UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

TEMA:

"SISTEMA DE CONTROL DE CONDICIONES DEL MICROCLIMA PARA LA PREVENCIÓN DE CONTAMINANTES MICROBIANOS Y PRODUCCIÓN DE COMPOST MEDIANTE UN CONTROL INTELIGENTE AUTOMATIZADO PARA SISTEMAS MICROFARMS"

AUTORA: BLANCA LUCIANA SEGOVIA ROSERO

DIRECTOR: MSc. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

IBARRA – ECUADOR

2023

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004560148		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Segovia Rosero Blanca Luciana		
DIRECCIÓN:	Calle Quito y Línea Férrea, Otavalo		
EMAIL:	blsegoviar@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062925959	**TELÉFONO MÓVIL:**	0991320809

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"Sistema de control de condiciones del microclima para la prevención de contaminantes microbianos y producción de compost mediante un control inteligente automatizado para sistemas microfarms"
AUTOR (ES):	Segovia Rosero Blanca Luciana
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	14 de julio, 2023
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** □ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Electrónica y Redes de Comunicación
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MsC.

CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 14 días del mes de julio de 2023.

LA AUTORA:

Blanca Luciana Segovia Rosero
CI:1004560148

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN:

MAGÍSTER JAIME MICHILENA, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que el presente trabajo de Titulación: "SISTEMA DE CONTROL DE CONDICIONES DEL MICROCLIMA PARA LA PREVENCIÓN DE CONTAMINANTES MICROBIANOS Y PRODUCCIÓN DE COMPOST MEDIANTE UN CONTROL INTELIGENTE AUTOMATIZADO PARA SISTEMAS MICROFARMS", ha sido desarrollado por la señorita Blanca Luciana Segovia Rosero bajo mi supervisión.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

MSc. Jaime Roberto Michilena Calderón

1002198438

DIRECTOR

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación va dedicado con todo mi amor y admiración a mi mamita Merceditas, por hacer de mí una mejor persona día con día, por enseñarme que la vida es de los valientes, de los que se arriesgan y perseveran, por ser mi luz, mi guía; y ser la única persona que jamás dejo de creer en mi en todo este camino recorrido. Este logro es por y para usted.

Le amo mi bonita.

Blanca Luciana Segovia Rosero

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y al Sagrado corazón de Jesús por ser mi fortaleza y mi guía; por darme sabiduría en este proceso y camino recorrido.

Mi agradecimiento eterno con mi madre Merceditas, por ser mi apoyo absoluto y mi pilar fundamental de vida, por la paciencia y el amor tan grande e incondicional que me tiene, por ser un claro ejemplo de lucha, constancia, perseverancia, y esfuerzo; gracias por ser madre y padre para mí y hacer todo lo posible para que yo cumpla mis sueños, sin su entrega nada de esto sería posible.

A mis sobrinas Damaris, Danaé y Danika, por todos los buenos momentos que me han permitido vivir a su lado desde que llegaron a mi vida con todas sus travesuras y por su apoyo constante durante todo este tiempo.

A mi hermana Margarita, quién me ha brindado sus palabras de aliento y motivación en los momentos difíciles; gracias por tu respaldo y cariño incondicional.

Esta etapa universitaria me deja grandes personas con quienes compartí hermosos momentos gracias, Karly y Mely por las risas, llantos, desveladas y todos los momentos vividos, que suerte haber compartido esta etapa con ustedes. A mi persona especial Romel; gracias por tu constante apoyo, tu tiempo y motivación, incluso por creer en mí cuando yo dudaba.

A mis amigos de toda la vida que siempre estuvieron al pendiente de mi con su apoyo y palabras de aliento; Mishu, Jefferson, Nathy, Jeni, Alexis y Carlos.

A la Universidad Técnica del Norte por permitir mi formación profesional en tan prestigiosa institución, a todos los docentes que conforman la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación por brindarme sus conocimientos en esta etapa y permitir formarme como profesional con valores éticos.

Mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, el Ing. Jaime Michilena por su paciencia, guía, conocimiento, y tiempo dedicado para la culminación de este trabajo de titulación.

Al Ing. Luis Suárez por su asesoría y acompañamiento en el desarrollo de este proyecto de investigación.

Finalmente, un agradecimiento especial a la Ing. Sandra Narváez quien con su paciencia, amabilidad, comprensión y empatía me permitió realizar este proceso de culminación de trabajo de titulación.

Blanca Luciana Segovia Rosero

ÍNDICE

1 CAPÍTULO I. ANTECEDENTES 28

1.1 Tema 28

1.2 Problema 28

1.3 Objetivos 30

1.3.1 Objetivo General 30

1.3.2 Objetivos Específicos 30

1.4 Alcance 31

1.5 Justificación 32

2 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 33

2.1 Introducción 33

2.2 Efecto Invernadero 33

2.2.1 Tipos de Gases de Efecto Invernadero 35

2.3 Compostaje 40

2.3.1 Minerales de la Composta y aporte nutricional a las plantas. 41

2.3.2 Ventajas del Compostaje 42

2.3.3 Tipos de Compostaje 44

2.3.4 Técnicas de compostaje 47

2.3.5 Materiales para realizar composta 53

2.3.6 Fases del Ciclo de Compostaje 54

2.3.7 Calidad de Composta y parámetros 56

2.4 Sistemas Microfarms 59

2.5 Sistemas embebidos 60

2.5.1 Microcontrolador 61

2.6 Sensores 63

2.6.1 Clasificación de sensores 64

2.7 Plataformas de programación para sensores 67

2.8 Lenguajes de programación 70

2.8.1 Matlab 70

2.8.2 C++ 71

2.8.3 JavaScript 71

2.8.4 Java 71

2.8.5 Python 71

2.9 Bases de datos 72

2.9.1 MySQL 72

2.9.2 MariaDB 72

2.9.3 PostgreSQL 73

2.10 Machine Learning 73

2.10.1 Aprendizaje supervisado 74

2.10.2 Aprendizaje no supervisado 75

2.10.3 Aprendizaje por Refuerzo 76

2.11 Redes Neuronales 77

2.11.1 Tipos de Redes Neuronales 79

2.12 Metodología 80

3 CAPÍTULO III. DESARROLLO EXPERIMENTAL 83

3.1 Análisis de la situación actual 83

3.2 Diagrama de bloques de funcionamiento del sistema 87

3.3 Requerimientos 89

3.3.1 Requerimientos de Stakeholders 90

3.3.2 Requerimientos iniciales del sistema 92

3.3.3 Requerimientos de arquitectura 94

3.4 Selección de elementos Hardware y Software 96

3.4.1 Hardware 97

3.4.2 Software 110

3.5 Diseño de estructura del contenedor 115

3.6 Diseño del sistema de control para la elaboración de compostaje 117

3.7 Fuente de alimentación del sistema 119

3.8 Esquema de Conectividad del Servidor Local 120

3.8.1 Diagrama de Flujo del Servidor Local 120

3.9 Esquema de Conexión del Nodo de sensores 122

3.9.1 Esquema de Conexión de Sensores – Fase de Entrenamiento 122

3.9.2 Esquema de conexión de Sensores – Fase Final 123

3.10 Diseño de Placa PCB del Sistema 124

3.11 Preparación y Calibración de sensores 125

3.11.1 Sensor capacitivo de humedad del suelo 125

3.11.2 Módulo sensor de temperatura y humedad del ambiente DHT22 128

3.11.3 Sensor de gas metano MQ2 131

3.12 Desarrollo y explicación de la parte de Software del Sistema 138

3.12.1 Sensor capacitivo de humedad del suelo – Lectura de datos 140

3.12.2 Sensor de temperatura ambiente DHT22- Lectura de datos 141

3.12.3 Sensor de gas metano MQ2- Lectura de datos 142

3.12.4 Envió de datos entre el nodo de sensores y el nodo servidor 146

3.12.5 Recepción de datos en NodeRed 149

3.13 Procesamiento de datos 152

3.14 Almacenamiento de variables 161

4 CAPITULO IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO 173

4.1 Implementación de la estructura del sistema 173

4.2 Implementación de compostera y elaboración de compost 175

4.3 Implementación electrónica 179

4.4 Comprobación de funcionamiento del nodo del servidor 183

4.4.1 Base de datos 183

4.4.2 Software de procesamiento de datos 184

4.5 Predicción del parámetro de metano a partir del modelo de red neuronal 185

4.5.1 Comparativa datos de entrenamiento y predicción de la red neuronal 188

4.6 Evaluación de resultados 191

4.6.1 Análisis de datos, temperaturas entre los 55 y 65 grados centígrados 191

4.6.2 Análisis de datos, temperaturas entre los 19 y 53 grados centígrados. 193

4.6.3 Verificación de funcionamiento del nodo de notificación 194

4.6.4 Análisis de la composta 196

4.7 Comprobación del funcionamiento del Canal de la plataforma ThingSpeak 200

4.8 Costo del sistema 206

4.8.1 Costo de hardware 206

4.8.2 Costo de Software 207

4.8.3 Costo de la infraestructura del sistema 208

4.8.4 Costo de Ingeniería 209

4.8.5 Costo Total 210

4.9 Beneficios de la implementación del sistema 211

CONCLUSIONES 213

RECOMENDACIONES 216

BIBLIOGRAFÍA 218

ANEXOS 228

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Incremento de valores de CO2 en ppm desde 2018 a 2022 36

Figura 2 Incremento de valores de gas metano en ppb desde 2018 a 2022 37

Figura 3 Incremento de valores de óxido nitroso en ppb desde 2018 a 2022 38

Figura 4 Esquema general de composición del compost 41

Figura 5 Composición de nutrientes de una planta 42

Figura 6 Aspecto del compost de residuos 45

Figura 7 Aspecto del compost de estiércol de animales de granja 45

Figura 8 Aspecto del compost de estiércol de animales de granja 46

Figura 9 Aspecto del Vermicompost 47

Figura 10 Técnica de compostaje de pila Aireada 48

Figura 11 Técnica de compostaje directo 49

Figura 12 Técnica de compostaje en contenedores calientes aislados 50

Figura 13 Técnica de compostaje con Tumblers 51

Figura 14 Técnica de compostaje de Berkeley 52

Figura 15 Técnica de compostaje reciclables de hogar 53

Figura 16 Materiales permitidos y no permitidos para compostar 54

Figura 17 Diseño de estructural de una Microfarm 60

Figura 18 Micrococontroladores ESP32 y ESP8266 62

Figura 19 Organizador gráfico de la clasificación de sensores y función 65

Figura 20 Flujograma del proceso de aprendizaje supervisado 75

Figura 21 Flujograma del proceso de aprendizaje no supervisado 76

Figura 22 Flujograma del proceso de aprendizaje por refuerzo 77

Figura 23 Estructura simple de una Red neuronal 78

Figura 24 Metodología Action Research – Fases 81

Figura 25 Diagrama de bloques del sistema. 87

Figura 26 Módulo sensor capacitivo de humedad del suelo 99

Figura 27 Sensor DHT22 102

Figura 28 Aspecto del sensor MQ2 104

Figura 29 Modelo de ordenador Dell Inspiron 5558 i5 107

Figura 30 Placa microcontrolador ESP32 110

Figura 31 Diseño estructural de la caja de resguardo para elaboración de composta. .. 116

Figura 32 Estructura interna de la caja, divisiones realizadas para la distribución de elementos 117

Figura 33 Diagrama de bloques de software 118

Figura 34 Conexión del servidor local a la fuente de alimentación 120

Figura 35 Diagrama de flujo del funcionamiento del servidor Local 121

Figura 36 Diagrama de conexión de sensores para la fase de entrenamiento. 123

Figura 37 Diagrama de conexión fase final 124

Figura 38 Diseño PCB para el microcontrolador y los sensores 125

Figura 39 Conexión de sensor capacitivo de humedad del suelo al microcontrolador.. 126

Figura 40 Diagrama de flujo de proceso de calibración del sensor capacitivo de humedad del suelo 127

Figura 41 Diagrama de flujo de lectura de datos análogos y conversión a porcentaje de humedad 128

Figura 42 Esquema de conexión del sensor DHT22 al microcontrolador 129

Figura 43 Diagrama de flujo de la lectura de datos del sensor DHT22 131

Figura 44 Esquema de conexión circuital del sensor MQ2 al microcontrolador..... 132

Figura 45 Delimitación de valores en el eje de las X y Y de la gráfica de características de sensibilidad del sensor MQ2 133

Figura 46 Asignación de valores a los ejes X y Y en base a la gráfica del datasheet del sensor..... 133

Figura 47 Marcado de puntos de intersección de la curva de sensibilidad del metano . 134

Figura 48 Gráfica de sensibilidad del gas metano de los datos obtenidos..... 136

Figura 49 Diagrama de flujo de calibración de sensor MQ2 138

Figura 50 Diagrama de flujo del nodo de sensores..... 139

Figura 51 Código de lectura de datos análogos con el sensor capacitivo y transferencia de los datos a porcentaje de humedad..... 140

Figura 52 a) Toma de valores captada em el monitor serie de Arduino b) Sensor de humedad sumergido en tierra con poco porcentaje de humedad. 141

Figura 53 Código de lectura de datos del sensor DHT22 141

Figura 54 Lectura de datos del sensor DHT22 y visualización de parámetros mediante monitor serie..... 142

Figura 55 Calibración y lectura del sensor en el bloque principal de programación..... 142

Figura 56 Código de cálculo de la resistencia MQ. 143

Figura 57 Código de calibración MQ 144

Figura 58 Código del subproceso de Lectura MQ..... 144

Figura 59 Código de programación para obtener el porcentaje de gas en ppm..... 145

Figura 60 Código para obtener el porcentaje de metano - no logarítmico 145

Figura 61 a) Lectura de datos con el sensor MQ2 b) Sensor MQ2 expuesto a CO2 para verificación de valores en ppm 146

Figura 62 Código para definir librerías..... 147

Figura 63 Configuraciones de red y configuraciones para cliente..... 147

Figura 64 Definición de variables para sensores 148

Figura 65 Declaración de Variables para MQ2 y variable de válvula..... 148

Figura 66 Envío y publicación de datos desde el ESP32 al servidor local..... 149

Figura 67 Estructura del flujo en Node-Red..... 149

Figura 68 Recepción de datos mediante la función MQTT IN en Node-Red 150

Figura 69 Configuración de nodo mqtt in..... 150

Figura 70 Código de la Función de trama de Datos 151

Figura 71 Código de la función del Tensor de entrada..... 152

Figura 72 Nodo del modelo de red neuronal para la predicción del metano. 153

Figura 73 Importación de librerías en Googlecolab 155

Figura 74 Importación de tablas de entrada y salidas, definición de arreglo..... 155

Figura 75 Código de estructuración de red neuronal..... 156

Figura 76 Definición de modelo de optimizador ADAM..... 157

Figura 77 Entrenamiento de la red neuronal..... 158

Figura 78 Ejecución de prueba de predicción del valor de gas metano..... 159

Figura 79 Carga del nuevo modelo guardado para verificación..... 160

Figura 80 Convertir el modelo de red neuronal con tensorflow 160

Figura 81 Modificación de parámetros y asignación de modelo de red neuronal en el nodo de Node-Red..... 161

Figura 82 a) Modelo base de datos compost b) Verificación de base información de base de datos y tabla de sensores en la interfaz gràfica 162

Figura 83 Configuracion del nodo de Conexión de BDD 163

Figura 84 Código de normalización de datos e ingreso de valores en BDD 164

Figura 85 Visualización de datos almacenados en base de datos 164

Figura 86 Configuracion de nodo function para la variable temperatura 165

Figura 87 Configuracion de nodo function para la variable metano 165

Figura 88 Configuracion de nodo function para la variable Humedad Relativa 166

Figura 89 Configuracion de nodo function para la variable Humedad del suelo 166

Figura 90 Código de configuración de notificación 167

Figura 91 Configuracion de nodo de email para envió y recepción de notificación 168

Figura 92 Configuracion del channel en ThingSpeak 168

Figura 93 Verificación de clave de conexión de API 170

Figura 94 Configuracion de nodo ThingSpeak para la variable temperatura 170

Figura 95 Configuración de nodo ThingSpeak para la variable metano 171

Figura 96 Configuración de nodo ThingSpeak para la variable Humedad Relativa 171

Figura 97 Configuración de nodo ThingSpeak para la variable Huemdad del suelo 172

Figura 98 Estructura interna de la caja 174

Figura 99 Estructura externa de la caja..... 175

Figura 100 a) Preparación de contenedor de composta b) Ubicación de contenedor en la caja de tierra..... 176

Figura 101 a) Proceso de preparación de residuos b) Contenedor de residuos listos..... 177

Figura 102 Estructuración de capas de composta en el contenedor 178

Figura 103 Humectación del contenido de compostera 179

Figura 104 a) Conexión a la toma de agua b) Conexión a la electroválvula 180

Figura 105 Estructuración del nodo sensores 181

Figura 106 Placa de sensores integrados en la caja de protección..... 182

Figura 107 Distribución de sensores en la placa..... 182

Figura 108 Inicialización de la base de datos 183

Figura 109 Verificación de funcionamiento de BDD..... 184

Figura 110 Verificación de recepción de datos 185

Figura 111 Gráfica de función de pérdidas del modelo de red neuronal..... 186

Figura 112 Verificación de pesos y sesgos de la red neuronal 187

Figura 113 Prueba de predicción de datos..... 188

Figura 114 Toma de datos y predicción de metano..... 189

Figura 115 Toma de datos y predicción de metano, temperaturas > a 55°..... 190

Figura 116 Verificación de no envío de notificación al correo, temperaturas > a 65° .. 194

Figura 117 Recepción de valores, temperaturas > a 65° 195

Figura 118 Verificación de notificaciones de correo de alerta 196

Figura 119 Verificación de color de compost..... 197

Figura 120 a) Composta antes de ser compactada b) Composta compactada 198

Figura 121 Verificación de ausencia de componentes originales..... 198

Figura 122 Verificación de fase de maduración 199

Figura 123 Verificación de cantidad de contenido luego del compostaje 200

Figura 124 Ingreso de correo para logueo en la plataforma ThinSpeak..... 201

Figura 125 Muestra de ingreso de contraseña para inicializar el login 201

Figura 126 Ingreso a los canales del perfil 202

Figura 127 Selección de channel del proyecto 202

Figura 128 Monitoreo de los valores en el channel de thingspeak 203

Figura 129 Análisis de la gráfica del valor de metano en la plataforma ThingSpeak. .. 204

Figura 130 Análisis de la gráfica del valor del sensor de humedad del suelo en la plataforma ThingSpeak. 204

Figura 131 Análisis de la gráfica del valor del sensor de DHT22 – datos de temperatura ambiente en la plataforma ThingSpeak. 205

Figura 132 Análisis de la gráfica del valor del sensor de DHT22 – dato de humedad relativa del ambiente en la plataforma ThingSpeak. 206

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Abreviatura de términos que se han utilizado para analizar los requisitos de sistema 90

Tabla 2 Listado de Stakeholders del proyecto 90

Tabla 3 Descripción de prioridades de requerimientos..... 91

Tabla 4 Requerimientos Operacionales y de usuario de Stakeholders 91

Tabla 5 Requerimiento del sistema..... 92

Tabla 6 Requerimientos de arquitectura 94

Tabla 7 Selección de Sensor de humedad del suelo..... 97

Tabla 8 Especificaciones técnicas de los sensores de humedad del suelo 98

Tabla 9 Selección de sensor de humedad relativa y temperatura 99

Tabla 10 Especificaciones técnicas de los sensores de humedad relativa y temperatura. 100

Tabla 11 Selección de sensor de gas metano 102

Tabla 12 Especificaciones técnicas de los sensores de detección de gas metano..... 103

Tabla 13 Selección de placa para procesamiento de datos 105

Tabla 14 Características técnicas de servidor para procesamiento de datos..... 105

Tabla 15 Elección de microcontrolador..... 108

Tabla 16 Especificaciones Técnicas de microcontroladores..... 108

Tabla 17 Comparativa de software para admisión de datos..... 111

Tabla 18 Comparativa de software para el procesamiento de datos 112

Tabla 19 Tabla comparativa de software para almacenamiento de datos. 113

Tabla 20 Tabla comparativa de software para visualización de datos. 114

Tabla 21 Valores de corriente de los componentes y sumatoria..... 119

Tabla 22 Tabla de valores aproximados de la curva logarítmica del metano 134

Tabla 23 Extracto de base de datos de entrenamiento 189

Tabla 24 Extracto de base de datos de entrenamiento, temperaturas > a 55° 190

Tabla 25 Tabla de análisis de resultados, temperaturas entre 55 y 65 grados 192

Tabla 26 Tabla de análisis de resultados, temperaturas entre 19 y 53 grados 193

Tabla 27 Tabla de costos de hardware implementado 206

Tabla 28 Tabla de costos de software 207

Tabla 29 Tabla de costos de infraestructura..... 208

Tabla 30 Tabla de costos de ingeniería..... 209

Tabla 31 Sumatoria total del costo del proyecto..... 210

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datasheet Sensor Capacitivo de humedad del suelo 228

Anexo 2. Datasheet del sensor MQ2 233

Anexo 3. Datasheet del sensor DHT22 235

Anexo 4. Datasheet del ordenador implementado como servidor 243

Anexo 5. Proceso de elaboración de Placa 253

Anexo 6: Código de programación del nodo de sensores 260

Anexo 7: Código de programación del modelo de red neuronal 264

Anexo 8: Flujo de nodos del procesamiento de datos en Node – Red y modelo de red 264

Anexo 9: Extracto de base de datos, filtrado entre 55 y 65 grados para el análisis de datos 264

Anexo 10: Extracto de base de datos para el análisis con filtro temperaturas menor a 55 grados 268

RESUMEN

Este proyecto se enfoca en la investigación, desarrollo e implementación de un sistema de control de variables de microclima para la prevención de contaminantes microbianos en la producción de compost, el objetivo fundamental es la investigación de los métodos de compostaje y como mediante estos se puede aportar para prevenir la producción de uno de los gases que son parte del efecto invernadero como es el gas metano. Esto se realiza mediante la toma de datos a través de sensores que pueden ser monitoreados en una plataforma de aplicación de IoT. Para evitar la producción de efecto invernadero se ha realizado un modelado de red neuronal la cual ayudará a predecir el dato del metano a partir de las variables de temperatura del ambiente, humedad relativa del ambiente y la humedad del suelo de la composta. Para estructurar el modelo se realizó una previa toma de datos de entrenamiento con el fin de que la red neuronal a partir de estos logre resultados con precisión.

El desarrollo del proyecto está basado en la metodología "Action Research" lo que traducido al español es la metodología de Investigación de Acción, la cual está enfocada en el proceso cíclico que conlleva a la solución de los problemas que se revelan en todo el transcurso de la etapa de práctica buscando como objetivo principal no perder la idea de la investigación planteada en un inicio.

Para realizar el diseño de este sistema se utiliza hardware y software de libre acceso, se realiza la implementación de una infraestructura adecuada para realizar la producción de compost. Esta infraestructura se encuentra conformada por una caja cerra, forrada por plástico de invernadero que simulara el ambiente caliente para la producción de compost, en el interior se

encuentra adaptado un contenedor para preparar el contenido y el sistema de tubería para mantener húmedo el mismo, además de un calefactor para inducir el ambiente a elevadas temperaturas y la caja de protección del nodo de sensores con su respectiva placa y elementos para la toma de datos de las variables (temperatura ambiente, humedad del suelo, humedad relativa del ambiente). Para la implementación del proyecto se creó y entrenó un modelado de red neuronal buscando la precisión en los resultados y mínima perdida de información, este modelo permite la predicción del gas metano. Valores que al ser analizados se pueden verificar que al aplicar el método de compostaje caliente reduce significativamente el porcentaje de producción de gas metano debido a que los residuos a altas temperaturas pasan por procesos biológicos aeróbicos que permiten eliminar la producción de bacterias y este tipo de gas invernadero.

Estos datos son vinculados a una plataforma IoT que permite el acceso desde cualquier lugar para llevar a cabo el monitoreo de las variables de cada sensor y la predicción del gas metano. Al culminar el desarrollo de este proyecto se logró observar que el compost generado es adecuado para la aplicación a los sistemas microfarms, gracias a los nutrientes sólidos y líquidos que se produjeron y a la comparación con las características que debe cumplir un compost para ser viable y de calidad aplicando el método de compostaje de Berkeley.

ABSTRACT

This project focuses on the research, development, and implementation of a microclimate variable control system for the prevention of microbial contaminants in compost production. The main objective is to investigate composting methods and how they can contribute to preventing the production of one of the greenhouse gases, methane. This is achieved by collecting data through sensors that can be monitored on an IoT application platform. To prevent greenhouse gas production, a neural network model has been developed to predict methane levels based on environmental temperature variables, relative humidity, and compost moisture. The model was structured using pre-collected training data to ensure accurate results.

The project development is based on the "Action Research" methodology, which focuses on the cyclic process of problem-solving throughout the practical stage while maintaining the main research idea from the beginning.

To design this system, freely accessible hardware and software are used, and suitable infrastructure is implemented for compost production. The infrastructure consists of a closed box covered with greenhouse plastic to simulate a warm environment for composting. Inside, there is a container for preparing the content, a piping system to maintain moisture, a heater to raise the temperature, and a sensor node enclosure with its corresponding board and elements for data collection of variables such as ambient temperature, soil moisture, and relative humidity. A neural network model was created and trained for the project implementation, aiming for result accuracy and minimal information loss. This model enables methane prediction. When analyzed, it is observed that applying the hot composting method significantly reduces methane production

percentage due to the high-temperature aerobic biological processes that eliminate bacterial growth and this type of greenhouse gas.

These data are linked to an IoT platform that allows access from anywhere to carry out monitoring of each sensor's variables and prediction of methane gas. At the end of the development of this project, it was observed that the generated compost is suitable for application to microfarms systems, thanks to the solid and liquid nutrients produced and the comparison with the characteristics that a compost must meet to be viable and of quality, applying the Berkeley composting method.

1 CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 Tema

Sistema de control de condiciones del microclima para la prevención de contaminantes microbianos y producción de compost mediante un control inteligente automatizado para sistemas microfarms.

1.2 Problema

El calentamiento global es una problemática que cada vez es más evidente y genera preocupación en la humanidad. Es así como varias investigaciones denotan que una de las causas principales es el efecto invernadero. El inadecuado tratamiento de desechos orgánicos e inorgánicos ha hecho que la descomposición de estos genere una gran cantidad de CO2. A causa de esto se puede observar que día a día los efectos atmosféricos son cada vez más agresivos. Esto se debe a la concentración de gases que afecta el deterioro de la atmósfera y produce la elevación significativa de la temperatura en el planeta. A diario invernaderos y sectores de producción agrícola generan gran cantidad de material de desechos que son arrojados a vertederos. Conforme transcurre el tiempo se genera la descomposición de este tipo de material generando un compostaje anaeróbico, el mismo que inicia el proceso de descomposición. Cuando el microorganismo se rompe en ausencia de oxígeno, empieza una emisión de microorganismos en el aire resultando en la producción de gas metano. Este tipo de gas es el principal componente del efecto invernadero causando la contaminación del medio ambiente y la constante variación de cambios climáticos. Como consecuencia de este componente los niveles de temperatura se elevan y afectan al proceso de fotosíntesis y desarrollo de las plantas y es así como se produce alteración en la producción del sector agrícola.

En el Ecuador, se ha catalogado al sector de la agricultura como base de la economía y la alimentación, según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019). Este sector aporta con un 8 % en la producción anual del país, ayudando de esta manera a reducir el índice de pobreza. Sin embargo, en cuanto a la producción de gases de efecto invernadero (Agencia EFE, 2019), el Ecuador en este sector produce un 0.15 % a nivel mundial que, aunque es un porcentaje pequeño hace vulnerable al país con relación a bosques y medios naturales, dejando en un desbalance al sector agrícola.

Es por esto por lo que el tratamiento adecuado de los residuos es sumamente importante, por lo que el uso de los mismos residuos como una alternativa para la solución radica en la producción de compostaje. Estos residuos después de un proceso de descomposición se convierten en humus llenos de nutrientes que ayudan al desarrollo de la planta. El proceso se logrará con la ayuda de un sistema automático de sensores que monitoreen y gestionen de manera inteligente parámetros como humedad, temperatura entre otros, utilizando algoritmos de aprendizaje para generar un abono en condiciones que ayude a masificar la producción en el sector agrícola.

La producción de desechos en grandes cantidades sin una solución correcta ha hecho que sean muchos los años que pueden pasar para lograr su descomposición parcialmente y aun así siguen provocando la misma causa de afección al medio ambiente. Es por esto por lo que aprovechar los mismos residuos que produce el sector agrícola para la producción de compost no solo aportará una ayuda significativa para disminuir el efecto invernadero sino también ayudará en el sector agrícola a mejorar su producción. Es por esto que es importante monitorear la descomposición de los residuos para así lograr la producción de este nutriente. Por lo cual el sistema automático tiene como fin ayudar al agricultor para que produzca su propio compost. En consecuencia, efectuará la observación del proceso que se lleva a cabo y la verificación de que los

datos que recolectan los sensores cumplan con lo establecido para la producción del nutriente para el sector propuesto.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar un sistema embebido de control que utilice un algoritmo de supervisión para la gestión de las condiciones de residuos en descomposición con el fin de poder contrarrestar el efecto invernadero y generar un compost idóneo para la producción de productos agrícolas en sistemas microfarms.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Plantear un esquema de recolección y acoplamiento de datos obtenidos a través de sensores, que gestionan las condiciones y fluidos que se presentan en la descomposición de residuos utilizando un sistema embebido que muestre precisión

- Investigar acerca de algoritmos de redes neuronales realizando un énfasis en el tratamiento de información de los datos obtenidos a través de los sensores y variables de pesos que los mismos manejan para el análisis de variables del microclima en la descomposición de los residuos.

- Gestionar las variables de microclima con la implementación del algoritmo de red neuronal para validar los parámetros que se gestionan al producir el compost.

- Validar y certificar la información obtenida con la representación de datos y la producción de compost de calidad.

1.4 Alcance

La propuesta de este trabajo consiste en la implementación de un algoritmo de supervisión que gestione las condiciones y fluidos que se generan en los residuos en estado de descomposición a través de un sistema de control. Este sistema definirá el momento en el que estos residuos están en condición óptima para ser implementados como compost en los cultivos que se gestionan desde la comodidad de los hogares.

Esto se logrará utilizando una metodología de investigación denominada Action Research la cual está enfocada en el cambio constante del problema de investigación. La implementación del sistema se llevará a cabo con el uso de un sistema embebido el cual utilizará un conjunto de sensores de enfocados en la gestión de características como son la temperatura, humedad relativa del suelo, humedad, producción de gas y otros sensores a considerar. Cuando los sensores obtengan los datos, esta información debe ser filtrada y verificada para asegurarse que son confiables para tomarlos como base para representar el fenómeno de efecto invernadero.

A partir de una matriz de datos obtenidos a través de los sensores y que ha sido validada, se selecciona un algoritmo que mejor se adapte a estudio del fenómeno, este algoritmo debe ser codificado con el fin de poder presentar un sistema superior que certifique la calidad de compost que se produce.

Para la implementación del sistema embebido de hardware libre se busca realizar una comparación en cuanto a sus características y definir el más apropiado para intervenir en la elaboración de este trabajo, considerando que la única condición para la selección de este sea que utilice software libre.

Dentro del apartado de pruebas de funcionamiento, utilizando un sistema de apertura, cuando los residuos lleguen al nivel bajo de humedad con una válvula solenoide se permitirá el flujo de una cantidad determinada de líquido que permita humedecer los residuos y restablecerlos en un rango normal. Cada uno de los parámetros que gestionan los sensores serán verificados a través de un servidor en donde se observarán las medidas que detecten los sensores en el momento, utilizando una conexión mediante WiFi.

1.5 Justificación

La presente investigación se enfocará en el estudio y comprobación de diferentes algoritmos de supervisión para lograr determinar cuál de estos es el más adecuado para representar el fenómeno de efecto invernadero el cuál debido a los recientes cambios que se presenta en el cambio climático se ha visto reflejado a causa de la contaminación. A partir de la selección de algoritmo se procede a su codificación, la complejidad de la investigación radica en la prueba de criterios para al final lograr obtener un sistema superior, en donde el enfoque va dirigido hacia el manejo de costes computacionales del algoritmo implementado.

Con esto el presente planteamiento permitirá demostrar la producción de compost utilizando residuos a través de la gestión y descomposición de estos utilizando sensores con un algoritmo adecuado. Este proceso ayudará a reducir en un porcentaje la contaminación ambiental, además de ofrecer una oportunidad a las personas que cultivan sus propios productos en pequeñas microfarms logrando ser abonados gracias a la producción del compost en sus hogares. A la vez contribuir a la concientización social de las personas en cuanto al tratamiento productivo que se puede aplicar a los residuos generados en cada domicilio.

2 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se aborda los temas teórico base para la elaboración de este proyecto de investigación. Se detalla los conceptos generales con enfoque al efecto invernadero y todos los componentes que lo provocan, como una alternativa o solución a este problema se resumen varios conceptos en referencia a la elaboración de composta, ventajas del compostajes, métodos y técnicas de aplicación, además de la especificación de las fases de descomposición de residuos.

En la parte teórica de implementos técnicos se precisa información acerca de sistemas embebidos, como están conformados, funcionamiento; además de precisar fundamentos de Machine Learning y los métodos que presenta, con un enfoque principal en lo que son el empleo de redes neuronales para el procesamiento de datos.

2.1 Introducción

Los cambios que se han observado en los últimos años en el cambio climático han causado preocupación debido al incremento de la temperatura tanto en el aire como en el océano. Dichos cambios se generan a causa del calor adicional en el sistema climático siendo la causa de este problema el incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera. La amenaza se muestra tan grande que el equilibrio que se pretende mantener en el ecosistema se está perdiendo, experimentando así cambios extremos en el clima determinando y generando impacto en el aumento del nivel del mar, desertificación de las tierras fértiles, derretimiento de los casquetes polares, y condiciones climáticas externas. (Collins, 2022)

2.2 Efecto Invernadero

Se denomina al efecto invernadero, una de las maneras naturales en las que el planeta se mantiene en una cómoda temperatura cálida para poder mantener la vida en la tierra. En los últimos

años este tema ha sido muy utilizado negativamente debido a las acciones que los seres humanos han tomado con el objetivo principal de generar energía.

La administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) es una agencia de los Estados Unidos encargada de la investigación de la ciencia y la tecnología relacionadas con el espacio y el aire. Con respecto al efecto invernadero según la NASA, el funcionamiento correcto de este efecto naturalmente está basado en como los gases de la atmosfera atrapan el calor que se genera durante el día, produciendo así los gases de efecto invernadero. Estos gases en la noche, al enfriarse la superficie de la Tierra liberan toda la energía solar sobrante se irradia el calor de vuelta al espacio. Sin embargo, la quema de combustibles fósiles ha hecho que se incremente el efecto invernadero artificialmente. (NASA, 2019)

Varios han sido los estudios realizados enfocados a este tema, según National Geographic este problema hace miles de años y afirman que “desde la Revolución Industrial a finales de 1700 y principios de 1800, la gente ha estado liberando grandes cantidades de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Esa cantidad se ha disparado en el último siglo. Las emisiones de gases de efecto invernadero aumentaron un 70 por ciento entre 1970 y 2004. Las emisiones de dióxido de carbono, el gas de efecto invernadero más importante, aumentaron alrededor de un 80 por ciento durante ese tiempo. La cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera hoy en día supera con creces el rango natural visto en los últimos 650.000 años. La mayor parte del dióxido de carbono que las personas liberan a la atmósfera proviene de la quema de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural. Los automóviles, camiones, trenes y aviones queman combustibles fósiles. Muchas centrales eléctricas también queman combustibles fósiles”. (Anders, 2022)

Entre los principales gases de efecto invernadero está el metano que es mucho más potente y se produce a partir de la ganadería, vertederos, producción de combustibles fósiles y todo lo relacionado a la agricultura y contribuyendo así de manera negativa al calentamiento global.

El Consejo de Defensa de los Recursos Naturales (NRDC) es una organización de protección ambiental a nivel internacional que utiliza la ciencia, las políticas, las leyes y el poder de las personas para enfrentar la crisis climática y proteger la salud pública para así lograr salvaguardar la naturaleza. Con un enfoque en el estudio del efecto invernadero la organización NRDC determina que "el metano libra por libra, su impacto en el calentamiento global es 25 veces mayor que el del dióxido de carbono durante un período de 100 años. A nivel mundial, representa aproximadamente el 16 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el hombre". (Denchak, 2022)

2.2.1 Tipos de Gases de Efecto Invernadero

Los gases de efecto invernadero son gases que se presentan naturalmente en la atmósfera, cumplen la función de ser atraídos por los rayos del sol y por consecuencia ser distribuidos como radiación. El sobre aumento de estos gases han contribuido al calentamiento global llegando a ser los causantes principales del efecto invernadero.

2.2.1.1 **Dióxido de Carbono**

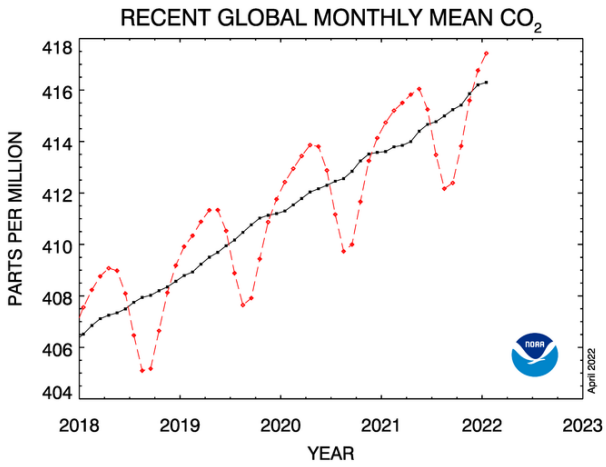
El Dióxido de carbono suma alrededor del 76% de los gases producidos por el hombre, de este porcentaje el 40% permanece luego de 100 años, llegando hasta el 10% que permanece hasta los 10000 años después (Denchak, 2022)

Global Monitoring Laboratory es una entidad que a nivel global realiza análisis anuales sobre el incremento o en su defecto decremento de estos gases. En un estudio realizado en este año

se establece una gráfica de medias mensuales globales tomadas de las muestras de este gas. Este análisis es realizado a partir del 2018 hasta el año actual determinado en unidades de partes por millón (ppm); en la figura 1 se puede observar el incremento de CO2 de 407 ppm en el año 2018 a 417 ppm en el actual año tomando como referencia la línea negra en la que los datos están corregidos por el ciclo estacional promedio, considerando que para que este gas este en un equilibrio en la atmósfera debe encontrarse en cantidades bajo las 400 ppm. (Global Monitoring Laboratory, 2021)

Figura 1

Incremento de valores de CO2 en ppm desde 2018 a 2022



Fuente: (Global Monitoring Laboratory, 2021)

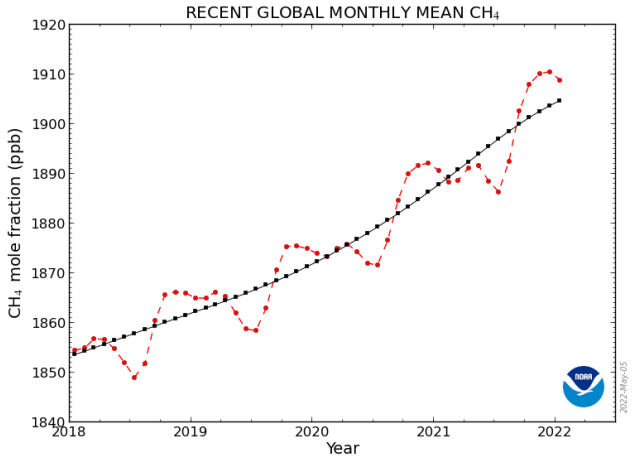
2.2.1.2 **Metano.**

Se considera que el gas metano es mucho más fuerte con respecto al efecto invernadero, definiéndolo como 25 veces mayor el impacto que tiene sobre el calentamiento global. A nivel mundial es considerado el 16 por ciento de gases efecto invernadero producido por el hombre. (Denchak, 2022)

El incremento de gas metano atmosférico en un tiempo de un año, representa el total de todo el gas sumado y eliminado de la atmosfera en el año, ya sea por actividades humanas o procesos naturales producidas a manos del hombre. El primer estimado preliminar para el aumento anual en un año en específico se da durante el mes de abril, en el que la precisión de los datos junto con el análisis profundo de efectos finales que produce el gas. En la figura 2 se pude observar que se obtiene un incremento entre el año 2018 de 1853 ppb (partes por billón) al 2022 de 1908.9 ppb donde a pesar de considerarse en cantidades pequeñas, produce mayor peligro su aumento.(Global Monitoring Laboratory, 2021)

Figura 2

Incremento de valores de gas metano en ppb desde 2018 a 2022



Fuente: (Global Monitoring Laboratory, 2021)

2.2.1.3 **Óxido Nitroso**

Este gas es considerado como el que menor parte ocupa dentro de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Sin embargo, es más potente que el dióxido de carbono y el tiempo en durar en la atmosfera es mayor que un siglo. Se produce debido a el uso de fertilizantes, quema

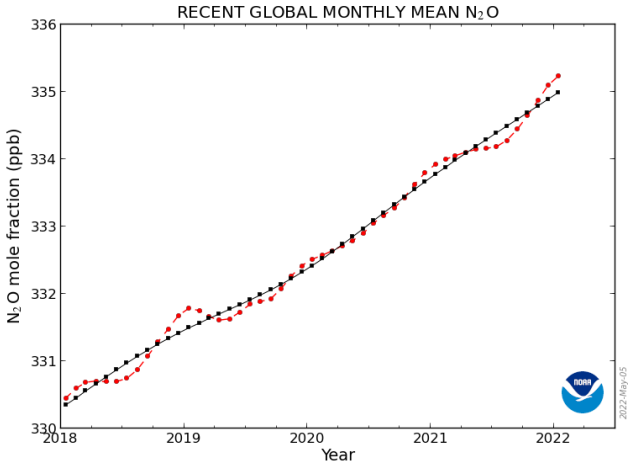
de biomasa, todo lo que sean practicas vinculadas con el cultivo del suelo y la quema de combustibles fósiles.(Denchak, 2022)

El incremento de óxido nitroso a nivel mundial en un año entre el 2021 y el 2022 se diferencian entre 2ppb siendo en enero del 2021 el 333.9 ppb y enero del 2022 335.2 ppb como se puede observar en la figura 3, durante cada uno de los meses se prevé aumentos y decrementos de hasta un 0.25 ppb lo que puede ser positivo o negativo, durante el desarrollo de todas las muestras en el año. Aunque a pesar de ello, los resultados han sido negativos.(Global Monitoring Laboratory, 2021)

En la figura 3 entre el año 2018 con 330.4 ppb al año 2022 con 335 ppb, se puede observar el incremento de dióxido nitroso en una diferencia de 4.6 ppb en 4 años lo que parcialmente indica que por año se incrementa 1.1 ppb que, aunque son cantidades pequeñas significan mucho en la producción de este gas en la atmosfera.

Figura 3

Incremento de valores de óxido nitroso en ppb desde 2018 a 2022



Fuente: (Denchak, 2022; Global Monitoring Laboratory, 2021)

2.2.1.4 **Gases fluorados.**

Representan el 2 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero, y pueden llegar a durar ciento de años en la atmosfera. Son de origen industrial a pesar de que hoy en día su emisión a la atmosfera está regulada mediante tratados internacionales. (Denchak, 2022)

Los gases fluorados de efecto invernadero son los siguientes:

Hidrofluorocarbonos

Son un grupo de productos químicos industriales que se utilizan principalmente para enfriar o refrigerar, son desarrollados para el reemplazo de las sustancias que agotan el ozono estratosférico. Son muy potentes y contaminantes climáticos de vida corta con una vida útil entre los 15 y 29 años en la atmósfera (Climate & Clean Air Coalition, 2021)

Perfluorocarbonos

Son gases que se utilizan en la industria electrónica para la producción de semiconductores, e incluso se han implementado pata insonorizar las ventanas. Este tipo de gases se producen sintéticamente, contribuyen al aumento de efecto invernadero y causan efectos nocivos a largo plazo en los organismos acuáticos. (Natur Vards Verket, 2020)

Hexafluoruro de azufre

Es un compuesto fluorado sintético, es implementado en empresas eléctricas debido a sus propiedades dieléctricas únicas para el aislamiento eléctrico de voltaje, la interrupción de corriente y la extinción de arcos en la transmisión y distribución de electricidad. Tiene una vida atmosférica de hasta 3.200 años por lo que una cantidad pequeña puede tener un impacto significativo. (EPA, 2022)

2.2.1.5 Vapor de agua.

El vapor de agua en realidad es el gas de efecto invernadero que más abunda en el mundo, pero no se rastrea de la misma manera que otros gases de efecto invernadero porque no es emitido directamente por la actividad humana y sus efectos no se conocen bien. De manera similar, el ozono a nivel del suelo o troposférico no se emite directamente, sino que surge de reacciones complejas entre los contaminantes del aire. (Núñez, 2019)

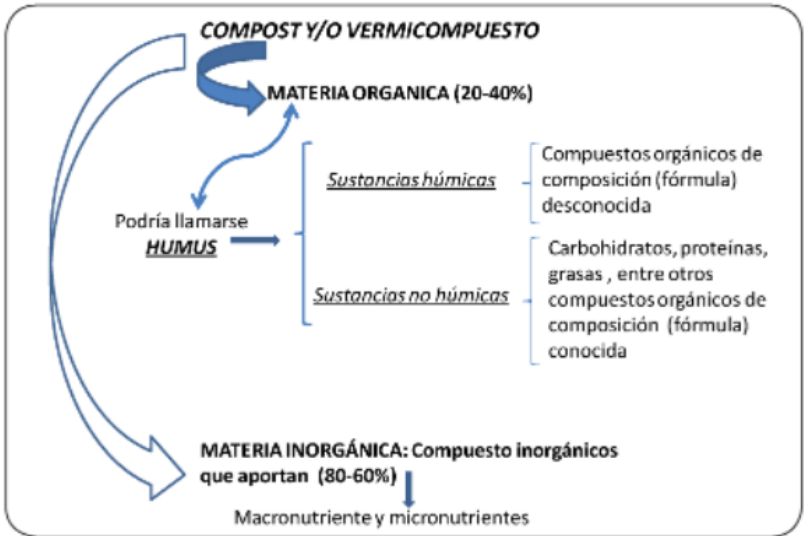
2.3 Compostaje

Definido también como el proceso para reciclar materia orgánica y convertirla en abono o composta. Para este ciclo se implementa elementos como hojas y restos de comida, esta transformación es acelerada para proporcionar un entorno ideal para las bacterias, hongos y otros organismos en descomposición que a futuro se convierte en materia descompuesta llegando a ser tierra fértil de jardín. El producto de este proceso denominado compost, es rico en nutrientes y se puede utilizar para la agricultura, jardinería y horticultura. (Hu, 2020)

En la siguiente figura se presenta un esquema general de la composición final que se produce en el compostaje.

Figura 4

Esquema general de composición del compost



Fuente: (Campitelli et al., 2014)

2.3.1 Minerales de la Composta y aporte nutricional a las plantas.

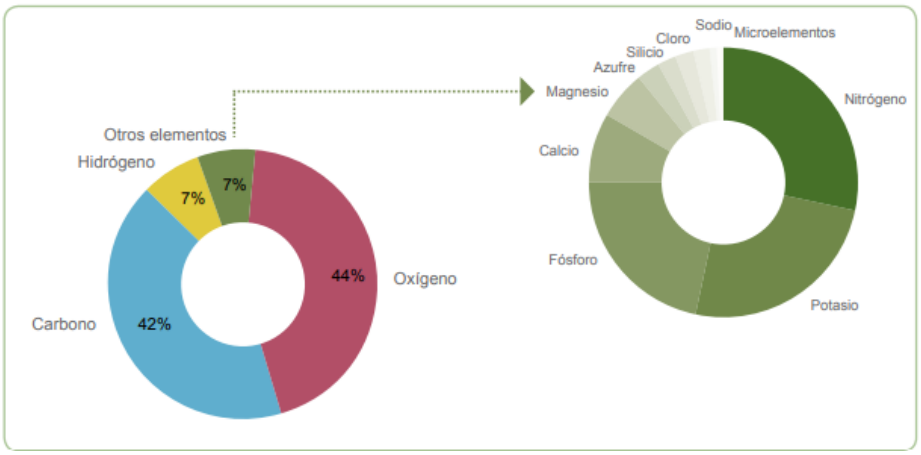
El compost en su desarrollo produce fertilizantes para las plantas en diferente forma a los fertilizantes químicos y en menor proporción de forma orgánica. El gran beneficio de los nutrientes y minerales que aporta el compost es que cuenta con nutrientes de lenta liberación que a largo plazo aporta a la nutrición de la planta.

Los nutrientes en el suelo están divididos en macro y micronutrientes y las plantas absorben los mismos de acuerdo con la necesidad y cantidad que requieran. Los nutrientes principales son el Nitrógeno que es la base del desarrollo de la planta pues se implica en el crecimiento y evolución total de la planta. El fosforo es parte de la etapa de transferencia de energía siendo así parte de la fotosíntesis, por lo general este nutriente es muy escaso en suelos agrícolas y naturales o donde el PH del suelo delimita la consolidación. El potasio hace su trabajo en la recopilación de

carbohidratos y proteínas y por consecuencia en la estructura de la planta pues maximiza la administración liquida de la planta e incrementa la permisividad a la resequedad.

La composición que debe tener una planta tanto en macro y micronutrientes los cuales deben ser brindado a partir de las propiedades del suelo y las formas en que se provee aportar a su desarrollo se presenta en la Figura 5 donde se especifica cada elemento de estas categorías.

Figura 5
Composición de nutrientes de una planta



Fuente: (Pantoja et al., 2013)

2.3.2 Ventajas del Compostaje

- Reducción del flujo de residuos

El compostaje trae consigo un sin número de beneficios, que por lo general en tanto sean manejados de la mejor manera representa un aporte productivo al sistema ambiental. Este proceso en el orden ambiental aporta la culminación de ciclo de la materia orgánica, además del reciclaje de todo recurso natural que mantenga un proceso de descomposición. En gran porcentaje aporta a la disminución de residuos sólidos urbanos en conjunto con la reserva económica en fertilizantes químicos que son implementados en la producción agrícola. Representan la facilidad de

preparación y poca mano de obra además de una reducida posición al elaborarse en pequeña escala.(Campitelli et al., 2014)

- Reducción de emisiones de metano de los vertederos

Cuando la materia orgánica se descompone sufre una descomposición aeróbica, la cual es libre de producciones de gas metano. Cuando los desechos van a vertederos y se entre mezclan con otras basuras al pasar al proceso de descomposición anaeróbica se crea como subproducto el biogás que está compuesto por una mitad de gas metano y la otra de dióxido de carbono, siendo estos gases potentes de efecto invernadero, para evitar este problema se realiza compostaje orgánico.(Hu, 2020)

- Restablecimiento de la salud del suelo y disminución de la erosión.

Se considera el compost como una herramienta esencial para mejorar los sistemas agrícolas a gran escala, debido a que tiene 3 nutriente principales que son el nitrógeno, fosforo y potasio los cuales necesitan los cultivos para formar el ciclo de vida sano. En este aspecto en lugar de depender de fertilizantes sintéticos que tiene químicos que dañan las plantas, el compostaje ofrece mejores beneficios que los fertilizantes siendo así una alternativa orgánica incrementando así la capacidad de productividad del agua y la resiliencia del suelo.(Hu, 2020)

- Conserva del agua.

En el planeta Tierra, se puede verificar a través de investigaciones que cada vez es más difícil obtener el agua y conforme el calentamiento global es mayor el porcentaje de agua dulce en el planeta cada vez disminuye más. En la agricultura el agua es uno de los principales elementos para su producción, y de acuerdo con la investigación de Berman D. Hudson habla de la capacidad de retención de agua del suelo, la cual aumenta con la adición de materia orgánica. Es decir, cada

aumento del 1% en la materia orgánica del suelo ayuda a que el suelo retenga 20.000 galones más de agua por acre. Utilizando compost para fomentar un suelo saludable ayuda a que los agricultores no usen tanta agua y aun así tener mayores rendimientos en comparación con una agricultura con suelo degradado.(Hu, 2020)

- Reducción del desperdicio personal de alimentos.

Los seres humanos son consumidores responsables de una gran cantidad de desperdicios de alimentos, siendo las frutas y verduras los alimentos que más se tienden a acumular en la basura causando en un promedio una pérdida económica de cientos de dólares en hogares de familia promedio. Siendo así la única manera de disminuir este problema evitar el desperdicio y lo poco de estos que se produzcan llevarlos a generar un proceso de compostaje.(Hu, 2020)

2.3.3 Tipos de Compostaje

Existen 4 principales tipos de compostaje basados en la descomposición de diferentes residuos e implementados con diferentes métodos para producción, a continuación, se describe cada uno de estos procesos.

2.3.3.1 Compostaje de residuos

Este tipo de compost es el resultado de una pila que se conforma de compuestos orgánicos como son las plantas secas, alimentos en descomposición, cascaras de alimentos no procesados y tierra de jardín. Es uno de los tipos de compostar más utilizado debido al tema económico y el respeto al medio ambiente que representa en el proceso de elaboración. La descomposición que representa cada uno de sus componentes, además de implementar el reciclaje produce el beneficio de nutrir el suelo para que las plantas puedan prosperar y crecer con varios de los nutrientes que la misma produce. (United States Environmental Protection Agency, 2022a)

Figura 6
Aspecto del compost de residuos

Fuente: (Hiri-Hondakinen Mankominitatea, 2022)

2.3.3.2 Compostaje de estiércol de corral

Para este tipo de compostaje se pude implementar cualquier tipo de estiércol de animal de granja, sin embargo, es catalogado como uno de los más fuertes ya que debido al proceso de elaboración y descomposición presenta algunos contaminantes y residuos que pueden llegar a terminar con el ciclo vital de las plantas. (United States Environmental Protection Agency, 2022a)

Figura 7
Aspecto del compost de estiércol de animales de granja

Fuente: (Maquítuls, 2022)

2.3.3.3 Composta de abono verde

Considerado como el proceso más importante elaborado por los agricultores durante mucho tiempo, este método está enfocado en el cultivo de plantas verdes y leguminosas, que son aplicadas en el suelo para su descomposición, a medida que se produce su descomposición ayudan a fertilizar la tierra y mantener saludable el suelo de los cultivos. Por lo general este abono verde es aplicado en el crecimiento de plantas como el algodón, maíz, arroz, caña de azúcar y el trigo. (United States Environmental Protection Agency, 2022a)

Figura 8
Aspecto del compost de estiércol de animales de granja

Fuente: (PortalFrutícola, 2019)

2.3.3.4 Vermicompost

El proceso del vermicompost este compuesto por las lombrices de tierra, este tipo de criaturas son excelentes para convertir la tierra de las plantas en tierra fertilizada y llena de nutrientes, siempre y cuando puedan prosperar en el suelo. Se considera este compostaje bueno para la vida vegetal

ya que las lombrices principalmente fomentan la germinación de las plantas y mejoran la capacidad del suelo para retener el agua. (United States Environmental Protection Agency, 2022a)

Figura 9
Aspecto del Vermicompost

Fuente: (DiarioSostenible.cl, 2020)

2.3.4 Técnicas de compostaje

2.3.4.1 Método de compostaje de pila aireada

El método de compostaje de pila aireada se basa en mantener el aire circulando a través de la pila de residuos sin tener la necesidad de girarla para obtener resultados más rápidos y con menos implementación de esfuerzo.

Una de las formas más fáciles de ayudar a mantener una pila aireada es iniciar con una capa de residuos voluminosos como puede ser mazorcas de maíz, o ramas debido a que de este modo esta capa mejora el flujo de aire y el drenaje. A medida que se incrementa la pila se pueden agregar pedazos de cajas de huevos y astillas de madera, esta capa permite una mejor aireación. Esta técnica es aplicada en lugares al aire libre o en lugares cerrados todo depende de cuan sencillo se desee realizar el proceso de descomposición; y es implementada con tubos de flujo de aire

perforados que se extienden desde la parte inferior de la pila hasta la parte superior.(Roebuck, 2022)

Figura 10
Técnica de compostaje de pila Aireada

Fuente: (Tortosa, 2015)

2.3.4.2 Método de compostaje directo en zanjas o pozos

El método de compostaje directo hace referencia a cavar un hoyo en el suelo aproximadamente de un metro y enterrar los desechos en el para que conforme se realice la descomposición de los desechos se nutra el jardín y se llene de nutrientes la tierra. Es el método más antiguo y efectivo, aunque presenta limitaciones en su elaboración, una de las causas más frecuentes es la tardanza en la descomposición de residuos que se aplican sin ser cortados en trozos pequeños, es por esta razón que solo se puede enterrar frutas, verduras, material orgánico de cocina que no haya sido procesado. A pesar de ser el método en la zanja de tierra las consecuencias de un mal proceso pueden efectuar en que los desechos sean desenterrados por pájaros y todo tipo de criaturas.(Direct Compost Solutions, 2018)

Figura 11
Técnica de compostaje directo

Fuente: (Direct Compost Solutions, 2018)

2.3.4.3 Contenedores calientes aislados

El método de contendor lleva a cabo la carga total de un compost básico en un contenedor de determinadas dimensiones, al encontrarse encerrados los residuos se crea las condiciones de calor necesarias para obtener resultados rápidos de compostaje sin tener la necesidad de voltearlos. Los contenedores calientes tienen tapas que se van ajustando y paredes gruesas de material aislante para provocar la descomposición.(Roebuck, 2022)

Figura 12
Técnica de compostaje en contenedores calientes aislados

Fuente: (Suministros Ilaga, 2021)

2.3.4.4 Compostaje con Tumblers

Esta técnica se basada en un diseño ingenioso que hace que airear el compost sea más fácil utilizando una manivela integrada en el recipiente, es importante voltear el compost para poder airear la pila si el resultado que se desea obtener es una descomposición efectiva.

Esta técnica emplea volteadores de compost que permite a la persona que elabora la composta evitar clavar palas o tenedores de jardín en una masa de desechos para poder mezclarlos y generar aireación. Los Tumblers Composting son recipientes que vienen en muchas formas y tamaños de unidades individuales o dobles que pueden ser adquiridos en una ferretería. Es un buen sistema cuando existe gran cantidad de desechos verdes, marrones y existe el espacio necesario para instalar el sistema. Sin embargo, se requiere de muchos desechos para producir una pequeña cantidad de compostaje.(Direct Compost Solutions, 2018)

Figura 13
Técnica de compostaje con Tumblers

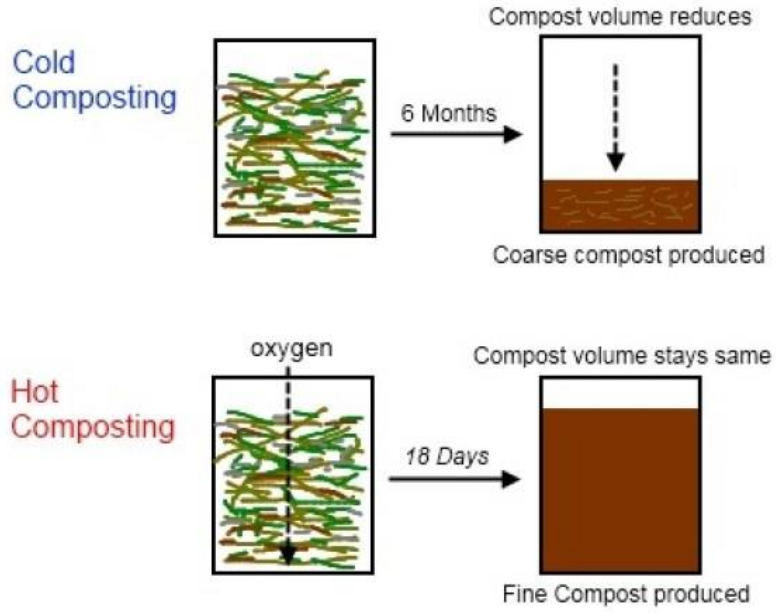
Fuente: (Direct Compost Solutions, 2018)

2.3.4.5 Método de compostaje de Berkeley

Es un método que fue desarrollado por la Universidad de California, y se ha definido como la técnica más rápida para producir compostaje con características eficientes y de alta calidad en un tiempo muy corto de 18 días. Los requerimientos principales para este proceso están en mantener la temperatura del compost entre los 55 y 65 grados centígrados, el balance de carbono: nitrógeno en los materiales de compostaje debe mantenerse en valores de 25-30:1.

Se debe delimitar el material de compost como ramas de árboles ya que tiene un alto contenido de carbono, por lo que es indispensable triturarlas y tener precaución con este inconveniente. Una manera muy eficaz de la producción de este método es la dirección de volteo de los desechos que se realizan en direcciones de afuera hacia adentro y viceversa para realizar una mezcla completa. (Deep Green Permaculture, 2010)

Figura 14
Técnica de compostaje de Berkeley



Fuente: (Deep Green Permaculture, 2010)

2.3.4.6 Método de composteras de hogar reciclables

Un método muy común de aplicar la producción de compostaje es reciclar los residuos en los hogares de cada familia en jardines en los que se pueden realizar hoyos y realizar las pilas de compostaje. Sin embargo, no pueden realizar el mismo proceso aquellos hogares en los que no existe de por medio un terreno en el cual realizar este procedimiento. Por esta razón se han aplicado diferentes métodos de reciclaje como son la designación de bahías, que son cajas de madera en las que se realizan las pilas de compostaje. Es decir, para espacios reducidos en los que no cuentan con terreno o espacio para aplicar las diferentes bahías este proceso se puede realizar mediante la creación de un propio contenedor pequeño aplicable y adecuado para el hogar. Este método puede ser aplicado de diferentes maneras, y de acuerdo con como el productor busque la generación del compostaje. Al ser la madera un material reciclable y biodegradable este tipo de bahías pueden

además ser adecuadas como pequeños terrenos para la descomposición de residuos. (UT AUSTIN CEC, 2020)

Figura 15
Técnica de compostaje reciclables de hogar

Fuente: (Rhoades, 2021)

2.3.5 Materiales para realizar composta

Para la preparación de composta es importante tomar en cuenta que todo tipo de compostaje requiere de 3 ingredientes básicos en su formación, como son los elementos marrones los cuales hacen referencia a materiales como hojas muertas y secas o también ramas secas y restos de té. El segundo elemento importante son los materiales verdes que pueden ser recortes de césped, desechos de vegetales, restos de frutas. Por último, para que el compostaje tenga consistencia es importante usar tierra de jardín libre de químicos y una determinada cantidad de agua.

Los correctos porcentajes de cada elemento hacen que la descomposición de la materia orgánica se desarrolle de manera adecuada con el fin de producir un abono rico en vitaminas para las plantas.

Dentro de los materiales orgánicos que se pueden compostar están: frutas, vegetales, cascaras de huevo trituradas, café molido y filtros, bolsas de té, recortes de césped, heno, paja, hojas, serrín, astillas de madera, cenizas de chimenea, cartón triturado, periódico triturado, y todo tipo de materiales que no hayan sido procesados o tratados con pesticidas químicos, además de materiales como grasas, huesos, restos de carne, desechos de mascotas que pueden crear problemas en la descomposición, causar malos olores; generar parásitos y bacterias dañinos para los humanos; y atraer plagas al compostaje. (United States Environmental Protection Agency, 2022b)

Figura 16

Materiales permitidos y no permitidos para compostar

Adaptado de (Mula, 2019)

2.3.6 Fases del Ciclo de Compostaje

El objetivo del proceso de compostaje es mejorar las características del material, eliminando los contaminantes, y reduciendo las probabilidades de afectar al medio ambiente al reutilizar los residuos orgánicos que se producen en los hogares. Al realizar la pila de compostaje

con cualquier método de aplicación, la descomposición de los elementos orgánicos proporciona diferentes tipos de microorganismos, lo que conlleva a que en cada fase se presenten varios escenarios. Inicia en una fase uno hasta llegar a la fase final en la que la composta esta apta para ser utilizada. Estas fases están determinadas a continuación.

2.3.6.1 Fase Mesófila

Es considerada la primera etapa del ciclo de compostaje, por lo general dura solo unos días durante los cuales, los microorganismos mesófilos o microorganismos que prosperan en temperaturas de aproximadamente 68 a 113 grados Fahrenheit(Compost Segriá, 2022).

El proceso comienza cuando se inicia la descomposición física de los elementos biodegradables. El calor es un subproducto natural de este proceso inicial y las temperaturas suben rápidamente a más de 104 grados Fahrenheit(Grupo BBVA, 2022).

2.3.6.2 Fase Termófila

En esta etapa los microorganismos mesófilos son reemplazados por microorganismos termófilos (prosperan en temperaturas elevadas), esta etapa puede durar de pocos a varios días o varios meses. Estos microrganismos trabajan para descomponer los materiales orgánicos en piezas más finas. Durante la segunda etapa, las temperaturas continúan aumentando, si no se vigila de cerca la pila de compost puede calentarse tanto, que puede llegar a matar todos los microorganismos útiles. (Grupo BBVA, 2022)

La aireación y el volteo de pila de compost ayudan a mantener las temperaturas por debajo de los 149 grados F, así como a proporcionar oxígeno adicional y nuevas fuentes para que los microorganismos termófilos se descompongan(Compost Segriá, 2022).

2.3.6.3 Fase de enfriamiento y maduración

La última etapa dura alrededor de varios meses comienza cuando los microorganismos termófilos agotan el suministro disponible de los compuestos, y es por lo que las temperaturas comienzan a descender los suficiente como para que los microorganismos mesófilos retomen el control de la pila de compost y terminen de descomponer la materia orgánica restante en composta utilizable.(Compost Segriá, 2022)

2.3.7 Calidad de Composta y parámetros

La calidad del compost determina la habilidad y capacidad del producto para realizar su función prevista. Si bien el proceso de compostaje también juega un papel importante, la materia prima es el principal factor que determina la calidad del compost. Las características de calidad se pueden agrupar en tres categorías: rendimiento del producto lo que se trata en referencia al contenido nutricional, estética del producto basado en el olor y seguridad del producto, es decir que no presente patógenos, vidrios ni plagas que puedan afectar a las plantas.

Muchas organizaciones y agencias públicas han establecido estándares o programas de calidad del compost para garantizar o fomentar la producción de compost de alta calidad, especialmente en términos de seguridad y medio ambiente. El análisis de laboratorio es una herramienta importante para hacer compost de la calidad adecuada para su uso previsto.

Para catalogar un compost nutritivo y con excelente calidad para ser aplicado, existe algunos parámetros fisicoquímicos que pueden delimitar la calidad y verificar si el compostaje producido es adecuado para la aplicación a cultivos microfarms. Por mencionar las variables a tomar en cuenta para el análisis como son la temperatura ambiente, humedad del suelo, y factor gas el cual se detalla en la producción de metano.

Estas variables de análisis permiten corroborar al instante en cada fase los valores determinados como promedio para la producción de compostaje nutricional dentro de los parámetros establecidos, evitando la contaminación ambiental. Con lo especificado a continuación se detalla las variables de análisis en la producción de composta y prevención de contaminación ambiente.

2.3.7.1 Temperatura

La temperatura es una medida cuantitativa para describir el grado de calor o frialdad de un objeto. Este parámetro mide la energía cinética promedio dentro de un sistema, la energía cinética es la energía del movimiento. Las partículas que componen toda la materia del universo están en constante movimiento, por lo que la temperatura describe el movimiento promedio de las partículas dentro de un sistema, es decir a medida que aumenta la velocidad de las partículas también aumentará la temperatura.(Harvey, 2022)

La temperatura de un objeto, generalmente medida en grados Fahrenheit o grados Celsius, nos dice cuánto calor o energía tiene el objeto, en relación con el movimiento de las partículas.

2.3.7.2 Humedad del suelo.

La humedad del suelo es el agua almacenada en el suelo y se ve afectada por la precipitación, la temperatura, y las características del suelo. Estos factores permiten determinar el tipo de bioma presente y cuan idónea es la tierra para ser implementada en un cultivo, debido a que la salud de los cultivos depende en su gran mayoría de un suministro adecuado de humedad y nutrientes del suelo. (Soil Sciencie Society of America, 2022)

Este parámetro es un indicador del grado de saturación del suelo y está representado por la relación entre la masa del agua y la masa de solidos en la muestra de suelo. El suelo está compuesto

de masas de partículas de forma irregular de diferentes tamaños, entre estas partículas existen vacíos donde el agua se acumula libremente. La presencia del agua en estos vacíos constituye la masa de agua en el suelo e influye directamente en el contenido de la humedad del suelo. (Corrosionpedia, 2020)

Por lo que la humedad se la puede representar en un porcentaje utilizando ecuación 1: $w = M_w/M_s x100$ **(Ec.1)**

Donde las variables de la ecuación representan los siguientes parámetros:

$w =$ porcentaje de la humedad del suelo

$M_w =$ masa de agua en la muestra de suelo

$M_s =$ masa de sólidos en la muestra de suelo

2.3.7.3 Humedad Relativa.

La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua presente en el aire que se expresa como porcentaje de la cantidad necesaria para alcanzar la saturación de la misma temperatura. Este parámetro es proporcional a la temperatura y muy sensible a los cambios de temperatura, lo cual significa que si la temperatura se mantiene estable la Humedad Relativa también será estable, además de que también depende de la presión del sistema.

Se considera importante el monitoreo de este parámetro debido al control de humedad alrededor de un producto final objetivo, para conseguir la parametrización normal de la humedad relativa es recomendable asegurarse de que el mayor tiempo posible no suba demasiado logrando así optimizar la eficiencia de los sistemas automatizados. (Loffer, 2021)

2.3.7.4 Gas Metano

Es un gas incoloro e inodoro que se encuentra en grandes cantidades en la naturaleza y como resultado de algunas actividades humanas. Esta considerado entre los gases de efecto invernadero más potentes. En la naturaleza este gas se produce a causa de la descomposición bacteriana anaeróbica de residuos, materia vegetal, humedades, actividades agrícolas, minería de carbón y ciertos procesos industriales.

2.4 Sistemas Microfarms

Es definido como la agricultura a menor escala en áreas urbanas y suburbanas. Son algunos tipos de jardines mejor construidos debido a la utilidad y sostenibilidad, puesto que son amigables con el medio ambiente y tiene un elevado porcentaje de producción agrícola en el estilo de vida moderno.

Debido al límite de tamaño y restricciones de zonificación los micro agricultores se ven obligados a ser creativos sobre lo que cultivan tomando a consideración como parámetro importante la temporada y los implementos que se logran producir de acuerdo con la climatización. Este tipo de micro granjas utilizan una combinación de avances de alta tecnología y métodos tradicionales que tiene como objetivo proteger la fertilidad natural de la tierra. (Maximum Yield, 2021)

Figura 17
Diseño de estructural de una Microfarm

Fuente: (Schipani, 2019)

2.5 Sistemas embebidos

Un sistema embebido está compuesto por una parte de hardware y otra de software los cuales están trazados para un objetivo en específico. Este tipo de sistemas pueden ser programables o manejar una funcionalidad fija(Daniel, 2021).

Un sistema integrado puede estar basado en un microprocesador el cual puede ser parte de un sistema grande o funcionar independientemente, el núcleo del sistema comprende un circuito integrado diseñado para ejecutar cálculos para operaciones que son realizadas en tiempo real. Las complejidades de un sistema van desde un solo microcontrolador hasta un conjunto de varios procesadores y redes conectados, en el mismo puede no existir ninguna interfaz de usuario o incluso existir interfaces de usuario complejas; y estas interfaces pueden manejar botones, LED, y sensores de pantalla táctil e incluso ser manejadas de manera remota.

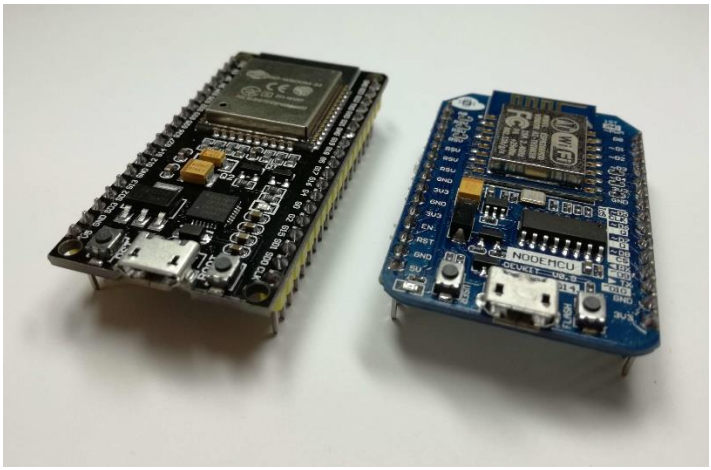
Los sistemas integrados son pequeñas computadoras de bajo costo y bajo consumo de energía, estos utilizan los puertos de comunicación para transmitir los datos entre el procesador y los dispositivos periféricos utilizando de por medio un protocolo para comunicarse. El procesador del sistema embebido interpreta estos datos con la ayuda de un software mínimo almacenado en la memoria, este es lo más específico posible en cuanto a las funciones que debe cumplir el sistema.(Lutkevich, 2020)

2.5.1 Microcontrolador

Un microcontrolador este definido como un circuito integrado, una computadora pequeña en un solo chip, con bajo costo y autónoma bosquejada para cumplir una función en específico en un sistema embebido. Es decir, este chip de silicio es programable y funciona a base de un reloj, utilizando registros, de manera que acepta entradas las procesa y al finalizar entrega salidas que resultan respuestas y resultados de las instrucciones almacenadas en la memoria del microcontrolador. (Ligo, 2021)

Existen varias familiar de microcontroladores, como un ejemplo de este elemento en la figura 18 se adjunta una imagen de la familia de microcontroladores ESP32 y ESP8266

Figura 18
Micrococontroladores ESP32 y ESP8266



Fuente: (Tecnoelite, 2023)

Un microcontrolador está conformado por varios elementos que se abordaran a continuación:

CPU: Es la unidad lógica y aritmética, su función es llevar a cabo el control y manejar la matriz de registros. Se enfoca en realizar las operaciones aritméticas y lógicas con los datos recibidos en dispositivos de entrada o en la memoria, la matriz de registros que lleva a cabo cuenta con una serie de registros funcionando como un acumulador y actuando con ubicaciones temporales de memoria de acceso rápido para el procesamiento de los datos.

RAM: Es la memoria de acceso aleatorio, volátil, implementada para el almacenamiento dinámico de datos, funcionando a la par con el microcontrolador que realiza las instrucciones.

ROM: Es la memoria de lectura, y es utilizada para el almacenamiento del programa o instrucciones que deben realizarse al ejecutar las funciones del microcontrolador. Es decir, la CPU obtiene toma las instrucciones de la ROM y las ejecuta una a la vez.

Puertos de Entrada y salida: Son los pines de entrada y salida con propósito generalizado, los cuales pueden ser configurados de acuerdo con el criterio de diseño del usuario escribiendo en registros de configuración particulares. Entre las funciones que pueden cumplir esta leer, escribir en estados de alto o bajo y con dirección desde los pines o hacia los pines.

Reloj: El reloj es una parte importante del microcontrolador debido a que se ejecuta mientras las indicaciones del programa almacenado son realizadas, estas instrucciones son impulsadas por una lógica secuencial siendo este el funcionamiento del reloj en el microcontrolador. Por lo general la fuente de reloj puede ser externa o interna, sin embargo, los microcontroladores más avanzados logran multiplicar el reloj a frecuencias más altas.

Periféricos: El microcontrolador también presenta diferentes periféricos que son importantes los cuales pueden cumplir otras funciones entre algunos de estos tenemos: periféricos para comunicación serial, módulos de captura, conversores analógicos/digital, temporizadores o contadores, entre otros. (Gharge, 2022)

2.6 Sensores

Un sensor es un dispositivo que halla o responde a un tipo de entrada físico, las entradas de este pueden ser algún fenómeno ambiental, o parámetros como luz, presión, calor, humedad o movimiento. Al detectar, la salida por lo general es una señal que puede ser visualizada en una pantalla legible para la vista del humano o pueden ser datos transmitidos electrónicamente mediante una red para la lectura y procesamiento.

El Internet de las cosas (IoT) también conocidos como objetos inteligentes, es una red de dispositivos físicos, vehículos, electrodomésticos y otros objetos físicos que están integrados con sensores, software y conectividad que les permite recopilar y compartir datos. Es por esto que este

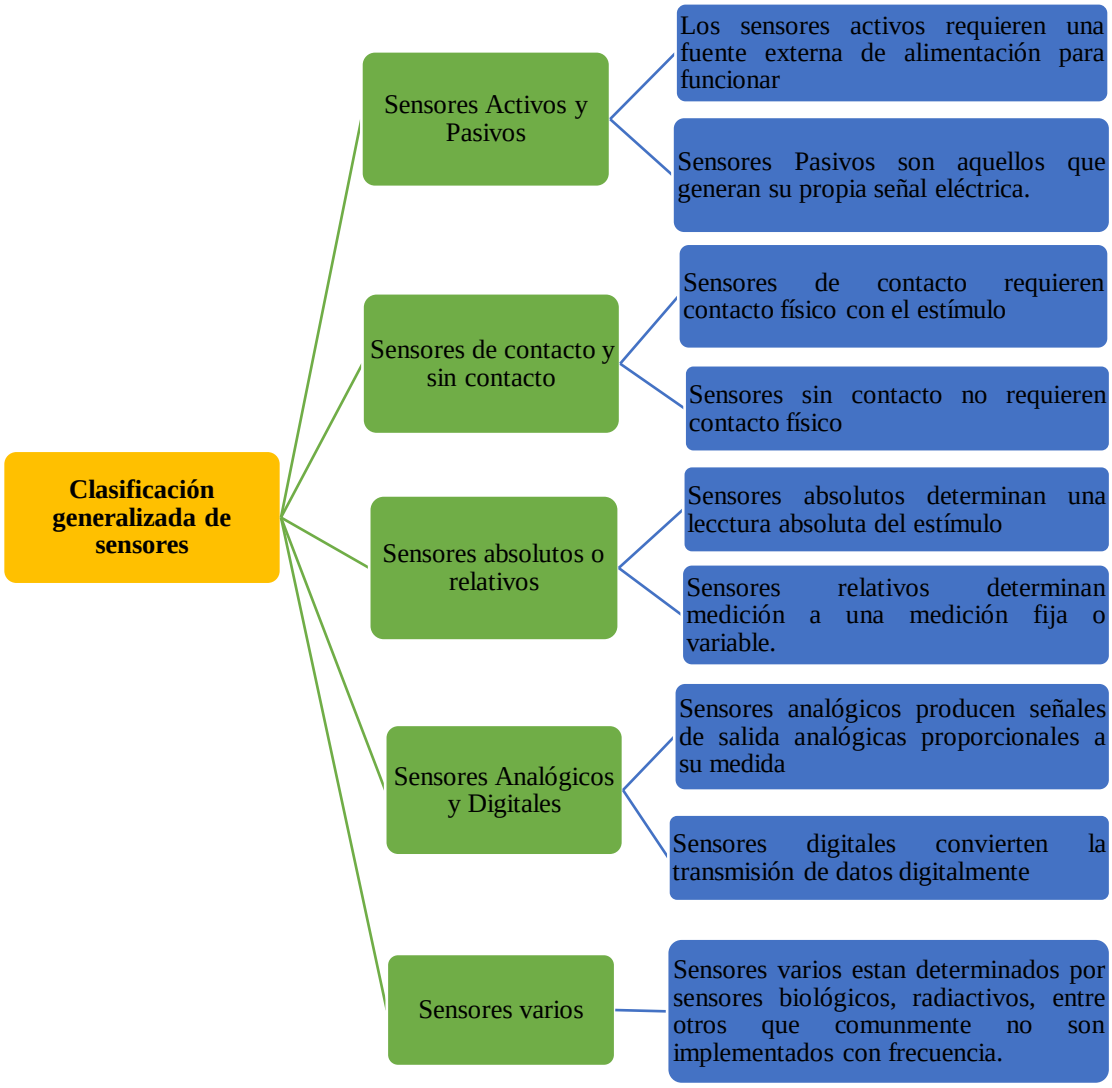
elemento cumple con un papel importante en la tecnología IoT, permitiendo crear mediante un conjunto de sensores monitorizados, controlados y administrados en un ecosistema para la recopilación y procesamiento de datos sobre un entorno específico para así lograr un funcionamiento más fácil y eficiente del entorno. Se ha determinado que los sensores cierran el límite existente entre el mundo físico y el mundo lógico debido a su forma de actuación y desenvolvimiento en una infraestructura informática que actúa y analiza en base a los datos recopilados de los sensores que se mantengan implementados. (Sheldon, 2022)

2.6.1 Clasificación de sensores

La clasificación de sensores puede tener variedad, sin embargo, se logran identificar 5 grupos principales a continuación, se detalla la clasificación de sensores generalizada.

Figura 19

Organizador gráfico de la clasificación de sensores y función



Adaptado de (Teja, 2021)

Dentro de la clasificación de sensores que se detalló en la figura 19 existe variedad de sensores desde los más comunes hasta sensores que no son frecuentemente utilizados. Por lo general lo sensores más frecuentes son implementados para medir propiedades físicas, y se encuentran distribuidos entre cada uno de los apartados de esta clasificación(Teja, 2021).

A continuación, se enlista algunos ejemplos de los tipos de sensores que actúan conforme a las propiedades físicas.

- Sensor de Temperatura
- Sensor de Proximidad
- Sensor de infrarrojos
- Sensor de luz
- Sensor de presión
- Sensor ultrasónico
- Sensor de humo
- Sensor de gas, alcohol
- Sensor táctil
- Sensor de color
- Sensor de humedad
- Sensor de posición
- Sensor magnético
- Sensor de inclinación
- Sensor de caudal y nivel
- Sensor de tensión y peso

Para la investigación de esta propuesta, se debe identificar los sensores que son aptos para medir las variables predeterminadas para la producción de compostaje de acuerdo con el método de descomposición a aplicar y a los valores necesarios para el análisis, con el fin de precisar y obtener información viable y confiable. Los tipos de sensores a utilizar son los siguientes:

- Sensor de temperatura
- Sensor de gas
- Sensor de humedad

2.7 Plataformas de programación para sensores

Internet of Things (IoT) es un paradigma que promueve un mundo en el que los objetos inteligentes y los dispositivos electrónicos se comunican y coordinan de forma autónoma para realizar una amplia gama de tareas. Desde un punto de vista técnico, el desarrollo de sistemas IoT no es una tarea fácil; debido a la gran heterogeneidad entre los objetos inteligentes y la gran cantidad de tecnologías aplicadas, los desarrolladores de estos sistemas deben tener un fuerte conocimiento técnico.

Es por esta razón que son necesarias las plataformas de programación para IoT, mismas pueden ser de código abierto o pagadas. Estas plataformas son programas que pueden ser instalados en un ordenador, en un servidor o en algún elemento que disponga de un procesador el mismo que en su arquitectura debe ser compatible con la plataforma. Mediante estas plataformas se creará un entorno, para procrear un programa utilizando un lenguaje de programación en específico. (Huntzinger, 2022)

De las plataformas más implementadas y sonadas por la eficiencia en la ejecución de procesos, estructuración de programa y ser de código abierto se presenta el siguiente top 10:

Node-RED

Es una herramienta de programación para conectar dispositivos de hardware, API y servicio en línea de formas nuevas e innovadoras. Esta herramienta proporciona un editor basado en navegador web que facilita la conexión de flujos mediante una amplia gama de nodos de la

paleta que se pueden implementar en su tiempo de ejecución mediante un clic, se basa en un entorno de ejecución en Node.js y ejecuta su modelo sin bloqueo basado en eventos. (Editorial de Geekflare, 2022)

OpenRemote

Es una plataforma de administración de dispositivos IoT de código abierto para fabricantes de dispositivos (OEM), integradores y gobiernos, maneja todas las funciones de IoT desde la conexión de dispositivos hasta la creación de aplicaciones y aplicaciones inteligentes específicas de dominio. (Editorial de Geekflare, 2022)

Flutter

Es un marco de trabajo de código abierto de Google para crear aplicaciones multiplataforma compiladas de forma nativa a partir de una única base de código. El código de flutter se compila en código de maquina ARM o Intel, así como en JavaScript, para un rendimiento rápido en cualquier dispositivo. (Editorial de Geekflare, 2022)

Arduino

Es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software, la cual permite la lectura de placas de Arduino y otro tipo de familias de microcontroladores mediante lo cual se logra enviar un conjunto de instrucciones al microcontrolador en la placa. Para este procedimiento utiliza el lenguaje de programación Arduino y el software Arduino (IDE) basado en Processing. (Editorial de Geekflare, 2022)

M2MLabs MainSpring

Es un marco de aplicación para crear aplicaciones de máquina a máquina, como el seguimiento de vehículos o control remoto de máquinas, en estas aplicaciones normalmente un dispositivo remoto equipado con sensores y actores se comunica con una aplicación de servidor que ejecuta el protocolo de comunicación del dispositivo, configuración del dispositivo, el almacenamiento de datos enviados por los dispositivos y la lógica comercial de la aplicación y la de presentación. (Editorial de Geekflare, 2022)

ThingsBoard

Es una Plataforma de IoT de código abierto que permite un rápido desarrollo, gestión y escalado de proyectos de IoT. El objetivo es proporcionar la solución local o en la nube de IoT lista para usar que habilitará la infraestructura del lado del servidor para sus aplicaciones de IoT(Editorial de Geekflare, 2022).

Kinoma

Es un grupo de ingeniería de software que proporciona una pila EMCAScript multiplataforma de código abierto destinada a desarrollar software para productos de IoT y otros dispositivos integrados(Editorial de Geekflare, 2022).

Kaa IoT Platform

Es una plataforma IoT que proporciona administración de dispositivos, recopilación de datos, procesamiento y análisis de datos, alertas, visualización de datos, administración de configuración, ejecución de comandos, actualizaciones inalámbricas y más. Proporciona una tendencia múltiple integral con aislamiento total de los datos, usuarios, permisos, paneles, soluciones, etc. de cada usuario. Se basa en microservicios nativos de la nube que pueden ser intercambiados, personalizados o integrados con terceros.(Editorial de Geekflare, 2022).

SiteWhere

Es una plataforma de habilitación de aplicaciones de código abierto de potencia industrial para Internet of Things (IoT). Proporciona una infraestructura basada en microservicios de múltiples inquilinos que incluye las características clave requeridas para construir e implementar aplicaciones IoT.(Editorial de Geekflare, 2022).

DSA

Es una plataforma de IoT de código abierto que facilita la intercomunicación, la lógica y las aplicaciones de dispositivos en cada capa de la infraestructura de Internet de las cosas. El objetivo es unificar los dispositivos, servicios y aplicaciones dispares en un modelo de datos en tiempo real estructurado y adaptable.(Editorial de Geekflare, 2022).

2.8 Lenguajes de programación

Los lenguajes de programación son lenguajes informáticos que son implementados por los programadores, desarrolladores de aplicaciones para lograr la comunicación con el ordenador. Es así como se lo defino como un conjunto de instrucciones o funciones escritas en cualquier lenguaje para llevar a cabo una tarea específica, por lo general son implementados para el desarrollo de sitios web, aplicaciones móviles, o aplicaciones de escritorio. (JavaTpoint, 2021)

Algunos de los lenguajes de programación que se pueden manejar son los siguientes:

2.8.1 Matlab

Es un lenguaje de programación de alto nivel, diseñado para ingenieros y científicos que ayuda a expresar directamente las matemáticas de matrices y arreglos, este programa puede ser implementado para ejecutar comandos interactivos simples hasta el desarrollo de aplicaciones a gran escala. (Computer Hope, 2021)

2.8.2 C++

Es un lenguaje multiplataforma orientado a objetos que se puede utilizar para crear aplicaciones de alto rendimiento, fue desarrollado como una extensión del lenguaje C. brinda a los programadores un alto nivel de control sobre los recursos y la memoria del sistema, por lo general este lenguaje se puede encontrar en los sistemas operativos actuales, interfaces gráficas de usuario y los sistemas integrados. (Computer Hope, 2021)

2.8.3 JavaScript

Es un lenguaje de secuencia de comandos o programación que permite implementar funciones complejas en páginas web, crear contenido de actualización dinámica, controlar multimedia, animar imagines y más. La sintaxis se basa en los lenguajes Java y C y es compatible con la programación funcional, ya que las funciones son de primera clase y puede crearse fácilmente a través de expresiones y transmitirse como cualquier otro objeto**.** (Computer Hope, 2021)

2.8.4 Java

Es un lenguaje de programación orientado a objetos y una plataforma de software ampliamente utilizado que se ejecuta en miles de millones de dispositivos, incluidas computadoras portátiles, dispositivos móviles, consolas de juegos, dispositivos médicos y otros. Las reglas y la sintaxis de Java se basan en los lenguajes C y C++, y su principal ventaja es su portabilidad. (Computer Hope, 2021)

2.8.5 Python

Es un lenguaje de programación de alto nivel interpretado, orientado a objetos y con semántica dinámica, sus estructuras de datos integradas de alto nivel, combinadas con la escritura y el enlace dinámicos, lo hacen muy atractivo para el desarrollo rápido de aplicaciones, así como

para el uso como lenguaje de secuencias de comandos o pegamento para conectar componentes existentes entre sí. La sintaxis simple y fácil de aprender Python enfatiza la legibilidad y por lo tanto reduce el costo de mantenimiento del programa. (Computer Hope, 2021)

2.9 Bases de datos

Una base de datos es una colección organizada de información estructurada, o datos normalmente almacenados electrónicamente en un sistema informático. Las bases de datos por lo general están controladas por un sistema de administración de bases de datos. Los dos elementos con las aplicaciones asociadas se conocen como un sistema de base de datos. (Lutkevich, 2023)

Existen softwares de base de datos que se utilizan para crear, editar y mantener archivos y registros de bases de datos, lo que facilita la creación de archivos y registros, la entrada de datos, la edición de datos, la actualización y la generación de informes. Estos softwares simplifican la gestión de datos al permitir que los usuarios almacenen datos en una forma estructurada y luego accedan a ellos; por lo general tiene una interfaz gráfica para ayudar a crear y administrar los datos. (Lutkevich, 2023)

A continuación, se enlistan varios de estos softwares:

2.9.1 MySQL

Es un sistema de administración de base de datos SQL de código abierto más popular, es desarrollado, distribuido y respaldado por Oracle Corporation. Incluye numerosas funciones desarrolladas en estrecha colaboración con los usuarios durante más de 25 años(Anton, 2023).

2.9.2 MariaDB

MariaDB es una de las bases de datos relacionales de código abierto más populares, es parte de la mayoría de las ofertas en la nube y el valor predeterminado en la mayoría de las

distribuciones de Linux. Se basa en los valores de rendimiento, estabilidad y apertura, una de sus funcionalidades es que incluye agrupamiento avanzado con Galera Clúster 4, características de compatibilidad con Oracle Database y tablas de datos temporales, lo que permite consultar los datos tal como estaban en cualquier momento en el pasado.(Anton, 2023).

2.9.3 PostgreSQL

PostgreSQL es un sistema de base de datos relacional avanzado, de clase empresarial y de código abierto. PostgreSQL admite consultas SQL (relacionales) y JSON (no relacionales), es una base de datos altamente estable y se utiliza como base de datos principal para muchas aplicaciones web, así como para aplicaciones móviles y de análisis.(Anton, 2023).

2.10 Machine Learning

Se define a Machine Learning como el aprendizaje automático que permite a las aplicaciones de software ser más precisas en la predicción de resultados, sin específicamente estar programadas para realizar esta función. Es una rama de la inteligencia artificial en la que los algoritmos de aprendizaje automático implementan datos previos en la entrada para al finalizar predecir nuevos valores de salida, lo cual ha permitido que mediante este tipo de aplicación se imite la forma en que los humanos aprenden para mejorar gradualmente su precisión. (Kanade, 2022)

Según un estudio reciente por parte de IBM el aprendizaje automático es uno de los entes importantes del creciente campo de la ciencia de datos, implementando el uso de métodos estadísticos, los algoritmos se entrenan para hacer clasificaciones o predicciones y descubrir información clave en proyectos de minería de datos. Al obtener estos conocimientos a futuro impulsan la toma de decisiones dentro de las aplicaciones y los negocios, lo que idealmente impacta en las métricas de crecimiento clave. (IBM, 2020)

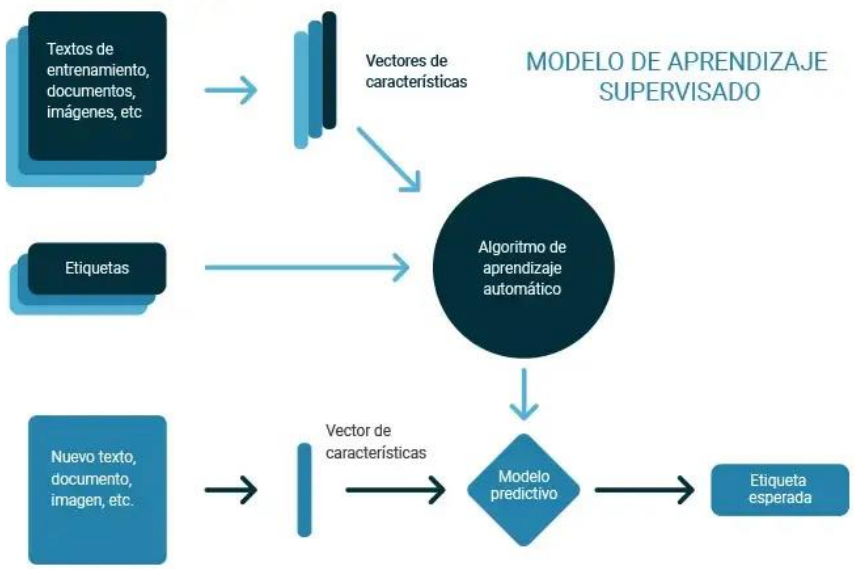
De acuerdo con el modelado y al funcionamiento en referencia a la precisión y al aprendizaje del algoritmo existen 3 enfoques básicos del Machine Learning que a continuación se abordarán.

2.10.1 Aprendizaje supervisado

Este tipo de aprendizaje como su nombre lo indica se basa en la supervisión, es decir se entrena el sistema a partir de un conjunto de datos etiquetados con precisión y en función de este proceso el sistema puede predecir el resultado. Los datos etiquetados especifican que algunas de las entradas ya están asignadas a la salida o a un valor predeterminado en otras palabras, el sistema es entrenado con las entradas y salidas correspondientes para luego predecir la salida utilizando los datos de prueba.

El conjunto de datos de entrenamiento es solo una mínima parte de lo que comprende el conjunto de datos total de un sistema, este conjunto de datos permite al algoritmo una idea básica del problema a solucionar. El principal objetivo de este aprendizaje es mapear la variable de entrada con la de salida con el fin de resolver problemas de clasificación categórica. En la figura 20 se presenta un flujograma del modelo de aprendizaje supervisado y su proceso. (Potentia Analytics, 2021)

Figura 20
Flujograma del proceso de aprendizaje supervisado



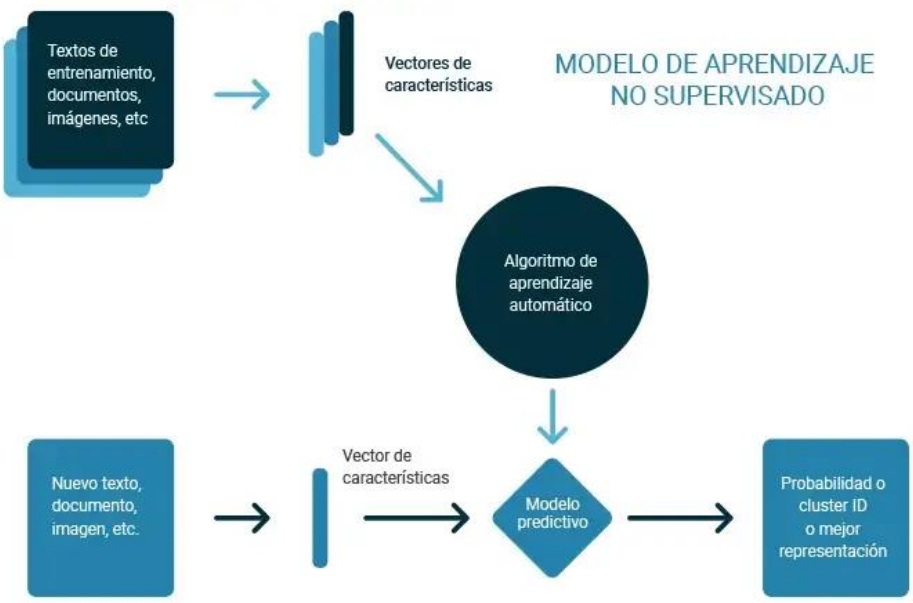
Fuente: (González, 2018)

2.10.2 Aprendizaje no supervisado

En el aprendizaje no supervisado el sistema se entrena utilizando un conjunto de datos sin etiquetar y mediante el proceso el sistema predice la salida sin ninguna previa supervisión. Los modelos se entrenan con datos que no están clasificados ni llevan asignados una etiqueta, la función principal de este algoritmo es agrupar o categorizar el conjunto de datos sin llevar a cabo una clasificación en cuanto a patrones, similitudes o diferencias; el sistema recibe las instrucciones para encontrar los patrones ocultos del conjunto de datos de entrada.

A pesar de que pueden ser implementados para tareas complicadas sin grupos de datos etiquetados de por medio, existen ocasiones en las que la salida de un algoritmo no supervisado puede ser menos precisas debido a que el conjunto de datos no está etiquetado y los algoritmos no se han entrenado con la salida exacta. (Potentia Analytics, 2021)

Figura 21
Flujograma del proceso de aprendizaje no supervisado



Fuente: (González, 2018)

2.10.3 Aprendizaje por Refuerzo

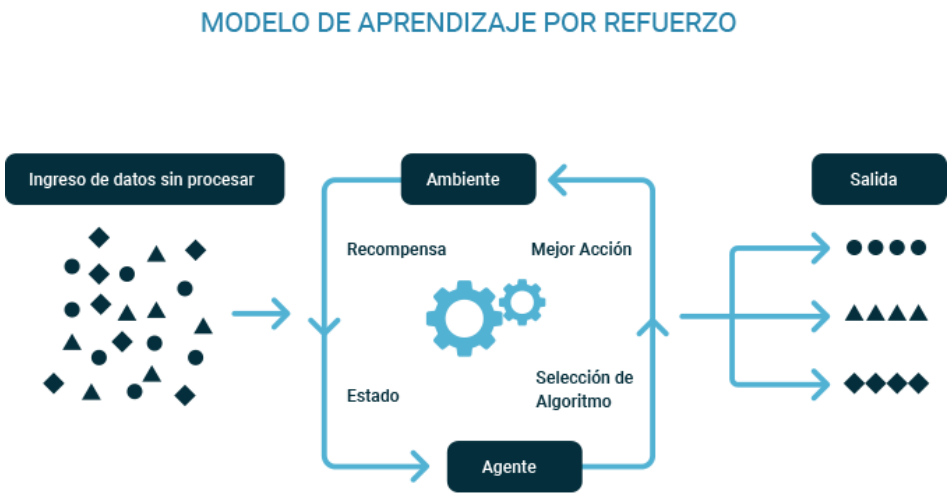
Este tipo de aprendizaje funciona a base de la retroalimentación, en el que un agente o componente de software de Inteligencia Artificial, explora automáticamente su entorno rastreando, tomando medidas, aprendiendo de las experiencias y mejorando su rendimiento con base en sus reconocimientos. El algoritmo se mejora a sí mismo y aprende de las nuevas situaciones utilizando el método de prueba y error. Los resultados favorables son compensados por cada buena ejecución o castigado por cada mala ejecución, por lo que el objetivo principal es maximizar las recompensas.

El aprendizaje por refuerzo no contiene datos etiquetados, los agentes que interviene aprenden solo de las experiencias de análisis que ejecutan durante el proceso, cuando los resultados

no son favorables el algoritmo se ve obligado a repetir el proceso hasta encontrar un mejor resultado. (Potentia Analytics, 2021)

En la figura 22 se puede observar el proceso de aprendizaje por refuerzo por bloques a fin de obtener la salida correspondiente.

Figura 22
Flujograma del proceso de aprendizaje por refuerzo



Fuente: (Gonzalez, 2018)

2.11 Redes Neuronales

Definidas como las redes simuladas, hacen referencia a un subconjunto del aprendizaje automático y trabajan a base de los algoritmos de aprendizaje profundo. El nombre viene y hace enfoque a la estructura y funcionamiento del cerebro humano, debido a como las neuronas biológicas envían las señales entre sí.

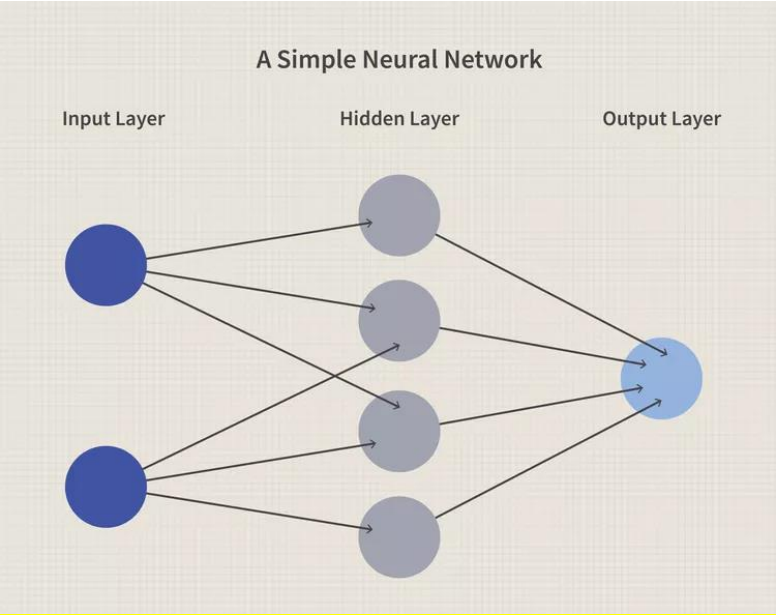
Las redes artificiales están comprendidas de una capa de entrada, varias capas ocultas y una capa de salida y a la vez manejan nodos que se conectan entre si asociados con pesos o

umbrales base. Es decir que, si la salida de cualquier nodo individual se encuentra ubicado por encima del valor umbral del otro, ese nodo se activa y procede a enviar datos a la siguiente capa de red, caso contrario lo datos se mantienen en la misma capa.

Para el funcionamiento de una red neuronal esta debe estar basada en datos de entrenamiento para conforme realice el aprendizaje pueda mejorar la precisión en cada proceso, hasta llegar a lograr la precisión de funcionamiento lo cual garantizaría la eficacia del algoritmo al lograr clasificar y agrupar datos a altas velocidades y con fines específicos. (Chen, 2022)

En la Figura 23 se puede verificar una estructura simple de cómo se encuentra compuesta una red neuronal.

Figura 23
Estructura simple de una Red neuronal



Fuente: (Jiang, 2020)

2.11.1 Tipos de Redes Neuronales

Las redes neuronales se clasifican según su estructura, flujo de datos, numero de neuronas implementadas y la densidad, capas y filtros de activación de profundidad etc. A continuación, se presentas algunas de las más importantes.

Perceptrón

Es uno de los modelos más simples y antiguos de Neuron, es la unidad más pequeña de red neuronal que realiza ciertos cálculos para detectar características o inteligencia empresarial en los datos de entrada. Acepta entradas ponderadas y aplica la función de activación para obtener la salida como resultado final.(Castillo, 2022)

Convolucional

La red neuronal de convolución contiene una disposición tridimensional de neuronas en lugar de la matriz bidimensional estándar. La primera capa se llama capa convolucional, cada neurona en la capa convolucional solo procesa la información de una pequeña parte del campo visual. Las características de entrada se toman por lotes como un filtro, la red comprende las imágenes en partes y puede calcular estas operaciones varias veces para completar el procesamiento completo de la imagen. (Castillo, 2022)

Recurrentes

Diseñado para guardar la salida de una capa, Recurrent Neural Network se retroalimenta a la entrada para ayudar a predecir el resultado de la capa. La primera capa suele ser una red neuronal de avance seguida de una capa de red neuronal recurrente donde una función de memoria recuerda parte de la información que tenía en el paso de tiempo anterior, en este caso se implementa la

propagación directa y almacena la información requerida para su uso futuro; si la predicción es incorrecta, la tasa de aprendizaje se emplea para realizar pequeños cambios. (Castillo, 2022)

Densa

Las redes neuronales densas pueden usar el aprendizaje profundo para crear modelos de clasificación para predecir etiquetas o variables categóricas a partir de un conjunto de datos, incluidos los conjuntos de datos que incluyen texto. Son la arquitectura de red que se puede usar para ajustar modelos de clasificación para características de texto y son un buen puente para comprender las arquitecturas de modelos más complejas que se usan con más frecuencia en la práctica para el modelado de texto, estos modelos tienen muchos parámetros y requieren un preprocesamiento diferente al de esos modelos. (Castillo, 2022)

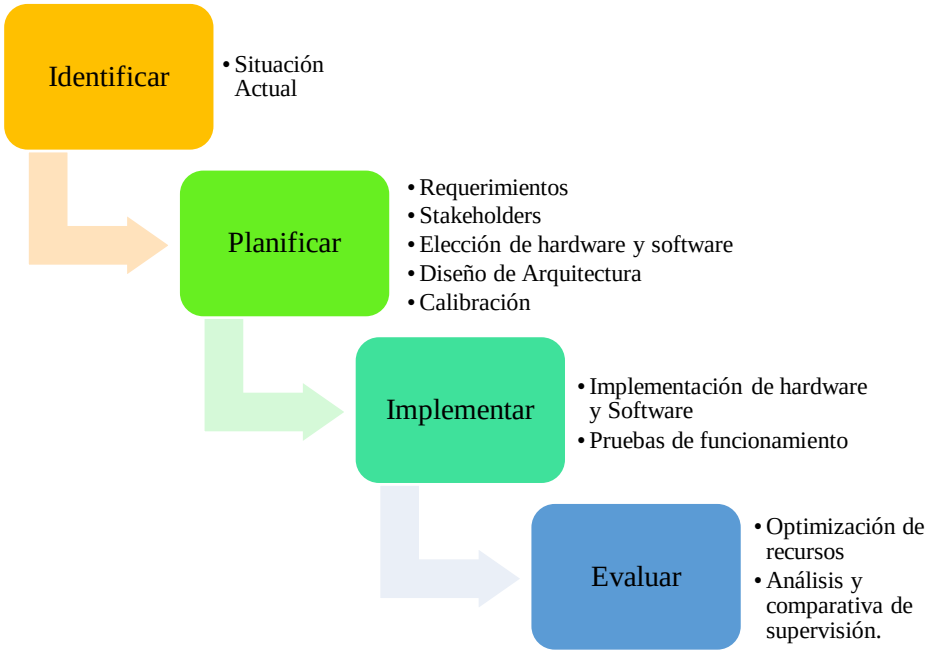
2.12 Metodología

Este proyecto utiliza la metodología "Action Research" determinada como investigación de acción, y es definida como un método de indagación sistemática donde el investigador inician una investigación de la etapa práctica llevando a ejecutar un proceso cíclico conforme al diagnóstico de problemas que se detecta y buscando en el desarrollo brindar una solución que lleve la base principal en el análisis realizado. Las fases por cumplir dentro de esta metodología son: identificar, planificar, implementar y evaluar aplicadas con el fin de mejorar practicas especificas a partir de datos recopilados para lograr introducir mejoras pertinentes en las practicas realizadas(Dudovskiy, 2018).

El objetivo del proyecto es crear un sistema autónomo de producción de composta que en su mayoría evite la contaminación ambiental en el desarrollo para sistemas microfarms; utilizando técnicas de aprendizaje de máquina de nivel alto que definan y cataloguen las muestras de datos

de las características de sensores que se implementen. En la figura 24 se observa las fases de ejecución de la metodología aplicada, los conceptos y requerimientos que interfieren en cada etapa.

Figura 24
Metodología Action Research – Fases



Adaptado de: (Dudovskiy, 2018)

La metodología Action Research lleva a cabo el proceso de 4 etapas que a continuación se detallaran en orden de ejecución:

Identificar. – Esta fase permite encontrar un punto de partida factible como un elemento principal de un proyecto de investigación, visualizar la solución a un problema en específico y determinar una idea a partir de investigaciones base para la verificación opcional de la solución del proyecto(Indeed, 2021).

Planificar. – La segunda fase es la implementación de un plan secuencial de cumplimiento de objetivos planteados para el proceso de elaboración del proyecto. Se presentan opciones

para la recopilación de datos de ser el caso, investigación de herramientas a implementarse, analizar la validez y relevancia de la información a tomar en consideración, y todo tipo de requerimientos principales para la estructura de proyecto buscando dar prioridad a las exigencias y alternativas mejor calificadas para el cumplimiento. (Indeed, 2021)

Implementar. – Fase de integración del plan elaborado en la fase 2, implica la selección del método de recopilación de información y organización de esta. El objetivo es buscar la materialización del objetivo planteado(Sagor, 2000).

Evaluar. – Evaluación de pruebas finales y comprobación de veracidad de información de cada una de las etapas del proyecto ejecutado. Verificación de funcionamiento y resultados recibidos durante la investigación. Esta fase implica el análisis del progreso a partir de un punto inicial, para determinar si se requiere modificar algún apartado de la idea inicial planteada para mejorar los resultados y adicionar cambios en el proyecto. (Sagor, 2000)

Esta metodología se adapta a la transformación del proyecto durante el transcurso debido a los sucesos de justificación técnica que puedan presentarse durante la fase de planificación y diseño.

3 CAPÍTULO III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Este capítulo presenta la elaboración de la propuesta de proyecto utilizando como metodología “Action Research” por lo que las fases a llevar a cabo son identificar, planificar e implementar. El investigador cumple la función activa puesto que tiene el enfoque en el diagnóstico de todos los posibles problemas que se presenten, con el fin de mediante su desarrollo se vaya determinando una solución a cada problema presentado en el previo diagnóstico.

En este capítulo se presenta criterios y flujogramas de diseño, para la elaboración de este proyecto el cual está enfocado a sistemas microfarms se debe tomar en cuenta que esta terminología es implementada en países mayormente desarrollados como Estados Unidos, en los cuales se hace referencia a pequeños invernaderos los cuales tienen el objetivo de la producción de varios tipos de hortalizas y más, pero en pequeñas cantidades. Sin embargo, en este proyecto al implementar esta terminología aquí en el Ecuador, se establece el enfoque y se hace referencia a los cultivos orgánicos que se emplean en los hogares, esto debido a que por causas a efecto de la pandemia muchas de las personas tomaron esta iniciativa de producción de sus propias hortalizas, y denominándolo así las pequeñas microfarms de hogar.

Para empezar el capítulo presenta el estudio de requerimientos y requisitos que son importantes para el desarrollo del diseño de sistema, elementos de implementación, flujogramas, diagramas de bloque y el análisis de datos.

3.1 Análisis de la situación actual

En este apartado se realizará una descripción breve de la situación actual a partir de la primera fase de la metodología Action Research establecida como identificar, en la que se hablará de sistemas microfarms, y como estos se han inmiscuido dentro del país. Además de varios de los requerimientos que este sistema necesita, para llevar a cabo su ejecución en los huertos urbanos.

Los sistemas microfarms son huertos agrícolas a pequeñas escalas en los cuales se utilizan menos tierra a diferencia de los invernaderos de gran escala, estos sistemas están enfocados para el sector familiar en áreas urbanas y rurales. Debido a los límites de tamaño y las restricciones de espacio, obligan a los micro agricultores a ser creativos sobre los cultivos que se sembrarán y la forma de darle un buen uso o producción de ganancia a los productos que se obtienen. (Curtis, 2019)

Según el Illinois College, los micro agricultores modernos utilizan una combinación de avances de alta tecnología y algunos métodos tradicionales que tienen como objetivo proteger la fertilidad natural de la tierra, mediante el uso de avances de vanguardia como la acuaponía, riego automatizado, iluminación LED, paneles solares, cultivos verticales.(Illinois College Online, 2019)

Este tipo de sistemas se han implementado por lo general en lotes urbanos dentro del hogar para uso personal y para generar una nueva fuente de ingresos, el principal atractivo es el bajo costo inicial y el hecho de darle el tratamiento adecuado a la tierra con técnicas antiguas y la implementación de nuevos métodos de tecnología. Las microfarms son la nueva ola del futuro que tiene como objetivo sustentar las necesidades del hogar a través del crecimiento de productos de maceta como pueden ser tomates cherrys, lechuga crespa, acelgas, hierbas aromáticas, ají, espinacas entre otros alimentos que son fáciles para sembrar y de fácil y corto crecimiento en cuanto al espacio que ocupa; al igual que el sembrado de plantas ornamentales. (Ecocycling, 2019)

Si bien en el Ecuador se implementó este concepto con el enfoque al desarrollo de cultivos orgánicos, esta situación parte a raíz de la emergencia sanitaria generada en marzo del 2020. Según un artículo generado a través del diario EL COMERCIO, el cultivo orgánico es visto como una forma de entretenerse buscando amenorar los gatos del hogar ya sea emprendiendo con la

producción y venta de los productos o con el consumo de estos. Por lo que se observó un incremento considerable tanto en la compra de semillas, varios suministros y algunos tipos de plantas. (Alvarado, 2020)

El proyecto de Agricultura Urbana Participativa certifica que entre los meses de marzo y junio del 2020 se llevaron a cabo 55 cursos de capacitación en línea contando con asistencia de un número de personas entre 40 y 60 por cada capacitación activa, tomando a consideración que previo a la pandemia este mismo proyecto realizaba capacitaciones con un número de asistentes de 25. Al ver la población que la pandemia se alargaba vieron a las microfarms como la necesidad de producir cultivos orgánicos por su cuenta; como fue el caso del Sr, Sebastián Garofalo siendo uno de los 127 huertos que se abrieron luego de los 3 meses de capacitaciones, el cual buscó con esta actividad cambiar la rutina que se llevaba a cabo en pandemia con el teletrabajo. (Ocaru, 2020)

Al transcurrir 1 año y 4 meses desde que las microfarms se implementaron en el Ecuador, estas siguen con vigencia de lo cual dejo de ser una simple moda y se convirtió en el estilo de vida de día con día al apegarse al consumo saludable de productos orgánicos, misma razón por la que la gente busca semillas de especies que sean de rápido crecimiento y del mínimo requerimiento de cuidado. (EL COMERCIO, 2021)

Hoy en día en pleno 2023 a través del proyecto AGRUPAR siguen ejecutándose microfarms buscando como un objetivo principal el aprovechamiento de los espacios pequeños, una sustentación en la economía familiar y con el consumo de los productos aportar a la mejoría de la salud, estos productos son libres de químicos, fertilizantes y agentes nocivos que puedan atentar contra la salud a corto y largo plazo. (Pilco, 2023)

Todo crecimiento de productos orgánicos parte de la fertilización de la tierra a través de abono, mismo complemento que en la emergencia sanitaria se elaboraba en los hogares de una forma empírica a partir del uso de los desechos orgánicos, de tierra y de varios procesos que llevaban a obtener un abono para las plantas. Sin embargo, este procedimiento no certificaba que la producción de este compostaje sea ejecutada adecuadamente, y contenta nutrientes para las plantas.

Mediante este proyecto se plantea un sistema mediante el que se pueda llevar a cabo la elaboración de composta a través de métodos validados y control de variables que permitan que el abono elaborado es viables y nutritivo para la aplicación en las plantas que conforman una microfarm. Al hablar de microfarms y del hecho que se enfoca a la implementación en espacios pequeños para la elaboración de este proyecto el sistema será implementado en la ciudad de Otavalo, barrio Monserrat en la casa de la señora Mercedes Rosero. La casa de la señora cuenta con un patio de 3m de ancho por 7m de largo, en este lugar se tiene considerado un espacio de 1m cubico para ubicar los componentes que conforman el sistema de elaboración de compostaje.

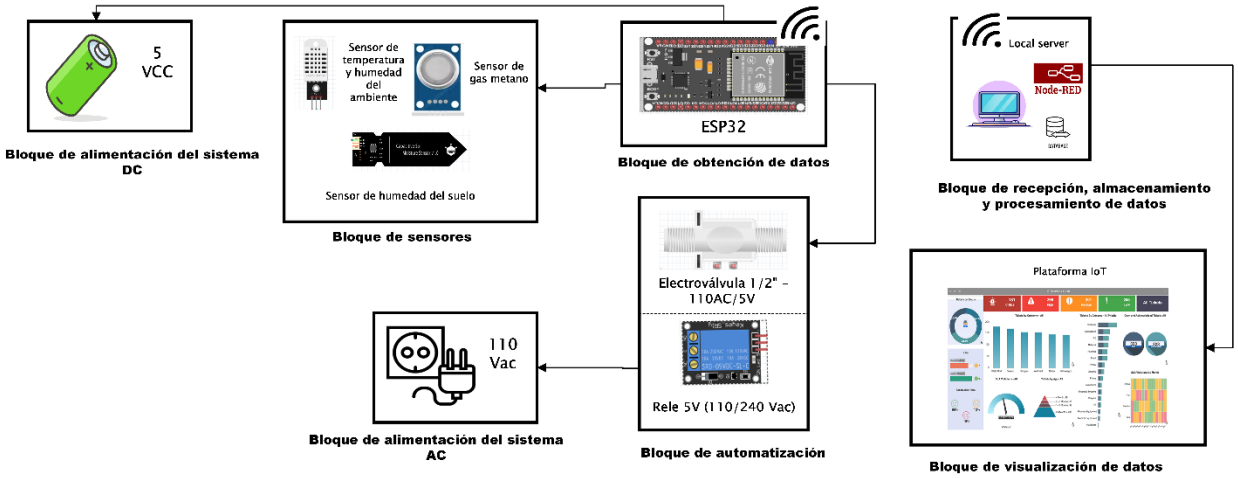
La caja del sistema de compostaje es una caja que no excede el metro cubico, que está forrada con plástico para invernadero este elemento permite concentrar la temperatura interna para aplicar el método de descomposición elegido. Esta caja tendrá en su interior un recipiente de 20 litros que contendrá tierra y residuos que se encontrará sobre una caja base llena de tierra, esta técnica de compostaje permite que sean aprovechados los nutrientes sólidos y líquidos que se generan al realizar el proceso de descomposición, también hay una válvula solenoide que permitirá el riego automatizado del compostaje a través de un aspersor que va direccionado al recipiente donde se encuentran los residuos, y un calefactor que expondrá los residuos a temperaturas entre los 50 y 65 grados para la descomposición.

Para poner en acción este sistema debe ser ubicado en un lugar donde la luz del sol pueda dar directamente hacia la caja para así lograr contribuir a elevar las temperaturas internas, debe haber un sistema de tubería de agua cerca de la caja a la cual irá conectada una manguera que va conectada con la electroválvula para que permita el flujo de agua en la parte interna hacia los residuos para mantener húmeda la tierra. Por último, debe existir cerca un tomacorriente que permitirá activar la electroválvula y mantener el calefactor encendido.

3.2 Diagrama de bloques de funcionamiento del sistema

Con base en la metodología elegida y a secuencia de las etapas, se realiza una breve reseña del diseño del sistema con el funcionamiento de cada bloque que lo forma. Cada bloque presenta el proceso, funcionalidad de los componentes en el sistema completo. En la figura 25 se puede visualizar la estructuración de cada bloque y sus conexiones logrando establecer un boceto del proyecto.

Figura 25
Diagrama de bloques del sistema.



Fuente: Autoría

A continuación, se detalla el funcionamiento de cada bloque presentado en la figura 24:

- ***Bloque de alimentación del sistema DC.- Este*** bloque cumple el funcionamiento de alimentar el sistema, es decir el aporte energético a la placa controladora de toma de datos y la placa de procesamiento. Mediante este bloque se logrará mantener una identificación del uso de energía por parte de los elementos del sistema.
- ***Bloque de sensores. -*** Este Bloque se atribuye al grupo de sensores encargados de realizar la recepción y toma de parámetros del microclima del lugar en el que se encuentra elaborando la composta.
- ***Bloque de obtención de datos. -*** El funcionamiento de este bloque va enfocado a la adquisición de valores análogos, o digitales que se obtiene a través de los sensores, con el fin de buscar acondicionarlos a los valores adecuados de cada sensor.
- ***Bloque de automatización. -*** La función de este bloque va enfocada a la gestión de los parámetros de humedad del suelo obtenidos del sensor, para la producción automática del riego e hidratación del suelo. La electroválvula debe ser gestionada y controlada por el microcontrolador, y debe ir conectada a una toma de 110V para activarse cuando sea necesario.
- ***Bloque de alimentación del sistema AC. -*** Permite alimentar la electroválvula para activarla automáticamente de acuerdo con las ordenes que se generé en el microcontrolador.
- ***Bloque de recepción, almacenamiento y procesamiento de datos. –*** El bloque cumple la función de procesar y almacenar los datos receptados por el bloque de obtención de datos. Mediante este bloque se realiza el algoritmo de aprendizaje que se seleccione y se determina si la producción de composta es viable.

- ***Bloque de visualización de datos.*** **-** Mediante este bloque se logra visualizar los datos tomados por los sensores en el bloque de adquisición de datos, en tiempo real al administrador de esta manera se puede llevar a cabo un monitoreo constante del sistema.

3.3 Requerimientos

Lo requerimientos son los factores y recursos necesarios para tomar en consideración en la elaboración y funcionamiento adecuado del sistema a desarrollar. Estos factores se plantean a partir del estándar ISO/IEC/IEEE 29148: 2018(ISO/IEC/ IEEE, 2018), el cual tiene directivas para el desarrollo de proyectos de ingeniería relacionados con sistemas artificiales, elementos de hardware y software. Para lo cual se requiere definir características de funcionamiento de elementos, restricciones, funciones principales a cumplir y requisitos necesarios a aplicar a lo largo del ciclo de vida del proyecto en desarrollo.

En la Tabla 1 que se presenta, se detalla las abreviaturas usadas para definir las especificaciones. Todas las tablas que se desarrollen en adelante están realizadas tomando como base el estándar especificado con anterioridad, por lo cual se detallaran los requerimientos principales del sistema, requerimientos de stakeholders y de arquitectura.

Tabla 1
Abreviatura de términos que se han utilizado para analizar los requisitos de sistema

Abreviatura	Descripción
SRSH	Requerimientos de Hardware y Software
StSR	Requerimientos de Stakeholders
SySR	Requerimientos del sistema

Fuente: Adaptado de (ISO/IEC/ IEEE, 2018)

3.3.1 Requerimientos de Stakeholders

Se denomina stakeholders al grupo de individuos que generan impacto y forman parte de manera indirecto o directa en el desarrollo del proyecto, de este modo vienen a ser los usuarios del sistema para la producción de composta para sistemas microfarms. En la tabla 2, a continuación, se detallan los stakeholders que forman parte en el diseño y desarrollo del proyecto.

Tabla 2
Listado de Stakeholders del proyecto

Lista de Stakeholders	Descripción
1 usuarios del sistema	Personas que elaboran compost para sistemas microfarms
2 MSc. Jaime Michilena	Director del trabajo de titulación
3 MSc. Luis Suárez	Codirector del trabajo de titulación
4 Blanca Segovia	Desarrolladora del Proyecto
5 Ing. Cristian Moreta	Agrónomo, Experto en invernaderos y producción de Composta

Fuente: Autoría

Para determinar los requerimientos técnicos del proyecto se considera mediante un análisis establecer las prioridades, riesgos, y requisitos obligatorios del sistema evaluados en 3 niveles de

criterio que son alta, media y baja, niveles mismos que serán determinados en base a la importancia del requisito. En la tabla 3 se determina la prioridad asignada a cada nivel.

Tabla 3
Descripción de prioridades de requerimientos

Prioridad	Descripción
Alta	Nivel de mayor importancia enfocado al funcionamiento superior del sistema
Media	En el nivel medio se permite suprimir algunos requisitos de carácter extremo, sin embargo, no añadirlos puede afectar el funcionamiento del sistema.
Baja	Los requisitos pueden ser suprimidos, sin causar impacto mayor en el funcionamiento.

Fuente: Adaptado de (Wiegers, 1999)

El objetivo de los requerimientos de stakeholders es determinar las necesidades operacionales y de usuario de parte de los implicados del sistema. En la tabla 4 se detalla los stakeholders de los interesados en el desarrollo del proyecto conforme al privilegio y los requerimientos operacionales necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

Tabla 4
Requerimientos Operacionales y de usuario de Stakeholders

Requerimientos de Stakeholders				
StSR				
#	**Requerimientos**	**Prioridad**		
		Alta	*Media*	*Baja*
REQUERIMIENTOS OPERACIONALES				
StSR1	El sistema debe estar implementado en un lugar que se mantengan temperaturas entre 55° a 65°	X		
StSR2	Adquisición de los datos de entrenamiento (variables de microclima, y gas de la descomposición de residuos) para la	X		

	determinación de viabilidad de producción de composta mediante el aprendizaje de máquina.		
StSR3	Permitir una conexión inalámbrica permanente para el envió de datos a una base de datos de almacenamiento y a una plataforma de procesamiento.	X	
StSR4	El funcionamiento del sistema debe ser continuo durante el día.	X	
	REQUERIMIENTOS DE USUARIO		
StSR5	El usuario debe visibilizar los parámetros de microclima de la descomposición de residuos en una aplicación para proyectos IoT en tiempo real.	X	
StSR6	El dimensionamiento del prototipo del sistema debe ser adecuado para sistemas microfarms y ocupar poco espacio.	X	

Fuente: Autoría

3.3.2 Requerimientos iniciales del sistema

Los requisitos de sistema reúnen las operatividades con las que debe contar el prototipo. En la tabla 5 se detalla las necesidades del sistema en referencia al manejo de interfaz, requisitos para el uso, estado del sistema y requerimientos tanto físico como de seguridad.

Tabla 5
Requerimiento del sistema

Requerimientos de Sistema				
SySR				
#	**Requerimientos**	**Prioridad**		
		Alta	*Media*	*Baja*
	REQUERIMIENTOS DE INTERFAZ			
SySR1	El sistema debe ser capaz de clasificar las variables de microclima de la descomposición de residuos en tiempo real.	X		
SySR2	El sistema de tener interacción entre la placa controladora y el servidor local.	X		

SySR3	El sistema requiere estar conectado a una fuente de alimentación	X
SySR4	El sistema debe visualizarse en una plataforma para proyectos de IoT	X
	REQUERIMIENTOS DE USO	
SySR5	El diseño de la estructura del contenedor de los componentes para elaborar la composta debe ser máximo de 1 metro tanto en ancho, alto y profundidad o valores menores a este de acuerdo con el tipo de técnica de descomposición que se desarrolle.	X
SySR6	El sistema debe tener un conversor de 110 V a 5 Vcc en la conexión al agua para la automatización.	X
	REQUERIMIENTOS DE MODO/ ESTADO	
SySR7	El sistema debe mantener procesamiento y operatividad todo el tiempo durante su estancia en el envase de descomposición de residuos.	X
	REQUERIMIENTOS FISICOS	
SySR8	El sistema debe ser de fácil implementación en el envase de contención.	X
SySR9	Entre el servidor y la placa controladora debe existir una correcta transmisión.	X
SySR10	Los sensores deben permanecer dentro del envase durante todo el tiempo de elaboración de la composta.	X
	REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD	
SySR11	Los sensores deben tener la capacidad de ser expuestos a temperaturas entre los 55 y 65 grados.	X
SySR12	El sistema debe permitir el acceso solo al administrador sin modificar la configuración del dispositivo.	X

Fuente: Autoría

3.3.3 Requerimientos de arquitectura

Los requisitos de arquitectura del sistema abordan las especificaciones y necesidades de hardware, software y plan eléctrico. Esta indagación sirve como punto de partida base para permitir realizar la selección de hardware y software apropiado para el funcionamiento del proyecto. En la tabla 6 se presentan estas directrices a detalle, para cada apartado analizado.

Tabla 6
Requerimientos de arquitectura

Requerimientos de Arquitectura				
SRSH				
#	**Requerimientos**	**Prioridad**		
		Alta	*Media*	*Baja*
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO				
SRSH1	Para el conjunto de sensores se requiere el diseño de una caja protectora que prevea el funcionamiento adecuado de los sensores ante los factores climáticos.	X		
SRSH2	Para el sistema se requiere utilizar una caja con cobertura completa que mantenga la temperatura ambiente entre 55° a 65°	X		
SRSH3	Para la instalación se debe realizar una visita previa para localizar el espacio correcto para la instalación del sistema.	X		
SRSH4	El sistema requiere de un sistema de tubería de agua cercano a donde se encuentre ubicado, para realizar la conexión al nebulizador de riego.	X		
SRSH5	El sistema requiere que cerca del lugar en el que sea ubicado se encuentre una toma de corriente para la alimentación de los dispositivos eléctricos y la placa de sensores.	X		
SRSH6	El diseño del contenedor debe ser lo suficientemente robusto para soportar el peso de la composta	X		

SRSH7	El diseño del contenedor debe encontrarse forrado de plástico de invernadero para lograr la conservación de calor dentro de la caja.	X
SRSH8	Las paredes de la estructura deben ser de color negro para obtener mayor temperatura dentro de la caja y preservar el calor.	X
SRSH9	El sistema requiere de una electroválvula para permitir la automatización de riego.	X
SRSH10	El sistema debe contar con un nebulizador de riego para la hidratación de suelo	X
	REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS	
SRSH11	El sistema debe disponer una fuente de poder de 3 a 5VCC en base a las características de los sensores a implementar	X
SRSH12	El sistema debe disponer de entradas para fuente de alimentación VCC y para tierra GND para la operatividad de los elementos del sistema.	X
	REQUERIMIENTOS DE HARDWARE	
SRSH13	El sistema requiere un sensor capaz de trabajar a temperaturas mayores a 55° y realice la medida de la temperatura ambiente y temperatura relativa continuamente.	X
SRSH14	El sistema requiere un sensor con capacidad de identificación y recepción de gas metano.	X
SRSH15	El sistema requiere un sensor con capacidad para medir la humedad del suelo.	X
SRSH16	El sistema requiere de un calefactor portátil	X
SRSH17	El sistema necesita un excelente procesador para realizar el procesamiento continuo para la información recolectada.	X
SRSH18	El sistema debe realizar el tratamiento de información en tiempo real.	X
SRSH19	El sistema requiere una placa que facilite realizar el entrenamiento de un modelo de aprendizaje de máquina, la placa PCB del núcleo de sensores debe ser de tamaño sintetizado.	X

SRSH20	El sistema requiere un microcontrolador con mínimo 2 entrada analógicas para la toma de datos de las variables de microclima	X
SRSH21	El sistema necesita estar protegido ante incidentes externos lo cuales expongan a una falla y riesgo del funcionamiento del dispositivo.	X
	REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE	
SRSH22	El sistema requiere utilizar una plataforma de programación de código abierto y libre acceso	X
SRSH23	La plataforma debe contar con la posibilidad de manejar dependencias de sensores, módulos para procesamiento y librerías.	X
SRSH24	El sistema requiere tener compatibilidad entre el bloque de sensores con el bloque de procesamiento y la plataforma	X
SRSH25	El sistema requiere que la plataforma de programación permita llevar a cabo en tiempo real el aprendizaje de máquina.	X
SRSH26	El sistema requiere de una base de datos que funcione con el almacenamiento de información de acuerdo con los parámetros.	X

Fuente: Autoría

3.4 Selección de elementos Hardware y Software

Al finalizar el establecimiento de requerimientos de Stakeholders con base en la metodología de aplicación, se realiza la selección de implementos de hardware y software mediante una comparativa entre las especificaciones técnicas y características de varios elementos de acuerdo con las funciones principales que se busque destacar y obtener, buscando seleccionar el que se adapte mejor de acuerdo con los requerimientos del proyecto.

3.4.1 Hardware

La selección de implementos de hardware se realiza a partir de los bloques que se pretende aplicar dentro del desarrollo del proyecto. Este proceso se realiza en base a los requerimientos de arquitectura, sección requisitos de hardware que fueron establecidos en la tabla 6.

3.4.1.1 Selección del Sensor de humedad del suelo

Hay varios sensores que cuentan con la capacidad de medir la humedad del suelo en diferentes estados; en la siguiente tabla se detallan algunos de los sensores considerados para la selección:

Tabla 7
Selección de Sensor de humedad del suelo

Hardware	**Requerimientos**							**Puntaje**
	StSR4	**SySR3**	**SySR5**	**SySR10**	**SRSH11**	**SRSH12**	**SRSH15**	
Módulo sensor resistivo de humedad del suelo FC-28	0	1	1	0	1	1	1	5
Sensor capacitivo de humedad del suelo	1	1	1	1	1	1	1	7

1 = Cumple

0 = No cumple

Componente elegido: Sensor capacitivo de humedad del suelo.

Fuente: Autoría

Con base en la tabla 7 para la selección del sensor, en la tabla 8 que se presenta a continuación se detallan las características técnicas de los sensores, datos tomados de datasheets

de los elementos. En esta tabla se determinan valores de corriente, alimentación, tipo de funcionamiento, temperatura de operación y costo.

Tabla 8
Especificaciones técnicas de los sensores de humedad del suelo

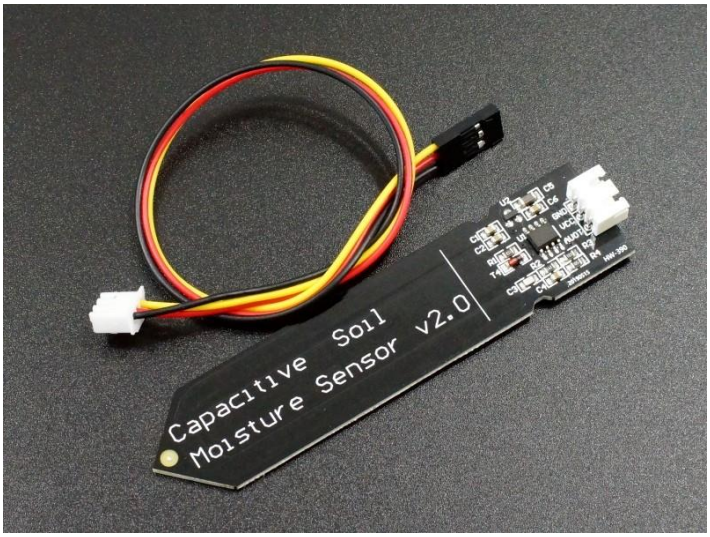
	CARACTERISTICAS ESPECIFICAS				
MODELO DE SENSOR	***Corriente***	***Alimentación***	***Tipo***	***Temperatura***	***Costo***
Módulo sensor resistivo de humedad del suelo FC-28	35mA	5 V	Resistivo	10°-30° C	$ 3.00
Sensor capacitivo de humedad del suelo	5 mA	5V	Capacitivo	15° - 60°C	$5.00

Fuente: (Naylamp Mechatronics SAC, 2021)

En la figura 26 se presenta el sensor seleccionado “Sensor de humedad del suelo capacitivo”, este elemento mide los niveles de humedad del suelo a través de una detección capacitiva en lugar de la detección resistiva la cual maneja el sensor que se utilizó a comparar. Tiene excelente vida útil debido a que está elaborado de material resistente a la corrosión de sonda, además brinda una mejor lectura de los iones del contenido que se disuelven en la humedad.

Los valores tomados por la señal analógica varían de 260 a 520, siendo 260 el valor que corresponde a un suelo muy húmedo y 520 a un suelo muy seco.

Figura 26
Módulo sensor capacitivo de humedad del suelo



Fuente: (Multan Electronics, 2022)

3.4.1.2 Selección del sensor de temperatura y humedad relativa

Para medir parámetros de temperatura hay un sin número de sensores tanto programables como no programables que determinan los parámetros de temperatura, sin embargo, son específicos los sensores que logran medir los parámetros de temperatura y humedad relativa a la vez. En la tabla 9 se detallan los más relevantes.

Tabla 9
Selección de sensor de humedad relativa y temperatura

Hardware	Requerimientos									Puntaje
	StSR1	StSR4	SySR3	SySR5	SySR10	SySR11	SRSH11	SRSH12	SRSH13	

Sensor de humedad relativa y Temperatura DTH11	0	1	1	1	1	0	1	1	0	6
Sensor de humedad relativa y Temperatura DHT22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9

1 = Cumple

0 = No cumple

Componente elegido: Sensor de humedad relativa y temperatura DHT22

Fuente: Autoría

A partir de las especificaciones de la tabla 9 de requerimientos del sensor de humedad relativa y temperatura, en la tabla 10 se especifican los parámetros técnicos de los sensores considerados en la comparación de requerimientos. Se consideran los valores del sensor DHT22 siendo el más adecuado para aplicar en el desarrollo del proyecto. Para certificación de los datos estos fueron tomados de las hojas técnicas del componente.

Tabla 10

Especificaciones técnicas de los sensores de humedad relativa y temperatura.

	MODELO DE SENSOR	
CARACTERISTICAS ESPECIFICAS	**Sensor de humedad relativa y Temperatura DTH11**	**Sensor de humedad relativa y Temperatura DTH22**
Corriente	0.5-2.5 mA	2.5 mA
Alimentación	5V	5V

Rango de medición de temperatura	0° a 50°C	-40° a 80°C
Precisión de medición de temperatura	± 2.0 °C	< ± 0.5°C
Rango de medición de humedad	20% a 90% RH	0 a 100 % RH
Precisión de medición de humedad	4% RH	2 % RH

Fuente: (ABCelectronica.net, 2020)

El sensor DHT22 seleccionado, es un sensor digital que trabaja con parámetros de temperatura y humedad, este elemento usa un sensor de humedad capacitivo y un termistor para medir el aire que circula y como resultado se obtiene una señal digital en el pin de datos. Para su funcionamiento requiere llevar a cabo una sincronización adecuada con lo que logra obtener nuevos datos cada 2 segundos.

El sensor viene calibrado de fabrica para conseguir los coeficientes de calibración determinados en su memoria OTP con esto afianzar alta solidez y fiabilidad en un largo tiempo y es por esta razón que tiene buen rendimiento y bajo costo. El aspecto de este sensor se puede apreciar en la figura 27.

Figura 27
Sensor DHT22

Fuente: (Megatrónica, 2022)

3.4.1.3 Selección de sensor de gas

Para parametrizar valores de gas metano existen solo dos tipos de sensores que detectan este componente de la familia MQ con los cuales se lograría obtener los niveles de producción de este gas de efecto invernadero. En la tabla 11 se determinan los mismos.

Tabla 11
Selección de sensor de gas metano

Hardware	**Requerimientos**								**Puntaje**
	StSR4	**StSR1**	**SySR3**	**SySR5**	**SySR10**	**SRSH11**	**SRSH12**	**SRSH14**	
Sensor MQ4	1	0	1	1	1	1	1	1	7
Sensor MQ2	1	1	1	1	1	1	1	1	8

1 = Cumple

0 = No cumple

Componente elegido: Sensor MQ2

Fuente: Autoría

A partir de la tabla 11 de requerimientos necesarios del sensor de detección de gas metano, se elabora la tabla 12 en la que se especifica las características técnicas del sensor MQ2 y MQ4 con base en la información obtenida de los datasheets, de los cuales el sensor MQ2 el sensor viable para aplicar en el desarrollo del proyecto.

Tabla 12
Especificaciones técnicas de los sensores de detección de gas metano

	CARACTERISTICAS ESPECIFICAS					
MODELO DE SENSOR	***Corriente***	***Alimentación***	***Rango de detección***	***Tiempo de respuesta***	***Tiempo de recuperación***	***Temperatura de trabajo***
Módulo sensor MQ2	>150mA	5 V	5000 a 20000 ppm	≤10s	≤30s	20°a 70°C
Módulo sensor MQ4	>150mA	5V	300 a 10000 ppm	≤10s	≤35s	20°a 50°C

Fuente: (Hanwei Eletronics Co., 2000)

El sensor de detección de gas metano MQ2 es ideal para parametrizar concentraciones de gas metano, GLP, hidrogeno, propano, alcohol y smoke. Sin embargo, en condiciones de detección de metano tiene alta sensibilidad al manejar rangos desde 5000 a 20000 ppm. Este sensor es de

funcionamiento analógico y maneja una resistencia que varía conforme se produce la concentración de cualquier gas en detección en el aire llamándolo así a este proceso de quimioresitencia.

El sensor es de tipo semiconductor de oxido metálico y todas las medias de concentración de gas se miden mediante la red divisora de voltaje que contiene el sensor. El aspecto del sensor se puede verificar en la figura 28.

Figura 28
Aspecto del sensor MQ2

Fuente: (Components 101, 2018)

3.4.1.4 Selección de servidor para el procesamiento de datos

Conforme los requerimientos establecidos para el funcionamiento del sistema, a continuación, se detalla el servidor considerado para el desarrollo del proyecto en la tabla 13 se determina la elección con base en los requerimientos planteados.

Tabla 13
Selección de placa para procesamiento de datos

Hardware	Requerimientos						Puntaje
	StSR3	StSR4	SySR7	SRSH17	SRSH18	SRSH24	
Dell Inspiron 5558 i3	1	1	1	0	1	1	7
Dell Inspiron 5558 i5	1	1	1	1	1	1	8

1 = Cumple

0 = No cumple

Componente elegido: Dell Inspiron 5558 i5

Fuente: Autoría

En la tabla 14 se detallan las especificaciones técnicas de los servidores elegidos. Esta información es certificada bajo los parámetros determinados en el datasheet del elemento mismo documento que contiene variables como tipo de procesador, memoria entre otros.

Tabla 14
Características técnicas de servidor para procesamiento de datos

MODELO DE PLACA	*Procesador*	*Memoria*	*Puertos y conectores*	*Conectividad*
Dell Inspiron 5558 i3	• Procesador Intel Celeron Dual Core • Procesador Intel Pentium Quad Core, 4.ª	Una ranura SODIMM de tipo DDR3L de un canal con	Puerto RJ45, dos puertos USB 2.0, un puerto HDMI, un puerto combo audífono/micrófono, una ranura NGFF	Controlador Ethernet de 10/100 Mbps integrado en la placa base, Wi-Fi 802.11ac, Wi-

	generación de procesador Intel Core i3	velocidad de 1600MHz	para tarjeta combo Wi-Fi y Bluetooth	Fi 802.11b/g/n, Bluetooth 4.0, Intel WiDi (solo Windows)
Dell Inspiron 5558 i5	• Procesador Intel Celeron Dual Core • Procesador Intel Pentium Quad Core, 5.ª generación de procesador Intel Core i5	Dos ranuras SODIMM, tipo DDR3L de dos canales a 1600MHz en velocidad	Puerto RJ45, un puerto USB 3.0, dos puertos USB 2.0, un puerto HDMI, un puerto combo audífono/micrófono (diadema), una ranura NGFF para tarjeta combo Wi-Fi y Bluetooth	Controlador Ethernet de 10/100 Mbps integrado en la placa base, Wi-Fi 802.11ac, Wi-Fi 802.11b/g/n, Bluetooth 4.0, Intel WiDi (solo Windows)

Fuente: (Dell, 2019b)

Con base en los requerimientos del sistema y especificaciones detalladas en la tabla 14, el servidor elegido Dell Inspiron 5558 i5. Elemento acorde con las características requeridas en funcionamiento y desenvolvimiento con lo que respecta al procesamiento de datos.

Los ordenadores de la marca Dell son considerados excelentes gracias a los procesadores de alta gama que manejan conforme van actualizándose y debido a la mejora en características de cada modelo. En la figura 29 se muestra el ordenador a detalle.

Figura 29
Modelo de ordenador Dell Inspiron 5558 i5

Fuente: (Dell, 2019a)

3.4.1.5 Selección de Microcontrolador

El análisis para la selección del microcontrolador el cual cumplirá la función de adquirir la información está realizado conforme han sido estructurados los requerimientos del sistema y de acuerdo con la necesidad del proyecto. La elección se realiza entre placas que contengan en su estructura una tarjeta inalámbrica 802.11 b/g/n la cual permitirá la conexión con la placa principal. En la tabla 15 se realiza la valoración de los componentes, utilizando los requisitos previamente detallados.

Tabla 15
Elección de microcontrolador

Hardware	**Requerimientos**										**Puntaje**
	StSR1	**StSR4**	**SySR3**	**SySR5**	**SySR10**	**SRSH11**	**SRSH12**	**SRSH17**	**SRSH18**	**SRSH20**	
Node MCU ESP8266	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
NodeMCU ESP 32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10

1 = Cumple

0 = No cumple

Componente elegido: Node MCU ESP32

Fuente: Autoría

En la tabla 16 se realiza una comparativa entre los elementos con las características técnicas de funcionamiento, el requerimiento principal en las placas es la conexión inalámbrica entre la placa principal de procesamiento y la placa de adquisición de información.

Tabla 16
Especificaciones Técnicas de microcontroladores

CARACTERISTICAS ESPECIFICAS						
MODELO DE PLACA	***Procesador***	***Memoria Flash***	***Puertos***	***Conectividad Inalámbrica***	***Voltaje de alimentación***	***RAM de instrucción RAM de datos***

NodeMCU ESP8266	Tensilica Xtensa LX106	4MB	16 entrada/salida 1 conversor ADC	WiFi 802.11 b/g/n	5V	64 KB 96 KB
NodeMCU ESP32	Dual core Tensilica LX6	4MB	38 entrada/salida 18 son conversor ADC	WiFi 802.11 b/g/n Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE	5V	520 KB SRAM

Fuente:(Espressif Systems, 2022)

Con referencia las tablas 15 y 16, la placa de microcontrolador seleccionada es ESP32, debido a las características complementarias con las que se desarrolla, además de las entradas/salidas multifuncionales que se pueden configurar y manejar conforme van adecuadas al desarrollo del proyecto.

ESP32 es un sistema diseñado en un chip el cual puede ser empleado como un microcontrolador con propósitos generales. Dispone de un conjunto de periféricos ampliado y multifuncionales, maneja capacidades de conectividad como son WiFi y Bluetooth.

En la figura 29 se visualiza el modelo de la placa ESP32, cuenta con 18 canales convertidores de analógico a digital, 2 convertidores de digital a analógico, y 4 pines solo de entrada. Del resto de pines contenidos se encuentran distribuidos entre pines DAC, PWM, entre

otros. Para la alimentación del dispositivo lleva un puerto micro USB y como puerto de carga de información de programación. Dispone de conexión WiFi 802.11 b/g/n y Bluetooth, maneja protocolos de conectividad de nivel superior y es una de las placas con mayor porcentaje implementadas en sistemas IoT.

Figura 30
Placa microcontrolador ESP32

Fuente: (Espressif Systems, 2018)

3.4.2 Software

Para determinar el Software a utilizar es importante considerar ítems determinados en requerimientos de diseño para verificación en la sección 3.2 para garantizar el trabajo perfecto del sistema. Para el desarrollo del proyecto tanto entre hardware y software debe existir compatibilidad, además de que las plataformas en consideración a utilizar deben ser de uso libre, código abierto y contar con todas las independencias necesarias para actualización e instalación.

Elegir las plataformas de programación toma como base fundamental los tipos de modelos de machine learning a manejar, es por esta razón por la que el desempeño de estas debe ser tomado como característica importante al momento de ser elegido.

3.4.2.1 Software para la admisión de datos

En la selección de software para el bloque de toma de datos de las características de Compost, se da inicio a partir de la sección 3.2, específicamente tabla número 3 de los requerimientos de software con los cuales ya establecidos, se busca optimizar el trabajo del sistema.

Tabla 17
Comparativa de software para admisión de datos.

Software	**Requerimientos**				**Puntaje**
	SRSH22	**SRSH23**	**SRSH24**	**SRSH26**	
IDE de Arduino	1	1	1	1	4
LUA	1	0	1	0	2
Python	1	1	1	0	3

1=Cumple

0= No cumple

Software elegido: Arduino IDE

Fuente: Autoría

3.4.2.2 Software para el procesamiento de datos

Con base en los requerimientos de arquitectura previamente establecidos se busca afianzar el software adecuado para el procesamiento de datos obtenidos de la descomposición de residuos. Este software debe ser compatible con la placa de toma de datos, por lo que a continuación en las tablas adjuntas se muestran los distintos softwares que posibilitan el cumplimiento con los requisitos planteados.

- Elección de software de procesamiento de datos

El software elegido debe tener compatibilidad con la placa determinada para la toma de datos además de cumplir con los requerimientos planteados para el diseño del sistema como son operatividad de algoritmos en tiempo real, machine learning, tratamiento y almacenamiento de datos en una base local, comunicación entre los suficientes nodos que interactúen en el sistema. En la tabla 18 se realiza una comparativa entre las posibles plataformas a considerar usar en el desarrollo del proyecto.

Tabla 18
Comparativa de software para el procesamiento de datos

Software	**Requerimientos**						**Puntaje**
	SRSH22	**SRSH23**	**SRSH24**	**SRSH25**	**SRSH26**	**StSR2**	
M2MLabs Mainspring	1	1	1	1	0	1	5
ThingsBoard	0	1	1	1	1	1	5
Node-RED	1	1	1	1	1	1	6

1=Cumple

0= No cumple

Software elegido: Node-RED

Fuente: Autoría

3.4.2.3 Software pata el almacenamiento de datos

El software para el almacenamiento de datos tomados por los sensores debe permitir el alojamiento local de las variables de microclima gestionadas durante la descomposición de residuos, en la tabla 19 se adjunta una comparativa de las plataformas a considerar para el almacenamiento.

Tabla 19

Tabla comparativa de software para almacenamiento de datos.

Software	**Requerimientos**				**Puntaje**
	SRSH22	**SRSH23**	**SRSH26**	**StSR2**	
Maria DB	1	1	1	1	4
MySQL	1	1	0	1	3

1=Cumple

0= No cumple

Software elegido: Maria DB

Fuente: Autoría

3.4.2.4 Software para la visualización de datos

Con forme a los requerimientos el software para la visualización de las variables de microclima deben ser en una plataforma de libre acceso, misma que debe tener compatibilidad con las placas a implementar y el resto de las plataformas seleccionadas para el proyecto.

El presente proyecto está enfocado al internet de las cosas, tecnología que facilita el envió, recepción y análisis de datos en un monitoreo constante llevando a cabo el tratamiento en tiempo real mediante aprendizaje de maquina o inteligencia artificial. Por lo que existen varias plataformas de visualización orientadas a esta tecnología las cuales pueden ser vinculadas con otras plataformas para la gestión constante en la nube.

En la tabla 20 se adjunta la comparativa de las plataformas consideradas para el desarrollo de este proyecto.

Tabla 20

Tabla comparativa de software para visualización de datos.

Software	**Requerimientos**			**Puntaje**
	SRSH22	**SRSH23**	**SRSH24**	
Thinger.io	1	1	1	3
ThingSpeak	1	1	1	3

1=Cumple

0= No cumple

Software elegido: ThingSpeak

Fuente: Autoría

Al realizar el análisis de las plataformas planteadas, se verifica que las dos cuentan con los requerimientos necesarios para ser elegidas. Sin embargo, ThingSpeak es la plataforma que con mayor eficacia se complementa con la placa seleccionada para la adquisición de datos siendo ESP32.

3.5 Diseño de estructura del contenedor

La construcción del contenedor en el que se llevara a cabo el acople del proyecto está basada en el análisis de la técnica de producción de composteras de hogar, con el fin de obtener y determinar la mejor técnica a ser implementada. Por otra parte, el método de descomposición de residuos es parte fundamental para la instalación de varios elementos dentro de la estructura.

Con referencia en lo mencionado, la estructura elaborada esta realizada en un esqueleto de madera y forrada por un plástico especial implementado en invernaderos, con el fin de receptar el calor y conservarlo dentro de la caja. Diseñada en medidas de 1,25 m de alto,90 cm de ancho y 60cm de profundidad. Esta estructura tiene una división 25 cm a partir del suelo, mediante la cual permite ser una base para los elementos que se utilizarán y que intervienen en la producción de composta. En la figura 31 y 32 se adjunta unas fotografías del diseño del contenedor realizado para el presente proyecto, tanto en su vista exterior como interior respectivamente.

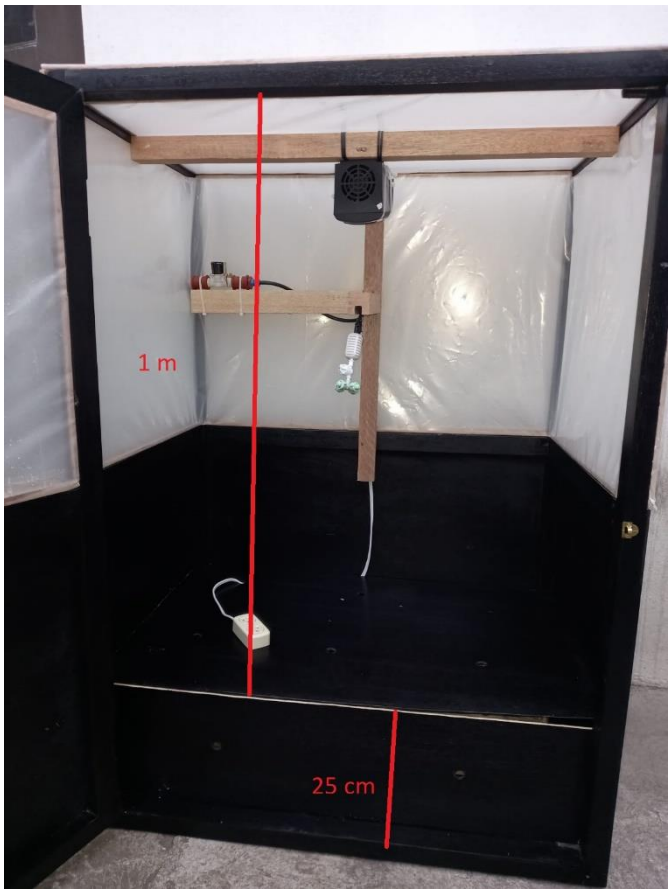
Figura 31

Diseño estructural de la caja de resguardo para elaboración de composta.

Fuente: Autoría

Figura 32

Estructura interna de la caja, divisiones realizadas para la distribución de elementos



Fuente: Autoría

3.6 Diseño del sistema de control para la elaboración de compostaje

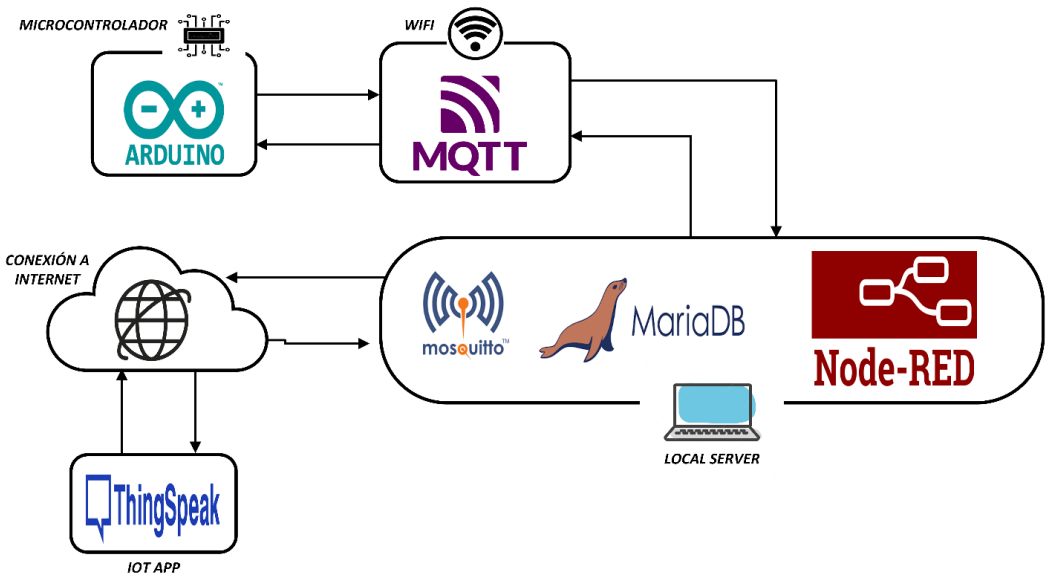
Con el análisis realizado en base a requerimientos, y con la recolección de información acerca del tema propuesto, se realiza la elección de los implementos que conformarán este diseño. Para lograr visualizar el funcionamiento del sistema a diseñar se elabora un diagrama de bloques de software.

En base a los bloques planteados la topología del proyecto funcionaría de la siguiente manera:

1. Recolección de información a través del microcontrolador ESP32 utilizando el IDE de Arduino como software, estos datos serán enviados al servidor Local el cual realizará el procesamiento mediante la implementación del protocolo MQTT.
2. La información recibida será almacenada en la base de datos MariaDB y procesada a través de la herramienta NodeRED en la que se elaborará la red neuronal, todo esto a través del servidor local.
3. Al ser el proyecto enfocado al internet de las cosas, la visualización de los datos tomados por el prototipo se logrará verificar mediante graficas en el software ThingSpeak.

En la figura 33 se observa el diagrama de bloques del software del sistema de funcionamiento.

Figura 33
Diagrama de bloques de software



Fuente: Autoría

3.7 Fuente de alimentación del sistema

Cada uno de los bloques planteados comprenden especificaciones importantes basadas en las características de fuente de alimentación mediante la cual se logrará el funcionamiento correcto. Para realizar los cálculos de corriente se parte del apartado 3.3 de Requerimientos, datos considerados en las tablas 5 y 6; y de las especificaciones técnicas de funcionamiento de cada uno de los elementos seleccionados.

- **Cálculo de corriente**

A partir del principio básico teórico del total de corriente, mediante la ecuación número 2 se calcula el consumo total de corriente por parte del sistema, utilizando el consumo de corriente por cada elemento seleccionado. En la tabla número 21 se encuentran detallados los elementos juntos a las especificaciones técnicas de voltaje y corriente.

$$IT = \sum_{i=1}^{n} I_{ei} \qquad \textbf{(Ec.2)}$$

Tabla 21
Valores de corriente de los componentes y sumatoria

Componentes	***Voltaje***	***Corriente (mA)***
Sensor capacitivo de humedad del suelo	5V	5mA
Sensor DHT22	5V	2.5mA
Sensor MQ2	5V	150mA
ESP32	5V	5uA
Electroválvula	110V	5A

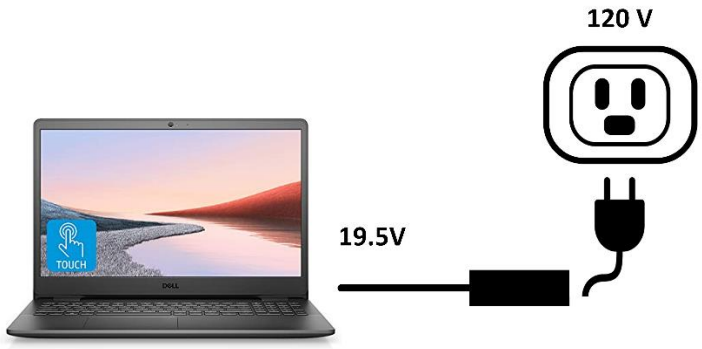
Ordenador	(Servidor Local)	110V	1.3A
		TOTAL	6.46 A

Fuente: Autoría

3.8 Esquema de Conectividad del Servidor Local

El servidor local es la parte fundamental en la que se ejecuta las operaciones de recepción de datos, procesamiento y almacenamiento, además, de la comunicación directa con el bloque de sensores. El diagrama de conexión está compuesto por el servidor local (ordenador) que a su entorno tiene integrado una tarjeta inalámbrica para comunicación WiFi y una fuente de alimentación de 120/19.5V conectada al tomacorriente eléctrico, verificación en la figura 34.

Figura 34
Conexión del servidor local a la fuente de alimentación



Fuente: Autoría

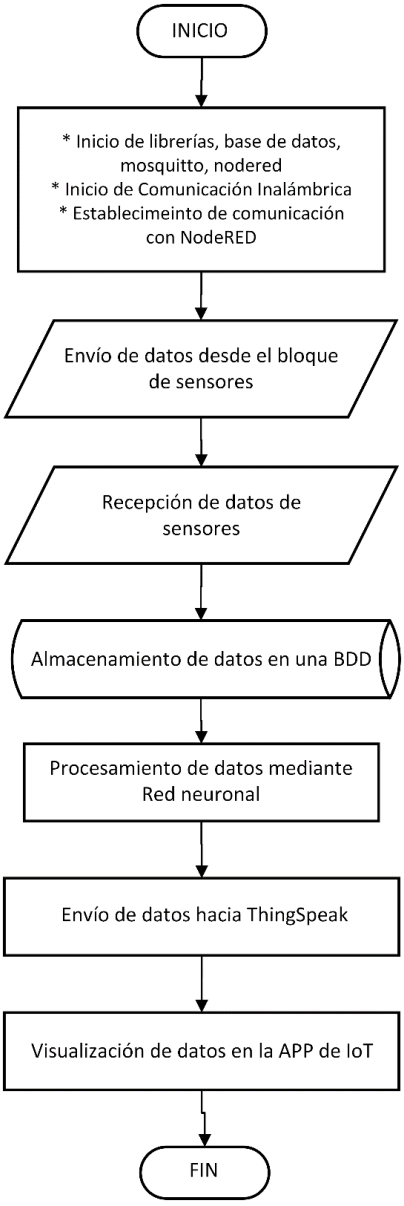
3.8.1 Diagrama de Flujo del Servidor Local

Mediante un flujograma en esta sección se describe de forma general el proceso de funcionamiento del servidor local. En primera instancia el servidor inicializa librerías, software y establece comunicación inalámbrica, los datos obtenidos a través de los sensores y enviados

mediante el protocolo MQQT se reciben en el servidor local y son almacenados en la base de datos para ser procesados mediante la red neuronal, los resultados de cada variable son expuestos en una aplicación de visualización en tiempo real, esto en descripción del diagrama adjunto en la figura 35.

Figura 35

Diagrama de flujo del funcionamiento del servidor Local



Fuente: Autoría

3.9 Esquema de Conexión del Nodo de sensores

El nodo de sensores figura la lectura y obtención de los datos a través de los sensores de gas MQ2, sensor capacitivo de humedad del suelo y sensor de temperatura y humedad ambiente (DHT22); que son adquiridos por el microcontrolador ESP32 el cual realiza la conversión de los datos digitales o analógicos y los transforma a unidades de medida en base a cada variable que se esté midiendo.

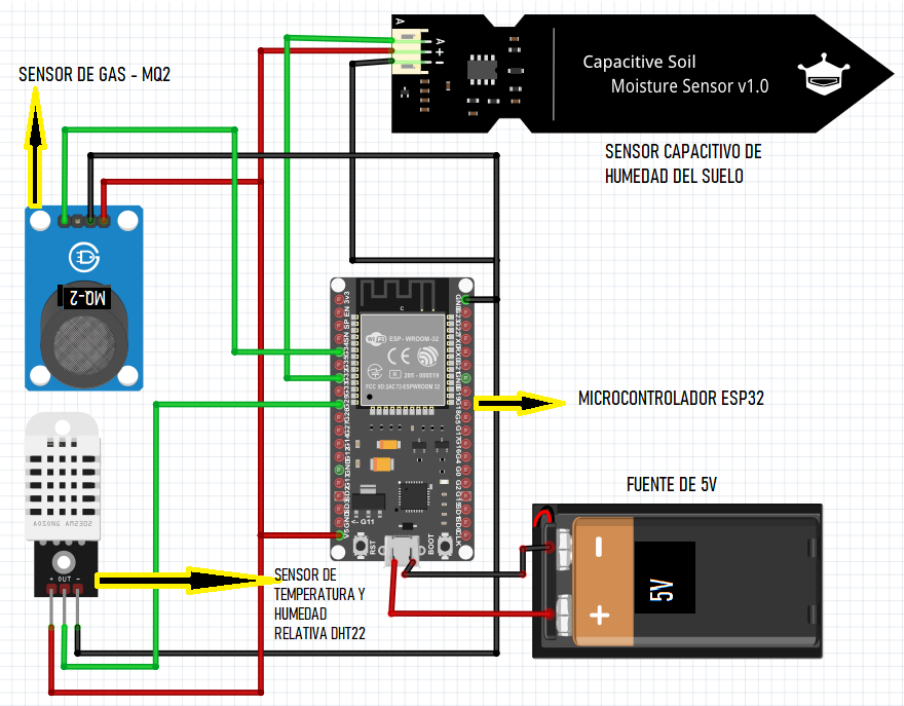
Para el desarrollo del sistema, de acuerdo con las fases y estructuración planteadas, se realizó 2 esquemas de conexión del nodo de sensores, a continuación, en cada apartado se expone la razón de cada esquema realizado.

3.9.1 Esquema de Conexión de Sensores – Fase de Entrenamiento

En la primera fase se encuentran integrados el sensor de gas mq2, el sensor de humedad del suelo, y el sensor de temperatura y humedad ambiente. Esta fase se enfoca en la toma de datos de entrenamiento para el procesamiento y aprendizaje de la red neuronal. Este esquema se adjunta en la figura 36.

Figura 36

Diagrama de conexión de sensores para la fase de entrenamiento.

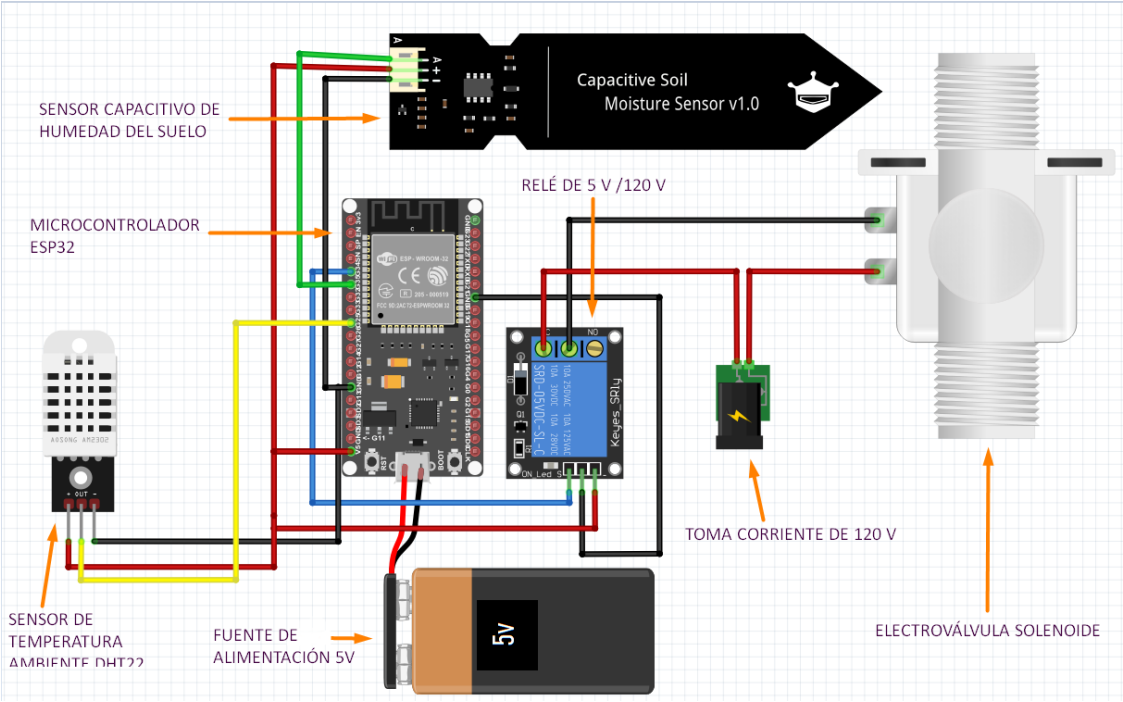


Fuente: Autoría

3.9.2 Esquema de conexión de Sensores – Fase Final

En la fase dos, se encuentran integrados solamente el sensor de humedad del suelo y el sensor de temperatura y humedad ambiente ya que, a partir del aprendizaje efectuado en la red neuronal en base a los datos de entrenamiento previamente tomados, se determina los valores del metano a partir de las variables tomadas por los sensores que conforman esta etapa. En este esquema se integra un módulo relé el cual permitirá ejecutar la acción de activación de la electroválvula para el riego del suelo al recipiente en el que se elabora la composta mediante el flujo de agua. El esquema se encuentra adjunto en la figura 37.

Figura 37
Diagrama de conexión fase final



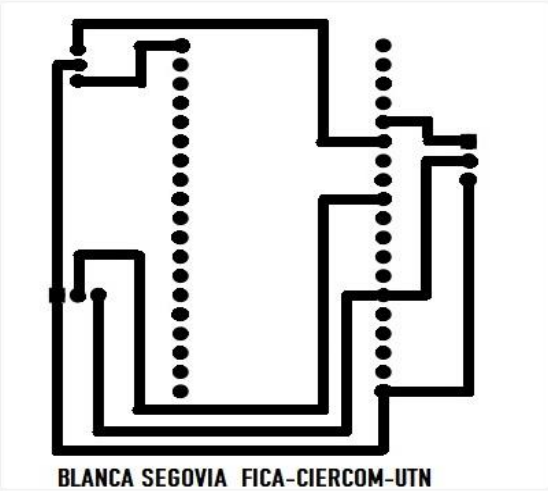
Fuente: Autoría

3.10 Diseño de Placa PCB del Sistema

La integración de los componentes del sistema requiere el diseño de una PCB para el nodo de sensores basado en el Esquema de conexión de sensores – Fase final. El diseño de la placa es fundamental con el fin de resguardar la correcta obtención de datos por cada sensor al mantenerlos adaptados de forma segura en la placa y así evitar desconexión de los sensores, y posibles eventos que afecten al funcionamiento del prototipo.

Utilizando el software Fritzing se realizó el diseño conforme al Esquema estructurado en la sección 3.9.2 ya que esa herramienta cuenta con todos los componentes requeridos para la formación. El diseño de la placa se adjunta en la figura 38, en la que se observa las conexiones establecidas entre el ESP32, los sensores y el relé.

Figura 38
Diseño PCB para el microcontrolador y los sensores



Fuente: Autoría

3.11 Preparación y Calibración de sensores

A partir de la sección 3.4, se realiza la configuración de cada sensor seleccionada para el sistema, los cuales permitirán medir valores como la temperatura ambiente, humedad ambiente, metano en el aire, y humedad del suelo en tiempo real. Cada sensor es calibrado de acuerdo con la variable de lectura, y en consideración del manejo de entrada ya sea análoga o digital.

El sensor capacitivo de humedad del suelo será medido en porcentaje, el sensor de gas metano (MQ2) será medido en ppm, y el sensor DHT22 será medido para la temperatura en °C y en porcentaje para la humedad de ambiente.

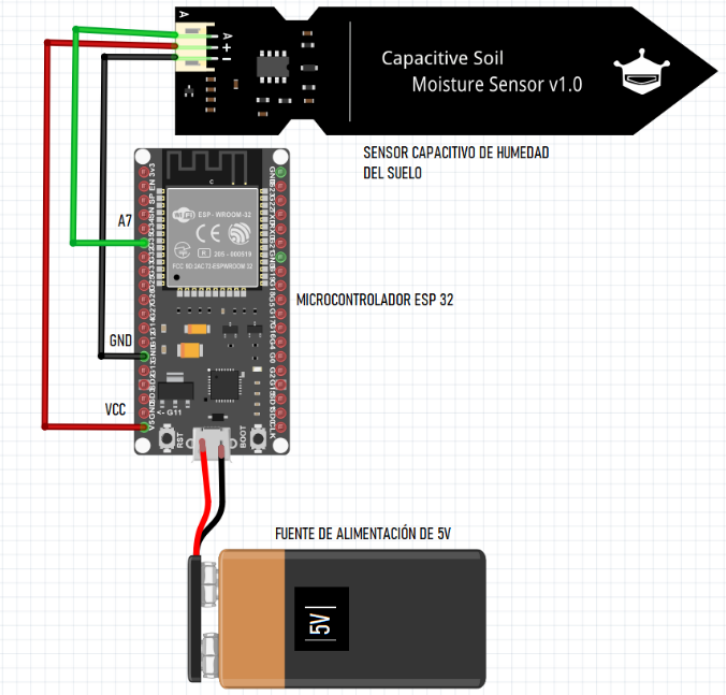
3.11.1 Sensor capacitivo de humedad del suelo

Para adquirir los datos a través del sensor de humedad del suelo este debe ir conectado al microcontrolador ESP32, para lo cual utilizando los pines de VCC y GND del sensor se conecta a los pines de 5V y GND respectivamente del ESP32. En este caso la entrada del sensor es analógica

por lo que este pin debe ser conectado a un pin análogo de la placa ESP32. Esta conexión se visualiza en la figura 39.

Figura 39

Conexión de sensor capacitivo de humedad del suelo al microcontrolador.



Fuente: Autoría

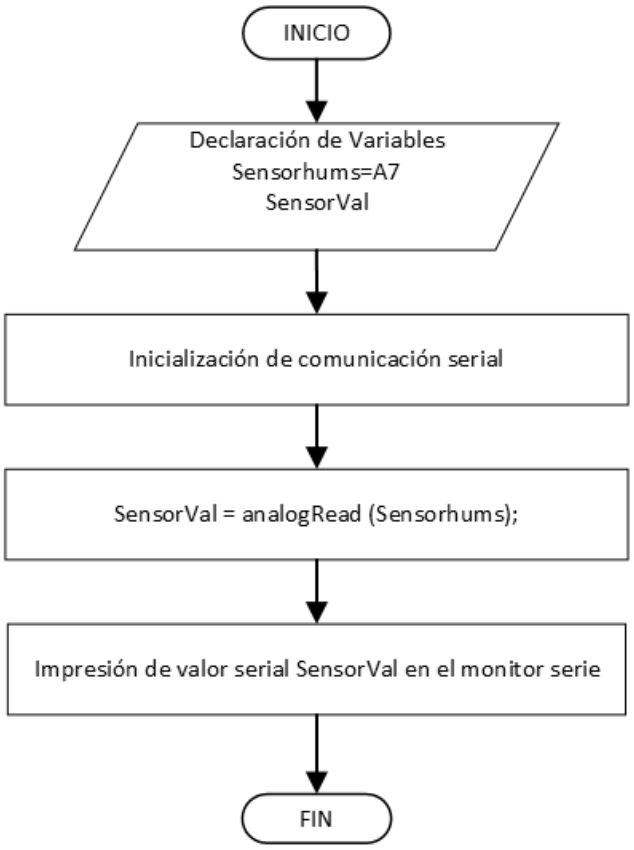
El primer código que se debe cargar en el ESP32 permite verificar mediante la lectura los valores análogos los valores mínimos y máximos entre los cuales se encuentra funcionando el sensor. Considerando realizar las pruebas en un ambiente seco a húmedo, y así obtener como resultado los valores analógicos de funcionamiento.

En el diagrama de flujo de la figura 40 se inicializa con la declaración de las variables para la lectura del sensor, denominadas Sensorhums la que define el número de pin analógico en el microcontrolador, la variable SensorVal para la lectura de los valores analógicos. Con las variables declaradas se inicializa la comunicación serial y mediante la variable declarada se realizará la

lectura análoga de los datos e impresión de estos en el monitor serie. Aquí es cuando se deben observar la varianza de los valores de lectura, debido a que el sensor debe dar el valor análogo al realizar la prueba en agua que sería el escenario de humedad y en tierra seca siendo el escenario seco.

Figura 40

Diagrama de flujo de proceso de calibración del sensor capacitivo de humedad del suelo



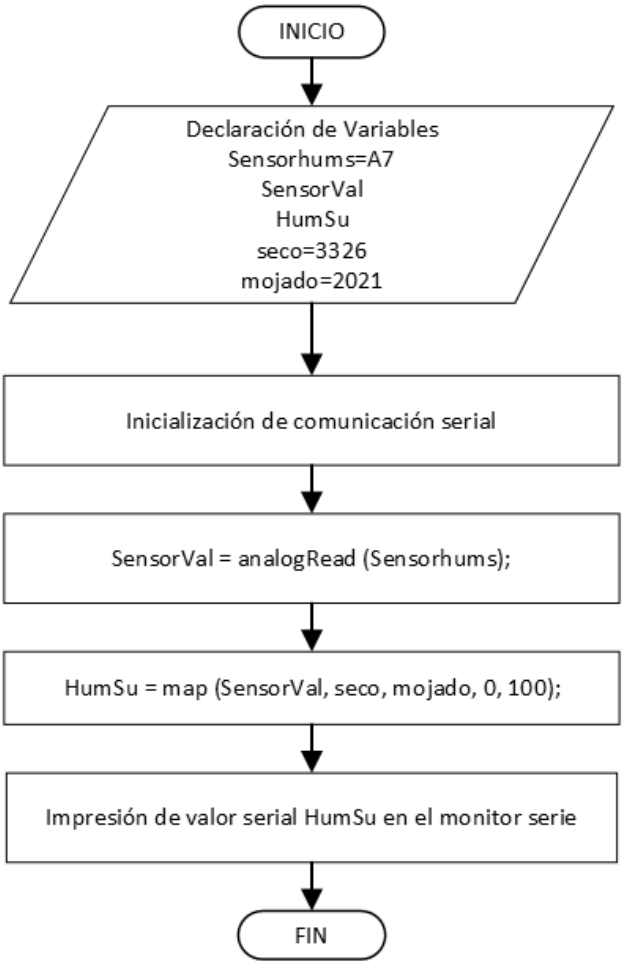
Fuente: Autoría

Con los datos obtenidos de los escenarios a los que se expuso el sensor, el siguiente diagrama de flujo de la figura 41 se inicializa con la declaración de las variables obtenidas del sensor para seco y húmedo. La comunicación serial da inicio y se realiza la lectura de los datos análogos en la variable SensorVal, en otra variable denominada HumSu se realiza el mapeo del

valor de la lectura análoga del sensor, entre los valores declarados de los escenarios de seco y húmedo para obtener el porcentaje de humedad del suelo entre el 0 y 100% y ser impresos en el monitor serie.

Figura 41

Diagrama de flujo de lectura de datos análogos y conversión a porcentaje de humedad



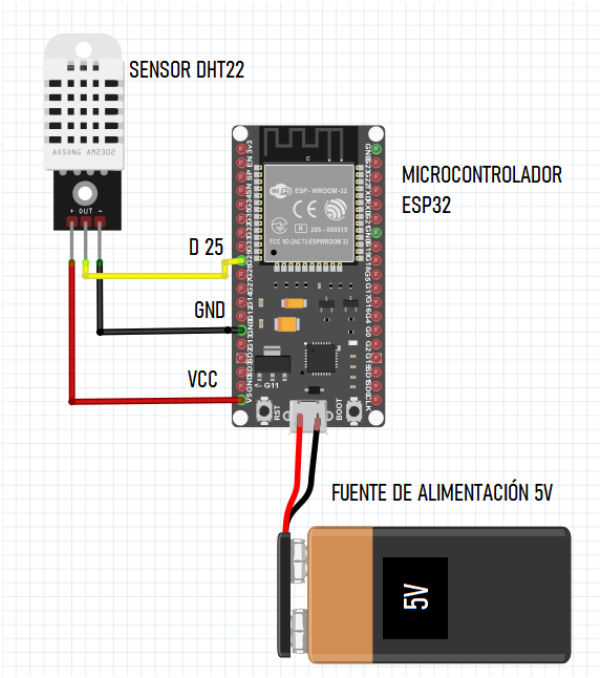
Fuente: Autoría

3.11.2 Módulo sensor de temperatura y humedad del ambiente DHT22

Para obtener los datos utilizando el sensor DHT22 la conexión es realizada como se demuestra en la figura 42. Este sensor es digital, la entrada del microcontrolador que se debe

considerar debe ser del mismo tipo. Tanto los pines de VCC y GND del sensor deben ir conectadas a los pines del microcontrolador respectivamente a los pines 5V y GND, y la entrada digital al pin designado.

Figura 42
Esquema de conexión del sensor DHT22 al microcontrolador



Fuente: Autoría

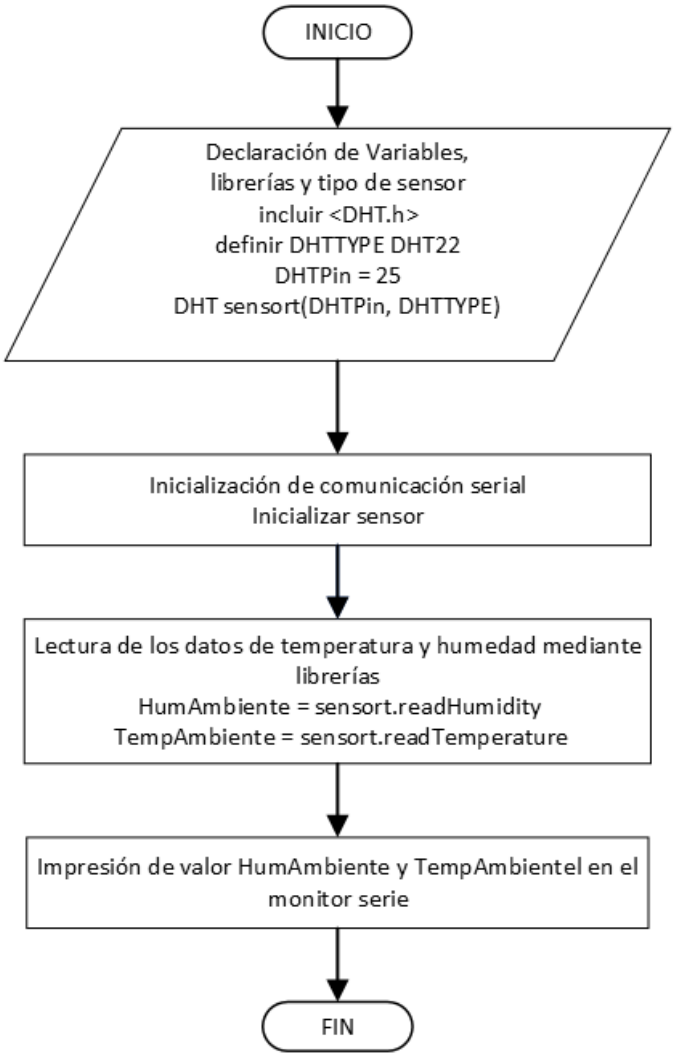
Con la conexión realizada y con el código cargado en el microcontrolador mediante las librerías que provee el IDE de Arduino para el funcionamiento y calibración de este sensor, las pruebas se realizan considerando una variación de temperatura para la verificación del funcionamiento correcto del sensor.

En el diagrama de flujo de la figura 43, inicializa con las declaraciones de las variables, librerías y la especificación del tipo de sensor para ejecutar la lectura de los valores, la librería para

la calibración es la DHT.h, el tipo de sensor definido es el DHT22 y la variable designada para la lectura del sensor es sensort definido a raves del pin de lectura DHTPin.

Esta variable inicializa la comunicación serial y mediante la variable declarada se realiza la lectura digital de los valores tanto de humedad relativa como de temperatura ambiente de este sensor, mismas variables que son definidas como HumAmbiente y TempAmbiente, para la impresión de los datos en el monitor serial. Al ser expuesto a los escenarios se debe observar una varianza de valores para poder certificar el funcionamiento.

Figura 43
Diagrama de flujo de la lectura de datos del sensor DHT22



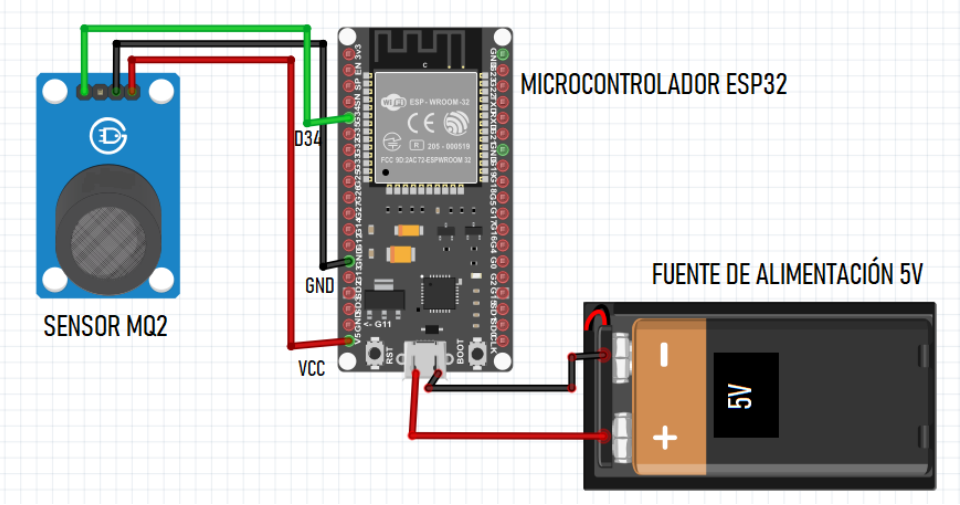
Fuente: Autoría

3.11.3 Sensor de gas metano MQ2

Para obtener los datos utilizando el sensor de gas MQ2 la conexión es realizada como se demuestra en la figura 44. Este sensor es análogo, por lo que la entrada del microcontrolador debe ser del mismo tipo. Tanto los pines de VCC y GND del sensor deben ir conectadas a los pines del microcontrolador respectivamente a los pines 5V y GND, y la entrada análoga al pin designado.

Figura 44

Esquema de conexión circuital del sensor MQ2 al microcontrolador



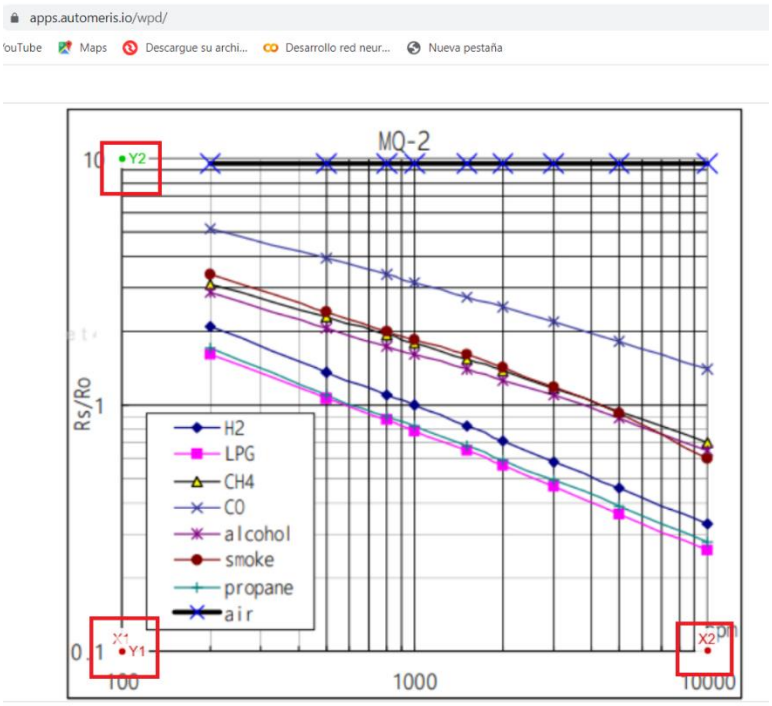
Fuente: Autoría

Para la calibración del sensor previamente se debe mantener encendido continuamente durante tiempo de 24 horas. Este proceso de precalentamiento en un ambiente normal ayudara a que la toma de datos y detección de gases sean más precisos. Al realizar el análisis de calibración se debe determinar la curva de sensibilidad de la sustancia, que en este caso viene a ser el gas metano.

Mediante la hoja de especificaciones del sensor MQ2 se toma como referencia la gráfica de características de sensibilidad del sensor para diferentes sustancias, para tomar los valores de las gráficas se realiza a través de la herramienta WebPlotDigitizer mediante la cual al cargar la imagen permite delimitar los puntos en el eje de las X y en el eje de las Y en toda la gráfica, este procedimiento se puede observar en la figura 45 y 46.

Figura 45

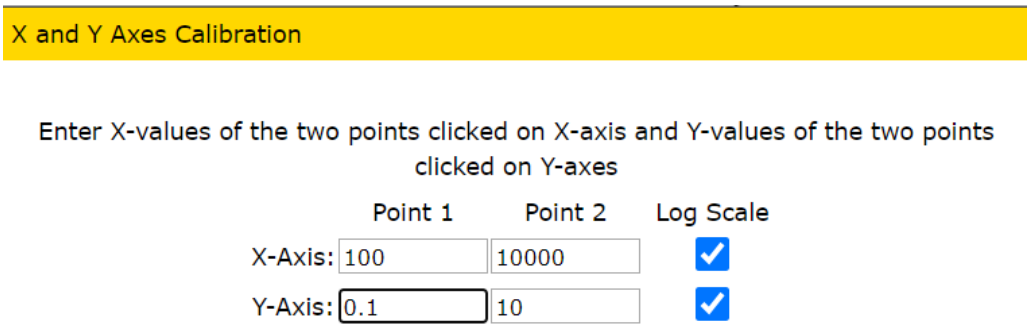
Delimitación de valores en el eje de las X y Y de la gráfica de características de sensibilidad del sensor MQ2



Fuente: Autoría

Figura 46

Asignación de valores a los ejes X y Y en base a la gráfica del datasheet del sensor

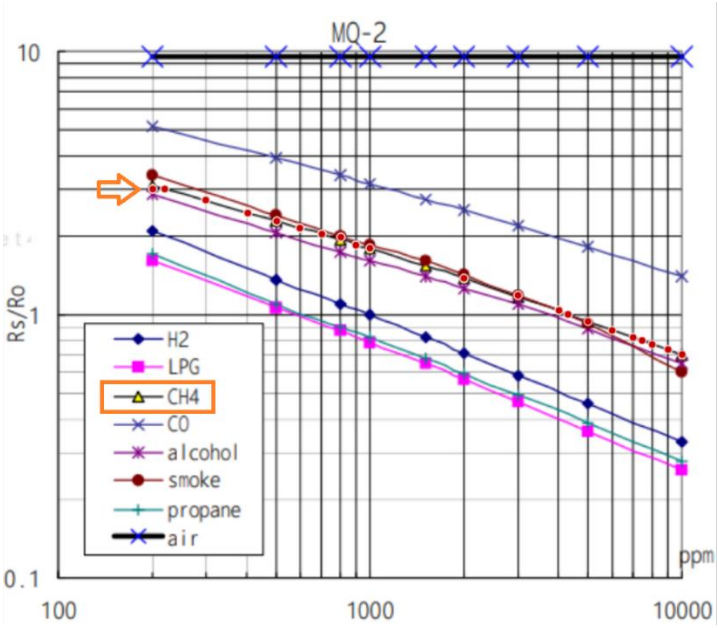


Fuente: Autoría

Delimitado los valores de los ejes de las X y Y, para la calibración del sensor se toma como referencia la curva de CH4 (metano) de la imagen para marcar cada uno de los puntos que logran

la intersección entre los dos ejes. Este marcado permite obtener los valores de la gráfica logarítmica y lograr un aproximado para obtener los valores de calibración. Véase la figura 47.

Figura 47
Marcado de puntos de intersección de la curva de sensibilidad del metano



Fuente: Autoría

Al obtener los valores a través de la aplicación de WebPlotDigitizer en el apartado de ViewData se realiza la descarga de un archivo de Excel .csv que detalla los valores de la curva. En la tabla 22 se especifican los valores obtenidos.

Tabla 22
Tabla de valores aproximados de la curva logarítmica del metano

Eje X (ppm)	Eje Y (Rs/Ro)
200,500197	3,02194627
219,47736	2,9971088
298,071355	2,71451194
404,809555	2,4383541
502,234271	2,26380341
597,633654	2,13672733

696,466613	2,0334979
806,017388	1,93525568
907,201851	1,84175974
1000	1,79671952
1507,46672	1,53596008
2005,00197	1,3797009
2980,71355	1,16976968
4250,09651	1,00828714
4987,52627	0,93610845
5613,642	0,89826612
6018,05557	0,87629903
7013,28439	0,82031092
7623,86551	0,79367295
8060,17388	0,78068012
9072,01851	0,73685751
10000	0,70706993

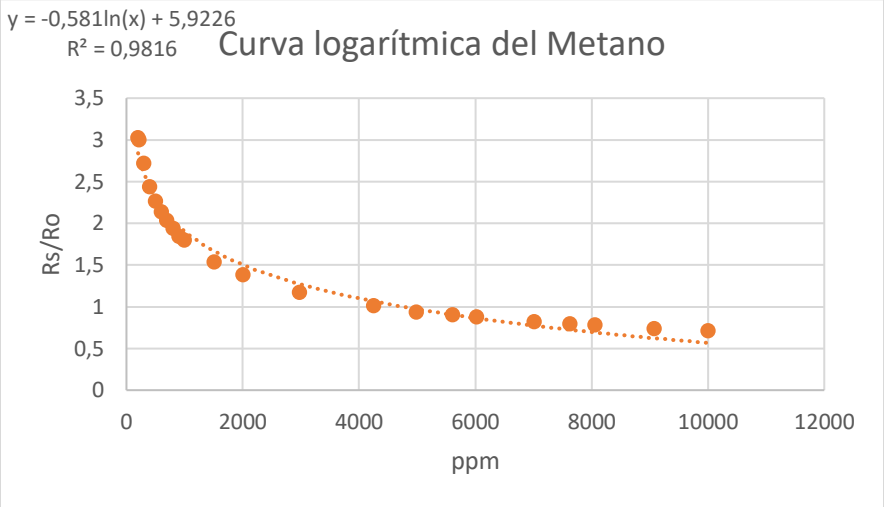
Fuente: Autoría

Con los valores detallados en la tabla 22, se grafica la curva de sensibilidad logarítmica de la sustancia de metano del sensor, que se puede apreciar en la figura 48. Esta grafica está basada en los valores obtenidos por el eje de las Y centrado en Rs el valor de la resistencia del sensor a varias combinaciones de gases, y Ro es el valor de la resistencia a 1000ppm de H2 in el aire limpio. Para el eje de las X son los valores de variación en ppm de los diferentes gases.

Los valores permiten obtener una gráfica aproximada, determinar la ecuación y el coeficiente de determinación.

Figura 48

Gráfica de sensibilidad del gas metano de los datos obtenidos



Fuente: Autoría

Para realizar la calibración se requiere dos puntos (X,Y); estos serán los que delimitan en cada extremo la curvatura y sirven para calcular el valor de la pendiente. Para el cálculo cada uno de los puntos debe ser obtenidos a partir del logaritmo y están representados de la siguiente manera:

- P1 (log 200; log 3,02)
- P2 (log 10000; log 0,70)

Utilizando la ecuación 3 y 4 se obtiene los valores logarítmicos tanto de x_1 y y_1 del Punto 1 y x_2 y y_2 del Punto 2 para el calculo de la pendiente.

$$X_0 = \log(X) \qquad \textbf{(Ec.3)}$$

$$Y_0 = \log(Y) \qquad \textbf{(Ec.4)}$$

De lo que resultan los siguientes puntos:

- P1 (2,3; 0,48)

- P2 (4; -0,15)

Utilizando la ecuación 5 de cálculo de la pendiente, con los valores establecidos mediante el logaritmo se obtiene el valor respectivo.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad \textbf{(Ec.5)}$$

$$m = \frac{-0{,}15 - 0{,}48}{4 - 2{,}3}$$

$$m = -0{,}37$$

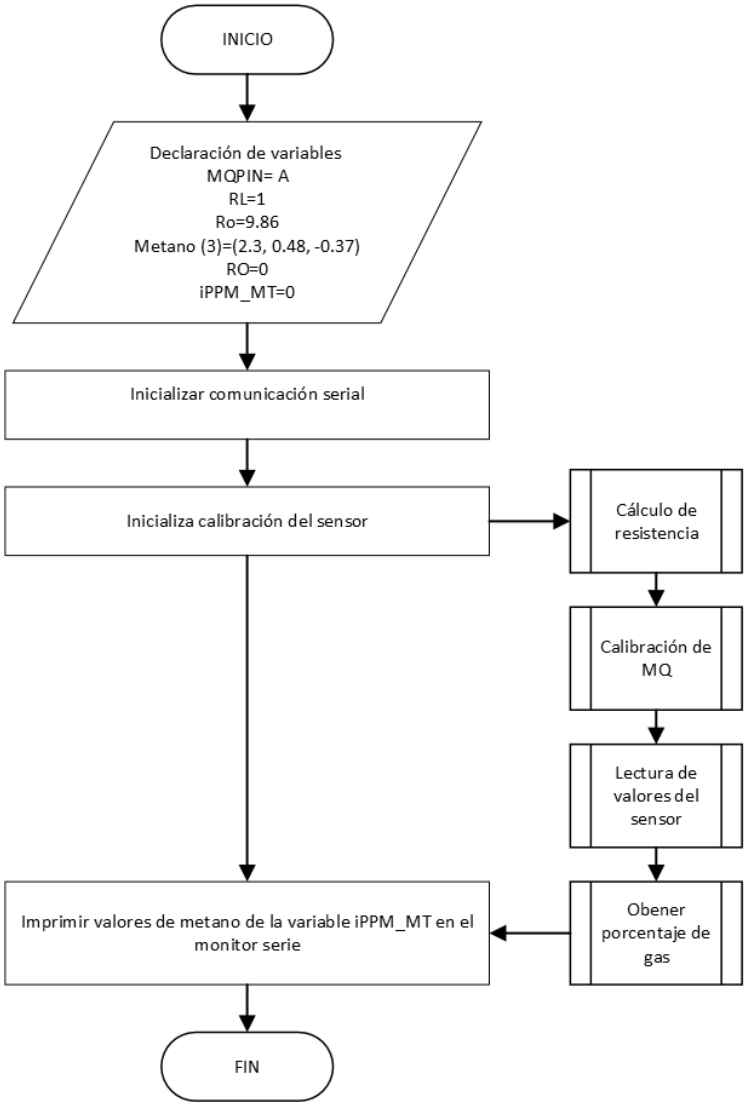
Por lo que los valores finales a considerar en la calibración se establecen de la siguiente manera (x, y,m); siendo el valor de x el logaritmo del punto inicial de la curvatura en el eje x, y el punto de intersección de este mismo punto, y m el pendiente obtenido de los puntos extremos de la curvatura.

- P (2,3; 0,48; -0,37)

Diagrama de flujo que se presenta en la figura 49, inicializa con la declaración de variables en las que se determinan la entrada analógica a la que se conecta el sensor, el valor de RL con el valor de resistencia de carga, el valor inicial de Ro, los valores obtenidos a partir de la calibración teórica, y una variable definida para el valor del metano.

El proceso se inicializa con la comunicación serial y la calibración del sensor la cual está comprendida de un conjunto de subprocesos que se realizan para lograr calibrar, obtener el valor en ppm de la sustancia que detecte el sensor e imprimir dichas cantidades en el monitor serie.

Figura 49
Diagrama de flujo de calibración de sensor MQ2



Fuente: Autoría

3.12 Desarrollo y explicación de la parte de Software del Sistema

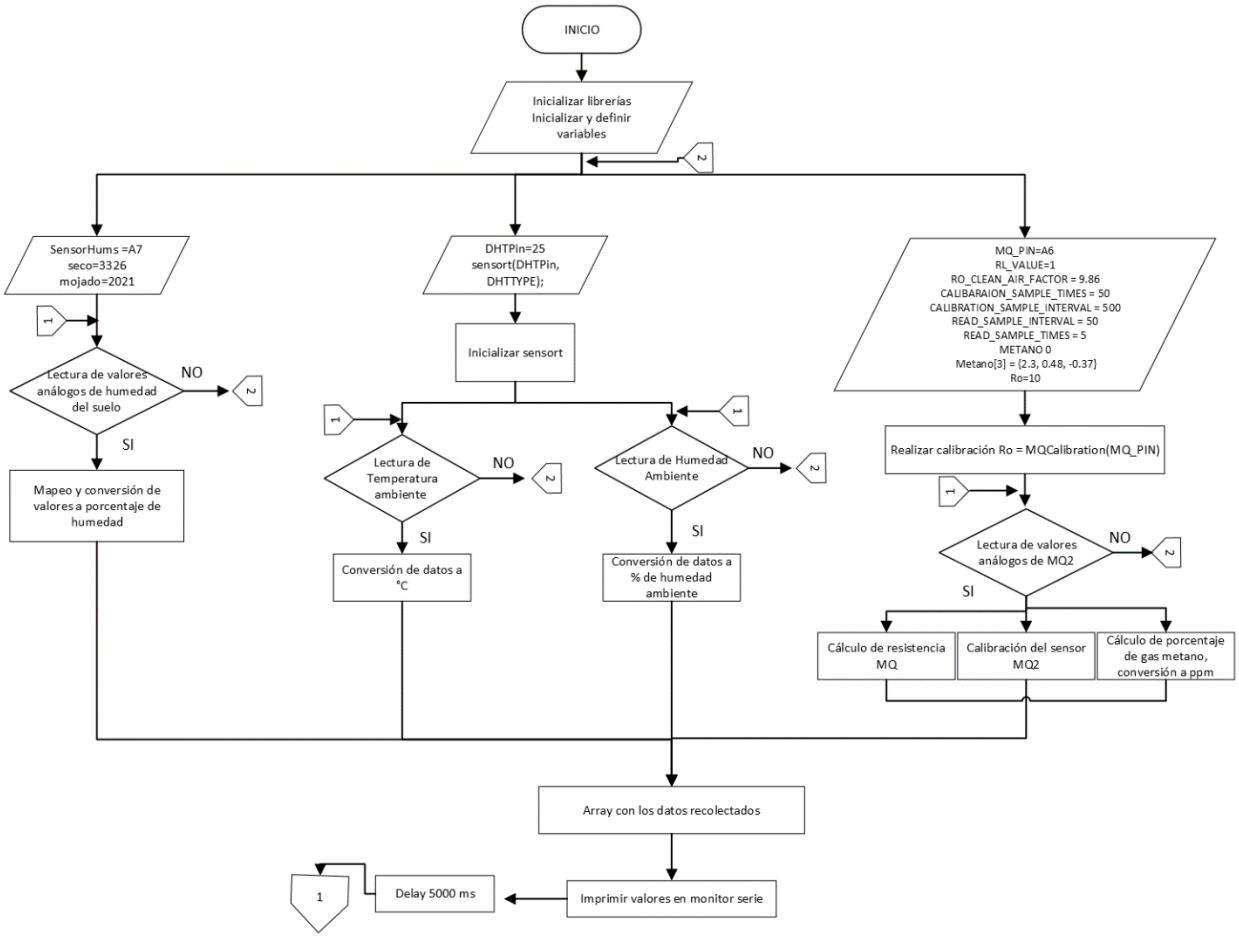
Este apartado aborda el desarrollo de cada una de las partes de programación de cada sensor que fue implementado en la elaboración del sistema. Cada uno de los sensores presenta un análisis diferente para obtener los valores que varía entre el tipo análogo y digital, también se especifica la

comunicación entre el nodo de sensores y el nodo del servidor, el almacenamiento de las variables, el aprendizaje de la red neuronal y el monitoreo de las variables en una aplicación de IoT.

El diagrama de flujo de la figura 50 detalla el funcionamiento del nodo de sensores, en el cual se especifican los tipos de variables en las que se dan lectura a los valores y se almacenan para realizar los procesos y operaciones para obtener los datos verídicos. Para posterior establecer la comunicación con el nodo del servidor para el envió de datos.

Figura 50

Diagrama de flujo del nodo de sensores



Fuente: Autoria

3.12.1 Sensor capacitivo de humedad del suelo – Lectura de datos

La programación para la lectura de datos del sensor se realiza a través de la lectura análoga del sensor capacitivo el cual permite establecer un valor para cuando el sensor se encuentra en un lugar húmedo y otro valor para cuando se encuentra totalmente mojado. Estos valores son mapeados a través de la función map la cual permite transferir el valor del rango actual a un nuevo rango de valores que se encuentra especificado por los parámetros asignados, en este caso establecer el porcentaje de humedad de los valores análogos entre 0 y 100. La figura 51 muestra el código empleado.

Figura 51

Código de lectura de datos análogos con el sensor capacitivo y transferencia de los datos a porcentaje de humedad

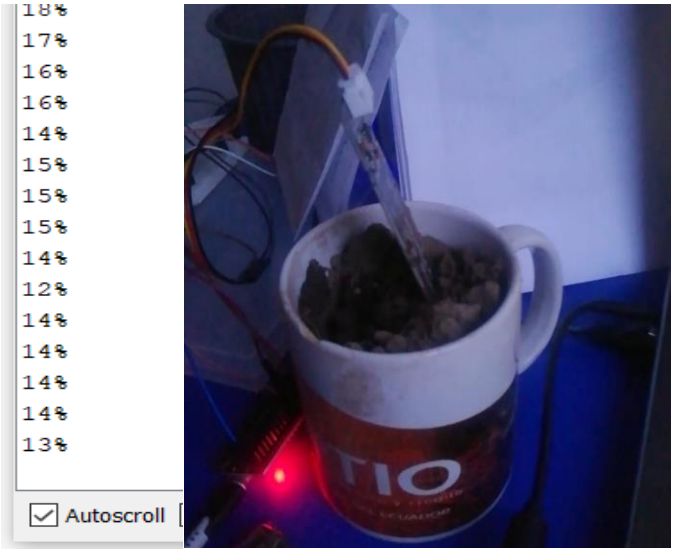
```
95
96 int SensorVal = analogRead (Sensorhums);            //Declaración de variable y lectura del dato análogo del sensor de humedad
97 int HumSu = map (SensorVal, seco, mojado, 0, 100);  //Mapeo de los valores analogos y calculo del porcentaje de humedad
98
```

Fuente: Autoría

Para comprobación se adjunta en la figura 52 los verificadores de la lectura realizada en un escenario poco húmedo en el cual en el literal a se logra evidenciar el porcentaje de humedad que se detecta en la foto adjunta del literal b en donde el sensor se encuentra sumergido en un vaso con tierra que mantiene poca humedad.

Figura 52

a) Toma de valores captada em el monitor serie de Arduino b) Sensor de humedad sumergido en tierra con poco porcentaje de humedad.



Fuente: Autoría

3.12.2 Sensor de temperatura ambiente DHT22- Lectura de datos

La lectura de datos de temperatura ambiente y humedad del ambiente se realiza a partir de la librería empleada para el sensor DHT22. Al ser variables que deben mostrarse con mayor precisión en los valores se declaran para cada una en float. A través de las funciones readHumidity y readTemperature se indica al sensor que entregue el valor de la medida de la humedad relativa y el valor de la medida de la temperatura en °C respectivamente como se observa en la figura 53.

Figura 53

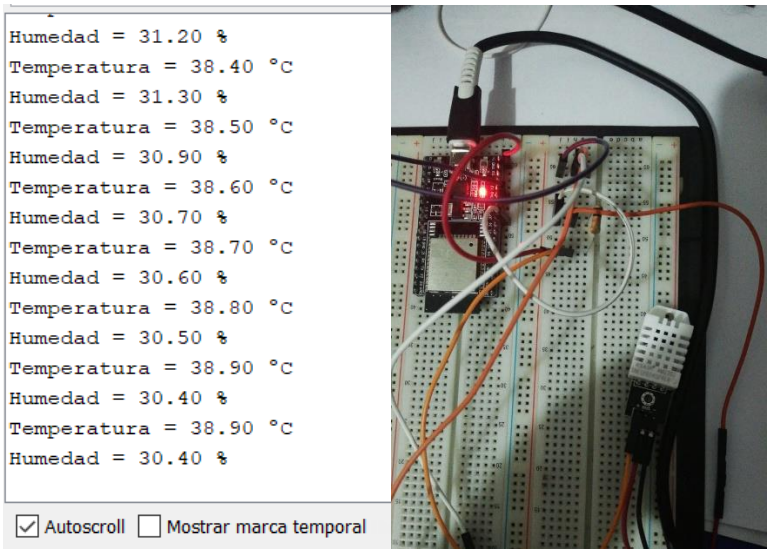
Código de lectura de datos del sensor DHT22

```
109
110  float HumAmbiente = sensort.readHumidity();          //Declaración de variables float para lectura de la humedad del ambiente
111  float TempAmbiente = sensort.readTemperature();      //Declaración de variables float para lectura de la temperatura del ambient
112
```

Fuente: Autoría

En la figura 54 se adjunta un verificador en el cual se logra observar las medidas de la temperatura y humedad relativa tomadas por el sensor en el momento en el que se realizó las pruebas respectivas, datos verificados a través del monitor serie de Arduino.

Figura 54
Lectura de datos del sensor DHT22 y visualización de parámetros mediante monitor serie



Fuente: Autoría

3.12.3 Sensor de gas metano MQ2- Lectura de datos

Para realizar la lectura de los datos del gas metano con el sensor MQ2, el proceso de calibración debe ser llamado al bloque principal para realizar la lectura de los valores conforme con los subprocesos, la función del código se puede verificar en la figura 55.

Figura 55
Calibración y lectura del sensor en el bloque principal de programación

```
56
57 Ro = MQCalibration(MQ_PIN);                    //Calibración del sensor, en el aire limpio
58
```

Fuente: Autoría

Para esto los constructores y subprocesos que se llevan a cabo son los que se explican a continuación:

Cálculo de la resistencia MQ. - El sensor y la resistencia de carga forman un divisor de tensión. Dado el voltaje a través de la resistencia de carga y su resistencia, se podría derivar la resistencia del sensor, el código empleado se muestra en la figura 56.

Figura 56
Código de cálculo de la resistencia MQ.

```
137
138 float MQResistanceCalculation(int raw_adc)      //Subproceso de calculo de resistencia MQ, raw_adc - lectura de valor br
139 {
140   return ( ((float)RL_VALUE * (1023 - raw_adc) / raw_adc)); //cálculo de la resistencia del sensor
141 }
```

Fuente: Autoría

Calibración de MQ. - Esta función asume que el sensor está en aire limpio. Utiliza el subproceso de cálculo de la resistencia MQ para calcular la resistencia del sensor en aire limpio y luego la divide con RO_CLEAN_AIR_FACTOR. RO_CLEAN_AIR_FACTOR es aproximadamente 10, que difiere mínimo entre diferentes sensores. Este código se adjunta en la figura 57.

Figura 57
Código de calibración MQ

```
float MQCalibration(int mq_pin)                          //Subproceso de calibración del sensor MQ2,
{
  int i;                                                 //Declarar una variable en entero
  float val = 0;                                         // Declarar una variable float con valor en 0
  for (i = 0; i < CALIBARAION_SAMPLE_TIMES; i++) {       //Ciclo repetitivo for para la toma de multiples muestras
    val += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin)); //Cálculo del valor de Ro del sensor
    delay(CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL);                  //Intervalo de tiempo de espera
  }
  val = val / CALIBARAION_SAMPLE_TIMES;                  //Cálculo del valor promedio
  val = val / RO_CLEAN_AIR_FACTOR;                       //División para RO_CLEAN_AIR_FACTOR, Ro resultado de acuerdo con el
  return val;                                            //Retorno de valor calculado
}
```

Fuente: Autoría

Lectura de MQ. - Esta función utiliza el subproceso del cálculo de resistencia MQ para calcular la resistencia del sensor (Rs). El Rs cambia a medida que el sensor está en la diferente conformidad del objetivo gas(metano). Los tiempos de muestra y el intervalo de tiempo entre muestras se pueden configurar cambiando la definición de los macros definidos en las variables iniciales. El código de esta función se adjunta en la figura 58.

Figura 58
Código del subproceso de Lectura MQ

```
float MQRead(int mq_pin)      //Subproceso de lectura MQ. Lectura del canal analógico
{
  int i;                      //Declaración de variable entera
  float rs = 0;               //Declaración de variable Rs en cero

  for (i = 0; i < READ_SAMPLE_TIMES; i++) {   //Ciclo repetitivo for para la toma de multiples muestras
    rs += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));  //Cálculo de rs a partir del calculo de la resistencia de MQ y la lectura
    delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);                  //Intervalo de muestras
  }

  rs = rs / READ_SAMPLE_TIMES;              //rs medido en el intervalo de muestras
  return rs;                                //retorno del valor de rs
}
```

Fuente: Autoría

MQ obtención de porcentaje de gas. - Esta función pasa por diferentes curvas a la función MQGetPercentage que calcula la ppm (partes por millón) del gas (metano). El código de este subproceso se muestra en la figura 59.

Figura 59
Código de programación para obtener el porcentaje de gas en ppm

```
long MQGetGasPercentage(float rs_ro_ratio, int gas_id)  //Subproceso para obtención de porcentaje de gas
{
  if ( gas_id == METANO ) {   //Estructura de decisión, comparativa entre la variable gas_id y metano
    return MQGetPercentage(rs_ro_ratio, Metano); //retorno de la variable en ppm del gas metano
  }
  return 0;             //retorno del valor en cero
}
```

Fuente: Autoría

MQ obtención de porcentaje valor no logarítmico. - Utilizando la pendiente y un punto de la recta. El valor de x (valor logarítmico de ppm) de la línea puede derivarse si se proporciona el valor de y (rs_ro_ratio). Como es una coordenada logarítmica, se usa la potencia de 10 para convertir el resultado a un valor no logarítmico. El código de este subproceso se muestra en la figura 60.

Figura 60
Código para obtener el porcentaje de metano - no logarítmico

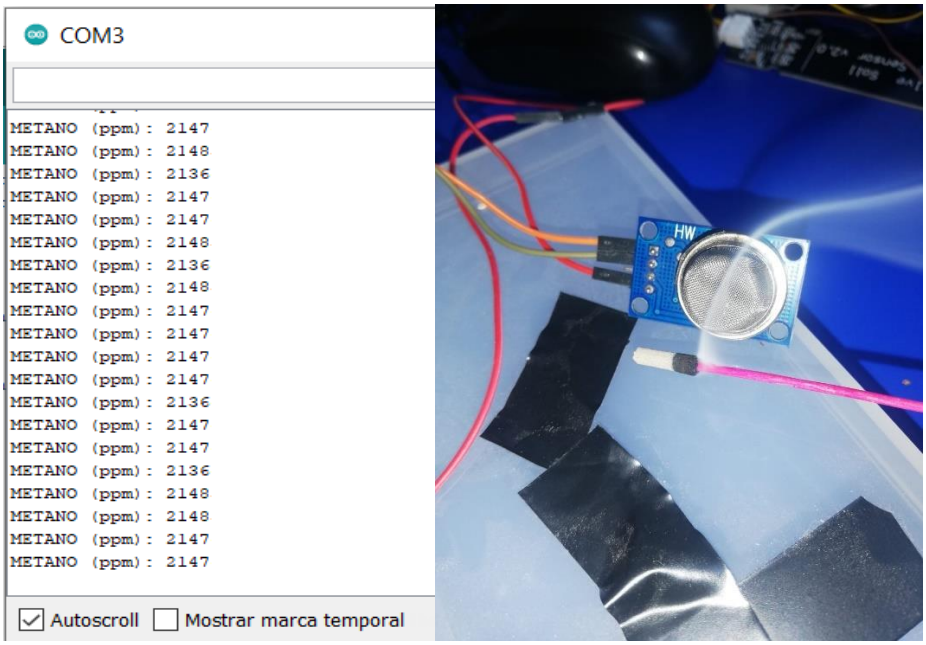
```
long  MQGetPercentage(float rs_ro_ratio, float *pcurve) //subproceso con las entradas de las variables
{
  return (pow(10, ( ((log(rs_ro_ratio) - pcurve[1]) / pcurve[2]) + pcurve[0]))); //retonor del valor d
}
```

Fuente: Autoría

En la figura 61 se adjunta un verificador en el cual se observa del gas metano en ppm tomadas por el sensor en el momento en el que se realizó las pruebas al exponer el sensor a un ambiente en donde el aire no estaba limpio, datos verificados a través del monitor serie de Arduino.

Figura 61

a) Lectura de datos con el sensor MQ2 b) Sensor MQ2 expuesto a CO2 para verificación de valores en ppm



Fuente: Autoría

3.12.4 Envió de datos entre el nodo de sensores y el nodo servidor

La comunicación entre los dos nodos debe ser establecida, para lo cual se realiza mediante una comunicación inalámbrica con el fin de que en el nodo del servidor puedan receptarse los datos tomados por los sensores. En la figura 62 se detalla las librerías definidas para la conexión WiFi del ESP32 y para el uso del protocolo MQTT.

Figura 62
Código para definir librerías

```
/******Librerías y declaració de variables para comunicación WiFi y MQTT*********/
#include <WiFi.h>                       //Librería de ESP32 para comunicación WiFi
#include <PubSubClient.h>               //Librería del protocolo MQTT
```

Fuente: Autoría

Para la configuración de los datos de red, se debe tomar en cuenta que todas las configuraciones deben ser de acuerdo con la red del lugar donde se implementará el proyecto. Los datos que tomar en cuenta son el SSID, la contraseña de la red y la IP del servidor al cual se pretende establecer la conexión, en este caso la IP del servidor local. Por último, se debe definir una función para crear el cliente, y el constructor en el ESP para que funcione como cliente. Estas configuraciones de código se observan en la figura 63.

Figura 63
Configuraciones de red y configuraciones para cliente

```
/******Configuración de la red, designación de la IP de conexión del servidor **********/
const char* ssid = "CNT_D3CT";              // Credenciales para conexión a la Red Wifi
const char* password = "[redacted]";        // Contraseña para la conexión
const char* mqtt_server = "192.168.1.54";   // MQTT broker IP Address
WiFiClient espClient;                       // Función para crear cliente que se conecta a una direccion IP y un puerto específico
PubSubClient client(espClient);             // Crear el constructor en ESP como Cliente

```

Fuente: Autoría

Al establecer la conexión, se declara las variables que se inicializarán y definirán para los procesos de toma de datos de cada sensor en implementación en la descomposición de residuos. La figura 64 detalla cada variable definida.

Figura 64

Definición de variables para sensores

```
/********DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA SENSORES *************/
#define DHTTYPE DHT22                   // Definir el tipo de sensor DHT
const int DHTPin = 25;                  // Declaración de variable del pin del sensor DHT22
DHT sensort(DHTPin, DHTTYPE);           // Definir la variable del sensor conformada por el tipo de sensor y el pin de funcionamiento
const int Sensorhums = A7;              // Declaración de variable del pin del sensor de humedad del suelo (35)
const int seco = 3326;                  // Declaración del valor de funcionamiento en seco del sensor de humedad del suelo
const int mojado = 2021;                // Declaración del valor de funcionamiento en mojado del sensor de humedad del suelo
const int MQ_PIN = A6;                  // Declaración de variable del pin del sensor de gas MQ2 (34)
const int RL_VALUE = 1;                 // //Definir la resitencia de carga en Kilo Ohmios para el funcionamiento del sensor MQ2
const float RO_CLEAN_AIR_FACTOR = 9.86; //Definir valor de resistencia del sensor en el aire limpio ---- RO_CLEAR_AIR_FACTOR=(Sensor resistance in clean air)/RO
                                          //,que se deriva del gráfico en la hoja de datos
```

Fuente: Autoría

En la figura 65 se detallan las variables definidas únicamente para los subprocesos de calibración del sensor MQ2, y la declaración de la variable para el funcionamiento de la válvula solenoide.

Figura 65

Declaración de Variables para MQ2 y variable de válvula

```
/*******VALORES RELACIONADOS CON LA CALIBRACIÓN DEL SENSOR MQ2******************/
int CALIBARAION_SAMPLE_TIMES = 50;          //Define cuántas muestras vas a tomar en la fase de calibración
int CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL = 500;      //Define el tiempo interal (en milisegundos) entre cada muestra en la fase de calibración
int READ_SAMPLE_INTERVAL = 50;              //Define cuántas muestras va a tomar en funcionamiento normal
int READ_SAMPLE_TIMES = 5;                  //Define el tiempo interal (en milisegundos) entre cada muestra en funcionamiento normal
#define   METANO             0            //Definicón del valor constante para la varaible metano
float   Metano[3] = {2.3, 0.48, -0.37};     //Resultado de los 2 puntos aproximadamente equivalentes, tomados de la curva caracteristica del datasheet
float          Ro          =  10;           //Ro es inicializada es 10 kilo ohms

/**************** PIN ELECTROVAULA ********************************************/
const int valvula = 34;                     //Declaración de pin para funcionamiento de electroválvula
```

Fuente: Autoría

La figura 66 detalla el código implementado para realizar el envió de datos tomados por los sensores en donde a partir de una cadena de valores creada se envía al tópico creado para publicar el mensaje.

Figura 66

Envío y publicación de datos desde el ESP32 al servidor local

```
float dat[] = {TempAmbiente, iPPM_MT, HumAmbiente , HumSu}; //Composición del array con las variables de los sensores
char message[25];                                           //Definir tamaño del array
sprintf (message, "%0.1f,%0.1f,%0.1f,%0.1f", dat[0], dat[1], dat[2], dat[3]); //Envío de datos en un mensaje, con 1 décima
Serial.print("Datos: ");                                                       //Imprimir mensaje datos
Serial.println(message);                                                      // Imprimir el mensajecon los valores de las variables
client.publish("/compost/sensores", message);                                 //Publicación del tópico
```

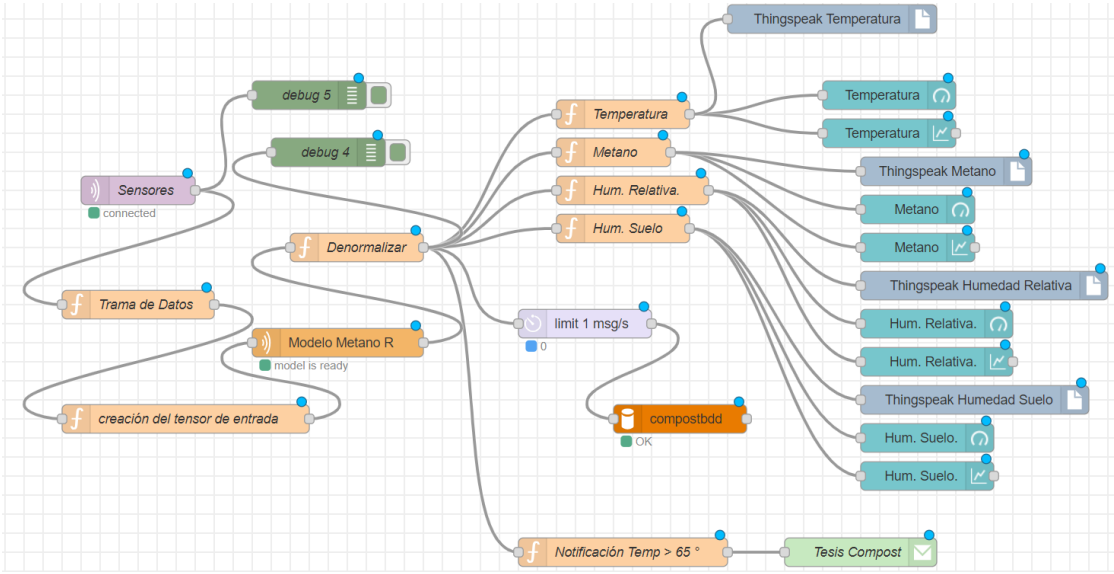
Fuente: Autoría

3.12.5 Recepción de datos en NodeRed

La estructura del flujo total del sistema en Node-red se encuentra estructurada por varios nodos de los cuales cada uno realiza una función en específico, a continuación, en la figura 67 se presenta el flujo y se detalla cada una de las funciones de cada nodo.

Figura 67

Estructura del flujo en Node-Red

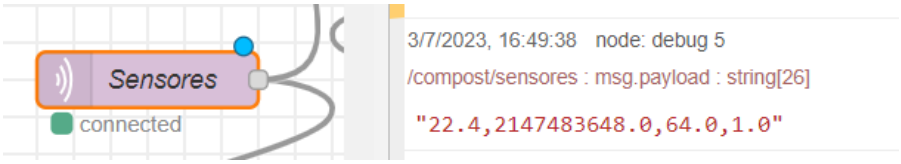


Fuente: Autoría

Utilizando el protocolo MQTT de envío y recepción de mensajes a través del método de publicación y suscripción de tópicos, mediante el software Node-Red y la función de MQTT IN

se realiza la suscripción del tópico Sensores por la cual se realiza la recepción de datos, como se muestra en la figura 68.

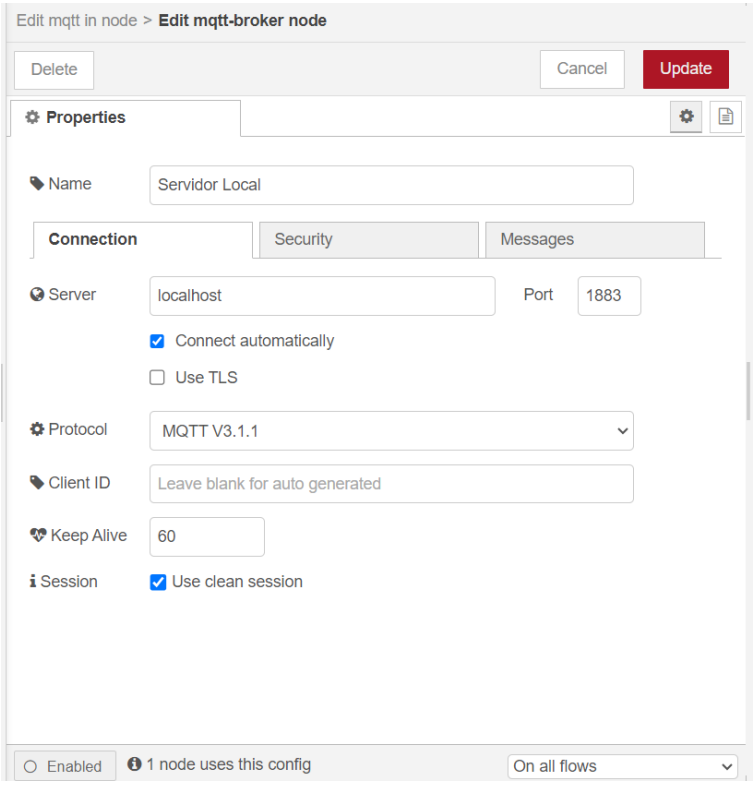
Figura 68
Recepción de datos mediante la función MQTT IN en Node-Red



Fuente: Autoría

El nodo de mqtt está configurado como se muestra en la figura 69, por lo que para el acceso está establecido a través del localhost y del puerto 1883.

Figura 69
Configuración de nodo mqtt in

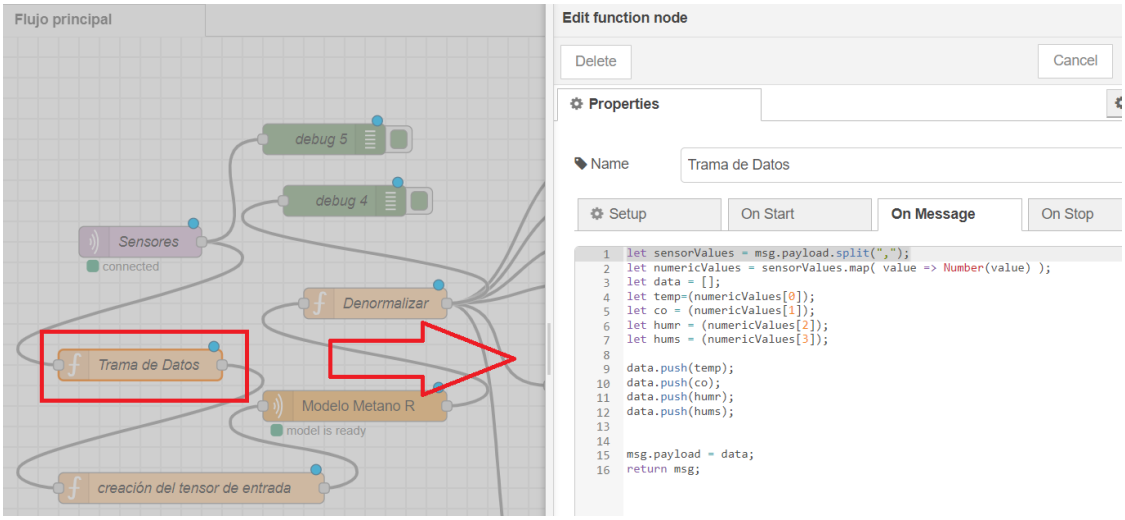


Fuente: Autoría

Los datos receptados pasan al siguiente nodo de función denominado Trama de datos, en el cual este nodo permite convertir la trama recibida en un array numérico, para que los valores se definan en cada una de las variables respectivas, y retorne el mensaje exactamente como esta. El código de la función se detalla en la figura 70.

Figura 70

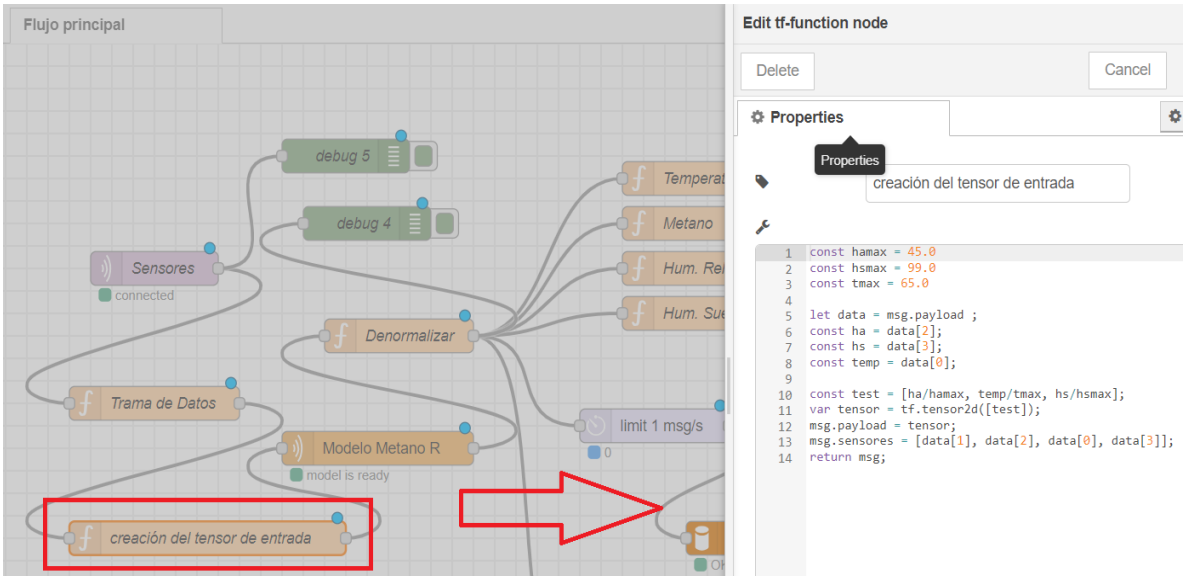
Código de la Función de trama de Datos



Fuente: Autoría

La función del tensor de entrada representa todos los tipos de datos numéricos de la trama de datos anteriormente especificada, es originado a partir del resultado del cálculo de las variables de cada sensor en donde se definen los valores máximos de la humedad ambiente, humedad del suelo y la temperatura. El tensor de 2 dimensiones permite el aprendizaje automático de los valores que posteriormente ingresaran en la función de Trama de datos, con el fin de mejorar la legibilidad. En la figura 71 se adjunta la imagen del código de la función del tensor de entrada.

Figura 71
Código de la función del Tensor de entrada

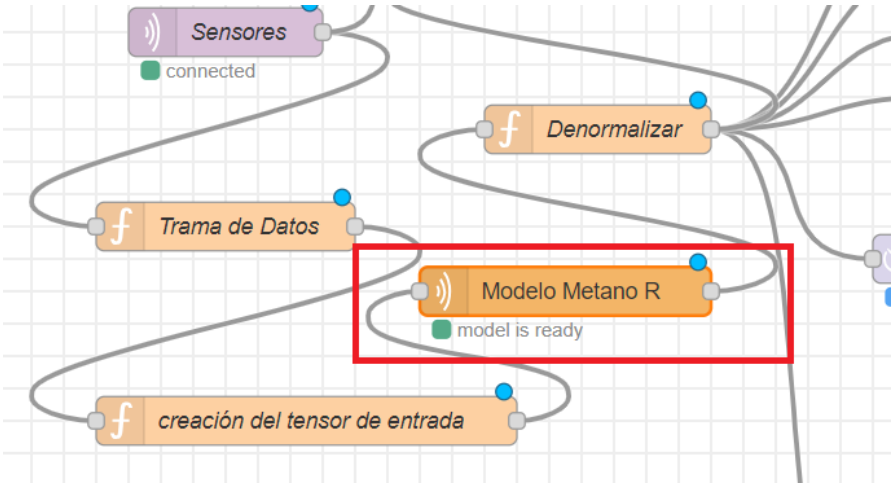


Fuente: Autoría

3.13 Procesamiento de datos

El nodo del Modelo de Metano hace referencia al modelo de red neuronal realizado para la predicción del valor de metano. Este nodo es implementado para la carga de móldelos de Tensor Flow y permite realizar inferencias. Véase la figura 72.

Figura 72
Nodo del modelo de red neuronal para la predicción del metano.



Fuente: Autoría

Para el desarrollo del modelo de red neuronal es necesario obtener los datos de entrenamiento. Estos datos son previamente tomados por los sensores MQ2, DHT22, y Sensor de humedad del suelo, los cuales dan los valores de metano en ppm, temperatura ambiente en centígrados, humedad ambiente y humedad del suelo en porcentaje respectivamente.

Estos datos son tomados durante los 14 días de proceso de compostaje, aplicando el método de Berkeley el cual establece que el compostaje es elaborado en un total de 18 días. Todo el periodo de tiempo la composta debe ser sometida a temperaturas entre los 55 hasta los 65 grados centígrados, los 4 primeros días son de reposo, por lo que en este tiempo la composta debe mantenerse tal y como se estructuro al ser elaborada, dentro de la caja sin ningún proceso de aireación. A partir del 5 día los sensores inicializan la toma de datos, mismo que son guardados en una base de datos para lograr estructurar el conjunto de datos de entrenamiento para la elaboración de la red neuronal. En el 5 día se realiza el primer proceso de volteo y aireación de la composta,

este procedimiento debe ser realizado cada dos días con el fin de airear los desechos para el aporte de oxígeno y eliminación de gases que se generan en la descomposición.

Los datos tomados de esta primera prueba de elaboración de compost permiten tener 4 variables, a las cuales de la base de datos se dividen en datos de entrada y datos de salida para la elaboración de la red neuronal. Los Datos de entrada son los valores tomados por el sensor de DHT22 (temperatura ambiente, humedad del ambiente) y el sensor capacitivo de humedad del suelo (porcentaje de humedad del suelo); y los datos de salida son los valores tomados por el sensor MQ2 (valores del metano en ppm). Estos valores de entrenamiento permitirán que la red neuronal permita predecir el valor de metano sin la necesidad de implementar el sensor en el control de variables a partir de los valores de entrada.

Por lo que, los datos tomados en la primera elaboración de compost son datos en los cuales los residuos fueron sometidos a escenarios de sequedad del suelo de la composta, temperaturas elevadas, al igual que temperaturas bajas con el fin de verificar y obtener una variación en la toma del dato del sensor de metano.

Para el desarrollo del modelo se realiza mediante el programa Google Colab que permite la programación de códigos en lenguaje de Python, es importante tomar en cuenta el tipo de formato que la función de Node-Red admite en el nodo.

Se inicia con la importación de las librerías a utilizar. La librería pandas permite definir estructuras nuevas d datos con base en los arrays de la librería numpy; numpy permite el trabajo con arreglos numéricos, tensor Flow es la librería para inteligencia artificial, y por último la librería keras que sirve para crear redes neuronales. En la figura 73 se adjunta el código de este apartado.

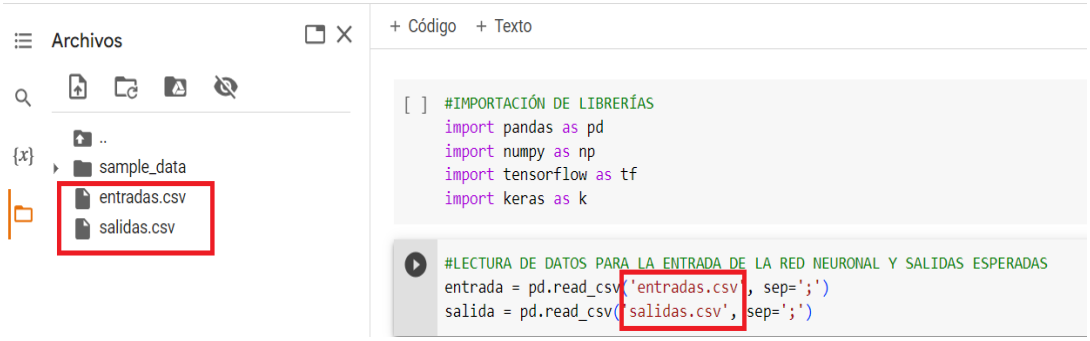
Figura 73
Importación de librerías en Googlecolab

```
[ ]  #IMPORTACIÓN DE LIBRERÍAS
     import pandas as pd
     import numpy as np
     import tensorflow as tf
     import keras as k
```

Fuente: Autoría

Se realiza un arreglo numérico para la lectura de datos para las entrada y salidas esperadas de la red neuronal, en este apartado se adjuntan los archivos en formato .csv de los datos divididos de la base de datos de entrenamiento tomada, y se especifica cada archivo en la variable correspondiente. La figura 74 detalla el código realizado.

Figura 74
Importación de tablas de entrada y salidas, definición de arreglo



Fuente: Autoría

Utilizando la librería keras para estructuración rápida de redes neuronales se elabora una red neuronal de tipo densa, la cual está estructurada mediante la conexión desde cada neurona hacia todas las neuronas de la siguiente capa. Para definir el número de capas que debe tener la red neuronal se analizó el problema a resolver, al requerir la predicción del valor de metano esta red

neuronal no es profunda, los valores definidos para una red neuronal profunda son a partir de 3 capas ocultas, y 10 neuronas por cada capa. Para esta red neuronal se realiza la definición de las dos capas ocultas, cada una de estas con 7 neuronas, para la primera conexión de la primera capa oculta se define las 3 entradas tomadas del archivo .csv. Y para la capa de salida se define una sola neurona la cual dará como resultado la predicción de metano.

Por último, se asigna un modelo de keras por lo que el modelo de red neuronal secuencial entre las capas ocultas y la capa de salida, este modelo por lo general es implementados para la predicción de valores realizada por una red neuronal para un determinado intervalo de tiempo, dato que el dato resultante son variables explicativas, de esta manera se prepara el modelo para ser entrenado. El código se muestra en la figura 75.

Figura 75
Código de estructuración de red neuronal

```
#ELABORACIÓN DE RED NEURONAL DENSA
oculta1 = tf.keras.layers.Dense(units=7, input_shape=[3], activation="relu")  #Capa1 de tipo densa
oculta2 = tf.keras.layers.Dense(units=7, activation="relu") #Capa2 de tipo densa
#oculta3 = tf.keras.layers.Dense(units=7, activation="relu")
capaSalida = tf.keras.layers.Dense(units=1) #Neurona de salida
modelo = tf.keras.Sequential([oculta1, oculta2, capaSalida]) #Modelo secuencial
```

Fuente: Autoría

A continuación, se realiza la estructuración del optimizador ADAM, este permitirá a la red ajustar los sesgos y pesos eficientemente para que aprenda y mejore la precisión de resultados en la predicción, se especifica la tasa de aprendizaje que indica que tanto ajustar los pesos y sesgos. El número no debe ser muy pequeño puesto que la red aprenderá muy lento, ni tampoco debe ser el número muy grande ya que sobrepasará el numero esperado, y no hará cambios suficientemente

finos para llegar a la precisión acertada para obtener los resultados. En la figura 76 se muestra el código de este apartado.

Figura 76
Definición de modelo de optimizador ADAM

Fuente: Autoría

Se convierte el marco de datos en una matriz, tanto para la entrada como para la salida, estos de tipo flotante. Cada uno de los datos de entrada que son la temperatura ambiente, humedad del ambiente y la humedad del suelo son normalizados para utilizar una escala común, sin la alteración de los intervalos ni la perdida de información, con el fin de lograr el modelado correcto de la red neuronal. Para entrenar el modelo se utiliza la función fit en donde se indican los datos de entrada y resultados esperados (normalizados) seguido por el número de vueltas de procesamiento que se realizara a la red neuronal. El código de este apartado se muestra en la figura 77.

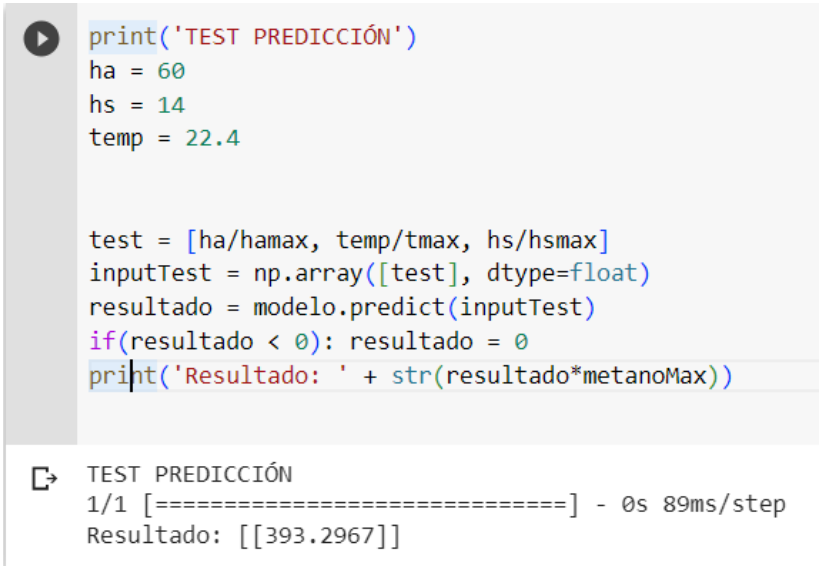
Figura 77
Entrenamiento de la red neuronal

```
print('Entrenando...')
npEntrada = entrada.to_numpy(dtype=float);
npSalida = salida.to_numpy(dtype=float);
# maximo de la temp
tmax = np.max(npEntrada[:,1])
# normalizar
npEntrada[:,1] = npEntrada[:,1]/tmax

# humedad suelo
hsmax = np.max(npEntrada[:,2])
npEntrada[:,2] = npEntrada[:,2]/hsmax

# humedad relativa
hamax = np.max(npEntrada[:,0])
npEntrada[:,0] = npEntrada[:,0]/hamax

# metano
metanoMax = np.max(npSalida[:,0])
npSalida[:,0] = npSalida[:,0]/metanoMax

historial = modelo.fit(npEntrada, npSalida, epochs=500, verbose=False, batch_size=50)  #entrenamiento de neurona
print('Entrenamiento completado !')
print(hsmax)
print(hamax)
print(tmax)
print(metanoMax)
```

Fuente: Autoría

Se realiza una prueba de predicción para determinar los resultados del metano en base a los valores ingresados en cada una de las variables respectivas, tomadas en cuenta como entradas. El código se muestra en la figura 78.

Figura 78
Ejecución de prueba de predicción del valor de gas metano



Fuente: Autoría

El modelo entrenado sebe ser guardado y exportado, para esto es guardado mediante la función save. La cual permite guardar toda la red, pesos, estados del optimizador de la red, sesgos y demás componentes en un solo archivo con extensión .h5

Con el modelo guardado se carga un nuevo modelo para verificación de datos de predicción con el fin de corroborar que la información resultante de la prueba de predicción coincida con la del funcionamiento del modelo. Véase la figura 79 del código.

Figura 79
Carga del nuevo modelo guardado para verificación

```
[ ]  modelo.save('modelo_metano.h5')
```

```
[ ]  new_model = tf.keras.models.load_model('modelo_metano.h5')
     print('TEST PREDICCIÓN')
     ha = 60
     hs = 15
     temp = 21.4

     test = [ha/hamax, temp/tmax, hs/hsmax]
     inputTest = np.array([test], dtype=float)
     resultado = new_model.predict(inputTest)
     print('Resultado: ' + str(resultado*metanoMax))
```

```
TEST PREDICCIÓN
1/1 [==============================] - 0s 82ms/step
Resultado: [[393.2967]]
```

Fuente: Autoría

Se debe realizar la exportación a la carpeta de salida para que el modelo pueda ser ejecutado en el nodo de Node-red. Para esto se debe utilizar el convertidor de tensorflow en donde se indica que el formato de entrada es en keras del modelo de predicción de metano, se define la carpeta de salida donde se alojaran los archivos convertidos. Los archivos generados deben ser descargados y alojados en una carpeta del servidor en el que se ejecuta Node-red. El código de muestra en la figura 80.

Figura 80
Convertir el modelo de red neuronal con tensorflow

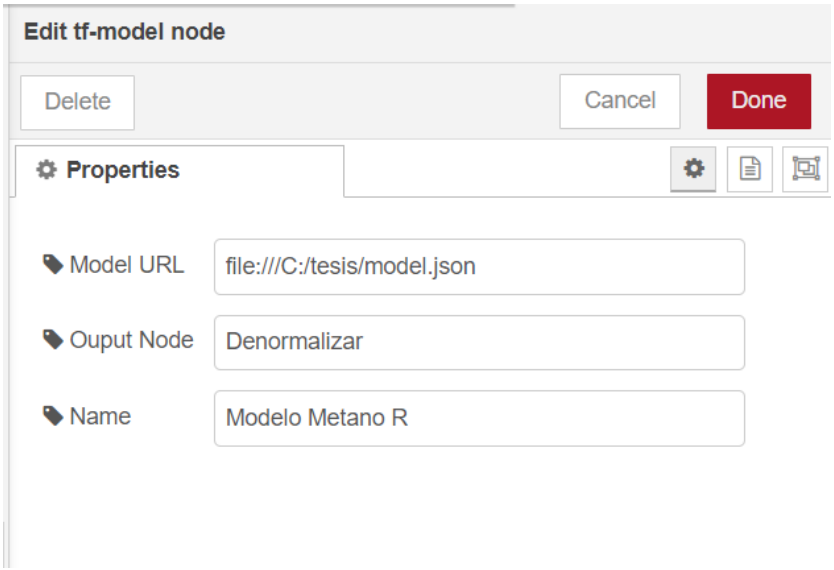
```
[ ]   #generadosscriptun.scriptyun.json
     !tensorflowjs_converter --input_format keras modelo_metano.h5 resultados/
```

Fuente: Autoría

Dentro del nodo de Node-Red se modifican los parámetros en donde se especifica la carpeta origen donde se encuentran alojados los archivos obtenidos del modelo de red neuronal. Las configuraciones se muestran en la figura 81.

Figura 81

Modificación de parámetros y asignación de modelo de red neuronal en el nodo de Node-Red



Fuente: Autoría

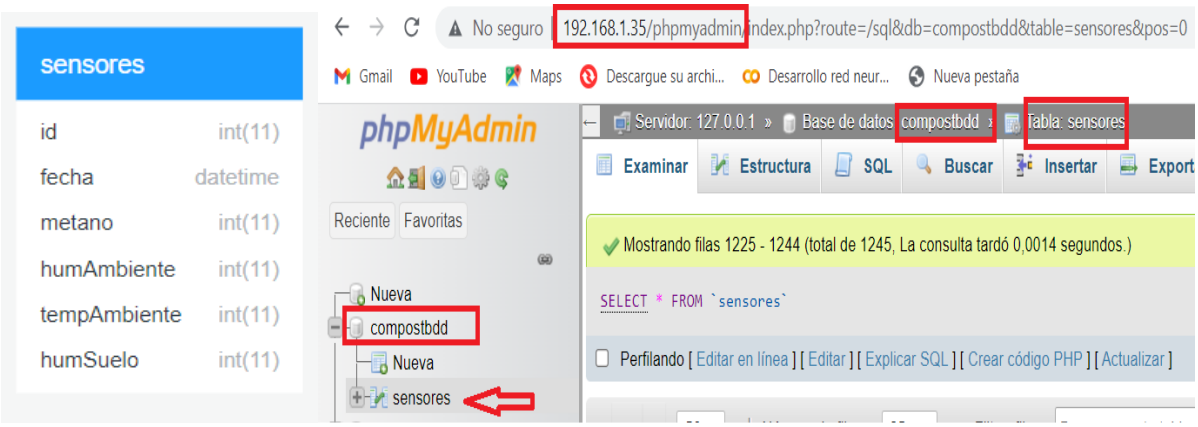
3.14 Almacenamiento de variables

El almacenamiento de los datos garantiza el monitoreo constante de las variables por parte del usuario, lo cual permite que esta información pueda ser verificada en cuanto a las varianzas de temperatura, humedad relativa y humedad del suelo tanto del ambiente como de la composta respectivamente. En el servidor local se instala y configura un paquete de software de gestión de base de datos la cual permite poner en ejecución un servidor Web Apache, y el gestionador de bases que es MariaDB y phpMyAdmin.

El ingreso a la base de datos se da a través de la ip del servidor local, y mediante phphMyAdmin, en donde se ingresan las credenciales de acceso tanto de usuario como de contraseña mismas que fueron configuradas al instalar el paquete en el servidor.

Para este sistema se ha conformado 1 Tabla en la cual se ha considerado variables como son el id, fecha, metano, humAmbiente, tempAmbiente, humSuelo todos estos determinados como int. En la interfaz gráfica se creó una base de datos denominada "**compostbdd"** y dentro de la misma una tabla denominada **"sensores** "en la que se realiza el almacenamiento de los valores tomados por los sensores. La información de la base de datos se puede observar en la figura 82, en el literal a se verifica el modelo de base de datos, que en este caso es solo la tabla sensores, perteneciente a la BDD compostbdd con sus respectivas variables que la componen, y en el literal b la estructuración de la base de datos en la interfaz gráfica.

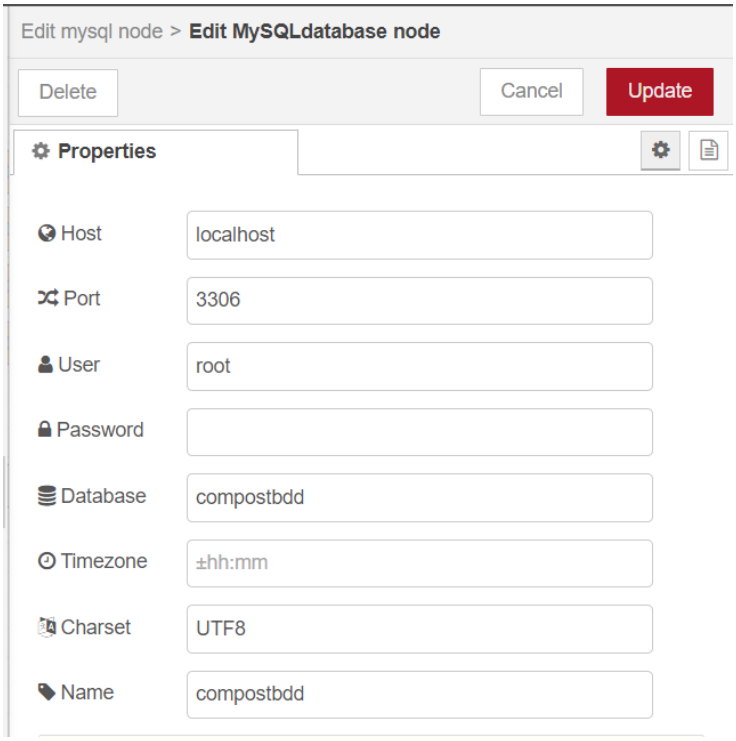
Figura 82
a) Modelo base de datos compost b) Verificación de base información de base de datos y tabla de sensores en la interfaz gràfica



Fuente: Autoría

Desde Node- Red se establece conexión con la base de datos creada, para que los datos recibidos se almacenen en la tabla sensores de acuerdo con las variables designadas. Para esto las configuraciones en la función son modificadas como se muestra en la figura 83.

Figura 83
Configuracion del nodo de Conexión de BDD

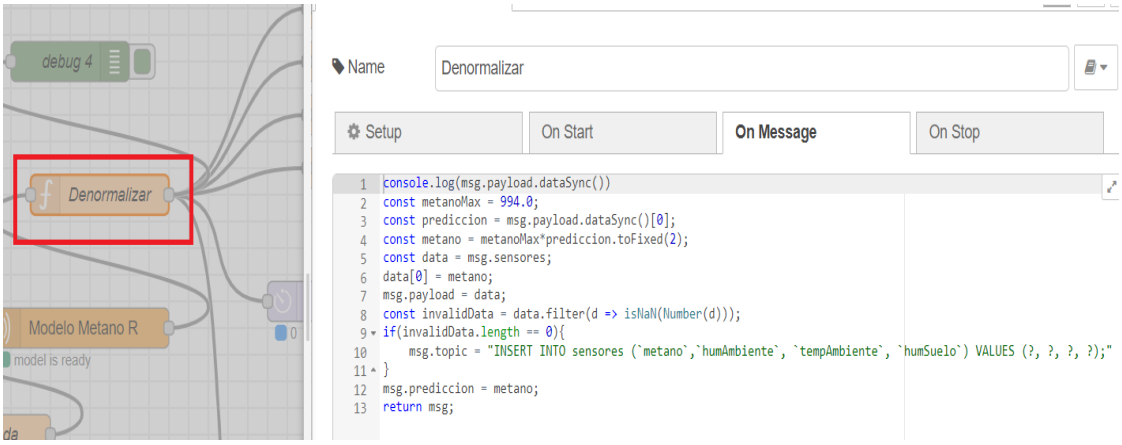


Fuente: Autoría

Para que los valores se almacenen en la base de datos ***"compostbdd"***, en la tabla de ***"sensores"***, en Node-Red se utiliza el nodo de function al cual se denominó Desnormalizar. Este bloque lo que permite es tomar cada dato normalizado, y pasarlos a los valores de las columnas numéricas, respectivamente en las celdas respectivas. Utilizando la acción INSERT INTO se determina el nombre de cada celda de la tabla de sensores y las posiciones pertenecientes en las cuales los datos serán almacenados.

Figura 84

Código de normalización de datos e ingreso de valores en BDD

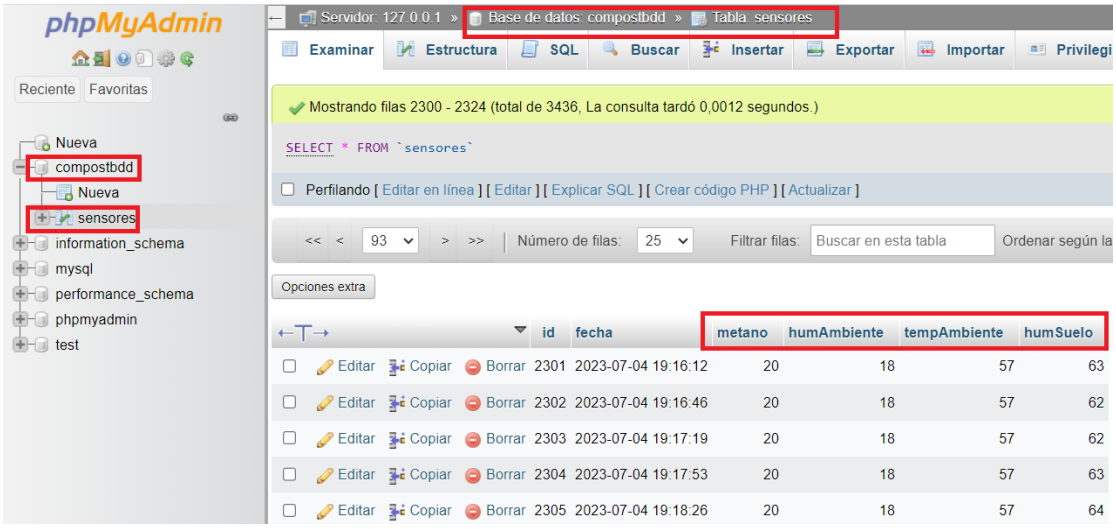


Fuente: Autoría

Los datos son almacenados y pueden ser visualizados en la base de datos, en la tabla de sensores definidos por las celdas de metano, humAmbiente, tempAmbiente y humSuelo, esto se muestra en la figura 85.

Figura 85

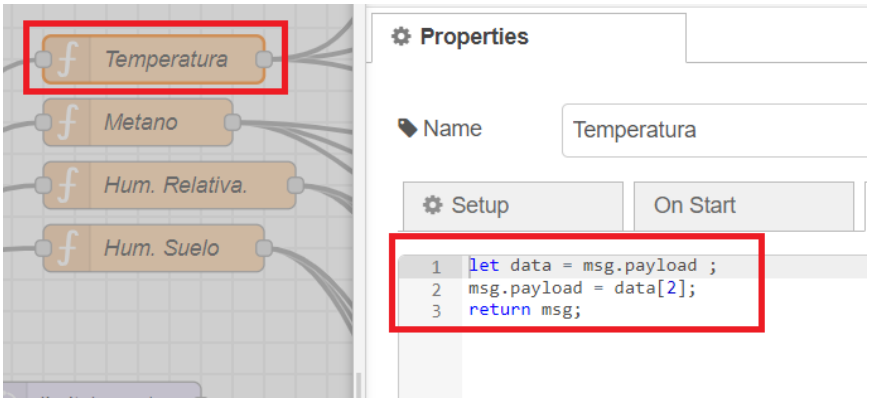
Visualización de datos almacenados en base de datos



Fuente: Autoría

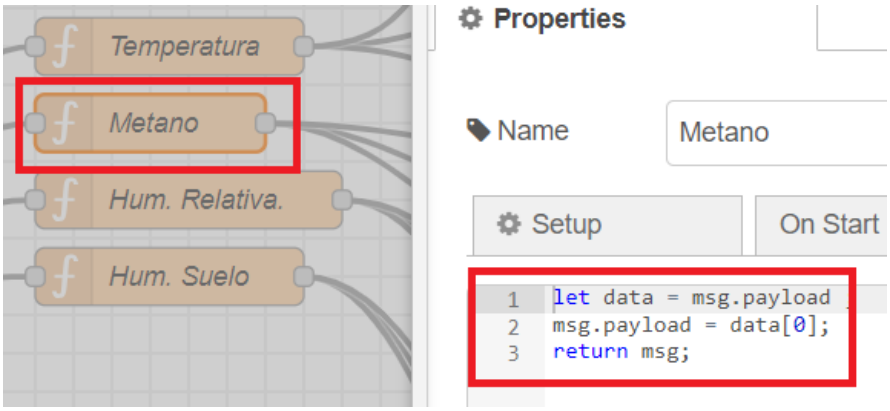
La presentación de los datos se realiza mediante el nodo de function, en el cual se especifica la posición del array de la data, y el retorno del valor la variable que se determina. En las figuras 86, 87, 88, y 89 se muestra el código de cada una de las variables a presentarse.

Figura 86
Configuracion de nodo function para la variable temperatura



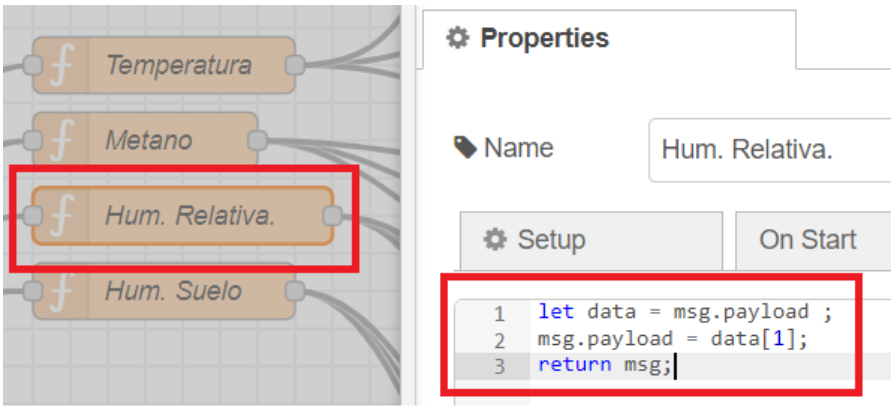
Fuente: Autoría

Figura 87
Configuracion de nodo function para la variable metano



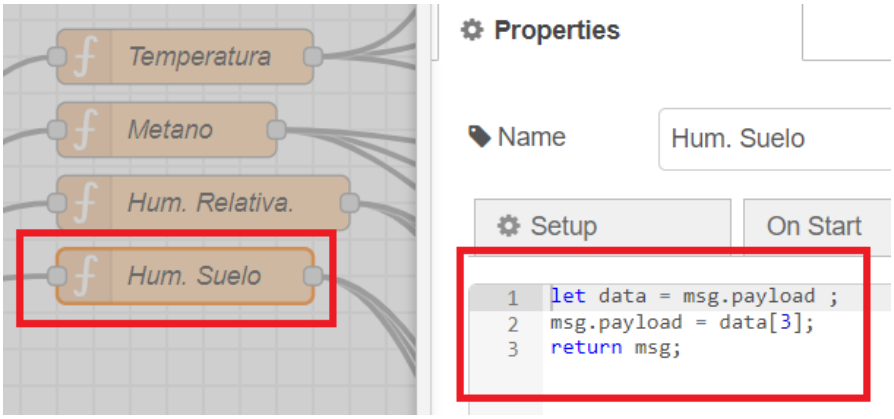
Fuente: Autoría

Figura 88
Configuracion de nodo function para la variable Humedad Relativa



Fuente: Autoría

Figura 89
Configuracion de nodo function para la variable Humedad del suelo



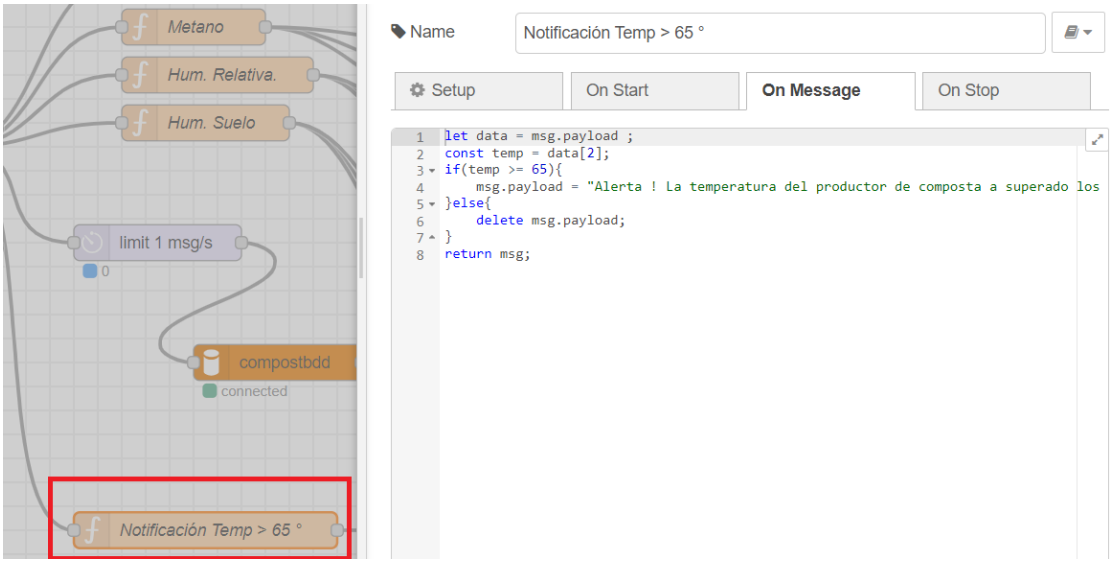
Fuente: Autoría

Como prevención se configura una notificación que permitirá dar aviso al usuario que la temperatura ambiente de la caja ha excedido los 65° con el fin de tomar precauciones para evitar daños de sensores y demás complementos del sistema puesto que en las especificaciones varios de estos tienen un límite de soporte de trabajo de temperatura ambiente. Para esto se toma el valor

registrado en la posición 2 y mediante una sentencia se determina si el valor de este excede los 65 se envíe un mensaje de alerta. Véase el código configurado en la figura 90.

Figura 90

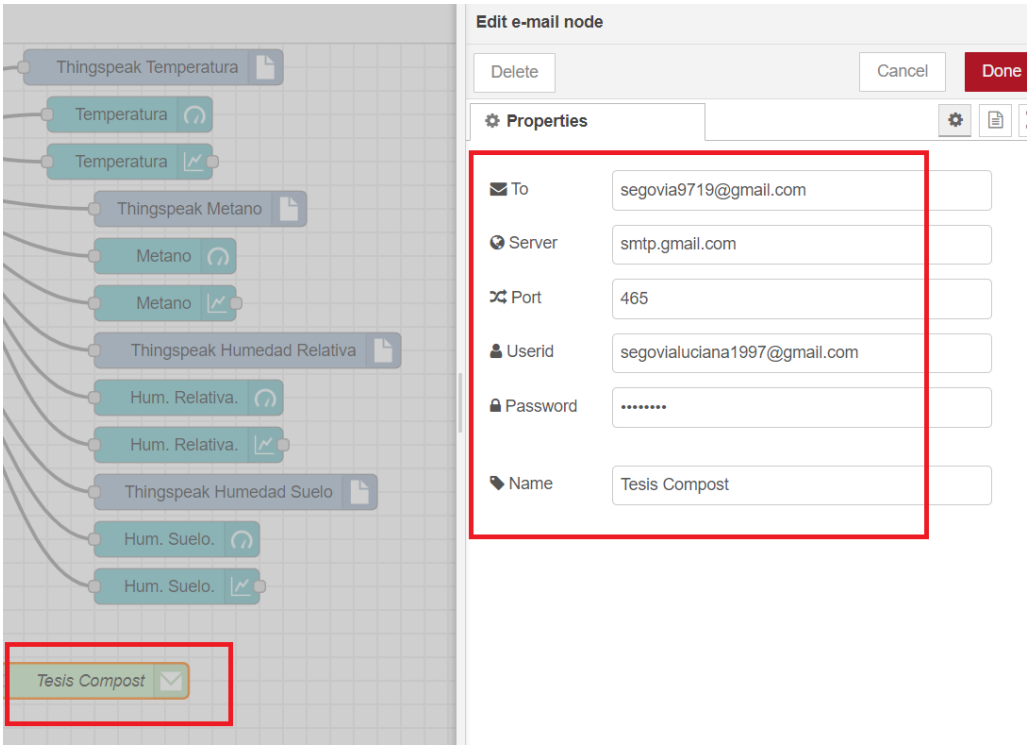
Código de configuración de notificación



Fuente: Autoría

A la función anteriormente especificada, se vincula un nodo de email, debido a que la notificación de alerta será enviada a través de un correo electrónico para la configuración de este nodo se muestra los detalles en la figura 91.

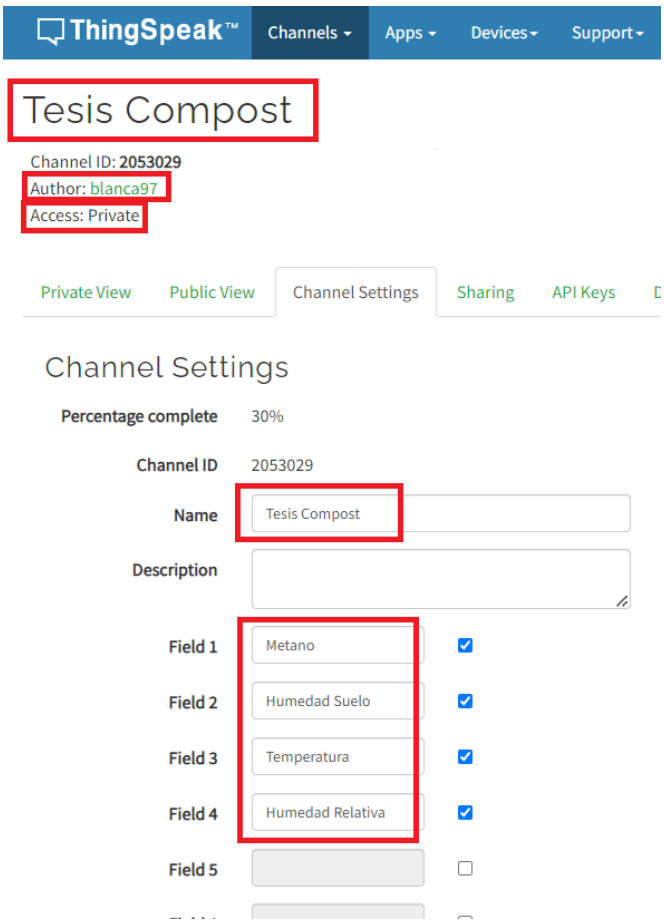
Figura 91
Configuracion de nodo de email para envió y recepción de notificación



Fuente: Autoría

Utilizando las librerías de ThingSpeaksendSimple se realiza la configuración de un channel para la presentación y monitoreo de los datos. Mediante esta librería lo que permite es configurar los nodos para cada variable y visualizar los datos que se encuentran almacenando en la base de datos mediante el registro de una cuenta en la página de thingspeak, con el fin de lograr el monitoreo desde cualquier lugar siempre y cuando el usuario tengo acceso a internet. En la figura 92, se detallan las configuraciones del channel, es importante la coincidencia de las posiciones de los valores de la data con los campos de esta configuración.

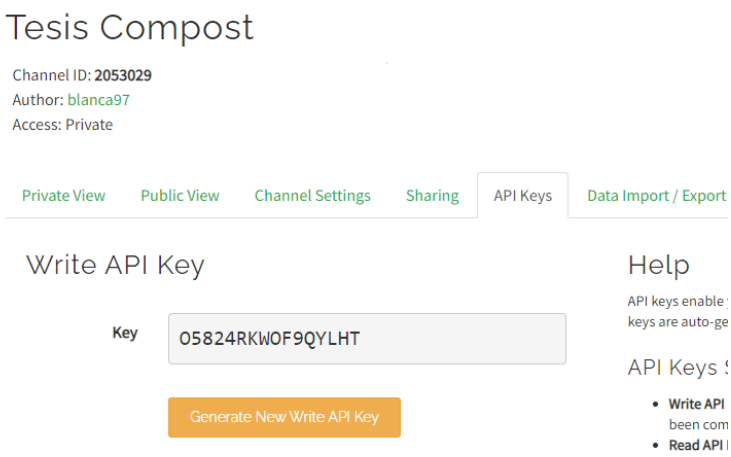
Figura 92
Configuracion del channel en ThingSpeak



Fuente: Autoría

En la sección API KEYS se debe generar una clave para la conexión entre el nodo de Node-Red y la aplicación de thingspeak. En la figura 93, se muestra la Key generada.

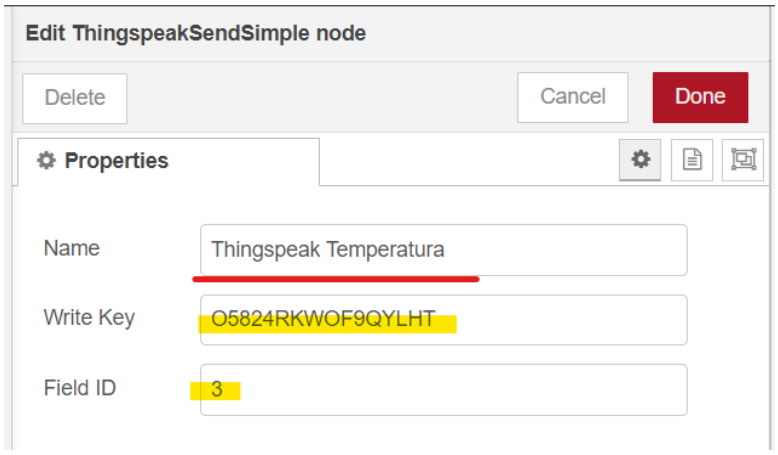
Figura 93
Verificación de clave de conexión de API



Fuente: Autoría

Utilizando el nodo de ThinspeaksendSimple se realiza el vínculo entre ThinsgSpeak a Node-Red para la presentación de los datos. Cada uno de los nodos son configurado mediante el número de campo que representa en la configuración realizada en el channel y el nombre de la variable. En las figuras 94,95,96 y 97 se adjunta las configuraciones realizadas.

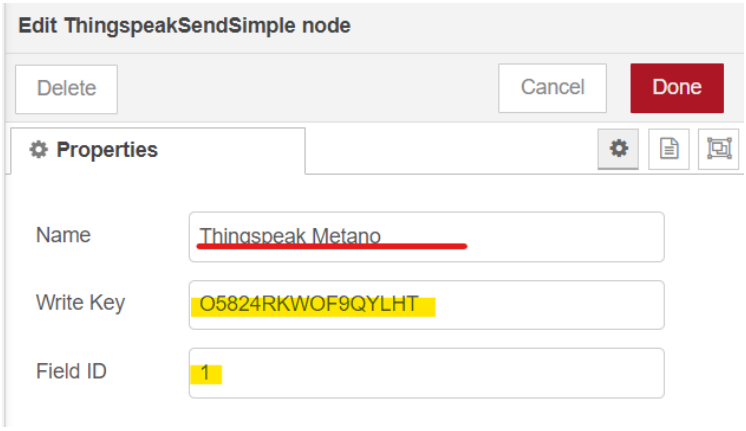
Figura 94
Configuracion de nodo ThingSpeak para la variable temperatura



Fuente: Autoría

Figura 95

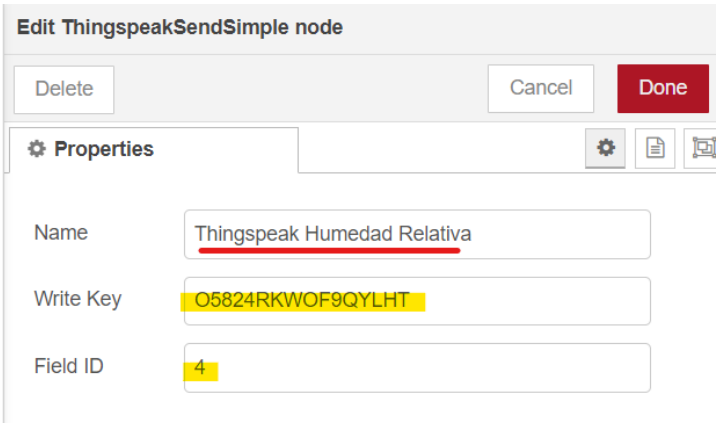
Configuración de nodo ThingSpeak para la variable metano



Fuente: Autoría

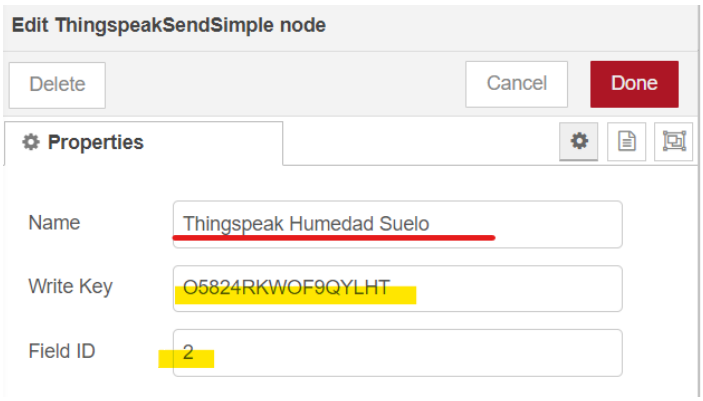
Figura 96

Configuración de nodo ThingSpeak para la variable Humedad Relativa



Fuente: Autoría

Figura 97
Configuración de nodo ThingSpeak para la variable Huemdad del suelo



Fuente: Autoría

4 CAPITULO IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En este capítulo se aborda la fase de implementación de la metodología planteada para este proyecto. Se realiza la implementación de la parte estructural del sistema para elaboración de composta, el hardware y software realizado para el proyecto para así obtener las pruebas de funcionamiento del sistema y los resultados, aquí es importante determinar la calidad del compost generado y la precisión que tiene el sistema en funcionamiento, mediante verificadores se dará a conocer el proceso de generación de compost y las características necesarias idóneas para determinar si un compost es idóneo para la implementación en la microfarm al finalizar los 18 días de descomposición de residuos. Por último, se describen los costos para el desarrollo del proyecto y el beneficio que trae consigo este proyecto en cuanto al tema de contaminación por efecto invernadero.

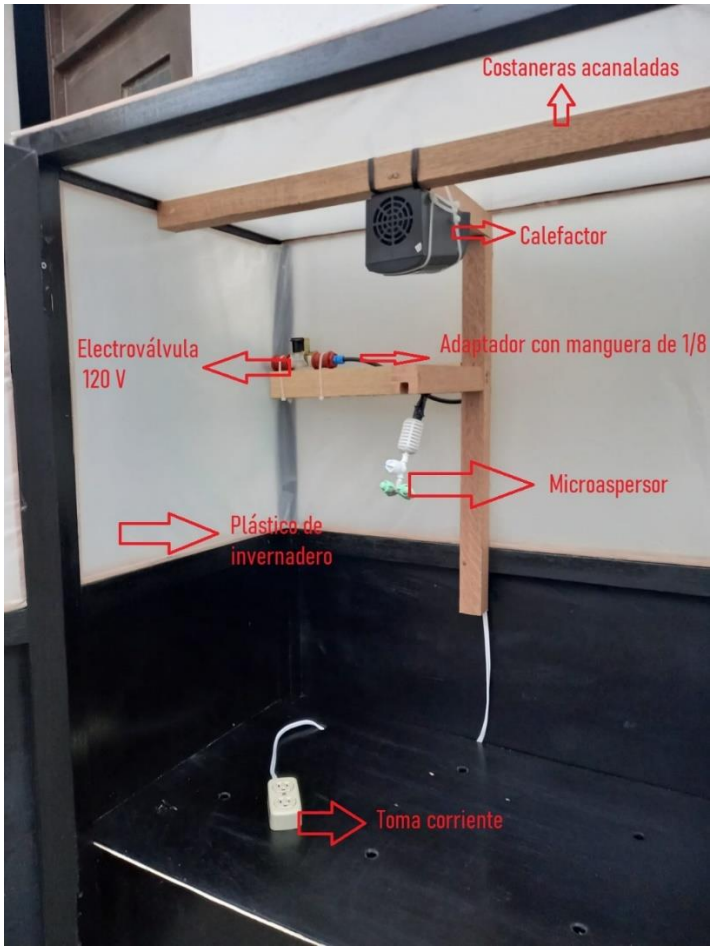
4.1 Implementación de la estructura del sistema

De acuerdo con las características de las microfarms estas son lugares pequeños en los cuales se debe optimizar los espacios. Es por esto por lo que la caja que contendrá la compostera no excede el 1 metro cúbico, la parte superior de esta caja fue forrada con plástico de invernadero lo cual permite concentrar y mantener el calor en la parte interna. En su interior se encuentra estructurada por una base de costaneras acanalas lo que permite acoplar el calefactor en la parte superior el cual se encuentra ya conectado a un tomacorriente que está adaptado en las costaneras acanaladas.

Estas costaneras también permiten el acople de una manguera de 1/8” que va conectada a un micro aspersor el cual se activará al momento de realizar el riego del compost. A la manguera de 1/8” se encuentra conectado un adaptador para la conexión con la electroválvula. El funcionamiento de la electroválvula es de 120V por lo que acoplo un tomacorriente para la

alimentación, el mismo que también servirá para la alimentación de la placa que gestionará las variables del microclima. En la figura 98 se muestra la estructura interna de la caja.

Figura 98
Estructura interna de la caja



Fuente: Autoría

En la parte externa mediante un orificio realizado en el plástico, conectado un adaptador al otro extremo de la electroválvula se encuentra adaptada una llave de paso, la cual permitirá mantener el paso del líquido a la espera de la activación de la electroválvula, y a este componente se encuentra acoplada una manguera la cual va conectada a la llave de agua potable para la provisión de líquido. En la figura 99 se muestra la parte externa de la caja.

Figura 99
Estructura externa de la caja

Fuente: Autoría

4.2 Implementación de compostera y elaboración de compost

Para realizar la elaboración de composta se requiere de un contenedor, en este caso se utiliza un botellón de 20 litros, cantidad suficiente para producir composta para la microfarm del lugar donde se implementa el proyecto. El contenedor debe tener varios orificios en su estructura con el fin de lograr la aireación del compost. En la parte superior debe estar el botellón ahuecado para poder incorporar los residuos y acoplar por este medio los sensores. Este botellón debe ser acoplado a una caja de madera que contenga tierra con el fin de aprovechar tanto los nutrientes solidos como líquidos, objetivo de las composteras de hogar.

En la figura 100, en el literal a se muestra el proceso de preparación del contenedor y en el literal b se verifica el aspecto final del contenedor ya acoplado a la caja de madera.

Figura 100

a) Preparación de contenedor de composta b) Ubicación de contenedor en la caja de tierra

Fuente: Autoría

Para elaborar la composta al ser el contenedor de 20 litros se requiere de un total de 44 libras de contenido, que se dividen en 22 libras de desechos orgánicos y 22 libras de tierra de jardín. La tierra para utilizar no debe ser abonada ni tratada.

Una composta excelente está compuesta por 3 tipos de residuos que son desechos verdes, desechos de fácil descomposición y algún tipo de desecho que aporte alguna vitamina en específico. Para realizar esta composta se estructuro de los siguientes elementos: desecho de cascara de papa los cuales son de fácil y rápida descomposición, cascaras de plátano las cuales aportan potasio y fortalece la formación de flores o frutos, como desecho verde pasto el cual permite la desintoxicación del suelo, por último, toda composta debe tener un elemento que aporte

calcio en este caso se añade cascarás de huevo trituradas. Las 22 libras de desechos orgánicos deben ser cortadas en trozos pequeños para facilitar la descomposición.

En la figura 101 se muestra en el literal a el proceso de corte de los residuos y en el literal b, los desechos listos para realizar el compost.

Figura 101
a) Proceso de preparación de residuos b) Contenedor de residuos listos

Fuente: Autoría

Con los elementos listos se procede a elaborar el compost. Los desechos deben encontrarse completamente mezclados heterogéneamente. Para esto se debe realizar un proceso intercalado de adición de los desechos orgánicos y la tierra en la misma cantidad. La primera capa es de tierra, utilizando un recipiente de medita se añade este elemento al contenedor de la composta, seguidamente con la misma medida se añade una capa de desechos. Cada capa debe encontrarse

dispersa uniformemente en el contender. Este procedimiento se realiza de manera secuencial hasta lograr el llenado del contenedor. En la figura 102 se muestra cómo se conformó el contenedor con las capas alternadas de tierra y desechos orgánicos.

Figura 102
Estructuración de capas de composta en el contenedor

Fuente: Autoría

Por último, la composta dentro del contenedor debe quedar totalmente húmeda debido a que durante 4 días se mantendrá en reposo a temperaturas entre los 55 y 65 grados. En la figura 103, se muestra el proceso.

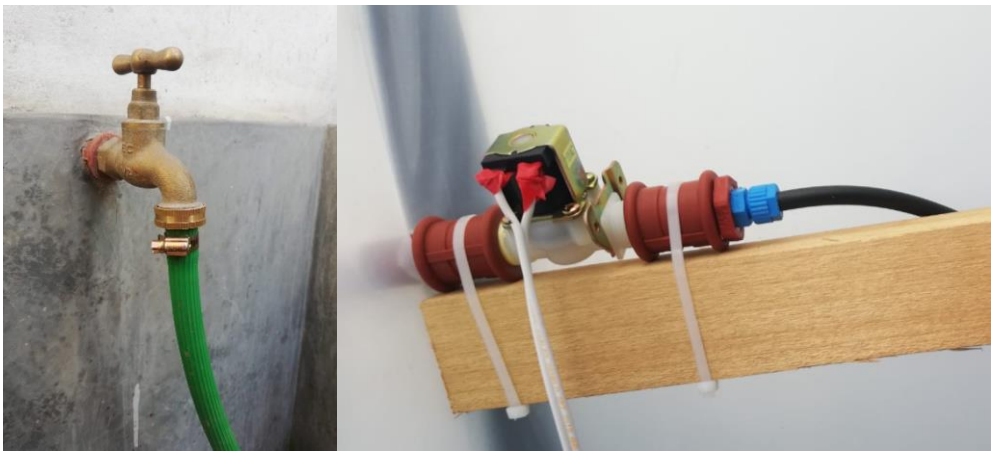
Figura 103
Humectación del contenido de compostera

Fuente: Autoría

4.3 Implementación electrónica

La electroválvula que se presenta en la figura 104, funciona a 110VAC, que se encarga de la automatización de riego del compost cuando este pierda humedad. A esta encaja adaptadores para acoplar las uniones tanto de la conexión de agua a la red pública, como la conexión a la manguera que se conecta al micro aspersor. En la figura 104 en el literal a se muestra la manguera conectada a la toma de agua y en el literal b la conexión a la electroválvula.

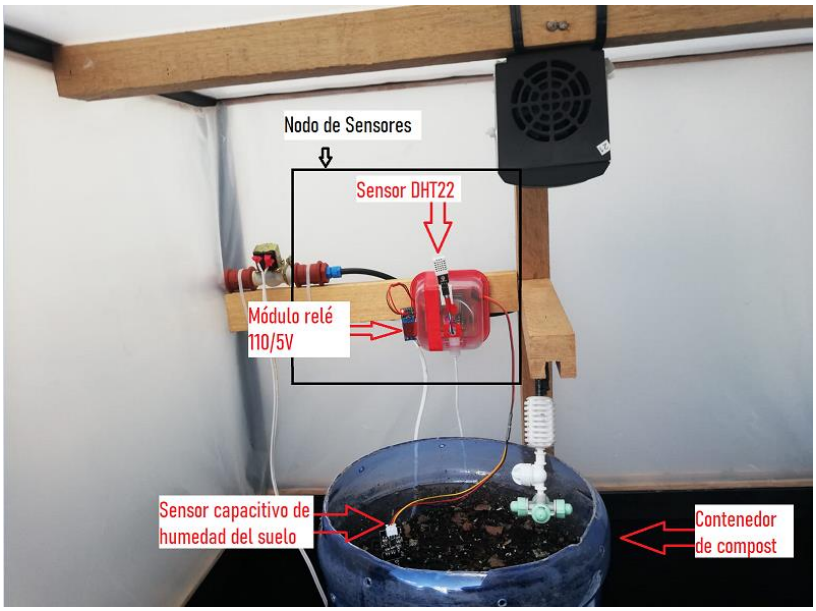
Figura 104
a) Conexión a la toma de agua b) Conexión a la electroválvula



Fuente: Autoría

Para la implementar el nodo de sensores, la placa es acoplada a una caja de protección para evitar el contacto con posibles residuos como son la tierra y sustancias que puedan afectar el funcionamiento. Mediante un acoplamiento con cables de puente de electrónica se realiza una extensión de las entradas de los sensores, y se fijan en el espacio correspondiente de acuerdo con los datos que debe tomar cada sensor, esto se muestra en la figura 105.

Figura 105
Estructuración del nodo sensores



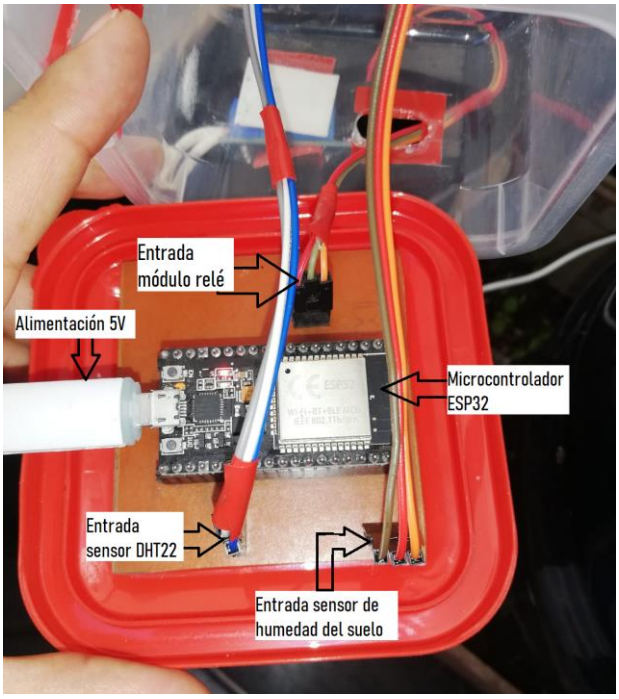
Fuente: Autoría

En la caja de protección se encuentra el circuito impreso que está conformado por los sensores y el microcontrolador para la adquisición de los datos. El acoplamiento de extensión de las entradas de los sensores es realizado para ubicar el sensor capacitivo de humedad del suelo en el contenedor de compost, y el sensor DHT22 hacia el ambiente para que pueda tomar los datos de temperatura ambiente y humedad del ambiente. La figura 106 muestra la placa y los sensores integrados en la caja de protección y la figura 107 muestra la conformación de la placa para la toma de datos.

Figura 106
Placa de sensores integrados en la caja de protección

Fuente: Autoría

Figura 107
Distribución de sensores en la placa



Fuente: Autoría

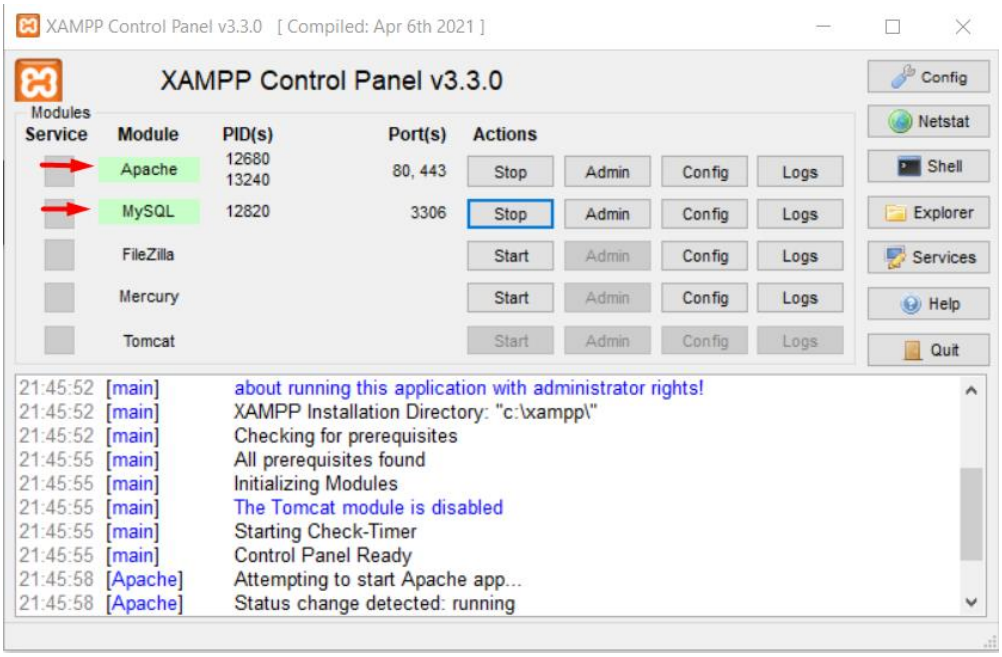
4.4 Comprobación de funcionamiento del nodo del servidor

Las pruebas de funcionamiento de este nodo van enfocadas a las plataformas que se encuentran funcionando en el nodo del servidor, como son la base de datos, y la plataforma de procesamiento de datos.

4.4.1 Base de datos

Mediante el panel de control de XAMPP se verifica que los módulos de Apache y MySQL están inicializados funcionando a través de los puertos 80, 443 y 3306 respectivamente. Este verificador se adjunta en la figura 108.

Figura 108
Inicialización de la base de datos

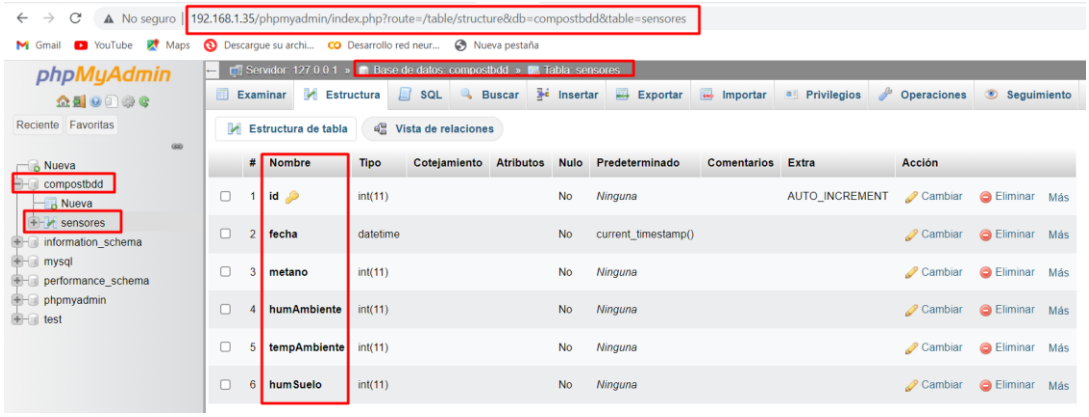


Fuente: Autoría

Para la comprobación del funcionamiento de la base de datos, se muerta en la figura 109, el acceso a la misma mediante la IP del servidor local a la interfaz gráfica. Aquí se logra observar que se puede realizar las modificaciones para crear, o actualizar los valores de las variables que se

ingresan en la tabla creada para los sensores. Esta tabla se encuentra estructurada con un Id de identificación, fecha y variable de cada sensor.

Figura 109
Verificación de funcionamiento de BDD

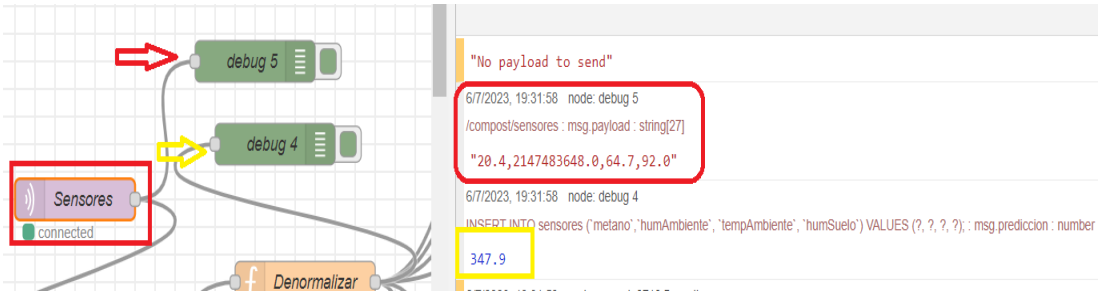


Fuente: Autoría

4.4.2 Software de procesamiento de datos

En Node-Red mediante el nodo debug5 que se encuentra conectado al nodo MQTT IN de sensores se verifica la recepción de datos en el nodo del servidor. El nodo debug 4 permite visualizar los valores de la predicción del metano. Los valores receptados en el nodo del servidor son almacenados en la base de datos respectivamente. En la figura 110 se muestra la recepción de datos.

Figura 110
Verificación de recepción de datos



Fuente: Autoría

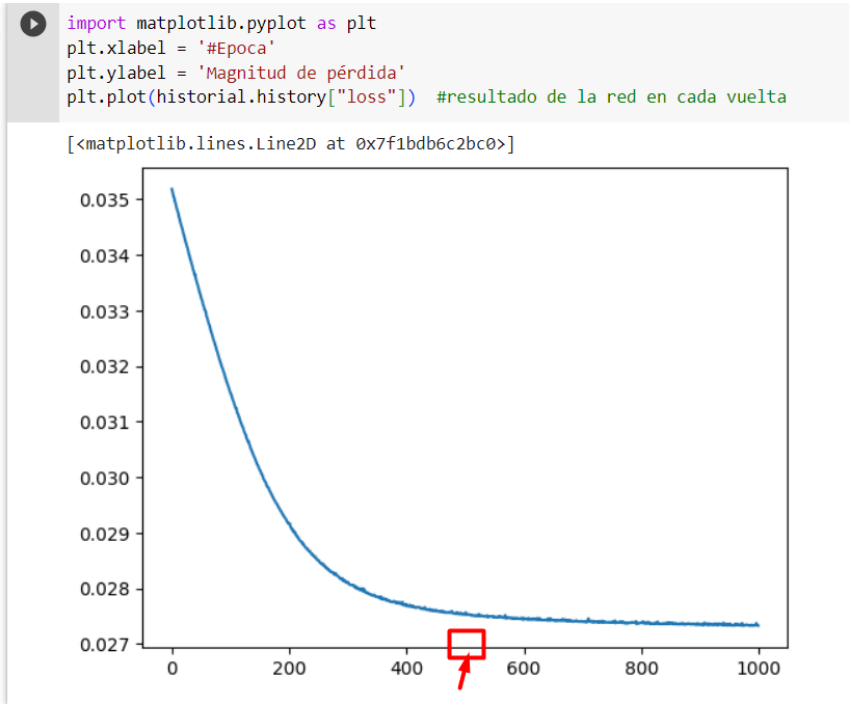
Al comprobar en Node-Red el procesamiento de datos se entiende que existe comunicación entre el nodo del servidor y el nodo del cliente.

4.5 Predicción del parámetro de metano a partir del modelo de red neuronal

En el modelado de la red neuronal al entrenar la misma, se realiza la gráfica de la función de pérdidas que permite comparar el objetivo y los valores de salida previstos. Con esta grafica se logró medir que tan bien modela los datos de entrenamiento la red neuronal, el objetivo principal fue minimizar las pérdidas y mejorar el aprendizaje de esta en cada iteración.

La figura 111 muestra que la magnitud de perdida esta entre los 0,027 y 0,028, este valor se mantiene constante de la iteración 500 de la red neuronal, lo cual da a entender que la red ya no aprende más.

Figura 111
Gráfica de función de pérdidas del modelo de red neuronal

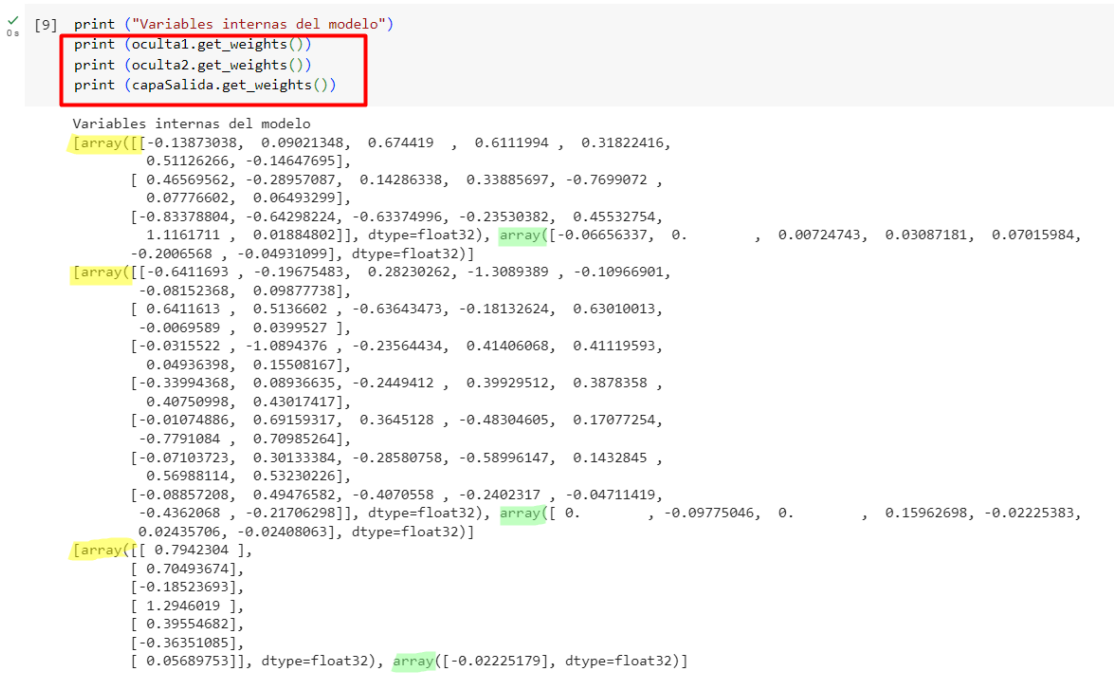


Fuente: Autoría

Con el modelo entrenado se verifican como se encuentran estructurados tanto los pesos como los sesgos de la red en funcionamiento. Esto permite comprender como trabaja cada capa oculta de la misma. Los arrays marcados con amarillo representa los pesos asignados a cada neurona de la capa oculta, y los arráis marcados en verde representan los sesgos del modelo. Con el resultado representado en la figura 112 se logra verificar la mejor combinación que encontró el proceso de optimización de la red neuronal para llegar al resultado de la manera más acertada.

Figura 112

Verificación de pesos y sesgos de la red neuronal



```
[9]  print ("Variables internas del modelo")
     print (oculta1.get_weights())
     print (oculta2.get_weights())
     print (capaSalida.get_weights())

Variables internas del modelo
[array([[-0.13873038,  0.09021348,  0.674419  ,  0.6111994 ,  0.31822416,
          0.51126266, -0.14647695],
        [ 0.46569562, -0.28957087,  0.14286338,  0.33885697, -0.7699072 ,
          0.07776602,  0.06493299],
        [-0.83378804, -0.64298224, -0.63374996, -0.23530382,  0.45532754,
          1.1161711 ,  0.01884802]], dtype=float32), array([-0.06656337,  0.        ,  0.00724743,  0.03087181,  0.07015984,
       -0.2006568 , -0.04931099], dtype=float32)]
[array([[-0.6411693 , -0.19675483,  0.28230262, -1.3089389 , -0.10966901,
         -0.08152368,  0.09877738],
        [ 0.6411613 ,  0.5136602 , -0.63643473, -0.18132624,  0.63010013,
         -0.0069589 ,  0.0399527 ],
        [-0.0315522 , -1.0894376 , -0.23564434,  0.41406068,  0.41119593,
          0.04936398,  0.15508167],
        [-0.33994368,  0.08936635, -0.2449412 ,  0.39929512,  0.3878358 ,
          0.40750998,  0.43017417],
        [-0.01074886,  0.69159317,  0.3645128 , -0.48304605,  0.17077254,
         -0.7791084 ,  0.70985264],
        [-0.07103723,  0.30133384, -0.28580758, -0.58996147,  0.1432845 ,
          0.56988114,  0.53230226],
        [-0.08857208,  0.49476582, -0.4070558 , -0.2402317 , -0.04711419,
         -0.4362068 , -0.21706298]], dtype=float32), array([ 0.        , -0.09775046,  0.        ,  0.15962698, -0.02225383,
        0.02435706, -0.02408063], dtype=float32)]
[array([[ 0.7942304 ],
        [ 0.70493674],
        [-0.18523693],
        [ 1.2946019 ],
        [ 0.39554682],
        [-0.36351085],
        [ 0.05689753]], dtype=float32), array([-0.02225179], dtype=float32)]
```

Fuente: Autoría

Utilizando una prueba de predicción se realiza la prueba del modelo entrenado, en este apartado se ingresan los valores aleatorios a las variables de hs, hs, y temp para obtener el valor resultando de la predicción y verificar el funcionamiento del modelo. En la figura 113 se muestra esta prueba.

Figura 113
Prueba de predicción de datos

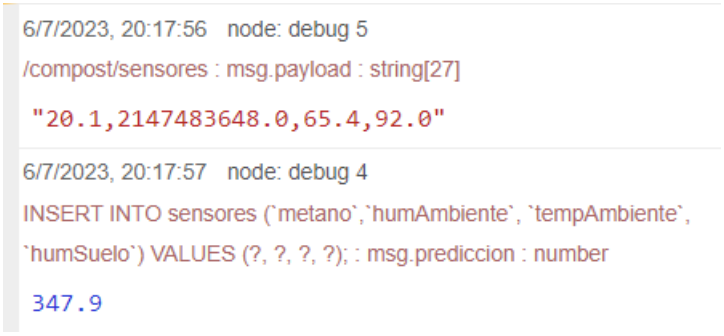
```
[14] new_model = tf.keras.models.load_model('modelo_metano.h5')
     print('TEST PREDICCIÓN')
     ha = 60
     hs = 14
     temp = 21.4

     test = [ha/hamax, temp/tmax, hs/hsmax]
     inputTest = np.array([test], dtype=float)
     resultado = new_model.predict(inputTest)
     print('Resultado: ' + str(resultado*metanoMax))


     TEST PREDICCIÓN
     1/1 [==============================] - 0s 56ms/step
     Resultado: [[603.73535]]
```

Fuente: Autoría

4.5.1 Comparativa datos de entrenamiento y predicción de la red neuronal

Con el modelo en ejecución a través de Node-Red se puede verificar la recepción de datos y la predicción del Metano en base a los datos recibidos, lo cual significa que por cada trama de datos que llega estos son analizados mediante la red neuronal y como resultado se logra obtener el valor de metano. En la figura 114, muestra que los siguientes datos: valor de ambiente es de 20.1, la humedad relativa del ambiente 65,4 y el porcentaje de humedad del suelo es de 92. Por lo que respecto a estos datos la predicción de metano es de 347.9 ppm.

Figura 114
Toma de datos y predicción de metano



Fuente: Autoría

En la tabla 23, evidencia el dato tomado de un extracto de los datos de entrenamiento obtenidos. Se aprecia que existe una similitud con los datos obtenidos en Node-Red lo que da el dato tomado por el sensor MQ2 de 346ppm, esto indica que en valores predictivos la red neuronal no difiere significativamente.

Tabla 23
Extracto de base de datos de entrenamiento

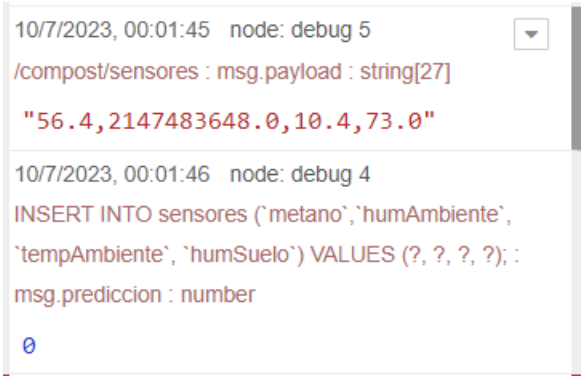
Nro. de dato	metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
576	346	64	20	92

Fuente: Autoría

Se realiza la verificación de recepción de datos en Node-Red, y la predicción del metano, en esta ocasión el análisis está enfocado a los valores en las variables detallados de la siguiente manera: temperatura ambiente 56,4 grados, humedad relativa del ambiente 10,4% y humedad del suelo el 73%, lo cual da una predicción de producción de gas metano de 0ppm. De esta manera

indicando que a mayor de 55° es la temperatura existe ausencia de este gas. Los datos se muestran en la figura 115.

Figura 115
Toma de datos y predicción de metano, temperaturas > a 55°



Fuente: Autoría

En la tabla 24, evidencia el dato tomado de un extracto de los datos de entrenamiento obtenidos. A pesar de los datos no ser los mismos, los valores son los más parecidos para realizar la comparación, se puede apreciar que existe una similitud con los datos obtenidos en Node-Red lo que da el dato tomado por el sensor MQ2 de 2ppm, esto indica que en valores predictivos la red neuronal no difiere significativamente.

Tabla 24
Extracto de base de datos de entrenamiento, temperaturas > a 55°

Nro. de dato	metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
998	2	9	57	73

Fuente: Autoría

4.6 Evaluación de resultados

Los 14 días de recepción de datos permiten el análisis de resultados que existen con los datos tomados en la última elaboración de compost en los cuales el dato de metano no fue tomado por el sensor, sino resultado de la predicción del funcionamiento de la red neuronal

Para elaborar la composta se implementó el método de Berkeley el cual define inducir el compost a temperaturas entre los 55 y 65 grados tratándose así de un compostaje caliente para realizar el proceso aeróbico que mantiene la producción del metano al mínimo durante el tiempo de compostaje. Cabe recalcar que para llevar a cabo este proceso se debe airear el compost y removerlo a partir del 5 día cada dos días con el fin de que los microbios al oxigenar el compost no se activen.

4.6.1 Análisis de datos, temperaturas entre los 55 y 65 grados centígrados

En la tabla 25 que se adjunta, se realiza un análisis de los datos de predicción obtenidos a partir del funcionamiento de la red neuronal. En esta tabla se detalla un análisis enfocado al trabajo del sistema en temperaturas entre los 55 y 65 grados.

Del extracto de la base de datos del sistema en el Anexo 9 una tabla de los valores filtrados para datos de entre los 55 y 65 grados. El análisis correspondiente detalla que en intervalos de valores de porcentaje de humedad ambiente de 16 y 24 con varianza de temperatura entre los 56 y 59 Grados, humedad del suelo entre los valores de 55 y 70 las predicciones de metano representan entre las 10 ppm hasta las 40 ppm, sin embargo, al variar los porcentajes de humedad relativa del ambiente y disminuir el valor de metano es de 0 ppm.

Tabla 25
Tabla de análisis de resultados, temperaturas entre 55 y 65 grados

Términos de análisis			
Temperatura Ambiente	*Porcentaje de Humedad relativa del ambiente*	*Porcentaje de Humedad del suelo*	*Datos de predicción de red neuronal*
56° - 59°C	12% - 24%	55%-70%	10 ppm – 40 ppm
59° - 63°C	9% - 10%		0 ppm
	45% - 46%		99 ppm -189 ppm

Fuente: Autoría

Si bien se sabe que el metano es uno de los gases de efecto invernadero para el cual una de las causas de producción es el compostaje inadecuado y la descomposición de residuos sin supervisión y sin ningún fin. Este no define una cantidad especifica o adecuada para determinar su factibilidad, puesto que a la final sigue siendo un dañino para el medio ambiente. Sin embargo, de acuerdo con los datos Global Monitoring Laboratory en la actualidad la tendencia a largo plazo de este año 2023 actualizado en el mes de marzo es de 1920,74 ppb.

Si el método de compostaje está orientado a evitar la producción del metano o disminuir la producción de este, y 10000 ppm representa el 1%, da como referencia que mediante este proyecto al elaborar compost a temperaturas entre 55 y 65 gados representaría 0,000189% de la contaminación ambiental, dato mínimamente reducido conforme lo que se evalúa anualmente en la institución Global Monitoring Laboratory.

4.6.2 Análisis de datos, temperaturas entre los 19 y 53 grados centígrados.

En la tabla 25 que se adjunta, se realiza un análisis de los datos de predicción obtenidos a partir del funcionamiento de la red neuronal, se detalla un análisis enfocado al trabajo del sistema en temperaturas bajo los 53 grados, este análisis es importante con el fin de verificar si la descomposición de residuos a temperaturas menores que 55 producen mayor producción de metano.

Del extracto de la base de datos del sistema en el Anexo 10 se adjunta una tabla de los valores filtrados para datos que tienen menos de 53 grados. El análisis de estos datos detalla que en intervalos de valores de porcentaje de humedad ambiente de 56 y 72 con varianza de temperatura entre los 19 y 26 Grados, humedad del suelo entre los valores de porcentaje de 80 y 90 las predicciones de metano representan una variación de 239 ppm a 348 ppm. Otro escenario verificado en estos datos es la varianza de los porcentajes de humedad relativa entre 24 y 32, a temperaturas de 41 a 48 grados emite una predicción de metano de 50 ppm a 169 ppm.

Tabla 26
Tabla de análisis de resultados, temperaturas entre 19 y 53 grados

Términos de análisis			
Temperatura Ambiente	*Porcentaje de Humedad relativa del ambiente*	*Porcentaje de Humedad del suelo*	*Datos de predicción de red neuronal*
19° - 26°C	56% - 72%	80%-90%	239 ppm – 348 ppm
41° - 48°C	24% - 32%		50 ppm – 169ppm

Fuente: Autoría

Al exponer el compost a diferentes temperaturas, bajo los 55 grados centígrados, se puede apreciar que respectivamente existe varianza de los datos de la humedad relativa del ambiente, mas no del porcentaje de humedad del suelo. Con este análisis se ha comprobado que, a temperaturas menores de 55 grados, específicamente menores de 48 existe mayor producción de gas metano en el ambiente. Mientras la temperatura se mantenga más baja mayor esfuerzo se causará en la descomposición de residuos y por ende mayor será la producción de este gas de efecto invernadero.

4.6.3 Verificación de funcionamiento del nodo de notificación

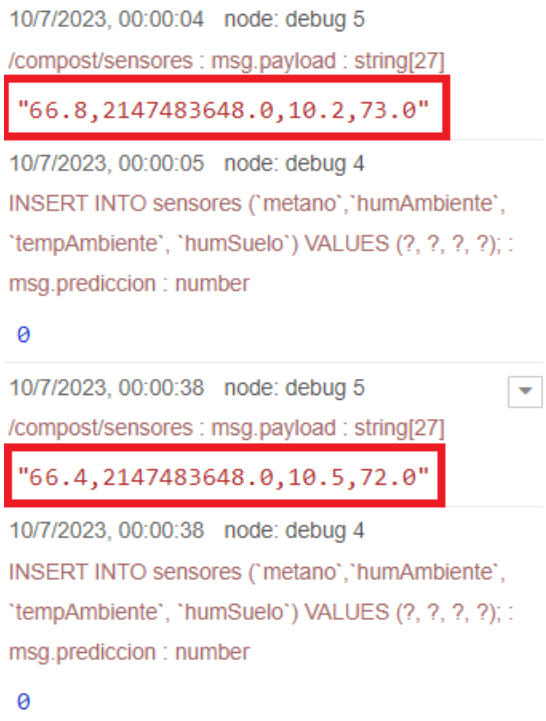
En la figura 116 se logra apreciar en la ventana de debug de Node red que, en cada recepción de datos, el nodo de notificación por correo al no cumplir con el exceso de temperatura pasados los 65° indica un mensaje que no hay envío de payload al correo.

Figura 116
Verificación de no envío de notificación al correo, temperaturas > a 65°

Fuente: Autoría

Al lograr sobrepasar los 65° en la recepción de datos se puede apreciar que el mensaje de no envío de payload ya no es emito, por lo que se puede revisar las notificaciones de alerta en el correo. Los valores de temperatura y demás se muestran en la figura 117.

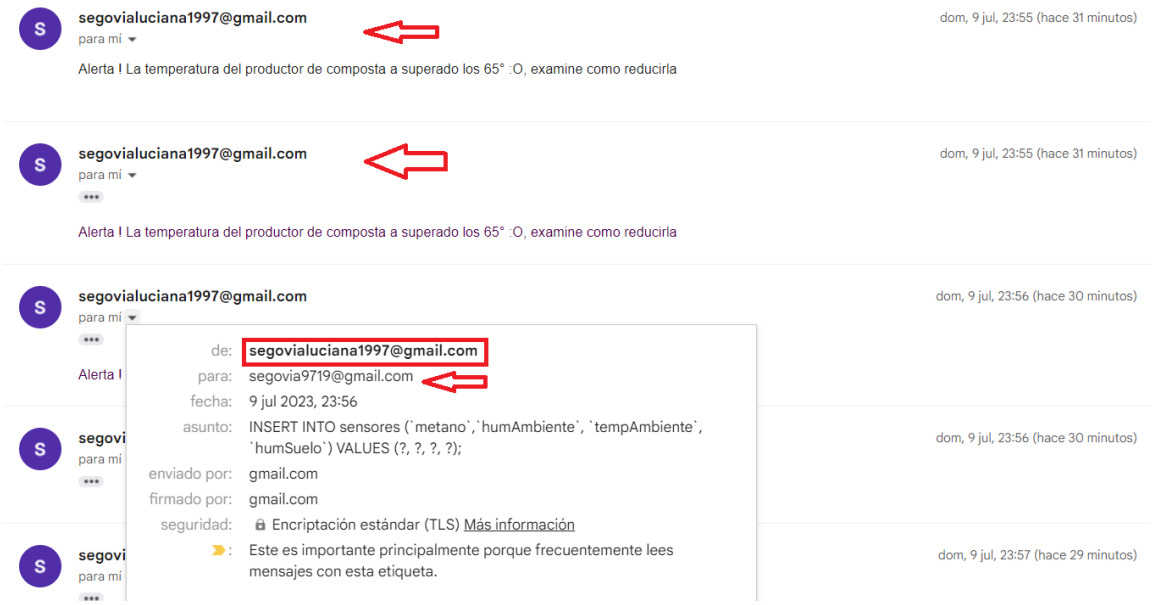
Figura 117
Recepción de valores, temperaturas > a 65°



Fuente: Autoría

En la bandeja de correo se puede verificar la notificación con el mensaje de alerta que indica que la temperatura ha sobrepasado los 65° y que debe ser reducida, como se observa las notificaciones llegan constantemente hasta que la temperatura ambiente disminuya a menos de los 65°. En el detalle se puede verificar el destinatario y el usuario origen a partir del cual se envía el correo de notificación. Esto se muestra en la figura 118.

Figura 118
Verificación de notificaciones de correo de alerta



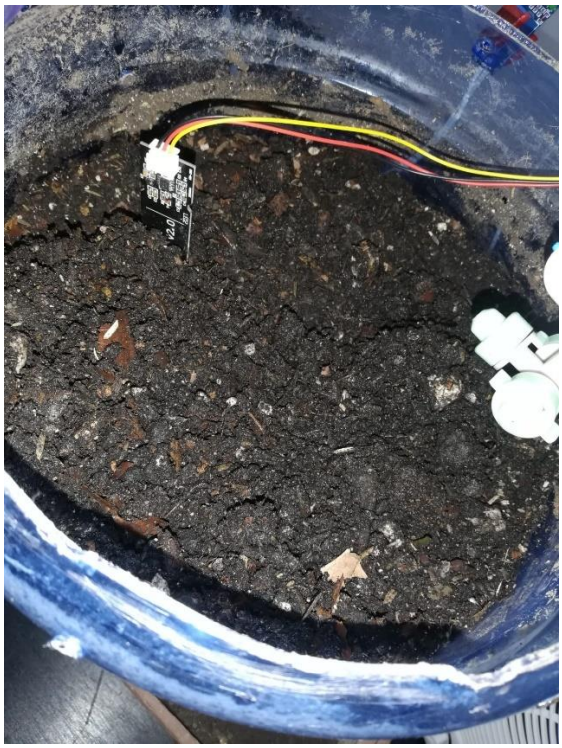
Fuente: Autoría

4.6.4 Análisis de la composta

A partir de las características del método de Berkeley una de estas especifica que el compostaje caliente al terminar su proceso produce compost de alta calidad. Para verificar que el compost realizado se encuentra listo para usar este debe contar con las siguientes características, para cada apartado se adjunta la imagen de verificación:

- El material del compost debe ser de color café oscuro, véase figura 119

Figura 119
Verificación de color de compost



Fuente: Autoría

- No debe tener ningún aroma
- Debe compactarse con facilidad al tacto, sin desmenuzarse esto se muestra en la figura 120.

Figura 120

a) Composta antes de ser compactada b) Composta compactada

Fuente: Autoría

- No deben reconocerse los componentes originales, debido a que deben encontrarse totalmente descompuestos, verificación en la figura 121.

Figura 121

Verificación de ausencia de componentes originales

Fuente Autoría

- En el caso de reconocer en la superficie coloración blanquecina o grisácea significa que el compost ha llega a su fase de maduración por lo que está listo para ser implementado. Verificación en la figura 122.

Figura 122
Verificación de fase de maduración

Fuente: Autoría

El método de Berkeley también establece que, al realizar la composta caliente el volumen de esta no reduce en gran cantidad y se produce composta fina, con diferencia a la composta fría que por lo general se reduce a más de la mitad y la composta es granulosa.

Para esta comprobación se muestra en la figura 123, el contenedor de composta en la cual ya no se logra diferencias las capas divididas de residuos y tierra, y se observa una estructura homogénea del contenido, además de que la reducción de esta representa una cuarta parte del total del contenido, quedando como resultado final ¾ partes para uso de la microfarm.

Figura 123
Verificación de cantidad de contenido luego del compostaje

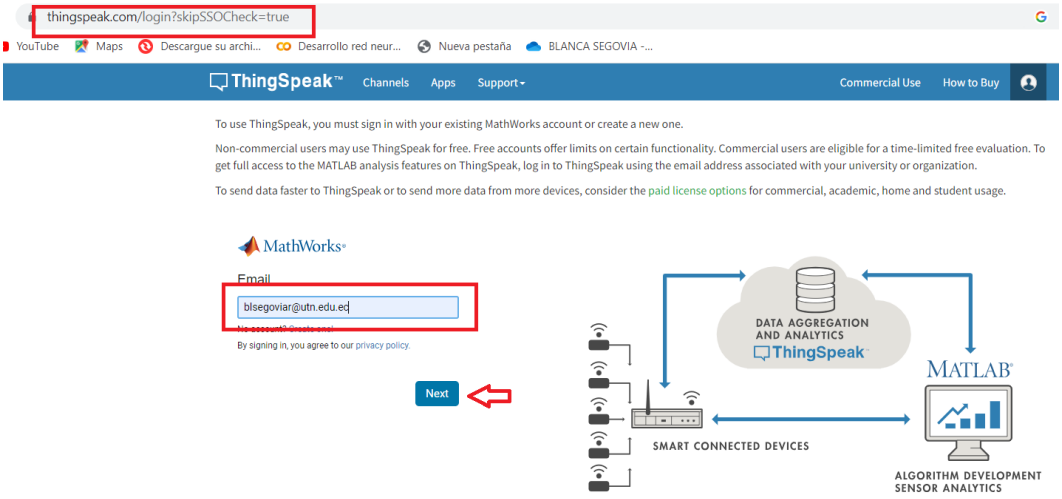
Fuente: Autoría

4.7 Comprobación del funcionamiento del Canal de la plataforma ThingSpeak

Utilizando el acceso a la cuenta de thinkspeak, mediante la página thingspeak.com realizar clic en el apartado de login para iniciar sesión con las credenciales, ingresar el correo con el que se encuentra registrada la cuenta en el apartado de E-mail, y realizar clic en Next como se muestra en la figura 124.

Figura 124

Ingreso de correo para logueo en la plataforma ThinSpeak

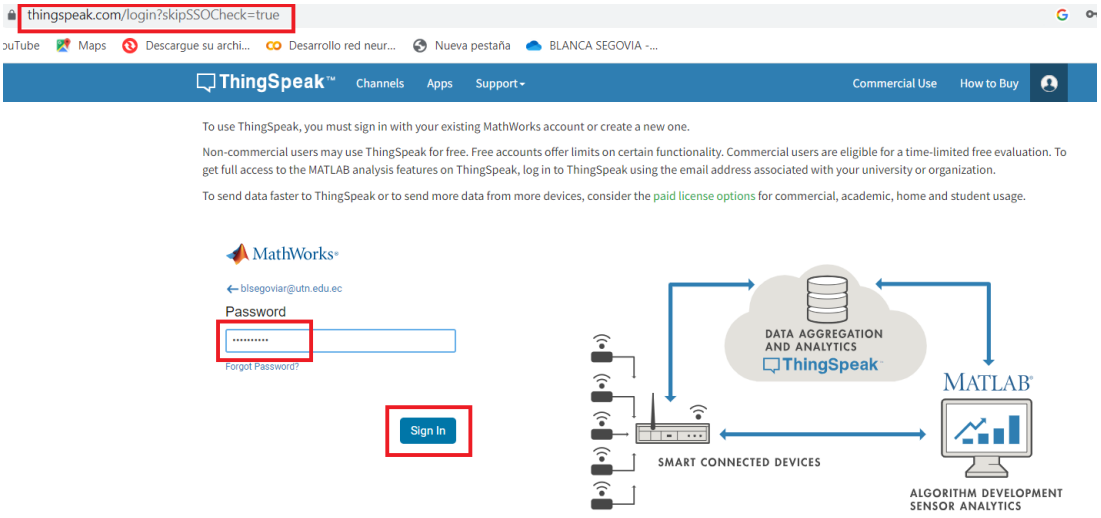


Fuente: Autoría

Posterior ingresar la contraseña en el apartado de Password y realizar clic en Sign In, como se muestra en la figura 125.

Figura 125

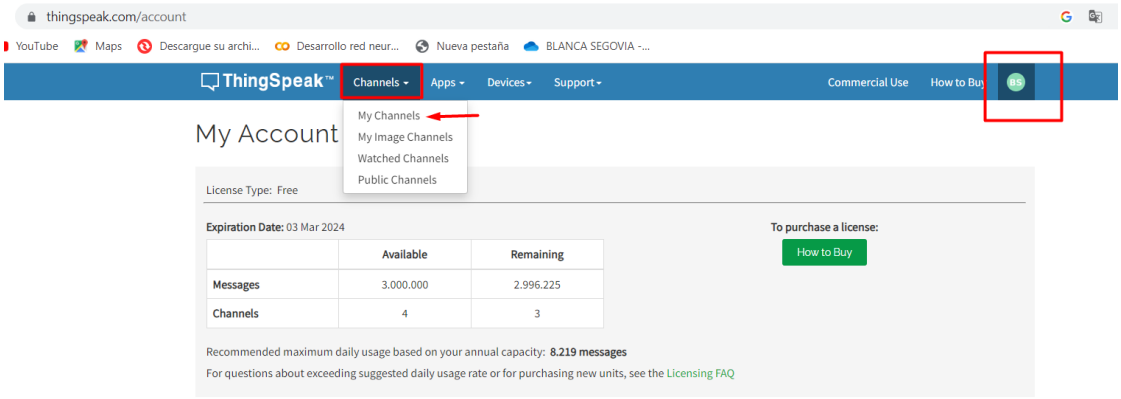
Muestra de ingreso de contraseña para inicializar el login



Fuente: Autoría

Al ingresar en el perfil de la cuenta, realizar clic en la sección Channels y elegir la opción My Channels, este proceso se muestra en la figura 126.

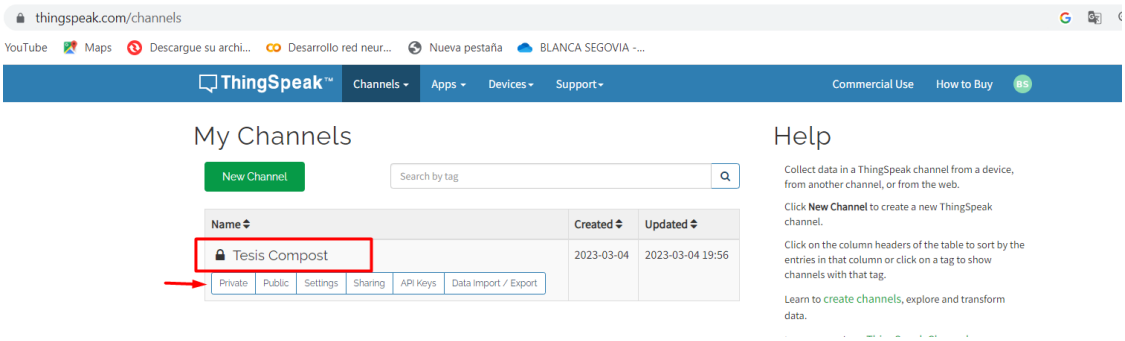
Figura 126
Ingreso a los canales del perfil



Fuente: Autoría

Al ingresar se debe elegir el nombre del canal que se desea observar con un clic, en este caso el canal para el proyecto tiene como nombre ***"Tesis Compost"***, estos canales pueden ser privados o públicos de acuerdo con las configuraciones del usuario, esto se muestra en la figura 127.

Figura 127
Selección de channel del proyecto

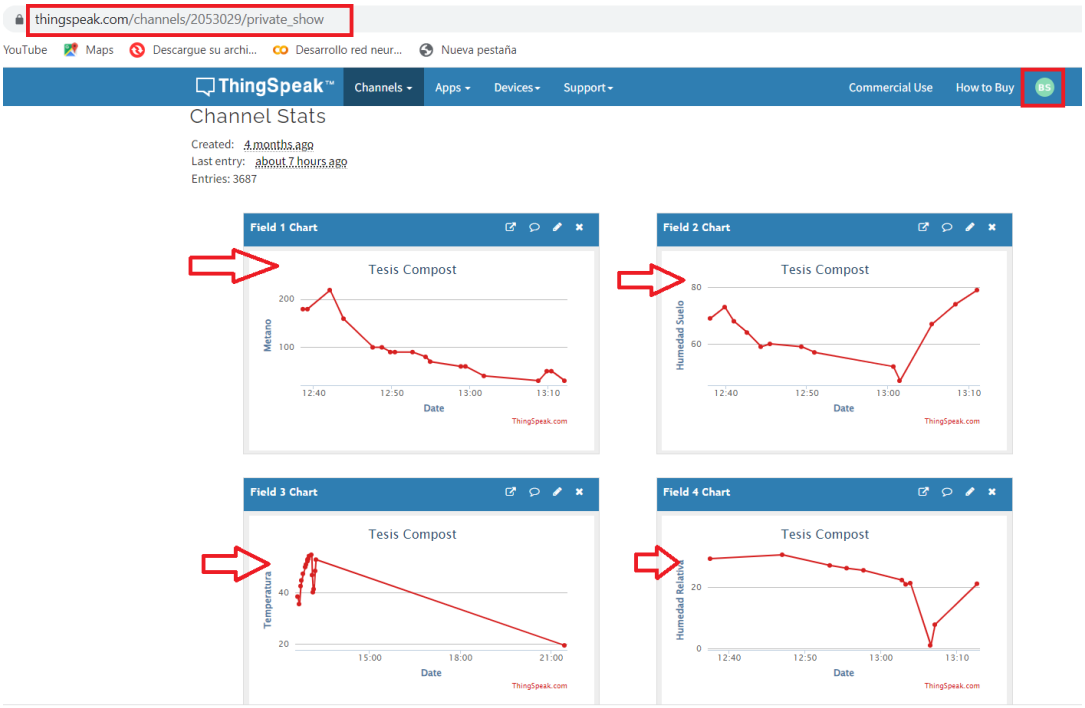


Fuente: autoría

Mediante el channel creado para la recepción y visualización de datos se logra observar la predicción de metano, y datos de los valores tomados por los sensores, en la sección privada del channel se verifica la gráfica de cada uno de los campos que se detalla conforme a la hora, en las variables definidas para cada valor. Mediante este apartado se logra visualizar la recepción de datos en tiempo real. En la figura 128 se muestra la recepción y verificación de datos en tiempo real a través de una cuenta de thingspeak.

Figura 128

Monitoreo de los valores en el channel de thingspeak

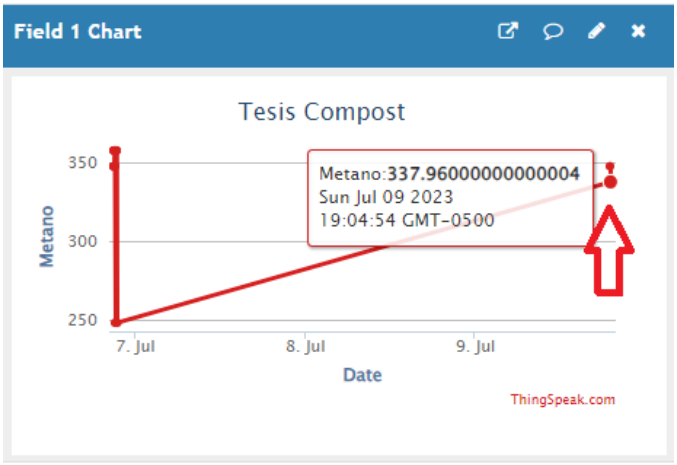


Fuente: Autoría

Se puede apreciar, en la gráfica de Metano al ubicar el cursor en uno de los puntos, se observa el valor de predicción de datos en 337 ppm, y detalla la fecha y hora del dato elegido. En la gráfica se puede observar también en el eje de las y los valores entre los cuales está variando esta predicción que es entre los 250 ppm y 350 ppm, esto se muestra en la figura 129.

Figura 129

Análisis de la gráfica del valor de metano en la plataforma ThingSpeak.

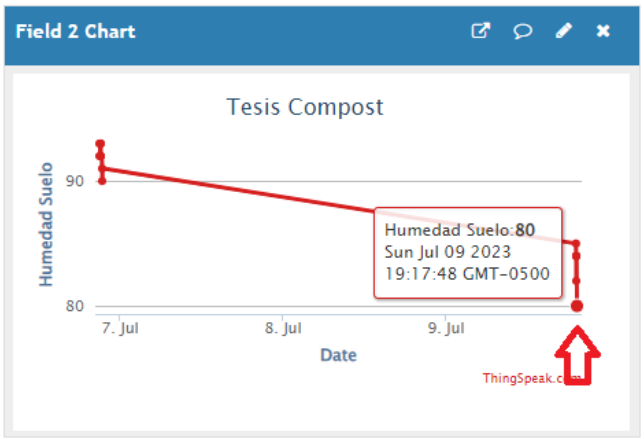


Fuente: Autoría

En la gráfica de humedad del suelo al ubicar el cursor en uno de los puntos, se observa el valor tomado por el sensor que es 80 por ciento de humedad, y detalla la fecha y hora del dato elegido. En la gráfica se puede observar también en el eje de las y los valores entre los cuales está variando este dato que es entre el 80% y 90%, respectivamente a las fechas en el eje de las x, esto se muestra en la figura 130.

Figura 130

Análisis de la gráfica del valor del sensor de humedad del suelo en la plataforma ThingSpeak.

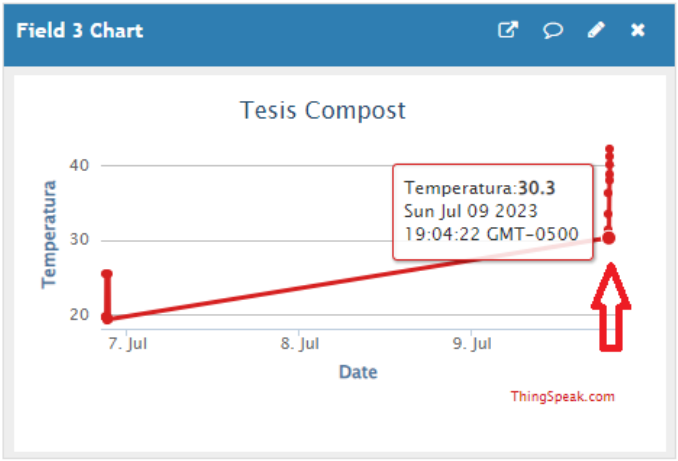


Fuente: Autoría

El análisis de la gráfica de Temperatura se da al ubicar el cursor en uno de los puntos en el que se observa el valor tomado por el sensor en ese momento de 30.3 grados centígrados, y detalla la fecha y hora del dato elegido. En la gráfica se puede observar también en el eje de las y los valores entre los cuales varia este dato que es entre los 20 y 40 grados, respectivamente a las fechas en el eje de las x, esto se muestra en la figura 131.

Figura 131

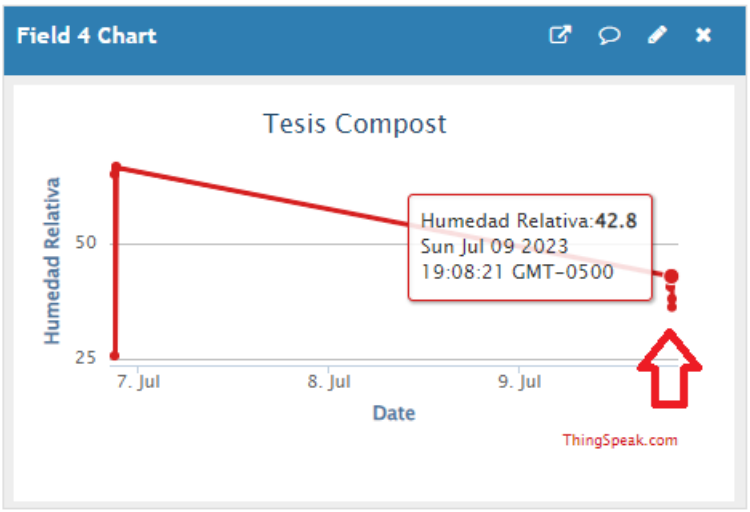
Análisis de la gráfica del valor del sensor de DHT22 – datos de temperatura ambiente en la plataforma ThingSpeak.



Fuente: Autoría

En la gráfica de humedad relativa del ambiente al ubicar el cursor en uno de los puntos, se observa el valor tomado por el sensor que es 42.8 por ciento de humedad relativa del ambiente, y detalla la fecha y hora del dato elegidos se observa que los valores entre los cuales está varia este dato son entre el 25% y 50%, respectivamente a las fechas en el eje de las x, esto se muestra en la figura 132.

Figura 132
Análisis de la gráfica del valor del sensor de DHT22 – dato de humedad relativa del ambiente en la plataforma ThingSpeak.



Fuente: Autoría

4.8 Costo del sistema

A continuación, se realiza el detalle y descripción de los costos realizados para el desarrollo del presente proyecto. Este apartado detalla el costo de cada componente tanto de infraestructura, hardware, software y el trabajo de investigación y de ingeniería elaborado.

4.8.1 Costo de hardware

En este apartado se detalla la unidad y costo de cada uno de los componentes de hardware implementados tanto para el nodo de sensores y el nodo central. Los costos que se presentan en la tabla 27 se basan en una cotización realizada en Electronics S.A.

Tabla 27
Tabla de costos de hardware implementado

Componentes	Unidades	Precio Unidad	Precio Total
MCU ESP 32	1	12,00	12,00

Sensor MQ2	1	5,00	5,00
Sensor DHT22	1	12,50	12,50
Sensor capacitivo de humedad del suelo	1	4,50	4,50
Modulo relé	1	2,50	2,50
Electroválvula solenoide de ½ “	1	11,90	11,90
Calefactor eléctrico	1	15,00	15,00
Ordenador DELL Inspiron 1558	1	450,00	450,00
Componentes electrónicos varios	1	25,00	25,00
TOTAL			538,40

Fuente: Autoría

4.8.2 Costo de Software

En la tabla 28, se especifica los costos de los softwares utilizados para la implementación y desarrollo de este proyecto, al ser todos los softwares de código abierto el valor es de 0.00 USD por el uso.

Tabla 28
Tabla de costos de software

Softwares	**Unidades**	**Precio Unidad**	**Precio Total**
IDE Arduino	1	0	0
Fritzing	1	0	0
Node-Red	1	0	0
Goooglecolab	1	0	0
MariaDB	1	0	0

ThingSpeak	1	0	0
TOTAL			0

Fuente: Autoría

4.8.3 Costo de la infraestructura del sistema

En este apartado se especifica y detalla los componentes implementados para la infraestructura para el desarrollo de este proyecto del sistema para la elaboración del compost, véase en la tabla 29.

Tabla 29
Tabla de costos de infraestructura

Componentes	Unidades	Precio Unidad	Precio Total
Estructura de jaja de madera 1m cúbico	1	35,00	35,00
Botellón de 20 Lts	1	7,00	7,00
Manguera de ½ “ (2,80 m)	1	1,80	1,80
Micro aspersor	1	5,50	5,50
Manguera de 1/8” (2m)	1	0,50	0,50
Adaptador de 1/8”	1	0,90	0,90
Caja de Protección	1	0,75	0,75
Toma corriente cooper	1	2,90	2,90
Cable gemelo #14 (2m)	1	1,20	1,20
Enchufe polarizado	1	1,00	1,00
Costaneras acanaladas	5	0,50	2,50

Plástico de invernadero Agro Clear transparente (4m)	1	3,00	12,00
Válvula de media vuelta ½”	1	3,50	3,50
Adaptador flex ½”	1	0,60	0,60
Mano de obra artesano	1	35,00	35,00
Componentes eléctricos varios y extras	1	35,00	35,00
TOTAL			145,15

Fuente: autoría

4.8.4 Costo de Ingeniería

Para establecer el costo de ingeniería se considera el tiempo de investigación invertido tanto en el tema como en la implementación y desarrollo de este proyecto. Es importante destacar que para elaborar este sistema se llevó a cabo una investigación exhaustiva de los sistemas microfarms, la producción de compost y sus métodos además del funcionamiento y estructuración de redes neuronales de aprendizaje profundo para lograr mayor precisión y al finalizar lograr el objetivo propuesto. En la tabla 30 se detallan los costos.

Tabla 30
Tabla de costos de ingeniería

Actividades de Investigación	Unidades	Precio Unidad	Precio Total
Investigación de procesos de compostaje, métodos y tipos	1	100,00	100,00
Elaboración y mantenimiento del compost	1	30,00	30,00

Diseño de red neuronal, y del sistema, implementación del proyecto.	1	500,00	500,00
Documentación de resultados	1	20,00	20,00
TOTAL			650,00

Fuente: Autoría

4.8.5 Costo Total

En la tabla 31, se muestra el total de los costos realizados para este proyecto donde se especifica la sumatoria de los que se especificaron con anterioridad.

Tabla 31
Sumatoria total del costo del proyecto

Descripción	**Precio Total**
Costos de hardware	538,40
Costos de Software	0,00
Costos de Infraestructura	145,15
Costos de Ingeniería	650,00
TOTAL	1.333,55

Fuente: Autoría

En la tabla 31 se observa que el costo total de implementación de este sistema para elaboración de compost es de 1.333,55 USD, el costo elevado se debe al costo de ingeniería en donde se ha realizado trabajo de investigación de acuerdo con los temas de implementación, las horas de construcción y diseño del proyecto son también consideradas dentro de este parámetro. Por lo que sin contar con este costo el total del proyecto sería de 683.55, proyecto que puede ser

llevado a un sector comercial en el que se pueda desarrollar el compost a mayor escala, que a largo plazo se obtendría un valor de retorno considerable para la inversión y ganancia.

4.9 Beneficios de la implementación del sistema

A continuación, se detallan algunos de los beneficios alcanzados con la implementación de este sistema de elaboración de compost mediante el monitoreo de variables de humedad del suelo y microclima bajo la aplicación de compostaje del método de Berkeley.

- El beneficio principal es la producción de compost idóneo para los sistemas microfarms, o en este caso los huertos urbanos de los hogares utilizando materia orgánica sin necesidad de aplicativos como químicos para lograr un compost nutritivo.
- Mediante la aplicación del método de Berkeley el cual es un método de compostaje caliente se obtiene el beneficio al evitar la producción de gases de efecto invernadero como son el metano, mismo gas que se produce al descomponerse los residuos sin utilizar un método adecuado
- Al utilizar el tipo de composteras de hogar como se estructuro en esta investigación permite al usuario aprovechar los nutrientes solidos que son el compost producido y los nutrientes solidos que bajan a la tierra, lo cual fertiliza la tierra y la hace nutritiva y adecuada para sembrar.
- Al utilizar métodos de compostaje caliente permite beneficiar en la producción de compost al realizarse el proceso aerobio y airear el contenido liberarse de patógenos y bacterias que al final producen los gases de efecto invernadero, contrario a la elaboración de compost común que el proceso es anaeróbico y existe producción de gases de efecto invernadero.

- Con el proceso de compostaje caliente el contenido no se reduce a más de la mitad, sino al contrario disminuye en un 10 o 5 por ciento del total del contenido.
- Al implementar este sistema el usuario puede llevar a cabo el monitoreo en tiempo real de las variables de humedad y microclima logrando verificar la producción del valor de gas metano para evitarlo y prevenir el incremento del efecto invernadero.
- Con la implementación de este sistema, gracias a la precisión de la red neuronal el usuario verificará los valores de gas metano con una predicción acertada sin la necesidad de incrementar otro sensor de monitoreo.

CONCLUSIONES

Se implemento este sistema mediante el modelado de una red neuronal a partir de los datos de entrenamiento y permitió llevar a cabo un control y monitoreo en tiempo real de las variables de los sensores que finalmente fueron implementados después del desarrollo experimental que son el sensor de humedad del suelo y el DHT22

Se obtuvo como resultado a partir de la toma de valores de los sensores la predicción del valor de gas metano, el cual permitió el análisis de la elaboración de compost utilizando el método de compostaje Berkeley comprobando que si disminuye la producción del gas metano. Al inducir el compost a temperaturas entre los 55 y 65 grados, se ha demostrado que los valores de ppm varían en un mínimo de 0 ppm a 189 ppm, representando el 0,000189 % por cada 10000 ppm de este gas lo cual indica un mínimo porcentaje de afección y aporte a los gases de efecto invernadero.

Se consiguió receptar los datos y acoplarlos mediante la normalización de datos en el modelado de red neuronal utilizando Node-Red y el protocolo MQTT, esto permitió trabajar con una escala común y evitar la pérdida de información logrando mayor precisión en la predicción del valor de gas metano, y a la par la gestión de los valores de temperatura ambiente, porcentaje de humedad del suelo y porcentaje de humedad relativa del ambiente.

Se logro tener mayor precisión en los resultados requeridos gracias a que las redes neuronales están orientadas al aprendizaje automático, por lo que se proporcionó una tabla de valores de entradas (temperatura ambiente, humedad del suelo, humedad relativa del ambiente) y salidas (valor de metano) para que, mediante la red neuronal permita ajustar automáticamente los pesos y sesgos y así el algoritmo logre aprender por sí solo y termine por realizar las predicciones acertadas a partir de los datos que se obtienen a través de los sensores. Esto gracias a la elección del modelado de una red neuronal densa que hace un énfasis en la interconexión de cada neurona

con todas las posibilidades de neuronas de la siguiente capa lo cual permite tener mayor exactitud en los resultados.

Se realizó el monitoreo y gestión de los valores tomados por los sensores mediante una cuenta de thingspeak, esto permite llevar a cabo una verificación de los datos en tiempo real a través de las gráficas basadas en las unidades de variables y el dato del momento en que se registra. Mismos valores que también son almacenados en una base de datos en el caso de que se requiera llevar a cabo una verificación profunda de cada variable.

Con la implementación el algoritmo de red neuronal se obtuvo las predicciones de gas metano en unidades de ppm, a partir de los valores de la lectura de datos de los sensores. Al realizar la validación de datos se observó que al disminuir la temperatura los valores de porcentaje de la humedad relativa del ambiente se elevan, esto produciendo un incremento en la producción de gas metano lo cual determinaría que una de las variables más importantes a controlar y monitorear sería el porcentaje de humedad relativa del ambiente.

En el análisis de datos, la varianza del gas metano se efectúa desde las 0ppm hasta 348 ppm, lo cual indica que esto representa el 0,000348% de producción del gas metano para efecto invernadero del funcionamiento global del sistema expuesto a diferentes escenarios.

La grafica de la función de perdida, permitió el evalúo del funcionamiento de la red neuronal, esta grafica es una de las más importantes para dar veracidad a un modelo de red neuronal. A través de este grafico se observó que poca cantidad de errores grandes es peor que una gran cantidad de errores pequeños para lo cual al obtener el resultado da a conocer que tan mal están los resultados de la red en cada vuelta que dio, observando que en la vuelta número 500 el

valor de perdida es mínimo y se mantiene en las siguientes vueltas así demostrando que la red ya ha dejado de aprender.

Al verificar el compost producido, en base a las características definidas para un compost idóneo se ha observado que con cada una de las características planteadas se concordó satisfactoriamente, como parte importante de este proyecto es evitar el efecto invernadero lo cual en el análisis de datos se observó que al producir compost a temperaturas entre los 55 y 65 grados aplicando el método de Berkeley la emisión de gas metano es 0 al lograr porcentajes de humedad ambiente menores al 11%, por lo que el método de compostaje si permite evitar la producción de gases de efecto invernadero y producir compost de calidad.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que el ambiente en donde se realiza el compost, o la estructura se encuentre forrada con plástico de invernadero con el fin de mantener la concentración de la temperatura interna y mejorar el proceso de compostaje caliente.

La estructura en donde se encuentra alojado el contenedor también puede ser pintada de color negro para permitir mejorar la receptividad y absorción del calor para elevar las temperaturas internas.

Previo a la instalación del prototipo se debe realizar una prueba de operatividad completa, en la que se debe verificar que el nodo central y el nodo se los sensores estén funcionando correctamente para así lograr obtener los datos del gas metano con mayor precisión.

Para la elaboración de compost se recomienda utilizar solo 3 tipos de desechos, para al finalizar aportar nutrientes individualizados y obtener un compost equilibrado e idóneo para la aplicación a las microfarms

Es recomendable utilizar el tipo de compostera de hogar como se realizó en este proyecto la estructura que es bajo el contenedor de compostaje una caja de tierra, con el fin de aprovechar los nutrientes líquidos que bajan de los residuos descompuestos y los nutrientes solidos que en este caso es el compost y así fertilizar la tierra con los dos componentes.

Al realizar el entrenamiento de redes neuronales se recomienda iniciar el procesamiento con un numero de vueltas mínimo y dependiendo de los resultados ir incrementando de acuerdo con lo necesitado, para así evitar costos computacionales y lograr el valor de perdida mínimo.

Para la presentación de datos es recomendable hacer uso de las aplicaciones de código abierto que permitan la conexión con el software de procesamiento de datos, para mayor facilidad al monitoreo y acceso desde cualquier lugar vía conexión inalámbrica.

BIBLIOGRAFÍA

ABCelectronica.net. (2020). *PDF DHT22 Data sheet (Hoja de datos).* Datasheet.es. http://www.datasheet.es/PDF/792209/DHT22-pdf.html#google_vignette

Agencia EFE. (2019, marzo 29). Ecuador es un territorio vulnerable frente a los gases de efecto invernadero. *EL COMERCIO*. https://www.elcomercio.com/tendencias/ecuador-territorio-vulnerable-gases-contaminacion.html#:

Alvarado, A. (2020, julio 21). Desde el inicio del confinamiento, en marzo, creció el interés por los huertos. *EL COMERCIO*. https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/confinamiento-marzo-crecio-interes-huerto.html

Anders, B. (2022). *Greenhouse Effect*. National Geographic. https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/greenhouse-effect/

Anton, A. (Abril de. (2023, abril). *Los 13 mejores software de base de datos de código abierto para su próximo proyecto*. GEEKFLARE. https://geekflare.com/es/open-source-database/

Campitelli, P., Ceppi, S., Velasco, M., & Rubenacker, A. (2014). Compostaje. En Editorial Brujas (Ed.), *Obtención de abonos de calidad para las plantas.* (p. 22).

Castillo, D. (2022, enero 4). *Neural Network Models Explained*. SELDOM. https://www.seldon.io/neural-network-models-explained

Chen, J. (2022, septiembre 21). *What Is a Neural Network?* Investopedia. https://www.investopedia.com/terms/n/neuralnetwork.asp

Climate & Clean Air Coalition. (2021). *Hydrofluorocarbons (HFCs)*. Climate & Clean Air Coalition. https://www.ccacoalition.org/en/slcps/hydrofluorocarbons-hfcs

Collins, P. (2022, marzo 17). *Greenhouse effect: Causes and consequences on the climate*. Selectra; Greenhouse effect: Causes and consequences on the climate. Climate Consulting. https://climate.selectra.com/en/environment/greenhouse-effect

Components 101. (2018, enero 4). *MQ2 Gas Sensor*. Components 101. https://components101.com/sensors/mq2-gas-sensor

Compost Segriá. (2022). *Stages of Composting*. Compost Segriá. https://compostsegria.com/en/all-about-compost/stages-of-composting/

Computer Hope. (2021, marzo 3). *Programming Language*. Computer Hope. https://www.computerhope.com/jargon/p/programming-language.htm#types

Corrosionpedia. (2020, febrero 14). *What Does Soil Moisture Mean?* Corrosionpedia. https://www.corrosionpedia.com/definition/6959/soil-moisture

Curtis, K. (2019). *The Microfarm Project*. The Ohio State University. https://osumarion.osu.edu/outreach/educational-partnerships/microfarm

Daniel, B. (2021, julio 22). *What Are Embedded Systems?* Trenton Systems. https://www.trentonsystems.com/blog/what-are-embedded-systems

Deep Green Permaculture. (2010, agosto 5). *How to Make Compost in 18 Days Using the Berkeley Hot Composting Method*. Deep Green Permaculture. https://deepgreenpermaculture.com/2010/05/08/hot-compost-composting-in-18-days/

Dell. (2019a). *Inspiron 15 5558 Especificaciones* . *Dell Support:* https://dl.dell.com/manuals/all-products/esuprt_laptop/esuprt_inspiron_laptop/inspiron-15-5558-laptop_reference

Dell. (2019b). *Inspiron 15 5558 Especificaciones* . Dell Support. https://dl.dell.com/manuals/all-products/esuprt_laptop/esuprt_inspiron_laptop/inspiron-15-5558-laptop_reference

Denchak, M. (2022, junio 5). *Greenhouse Effect 101*. NRDC. https://www.nrdc.org/stories/greenhouse-effect-101#whatis

DiarioSostenible.cl. (2020, octubre 1). *Compostaje y vermicompostaje: 2 alternativas para ayudar al planeta*. DiarioSostenible.cl. https://www.diariosostenible.cl/noticia/el-dato-sostenible/2020/10/compostaje-y-vermicompostaje-2-alternativas-para-ayudar-al-planeta

Direct Compost Solutions. (2018). *8 Methods of Composting*. Direct Compost Solutions. https://directcompostsolutions.com/8-methods-composting/

Dudovskiy, J. (2018). *The Ultimate Guide to Writing a Dissertation in Business Studies*. https://research-methodology.net/research-methods/action-research/

Ecocycling. (2019, abril). *Micro Farms*. Ecocycling. https://ecocycling.org/the-hub/food-network-garden/micro-farms/

Editorial de Geekflare. (2022, agosto 16). *11 plataformas y herramientas de Internet de las cosas (IoT) de código abierto*. Geekflare. https://geekflare.com/es/iot-platform-tools/

EL COMERCIO. (2021, julio 12). Los huertos siguen vigentes tras 16 meses de pandemia EL COMERCIO. *EL COMERCIO*, *16*. https://www.elcomercio.com/tendencias/bienestar/huertos-urbanos-meses-despues-pandemia.html

EPA. (2022, abril 29). *Sulfur Hexafluoride (SF6) Basics*. United States Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/eps-partnership/sulfur-hexafluoride-sf6-basics

Espressif Systems. (2018). *ESP32 Datasheet*. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32d_esp32-wroom-32u_datasheet_en.pdf

Espressif Systems. (2022). *ESP8266 Datasheet*. Espressif Systems. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266-technical_reference_en.pdf

Gharge, P. (2022, junio 14). *What Is a Microcontroller? – Simply Explained*. All3DP. https://all3dp.com/2/what-is-a-microcontroller/

Global Monitoring Laboratory. (2021, febrero 10). *Carbon Cycle Greenhouse Gases*. Global Monitoring Laboratory. https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html

Gonzalez, J. L. (2018, febrero 8). *Tipos de aprendizaje automático*. Medium. https://medium.com/soldai/tipos-de-aprendizaje-autom

Grupo BBVA. (2022, junio 28). *¿Qué es el compost y cuáles son sus fases? El poder del suelo vivo*. BBVA. https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-compost-y-cuales-son-sus-fases-el-poder-del-suelo-vivo/

Hanwei Eletronics Co., L. (2000). *MQ-2 Semiconductor Sensor for Combustible Gas*. https://www.pololu.com/file/0J309/MQ2.pdf

Harvey, C. (2022, mayo 4). *Temperature Measurement*. Study.com. https://study.com/academy/lesson/what-is-temperature-definition-lesson-quiz.html

Hiri-Hondakinen Mankominitatea. (2022). *Beneficios del compostaje*. Bortzirietako. https://www.bortziriakzabor.com/es/beneficios-del-compostaje/

Hu, S. (2020, julio 20). *Guide Composting*. NRDC. https://www.nrdc.org/stories/composting-101#whatis

Huntzinger, M. (2022, enero 31). *Low Code Application Platforms and Sensors: The Perfect Marriage | Prescient*. Prescient; Low Code Application Platforms and Sensors: The Perfect Marriage | Prescient. Prescient. https://www.prescientdevices.com/en/blog/low-code-application-platforms-and-sensors-the-perfect-marriage

IBM. (2020, julio 15). *What is machine learning?* IBM. https://www.ibm.com/cloud/learn/machine-learning

Illinois College Online. (2019, junio 5). *Micro Farming: Little Farms with big profits*. Illinois College Online; Micro Farming: Little Farms with big profits. Illinois College Online: :text=Micro. https://online.ic.edu/articles/micro-farming/#:

Indeed. (2021, noviembre 23). *Action Research*. Indeed. https://www.indeed.com/career-advice/career-development/action-research

ISO/IEC/ IEEE. (2018). *ISO/IEC/IEEE 29148:2018*. ISO. https://www.iso.org/standard/72089.html

JavaTpoint. (2021). *Lenguaje de Programaci?n. Java T Point:* https://www.javatpoint.com/programming-language

Jiang, S. (2020). *Investopedia*. investopedia.com.

Kanade, V. (2022, agosto 30). *What Is Machine Learning? Definition, Types, Applications, and Trends for 2022*. spiceworks. https://www.spiceworks.com/tech/artificial-intelligence/articles/what-is-ml/

Ligo, J. (2021, marzo 27). *What is a Microcontroller ?* ElectroSome. https://electrosome.com/microcontroller/

Loffer, L. (2021, agosto 31). *Relative Humidity and Moisture Content Explained: An Environment of Change*. Wagner Meters; Relative Humidity and Moisture Content Explained: An Environment of Change. Wagner Meters. https://www.wagnermeters.com/moisture-meters/wood-info/relative-humidity-moisture-content-environment-change/

Lutkevich, B. (2020, diciembre). *Embedded system*. TechTarget. https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/embedded-system

Lutkevich, B. (2023, febrero). *Database (DB)*. Techtarget. https://www.techtarget.com/searchdatamanagement/definition/database

Maquítuls. (2022). *Estiércol, el mejor abono orgánico para nuestros campos*. Maquítuls. https://www.maquituls.es/noticias/estiercol-el-mejor-abono-organico-para-nuestros-campos-2/

Maximum Yield. (2021, noviembre 19). *Microfarm*. Maximum Yield Inc. https://www.maximumyield.com/definition/3435/microfarm

Megatrónica. (2022). Módulo Sensor Temperatura Y Humedad Dht22. En *Megatrónica*. https://megatronica.cc/producto/modulo-sensor-temperatura-y-humedad-dht22-con-cable-arduino/

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019, septiembre 9). *Agricultura, la base de la economía y la alimentación*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. https://www.agricultura.gob.ec/agricultura-la-base-de-la-economia-y-la-alimentacion/

Mula, J. A. (2019, marzo 21). *Cómo hacer compost paso a paso para tu huerto*. Agromática. https://www.agromatica.es/compost-casero/

Multan Electronics. (2022). *Capacitive Soil Moisture Sensor V2.0*. Multan Electronics. https://www.multanelectronics.com/product/capacitive-soil-moisture-sensor-arduino-soil-moisture-sensor/

NASA. (2019, septiembre 24). *Las causas del cambio climático*. NASA: Global Climate Change. https://climate.nasa.gov/causas/

Natur Vards Verket. (2020, julio). *Swedish Pollutant Release and Transfer Register*. Natur Vards Verket. https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/en/substances/greenhouse-gases/perfluorocarbons/

Naylamp Mechatronics SAC. (2021). *Sensor de humedad del suelo FC-28*. Naylamp Mechatronics. https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/47-sensor-de-humedad-de-suelo-fc-28.html

Núñez, C. (2019, mayo 13). *Carbon dioxide levels are at a record high. Here's what you need to know*. National Geographic. https://www.nationalgeographic.com/environment/article/greenhouse-gases#:~:text=Greenhouse%20gases%20have%20far%2Dranging,change%20caused%20by%20greenhouse%20gases.

Ocaru. (2020, mayo 25). *La Pandemia incentiva los huertos urbanos*. Ocaru. https://ocaru.org.ec/2020/05/25/la-pandemia-incentiva-los-huertos-urbanos/

Pantoja, P., Roman, M., & Martínez, A. (2013). *Composición Promedio de las plantas*. FAO. https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf

Pilco, C. (2023). *Huertos urbanos en Quito | alimentos saludables y ganancias*. https://www.ecuavisa.com/noticias/medio-ambiente/huertos-urbanos-en-quito-alimentos-saludables-y-ganancias-HY4313339

PortalFrutícola. (2019, junio 28). *Abonos verdes: características y especies más utilizadas*. PortalFrutícola; Abonos verdes: caracter?sticas y especies m?s utilizadas. PortalFrut?cola.com. https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/06/28/abonos-verdes-caracteristicas-y-especies-mas-utilizadas/

Potentia Analytics. (2021). *What Is Machine Learning: Definition, Types, Applications And Examples*. Potentia analytics. https://www.potentiaco.com/what-is-machine-learning-definition-types-applications-and-examples/

Rhoades, H. (2021, julio 23). *What Can You Compost And What Not To Put In Garden Compost*. Gardening. https://www.gardeningknowhow.com/composting/ingredients/what-can-you-compost.htm

Roebuck, A. (2022). *Types Of Composting (15 Methods Explained!)*. Help me compost. https://helpmecompost.com/home-composting/methods/types-of-composting/

Sagor, R. (2000). Overview of the Action Research Process. En ISBN (Ed.), *Guiding School Improvement with Action Research* (pp. 35–47).

Schipani, S. (2019, julio 10). *WHAT IS MICRO FARMING?* Hello Homestead. https://hellohomestead.com/what-is-micro-farming/

Sheldon, R. (Agosto de. (2022, agosto). *What is sensor*. TechTarget. https://www.techtarget.com/whatis/definition/sensor

Soil Sciencie Society of America. (2022). *Soil Moisture*. Earth Science Week. https://www.earthsciweek.org/classroom-activities/soil-moisture

Suministros Ilaga. (2021). *Compostador Container Trading modelo KOMP 340*. Suministros Ilaga. https://www.ilaga.es/producto/wfw-containter-trading-modelo-komp-340/

Tecnoelite. (2023, enero 29). *Que es un microcontrolador ? Tipos, usos y historia.* Tecnoelite. https://tecnoelite.co/que-es-un-microcontrolador-tipos-usos-y-historia/

Teja, R. (2021, abril 2). *What is a Sensor? Different Types of Sensors and their Applications*. Electronics Hub. https://www.electronicshub.org/different-types-sensors/#Classification_of_Sensors

Tortosa, G. (2015, febrero 10). *Sistemas de compostaje*. Compostando Ciencia. http://www.compostandociencia.com/2015/02/sistemas-de-compostaje/

United States Environmental Protection Agency. (2022a, abril 21). *Types of Composting and Understanding the Process*. United States Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/sustainable-management-food/types-composting-and-understanding-process

United States Environmental Protection Agency. (2022b, julio 7). *Composting At Home*. EPA; Composting At Home. EPA: :text=Composting. https://www.epa.gov/recycle/composting-home#:

UT AUSTIN CEC. (2020, octubre 21). *Compost drop off*. Campus Environmental Center. https://utenvironment.org/projects/microfarm/compost-drop-off/

Wiegers, K. E. (1999). *First Things First: Prioritizing Requirements*. https://www.processimpact.com/articles/prioritizing.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Datasheet Sensor Capacitivo de humedad del suelo

Capacitive Soil Moisture Sensor

Introduction

Our soil moisture sensor **(https://www.dfrobot.com/product-1385.html) measures soil mositure levels by capacitive sensing rather than resistive sensing like other sensors on the market. It is made of corrosion resistant material which gives it an excellent service life. Insert it in to the soil around your plants and impress your friends with real-time soil moisture data! This module includes an on-board voltage regulator which gives it an operating voltage range of 3.3 ~ 5.5V. It is perfect for low-voltage MCUs, both 3.3V and 5V. For compatibility with a Raspberry Pi it will need an ADC converter. This soil moisture sensor is compatible with our 3-pin "Gravity" interface, which can be directly connected to the Gravity I/O expansion shield.**

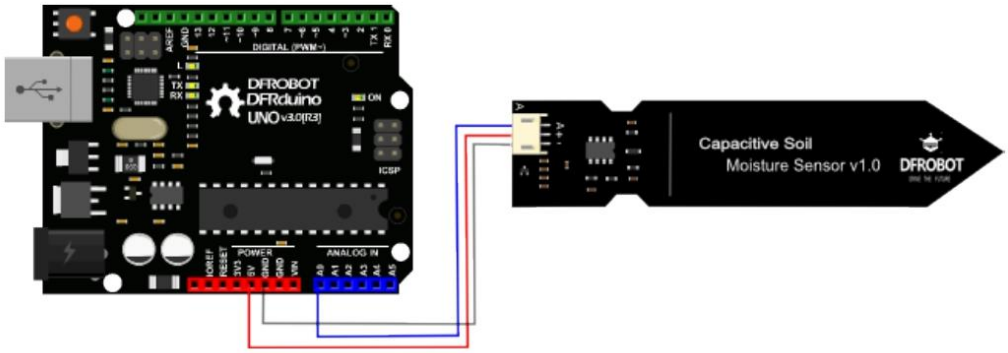
- **Operating Voltage: 3.3 ~ 5.5 VDC**
- **Output Voltage: 0 ~ 3.0VDC**
- **Operating Current: 5mA**
- **Interface: PH2.0-3P**
- **Dimensions: 3.86 x 0.905 inches (L x W)**
- **Weight: 15g**

Tutorial

Requirements

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

Connection Diagram

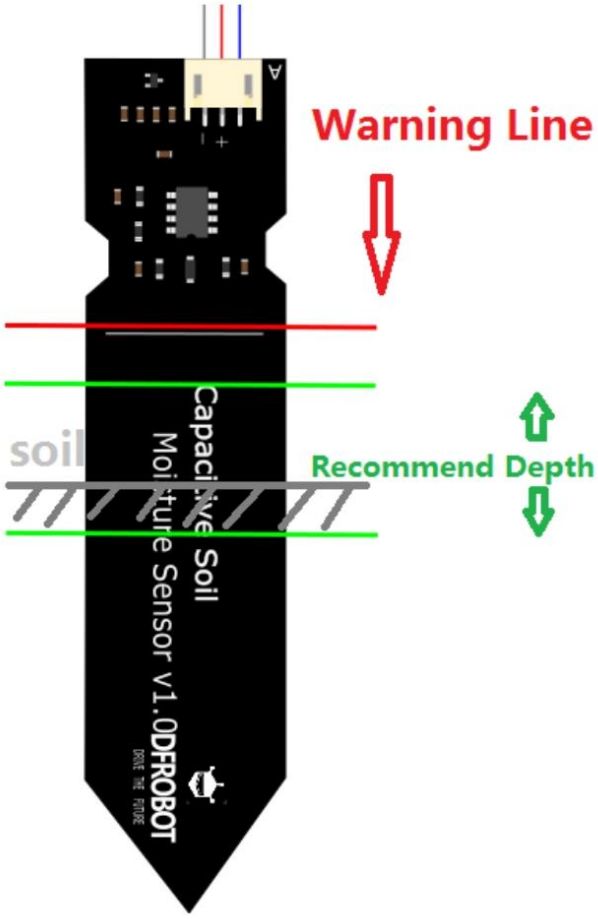


Calibration Code

```
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.println(val); //print the value to serial port
  delay(100);
}
```

Calibration

Calibration Range



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

⚠	
The components on this board are NOT waterproof, do not expose to moisture further than the red line. (If you want to protect components from the elements, try using a length of wide heat shrink tubing around the upper-section of the board.)	

There is an inverse ratio between the sensor output value and soil moisture.

Section Settings

The final output value is affected by probe insertion depth and how tight the soil packed around it is. We regard "value_1" as dry soil and "value_2" as soaked soil. This is the sensor detection range. For example: Value_1 = 520; Value_2 = 260. The range will be divided into three sections: dry, wet, water. Their related values are:

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

Test Code

```
/*************************************************
 This example reads Capacitive Soil Moisture Sensor.

 Created 2015-10-21
 By berinie Chen <bernie.chen@dfrobot.com>

 GNU Lesser General Public License.
 See <http://www.gnu.org/licenses/> for details.
 All above must be included in any redistribution
 *************************************************/

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

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

Anexo 2. Datasheet del sensor MQ2

TECHNICAL DATA MQ-2 GAS SENSOR

FEATURES

Wide detecting scope — Fast response and High sensitivity
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 LPG, i-butane, propane, methane ,alcohol, Hydrogen, smoke.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
Vc	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V_H	Heating voltage	5V±0.1	ACOR DC
R_L	Load resistance	can adjust	
R_H	Heater resistance	33Ω ±5%	Room Tem
P_H	Heating consumption	less than 800mw	

B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
Tao	Using Tem	-20℃-50℃	
Tas	Storage Tem	-20℃-70℃	
R_H	Related humidity	less than 95%Rh	
O_2	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remarks
Rs	Sensing Resistance	3KΩ-30KΩ (1000ppm iso-butane)	Detecting concentration scope: 200ppm-5000ppm LPG and propane 300ppm-5000ppm butane 5000ppm-20000ppm methane 300ppm-5000ppm H_2 100ppm-2000ppm Alcohol
α (3000/1000) isobutane	Concentration Slope rate	≤0.6	
Standard Detecting Condition	Temp: 20℃±2℃ Humidity: 65%±5%	Vc:5V±0.1 Vh: 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

	Parts	Materials
1	Gas sensing layer	SnO_2
2	Electrode	Au
3	Electrode line	Pt
4	Heater coil	Ni-Cr alloy
5	Tubular ceramic	Al_2O_3
6	Anti-explosion network	Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh)
7	Clamp ring	Copper plating Ni
8	Resin base	Bakelite
9	Tube Pin	Copper plating Ni

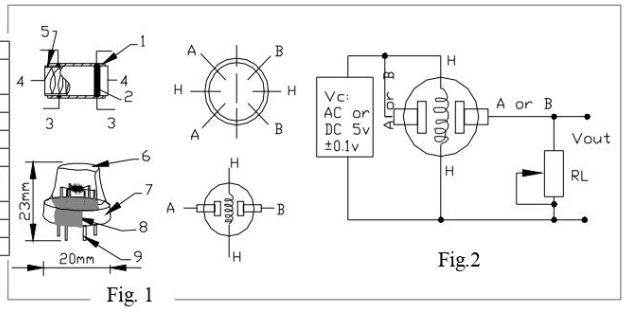
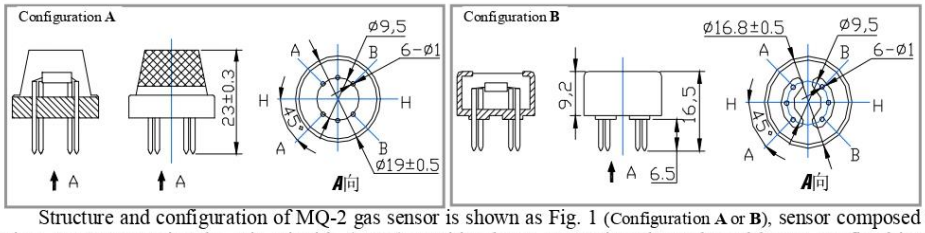


Fig. 1 Fig.2



Structure and configuration of MQ-2 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

www.DataSheet4U.com

crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-2 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

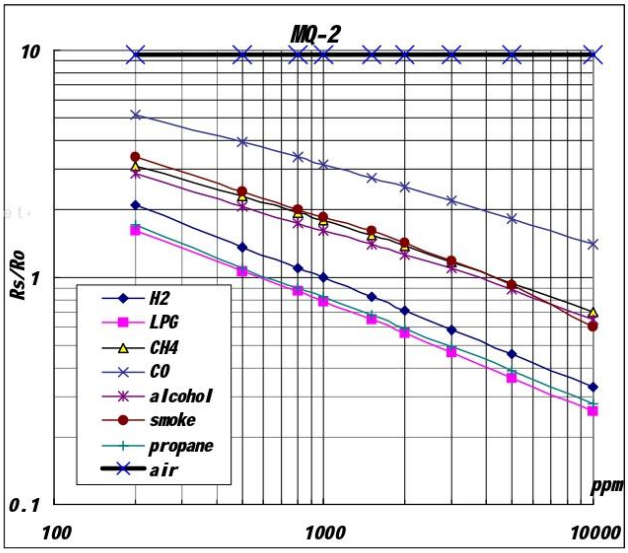


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-2

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-2 for several gases.
in their: Temp: 20℃、
Humidity: 65%、
O_2 concentration 21%
RL=5kΩ
Ro: sensor resistance at 1000ppm of H_2 in the clean air.
Rs:sensor resistance at various concentrations of gases.

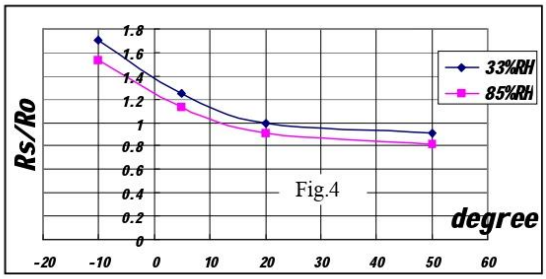


Fig.4

Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-2 on temperature and humidity.
Ro: sensor resistance at 1000ppm of H_2 in air at 33%RH and 20 degree.
Rs: sensor resistance at 1000ppm of H_2 at different temperatures and humidities.

SENSITVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-2 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 1000ppm liquified petroleum gas<LPG>,or 1000ppm iso-butane<i-C_4H_{10}>concentration in air and use value of Load resistance that(R_L) about 20 KΩ (5KΩ to 47 KΩ).

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

www.DataSheet4U.com

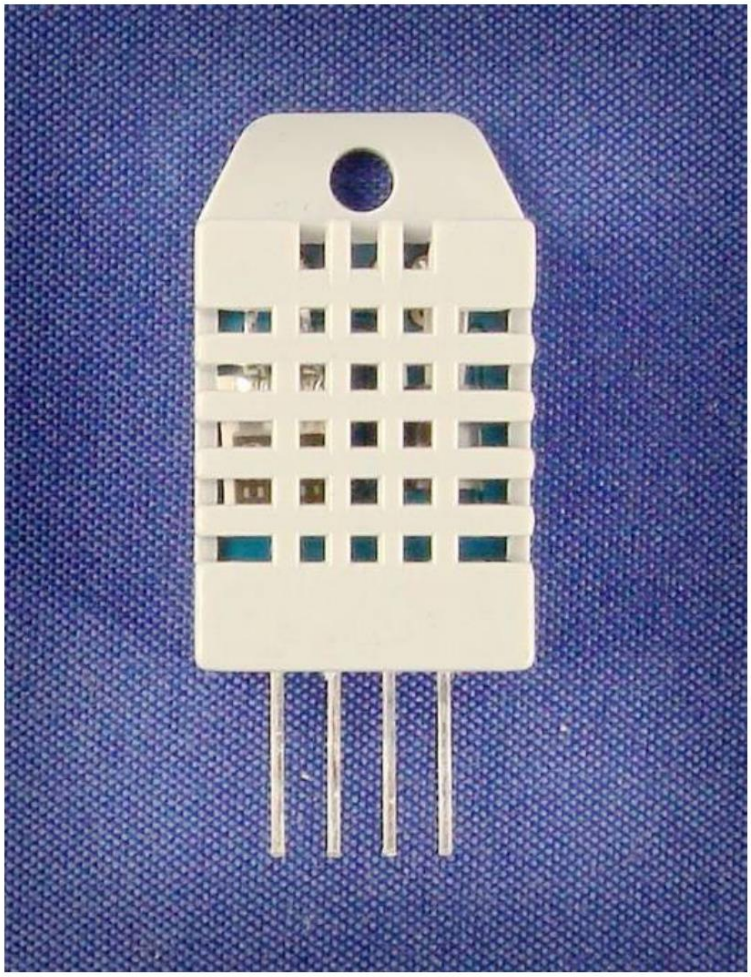
Anexo 3. Datasheet del sensor DHT22

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

Digital-output relative humidity & temperature sensor/module

DHT22 (DHT22 also named as AM2302)



Capacitive-type humidity and temperature module/sensor

1

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

1. Feature & Application:

* Full range temperature compensated * Relative humidity and temperature measurement
* Calibrated digital signal *Outstanding long-term stability *Extra components not needed
* Long transmission distance * Low power consumption *4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability.Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +-2%RH(Max +-5%RH); temperature <+-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+-0.3%RH
Long-term Stability	+-0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

4. Dimensions: (unit----mm)

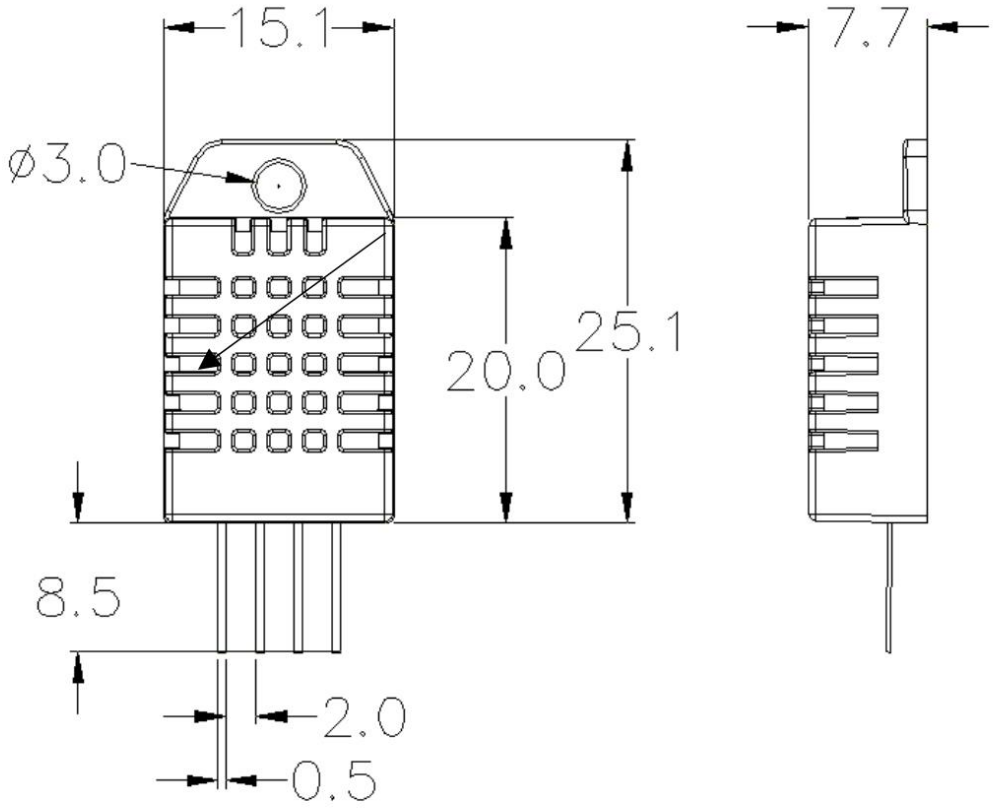
1) Small size dimensions: (unit----mm)

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



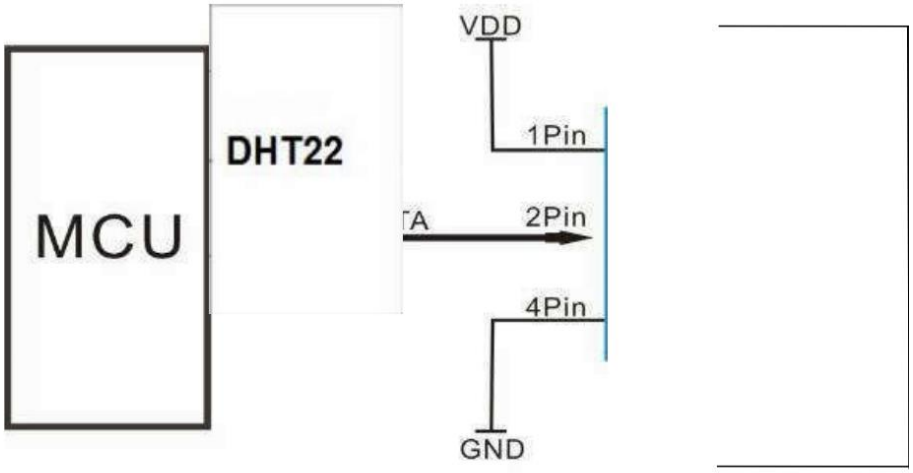
Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

Pin	Function
1	VDD----power supply
2	DATA--signal
3	NULL
4	GND

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

5. Electrical connection diagram:



3Pin---NC, AM2302 is another name for DHT22

6. Operating specifications:

(1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-6V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

(2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT22, it costs 5mS for single time communication.

Data is comprised of integral and decimal part, the following is the formula for data.

DHT22 send out higher data bit firstly!

DATA=8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data+8 bit check-sum

If the data transmission is right, check-sum should be the last 8 bit of "8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data".

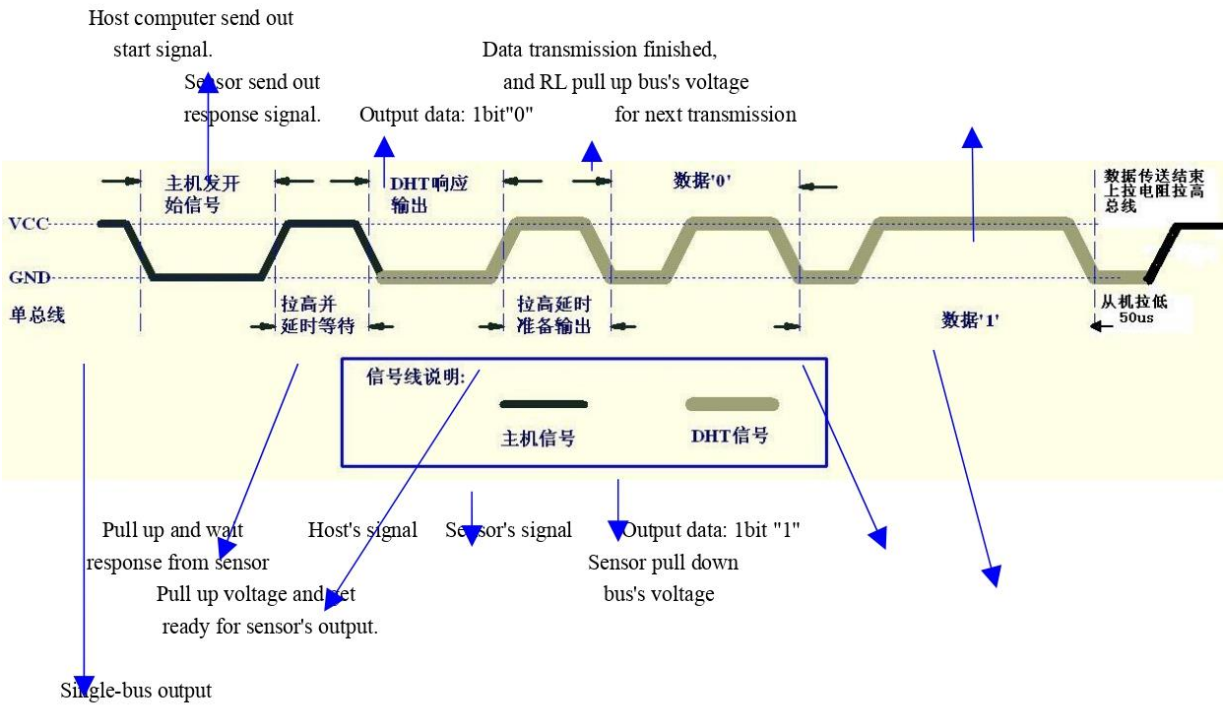
When MCU send start signal, DHT22 change from low-power-consumption-mode to running-mode. When MCU finishs sending the start signal, DHT22 will send response signal of 40-bit data that reflect the relative humidity

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

and temperature information to MCU. Without start signal from MCU, DHT22 will not give response signal to MCU. One start signal for one time's response data that reflect the relative humidity and temperature information from DHT22. DHT22 will change to low-power-consumption-mode when data collecting finish if it don't receive start signal from MCU again.

1) Check bellow picture for overall communication process:



2) Step 1: MCU send out start signal to DHT22

Data-bus's free status is high voltage level. When communication between MCU and DHT22 begin, program of MCU will transform data-bus's voltage level from high to low level and this process must beyond at least 1ms to ensure DHT22 could detect MCU's signal, then MCU will wait 20-40us for DHT22's response.

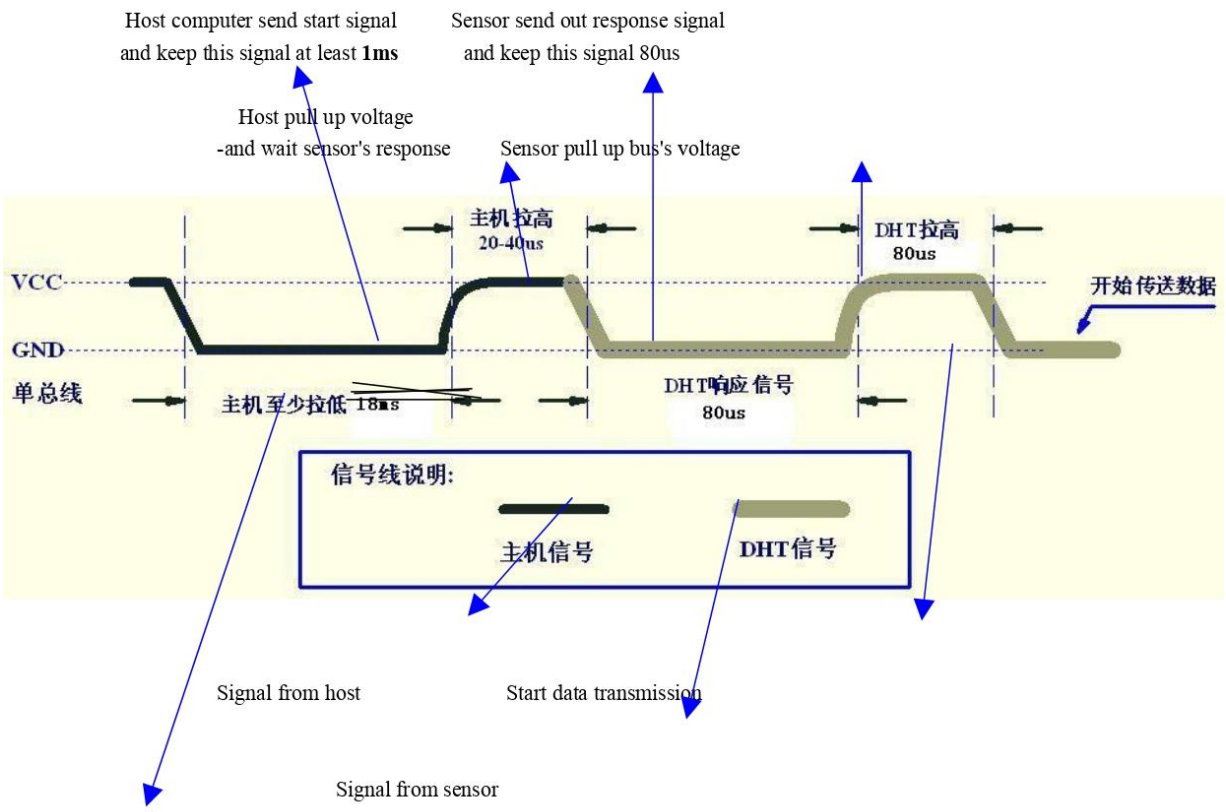
Check bellow picture for step 1:

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Single-bus signal

Step 2: DHT22 send response signal to MCU

When DHT22 detect the start signal, DHT22 will send out low-voltage-level signal and this signal last 80us as response signal, then program of DHT22 transform data-bus's voltage level from low to high level and last 80us for DHT22's preparation to send data.

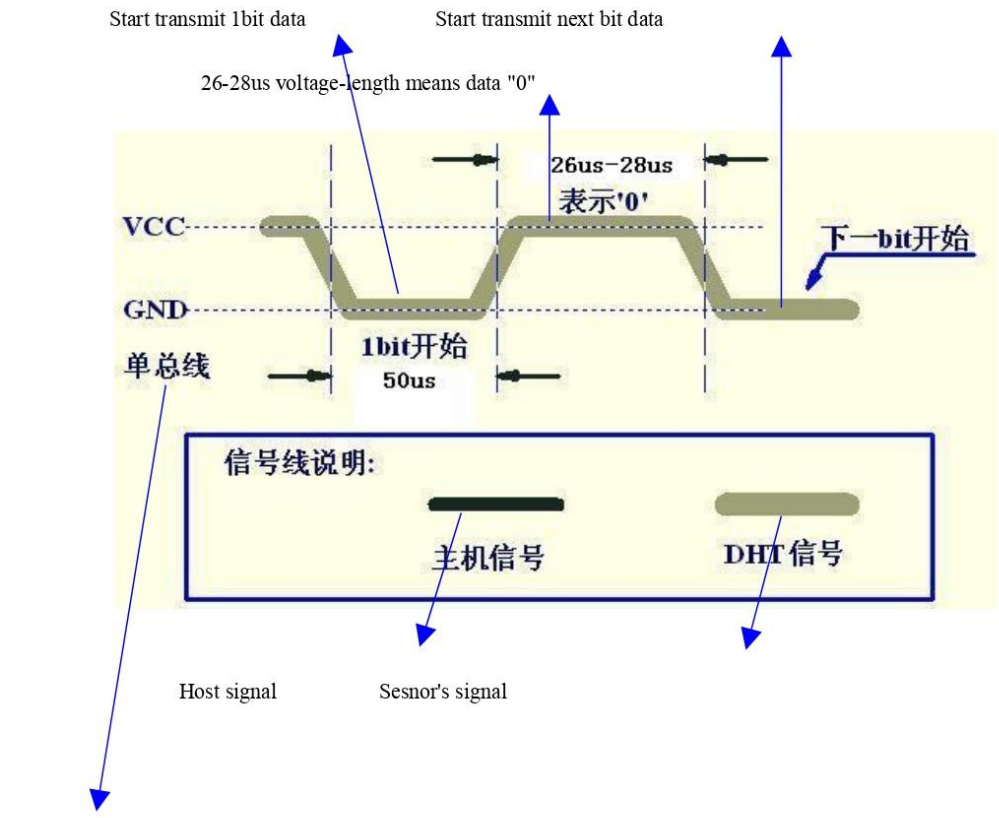
Check bellow picture for step 2:

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Step 3: DHT22 send data to MCU

When DHT22 is sending data to MCU, every bit's transmission begin with low-voltage-level that last 50us, the following high-voltage-level signal's length decide the bit is "1" or "0".

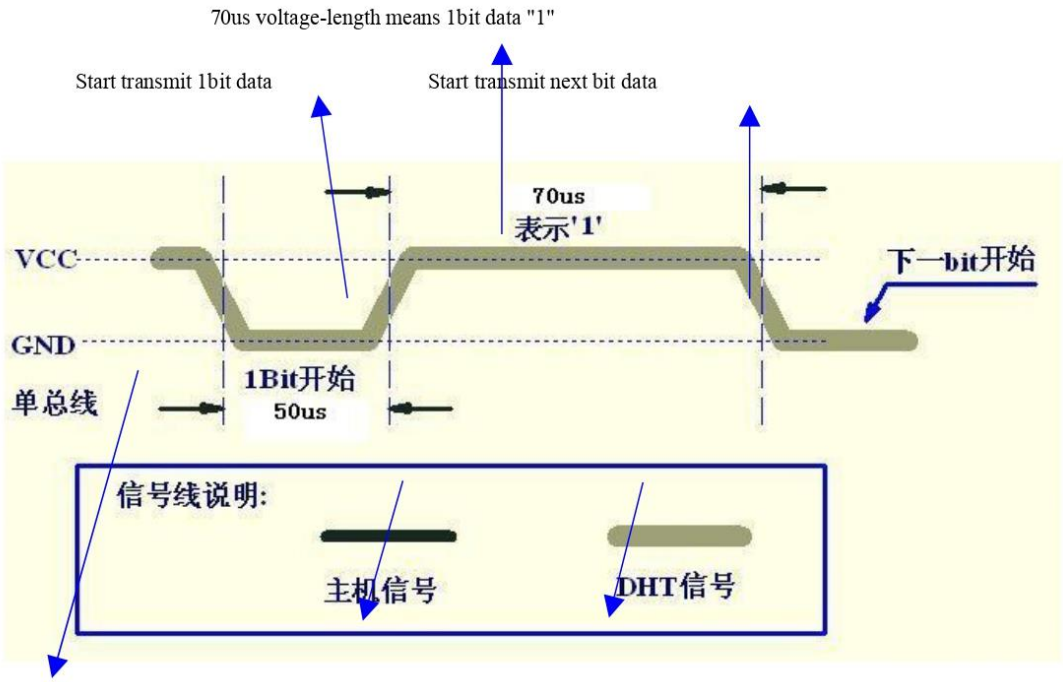
Check bellow picture for step 3:

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Host signal Sesnor's signal

Single-bus signal

If signal from DHT22 is always high-voltage-level, it means DHT22 is not working properly, please check the electrical connection status.

7. Electrical Characteristics:

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3.3	5	6	V
Current supply	Measuring	1		1.5	mA
	Stand-by	40	Null	50	uA
Collecting period	Second		2		Second

*Collecting period should be : >2 second.

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Anexo 4. Datasheet del ordenador implementado como servidor

DELL Inspiron 15
Serie 5000

Vistas

Especificaciones

Copyright © 2015 Dell Inc. Todos los derechos reservados. Este producto está protegido por las leyes de EE. UU. y las leyes internacionales sobre el derecho de copia y la propiedad intelectual. Dell y el logotipo de Dell son marcas comerciales de Dell Inc. en Estados Unidos y otras jurisdicciones. El resto de marcas y nombres que se mencionan son marcas comerciales de sus respectivas empresas.

2015 - 03 Rev. A00

Modelo normativo: P51F | Tipo: P51F001/P51F003

Modelo de equipo: Inspiron 15-5558/Inspiron 15-5551

NOTA: Las imágenes en este documento quizá difieran con su equipo dependiendo de la configuración que haya solicitado.

Vistas

Especificaciones

Dimensiones y peso

Altura:	
Táctil	24,05 mm (0,95 pulg.)
No táctil	23,75 mm (0,94 pulg.)
Ancho	380 mm (14,96 pulg.)
Profundidad	260,40 mm (10,25 pulg.)
Peso (máximo):	
Táctil	2,39 kg (5,27 lb)
No táctil	2,24 kg (4,94 lb)
	NOTA: El peso del portátil variará en función de la configuración adquirida y las diferentes características de fabricación.

Vistas

Especificaciones

Información del sistema

Modelo de equipo	**Inspiron 15-5558**	**Inspiron 15-5551**
Procesador	• Procesador Intel Celeron Dual Core • Procesador Intel Pentium Quad Core • 4.ª generación de procesador Intel Core i3 • 5.ª generación de procesador Intel Core i3/i5/i7	• Procesador Intel Celeron Dual Core • Procesador Intel Pentium Quad Core
Conjunto de chips	Integrado en procesador	Integrado en procesador

Vistas

Especificaciones

Memoria

	Inspiron 15-5558	Inspiron 15-5551
Ranuras	Dos ranuras SODIMM	Una ranura SODIMM
Tipo	DDR3L de dos canales	DDR3L de un canal
Velocidad	1600 MHz	1600 MHz
Configuraciones compatibles	2 GB, 4 GB, 6 GB, 8 GB, 12 GB y 16 GB	2 GB, 4 GB y 8 GB

Vistas

Especificaciones

Puertos y conectores

Externos:	
Red	Un puerto RJ45 (solo Inspiron 15-5558)
USB	• Un puerto USB 3.0 • Dos puertos USB 2.0
Audio/vídeo	• Un puerto HDMI • Un puerto combo audífono/micrófono (diadema)
Internos:	
Ranura NGFF	Una ranura NGFF para tarjeta combo Wi-Fi y Bluetooth

Especificaciones

Comunicaciones

Ethernet	Controlador Ethernet de 10/100 Mbps integrado en la placa base
Inalámbrica	• Wi-Fi 802.11ac • Wi-Fi 802.11b/g/n • Bluetooth 4.0 • Intel WiDi (solo Windows)

Especificaciones

Vídeo

	Inspiron 15-5558	Inspiron 15-5551
Controlador:		
Integrado	• Gráficos de alta definición Intel • Gráfica Intel HD 4400 • Gráfica Intel HD 5500	Gráficos de alta definición Intel
Discreto	NVIDIA GeForce 920M	N/A
Memoria:		
Integrada	Memoria compartida del sistema	Memoria compartida del sistema
Discreta	DDR3L de hasta 4 GB	N/A

Especificaciones

Audio

Controlador	Realtek ALC3234 con Waves MaxxAudio
Altavoces	Dos
Salida de altavoces:	
Promedio	2 W
Pico	2,2 W
Micrófono	• Un solo micrófono (solo Inspiron 15-5551) • Micrófonos en línea digitales (solo Inspiron 15-5558)
Controles de volumen	Teclas de acceso directo de control multimedia

Especificaciones

En almacenamiento

Interfaz	• SATA 3 Gbps (solo Inspiron 15-5551) • SATA 6 Gbps (solo Inspiron 15-5558)
Disco duro	Una unidad de 2,5 pulgadas (compatible con tecnología Intel Smart Response)
Unidad óptica	Una unidad SATA de 9,5 mm
Unidad compatible	DVD+/-RW

Vistas

Especificaciones

Lector de tarjetas multimedia

Tipo	Una ranura de tarjeta SD
Tarjetas compatibles	Tarjeta SD

Vistas

Especificaciones

Pantalla

Tipo	• Táctil HD de 15,6 pulgadas • No táctil HD de 15,6 pulgadas • No táctil FHD de 15,6 pulgadas (solo Inspiron 15-5558) • Táctil FHD de 15,6 pulgadas (solo Inspiron 15-5558)			
Tasa de actualización	60 Hz			
Ángulo de funcionamiento	De 0 grados (cerrado) a 135 grados			
Controles	El brillo se puede controlar mediante el uso de las teclas de acceso directo.			
	Táctil HD	**No táctil HD**	**No táctil FHD**	**Táctil FHD**
Resolución (máxima)	1366 x 768	1366 x 768	1920 x 1080	1920 x 1080
Separación entre píxeles	0,2265 mm	0,2265 mm	0,161 mm	0,17925 mm
Dimensiones:				
Alto	225,06 mm (8,86 pulg.)	224,3 mm (8,83 pulg.)	223,8 mm (8,81 pulg.)	225,06 mm (8,86 pulg.)
Ancho	366,63 mm (14,43 pulg.)	360 mm (14,17 pulg.)	359,5 mm (14,15 pulg.)	366,63 mm (14,43 pulg.)
Diagonal	396,24 mm (15,60 pulg.)	396,24 mm (15,60 pulg.)	396,24 mm (15,60 pulg.)	396,24 mm (15,60 pulg.)

Especificaciones

Teclado

Tipo	• Teclado estándar • Teclado retroiluminado (opcional)
Teclas de acceso directo	Algunas teclas del teclado tienen dos símbolos. Estas teclas se pueden utilizar para escribir caracteres alternativos o para realizar funciones secundarias. Para introducir el carácter alternativo, presione Mayús. y la tecla deseada. Para realizar las funciones secundarias, presione Fn y la tecla deseada. **NOTA:** Puede modificar el comportamiento de las teclas de acceso directo presionando Fn+Esc o modificando **el comportamiento de la tecla de función** en el programa de configuración de BIOS. Lista de teclas de acceso directo.

Dimensiones y peso | Información del sistema | Memoria | Puertos y conectores | Comunicaciones | Vídeo | Audio | En almacenamiento
Lector de tarjetas multimedia | Pantalla | Teclado | Cámara | Panel táctil | Batería | Adaptador de alimentación | Entorno del equipo

Teclas de acceso directo

F1	Silenciar el audio
F2	Bajar el volumen
F3	Subir el volumen
F4	Reproducir pista o capítulo anterior
F5	Reproducir/Pausar
F6	Reproducir pista o capítulo siguiente
F8	Cambiar a la pantalla externa
F9	Buscar
F10	Alternar retroiluminación del teclado (opcional)
F11	Disminuir brillo
F12	Aumentar brillo

Fn + PrtScr	Activar/desactivar la función inalámbrica
Fn + Insert	Suspensión
Fn + Esc	Alternar bloqueo de la tecla Fn
Fn + H	Alternar entre el indicador luminoso de estado de la batería y de alimentación y el indicador luminoso de actividad del disco duro
Fn + Ctrl	Abrir menú de aplicaciones
Fn + B	Pausar/Parar
Fn + R	Requisitos del sistema
Fn + S	Alternar bloqueo de desplazamiento

Especificaciones

Cámara

Resolución:	
Imagen estática	0,92 megapíxeles
Vídeo	1280 x 720 (HD) a 30 fps (máximo)
Ángulo de visión en diagonal	74 grados

Especificaciones

Panel táctil

Resolución:	
Horizontal	1211 ppp
Vertical	1267 ppp
Dimensiones:	
Ancho	105 mm (4,13 pulg.)
Alto	80 mm (3,15 pulg.)

Especificaciones

Batería

Tipo	• "Inteligente" de iones de litio de 4 celdas (40 WHr) • "Inteligente" de iones de litio de 4 celdas (47 WHr)
Dimensiones:	
Ancho	270 mm (10,63 pulg.)
Profundidad	37,5 mm (1,48 pulg.)
Alto	20 mm (0,79 pulg.)
Peso (máximo)	• 40 WHr — 0,25 kg (0,55 lb) • 47 WHr — 0,26 kg (0,56 lb)
Tensión	14,8 VCC
Tiempo de carga cuando el equipo está apagado (aproximada)	4 horas
Tiempo de funcionamiento	Varía en función de las condiciones de funcionamiento y puede disminuir significativamente bajo ciertas condiciones de consumo intensivo.
Duración (aproximada)	300 ciclos de carga y descarga
Rango de temperatura:	
Funcionamiento	De 0 °C a 35 °C (de 32 °F a 95 °F)
En almacenamiento	De –40 °C a 65 °C (de –40 °F a 149 °F)
Batería de tipo botón	CR-2032

Vistas

Especificaciones

Adaptador de alimentación

Tipo	• 45 W • 65 W
Voltaje de entrada	100 VCA – 240 VCA
Frecuencia de entrada	50 Hz – 60 Hz
Corriente de entrada (máxima):	
45 W	1,30 A
65 W	1,60 A/1,70 A
Corriente de salida (máxima):	
45 W	2,31 A
65 W	3,34 A
Tensión nominal de salida	19,50 VCC
Rango de temperatura:	
Funcionamiento	De 0 °C a 40 °C (de 32 °F a 104 °F)
En almacenamiento	De –40 °C a 70 °C (de –40 °F a 158 °F)

Especificaciones

Entorno del equipo

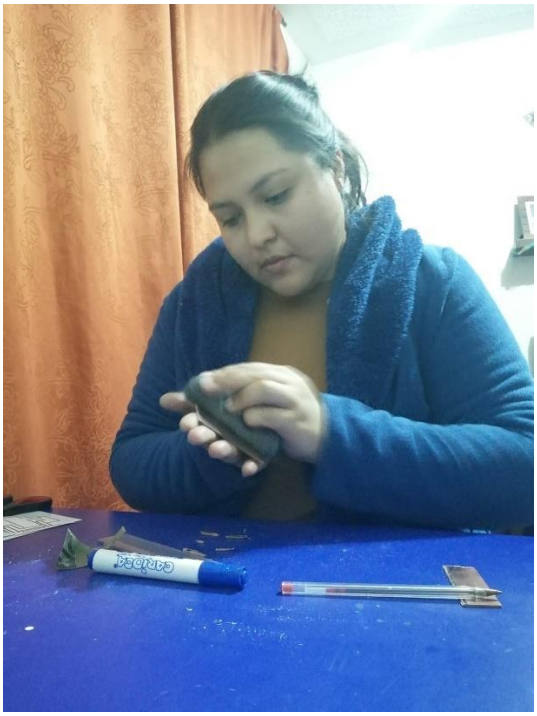
Nivel de contaminación transmitido por el aire	G1 según se define en ISA-S71.04-1985	
	Funcionamiento	**En almacenamiento**
Intervalo de temperatura	De 0 °C a 35 °C (de 32 °F a 95 °F)	De –40 °C a 65 °C (de –40 °F a 149 °F)
Humedad relativa (máxima)	De 10 % a 90 % (sin condensar)	De 0 % a 95 % (sin condensar)
Vibración (máxima)*	0,66 GRMS	1,30 GRMS
Impacto (máxima)	110 G†	160 G‡
Altitud (máxima)	De –15,2 m a 3048 m (de –50 ft a 10 000 ft)	De –15,2 m a 10 668 m (de –50 ft a 35 000 ft)

* Medido utilizando un espectro de vibración aleatoria que simula el entorno del usuario.
† Medido utilizando un pulso de media onda sinusoidal durante 2 ms cuando el disco duro está en uso.
‡ Medido utilizando un pulso de media onda sinusoidal durante 2 ms cuando la unidad de disco duro se encuentra parada.

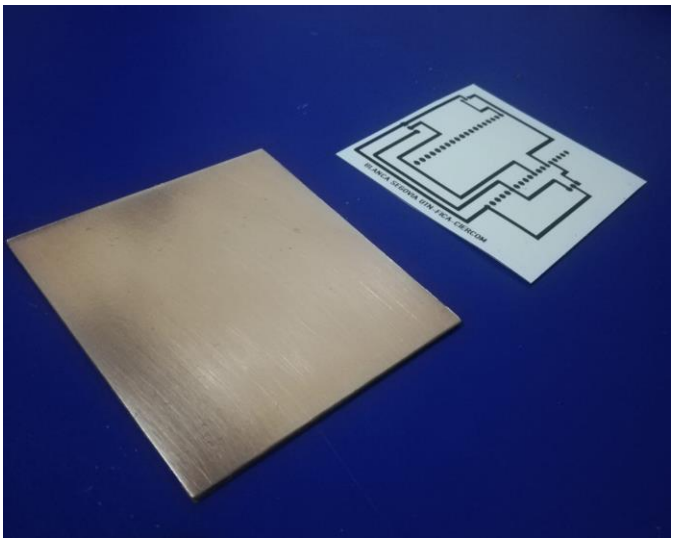
Dimensiones y peso | Información del sistema | Memoria | Puertos y conectores | Comunicaciones | Vídeo | Audio | En almacenamiento
Lector de tarjetas multimedia | Pantalla | Teclado | Cámara | Panel táctil | Batería | Adaptador de alimentación | Entorno del equipo

Anexo 5. Proceso de elaboración de Placa

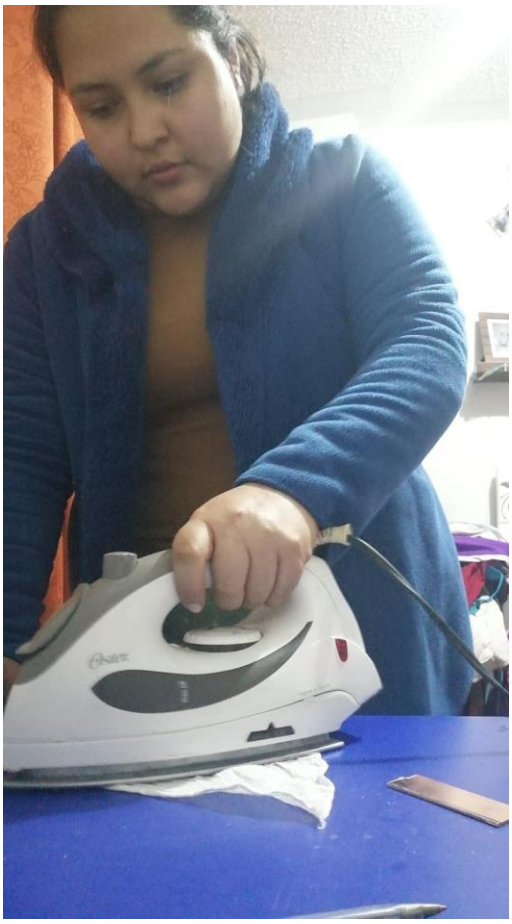
Se realiza el corte de la baquelita sin perforar a las medidas de acuerdo con el diseño del circuito, esta debe estar libre de impurezas y pulida con lustre para que el circuito se adhiera.



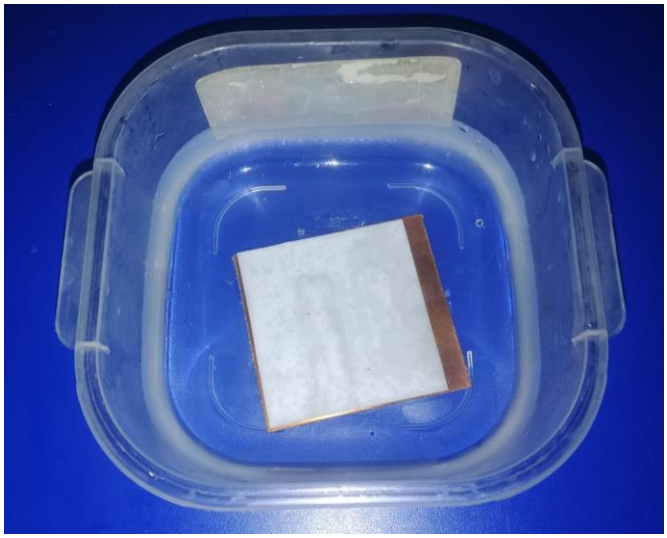
Con la baquelita pulida y el circuito impreso a láser en papel fotográfico, se procede a iniciar el proceso de quemado.



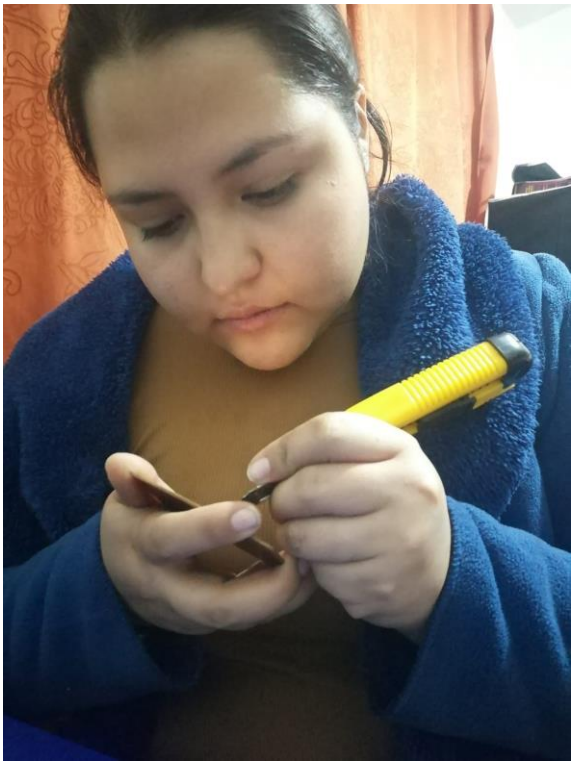
El proceso de planchado debe ser durante 15 a 20 minutos dependiendo de la potencia que emita la plancha, entre la placa y el circuito impreso debe existir una franela delgada para mejorar la transferencia de calor y evitar daños en la baquelita. Este procedimiento debe ser realizado con fuerza para lograr que las líneas del circuito se queden adheridas a la baquelita.



Al culminar el planchado para quitar el papel fotográfico se debe dejar reposar la baquelita en agua fría.

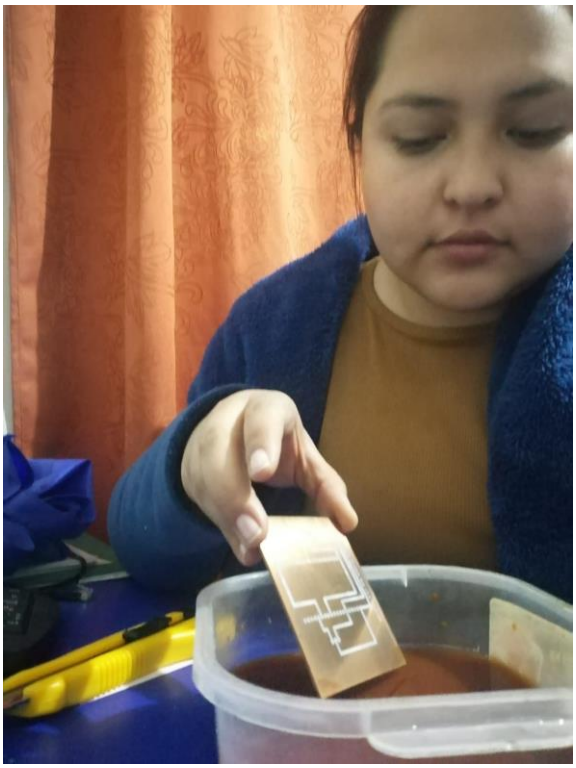


Al quitar el papel fotográfico es importante revisar las líneas del circuito y verificar que no exista ninguna adherencia sobrante de los restos de papel fotográfico que provoque un corto o una conexión innecesaria.



Al revisar el circuito la transferencia del circuito del papel fotográfico a la baquelita debe verse como en la figura que se adjunta en la parte inferior.

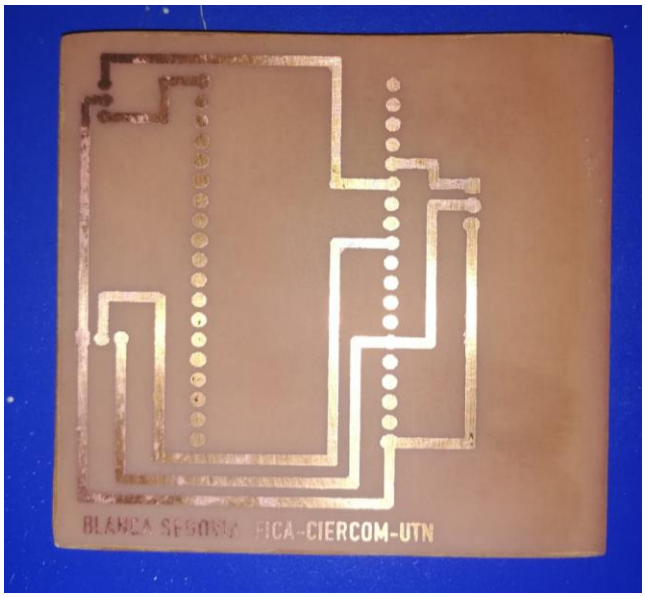
En un recipiente con cloruro férrico y agua caliente se introduce la baquelita, este proceso de rebelado del circuito debe ser vigilado hasta lograr obtener el quemado del circuito completo.



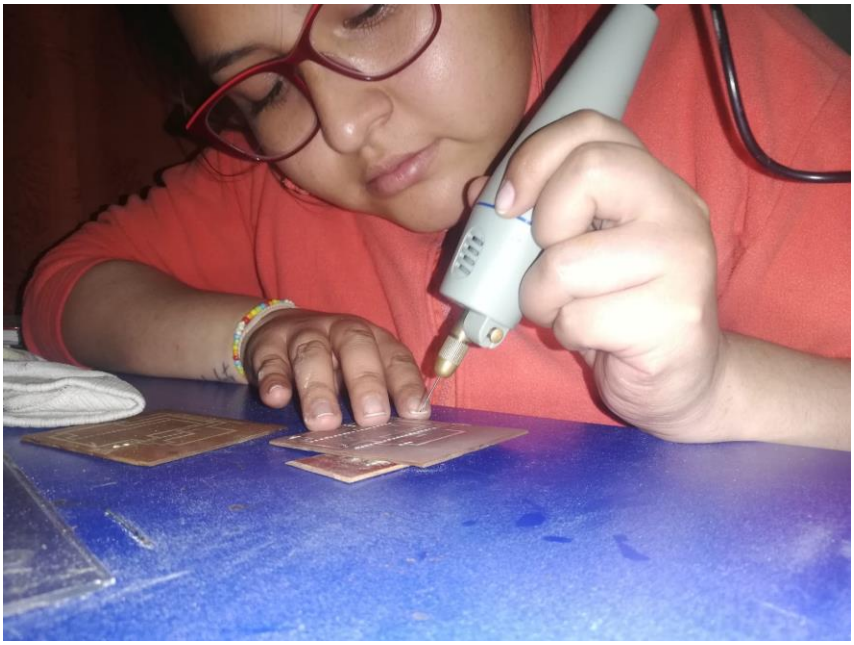
Al lograr el debelado del circuito la baquelita debe estar como la figura que se adjunta en la parte inferior de este apartado.

Con quitaesmalte se realiza el retiro de tinta laser de las líneas del circuito para lograr verificar las líneas de cobre el circuito.

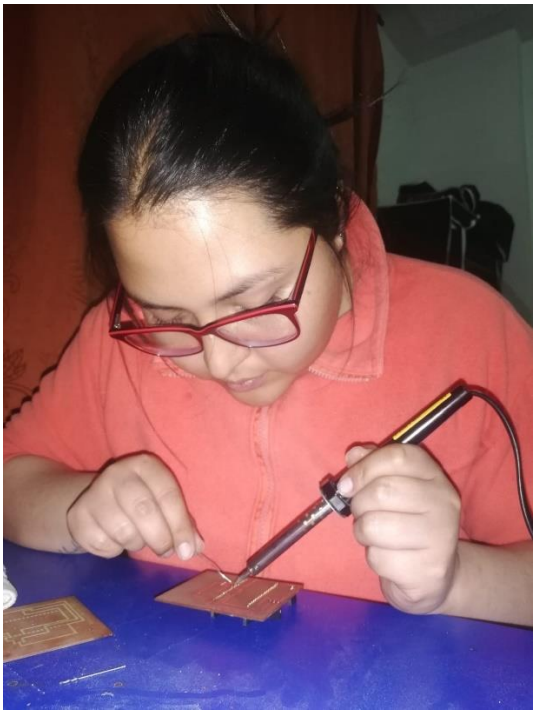
Finalmente, el circuito al retirar la tinta se muestra con la figura de la parte inferior.



Por consiguiente, se procede a realizar las perforaciones necesarias en la baquelita para lograr la ubicación de los componentes.



Para finalizar se suelda cada uno de los pines que conforman el diseño de la baquelita y se comprueba que exista continuidad en los extremos que cada línea de circuito de acuerdo con el diseño.



Anexo 6: Código de programación del nodo de sensores

```
/******Librerías y declaración de variables para comunicación WiFi y MQTT*********/
#include <WiFi.h>                       //Librería de ESP32 para comunicación WiFi
#include <PubSubClient.h>               //Librería del protocolo MQTT
#include <Wire.h>                       //Librería para comunicación de  dispositivos por bus
/******Configuración de la red, designación de la IP de conexión del servidor ***********/
const char* ssid = "CNT_D3CT";          // Credenciales para conexión a la Red Wifi
const char* password = "M072921@85l";   // Contraseña para la conexión
const char* mqtt_server = "192.168.1.54";  // MQTT broker IP Address
WiFiClient espClient;                   // Función para crear cliente que se conecta a una direccion IP y un puerto específico
PubSubClient client(espClient);         // Crear el constructor en ESP como Cliente

/*******LIBRERÍAS DE SENSORES *********/
#include <DHT.h>                        // Librería para el funcionamiento del sensor DHT22

/********DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA SENSORES **************/
#define DHTTYPE DHT22                   // Definir el tipo de sensor DHT
const int DHTPin = 25;                  // Declaración de variable del pin del sensor DHT22
DHT sensort (DHTPin, DHTTYPE);          // Definir la variable del sensor conformada por el tipo de sensor y el pin de funcionamiento
const int Sensorhums = A7;              // Declaración de variable del pin del sensor de humedad del suelo (35)
const int seco = 3326;                  // Declaración del valor de funcionamiento en seco del sensor de humedad del suelo
const int mojado = 2021;                // Declaración del valor de funcionamiento en mojado del sensor de humedad del suelo
const int MQ_PIN = A6;                  // Declaración de variable del pin del sensor de gas MQ2 (34)          //define which analog input channel you are going to use
const int RL_VALUE = 1;                 // //Definir la resitencia de carga en Kilo Ohmios para el funcionamiento del sensor MQ2
const float RO_CLEAN_AIR_FACTOR = 9.86;         //Definir valor de resistencia del sensor en el aire limpio ---- RO_CLEAR_AIR_FACTOR= (Sensor resistance in clean air)/RO
                                        //, que se deriva del gráfico en la hoja de datos
/*******VALORES RELACIONADOS CON LA CALIBRACIÓN DEL SENSOR MQ2*******************/
int CALIBARAION_SAMPLE_TIMES = 50;      //Define cuántas muestras vas a tomar en la fase de calibración
int CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL = 500;  //Define el tiempo interal (en milisegundos) entre cada muestra en la fase de calibración
int READ_SAMPLE_INTERVAL = 50;          //Define cuántas muestras va a tomar en funcionamiento normal
int READ_SAMPLE_TIMES = 5;              //Define el tiempo interal (en milisegundos) entre cada muestra en funcionamiento normal
#define   METANO          0           //Definicón del valor constante para la varaible metano
float    Metano [3] = {2.3, 0.48, -0.37};    //Resultado de los 2 puntos aproximadamente equivalentes, tomados de la curva caracteristica del datasheet y el cálculo de la pendiente
float         Ro         = 10;        //Ro es inicializada es 10 kilo ohms
/***************** PIN ELECTROVAULA ************************************************/
const int valvula = 34;                 //Declaración de pin para funcionamiento de electroválvula
void setup () {
  Serial.begin(115200);                 //Inicializar comunicación serial
  digitalWrite (valvula, LOW);          // definición de pin de válvula
  WiFi.begin(ssid, password);           // Inicialización del metodo de WiFi, se asocia con SSID y Password
  while (WiFi.status()!= WL_CONNECTED) {   //Ciclo para verificar estado de la conexión
  delay (300);                          //Tiempo de espera
  Serial.println("Connecting to WiFi.");   //Mensaje de establecimiento de conexión a Wi-Fi
  }
  Serial.println("Connected to the WiFi network"); //Mensaje de conexión a la red
  Serial.print("WiFi connected - ESP IP address: "); //Mensaje de Ip de esp
  Serial.println(WiFi.localIP()); //Impresión de Ip de ESP
  client. setServer(mqtt_server, 1883);  //Funcion para conectarse mediante el protocolo mqtt al mqtt server y definicion de puerto de comunicacion
  client. setCallback(callback);  //función de devolucion de llamada de mensajes
  sensort. begin(); /           /Inicializacion de operación del sensor de temperatura
  Ro = MQCalibration (MQ_PIN);    //Calibración del sensor, en el aire limpio
}
void callback (char* topic, byte* message, unsigned int length) {  //Bloque de agrupación entre el topic y el payload
  Serial.print("Message arrived on topic: "); //Mensaje de topíco
```

```
  Serial.print(topic); //impresión de la variable topic
  Serial.print(". Message: ");  //Imprimir la palabra message
  String messageTemp;  //variable string para guardar el contenido que tiene el mensaje
  for (int i = 0; i < length; i++) { //bucle para unión del mensaje guardadoen formato string
    Serial.print((char)message[i]);  // función para la toma de cada letra enviada
    messageTemp += (char)message[i]; //Función para a cada valor enviado se le suma el de llegada
  }
  Serial.println(messageTemp); //Impresión de la variable messagetemp
}
 void reconnect () {   //Bloque de reconexión
  while (! client.connected()) {  //Bucle mientras el cliente se mantenga conectado, establecer la comunicación
    Serial.print("Attempting MQTT connection..."); //Mensaje de cnexión al servidor utilizando MQTT
    if (client. connect("ESP32Blanquita")) {  //Función SI para la conexión del ESP32
      Serial.println("connected");  //Si se establece la conexión, imprmir un mensaje de conectado
      client. subscribe("esp32/output");  //Función para la subscripción del cliente
    } else {  //Función else para ejecutar otras sentencias
      Serial.print("failed, rc=");  //Mensaje de falla de conexión
      Serial.print(client. state());  //Imprimir el estado de la falla de conexión
      Serial.println(" try again in 5 seconds"); //Mensaje de establecer conexión en 5 segundos
      delay (5000);      //Tiempo de espera
    }
  }
}
void loop () {
  if (! client.connected())  //Función de reconexión a MQTT desde ESP32 sin bloqueo
    reconnect ();     //Estado d reconexión
  if(! client.loop())  // Función de llamado del loop paa que el cliente procese los mensajes entrates para enviar datos de publicación
y actualizar la conexión
    client. connect("ESP32Blanquita");  //Establecer conexión a clientes especificado
  int SensorVal = analogRead (Sensorhums);              //Declaración de variable y lectura del dato análogo del sensor de humedad
del suelo
  int HumSu = map (SensorVal, seco, mojado, 0, 100);   //Mapeo de los valores analogos y cálculo del porcentaje de humedad
  /****************** ACTIVACION ELECTROVAULA ***************************************************/
  if(HumSu >= 0 && HumSu <= 50){   // Función para activación de electroválvula
    digitalWrite(valvula, HIGH);   //Mandar pulso en alto
    delay(300);                  //Tiempo de espera
    digitalWrite(valvula, LOW);    //Mandar pulso en bajo
  }
  /****************** FIN ACTIVACION ELECTROVAULA ************************************************/
  int iPPM_MT = 0;
  iPPM_MT = MQGetGasPercentage(MQRead(MQ_PIN) / Ro, METANO);  //Adignaciòn de valor de valor de metano
  float HumAmbiente = sensort.readHumidity();         //Declaración de variables float para lectura de la humedad del ambiente
  float TempAmbiente = sensort.readTemperature();     //Declaración de variables float para lectura de la temperatura del ambiente
  Serial.print("METANO (ppm): ");   //Mensaje de variable metano
  Serial.print(iPPM_MT);           //Valor del metano
  Serial.print("  HumAmbiente (%): "); //Mensaje de variable humedad del ambiente
  Serial.print(HumAmbiente);           //Valor de humedad del ambiente
  Serial.print(" Temperature (C): ");  //Mensaje de variable temperatura
  Serial.print(TempAmbiente);         // Valor de temperatura del ambiente
    Serial.print(" Hum suelo (%): "); //Mensaje de Humedad del suelo
  Serial.println(HumSu);              //Valor del porcentaje de humedad del suelo
  float dat[] = {TempAmbiente, iPPM_MT, HumAmbiente , HumSu}; //Composición del array con las variables de los sensores
  char message[25];                                  //Definir tamaño del array
  sprintf (message, "%0.1f,%0.1f,%0.1f,%0.1f", dat[0], dat[1], dat[2], dat[3]); //Envío de datos en un mensaje, con 1 décima
  Serial.print("Datos: ");                                          //Imprimir mensaje datos
  Serial.println(message);                                          // Imprimir el mensajecon los valores de las variables
  client.publish("/compost/sensores", message);                             //Publicación del tópico
  delay (5000);                                          // Tiempo de espera
}
/****************** CÁLCULO DE RESISTENCIA MQ ***************************************
 Observacion: El sensor y la resistencia de carga forman un divisor de tensión.
 Dado el voltaje a través de la resistencia de carga y su resistencia, se podría derivar la resistencia del sensor.
```

```
************************************************************************************/

float MQResistanceCalculation(int raw_adc)       //Subproceso de calculo de resistencia MQ, raw_adc - lectura de valor bruto de
adc, que representa el voltaje
{
 return ( ((float)RL_VALUE * (1023 - raw_adc) / raw_adc)); //cálculo de la resistencia del sensor
}

/***************************** CALIBRACIÓN DE MQ ***************************************
Observación: Esta función asume que el sensor está en aire limpio. Utiliza MQResistanceCalculation
para calcular la resistencia del sensor en aire limpio y luego la divide con RO_CLEAN_AIR_FACTOR.
RO_CLEAN_AIR_FACTOR es aproximadamente 10, que difiere ligeramente entre diferentes sensores.
************************************************************************************/
float MQCalibration(int mq_pin)                  //Subproceso de calibración del sensor MQ2,
{
 int i;                                  //Declarar una variable en entero
 float val = 0;                            // Declarar una variable float con valor en 0
 for (i = 0; i < CALIBARAION_SAMPLE_TIMES; i++) {      //Ciclo repetitivo for para la toma de multiples muestras
  val += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin)); //Cálculo del valor de Ro del sensor
  delay(CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL);              //Intervalo de tiempo de espera
 }
 val = val / CALIBARAION_SAMPLE_TIMES;              //Cálculo del valor promedio
 val = val / RO_CLEAN_AIR_FACTOR;                 //División para RO_CLEAN_AIR_FACTOR, Ro resultado de acuerdo con
el gráfico en la hoja de especificaciones del sensor
 return val;                                //Retorno de valor calculado
}

/*****************************  LECTURA DE MQ ********************************************
Observación:  Esta función utiliza MQResistanceCalculation para calcular la resistencia del sensor (Rs).
El Rs cambia a medida que el sensor está en la diferente conformidad del objetivo
gas. Los tiempos de muestra y el intervalo de tiempo entre muestras se pueden configurar
cambiando la definición de las macros.
************************************************************************************/
float MQRead(int mq_pin)     //Subproceso de lectura MQ. Lectura del canal analógico
{
 int i;                  //Declaración de variable entera
 float rs = 0;             //Declaración de variable Rs en cero

 for (i = 0; i < READ_SAMPLE_TIMES; i++) {   //Ciclo repetitivo for para la toma de multiples muestras
  rs += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));  //Cálculo de rs a partir del calculo de la resistencia de MQ y la lectura
del valor analogo del sensor
  delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);                //Intervalo de muestras
 }

 rs = rs / READ_SAMPLE_TIMES;             //rs medido en el intervalo de muestras
 return rs;                          //retorno del valor de rs
}

/*****************************  MQ obtención de porcentaje de gas**********************************
Observación: Esta función pasa diferentes curvas a la función MQGetPercentage que
calcula las ppm (partes por millón) del gas objetivo.
************************************************************************************/
long MQGetGasPercentage(float rs_ro_ratio, int gas_id)  //Subproceso para obtención de porcentaje de gas
{
 if ( gas_id == METANO ) {   //Estructura de decisión, comparativa entre la variable gas_id y metano
  return MQGetPercentage(rs_ro_ratio, Metano); //retorno de la variable en ppm del gas metano
 }
 return 0;           //retorno del valor en cero
}

/*****************************  MQ Porcentaje valor no log *********************************
 Observación: Utilizando la pendiente y un punto de la recta. El x (valor logarítmico de ppm) de
```

```
 la línea podría derivarse si se proporciona y (rs_ro_ratio). Como es una coordenada logarítmica,
 se usa la potencia de 10 para convertir el resultado a un valor no logarítmico.
 ************************************************************************/
long  MQGetPercentage(float rs_ro_ratio, float *pcurve) //subproceso con las entradas de las variables rs_ro_ratio y pcurve, valor puntero a la curva del gas objetivo
{
  return (pow(10, ( ((log(rs_ro_ratio) - pcurve[1]) / pcurve[2]) + pcurve[0]))); //retorno del valor del gas metano, utilizando la potencia de 10 para u valor no logarítmico.
}
```

Anexo 7: Código de programación del modelo de red neuronal

- https://colab.research.google.com/drive/1vBFCQ0-q56IYI0LIn4aS05dsl1zFiYt2?usp=sharing

Anexo 8: Flujo de nodos del procesamiento de datos en Node – Red y modelo de red

- https://drive.google.com/drive/folders/1FX2yoSJAWdth00OGsTowa6XIQwZsxe83?usp=sharing

Anexo 9: Extracto de base de datos, filtrado entre 55 y 65 grados para el análisis de datos

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
40	24	56	64
40	23	56	62
40	24	56	61
50	24	56	62
30	22	56	61
40	22	56	62
40	22	56	62
40	22	56	60
40	22	56	61
40	23	56	62
40	23	56	62
30	21	57	61
40	23	57	61
30	22	56	62
30	20	56	61
30	20	56	61
30	20	56	58
30	20	56	61
30	21	56	61
30	21	56	61
30	21	57	62
30	21	57	60
30	21	57	62
20	19	56	63
30	21	56	62
30	20	56	62
20	19	56	62
20	19	57	64
20	19	57	61
30	20	56	61
20	19	57	61
20	19	57	63
20	19	57	61
20	19	57	61
30	20	57	62
20	20	57	62

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
20	19	57	62
20	19	57	61
20	19	57	61
20	19	57	60
20	19	58	59
20	19	58	61
20	19	58	60
20	20	58	60
20	20	58	61
20	19	58	60
20	20	58	61
20	20	58	61
20	19	58	61
30	20	58	59
20	20	58	61
20	19	58	60
20	19	58	60
20	18	58	60
20	18	58	61
20	18	58	61
20	18	58	60
20	18	58	61
20	18	58	61
20	18	58	61
20	18	58	60
20	18	58	60
20	18	58	60
20	19	58	61
20	18	58	60
20	18	58	61
20	18	58	61
20	18	58	60
20	18	58	60
20	18	58	60
20	18	58	60
20	18	58	61

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
20	18	58	60
20	19	58	61
20	19	58	61
20	18	58	61
20	18	58	61
20	18	58	60
20	19	58	59
20	17	58	59
20	17	58	60
20	17	58	60
20	18	58	60
20	18	58	61
20	18	58	60
20	18	58	59
20	18	58	60
20	18	58	61
20	17	58	62
20	18	58	61
20	17	58	61
20	17	58	61
20	17	59	59
20	17	58	59
20	17	59	59
20	17	59	60
20	17	59	60
20	17	59	61
20	17	59	59
20	17	59	59
20	17	59	59
20	17	59	62
20	18	59	60
20	18	59	59
20	18	59	62
20	18	59	59
20	18	59	60
20	18	59	61
20	18	59	60
20	18	59	60
20	18	59	60
20	18	59	59
20	18	59	59
20	18	59	59
20	18	59	60
20	17	59	61
20	18	59	59
20	18	59	58
20	18	59	59
20	18	59	59
20	18	59	61
20	18	59	59

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
20	18	59	60
20	17	59	61
20	18	59	60
10	16	59	61
10	16	59	60
20	18	59	59
20	17	58	61
20	18	59	53
20	17	59	59
20	18	59	60
20	18	59	59
10	16	59	59
20	18	59	61
20	18	59	60
20	18	58	60
20	17	58	60
20	17	59	61
20	17	59	61
20	17	58	61
10	16	59	62
10	16	59	61
20	16	59	61
20	17	58	59
10	16	59	61
20	17	58	63
20	18	58	62
20	17	58	61
20	18	58	61
20	18	58	61
20	18	58	61
20	18	58	62
20	17	58	61
20	17	58	62
20	18	58	61
20	17	58	60
20	17	58	62
20	17	57	62
20	17	58	61
20	17	58	61
20	18	57	62
20	17	57	61
20	17	57	61
20	17	57	62
20	18	57	59
20	17	57	62
20	17	57	61
20	17	57	63
20	17	57	61
20	17	57	62
20	17	57	62

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
20	17	57	61
20	18	57	62
20	17	57	62
20	17	57	63
20	17	57	62
20	18	57	61
20	18	57	63
20	18	57	64
20	18	57	62
20	17	57	63
20	18	57	62
20	17	57	62
20	17	57	62
20	17	57	62
20	17	57	63
20	17	57	63
20	17	57	62
20	17	57	62
20	18	57	62
20	17	57	62
20	17	57	62
20	17	57	62
20	18	57	63
20	17	57	62
20	17	57	63
20	17	57	62
20	17	57	64
20	17	57	62
20	18	57	63
20	17	57	63
20	17	57	62
20	17	57	63
20	17	57	61
20	17	57	64
20	18	57	62
20	17	57	62
20	17	57	61
20	17	57	63
20	17	57	60
20	17	57	61
20	17	57	62
20	17	56	63
20	17	57	61
20	18	56	62
20	17	56	64
20	17	57	63
20	17	57	63
20	17	57	62
20	17	57	63
20	17	57	63

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
20	17	57	63
20	17	57	62
20	17	57	64
20	18	57	62
20	18	57	61
20	18	57	63
20	18	57	62
20	18	57	62
20	18	57	63
20	18	57	64
20	18	57	63
20	18	57	62
20	18	57	63
20	17	57	64
20	18	57	63
20	17	57	63
20	18	57	63
20	18	57	62
20	17	57	63
20	17	57	62
20	18	57	64
20	18	57	63
20	18	56	63
20	17	57	63
20	18	57	62
20	17	57	62
20	18	57	63
20	17	57	64
20	19	57	61
20	18	57	63
20	18	57	63
20	18	57	64
20	18	57	62
20	18	57	63
20	18	57	63
20	18	57	63
20	17	57	63
20	17	57	60
20	17	57	62
20	18	57	63
20	18	57	63
20	18	57	64
20	17	57	66
20	18	57	63
20	18	57	62
20	18	56	63
20	17	57	63
20	18	56	63
20	17	57	61
20	17	57	64

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
20	18	57	62
20	17	57	63
20	17	57	63
20	18	57	61
10	16	57	64
20	16	57	62
10	16	57	63
10	16	57	62
20	16	57	64
20	16	57	62
20	17	57	64
0	10	60	62
0	9	60	62
0	9	60	62
0	10	60	61
0	9	59	62
0	10	60	61
0	10	60	61
0	9	60	62
0	9	60	62
0	11	59	64
0	9	59	62
0	9	59	61
0	9	60	62
0	9	59	61
0	10	59	61
0	10	59	61
0	10	60	60
0	10	60	63
0	9	60	62
0	9	60	62
0	10	60	62
0	9	59	60
0	9	60	61
0	10	59	62
0	10	59	61
0	10	59	62
0	10	59	61
0	9	59	61
0	9	59	60
0	9	59	61
0	9	59	62
0	9	59	62
0	9	59	60
0	10	59	61
0	10	59	61
0	9	59	62
0	10	60	62
0	9	59	62
0	10	60	63

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
0	9	60	61
20	17	60	62
20	18	60	63
30	20	60	62
30	20	60	61
30	20	60	63
20	18	60	62
60	27	60	62
0	10	56	61
0	10	57	50
99	33	60	58
189	46	61	57
179	45	62	56
179	45	62	57
179	45	63	56
179	45	63	56
179	45	62	55
199	46	60	56
0	8	58	55
0	8	59	55
0	8	60	56
189	46	61	54
189	45	61	54
189	46	61	54
0	7	59	55
0	11	58	56
0	10	59	57
0	11	60	56
189	46	61	56
179	45	62	54
179	45	63	55
179	45	62	54
189	46	61	53
0	9	60	56
10	12	59	53
189	46	61	54
179	45	62	55
179	45	63	53
179	45	63	53
179	45	62	53
189	46	61	55
20	17	60	57
0	10	59	54
0	10	59	55
0	10	59	54
20	19	60	54
199	46	61	58
189	46	61	53
30	20	60	52
0	9	59	55

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
10	13	57	55
10	14	56	56
10	13	56	57
10	12	56	56
0	12	57	57
0	10	58	59
0	8	59	54
0	11	56	61
0	11	57	62
0	9	58	58
0	8	58	56
0	10	56	57
0	11	56	75
0	11	56	74
0	10	56	74
0	12	56	72
0	12	56	73
0	11	57	72
0	13	56	72
0	13	56	74
0	12	57	72
0	11	57	73
0	10	57	73

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
0	14	56	73
0	12	56	73
0	13	57	71
0	12	56	72
40	22	56	47
40	22	56	49
40	22	57	49
30	21	57	52
30	21	58	51
20	19	56	72
20	19	57	72
20	18	58	72
20	19	59	69
20	17	60	67
209	46	60	67
199	46	61	65
209	46	61	66
70	28	60	64
10	16	59	67
10	16	58	67
20	19	56	67
20	19	56	66

Anexo 10: Extracto de base de datos para el análisis con filtro temperaturas menor a 55 grados

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
348	70	20	88
239	26	26	89
348	70	20	90
348	68	20	90
348	68	20	89
239	26	26	89
348	68	20	90
348	70	20	88
348	68	20	89
348	68	20	90
348	68	20	89
239	26	26	90
348	68	20	89
348	68	20	89
348	70	20	89
348	68	20	88
239	26	26	88
348	68	20	86
348	68	20	90
348	68	20	89
348	68	20	89
348	68	20	90

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
348	69	20	88
348	68	20	88
348	68	20	88
239	26	26	90
348	68	20	90
348	68	20	89
348	68	20	90
348	70	20	90
348	68	20	90
249	26	26	91
348	68	20	89
348	70	20	89
348	68	20	89
239	26	26	88
348	68	20	89
348	70	20	88
348	70	20	88
348	70	20	89
239	26	26	89
358	70	20	91
348	70	20	89
348	70	20	89

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
348	68	20	88
348	70	20	85
348	70	20	88
239	26	26	88
348	69	20	87
348	70	20	89
348	68	20	88
348	70	20	89
239	26	26	88
348	68	20	88
348	68	20	89
348	70	20	90
348	70	20	88
348	72	19	89
348	70	20	88
348	70	20	88
348	71	20	88
348	70	20	88
348	70	20	88
239	26	26	87
348	70	20	88
348	72	20	89
348	71	19	88
348	70	20	89
348	70	20	88
348	72	20	89
239	26	26	89
348	72	20	89
239	26	26	89
348	72	19	89
348	72	19	89
348	72	19	88
348	71	19	88
348	72	19	89
348	71	19	88
348	70	20	89
348	71	19	89
348	71	19	90
348	71	19	87
348	71	19	88
348	71	20	89
348	71	20	88
348	71	19	89
348	71	19	88
348	71	19	89
358	71	19	92
348	71	19	90
348	71	19	89
239	26	26	88
348	71	19	89

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
348	71	19	89
358	71	19	91
239	26	26	88
348	71	19	87
348	71	19	89
348	71	19	88
348	71	19	88
348	71	19	86
348	71	19	88
348	71	19	90
348	71	19	88
348	71	19	87
348	71	19	88
348	72	18	88
348	71	19	87
348	71	20	88
348	71	19	88
348	71	19	89
338	60	27	80
338	59	27	81
338	58	27	83
338	58	27	80
338	59	28	82
338	56	27	81
338	49	27	82
328	46	27	81
328	47	28	81
328	48	30	79
328	45	32	78
318	44	34	73
328	42	36	75
308	40	38	75
249	36	39	75
229	35	41	77
209	34	42	77
169	32	43	76
149	30	44	77
129	29	45	76
119	28	45	76
89	26	46	78
99	27	46	76
80	25	47	77
80	26	47	76
60	25	47	76
50	24	48	74
0	12	46	77
10	15	44	77
20	17	44	77
20	19	45	77
30	21	46	76

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
20	20	46	77
30	21	47	75
30	22	46	75
50	22	45	74
70	23	44	76
99	25	42	76
80	22	41	76
60	19	39	77
119	23	36	77
169	27	35	76
189	27	34	77
179	26	34	79
209	28	33	80
229	30	33	77
249	33	34	77
258	33	35	77
258	35	35	76
278	36	36	77
258	35	37	75
258	35	37	75
268	37	37	74
268	36	38	75
258	36	38	74
249	37	40	74
209	34	42	72
169	33	44	71
109	29	47	70
70	27	49	70
50	24	51	69
40	24	52	70
30	22	51	70
50	24	51	69
40	23	50	70
50	24	49	69
60	25	48	70
80	26	47	70
89	27	46	70
109	28	45	69
129	30	45	70
149	30	44	71
159	32	43	70
189	34	43	69
209	35	42	70
219	36	42	69
219	35	42	71
229	36	42	70
229	36	42	69
249	38	42	69
239	37	42	69
239	37	42	69

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
258	39	42	69
239	37	42	67
249	38	42	70
249	38	42	70
239	37	42	68
258	39	42	69
249	37	42	71
258	39	42	69
249	38	42	68
249	38	42	69
268	40	42	70
268	39	42	69
258	40	42	68
249	38	42	68
258	39	42	69
268	40	42	67
268	40	42	69
258	40	43	68
268	40	42	68
258	40	43	68
258	39	43	67
258	40	43	67
249	39	43	68
239	38	43	67
249	39	43	65
258	39	43	69
258	39	43	68
258	39	43	67
258	40	43	68
258	40	43	68
258	39	42	67
278	41	42	68
278	41	42	67
298	42	41	69
298	41	41	71
298	41	40	70
298	41	41	71
298	41	40	69
298	41	41	71
298	41	41	69
288	41	41	67
298	42	41	69
298	42	41	70
278	40	41	68
288	42	42	67
278	40	42	69
268	40	42	68
278	40	42	70
258	39	42	68
278	40	41	68

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
298	42	41	65
298	41	41	69
278	40	41	70
278	40	41	68
288	41	41	70
278	40	41	69
268	40	42	69
268	39	42	69
268	39	42	69
268	40	42	68
249	38	42	68
268	40	42	71
258	39	42	67
258	39	42	67
268	39	42	70
249	38	42	69
249	38	42	67
268	40	42	69
268	40	42	67
258	39	42	67
258	39	42	68
278	41	42	70
278	40	42	69
278	40	41	67
278	40	41	70
278	41	41	69
278	41	42	69
258	39	42	69
258	39	42	68
258	39	42	68
258	39	42	66
258	39	42	67
278	40	41	68
288	41	40	68
288	40	40	70
318	42	39	72
308	41	39	70
328	42	39	74
318	43	39	70
318	42	39	71
318	42	39	72
318	43	39	71
298	41	40	69
298	42	40	69
298	42	41	69
278	40	41	65
268	39	41	69
288	41	41	68
278	40	41	69
308	41	40	69

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
298	41	40	70
318	43	39	69
318	44	39	69
318	44	39	71
328	45	38	71
328	43	38	78
328	43	38	73
318	44	38	71
318	42	39	70
318	42	39	70
318	42	38	71
328	43	38	72
318	42	38	70
318	43	37	72
318	42	37	71
318	43	37	72
328	43	37	73
318	44	36	72
318	43	36	72
318	43	36	72
328	45	36	73
328	46	35	73
328	44	35	73
328	45	35	74
328	46	35	73
328	46	35	73
328	47	35	74
328	47	34	74
328	46	35	75
328	47	35	74
328	47	35	74
328	45	36	74
328	46	36	72
318	44	36	72
328	44	36	74
318	46	35	70
318	45	35	72
328	46	35	72
318	46	35	71
328	48	35	73
328	48	35	74
328	48	35	74
328	48	35	74
328	45	36	72
318	44	36	71
328	45	36	72
318	44	36	72
328	45	36	73
328	46	36	72
328	45	36	73

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
328	47	35	74
328	47	35	72
328	46	35	73
328	47	34	73
328	46	34	73
328	48	34	74
328	47	34	75
328	48	35	72
328	46	35	74
318	47	34	71
328	46	34	73
328	46	34	74
328	48	34	74
328	47	34	74
328	48	33	75
328	48	33	74
328	49	32	74
328	49	33	75
328	50	32	74
328	50	32	74
328	51	32	74
328	51	32	72
328	51	32	76
328	51	31	74
328	53	31	74
328	53	31	75
328	52	31	75
328	54	31	75
328	54	31	76
328	52	31	74
328	52	30	75
328	52	30	77
328	53	30	77
328	51	30	75
328	53	30	76
328	53	30	76
328	54	30	76
328	52	30	77
328	53	30	78
328	52	29	77
328	54	29	76
328	53	30	78
328	54	30	77
328	53	30	77
328	54	30	78
328	52	30	78
328	52	31	78
328	51	32	77
328	50	32	77
328	50	32	74

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
328	48	33	73
328	49	33	76
328	48	33	74
328	48	33	74
328	49	32	75
328	50	33	72
328	50	32	74
328	50	32	77
328	50	32	74
328	50	32	75
328	48	32	75
328	50	32	75
328	49	32	76
328	50	33	74
328	49	32	77
318	49	32	72
328	50	32	74
328	49	32	75
328	51	32	75
328	50	31	75
328	50	31	75
328	51	31	74
328	50	31	75
328	51	31	76
328	52	31	76
328	51	31	75
328	51	31	75
328	53	31	76
328	53	31	76
328	52	31	77
328	51	31	76
328	52	30	77
328	53	30	75
328	53	31	76
328	54	30	75
328	53	30	76
328	54	31	74
328	53	30	76
328	54	31	76
328	53	31	75
338	54	31	79
328	52	31	75
328	54	31	75
328	53	31	73
328	52	31	73
328	52	31	74
328	52	31	76
328	53	31	76
328	52	31	74
328	51	31	75

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
328	53	31	75
328	52	31	75
328	52	31	77
328	54	31	74
328	54	31	77
328	53	31	75
328	51	31	75
328	50	32	75
328	50	32	75
328	50	31	75
328	51	31	75
328	51	31	75
328	49	31	75
328	52	31	74
328	51	31	77
328	53	31	75
328	53	31	75
328	51	30	75
328	52	30	75
328	51	30	76
328	52	30	72
328	51	30	76
328	51	30	75
328	52	30	77
328	51	30	76
328	53	30	75
328	53	30	76
328	52	30	75
328	52	30	76
328	54	30	76
328	52	29	77
328	53	30	76
328	54	29	77
328	53	29	78
328	52	29	76
328	53	29	77
328	53	29	75
328	55	29	77
328	54	29	77
328	53	29	76
328	53	29	78
328	53	29	77
328	54	29	77
328	52	29	77
328	52	29	77
328	53	29	77
328	53	29	77
328	53	29	77
328	51	29	76
328	52	29	77

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
328	52	29	76
328	52	28	76
328	52	28	77
328	51	28	78
328	51	29	78
328	52	28	77
328	51	28	77
328	52	28	77
328	50	28	76
328	50	28	77
328	51	28	77
328	50	28	78
328	51	28	79
328	52	28	78
328	51	28	77
328	51	28	78
328	53	28	78
328	52	28	77
328	52	28	76
328	51	28	78
328	50	28	76
328	51	28	77
328	52	28	77
328	50	28	78
328	50	28	77
328	50	28	79
328	51	28	78
328	51	28	78
328	50	28	78
328	49	28	75
328	50	28	78
328	51	28	78
328	51	28	78
328	49	28	78
328	51	27	77
328	51	28	77
328	51	28	77
328	50	28	78
328	50	28	78
328	50	28	77
328	52	28	79
328	51	28	78
328	52	28	77
328	50	28	78
328	51	28	78
328	49	28	76
328	49	29	77
328	49	29	76
328	49	29	77
328	49	29	76

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
308	40	37	72
308	40	37	71
308	40	37	71
298	39	37	71
318	40	36	72
318	41	36	72
318	40	36	74
318	39	36	74
308	39	36	74
308	39	36	73
318	40	36	71
308	39	36	71
318	41	36	72
328	41	36	74
318	42	35	71
318	40	35	72
318	40	35	72
318	40	34	73
318	41	34	72
318	40	33	73
318	40	33	74
318	42	33	74
318	42	32	74
318	42	32	74
328	44	32	75
328	45	32	76
328	44	31	75
328	46	31	76
328	47	31	74
328	45	31	75
328	46	30	78
328	48	30	78
328	47	30	75
328	49	30	74
328	47	31	75
328	47	32	75
328	45	33	74
318	42	34	72
318	40	36	73
278	38	38	72
258	37	38	74
229	34	39	73
209	33	40	74
179	31	41	74
159	30	42	73
149	29	42	73
129	28	42	71
139	29	43	73
119	27	43	75
129	28	43	74

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
109	26	43	73
109	27	44	72
89	25	44	73
89	25	44	73
89	26	44	72
89	26	44	72
89	25	44	74
70	24	44	72
70	24	45	73
70	24	45	72
70	25	45	71
80	25	44	72
99	25	43	72
129	28	42	74
169	29	40	73
199	31	38	72
229	33	37	74
268	36	36	74
288	37	35	73
318	39	34	74
318	42	33	74
318	42	33	74
328	43	32	77
328	44	32	75
328	47	32	75
328	48	31	75
328	47	31	74
328	48	31	76
328	50	30	76
318	49	30	69
328	51	30	76
328	50	29	77
328	52	29	76
328	52	29	77
328	51	29	77
328	53	29	77
328	53	29	76
338	52	29	81
328	52	29	77
328	54	28	77
328	53	29	76
328	53	28	77
328	53	28	77
328	55	28	76
328	54	28	78
328	53	28	77
328	55	28	78
328	54	28	77
328	55	28	77
328	53	28	77

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
328	55	28	77
328	53	28	78
328	54	28	77
328	55	28	78
328	55	28	77
338	55	28	80
338	55	28	79
328	55	28	78
338	54	28	79
328	54	28	77
328	54	28	77
328	54	28	78
328	54	27	78
328	54	27	77
328	54	27	77
328	54	27	79
328	54	27	77
328	54	27	77
328	54	27	79
328	55	27	78
328	56	27	77
328	54	27	78
328	54	27	77
338	56	27	79
338	56	27	80
328	54	27	77
328	56	27	75
328	56	27	78
328	54	27	76
328	55	27	78
338	54	27	79
328	55	27	77
328	55	27	77
328	54	27	79
328	54	27	78
328	54	27	78
338	56	27	79
328	56	27	77
328	56	27	77
328	56	27	78
328	55	27	78
328	55	27	77
328	55	27	77
328	57	26	77
328	55	27	77
328	57	27	78
328	55	27	78
338	55	27	79
338	55	27	79
328	52	27	78

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
328	50	27	78
328	48	27	79
328	47	27	81
328	49	26	80
318	48	26	73
328	47	26	80
328	47	26	79
328	48	25	80
328	51	26	81
328	50	28	79
328	49	30	77
328	47	32	77
328	45	34	77
328	43	36	73
318	41	38	75
308	41	39	74
268	38	41	73
249	38	42	72
209	35	43	71
189	34	44	72
169	33	45	72
179	34	46	71
159	32	46	71
139	31	47	71
139	32	47	71
109	30	48	69
109	31	49	70
89	29	49	65
89	30	50	68
80	28	50	68
80	28	50	66
80	29	50	67
80	29	51	67
70	27	51	68
70	27	51	67
70	28	51	64
70	28	51	67
70	28	51	68
70	28	52	64
70	28	52	66
70	28	52	66
70	28	52	64
70	28	52	65
70	28	52	64
60	26	52	66
70	27	52	66
60	26	53	64
70	27	53	64
70	27	53	65
70	27	53	64

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
60	26	53	64
70	27	53	64
60	26	53	64
70	27	53	63
60	25	53	62
60	25	54	64
60	25	54	64
60	26	54	63
60	26	54	63
60	26	54	62
60	26	54	63
60	25	54	62
50	25	54	64
50	24	54	60
0	9	51	61
20	17	50	63
20	19	51	62
30	20	52	63
40	22	53	62
30	21	53	63
40	22	54	57
30	22	54	61
0	10	53	62
10	14	53	63
20	18	54	62
20	19	54	63
20	19	54	61
199	26	26	61
199	26	26	59
199	26	26	61
199	26	26	60
0	12	53	63
20	17	51	64
20	17	49	64
20	19	47	65
40	21	46	66
40	21	45	66
80	25	44	68
70	24	43	67
89	25	42	67
119	26	41	68
119	27	41	65
169	30	40	72
179	31	40	70
199	32	39	69
219	33	38	69
209	32	38	69
249	35	37	71
239	34	37	67
258	35	36	71

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
278	37	36	71
278	36	36	72
298	38	36	71
288	37	35	72
318	39	35	74
318	40	34	73
318	39	34	73
318	41	34	72
318	40	34	72
318	40	34	72
318	42	33	74
328	41	33	76
318	43	32	74
318	42	33	73
318	42	32	74
318	42	32	74
328	44	32	75
318	43	32	74
318	44	32	74
318	45	32	74
318	44	31	71
328	44	31	75
318	44	30	75
318	46	31	74
318	46	30	72
328	45	30	75
318	45	31	74
328	47	30	76
328	46	30	77
328	48	30	75
328	48	30	74
328	47	30	76
328	49	30	75
338	67	20	80
338	66	20	81
338	67	20	81
328	62	20	79
229	26	26	81
338	63	19	81
338	62	19	81
338	62	19	81
229	26	26	83
338	64	20	80
338	64	20	80
328	63	20	79
229	26	26	80
338	65	20	81
328	63	20	79
328	65	20	79
338	62	20	84

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
239	26	26	85
338	62	20	84
338	62	20	83
338	62	20	85
338	63	20	85
338	63	20	84
348	63	20	87
338	63	20	84
338	63	20	84
239	26	26	85
338	65	20	84
338	65	20	84
348	65	20	86
239	26	26	84
338	65	20	83
338	64	20	84
338	64	20	84
239	26	26	84
338	64	20	85
338	64	20	82
239	26	26	85
338	64	20	85
338	64	21	84
338	66	20	84
338	64	21	84
338	66	20	84
338	64	21	83
338	64	21	84
239	26	26	86
338	64	21	83
338	66	21	83
338	64	21	85
338	64	21	84
338	64	21	81
338	64	21	84
348	64	21	86
338	64	21	84
338	64	21	84
338	66	20	81
338	65	21	84
348	65	21	85
338	65	21	83
338	63	21	84
348	65	21	85
348	65	21	85
348	65	21	85
348	65	22	85
338	63	22	83
338	63	22	84
348	64	22	85

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
348	63	22	86
338	63	22	83
338	64	22	82
338	64	22	83
338	64	22	83
338	64	22	83
348	64	22	85
338	64	22	83
338	64	22	83
338	62	22	84
338	62	22	84
348	62	22	86
338	64	22	83
338	62	22	85
338	63	22	84
338	62	22	83
338	62	22	84
338	62	22	83
338	62	23	82
338	63	23	82
229	26	26	83
338	62	23	80
229	26	26	82
338	63	23	84
338	63	23	83
338	62	22	83
338	62	23	83
338	63	23	82
338	61	23	85
338	60	23	83
338	61	23	83
338	61	23	83
338	60	23	83
338	60	23	84
338	61	23	82
338	61	23	81
338	60	24	84
338	61	24	83
338	60	24	82
338	60	24	83
338	61	23	83
338	59	24	82
338	61	24	82
338	59	24	81
338	61	24	82
338	59	24	83
338	60	24	82
338	60	24	81
338	60	24	83
338	60	24	82

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
338	58	25	81
338	60	24	82
338	60	24	82
338	59	25	82
338	60	25	80
338	59	25	82
338	60	25	81
338	58	25	81
338	59	25	81
338	59	25	81
328	57	25	79
338	57	25	81
338	57	25	79
338	57	25	81
338	57	26	80
338	58	26	79
338	57	26	80
338	58	26	79
338	56	26	80
328	58	26	75
338	58	26	79
338	58	26	79
338	56	26	79
338	57	26	79
328	56	26	75
328	56	26	78
338	55	26	80
328	55	27	79

Metano	humAmbiente	tempAmbiente	humSuelo
328	57	26	78
328	55	27	78
328	56	27	76
328	55	27	79
328	54	27	78
328	54	27	78
328	54	27	77
328	55	28	78
328	55	28	78
328	55	28	74
328	53	28	75
328	53	28	75
328	54	29	77
328	54	28	76
328	53	29	77
328	53	29	77
328	53	29	75
328	53	29	75
328	53	29	76
328	53	29	75
328	53	29	77
328	51	29	74
328	51	29	77
328	52	29	75
328	51	29	75
328	52	30	74
328	52	30	75
328	51	30	74