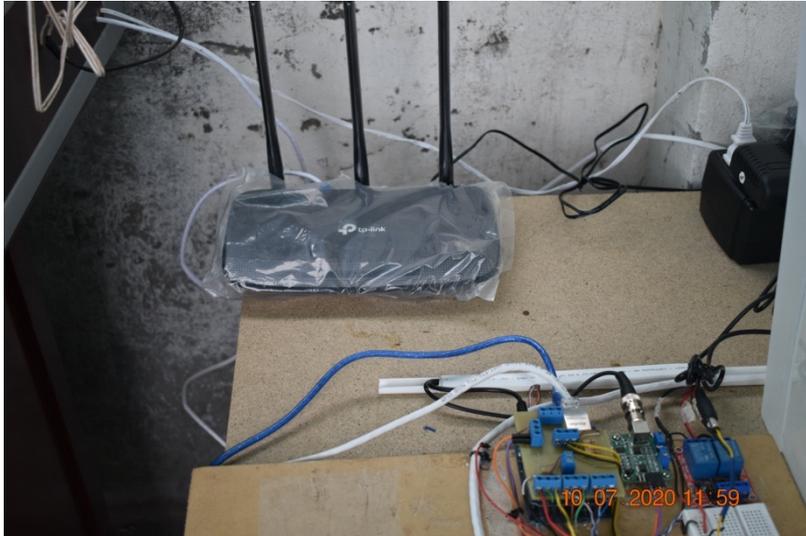


Inició de adquisición de los datos de los parámetros de temperatura, humedad y gas metano.



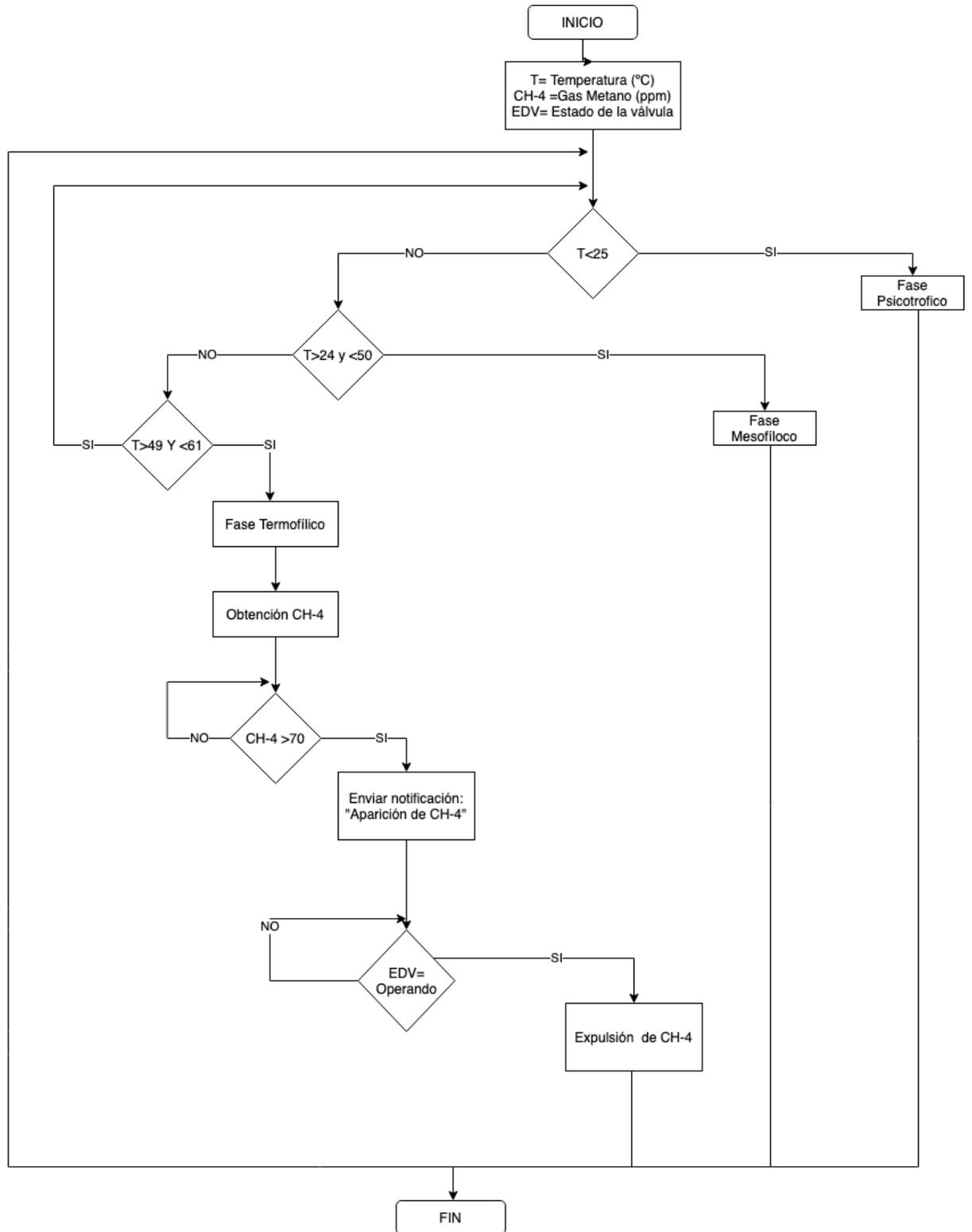
## Anexo J

Punto de acceso para la transmisión de datos hacia la nube.

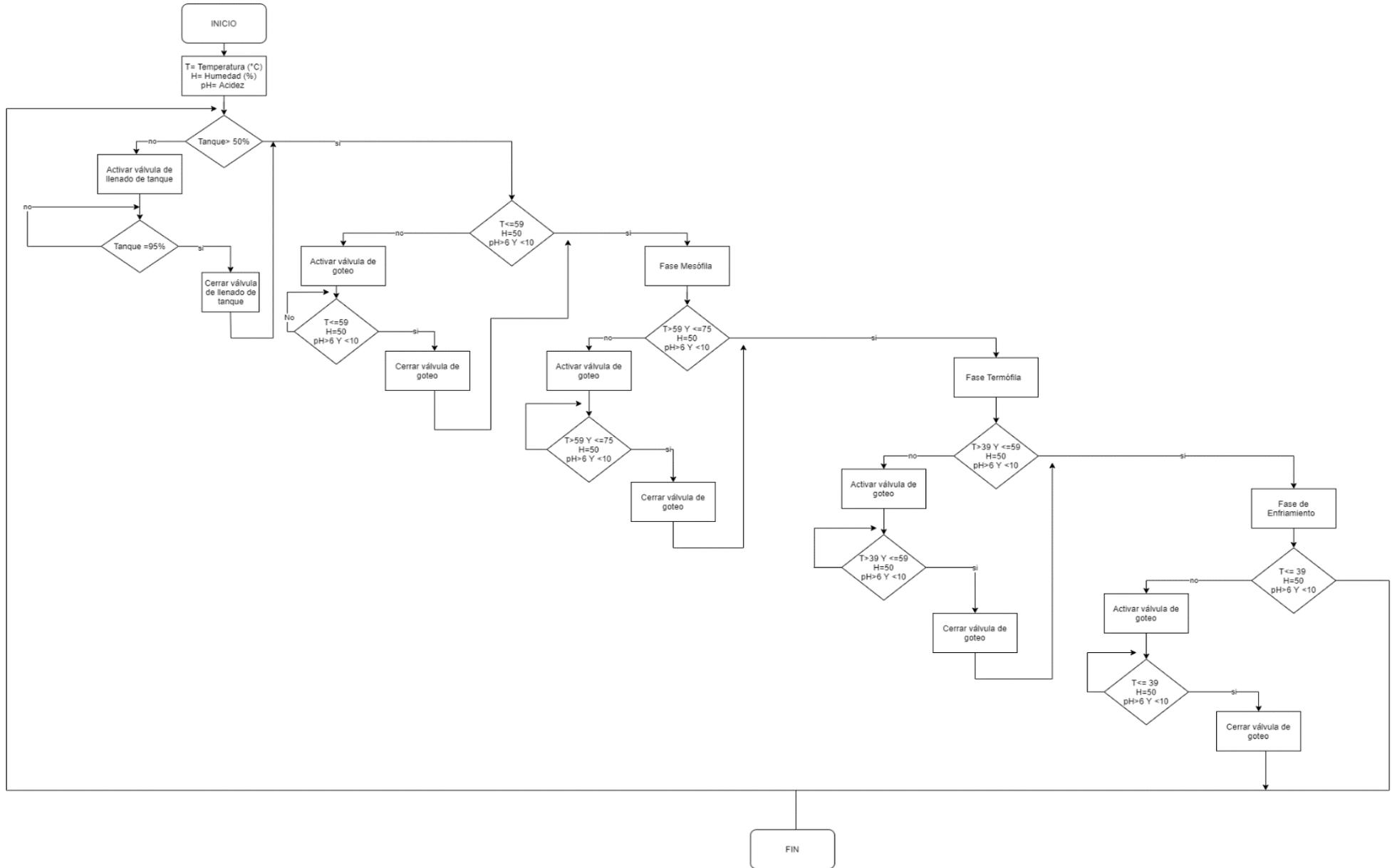


Anexo k

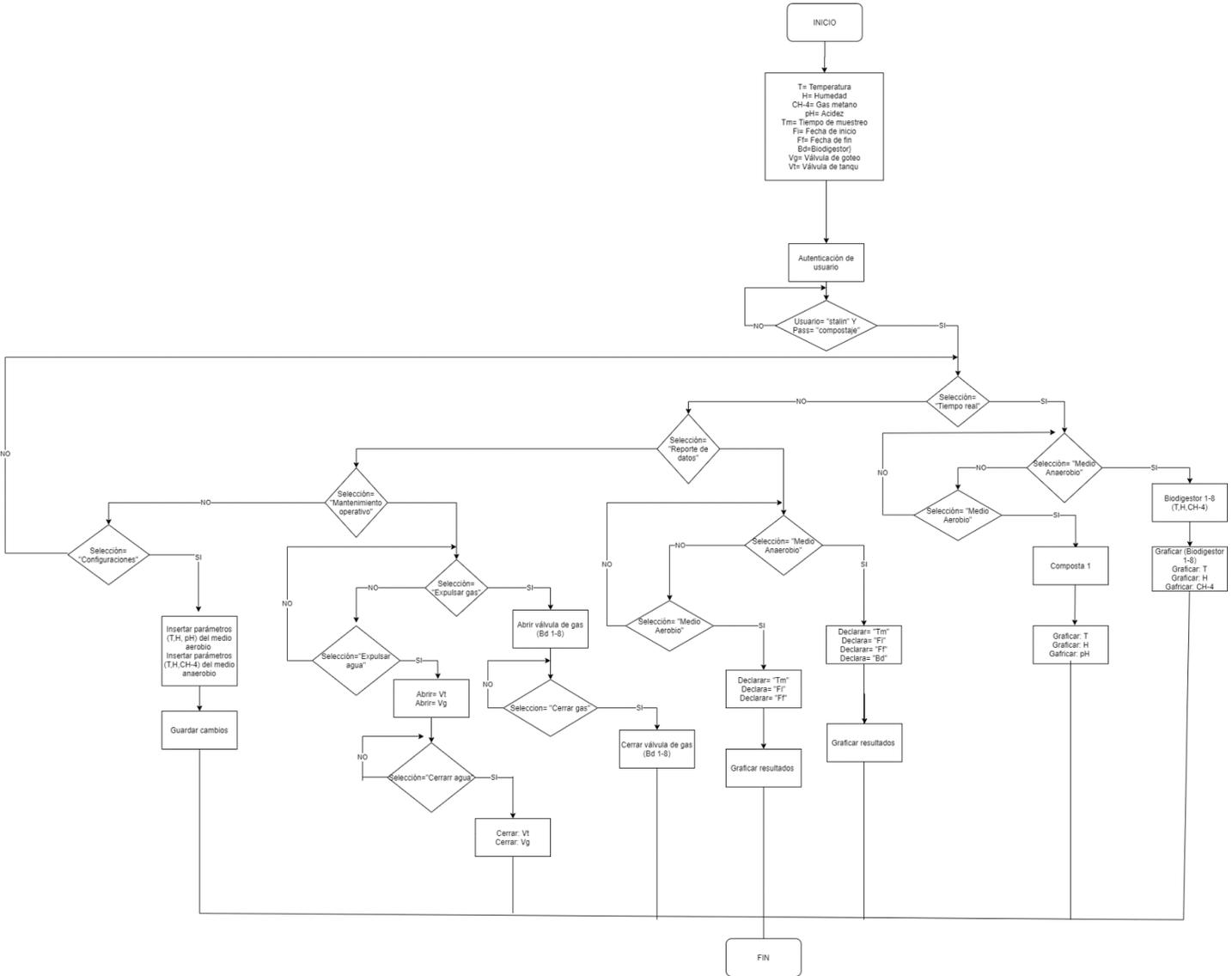
Flujograma para un sistema aerobio.



# Flujograma para un sistema anaerobio.

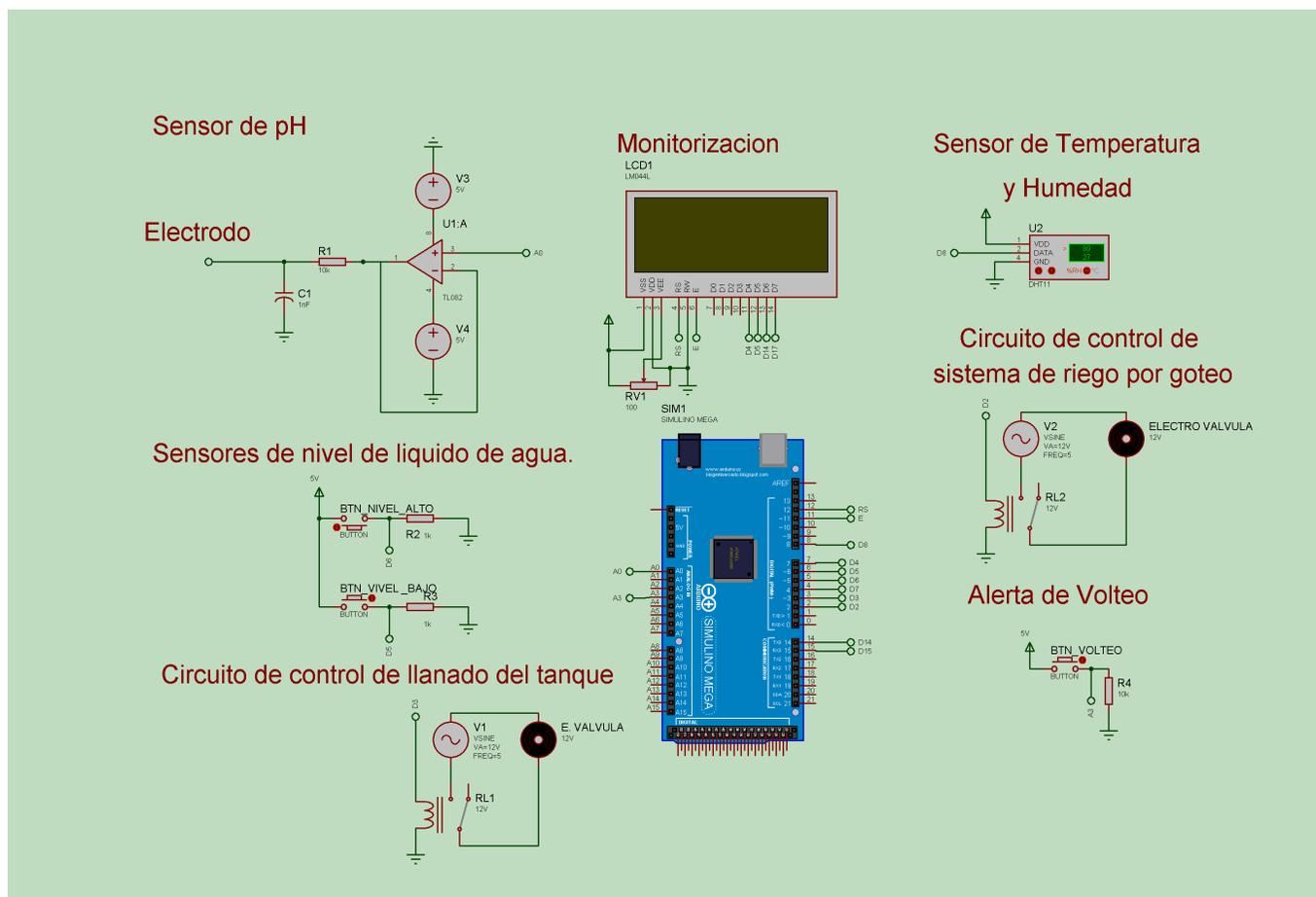


# Flujograma del sistema de control y monitoreo para la elaboración de abono orgánico



## Anexo L

Simulación realizada en software Proteus del sistema electrónico para un medio aerobio.



Simulación realizada en software Proteus del sistema electrónico para un medio anaerobio.

