



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

**Red IoT comunitaria con tecnología LoRa para cultivos urbanos inteligentes:  
Implementación**

**Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica**

Autor:

Alex Renán Campués Ibadango

Director:

Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi PhD.

Ibarra - Ecuador

2024



# 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:	100436804-7		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Campués Ibadango Alex Renán		
DIRECCIÓN:	Calle 27 de Noviembre y Luis Enrique Cevallos (San Antonio de Ibarra)		
EMAIL:	arcampuesi@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	2933577	TELÉFONO MÓVIL:	0988071063

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Red IoT comunitaria con tecnología LoRa para cultivos urbanos inteligentes: Implementación
AUTOR (ES):	Campués Ibadango Alex Renán
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	19/07/2024
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Milton Gavilánez Villalobos, MSc Ing. Xavier Rosero Chandi PhD.

#### 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) 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 (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 19 días del mes de julio de 2024

#### EL AUTOR:

(Firma).....  

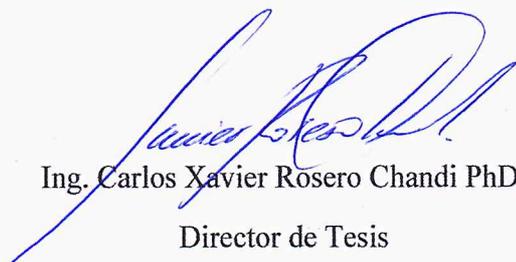

Nombre: Campués Ibadango Alex Renán



**Universidad Técnica del Norte**  
**Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas**  
**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN**  
**CURRICULAR**

En mi calidad de director del trabajo de grado “RED IOT COMUNITARIA CON TECNOLOGÍA LORA PARA CULTIVOS URBANOS INTELIGENTES: IMPLEMENTACIÓN”, presentado por el egresado Alex Renán Campués Ibadango, que opta por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, 19 de julio de 2024



Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi PhD.  
Director de Tesis



**Universidad Técnica del Norte**  
**Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas**  
**APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR**

El Tribunal Examinador del trabajo de titulación Red IoT comunitaria con tecnología LoRa para cultivos urbanos inteligentes: Implementación. Elaborado por Alex Renán Campués Ibadango, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

  
Ing. Carlos Xavier Rosero Chandi PhD.  
Director de Tesis

  
Ing. Alejandro Milton Gavilánez Villalobos MSc.  
Asesor de Tesis

## **Dedicatorias**

Con el corazón lleno de alegría dedico este proyecto a:

Mis padres, Antonio y Marcia, por su amor infinito en cada etapa de mi vida. Gracias por guiarme y enseñarme el valor del trabajo duro, la perseverancia y la honestidad.

Mi querida hermana, Grace Aracely, por ser mi alegría y fortaleza en todo momento, sobre todo en aquellos más difíciles.

Mi hermano gemelo, Carlitos que desde el cielo me protege y bendice. Gracias por cuidarme cada día y por permitirme hacer realidad uno de mis sueños.

Mi querida familia, que a lo largo del camino me han sostenido con sus palabras de aliento, con sus consejos, con sus actos de solidaridad, pero sobre todo con el amor que hace grande y fuerte a una familia.

Mi novia Angie, por ser mi apoyo incondicional, mi ayuda constante y mi tesoro de amor. Y a mi hija, Angie Danaé que desde ya se ha convertido en el motor que impulsa mi vida y mis sueños más anhelados.

*Alex*

## **Agradecimientos**

*"La gratitud es la memoria del corazón"*

Quiero agradecer,

A Dios, por haberme acompañado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes.

A mis padres, Antonio y Marcia, por su dedicación y sacrificio para brindarme las mejores oportunidades. Gracias por ser el motor que me motiva a cumplir cada una de mis metas y por nunca dejar de creer en mí.

A mi hermana Grace, por ser mi alegría y tranquilidad en los momentos difíciles.

A mis amigos sacerdotes, P. Saúl y P. Pablo por su cercanía y apoyo incondicional.

A mis amigos de universidad, Alejandro, Teresa e Ismael por su amistad incondicional y por todos los momentos compartidos durante la carrera.

A mi tutor de trabajo de grado, Ing. Xavier Rosero, por impartirme conocimiento y por ayudarme a crecer como persona.

A mi novia, Angie por mantener mi corazón despierto en el amor y a los grandes desafíos.

*Alex*

# Índice general

<b>Cesión de derechos de autor a favor de la Universidad Técnica del Norte</b>	<b>II</b>
<b>Declaración</b>	<b>III</b>
<b>Certificación del director del trabajo de grado</b>	<b>IV</b>
<b>Dedicatorias</b>	<b>V</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>VI</b>
<b>Índice general</b>	<b>VII</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>XIII</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>XVII</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIX</b>
<b>Abstract</b>	<b>XX</b>
<b>I. Introducción</b>	<b>1</b>

1.1. Planteamiento del problema . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	2
1.2.1. Objetivo general . . . . .	2
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	2
1.3. Justificación . . . . .	3
1.4. Alcance . . . . .	4
<b>II. Revisión literaria</b>	<b>5</b>
2.1. Agricultura urbana . . . . .	5
2.1.1. Cultivo urbano . . . . .	5
2.1.2. Cultivos urbanos en Imbabura . . . . .	6
2.2. Requerimientos de los cultivos . . . . .	6
2.3. Parámetros de interés de los cultivos . . . . .	7
2.3.1. Humedad del suelo . . . . .	7
2.3.2. Humedad relativa . . . . .	7
2.3.3. Temperatura . . . . .	8
2.4. LoRa en cultivos inteligentes . . . . .	8
2.5. Tecnologías de largo alcance . . . . .	11
2.5.1. LoRA . . . . .	13
2.5.2. LoRaWAN . . . . .	14
2.5.2.1. Arquitectura . . . . .	14
2.5.2.2. Clases de dispositivos . . . . .	15
2.5.2.3. Seguridad . . . . .	16

2.5.3.	LPWAN . . . . .	17
2.6.	The Things Network (TTN) . . . . .	18
2.6.1.	The Things Stack (TTS) . . . . .	19
2.6.1.1.	Arquitectura . . . . .	19
2.6.2.	Dispositivos finales . . . . .	21
2.6.3.	Gateways . . . . .	21
2.6.4.	Integraciones . . . . .	22
2.7.	Justificación . . . . .	22
<b>III.Desarrollo</b>		<b>24</b>
3.1.	Metodología . . . . .	24
3.2.	Descripción . . . . .	25
3.2.1.	Requerimientos . . . . .	25
3.2.2.	Diagrama de bloques . . . . .	26
3.3.	Sensores . . . . .	26
3.3.1.	Sensor DS18B20 . . . . .	27
3.3.1.1.	Criterio de selección del sensor . . . . .	27
3.3.1.2.	Esquema de conexión . . . . .	28
3.3.2.	Sensor FC-28 . . . . .	29
3.3.2.1.	Criterio de selección del sensor . . . . .	29
3.3.2.2.	Esquema de conexión . . . . .	29
3.3.2.3.	Lectura del sensor . . . . .	30
3.3.2.4.	Diagrama de flujo . . . . .	31

3.3.3.	Sensor DHT11 . . . . .	32
3.3.3.1.	Criterio de selección del sensor . . . . .	32
3.3.3.2.	Esquema de conexión . . . . .	33
3.3.3.3.	Lectura del sensor . . . . .	33
3.3.3.4.	Diagrama de flujo . . . . .	34
3.4.	Transceptores LoRa . . . . .	35
3.4.1.	Criterio de selección del sensor . . . . .	35
3.4.2.	Diagrama de flujo . . . . .	36
3.4.3.	Circuito regulador . . . . .	37
3.4.4.	Filtro pasa bajos . . . . .	39
3.4.5.	Microcontrolador . . . . .	41
3.4.6.	Fuente de alimentación . . . . .	42
3.4.6.1.	Criterio de selección de la fuente . . . . .	42
3.4.6.2.	Consumo eléctrico . . . . .	43
3.4.7.	Esquema de conexión . . . . .	44
3.4.8.	Diseño de PCB . . . . .	45
3.4.9.	Caja hermética . . . . .	45
3.4.9.1.	Criterio de selección de la caja . . . . .	45
3.4.9.2.	Base para la caja hermética . . . . .	46
3.4.10.	Decodificación de datos . . . . .	47
3.5.	Gateway . . . . .	50
3.5.1.	Criterio de selección del gateway . . . . .	50

3.5.2.	Configuración del gateway . . . . .	52
3.6.	Servidor web . . . . .	53
3.6.1.	Creación de cuenta . . . . .	53
3.6.2.	Creación de gateway . . . . .	54
3.6.3.	Creación de aplicación . . . . .	57
3.6.4.	Creación del dispositivo . . . . .	58
3.7.	Integración . . . . .	60
3.7.1.	Creación de cuenta . . . . .	61
3.7.2.	Vinculación con TTN . . . . .	63
<b>IV.</b>	<b>Implementación y pruebas</b>	<b>66</b>
4.1.	Puesta a punto del sistema . . . . .	66
4.1.1.	Montaje de componentes . . . . .	66
4.1.2.	Ubicación de los transceptores . . . . .	67
4.1.3.	Visualización de datos . . . . .	68
4.2.	Pruebas y resultados . . . . .	70
4.2.1.	Aplicación web . . . . .	70
4.2.2.	Tiempo de muestreo . . . . .	72
4.2.3.	Exactitud de mediciones . . . . .	75
4.2.4.	Potencia de señal . . . . .	77
<b>V.</b>	<b>Conclusiones y trabajo futuro</b>	<b>79</b>
5.1.	Conclusiones . . . . .	79

5.2. Recomendaciones . . . . .	80
5.3. Trabajo a futuro . . . . .	81
<b>Anexos</b>	<b>89</b>
<b>A. Presupuesto</b>	<b>90</b>
<b>B. Plano de la base de la caja</b>	<b>92</b>
<b>C. Plano de PCB</b>	<b>94</b>
<b>D. Esquema de conexión de componentes</b>	<b>96</b>
<b>E. Datasheet Componentes</b>	<b>97</b>
<b>F. Código Arduino</b>	<b>100</b>
<b>G. Manual de usuario dispositivos LoRa</b>	<b>104</b>

# Índice de figuras

2.1. Características de una red LPWAN [1] . . . . .	9
2.2. Redes inalámbricas [2] . . . . .	12
2.3. Arquitectura LoRaWAN [3] . . . . .	15
2.4. Clases de dispositivos [4] . . . . .	16
2.5. Características de una red LPWAN [5] . . . . .	18
2.6. Distribución de gateways a nivel mundial [6] . . . . .	19
2.7. Arquitectura de The Things Stack [7] . . . . .	21
3.1. Diagrama del Modelo Cascada. . . . .	25
3.2. Diagrama de bloques de la red IoT. . . . .	26
3.3. Sensor de temperatura del suelo DS18B20 [8] . . . . .	27
3.4. Distribución de pines del sensor LSN50 [9] . . . . .	28
3.5. Conexión del DS18B20 al sensor LSN50. . . . .	28
3.6. Sensor de humedad FC-28 [10] . . . . .	29
3.7. Esquema de conexión del FC-28. . . . .	30
3.8. Diagrama de flujo del sensor FC-28. . . . .	31

3.9. Sensor de humedad DHT11 [11] . . . . .	32
3.10. Esquema de pines del DHT11. . . . .	33
3.11. Diagrama de flujo del sensor FC-28. . . . .	35
3.12. Sensor LoRa LSN50 [12] . . . . .	36
3.13. Diagrama de flujo del dispositivo final. . . . .	37
3.14. Regulador de voltaje de salida fija [13] . . . . .	38
3.15. Esquema de conexión del regulador. . . . .	39
3.16. Filtro RC de paso bajo. . . . .	39
3.17. Frecuencia de corte en Proteus. . . . .	40
3.18. Esquema de conexión de los filtros pasa bajos. . . . .	41
3.19. Microcontrolador Arduino Nano [12] . . . . .	42
3.20. Pila Lion de 3.7v [14] . . . . .	43
3.21. Esque de conexón de los componentes. . . . .	44
3.22. Diseño de PCB en software EasyEDA. . . . .	45
3.23. Caja rectangular para sistema electrónico. . . . .	46
3.24. Diseño de la base para la caja hermética. . . . .	47
3.25. Código de carga útil. . . . .	48
3.26. Comandos AT en serial port utility. . . . .	49
3.27. Valores del dispositivo LoRa en TTN. . . . .	50
3.28. Gateway LoRa LG308N [15] . . . . .	51
3.29. Pantalla principal The Things Stack. . . . .	53
3.30. Mención gratuita The Things Stack. . . . .	54

3.31. Pantalla de ingreso a The Things Stack. . . . .	54
3.32. Creación de gateway. . . . .	55
3.33. Registro de gateway. . . . .	55
3.34. Campos de configuración de gateway. . . . .	55
3.35. Configuración de Gateway en TTN. . . . .	56
3.36. Gateway configuración LoRaWAN. . . . .	56
3.37. Pantalla del gateway conectado. . . . .	56
3.38. Selección de aplicación en TTN. . . . .	57
3.39. Entorno para la creación de la aplicación. . . . .	57
3.40. Campos de identificación de la aplicación. . . . .	58
3.41. Pantalla principal de la aplicación creada en TTN. . . . .	58
3.42. Entorno de aplicación connectivitytest. . . . .	59
3.43. Registro de dispositivo LoRa. . . . .	59
3.44. Datos para registrar el dispositivo LoRa. . . . .	60
3.45. Dispositivo registrado en TTN. . . . .	60
3.46. Ventana principal de Datacake. . . . .	61
3.47. Creación de cuenta en Datacake. . . . .	61
3.48. Campos para la creación de cuenta en Datacake. . . . .	62
3.49. Pantalla principal del entorno Datacake. . . . .	62
3.50. Pantalla principal del dispositivo de TTN. . . . .	63
3.51. Lista de webhooks disponibles. . . . .	63
3.52. Configuración de cuenta en Datacake. . . . .	64

3.53. Visualización del token en Datacake. . . . .	64
3.54. Pantalla de registro de Datacake en TTN. . . . .	65
4.1. Montaje de elementos en la caja hermética. . . . .	67
4.2. Modelo de estaca para colocación de dispositivos. . . . .	67
4.3. Colocación de la caja en la estaca. . . . .	68
4.4. Ubicación de los dispositivos en el terreno. . . . .	68
4.5. Datos de monitor serial del FC-28. . . . .	69
4.6. Visualización de datos en TTN. . . . .	69
4.7. Visualización de datos en Datacake. . . . .	70
4.8. Link de conexión con el dispositivo móvil. . . . .	70
4.9. Visualización de datos en el dispositivo móvil. . . . .	71
4.10. Tiempo de llegada de datos a TTN. . . . .	73
4.11. Tiempo de llegada de datos a Datacake. . . . .	74
4.12. Valores de potencia de señal. . . . .	78
4.13. Valores de fuerza de señal y nivel de ruido. . . . .	78

# Índice de tablas

2.1. Comparación de tecnologías de largo alcance. . . . .	13
2.2. Componentes de la arquitectura de TTS. . . . .	20
3.1. Características de sensores de temperatura. . . . .	27
3.2. Características de sensores de humedad del suelo. . . . .	29
3.3. Pines del FC-28. . . . .	30
3.4. Valores de PWM y voltaje máximo y mínimo. . . . .	30
3.5. Equivalencias de valores PWM y humedad del FC-28. . . . .	31
3.6. Características de los sensores de humedad relativa. . . . .	32
3.7. Pines del DHT11. . . . .	33
3.8. Equivalencia de pwm a humedad máxima. . . . .	33
3.9. Equivalencias de valores pwm y humedad. . . . .	34
3.10. Características de los dispositivos LoRa. . . . .	35
3.11. Características de los microcontroladores. . . . .	41
3.12. Características de los tipos de baterías. . . . .	42
3.13. Consumo de sensores. . . . .	43

3.14. Características de los tipos de cajas herméticas. . . . .	46
3.15. Pines de conexión del adaptador USB y LSN50. . . . .	48
3.16. Lista de comandos AT. . . . .	49
3.17. Características de los tipos de gateways. . . . .	51
3.18. Pasos de configuración de gateway. . . . .	52
3.19. Configuración LoRaWAN. . . . .	53
4.1. Tiempos de muestreo de datos en TTN. . . . .	72
4.2. Tiempos de muestreo de datos en Datacake. . . . .	74
4.3. Datos comparativos prototipo - medidor digital. . . . .	75
4.4. Cálculos de error de humedad. . . . .	76
4.5. Cálculos de error de temperatura. . . . .	77

## Resumen

Con el objetivo de mejorar el monitoreo de los cultivos urbanos, el siguiente trabajo de grado consiste en implementar una red IoT (Internet de las Cosas) con sensores LoRA (Largo Alcance) que envían información a un servidor web local a través de un gateway. Este servidor se encarga de traducir los datos a un lenguaje amigable con el usuario. Para desarrollar el presente trabajo se realiza una investigación previa sobre los principales componentes de las redes de sensores, de las tecnologías inalámbricas, de las variables físicas importantes en un cultivo y de los cultivos urbanos existentes en la ciudad. Posteriormente, se diseña el prototipo para comprobar su funcionamiento, el cual está compuesto por sensores de humedad relativa, temperatura del suelo, humedad del suelo, placas arduino, reguladores, condensadores, resistencias, leds y fuentes de alimentación. Se realizan pruebas para comprobar el funcionamiento de los dispositivos finales, el envío eficiente de información al servidor web, el monitoreo de las variables importantes en los cultivos y el libre acceso del usuario a dicha información. Finalmente, este trabajo ofrece una serie de beneficios y abre nuevas posibilidades para el desarrollo de los cultivos urbanos.

**Palabras clave :** Cultivos urbanos, red IoT, LoRa, sensores, variables físicas, servidor web.

## Abstract

To improve the monitoring of urban crops, the following degree work consists of implementing an IoT (Internet of Things) network with LoRA (Long Range) sensors that send information to a local web server through a gateway. This server is responsible for translating the data into a user-friendly language. To develop this work, previous research on the main components of sensor networks, wireless technologies, the important physical variables in a crop and the existing urban crops in the city is carried out. Subsequently, the prototype is designed to test its operation, composed of relative humidity sensors, soil temperature, soil moisture, Arduino boards, regulators, capacitors, resistors, LEDs and power supplies. Tests are carried out to verify the operation of the final devices, the efficient sending of information to the web server, the monitoring of important variables in the crops and the user's free access to such information. Finally, this work offers a series of benefits and opens new possibilities for developing urban crops.

**Keywords:** Urban crops, IoT network, LoRa, sensors, physical variables, web server.

# Capítulo I

## Introducción

### 1.1. Planteamiento del problema

La escasez de alimentos debido al crecimiento elevado de la población se presenta como el espacio propicio para desarrollar nuevas tecnologías. La agricultura urbana surge como una estrategia efectiva para la familia y la comunidad al momento de acceder a alimentos frescos, nutritivos y saludables, mediante el cultivo en pequeños espacios de tierra [16]. Cuba es el ejemplo más significativo en América Latina ya que el gobierno fomenta la creación de huertos urbanos para cubrir la demanda de alimentos [17].

En el contexto local se ha incentivado la creación de huertos urbanos para el cultivo de hortalizas de consumo familiar, como una alternativa de alimentación sustentable y saludable [18]. Por otro lado, existen trabajos de grado que implementan sistemas de monitoreo basados en IoT para cultivos, sin embargo, no existe una red de acceso público que permita monitorear cultivos urbanos para mejorar la producción y la calidad de los productos [19].

Las diversas aplicaciones de IoT y comunicación LoRa ayudan a resolver problemas relacionados con la agricultura originados por el uso poco frecuente de tecnología y la gran demanda de productos [20]. Gracias a la aceptación de esta tecnología de comunicación es posible implementar una red IoT que mejore el proceso de suministro de nutrientes y crecimiento de cultivos, mediante la manipulación y análisis de datos [21].

En la ciudad de Ibarra, se promueve la implementación de huertos urbanos como una alternativa sustentable y saludable para la producción de hortalizas destinadas al consumo familiar. Sin embargo, se evidencia la ausencia de una red de acceso público que permita el monitoreo de los cultivos urbanos. En este contexto, se destaca el potencial de las tecnologías de IoT y la comunicación LoRa para abordar los desafíos agrícolas, facilitando la implementación de una red que mejore el desarrollo de los cultivos.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Desarrollar una red IoT con tecnología LoRa para el monitoreo de cultivos dentro de áreas urbanas.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Analizar las características, funciones, configuraciones de las tecnologías existentes y parámetros de los cultivos.

Diseñar un sistema de red IoT para el monitoreo en tiempo real de los parámetros físicos en

cultivos urbanos.

Implementar la estructura de red para la recopilación de datos y evaluación de su desempeño.

### **1.3. Justificación**

La industria 4.0 actualmente está presente a la mayor parte de países desarrollados y cada vez llega a más lugares, el internet de las cosas es parte fundamental de este tipo de industria [22]. En la ciudad de Ibarra son pocos los lugares que aplican este tipo de tecnología, a pesar de los beneficios que esta brinda. En el ámbito universitario sirve como una herramienta educativa, y en otras áreas, como la agricultura, sirve para realizar el monitoreo en tiempo real de los cultivos, mediante la adquisición de datos actualizados.

Los beneficios de la tecnología LoRa han despertado un gran interés en la comunidad para la monitorización en tiempo real de variables ambientales, especialmente en la agricultura. Esto permite tener un control sobre las condiciones climáticas desde cualquier lugar, facilitando la regulación de las condiciones en beneficio de los cultivos y mejorando la calidad de los productos finales. Además, a diferencia de otras tecnologías emergentes basadas en IoT, LoRa brinda la posibilidad de crear completamente los diferentes elementos de la red y personalizar según las necesidades [23].

La importancia de implementar esta red en la agricultura es demostrar que se puede usar tecnología inalámbrica en cultivos de áreas urbanas y monitorear espacios estratégicos del suelo. Para que esto sea posible es necesario utilizar tecnología LoRa debido a las grandes ventajas que ofrece. La gran ventaja que ofrece es que con un solo Gateway y diferentes protocolos

de comunicación se puede transmitir los datos a un servidor en la nube [24]. Si este tipo de aplicaciones se diversifican y extrapolan a otros campos de la vida cotidiana se necesita de redes confiables de no pago para enviar la información a través de IoT con el fin de usarla en la creación de modelos inteligentes de control automático.

La importancia de implementar esta red para los estudiantes de ingeniería mecatrónica es contribuir en la enseñanza de las técnicas y conocimientos adquiridos en la universidad a lo largo de los años. Además, brinda a los estudiantes la oportunidad de desarrollar actitudes y aptitudes necesarias para la vida profesional.

## **1.4. Alcance**

El trabajo de grado busca desarrollar una red IoT con tecnología LoRa que permita el libre acceso y fácil conectividad dentro de un área urbana para mejorar la calidad de los cultivos.

Para comprobar el funcionamiento de la red se busca sensor variables a través de la implementación de sensores que permitan medir los datos más relevantes y de interés en un cultivo.

La información obtenida de los sensores se envía a un punto de acceso y luego a un servidor web que sirve como elemento principal para almacenar y gestionar los datos. Se evalúa el tiempo de envío de la información desde los sensores hasta el servidor.

La implementación de la red permite a los usuarios ahorrar tiempo en la búsqueda de información, aumentar la eficiencia, optimizar la comunicación y flujo de datos.

# Capítulo II

## Revisión literaria

### 2.1. Agricultura urbana

Se define como la producción de alimentos dentro de la extensión que comprende una ciudad: en patios de casas, terrazas, huertos frutales privados y también espacios públicos que se pueden aprovechar; en todos estos casos se evidencia una actividad en pequeña escala [25]. Muchas actividades agrícolas se originan debido a los asentamientos humanos, en su gran mayoría sobre ecosistemas urbanos a pesar de la sostenibilidad en diversos aspectos: económico, social y ambiental. Los productos que se originan en estos espacios se destinan a satisfacer las necesidades de las familias y de la población en general.

#### 2.1.1. Cultivo urbano

Son espacios de tierra reducidos que se destinan al cultivo de hortalizas, raíces, tubérculos, hierbas, entre otros [26]. Al carecer de una extensión amplia para el cultivo se considera opcio-

nes como contenedores y mesas de cultivos, aplicando técnicas que favorezcan el cuidado del medio ambiente.

### **2.1.2. Cultivos urbanos en Imbabura**

La provincia de Imbabura es muy rica en la producción de hortalizas, acelga, zanahoria, rábano, tomate, entre otras [27]. La producción de estos alimentos ayuda a solventar las necesidades básicas de una familia dando lugar a productos sanos, variados y producidos en casa. En este sentido los cultivos urbanos generan ingresos adicionales, incentivan la unión familiar y ayudan a preservar los medios de vida.

En la actualidad, el Gobierno Municipal de Ibarra incentiva la creación de huertos ecológicos urbanos para el cultivo de hortalizas, plantas medicinales para consumo familiar y plantas ornamentales [28]. Además, se ofrece capacitación y asistencia técnica en la página web del Municipio para implementar este tipo de cultivos.

## **2.2. Requerimientos de los cultivos**

La influencia del clima es un factor importante en el crecimiento de los cultivos [29]. Las plantas deben tener una temperatura adecuada para su desarrollo ya que por encima o por debajo de esta se llega a un punto crítico. El límite para el frío está marcado por la congelación de la planta y para el calor la desnaturalización de las proteínas. Por otro lado, el agua constituye un factor importante en los cultivos ya que es la vía por la cual los nutrientes se desplazan. En la naturaleza, el agua se presenta en diferentes estados uno de ellos es el vapor de agua

atmosférico o humedad relativa la misma que debe ser controlada para que su aparición por tiempos prolongados no origine enfermedades en las plantas.

## **2.3. Parámetros de interés de los cultivos**

### **2.3.1. Humedad del suelo**

Conocer los valores de humedad del suelo ayuda a tomar las mejores decisiones en cuanto al riego como por ejemplo la cantidad de agua que se debe aplicar y cuando aplicarla [30]. Por otro lado, si el riego es excesivo puede producir costos de consumo de energía, agua, fertilizantes y pérdida de la producción.

### **2.3.2. Humedad relativa**

La humedad relativa es la relación que existe entre la cantidad de agua que posee el aire y el valor máximo de agua que puede retener el aire en una temperatura dada [31]. Para ejemplificar mejor el concepto se detalla tres casos posibles: El primer caso, si la humedad relativa es del 50 % el aire puede absorber la misma cantidad de agua para llegar a un 100 %, el segundo caso es cuando la humedad tiene un valor de 35 % y el aire tiene que absorber mucha cantidad de agua para llegar al 100 % y finalmente, cuando la humedad es del 90 % el aire esta lleno de agua y solo puede absorber una cantidad pequeña para llegar al máximo.

### **2.3.3. Temperatura**

La temperatura es un factor que afecta positiva o negativamente en el desarrollo de las plantas dependiendo de su influencia sobre la velocidad de los procesos metabólicos [32]. Cuando existen temperaturas bajas se produce un retardo en el desarrollo de las plantas, mientras que los valores altos aceleran el proceso de crecimiento y disminuyen el ciclo vegetativo.

## **2.4. LoRa en cultivos inteligentes**

El Internet de las Cosas (IoT) crea redes de objetos físicos que incorporan sensores, software y otras tecnologías con el propósito de compartir datos con otros dispositivos y sistemas a través de internet [33]. Estos objetos comprenden desde artefactos domésticos hasta herramientas avanzadas de carácter industrial. Se consideran un parte esencial del futuro, con enfoque en la automatización de procesos para disminuir la intervención humana. El IoT recopila datos mediante sensores, estos se procesan mediante controladores y se ejecutan a través de los actuadores [34].

La Figura 2.1 muestra los componentes principales de IoT. En la base se encuentran las aplicaciones en diversos campos como: agricultura, oficinas, ciudades, actividades de comercio, transporte, entre otros [35]. El siguiente nivel está compuesto por sensores y objetos que recopilan datos como: cámaras de seguridad, sensores de incendio, medidores de energía, entre otros. Y en la capa superior se encuentran los servicios comunes de tecnologías de información como: almacenamiento de información, análisis de datos, aplicaciones para visualizar datos y aplicaciones de medidas de seguridad.

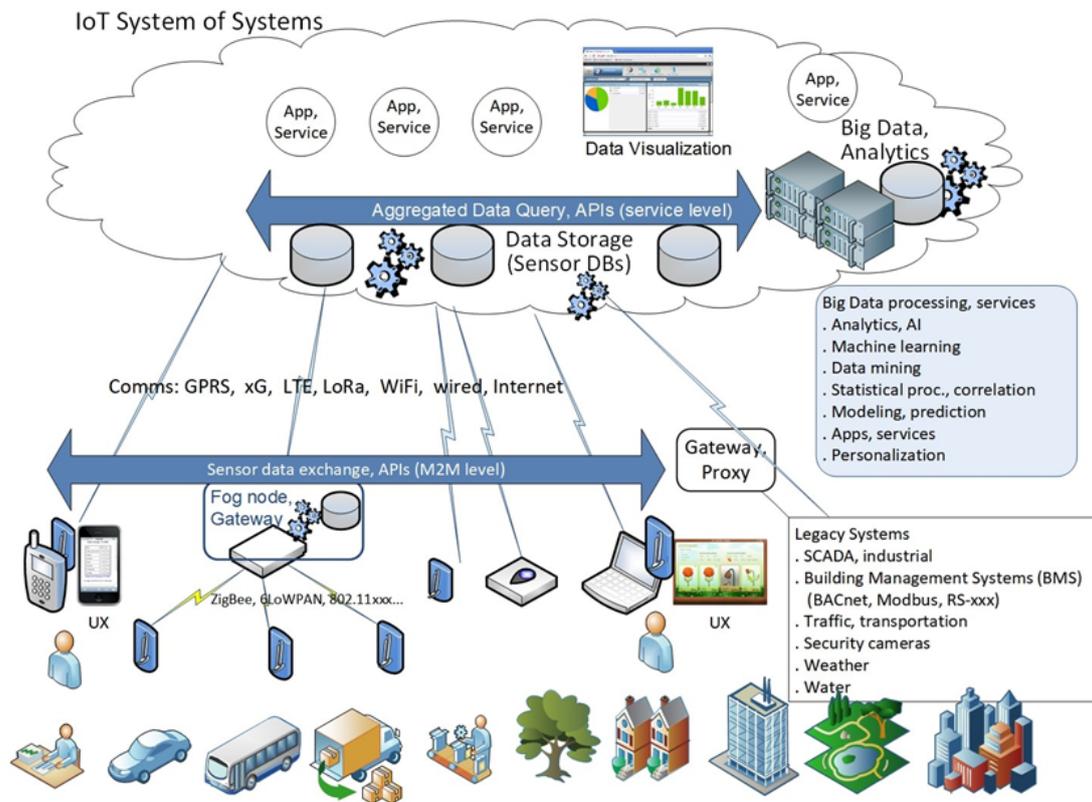


Figura 2.1: Características de una red LPWAN [1]

Existen otros sensores que se encargan de establecer la comunicación con el sistema IoT y la Internet utilizando dispositivos intermedios denominados Gateways [35]. Estos dispositivos tienen una gran capacidad ya que conectan varios sensores mediante una red de área local y de manera inalámbrica.

El IoT y la tecnología LoRa contribuyen en diferentes áreas como la agricultura, específicamente en el desarrollo de cultivos urbanos. La implementación de sensores permite obtener información de variables como temperatura, humedad del suelo y del ambiente con el fin de monitorear el crecimiento de las plantas dentro de una área urbana como se evidencia en los trabajos que siguen

La implementación de sensores permite transmitir información en tiempo real al ser insta-

lados de manera adecuada en los cultivos, se puede realizar un seguimiento preciso de variables como humedad, temperatura y nivel de agua [36]. Estos parámetros son de gran importancia para obtener cultivos más nutritivos, con un desarrollo óptimo, disminuir la muerte de los mismos ocasionados por exceso o falta de nutrientes, recortar el tiempo de cosecha y costos de producción.

Además, es importante destacar que con el desarrollo de este sistema se puede demostrar la implementación de tecnología inalámbrica a cultivos y monitorizar zonas más extensas mediante varios nodos y LPWAN (Low Power Wide Area Networks). En este proyecto se monitorea con un solo nodo final al cual están conectados varios sensores, para la implementación de la red se utiliza la tecnología LoRa debido a las grandes ventajas que ofrece. Lo interesante de LoRa es que con un sólo Gateway y diferentes protocolos de comunicación se puede transmitir los datos a un servidor en la nube.

En el trabajo presentado en [19] se implementa un sistema que se encarga de monitorear la humedad de suelo y georeferenciación a través de la transmisión de información de largo alcance. El sistema esta hecho en hardware y software libre y cuenta con una alimentacion de energia autosuficiente, capaz de tomar datos de humedad de suelo mediante un sensor. Esta información llega y se almacena en una base de datos de una plataforma gratuita de IoT. Además, se cuenta con una aplicación que permite visualizar la información detallada, la cual, ayuda a tomar decisiones en la programación de riego de agua para los cultivos.

La investigación realizada en [37] se centra en el mejoramiento de la agricultura a través de la implementación de nodos finales, puerta de enlace y plataforma IoT con la finalidad de crear una interfaz gráfica de usuario y de esta manera monitorear los equipos a distancias considera-

bles. Para determinar que tan sensible es la señal, se dispuso los nodos finales en una zona con desniveles y llena de vegetación.

Los resultados demuestran que el uso del IoT conjuntamente con la tecnología LoRa mejoran el desarrollo de la agricultura en espacios grandes de terreno, pero no se evidencia la aplicación de esta tecnología en espacios urbanos, por lo tanto, es importante comprobar su funcionamiento y los beneficios que puede generar en la población una red comunitaria de transmisión de datos en tiempo real.

## **2.5. Tecnologías de largo alcance**

Son las que se encargan de conectar dispositivos a través de ondas de radio sin la necesidad de utilizar cables de ningún tipo [38]. Los dispositivos más comunes en utilizar este tipo de redes son: computadoras portátiles, computadoras de escritorio, celulares, tablets y dispositivos localizadores. Las redes inalámbricas deben convertir las señales de información para que sean adecuadas para la transmisión a través del aire. Además, los dispositivos pueden conectarse sin problema a pesar de que se encuentren a unos cuantos metros o kilómetros de distancia.

Las redes inalámbricas se clasifican de acuerdo con el área de aplicación y el alcance de la señal, estas son: Red de Área Local - Local Area Network (LAN), Red de Area extensa - Wide Área Network (WAN), Red de Area personal - Personal Area Network (PAN) y Red de Área Metropolitana - Metropolitan Área Network (MAN) las cuales se caracterizan por flujo de transferencia adecuado y alto consumo de potencia [19]. También existen las redes de área extensa de baja potencia: LPWAN que se caracterizan por el bajo consumo de potencia en la

transmisión de datos y la implementación de nodos que se alimentan por baterías.

La Figura 2.2 ilustra los tipos de redes inalámbricas

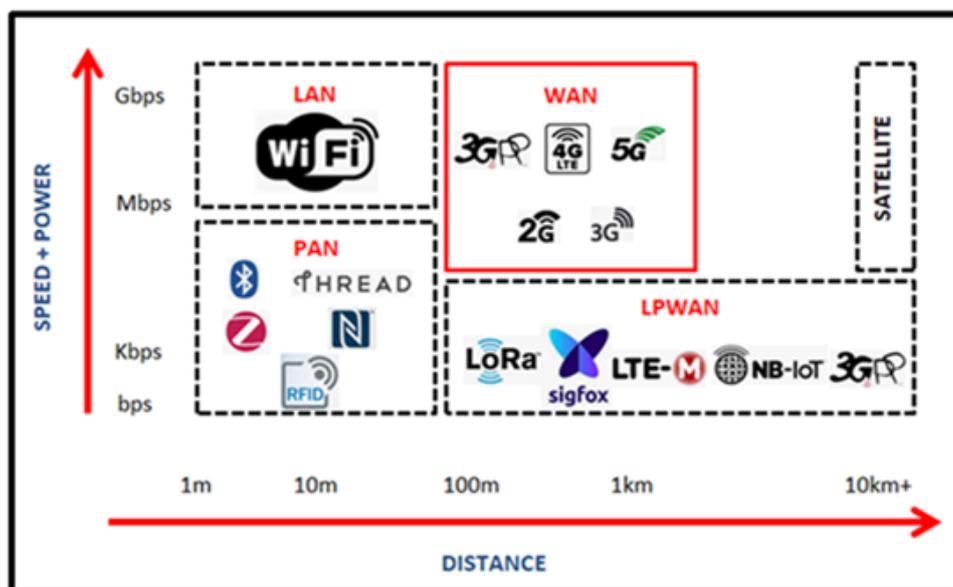


Figura 2.2: Redes inalámbricas [2]

Existen diferentes tipos de red IoT destinadas al largo alcance, en la Tabla 2.1 , se describe las características de las tecnologías inalámbricas, en donde sobresale la tecnología LoRaWAN ya que cuenta con una velocidad de datos variable para la transmisión a distancias equivalentes a las 20 millas. Además, puede operar en anchos de banda de ISM (Industrial, Scientific, and Medical) hasta 1GHz [39].

Protocolos Inalámbricos	Frecuencia	Gama	Velocidad de Datos	Topología	Requiere Gateway	Propietario o Abierto
ZIGBEE	2.4 GHz 915 MHz (US) 868 MHz (EU)	100-325 pies	250 kbps 40 kbps 20 kbps	Malla	Si	Abierto
WIFI	2.4 GHz 5 GHz	115-230	7 Gbps	Estrella	No	Abierto
LoRa WAN	150 MHz 1 GHz	Hasta 20 millas	50 kbps	Estrella	Si	Abierto
SIGFOX	900 MHz (US) 868 MHz (EU)	Más de 20 millas	100 bps	Estrella	Si	Propietario
3G Y 4G Celular	700 MHz 2500MHz	Más de 20 millas	200 kbps (3G) 10 Mbps (4G)	Estrella	Si	Abierto

Tabla 2.1: Comparación de tecnologías de largo alcance.

### 2.5.1. LoRA

Su significado proviene de las siglas en inglés Long Range, que quiere decir Largo Alcance. Esta tecnología esta destinada principalmente al Internet de las cosas con un nuevo enfoque de modulación inalámbrica para conectividad de largo alcance y bajo consumo [40]. El protocolo LoRa está compuesto por una serie de capas que incluyen a su vez a aplicaciones y dispositivos para comunicaciones seguras. Cada puerta de enlace tiene la capacidad de manejar hasta millones de nodos. Las señales se pueden extender a distancias considerables por lo que se necesita menos estructura para construir una red rápida y económica. LoRa fue desarrollada en un principio por Cycleo de Grenoble, pero luego se creó una alianza sin fines de lucro que dió lugar a LoRaWAN, un protocolo de comunicación construido sobre la modulación LoRa.

## **2.5.2. LoRaWAN**

Es un protocolo de comunicación abierto e inalámbrico diseñado específicamente para la transmisión de datos entre dispositivos IoT [41]. LoRaWAN no requiere de una licencia para hacer uso de sus frecuencias y por lo tanto, no generan ningún costo económico. Las frecuencias en las que puede operar dependen de la ubicación geográfica, entre las más utilizadas se encuentran: 915 MHz en América del Norte, 433 MHz en Asia, 868 MHz en Europa y 923 MHz en Australia y Nueva Zelanda. Esta tecnología resulta de la aplicación de LoRa sobre las redes LPWAN y está implementada en las capas de red y de enlace de datos, sobre la capa física a la que funciona LoRa.

### **2.5.2.1. Arquitectura**

Una arquitectura LoRaWAN está compuesta por nodos finales, gateways, servidor de red y servidor de aplicaciones [41]. Los nodos forman una topología de tipo estrella, en la que se encuentran conectados a distintos gateways los mismos que se encargan de traducir los datos que reciben y enviarlos al servidor de red. En este tipo de redes los datos que se transmiten no se encuentran asociados a un solo Gateway en concreto sino a varios. En el caso de que exista un solo Gateway este cumplirá las veces de servidor de red.

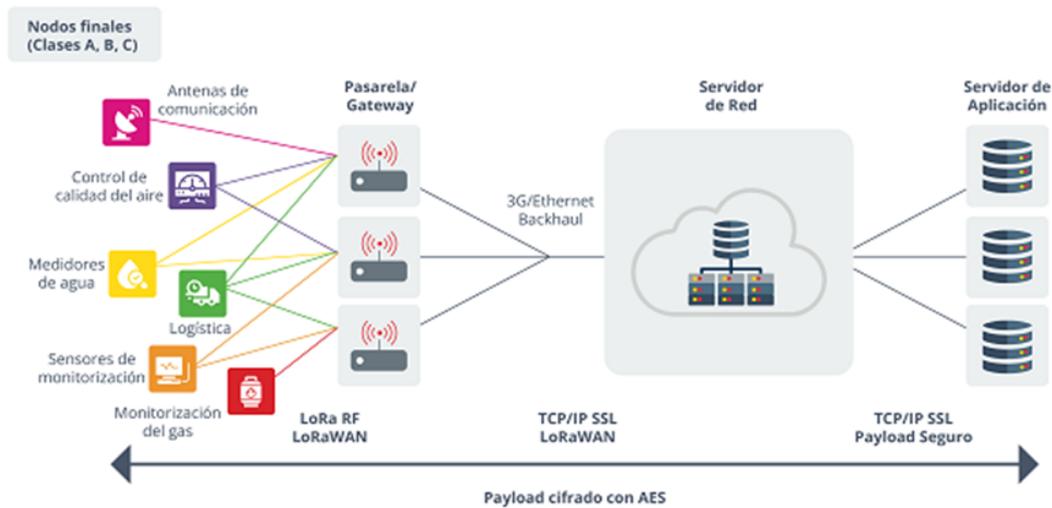


Figura 2.3: Arquitectura LoRaWAN [3]

### 2.5.2.2. Clases de dispositivos

Existen tres clases de nodos en las redes LoRaWAN, los mismos que se clasifican de acuerdo al consumo de energía y a la forma en la que se comunican [41].

- Clase A: En esta clase de nodos se inicia la comunicación de forma asíncrona y se caracteriza por enviar ventanas de solo escucha (ventanas RX) luego de enviar los datos, lo que permite a los dispositivos cambiar a un modo de reposo.
- Clase B: Los dispositivos se sincronizan con la red a través de beacons (paquetes que generan los gateways e indican el tiempo de disponibilidad de las ventanas de transmisión). En esta clase se permite a los nodos crear ventanas de recepción sin haber realizado una transmisión con anterioridad, lo que aumenta la capacidad de recibir información, pero con un consumo de energía mayor.
- Clase C: En esta clase, los nodos se encuentran la mayor parte del tiempo en modo solo

escucha y cambian a modo de transmisión cuando es necesario. Son los que más energía consumen al estar continuamente escuchando en la red.



Figura 2.4: Clases de dispositivos [4]

### 2.5.2.3. Seguridad

Una seguridad sólida es una característica fundamental en el diseño de cualquier red LP-WAN. LoRaWAN consta de dos capas de seguridad [42]. NwkSKey que es la clave de sesión de red y se utiliza para la interacción entre el nodo y el network server con el objetivo de verificar la validez de los mensajes. AppSKey se utiliza en cambio para el cifrado y descifrado de los mensajes de la aplicación.

El flujo de datos desde el nodo hasta la aplicación incluye cifrado y descifrado al principio y final de la cadena, de manera que solo el nodo y la aplicación tengan acceso a los datos de texto sin formato. El nivel de seguridad es importante para que el nodo sea auténtico y pueda conectarse al network server. Existen dos maneras de implementar la seguridad de las claves:

- Activación mediante personalización (ABP): Los nodos finales pueden ser programados desde el punto de fábrica con la información de autenticación para una red LoRaWAN [42].
- Activación inalámbrica (OTAA): Es el método más adecuado ya que las claves pueden ser generadas [42]. Utiliza un ID de aplicación, un ID de dispositivo, y una red de dispositivo asignado para obtener la dirección, NwkSKey y AppSKey.

### **2.5.3. LPWAN**

Este tipo de redes son tecnologías de comunicación inalámbrica que permiten transmitir datos entre un dispositivo y una estación denominada Gateway separados por varios metros o kilómetros utilizando un bajo consumo de energía [43]. Gracias a sus características es posible el despliegue de iniciativas de IoT actuales ya que permiten instalar muchos nodos en un área amplia y alimentarlos de baterías que duran años. En la actualidad existen tres grandes tecnologías LPWAN: Sigfox, NB-IoT y LoRaWAN, las dos primeras ofrecen una serie de beneficios con una suscripción ya que se encuentran a cargo de empresas privadas mientras que LoRaWAN permite la aplicación de redes propias y que se puedan autogestionar.

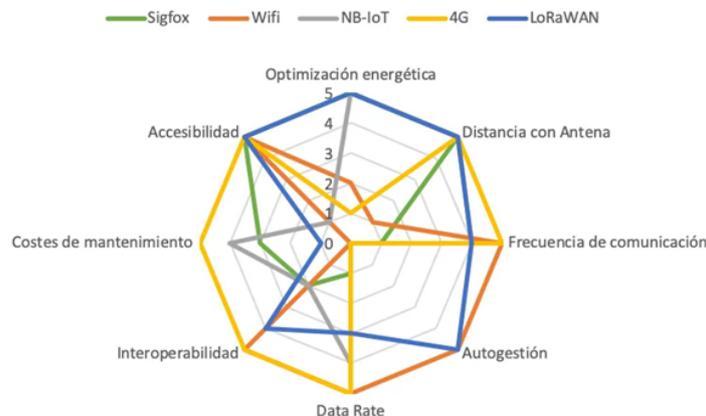


Figura 2.5: Características de una red LPWAN [5]

La autogestión de una red propia de tipo LoRaWAN facilita la accesibilidad del usuario y la integración de los equipos de esta tecnología de comunicación con el resto de los sistemas de control que generan los usuarios.

## 2.6. The Things Network (TTN)

Es un espacio colaborativo de escala mundial de Internet de las Cosas que permite crear redes, dispositivos y soluciones utilizando tecnología LoRaWAN [44]. Esta iniciativa nació con el propósito de crear una comunidad inclusiva donde cualquier persona o empresa pueda participar en proyectos relacionados con IoT, siempre y cuando el beneficio sea de carácter social.

Investigadores del mundo entero están utilizando este recurso para llevar a cabo proyectos innovadores como: gestión inteligente de edificaciones, agricultura y ganadería inteligente, monitorización del clima, ciudades inteligentes, entre otros [44]. En la actualidad, TTN tiene registrados más de 80.000 usuarios y aproximadamente 9000 gateways alrededor del mundo.



Figura 2.6: Distribución de gateways a nivel mundial [6]

La tecnología LoRaWAN es ideal para crear proyectos en TTN debido a su gran cobertura, bajo consumo de energía y bajo costo económico de los dispositivos y de la infraestructura [44]. Gracias a estas características es posible cubrir una ciudad con un alcance de 10 kilómetros y abastecer miles de dispositivos usando tan solo una docena de gateways.

### **2.6.1. The Things Stack (TTS)**

Es un servidor de red LoRaWAN de código abierto que permite ser implementado en varios escenarios, compatible con todas las versiones de LoRaWAN y adecuado para realizar configuraciones de seguridad y gestionar tiempo de vida de los dispositivos [45].

#### **2.6.1.1. Arquitectura**

The Things Stack tiene una arquitectura que se encuentra impulsada por API (Application Programming Interface) y que genera una gran confiabilidad y disponibilidad de servicios [7].

Los componentes principales se muestran en la Tabla 2.2.

<b>Componente</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Descripción</b>
Gateway Server	GS	Mantiene conexiones con gateways que admiten los protocolos Basic Station, UDP, MQTT y gRPC
Network Server	NS	Maneja la capa de red LoRaWAN, los parámetros regionales y la velocidad de datos adaptativa (ADR)
Aplication Server	AS	Maneja la capa de aplicación LoRaWAN, incluida la descodificación y descifrado de datos de enlace ascendente
Identity Server	IS	Proporciona los registros que almacenan aplicaciones con sus dispositivos finales, gateways, usuarios
Join Server	JS	Maneja el flujo de unión de LoRaWAN, incluida la autenticación del servidor de aplicaciones y de red y la generación de claves de sesión
Device Claiming Server	GCS	Genera archivos de configuración para gateways UDP, administra su configuración y actualizaciones de firmware
Console	NA	Es la aplicación web que se utiliza para interactuar con The Things Stack

Tabla 2.2: Componentes de la arquitectura de TTS.

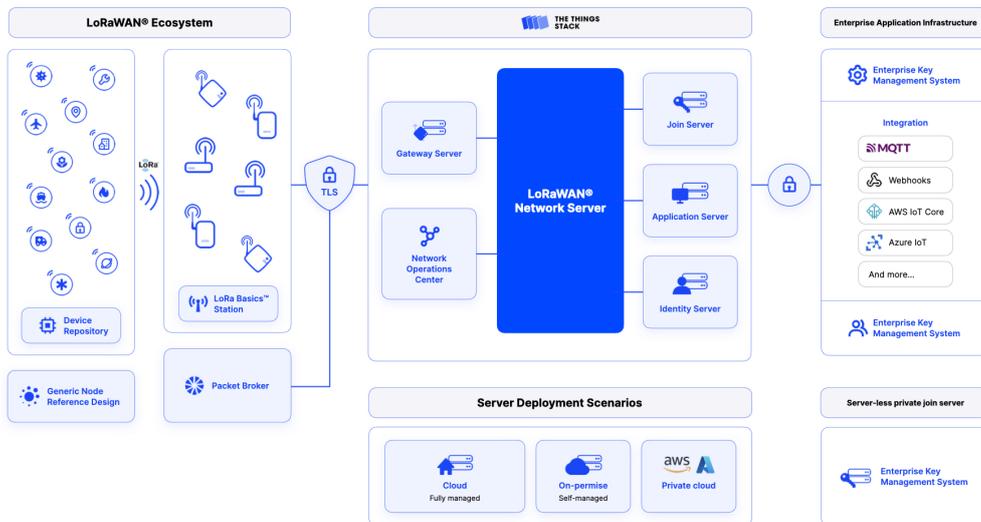


Figura 2.7: Arquitectura de The Things Stack [7]

## 2.6.2. Dispositivos finales

Los dispositivos certificados por LoRaWAN garantizan la implementación del estándar LoRaWAN. Cuando un dispositivo se conecta consume el tiempo de emisión del gateway más cercano y si existen muchos dispositivos que se conectan al mismo tiempo se puede generar una saturación de la red [46]. Además, los dispositivos en los ciclos de encendido y apagado deben guardar los parámetros de red como: DevAddr (Device Address), claves de sesión y autenticación de transferencia de datos.

## 2.6.3. Gateways

Son componentes importantes en las redes LoRaWAN y permiten conectar dispositivos IoT como: sensores, actuadores y dispositivos inteligentes de medición [47]. Existen más de 300

millones de dispositivos desplegados alrededor del mundo debido a su versatilidad y fiabilidad.

#### **2.6.4. Integraciones**

Las integraciones permiten conectar los dispositivos con una aplicación a través de las API. Junto con estas ya sean públicas o privadas se puede vincular la aplicación a la plataforma The Things Network [48]. Además, las integraciones sincronizan el registro de los dispositivos y los datos de enlace ascendente y descendente debido a que no es necesario escribir código. Por otro lado, existen plataformas externas como Azure IoT Hub, AWS IoT e IBM Watson IoT, donde el usuario administra la aplicación y los dispositivos.

### **2.7. Justificación**

Al contar con información sobre las variables que influyen en el desarrollo de un cultivo se puede monitorear y controlar el proceso de crecimiento de las plantas para mejorar la producción a largo plazo [49]. Además, permite establecer una red de tipo comunitaria en la que, las personas pueden acceder a la información de sus cultivos desde la comodidad de su hogar. Por otro parte, las tecnologías inalámbricas facilitan la transmisión de datos en tiempo real de los cultivos localizados en diferentes zonas de la urbe. El bajo costo de estas tecnologías facilita la adquisición e implementación de una red con internet de las cosas.

En este capítulo se puede observar el cumplimiento del primer objetivo secundario, que se basa en el análisis de las características y funciones de las tecnologías inalámbricas existentes. Dicho análisis se fundamenta en los tipos de tecnologías y en los beneficios que presenta cada

una según su aplicabilidad. Además, se presenta los parámetros necesarios que se deben sensar en un cultivo para su desarrollo. Este apartado resulta interesante y a la vez importante ya que permite conocer a fondo las tecnologías inmersas en el proyecto y seleccionar los elementos adecuados para poner a prueba su funcionamiento.

# Capítulo III

## Desarrollo

En este capítulo se describe el proceso de diseño de la red comunitaria para cultivos urbanos inteligentes. Se presenta también el desarrollo del hardware y software para la red con ayuda de internet de las cosas.

### 3.1. Metodología

La metodología que se utiliza en el presente trabajo se denomina "Modelo Cascada" que se caracteriza por cumplir una serie de pasos de manera lineal sin que una fase inicie hasta que se haya cumplido la anterior. La planificación, los objetivos claros y la información detallada son pilares indispensables para que este modelo funcione correctamente.

En la Figura 3.1 se observan las fases del modelo cascada, las cuales permiten predecir eventos futuros, completar cada fase con éxito, medir el progreso del proyecto y transmitir la información.

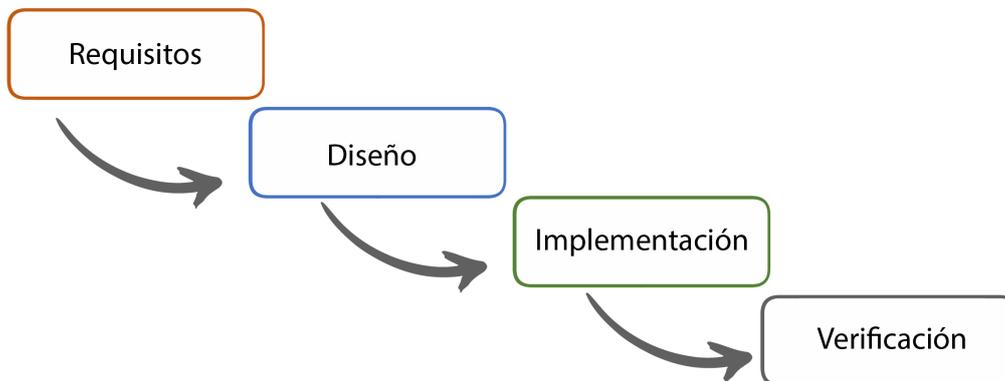


Figura 3.1: Diagrama del Modelo Cascada.

## 3.2. Descripción

La red IoT cuenta con sensores LoRa que se encargan de recopilar la información de las variables de los cultivos mediante el uso de sensores de humedad y temperatura del suelo. La información que se recopila llega al gateway y este la envía a una plataforma de uso gratuito denominada The Things Network. Con la ayuda de una integración se puede visualizar los datos de manera sencilla desde la web como desde una aplicación.

### 3.2.1. Requerimientos

La red IoT debe cumplir con los siguientes parámetros:

- Medir la temperatura y humedad del suelo.
- Enviar datos al gateway a distancias considerables.
- Contar con un suministro de energía.

- Visualizar los datos en una plataforma web de IoT y en un dispositivo móvil.

### 3.2.2. Diagrama de bloques

En la Figura 3.2 se puede observar el proceso que se lleva a cabo para transmitir la información desde los sensores hasta la plataforma de IoT.

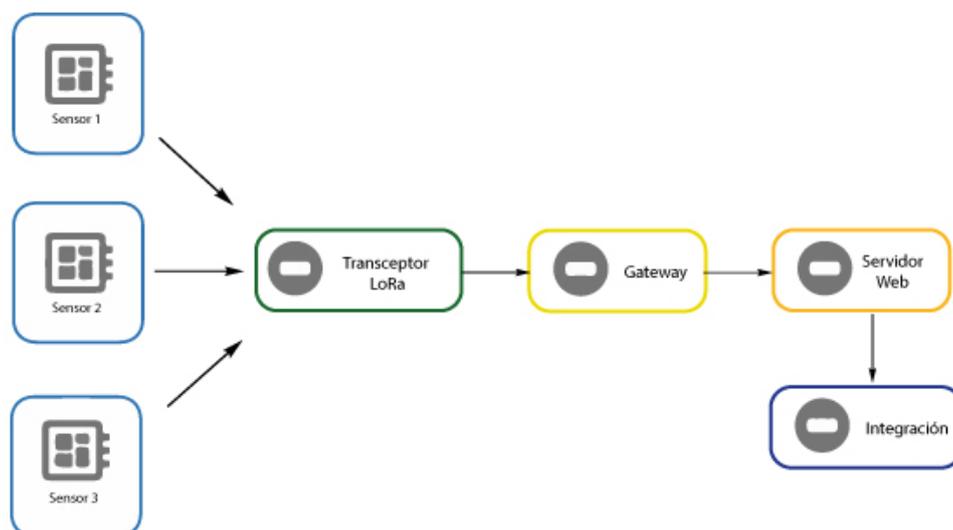


Figura 3.2: Diagrama de bloques de la red IoT.

### 3.3. Sensores

Los sensores son los primeros que intervienen en el funcionamiento de la red, se encargan de medir las variables de los cultivos y enviarlas al transceptor LoRa.

### 3.3.1. Sensor DS18B20

#### 3.3.1.1. Criterio de selección del sensor

Estos sensores se encargan de medir la temperatura a través de un señal eléctrica. Los más comunes son los que se presentan en la Tabla 3.1.

<b>Parámetro</b>	<b>DS18B20</b>	<b>THERM200</b>
Voltaje Alimentación	3 v - 5.5v DC	3.6 v - 20v DC
Consumo	1.5 mA	3 mA
Rango Temperatura	-55°C - 125°C	-40°C - 85°C
Corriente Máxima	2.5 mA	2.5 mA
Tiempo de Sensado	750ms	1s
Precio	\$ 3.50	\$ 18.99

Tabla 3.1: Características de sensores de temperatura.

En la Tabla 3.1 se puede observar que el sensor DS18B20 tiene un consumo inferior, un tiempo de sensado mayor y además es el más económico. Por lo tanto, resulta el más adecuado.



Figura 3.3: Sensor de temperatura del suelo DS18B20 [8]

### 3.3.1.2. Esquema de conexión

El sensor de la Figura 3.3 se conecta directamente al sensor LSN50 (transceptor) por lo que es importante conocer la distribución de pines de acuerdo a la Figura 3.4.

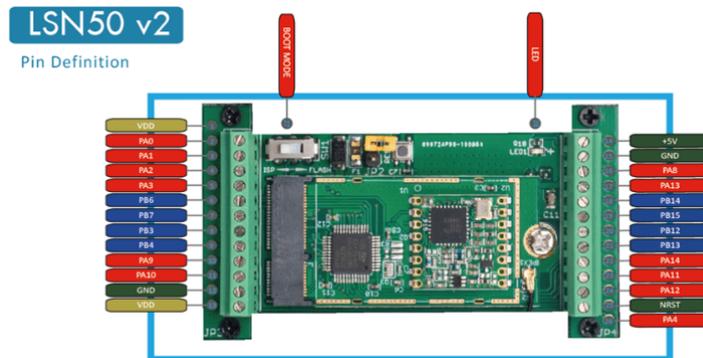


Figura 3.4: Distribución de pines del sensor LSN50 [9]

Se utiliza el pin PB3 para obtener la carga útil del sensor DS18B20. Por tanto, el esquema de conexión es el de la Figura 3.5.

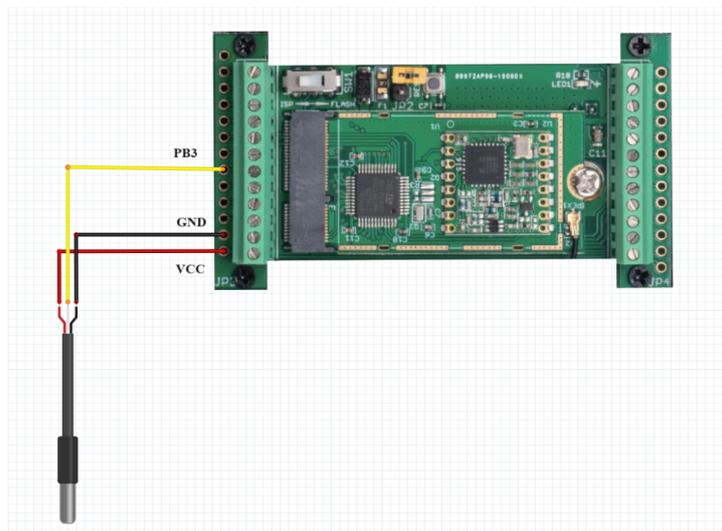


Figura 3.5: Conexión del DS18B20 al sensor LSN50.

### 3.3.2. Sensor FC-28

#### 3.3.2.1. Criterio de selección del sensor

Luego de realizar un investigación en el mercado local se selecciona dos opciones que permiten obtener información de la humedad del suelo. Las opciones se presentan en la Tabla 3.2 .

Parámetro	FC-28	Capacitivo
Voltaje Alimentación	3.3 v - 5v DC	3.3 v - 5v DC
Voltaje de Salida	0 a VCC (AO) 3.3/5v (DO)	0 a VCC
Salida	Analógica y Digital	Analógica
Precio	\$ 3.00	\$ 3.75

Tabla 3.2: Características de sensores de humedad del suelo.

En la Tabla 3.2 se puede observar que el sensor más adecuado para obtener datos de humedad del suelo es el FC-28 debido al tipo de salidas que posee y a su bajo costo de adquisición.



Figura 3.6: Sensor de humedad FC-28 [10]

#### 3.3.2.2. Esquema de conexión

Este dispositivo permite tomar lectura de valores de humedad del suelo por lo que es importante conocer los pines que posee como se indica en la Tabla 3.3.

Número	Pin
1	A0
2	D0
3	GND
4	VCC

Tabla 3.3: Pines del FC-28.

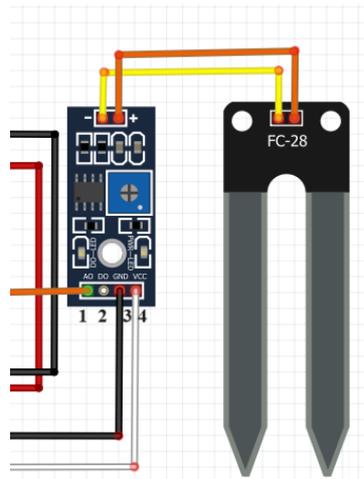


Figura 3.7: Esquema de conexión del FC-28.

### 3.3.2.3. Lectura del sensor

Debido a que el suministro máximo de voltaje del LSN50 es de 3,6v se necesita realizar una conversión para que los valores de voltaje de los sensores puedan ser leídos. Dicha conversión se realiza tomando en cuenta el modo de operación analógico del sensor FC-28 y el ciclo de trabajo de los pines PWM (Pulse Width Modulation) del arduino. Se obtiene los valores de la Tabla 3.4 la misma que indica los máximos y mínimos de humedad y voltaje.

	PWM	Voltaje
	255	4,745v
Mínimo	x	2v
Máximo	x	3.5v

Tabla 3.4: Valores de PWM y voltaje máximo y mínimo.

Luego se relaciona con los valores de humedad como se muestra en la Tabla 3.5.

Valor Sensor	Humedad
0	100 %
1023	0 %
$(255*2)/(4.745)$	$(255*3.5)/(4.745)$

Tabla 3.5: Equivalencias de valores PWM y humedad del FC-28.

Se realiza una regresión lineal con los datos de la Tabla 3.5 para obtener lo que sigue

$$y = \frac{\left(\frac{255*2}{4.745} - \frac{255*3.5}{4.745}\right)}{1023-0} * x + \frac{255*3.5}{4.745}.$$

#### 3.3.2.4. Diagrama de flujo

En este apartado se ilustra de manera general el funcionamiento del sensor FC-28, acorde a la Figura 3.8.

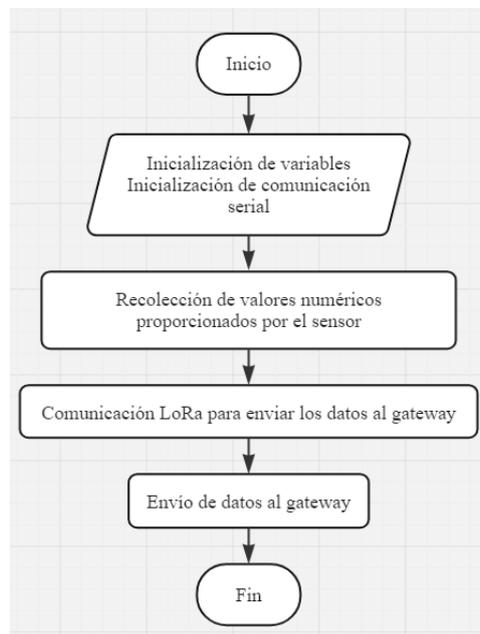


Figura 3.8: Diagrama de flujo del sensor FC-28.

### 3.3.3. Sensor DHT11

#### 3.3.3.1. Criterio de selección del sensor

Los sensores DHT11 y DHT22 funcionan a través de un sensor capacitivo y un termistor para medir el aire que circula. Además son los que se encuentran con mayor disponibilidad en el mercado como se muestra en la Tabla 3.6.

Parámetro	DHT11	DHT22
Voltaje Alimentación	3 v - 5v DC	3.3 v - 6v DC
Señal de Salida	Digital	Digital
Resolución Humedad	1 %RH	0.1 %RH
Corriente Máxima	2.5 mA	2.5 mA
Tiempo de Sensado	1s	2s
Precio	\$ 2.50	\$ 6.99

Tabla 3.6: Características de los sensores de humedad relativa.

En la Tabla 3.6 se puede observar que el sensor DHT11 es el más adecuado de usar debido a que tiene un sensado rápido y un precio económico.

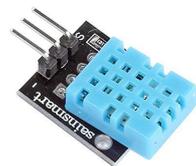


Figura 3.9: Sensor de humedad DHT11 [11]

### 3.3.3.2. Esquema de conexión

El DHT11 permite tomar lectura de valores de humedad y temperatura pero en este proyecto solo se utiliza los valores de humedad. Además, es importante tomar en cuenta los pines para su aplicación como se muestra en la Tabla 3.10.

Número	Pin
1	VCC
2	DATA
3	GND

Tabla 3.7: Pines del DHT11.

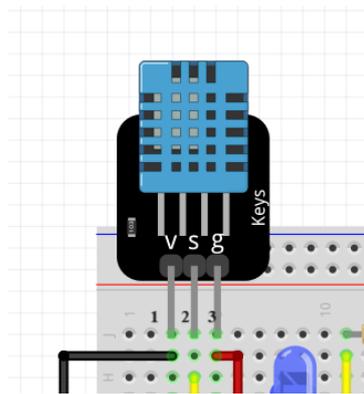


Figura 3.10: Esquema de pines del DHT11.

### 3.3.3.3. Lectura del sensor

Se realiza la conversión de valores pero considerando el funcionamiento del sensor DHT11 y los valores de voltaje que permite el LSN50. Por tanto, los valores para realizar la conversión son los que se presentan en la Tabla 3.8.

PWM	Voltaje
190	3,49
x	1

Tabla 3.8: Equivalencia de pwm a humedad máxima.

Luego se obtiene el valor de 54 para que se usa como valor mínimo correspondiente al parámetro PWM como se indica en lo que sigue

<b>Valor Sensor</b>	<b>Humedad</b>
190	100 %
54	0 %

Tabla 3.9: Equivalencias de valores pwm y humedad.

Se realiza una regresión lineal con los datos de la Tabla 3.9 para obtener lo que sigue

$$m = \frac{190-54}{100-0} = 1,36,$$

$$0 = 1,36(54) + b,$$

$$b = -73,44,$$

$$y = 1,36x - 73,44,$$

$$x = \frac{y+73,44}{1,36}.$$

#### **3.3.3.4. Diagrama de flujo**

En este apartado se ilustra de manera general el funcionamiento del sensor DHT11, acorde a la Figura 3.11.

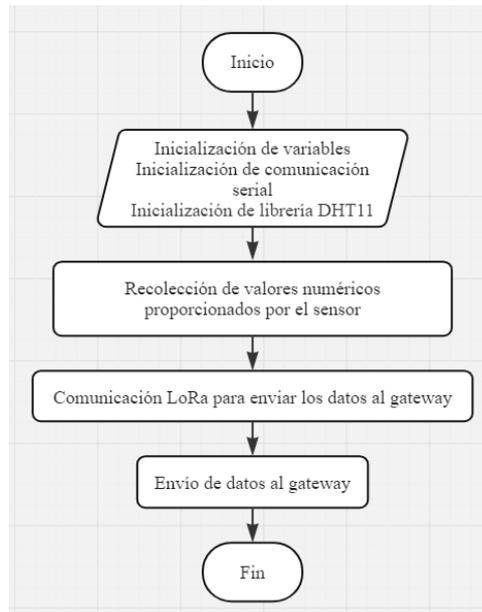


Figura 3.11: Diagrama de flujo del sensor FC-28.

## 3.4. Transceptores LoRa

### 3.4.1. Criterio de selección del sensor

Son los dispositivos que se encargan de recibir información y enviarla hacia el gateway. La

Tabla 3.10 muestra algunos de los dispositivos finales más utilizados.

Parámetro	LSN50	SN50	TS01
Consumo energía	Ultrabajo	Ultrabajo	Ultrabajo
Protección	IP66	IP65	IP66
Batería	8500 mAh	3000 mAh	3000 mAh
Hardware/Software	Libre	Libre	Libre
Aplicación	Monitoreo y Control	Monitoreo y Control	Medir ángulo de edificios
Precio	\$ 49	\$ 70	\$ 65

Tabla 3.10: Características de los dispositivos LoRa.

Luego de comparar las características de los dispositivos se determina que el sensor LSN50 es el más adecuado, debido a su aplicación de monitoreo, su alta protección al ambiente y su bajo costo.



Figura 3.12: Sensor LoRa LSN50 [12]

### 3.4.2. Diagrama de flujo

En este apartado se ilustra de manera general el funcionamiento del dispositivo final, de acuerdo con la Figura 3.13.

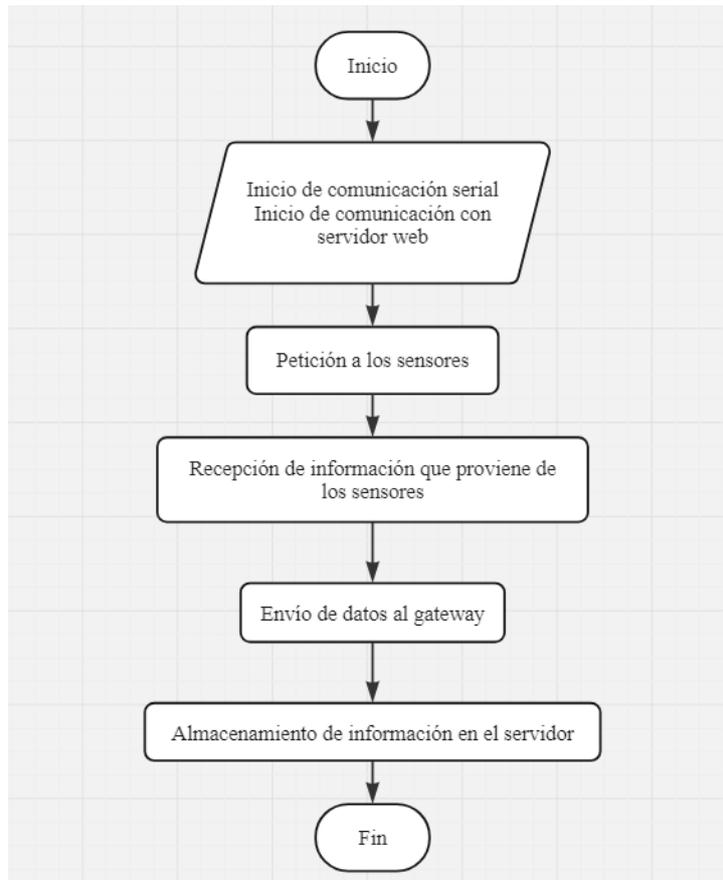


Figura 3.13: Diagrama de flujo del dispositivo final.

### 3.4.3. Circuito regulador

Este circuito permite manejar un voltaje estable de 5v en el pin de salida del regulador 7805 sin importar el voltaje que recibe el pin de entrada. Además, este regulador es adecuado para voltajes comprendidos entre 7v y 35v.

EL datasheet del fabricante brinda información sobre la forma de conectar el regulador. Se incorporan dos condensadores (C1 y C2) al regulador como se muestra en la Figura 3.14.

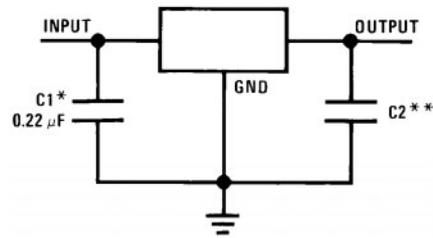


Figura 3.14: Regulador de voltaje de salida fija [13]

El condensador C1 se utiliza debido a que el regulador se encuentra a una distancia considerable de la fuente de alimentación y su valor se calcula como lo que sigue

$$V_c = V_p,$$

$$V_c = 7,4v * \sqrt{2} = 10,46v,$$

$$A_{vr} = 10\% * 10,46v = 1,046,$$

$$C_1 = \frac{IDC}{F * V_r} = \frac{3A}{120 * 1,046} = 0,023F,$$

$$C_1 \approx 0,22\mu F.$$

Por otro lado, el condensador C2 no influye en el funcionamiento sin embargo su uso ayuda a mejorar la estabilidad de la señal de salida del regulador. Por lo tanto, se selecciona un condensador de 0.1uF.

Los componentes seleccionados se ubican de acuerdo a la Figura 3.15.

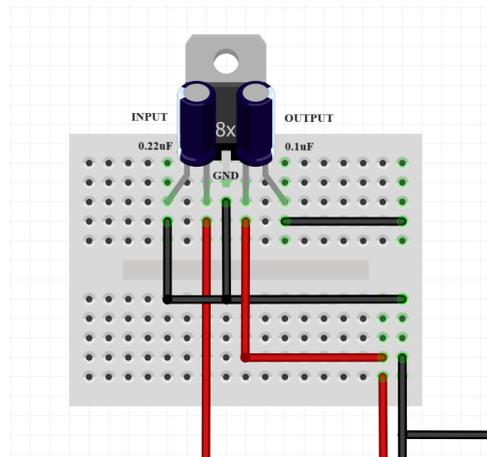


Figura 3.15: Esquema de conexión del regulador.

### 3.4.4. Filtro pasa bajos

Los sensores FC-28 y DHT11 proporcionan un valor analógico de tensión a través de PWM que en ocasiones da lugar a una señal de pulsos bruscos. Por tanto, es necesario filtrar la señal mediante un filtro paso bajo para que se convierta en una señal más auténtica y que pueda ser leída en el sensor LSN50.

El filtro paso bajo es el que se encarga de bloquear el paso de señales de alta frecuencia y solo permite las señales de baja frecuencia. Además está compuesto por una resistencia y un condensador conectados en serie.

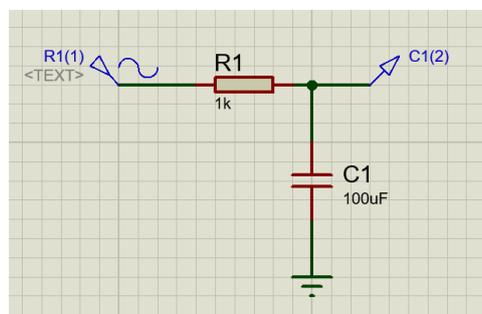


Figura 3.16: Filtro RC de paso bajo.

El valor del punto de corte de la frecuencia se puede determinar como lo que sigue

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC},$$
$$f_c = \frac{1}{2\pi 1k\Omega * 100\mu F} = 1,592Hz.$$

Con este resultado se puede determinar que las frecuencias por encima de 1.592Hz se encuentran atenuadas mientras que las que están por debajo de este valor pasan sin atenuación. Por tanto, al introducir una señal de CA en el circuito con una señal de frecuencia menor a la de corte, el circuito pasa esta señal a la salida casi completamente evitando la vía del capacitor.



Figura 3.17: Frecuencia de corte en Proteus.

Debido a que se recibe la señal de dos sensores se implementa dos filtros pasa bajos de acuerdo a la Figura 3.18 .

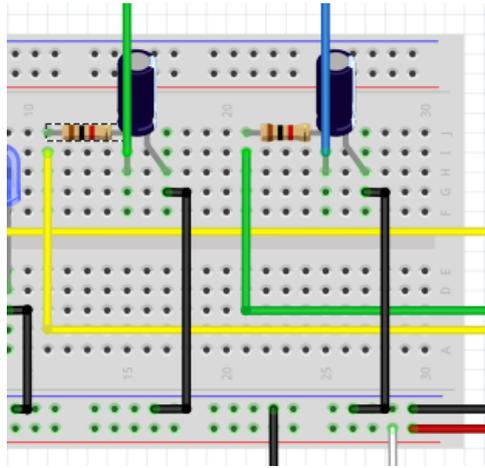


Figura 3.18: Esquema de conexión de los filtros pasa bajos.

### 3.4.5. Microcontrolador

El microcontrolador se encarga de almacenar instrucciones que luego serán ejecutadas a través de un lenguaje de programación. Los microcontroladores que más se utilizan son los de la Tabla 3.11.

Parámetro	Arduino Nano	Arduino Mega	Arduino Uno
Dimensiones	69mm x 53mm	101mm x 53mm	18mm x 48mm
Procesador	ATmega32U4	ATmega2560	ATmega328P
Voltaje	5v	5v	5v
Pines Digitales	20	54	14
Pines Analógicos	12	16	6
Consumo	15mA	93 mA	46 mA
Precio	\$ 9	\$ 20	\$ 12

Tabla 3.11: Características de los microcontroladores.

En la Tabla 3.11 se puede observar que el microcontrolador arduino nano es el más adecuado para su utilización debido a su tamaño, su bajo consumo y su precio de adquisición.

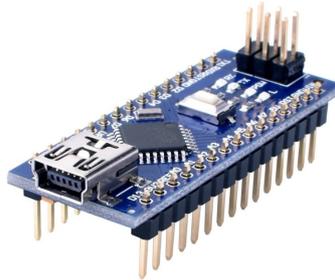


Figura 3.19: Microcontrolador Arduino Nano [12]

### 3.4.6. Fuente de alimentación

#### 3.4.6.1. Criterio de selección de la fuente

Debido a que el sistema debe estar funcionando constantemente es importante considerar la vida útil de la fuente de alimentación así como sus características. En la Tabla 3.12 se presentan algunas características.

Parámetro	Pila Gp	Pila Recyko	Pila Lion
Composición	Nihm	Nihm	Iones de Litio
Voltaje	8.4v	9v	3.7v
Capacidad	170mAh	200mAh	8800mAh
Tipo de carga	Recargable	Recargable	Recargable

Tabla 3.12: Características de los tipos de baterías.

Se debe considerar el valor de la capacidad con la finalidad de alargar el tiempo de funcionamiento del sistema por tanto, la mejor opción es utilizar dos pilas de 3.7v para alimentar el circuito.



Figura 3.20: Pila Lion de 3.7v [14]

### 3.4.6.2. Consumo eléctrico

Se utiliza una fuente de alimentación de 7.4v a 8800mAh para la alimentación de los sensores cuya vida útil se detalla en la Tabla 3.13.

Elemento	Modo Normal	Modo Dormido
Sensor DHT11	1mA	1mA
Arduino Nano	15mA	15mA
Sensor FC-28	35mA	0.02mA
Lm7805	5mA	5mA
Total	56 mA	21.02mA

Tabla 3.13: Consumo de sensores.

El valor del consumo se obtiene con lo que sigue

$$Consumo = \frac{T_{cn} * I_{cn} + T_{cd} * I_{cd}}{T_{cn} + T_{cd}}$$

Donde: T<sub>cn</sub>= Tiempo de consumo normal T<sub>cd</sub>= Tiempo de consumo dormido I<sub>cn</sub>= Intesidad de corriente de consumo normal I<sub>cd</sub>= Intesidad de corriente de consumo dormido

Al reemplazar los valores en la ecuación se obtiene lo que sigue

$$Consumo = \frac{86400 * 56 + 0 * 21,02}{86400 + 0},$$

$$Consumo = 56mA.$$

Por último se calcula el tiempo con lo que sigue

$$Tiempo = \frac{Capacidad\ de\ batera}{Consumo},$$

$$Tiempo = \frac{8800mA}{56mA},$$

$$Tiempo = 157\ horas.$$

### 3.4.7. Esquema de conexión

En la Figura 3.21 se muestra el esquema de conexión de todos los componentes descritos mismos que acompañan al dispositivo LoRa: baterías que alimentan el circuito regulador y al arduino nano, sensor DS18B20 conectado directamente al Sensor LoRa, el sensor FC-28 conectado al pin A0 del arduino, a GND y 5V, el sensor DHT11 conectado al pin digital 5 del arduino, a GND y 5v.

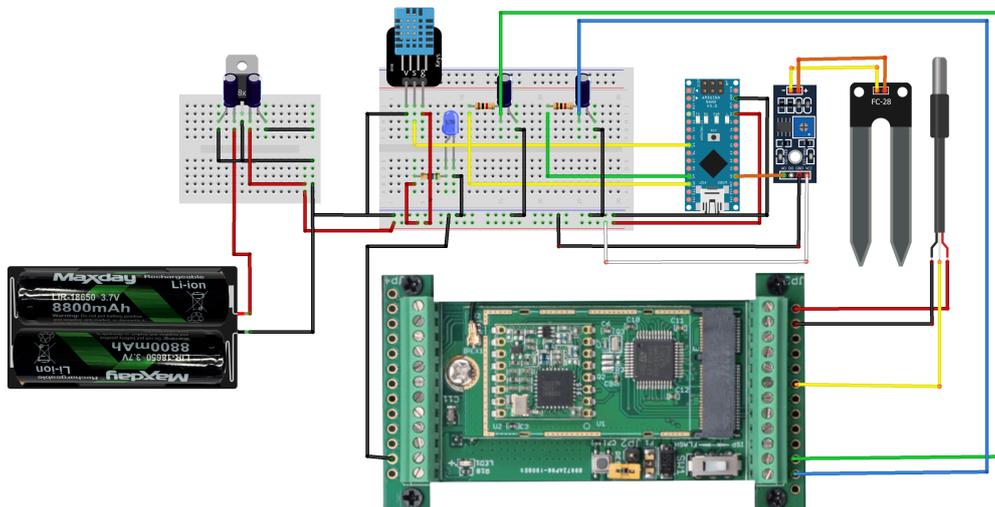


Figura 3.21: Esque de conexón de los componentes.

### 3.4.8. Diseño de PCB

Con el fin de que los sensores funcionen con normalidad se realiza el diseño de una placa de circuito impreso (PCB) que contiene al circuito regulador y el circuito pasa bajo. El diseño de la placa se realiza en el software EasyEDA de acuerdo a la Figura 3.22.

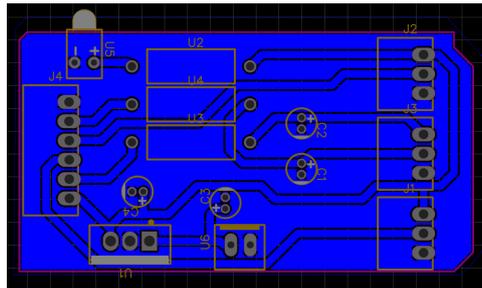


Figura 3.22: Diseño de PCB en software EasyEDA.

En el diseño se incluye un led para comprobar que el circuito se encuentra alimentado por la batería y funciona.

### 3.4.9. Caja hermética

#### 3.4.9.1. Criterio de selección de la caja

Las cajas herméticas son ideales para sistemas electrónicos ya que son resistentes al agua, al polvo y algunos factores climáticos que se pueden presentar en un espacio abierto. Las cajas herméticas más comunes del mercado local son las de la Tabla 3.14.

<b>Parámetro</b>	<b>Caja de Paso</b>	<b>Caja Rectangular</b>	<b>Caja Cuadrada</b>
Dimensiones	112mm x 112mm x 57mm	180mm x 140mm x 86mm	105mm x 105mm x 57mm
Protección	IP65	IP65	IP65
Peso	0.13 kg	0.20 kg	0.10 kg
Precio	\$ 8.89	\$ 4.90	\$ 3.58

Tabla 3.14: Características de los tipos de cajas herméticas.

Gracias a las dimensiones de la caja, a la protección IP y el costo de adquisición, la caja hermética más adecuada para albergar todos los componentes y cumplir con su funcionamiento es la caja rectangular que se observa en la Figura 3.23.



Figura 3.23: Caja rectangular para sistema electrónico.

### 3.4.9.2. Base para la caja hermética

Con el objetivo de sujetar todos los componentes y no dañar la protección de la caja hermética se realiza el diseño e impresión 3D de la base. El material que se utiliza es el PLA y en la Figura 3.24 se puede observar su diseño.

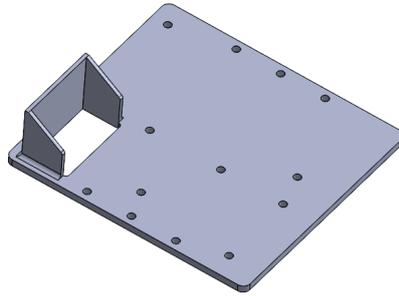


Figura 3.24: Diseño de la base para la caja hermética.

### 3.4.10. Decodificación de datos

Para poder obtener los datos de carga útil de los sensores en la plataforma The Things Network se necesita configurar los dispositivos LoRa. El procedimiento se detalla con uno de los dispositivos y se realiza lo mismo con el otro.

- 1.- En el menú principal del dispositivo, se selecciona la opción: Formato de carga útil.
- 2.- En el campo formato de código se copia el código que se encuentra en el manual de usuario del fabricante del dispositivo.
- 3.- Se guarda los cambios realizados.

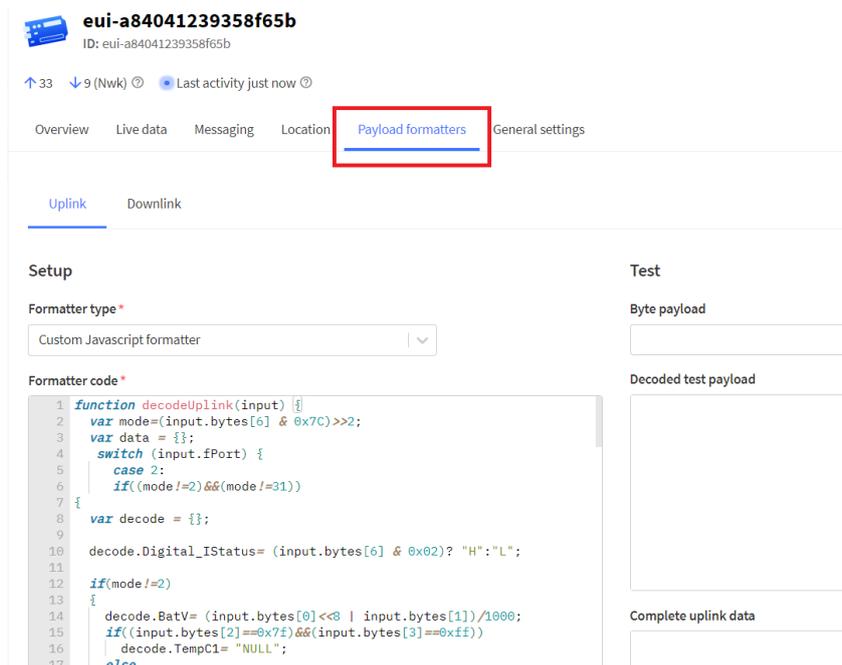


Figura 3.25: Código de carga útil.

El sensor LSN50 admite el uso de comandos AT y para acceder a ellos se utiliza un adaptador USB a TTL. La conexión de los pines se observa en la Tabla 3.15.

Pines Adaptador	Pines LSN50
Tx	PA3
Rx	PA2
GND	GND

Tabla 3.15: Pines de conexión del adaptador USB y LSN50.

Se conecta el adaptador al computador y mediante el software Serial Port Utility se envía los datos del dispositivo LoRa a TTN. El dispositivo LoRa cuenta con diferentes modos de funcionamiento, en total son 9 y el modo de trabajo que se utiliza en este proyecto es el MOD 8 al cual se accede por medio de comandos. Los comandos que se usan son los de la Tabla 3.16.

Comando	Descripción
AT+FDR	Unirse a la red
ATZ	Reset
AT+MOD = 8	Modo de operación 3ADC+1DS18B20 (3 convertidores analógicos - digital y temperatura)
AT+GETSENSORVALUE=0	Lee valores y muestra en la consola del Serial Port
AT+GETSENSORVALUE=1	Lee valores, muestra en la consola y envía a TTN
AT+TDC = 90000	Intervalo de transmisión de datos en ms

Tabla 3.16: Lista de comandos AT.

La consola del serial port se muestra en la Figura 3.26.

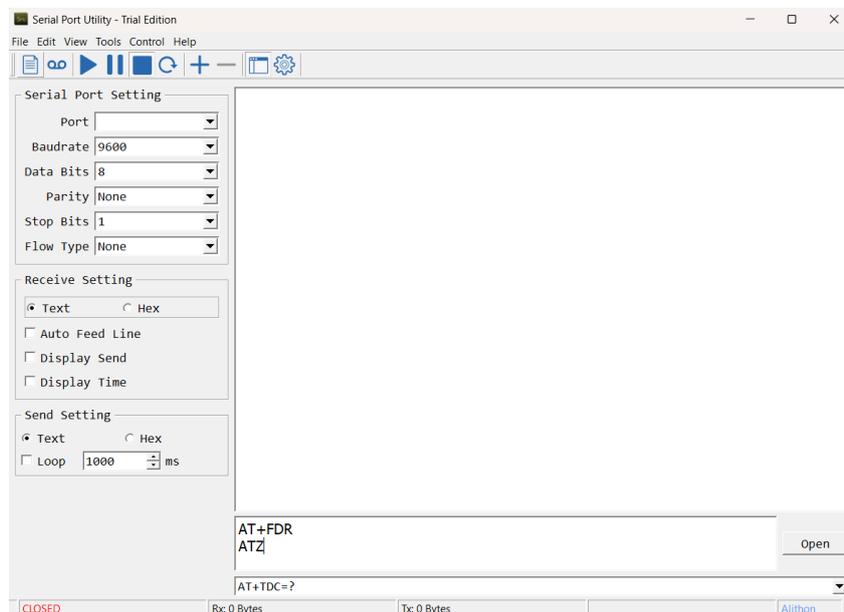


Figura 3.26: Comandos AT en serial port utility.

Luego de escribir todos los comandos los valores del dispositivo LoRa se reflejan en TTN.

The screenshot shows the TTN portal interface for a LoRa device. At the top, the device ID is **eui-a84041239358f65b**. Below the ID, there are navigation tabs: Overview, **Live data**, Messaging, Location, Payload formatters, and General settings. A red arrow points to the 'General settings' tab. The 'Live data' tab is currently active, showing a table of messages. The table has columns for Time, Type, and Data preview. The messages are as follows:

Time	Type	Data preview
08:31:45	Forward uplink data message	DevAddr: 26 9C 04 FD <> Payload: { ADC_CH0V: 1.83, ADC_CH1V: 1.942, ADC_CH4V: 0.001, BatV: 3.683, Digital_IStatus:
08:31:45	Successfully processed data	DevAddr: 26 9C 04 FD <>
08:30:15	Forward uplink data message	DevAddr: 26 9C 04 FD <> Payload: { ADC_CH0V: 1.832, ADC_CH1V: 1.941, ADC_CH4V: 0.001, BatV: 3.683, Digital_IStatus:
08:30:15	Successfully processed data	DevAddr: 26 9C 04 FD <>
08:28:45	Forward uplink data message	DevAddr: 26 9C 04 FD <> Payload: { ADC_CH0V: 1.833, ADC_CH1V: 1.941, ADC_CH4V: 0.001, BatV: 3.683, Digital_IStatus:
08:28:45	Successfully processed data	DevAddr: 26 9C 04 FD <>
08:27:15	Forward uplink data message	DevAddr: 26 9C 04 FD <> Payload: { ADC_CH0V: 1.833, ADC_CH1V: 1.943, ADC_CH4V: 0.001, BatV: 3.686, Digital_IStatus:
08:27:15	Successfully processed data	DevAddr: 26 9C 04 FD <>

Figura 3.27: Valores del dispositivo LoRa en TTN.

## 3.5. Gateway

### 3.5.1. Criterio de selección del gateway

El gateway es el dispositivo que se encarga de conectar los dispositivos finales con el servidor web. Además, se encarga de analizar la información y publicarla de acuerdo a la función a la que se encuentra destinado. El gateway es difícil de encontrarlo en el mercado local, por lo que, ha sido importado desde el exterior. Existen algunos tipos como se muestra en la Tabla 3.17.

Parámetro	LG308N	LG01v2	LPS8v2
Gestión	Web GUI, SSH via WAN or WiFi	Web GUI, SSH vía WAN o WiFi	Web GUI, SSH vía WAN o WiFi
Interfaz	Puertos RJ45 de 10M/100M Ports x 2 WiFi : 802.11 b/g/n LoRaWAN Wireless	Puertos RJ45 de 10 M/100 M x 1 Wi-Fi 802.11 b/g/n	Puertos RJ45 de 10M/100M x 1 Inalámbrico LoRaWAN multicanal Wi-Fi 802.11 b/g/n
Especificaciones LoRa	Interfaces frontales de radio TX y RX digitales duales	No posee	No posee
Alimentación	12V DC, 2 A	5V, 2A, CC	5V, 2A, DC
Precio	\$ 230	\$ 191	\$ 195

Tabla 3.17: Características de los tipos de gateways.

Debido a que este proyecto se enfoca en la tecnología LoRa es importante tomar en cuenta las características que posee el gateway y las funcionalidades que estas proporcionan al cumplimiento del objetivo. Por tanto, se selecciona el LG308N.



Figura 3.28: Gateway LoRa LG308N [15]

### 3.5.2. Configuración del gateway

El gateway cuenta con un punto de acceso wifi a través del cual se puede acceder y configurar el dispositivo. En la Tabla 3.18 se resume los pasos principales para el acceso.

Pasos	Descripción
1	Conectar el cable de red en el puerto WAN del gateway y el otro extremo en el módem de internet.
2	Se genera automáticamente una red wifi llamada Dragino a la cuál se puede acceder con la contraseña: dragino+dragino
3	Desde un computador acceder a un navegador y escribir la siguiente dirección IP: <a href="http://10.130.1.1/">http://10.130.1.1/</a>
4	Se debe iniciar sesión con los siguientes datos: Usuario: root, Contraseña: dragino
5	En la página de inicio se puede verificar el estado de la red. Si todos los apartados presentan un visto de color verde quiere decir que funcionan a la perfección.

Tabla 3.18: Pasos de configuración de gateway.

El gateway es compatible con el protocolo LoRaWAN por tanto, puede reenviar información al servidor LoRaWAN. Para obtener esta configuración se debe realizar los pasos de la Tabla 3.19.

Pasos	Descripción
1	Obtener un ID único para el gateway desde la página LoRaWAN o desde la información del fabricante.
2	Registrar una cuenta de usuario en el servidor TTN
3	Elegir la dirección del servidor gateway en este caso la dirección correspondiente a Norteamérica: <code>nam1.cloud.thethings.network</code>

Tabla 3.19: Configuración LoRaWAN.

## 3.6. Servidor web

### 3.6.1. Creación de cuenta

Para poder acceder a los beneficios de TTN se debe crear una cuenta gratuita de la siguiente manera:

- 1.- Se ingresa al sitio web: <https://www.thethingsindustries.com/docs/>
- 2.- Se pulsa en la opción Get The Things Stack.

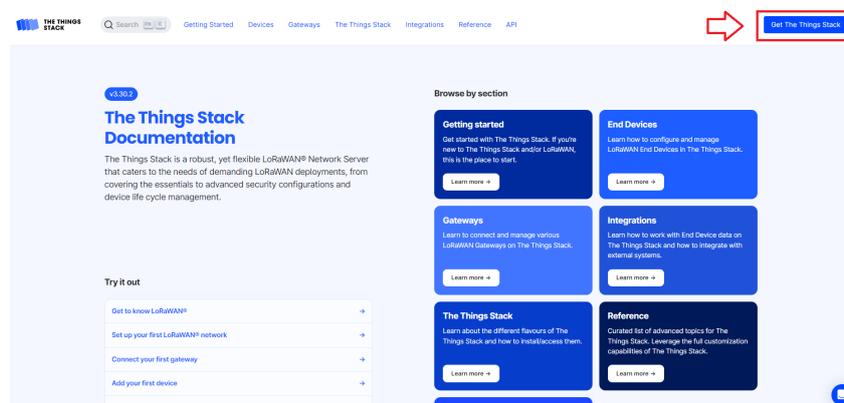


Figura 3.29: Pantalla principal The Things Stack.

3.- Se selecciona la opción de acceso gratuito.

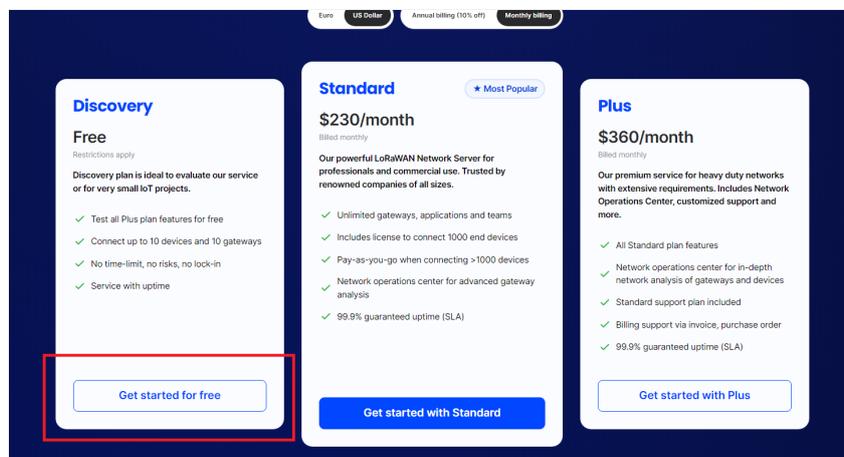


Figura 3.30: Mención gratuita The Things Stack.

4.- Se llena los datos informativos y se crea la cuenta.

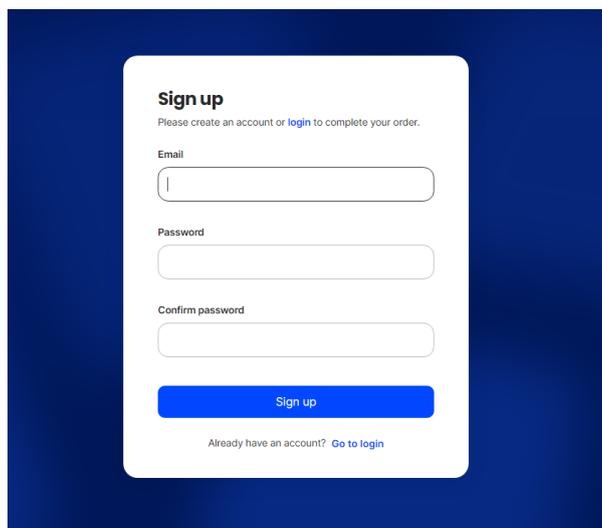


Figura 3.31: Pantalla de ingreso a The Things Stack.

### 3.6.2. Creación de gateway

1.- Se ingresa en el sitio web: <https://nam1.cloud.thethings.network/console>

2.- Se selecciona la opción: Ir a gateways.

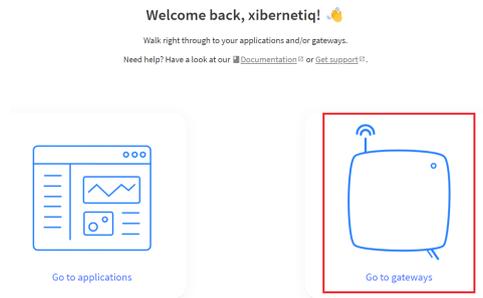


Figura 3.32: Creación de gateway.

3.-Se selecciona la opción Registrar gateway.

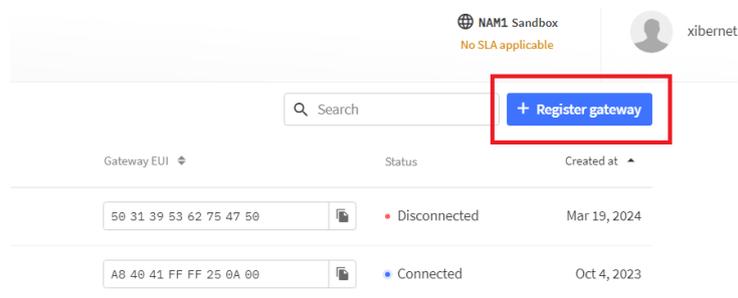


Figura 3.33: Registro de gateway.

4.-Se coloca un nombre al gateway, ID y frecuencia de 902-928 MHz, FSB2. Luego se selecciona registrar gateway.

### Register gateway

Register your gateway to enable data traffic between nearby end devices and the network.  
Learn more in our guide on [Adding Gateways](#).

Gateway EUI

Gateway ID

Gateway name

Frequency plan

Note: most gateways use a single frequency plan. Some 16 and 64 channel gateways however allow setting multiple within the same band.

Require authenticated connection

Figura 3.34: Campos de configuración de gateway.

6.- Se coloca la misma dirección tanto en el gateway como en el servidor TTN.

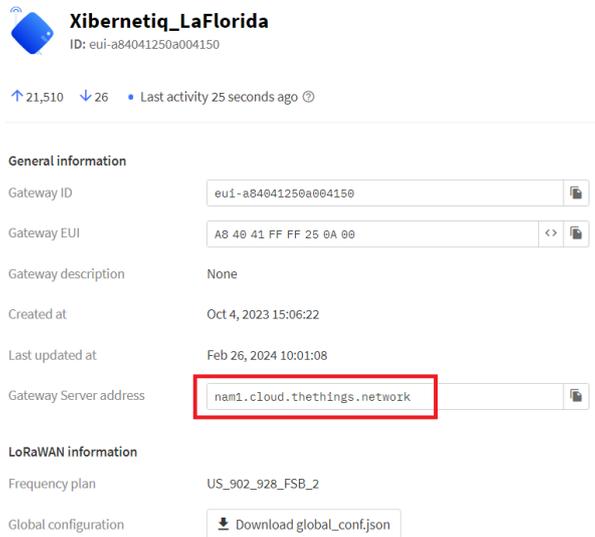


Figura 3.35: Configuración de Gateway en TTN.

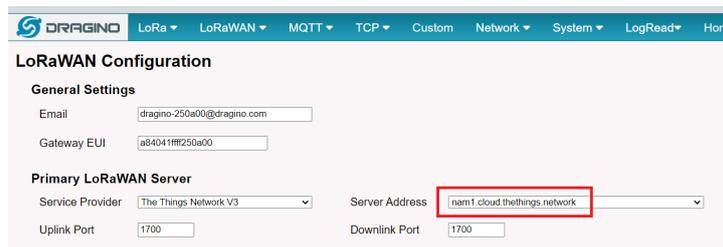


Figura 3.36: Gateway configuración LoRaWAN.

6.- El gateway conectado presenta la pantalla de la Figura 3.17.

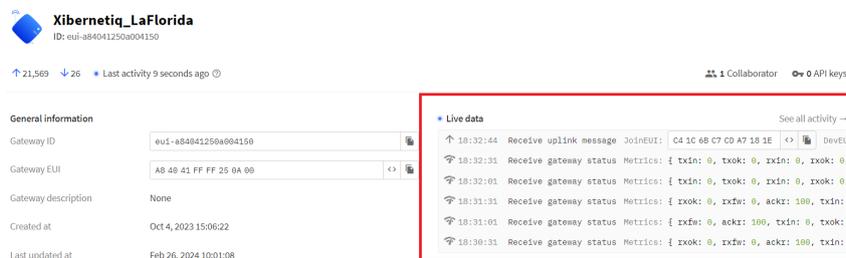


Figura 3.37: Pantalla del gateway conectado.

### 3.6.3. Creación de aplicación

La aplicación es importante para generar un entorno que alberga a todos los dispositivos LoRa implementados. La aplicación se crea en el mismo entorno del gateway de acuerdo a los siguientes pasos:

1.- Se selecciona: Ir a aplicaciones.

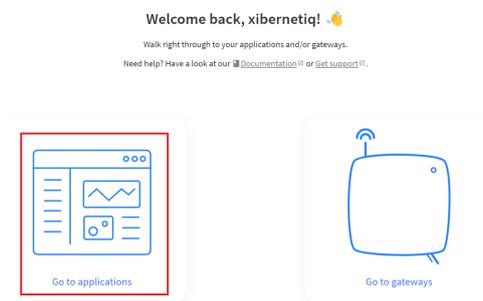


Figura 3.38: Selección de aplicación en TTN.

2.- Se selecciona la opción: Crear aplicación.

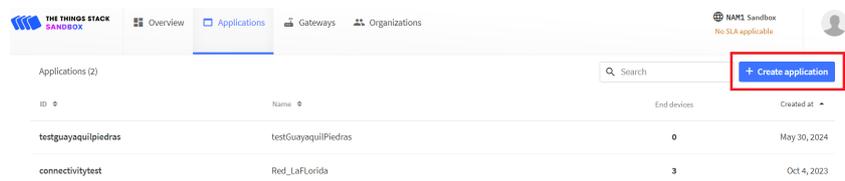


Figura 3.39: Entorno para la creación de la aplicación.

3.- Se llena los datos y se crea la aplicación.

## Create application

Within applications, you can register and manage end devices and their network data. After setting up your device fleet, use one of our many integration options to pass relevant data to your external services.  
Learn more in our guide on [Adding Applications](#).

Application ID \*

Application name

Description

Optional application description; can also be used to save notes about the application

Figura 3.40: Campos de identificación de la aplicación.

4.- La creación de la aplicación muestra la pantalla de la Figura ??.

**Red\_LaFlorida**  
ID: connectivitytest

No recent activity @ 3 End devices 1 Collaborator 4 API keys

General information Live data See all activity →

Application ID	<input type="text" value="connectivitytest"/>
Created at	Oct 4, 2023 15:10:49
Last updated at	Feb 26, 2024 12:00:14

Waiting for events from connectivitytest...

Figura 3.41: Pantalla principal de la aplicación creada en TTN.

### 3.6.4. Creación del dispositivo

Luego de contar con el entorno de la aplicación se puede añadir los dos dispositivos LoRa necesarios para crear la red. En los pasos siguientes se indica el registro de un dispositivo final. Cabe recalcar que el registro del segundo dispositivo se realiza con este procedimiento.

1.- En la pantalla de la aplicación se selecciona la opción: Dispositivos Finales.

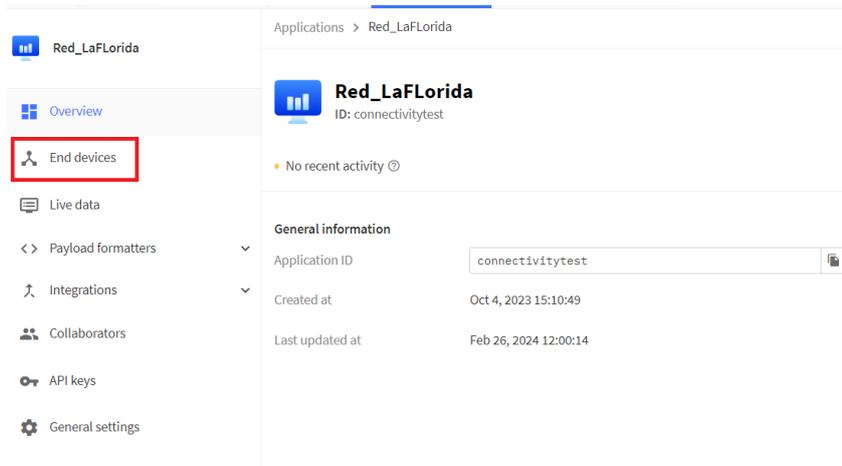


Figura 3.42: Entorno de aplicación connectivitytest.

2.- Se selecciona la opción: Registrar dispositivo final.

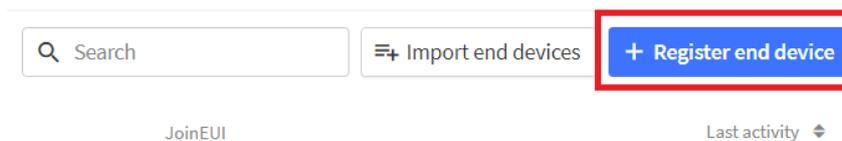


Figura 3.43: Registro de dispositivo LoRa.

3.- Se llena los campos de registro y se registra. Cabe recalcar que muchos de los campos se llenan con información del fabricante que se detalla en el dispositivo físico como: AppEUI, DevEUI y AppKey.

**End device type**

**Input method** ⓘ

Select the end device in the LoRaWAN Device Repository

Enter end device specifics manually

**Frequency plan** ⓘ \*

United States 902-928 MHz, FSB 2 (used by TTN) | v

**LoRaWAN version** ⓘ \*

LoRaWAN Specification 1.0.3 | v

**Regional Parameters version** ⓘ \*

RP001 Regional Parameters 1.0.3 revision A | v

---

Show advanced activation, LoRaWAN class and cluster settings v

---

**Provisioning information**

**JoinEUI** ⓘ \*

... .. Confirm

To continue, please enter the JoinEUI of the end device so we can determine onboarding options

Figura 3.44: Datos para registrar el dispositivo LoRa.

#### 4.- Se visualiza el registro del dispositivo

Applications > Red\_LaFlorida > End devices

End devices (3)  [Import end devices](#) [+ Register end device](#)

ID	Name	DevEUI	JoinEUI	Last activity
<b>eui-a84041239358f65b</b>		A8 48 41 23 93 58 F6 5B	A8 49 41 00 00 00 01 01	8 days ago
eui-a84041521187bcdf		A8 49 41 52 11 87 BC AF	A8 49 41 00 00 00 01 01	3 days ago
eui-a8404127e1874019		A8 49 41 27 E1 87 48 19	A8 49 41 00 00 00 01 01	Jun 2, 2024

Figura 3.45: Dispositivo registrado en TTN.

En la Figura 3.45 se observa el registro de varios dispositivos LoRa en una misma aplicación.

### 3.7. Integración

Datacake es una integración que forma parte de los webhooks (información en tiempo real) y que es fácil de configurar para su uso. El primer paso es crear una cuenta.

### 3.7.1. Creación de cuenta

Para crear la cuenta se sigue los siguientes pasos:

- 1.- Se ingresa al sitio web: <https://datacake.co/>
- 2.- Se pulsa en la opción Dashboard.

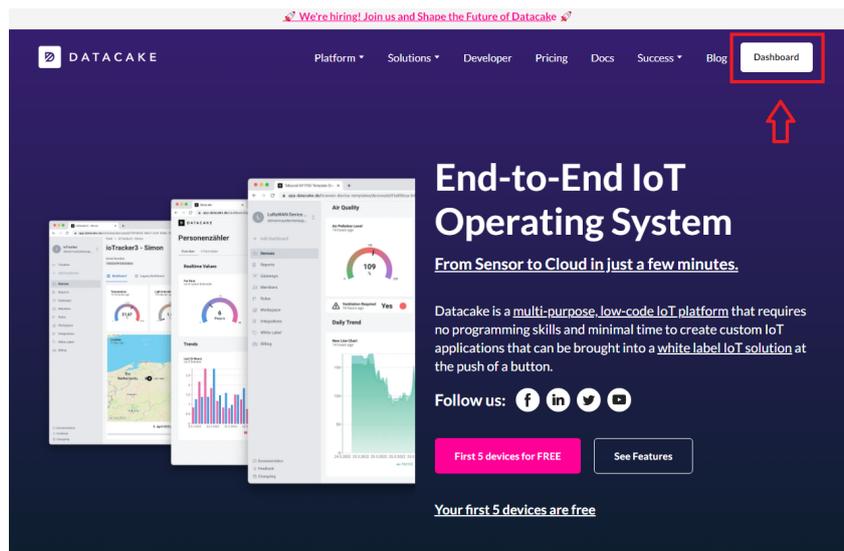


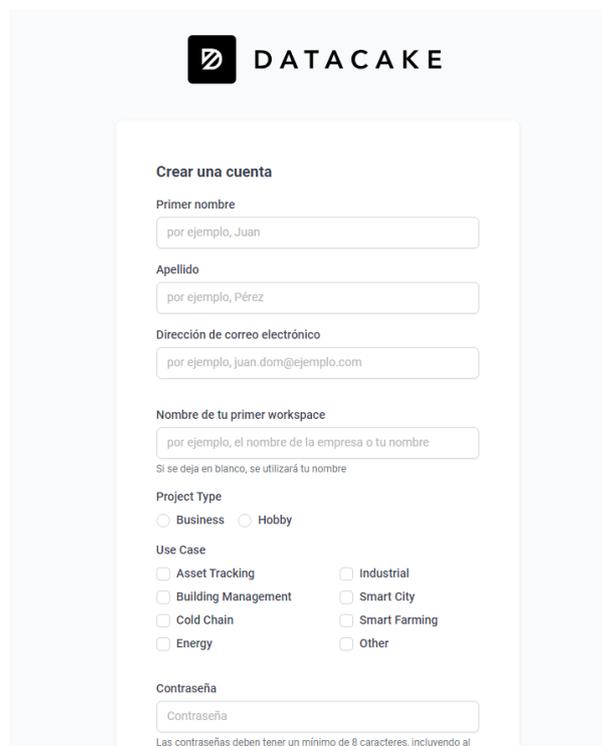
Figura 3.46: Ventana principal de Datacake.

- 3.- Se selecciona la opción crear cuenta.



Figura 3.47: Creación de cuenta en Datacake.

4.- Se llena todos los campos correspondientes.

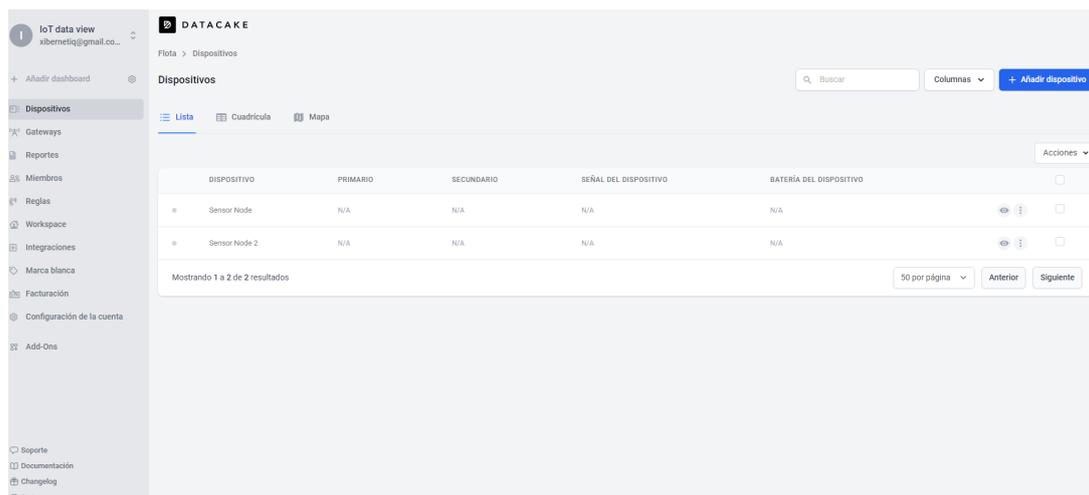


The screenshot shows the 'Crear una cuenta' (Create an account) form in the Datacake application. The form includes the following fields and options:

- Primer nombre:** Input field with placeholder text 'por ejemplo, Juan'.
- Apellido:** Input field with placeholder text 'por ejemplo, Pérez'.
- Dirección de correo electrónico:** Input field with placeholder text 'por ejemplo, juan.dom@ejemplo.com'.
- Nombre de tu primer workspace:** Input field with placeholder text 'por ejemplo, el nombre de la empresa o tu nombre'. Below it, a note states: 'Si se deja en blanco, se utilizará tu nombre'.
- Project Type:** Radio buttons for 'Business' and 'Hobby'.
- Use Case:** A grid of checkboxes for 'Asset Tracking', 'Building Management', 'Cold Chain', 'Energy', 'Industrial', 'Smart City', 'Smart Farming', and 'Other'.
- Contraseña:** Input field with placeholder text 'Contraseña'. Below it, a note states: 'Las contraseñas deben tener un mínimo de 8 caracteres, incluyendo al'.

Figura 3.48: Campos para la creación de cuenta en Datacake.

4.- Se accede al panel principal



The screenshot shows the main dashboard of the Datacake application. The interface includes a sidebar menu on the left with options like 'Dispositivos', 'Gateways', 'Reportes', 'Miembros', 'Reglas', 'Workspace', 'Integraciones', 'Marca blanca', 'Facturación', 'Configuración de la cuenta', and 'Add-Ons'. The main content area displays a 'Flota > Dispositivos' view with a table of devices. The table has columns for 'DISPOSITIVO', 'PRIMARIO', 'SECUNDARIO', 'SEÑAL DEL DISPOSITIVO', and 'BATERÍA DEL DISPOSITIVO'. Two rows are visible, both with 'Sensor Node' and 'Sensor Node 2' as device names and 'N/A' for the other columns. The table is paginated, showing 'Mostrando 1 a 2 de 2 resultados' and '50 por página'.

DISPOSITIVO	PRIMARIO	SECUNDARIO	SEÑAL DEL DISPOSITIVO	BATERÍA DEL DISPOSITIVO
Sensor Node	N/A	N/A	N/A	N/A
Sensor Node 2	N/A	N/A	N/A	N/A

Figura 3.49: Pantalla principal del entorno Datacake.

### 3.7.2. Vinculación con TTN

Para poder leer los datos de los sensores en Datacake es necesario realizar la integración desde el TTN. Los pasos para lograr esta integración son:

1.- En la pantalla principal del dispositivo, se selecciona la opción: Integración y webhooks.

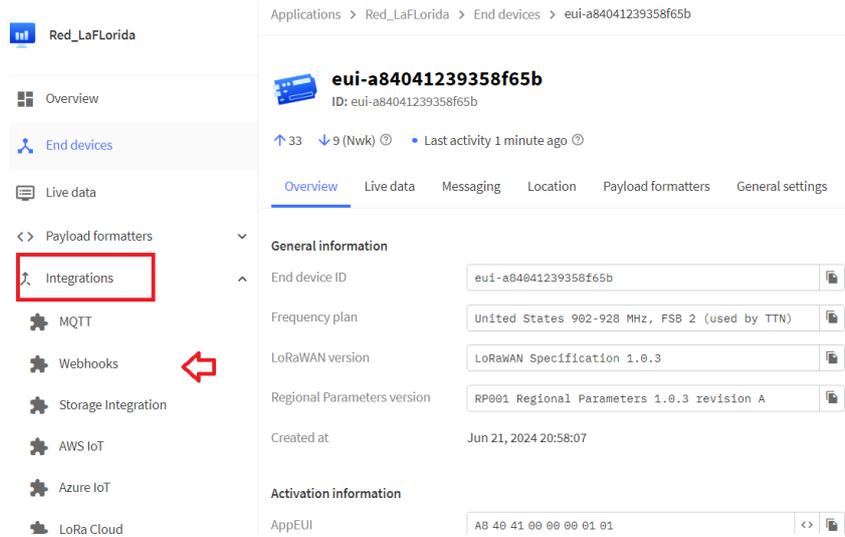


Figura 3.50: Pantalla principal del dispositivo de TTN.

2.- Se añade el webhook y se busca Datacake.

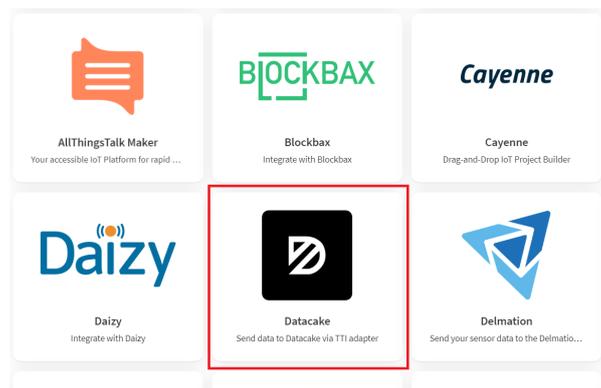


Figura 3.51: Lista de webhooks disponibles.

3.- En el sitio web de Datacake se busca el token en configuración de cuenta.

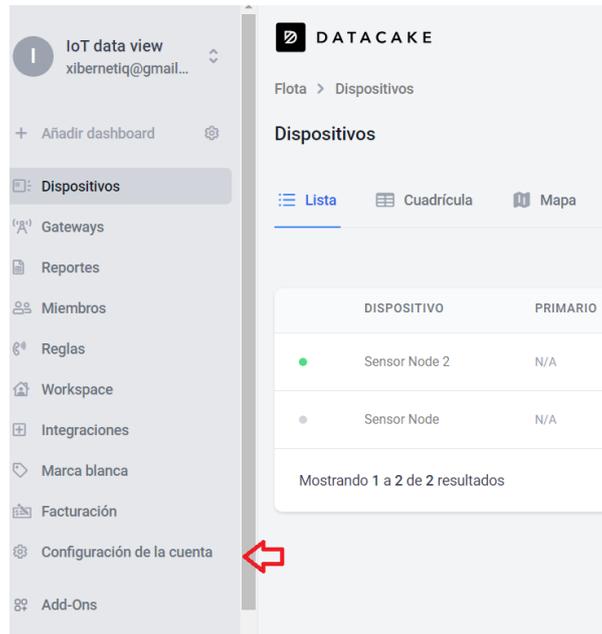


Figura 3.52: Configuración de cuenta en Datacake.



Figura 3.53: Visualización del token en Datacake.

4.- Se llena los datos, se copia el token anterior y se crea el datacake.



### Setup webhook for Datacake

Send data to Datacake via TTI adapter

[About Datacake](#) | [?](#)

Webhook ID \*

Token \*

Datacake API Token

Create Datacake webhook

Figura 3.54: Pantalla de registro de Datacake en TTN.

# Capítulo IV

## Implementación y pruebas

En este capítulo, se implementa la red, partiendo con los dispositivos LoRa, seguido de la colocación en el espacio físico. Además se detalla los datos obtenidos y los resultados de tiempo de muestro, exactitud y potencia de la señal.

### 4.1. Puesta a punto del sistema

#### 4.1.1. Montaje de componentes

Se colocan todos los componentes dentro de la caja hermética de tal manera que sea fácil cambiar cualquiera de ellos en caso de ser necesario. Además, se incorporan elementos como: shield y juego de postes hembra-hembra para arduino nano, tornillos, cables, conectores molex y cable coaxial SMA macho-hembra para antena. En la Figura 4.1 se observa el montaje de todos los elementos.



Figura 4.1: Montaje de elementos en la caja hermética.

#### 4.1.2. Ubicación de los transceptores

Los dispositivos finales o también llamados nodos se colocan de acuerdo a la topología estrella ya que es propia del protocolo LoRaWAN y además, ayuda a incrementar el tiempo de vida útil de la batería. Para poder colocar los dispositivos dentro del cultivo se realiza una estaca como se muestra en la Figura 4.2.



Figura 4.2: Modelo de estaca para colocación de dispositivos.

Luego se sujeta la caja que contiene el dispositivo en la estaca y se coloca en el terreno.



Figura 4.3: Colocación de la caja en la estaca.

Los dispositivos se distribuyen en dos espacios de terreno y a distancias diferentes del gateway, como se muestra en la Figura 4.4 .

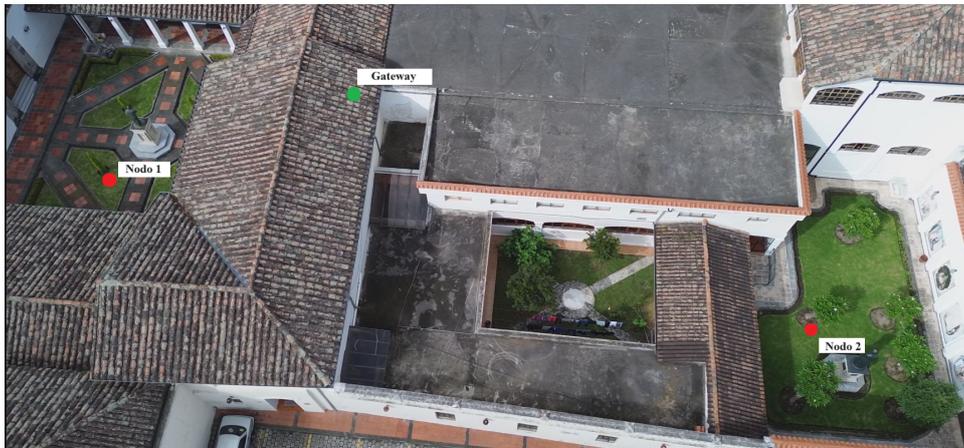


Figura 4.4: Ubicación de los dispositivos en el terreno.

### 4.1.3. Visualización de datos

Se carga el código del Anexo F en el microcontrolador para observar los datos de los sensores en el monitor serial del arduino.

```

COM5
La humedad es de: 0%
AW5: 107
Voltaje Real: 1.99
La lectura es: 1022
LECTURA SENSOR DHT11
Humidity: 65.00
%Temperature:22.20°C
Humidity voltage: 101.79
Real Voltage: 1.83
LECTURA SENSOR FC-28
La humedad es de: 0%
AW5: 107
Voltaje Real: 1.99
La lectura es: 1022
LECTURA SENSOR DHT11
Humidity: 65.00
%Temperature:22.20°C
Humidity voltage: 101.79
Real Voltage: 1.83
LECTURA SENSOR FC-28
La humedad es de: 0%
AW5: 107
Voltaje Real: 1.99
La lectura es: 1023

```

Figura 4.5: Datos de monitor serial del FC-28.

Para visualizar los datos en Datacake se crea los campos que corresponden al valor de cada sensor. Los campos se nombran de acuerdo a los nombres que se visualizan en TTN como en la figura 4.6 y en la figura 4.7.

The screenshot shows the TTN interface for a device with EUI **eui-a84041239358f65b**. The 'Live data' tab is active, displaying a table of data messages. The 'Data preview' section shows the following payload for a 'Forward uplink data message':

```

Payload: { ADC_CH0V: 1.993, ADC_CH1V: 2.188, ADC_CH4V: 0.001, BatV: 3.681, Digital_IStatus:

```

Figura 4.6: Visualización de datos en TTN.

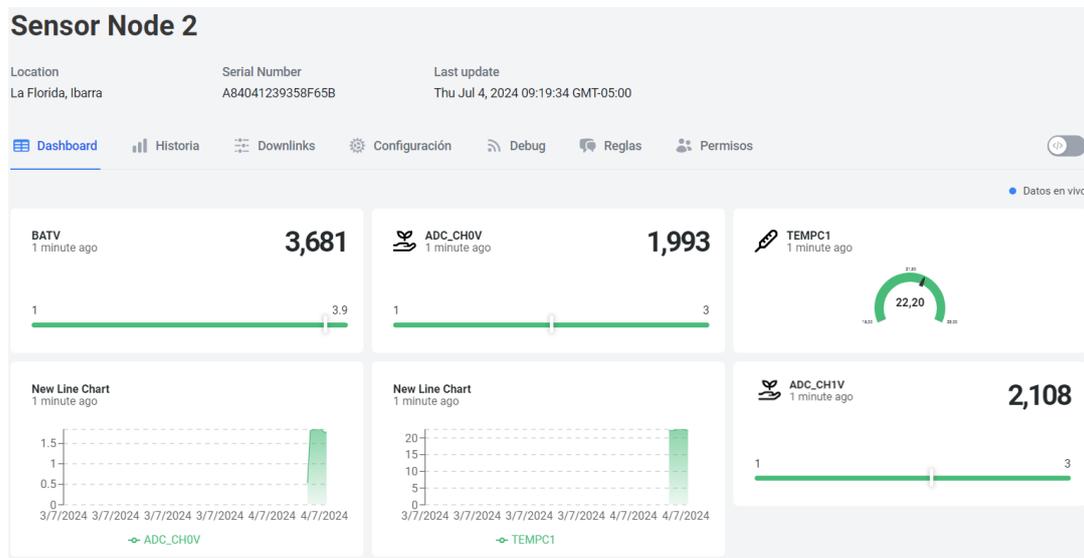


Figura 4.7: Visualización de datos en Datacake.

## 4.2. Pruebas y resultados

### 4.2.1. Aplicación web

Gracias a las funciones de Datacake es posible visualizar los datos obtenidos en un dispositivo móvil. En el Dashboard de Datacake se obtiene un link o código qr para realizar la vinculación con el dispositivo como se muestra en la Figura 4.8.

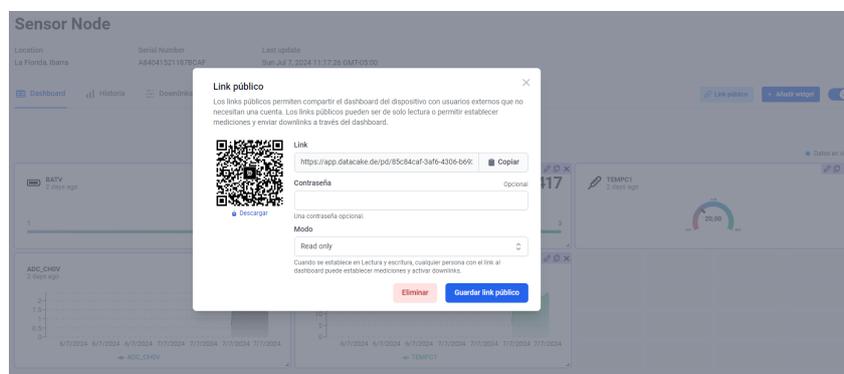


Figura 4.8: Link de conexión con el dispositivo móvil.

Luego en la aplicación del móvil se registran los datos como se observa en la Figura 4.9.

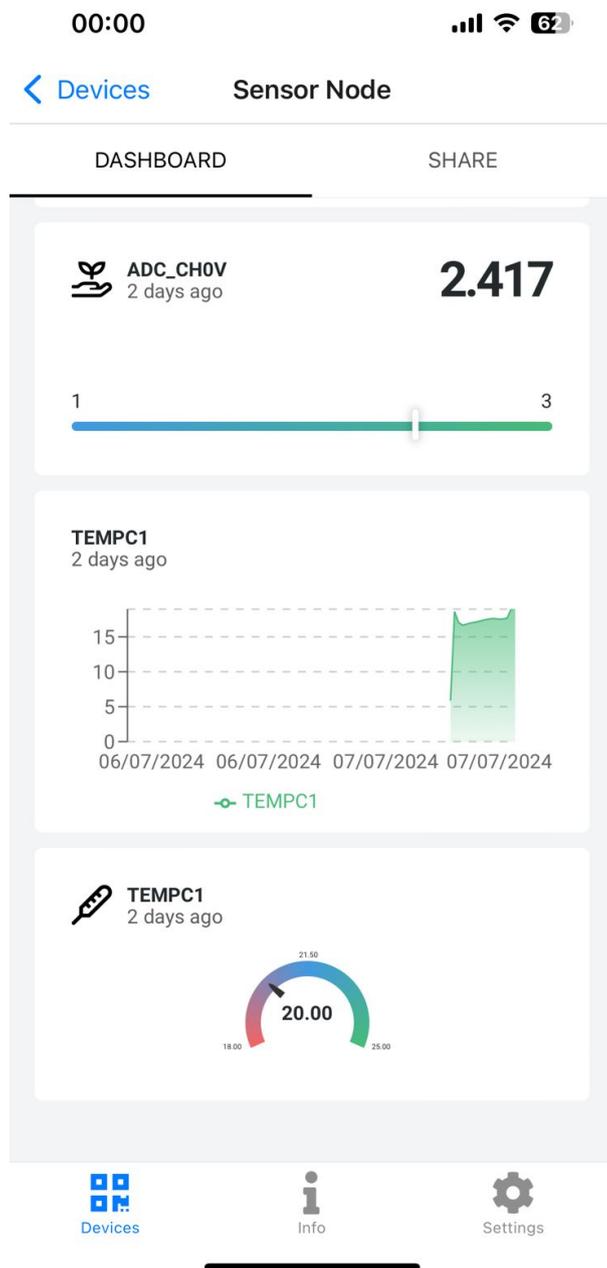


Figura 4.9: Visualización de datos en el dispositivo móvil.

### 4.2.2. Tiempo de muestreo

Con la finalidad de comprobar el tiempo que tardan en llegar los datos desde los dispositivos LoRa a las plataformas web se toma el tiempo con un cronómetro durante 15 repeticiones. En primera instancia se toma el tiempo en llegar a TTN como se observa en la Tabla 4.1.

<b>Repeticiones</b>	<b>Hora</b>	<b>Tiempo en TTN (s)</b>
1	8:27	1
2	8:29	1
3	8:30	1
4	8:31	1
5	8:32	1
6	8:33	1
7	8:34	1
8	8:35	1
9	8:36	1
10	8:37	1
11	8:38	1
12	8:39	1
13	8:40	1
14	8:41	1
15	8:42	1

Tabla 4.1: Tiempos de muestreo de datos en TTN.

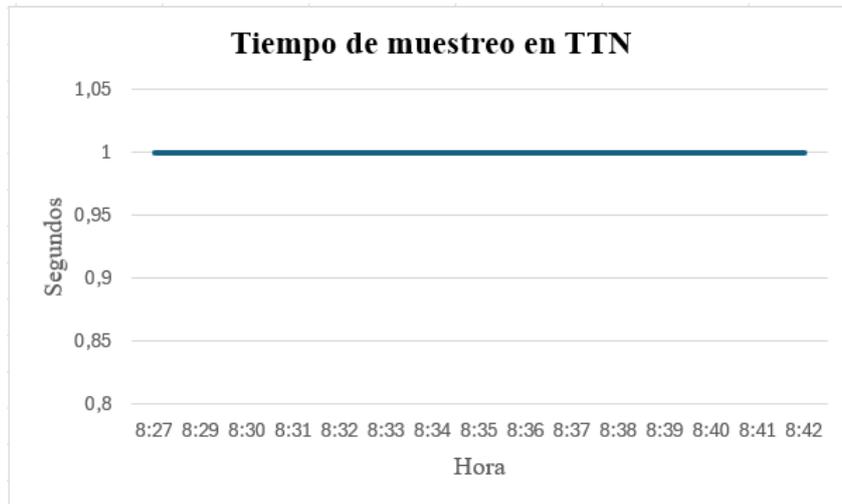


Figura 4.10: Tiempo de llegada de datos a TTN.

Como se observa en la Figura 4.10 el tiempo que tarda en llegar los datos a TTN es muy pequeño por lo que se determina que la visualización de datos es en tiempo real sin ningún tipo de inconveniente.

Luego se realiza la toma de muestras para los datos que llegan a Datacake tanto en la plataforma web como en la aplicación móvil. La Tabla 4.2 muestra los resultados obtenidos.

Repeticiones	Hora	Tiempo en Datacake (s)
1	8:27	1
2	8:29	2
3	8:30	1
4	8:31	1
5	8:32	1
6	8:33	1
7	8:34	2
8	8:35	1
9	8:36	2
10	8:37	2
11	8:38	1
12	8:39	1
13	8:40	2
14	8:41	1
15	8:42	1

Tabla 4.2: Tiempos de muestreo de datos en Datacake.

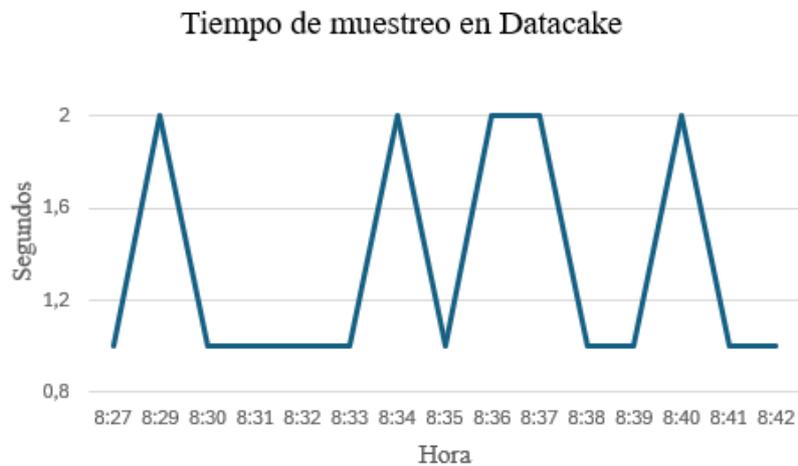


Figura 4.11: Tiempo de llegada de datos a Datacake.

En la Figura 4.11 se observa el tiempo en que tardan en reflejarse los datos en Datacake el cual oscila entre 1s y 2s. La variación del tiempo depende de muchos factores como la velocidad del internet y el procesamiento de datos. Sin embargo, el tiempo que se obtiene no genera

problemas al momento de visualizar los datos que llegan desde los dispositivos LoRa.

### 4.2.3. Exactitud de mediciones

Con la ayuda de un dispositivo digital disponible en el mercado se realiza la toma de muestras de los valores de humedad y temperatura del suelo. Luego se realiza la toma de muestras con los sensores del proyecto. Se extrajeron 15 valores de temperatura y humedad los cuales se presentan en la Tabla 4.3.

Sensores Proyecto		Medidor Digital	
Temperatura	Humedad	Temperatura	Humedad
18.6	77	19	78
18.6	76	19	77
18.6	78	19	78
18.6	76	19	78
18.6	77	19	78
18.6	78	19	80
17.6	80	18	81
17.6	84	18	85
17.5	85	18	87
17.6	85	18	87
17.6	87	18	88
16.6	90	17	91
16.7	90	17	91
16.5	91	17	92
16.8	90	17	91

Tabla 4.3: Datos comparativos prototipo - medidor digital.

Se realiza el cálculo del error absoluto y error relativo con los valores correspondientes a cada medición. Para lo cual, se utilizan las siguientes ecuaciones que siguen

Error absoluto

$$\text{Error absoluto} = \text{medida dispositivo digital} - \text{medida del prototipo},$$

Error relativo

$$Error\ relativo = \frac{Error\ absoluto}{medida\ digital} * 100.$$

Se obtienen los siguientes resultados tanto para los valores de humedad y temperatura como se muestra en la Tabla 4.4 y Tabla 4.5.

<b>Cálculo de errores</b>	
<b>Humedad</b>	
<b>Error absoluto</b>	<b>Error relativo</b>
1	1,282051
1	1,298701
0	0
2	2,564102
1	1,282051
2	2,5
1	1,234567
1	1,17647
2	2,29885
2	2,29885
1	1,136363
1	1,098901
1	1,098901
1	1,086956
1	1,098901

Tabla 4.4: Cálculos de error de humedad.

<b>Cálculo de errores</b>	
<b>Temperatura</b>	
<b>Error absoluto</b>	<b>Error relativo</b>
0,4	2,105263
0,4	2,105263
0,4	2,105263
0,4	2,105263
0,4	2,105263
0,4	2,105263
0,4	2,105263
0,4	2,222222
0,4	2,222222
0,5	2,777777
0,4	2,222222
0,4	2,222222
0,4	2,352941
0,3	1,764705
0,5	2,941176
0,2	1,17647

Tabla 4.5: Cálculos de error de temperatura.

Los variación de los valores dependen mucho del dispositivo que se utilice y de las condiciones a las que se encuentra el suelo. Como se puede observar en los cálculos de errores no existe una variación muy grande por lo que los valores se encuentran un nivel adecuado.

#### **4.2.4. Potencia de señal**

El valor RSSI indica la potencia de la señal que se recibe y se mide en dBm (decibelio-milivatio). En LoRa el valor adecuado para una buena transmisiones de -120dBm. En la Figura 4.12 se observa que el valor es cercano a los -120dBm lo que significa que la transmisión se desarrolla adecuadamente.

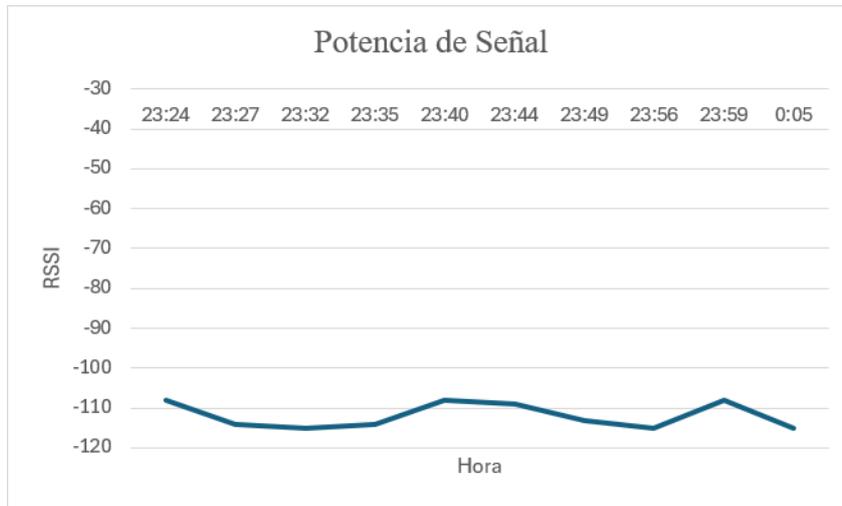


Figura 4.12: Valores de potencia de señal.

El Valor SNR indica la diferencia que existe entre la fuerza de la señal y el nivel de ruido, se mide en dB (decibelios). En LoRa los valores de operación adecuados son entre -20 dB y 10 dB. De acuerdo a la Figura 4.13 se puede observar que el valor de SNR oscila entre los 7,2 dB y 7,8 dB el mismo que resulta adecuado para transmisión y recepción de datos.

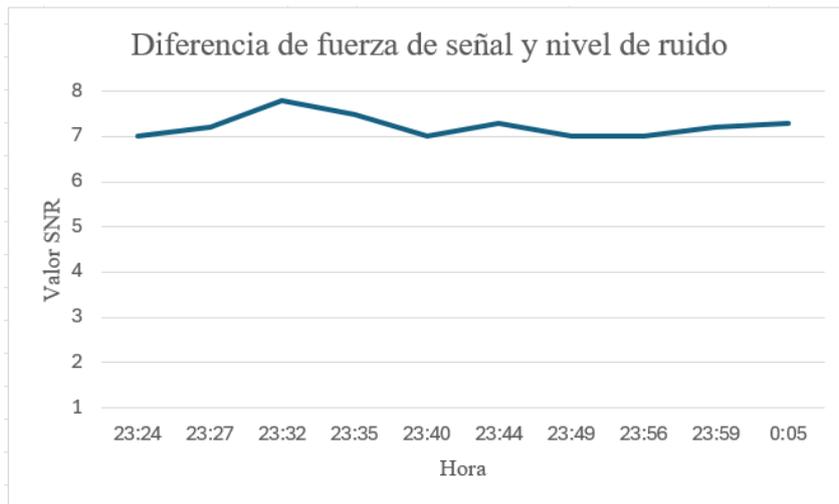


Figura 4.13: Valores de fuerza de señal y nivel de ruido.

# Capítulo V

## Conclusiones y trabajo futuro

### 5.1. Conclusiones

- El desarrollo del presente trabajo de grado demostró ser una solución efectiva para la transmisión inalámbrica de datos con baja potencia y largo alcance, adecuada para espacios urbanos.
- Se diseñó un prototipo de monitoreo de valores de temperatura, humedad y humedad relativa. En el circuito se encuentran el microcontrolador, sensores de variables y sensor LSN50 que se comunicaron por medio del protocolo LoRa con el Gateway que sube los datos a la plataforma web.
- La red demostró su capacidad para recopilar datos en tiempo real sobre variables de temperatura y humedad del suelo. Estos datos fueron útiles para monitorear de manera adecuada el riego y la nutrición de los cultivos urbanos.

- La implementación de la red demostró el potencial de las tecnologías inalámbricas para promover la participación de la ciudadanía, el empoderamiento de las personas y el libre acceso a la red para generar propuestas de desarrollo sostenible.
- La tecnología LoRa demostró ser robusta y confiable debido a su alcance, bajo consumo de energía, bajo costo y facilidad de implementación. Además, de sus características ofrece un espacio amplio de aplicación para la innovación y transformación de los espacios urbanos.

## **5.2. Recomendaciones**

- La implementación de la red LoRa sugiere un análisis previo del espacio de tierra, la cantidad de nodos necesarios, la ubicación estratégica del gateway y el suministro de energía para la adaptación en diferentes escenarios.
- La visualización de los datos puede ser compatible con plataformas de base de datos como Google Cloud, Microsoft Azure, Digital Ocean, entre otros. También se puede implementar una raspberry para utilizarla de manera local.
- Se sugiere explorar a profundidad el campo de aplicación de IoT para integrarlo con otras tecnologías como inteligencia artificial y machine learning con la finalidad de mejorar los resultados.

### **5.3. Trabajo a futuro**

- Proponer estrategias para implementar la red en áreas más extensas y replicarla en diferentes espacios de la ciudad. Además, de analizar la viabilidad de aplicación de la tecnología LoRa en comunidades donde los recursos son limitados.
- Implementar nuevos dispositivos IoT y sensores para recopilar más información relevante que ayuden a los cultivos. Desarrollar servicios inteligentes como sistemas de riego, control de plagas que contribuyan al crecimiento adecuado de las plantas.
- Implementar medidas de seguridad y privacidad robustas para proteger los datos recopilados por la red IoT. Además, brindar capacitación a los usuarios sobre el manejo adecuado de la información y el mantenimiento de la tecnología de largo alcance.

# Bibliografía

- [1] M. Milenkovic, “Internet of things: Concepts and system design,” *Springer International Publishing*, pp. 4–5, 2020.
- [2] E. Pagliari, L. Davoli, A. Cilfone, and G. Ferrari, “A modular multi-interface gateway for heterogeneous iot networking,” in *2020 International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT)*, pp. 1–6, 2020.
- [3] H. Jamali-Rad, X. Campman, I. MacKay, W. Walk, M. Beker, J. van den Brand, H. J. Bulten, and V. van Beveren, “Iot-based wireless seismic quality contro,” in *Society of Exploration Geophysicists*, pp. 214–221, 2020.
- [4] INCIBE, “Arquitectura de protocolo.” Disponible: <https://www.incibe.es/incibe-cert/blog/lorawan-y-su-aportacion-las-tecnologias-iiot>. Accedido: [Jun.05,2024].
- [5] M2MIndustrial, “Comparativa redes.” Disponible: <https://www.m2mlogitek.com/lpwan-que-son-y-para-que-se-utilizan/comparativa1/>. Accedido: [Jun.03,2024].
- [6] Instructables, “Lora gateway (dragino lg01-p).” Disponible: <https://www.instructables.com/Lora-Gateway-Dragino-LG01-P/>. Accedido: [Jun.01,2024].

- [7] TTS, “Basic Concepts.” Disponible: <https://www.thethingsindustries.com/docs/the-things-stack/concepts/architecture/>, 2024. Accedido: [Jun.25,2024].
- [8] Megatronica, “Sensor temperatura ds18b20 arduino.” Disponible: <https://megatronica.cc/producto/sensor-temperatura-ds18b20-arduino/>. Accedido: [May.18,2024].
- [9] DRAGINO, “Lsn50 lsn50-v2 - lorawan sensor node user manual.” Disponible: <http://wiki.dragino.com/xwiki/bin/view/Main/User%20Manual%20for%20LoRaWAN%20End%20Nodes/LSN50%20%26%20LSN50-V2%20-%20LoRaWAN%20Sensor%20Node%20User%20Manual/>. Accedido: [Jun.12,2024].
- [10] AVElectronics, “Higrometro humedad suelos.” Disponible: <https://avelectronics.cc/producto/higrometro/>. Accedido: [May.22,2024].
- [11] AVElectronics, “Dht11 temperatura y humedad.” Disponible: <https://avelectronics.cc/producto/dht11-temperatura-y-humedad/>. Accedido: [May.20,2024].
- [12] M. Store, “Dragino lsn50v2-s31 sensor temperatura humedad.” Disponible: <https://maker-store.es/iot-lora-nb-iot-rfid-m2m-co/lora/lora-sensores/5117/dragino-lsn50v2-s31-sensor-temperatura-amp-humedad>. Accedido: [May.25,2024].
- [13] V. Gras, “Regulador de voltaje 7805 y familia.” Disponible: <https://www.turibot.es/blog/index.php/2020/02/16/regulador-de-voltaje-7805-yfamilia/#:~:text=Es%20decir%2C%20para%20el%207805,independientemente%20del%20potencial%20de%20entrada>. Accedido: [Jun.10,2024].

- [14] CECOMIN, “Pila 18650 recargable li-ion 3.7 v 8800 mah marca maxday.” Disponible: <https://www.electrocecomin.com/products/pila-18650-recargable-tipo-ultrafire-li-ion-3-7-v-8800-mah-1>. Accedido: [Jun.8,2024].
- [15] RobotShop, “Puerta de enlace lorawan lg308n dragino.” Disponible: <https://eu.robotshop.com/es/products/puerta-de-enlace-lorawan-lg308n-dragino-us915-s-4g>. Accedido: [May.12,2024].
- [16] Y. Cabannes and L. Mougeot, “El estado de la agricultura urbana en américa latina y el caribe,” *La Era Urbana Suplemento para América Latina y el Caribe*, pp. 10–12, 1999.
- [17] C. Clavijo, “La agricultura urabana en quito: Análisis de la sustentabilidad de las huertas de tres proyectos,” B.S. thesis, 2013.
- [18] GADI, “Huertos urbanos.” Disponible: <https://www.ibarra.gob.ec/site/huertos-urbanos/>, 2023. Accedido: [May.25,2024].
- [19] G. Paredes, “Sistema de monitoreo de humedad de suelo, de largo alcance y georeferenciación usando internet de las cosas,” B.S. thesis, 2021.
- [20] J. Tovar, J. Solórzano, A. Rodríguez, and R. Genner, “Internet of things applied to agriculture: Actual state,” *Universidad Católica Luis Amigó*, pp. 86–105, 2019.
- [21] B. Citoni, F. Fioranelli, M. Imran, and A. Qammer, “Internet of things and lorawan - enabled future smart farming,” *IEEE Internet of Things Magazine*, pp. 14–19, 2019.

- [22] I. L. Ynzunza Cortés, Carmen Berenice *et al.*, “El entorno de la industria 4.0: Implicaciones y perspectivas futuras.” Disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006>, 2017. Accedido: [May.28,2024].
- [23] N. Kouvelas, V. Rao, P. Venkatesha, G. Tawde, and K. Langendoen, “Politely scaling lorawan.” Disponible: [https://research.tudelft.nl/files/71222186/025\\_036\\_kouvelas.pdf](https://research.tudelft.nl/files/71222186/025_036_kouvelas.pdf), 2020.
- [24] J. Barani, “Barani desing.” Disponible: <https://www.baranidesign.com/faq-articles/2019/4/23/lorawan-usa-frequencies-channels-and-sub-bands-for-iot-devices?rq=channels>, 2019. Accedido: [Jun.04,2024].
- [25] L. Hernández, “La agricultura urbana y caracterización de sus sistemas productivos y sociales, como vía para la seguridad alimentaria en nuestras ciudades,” *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*, pp. 13–25, 2006.
- [26] M. Montero, “Diseño de un sistema de elementos enfocado al cultivo urbano para departamentos. caso de estudio: centro norte de quito,” B.S. thesis, 2016.
- [27] MAG, “En imbabura, MAG impulsa producción agrícola en huertos.” Disponible: <https://www.agricultura.gob.ec/en-imbabura-mag-impulsa-produccion-agricola-en-huertos/>, 2020.
- [28] GADI, “Huertos urbanos.” Disponible: <https://www.ibarra.gob.ec/site/huertos-urbanos/>, 2024. Accedido: [Jun.15,2024].
- [29] A. Villarino, “Huerters foodies. El blog de fitoralia.” Disponible:<https://fitoralia.com/huertersandfoodies/post-3>, 2016.

- [30] PROAIN, “La humedad del suelo en la agricultura. Tecnología agrícola.” Disponible:<https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/la-humedad-del-suelo-en-la-agricultura>, 2020.
- [31] H. Fernando, “La humedad del aire, punto de rocío y su importancia en la agricultura..” Disponible: [https://www.agro-tecnologia-tropical.com/la\\_humedad.html](https://www.agro-tecnologia-tropical.com/la_humedad.html), s.f.
- [32] F. Villalpando, “Importancia de la temperatura en la agricultura de precisión. climapro agro.” Disponible: <https://www.climaproagro.com/blog/importancia-de-la-temperatura-en-la-agricultura-de-precisin>, 2024.
- [33] ORACLE, “What is iot.” Disponible:<https://www.oracle.com/co/internet-of-things/what-isiot.html>, 2020.
- [34] E. Ladiño, “Prototipo de un sistema web para el monitoreo de productos agrícolas en cultivos urbanos,” B.S. thesis, 2020.
- [35] M. Milan, “Internet of things: Concepts and system design,” *Springer*, 2020.
- [36] L. Jonathan, “Implementación de una red de sensores inalámbricos para la monitorización de variables físicas en cultivos hidropónicos mediante tecnología loRa,” B.S. thesis, 2022.
- [37] E. Mañay, O. Chicaiza, I. Orozco, M. Chilibuina, C. Martínez, and G. Carmen, “Diseño de una red lora de bajo costo para el monitoreo del sector agrícola,” *Ciencia Latina*, 2022.
- [38] J. Salazar, “Redes inalámbricas.” Disponible: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01\\_R\\_ES.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf), 2016.

- [39] A. Domínguez, “Diseño de una red de sensores inalámbricos lpwan para el monitoreo de cultivos y materia orgánica en la granja experimental la pradera de la universidad técnica del norte,” B.S. thesis, 2020.
- [40] F. Kuan, “¿Qué es la tecnología lora y cómo funciona?, Moko smart.” Disponible: <https://www.mokosmart.com/es/lora-technology/>, 2019.
- [41] P. Baltuille, “LoraWAN y su aportación a las tecnologías iot. incibe-cert.” Disponible: <https://www.incibe.es/incibe-cert/blog/lorawan-y-su-aportacion-las-tecnologias-iiot>, 2023.
- [42] A. Bassi, “Introducción a loraWAN.” Disponible: [https://www.gotoiot.com/pages/articles/lorawan\\_intro/content.html#h.y5inwwv0qpp](https://www.gotoiot.com/pages/articles/lorawan_intro/content.html#h.y5inwwv0qpp), 2021.
- [43] BECOLVE, “LPWAN: qué son y para qué se utilizan.” Disponible: <https://becolve.com/blog/lpwan-que-son-y-para-que-se-utilizan/>, 2020.
- [44] ALFAIOT, “The things network (TTN), una red iot global para la sociedad. Internet of Things.” Disponible: <https://alfaiot.com/iot/the-things-network-ttn-una-red-iot-global-para-la-sociedad/>, 2022.
- [45] TTI, “The Things Stack.” Disponible: <https://www.thethingsindustries.com/docs/>. Accedido: [Jun.6,2024].
- [46] TTS, “Devices.” Disponible: <https://www.thethingsindustries.com/docs/devices/>, 2024. Accedido: [Jun.23,2024].

- [47] S-CONNECT, “Gateway lorawan.” Disponible: <https://s-connect.es/Productos/Red-industrial/Gateway-LoRaWAN/#:~:text=Las%20gateways%20LoRaWAN%20son%20dispositivos,o%20acceder%20a%20redes%20existentes>. Accedido: [Jun.20,2024].
- [48] TTS, “Integraciones.” Disponible: <https://www.thethingsindustries.com/docs/integrations/>. Accedido: [Jun.18,2024].
- [49] EOSDATA, “Temperatura del suelo para la siembra y el cultivo.” Disponible: <https://eos.com/es/blog/temperatura-del-suelo/>, 2021. Accedido:[Jun.28,2024].

# **Anexos**

# Anexo A

## Presupuesto

Costos de Hardware			
Nombre	Unidades	Precio unitario (USD)	Subtotal (USD)
Gateway LG308N	1	230	230
Sensor LSN50	2	49	98
FC-28	2	3	6
DHT11	2	2,5	5
DS18B20	2	3,5	7
Arduino nano	2	9	18
Shield para arduino	2	5	10
Regulador 7805	2	0,6	1,2
Bateria Lion 3.7v	2	3,9	7,8
Porta Pilas	2	1,3	2,6
Elementos Electrónicos	1	5	5
Total			390,6

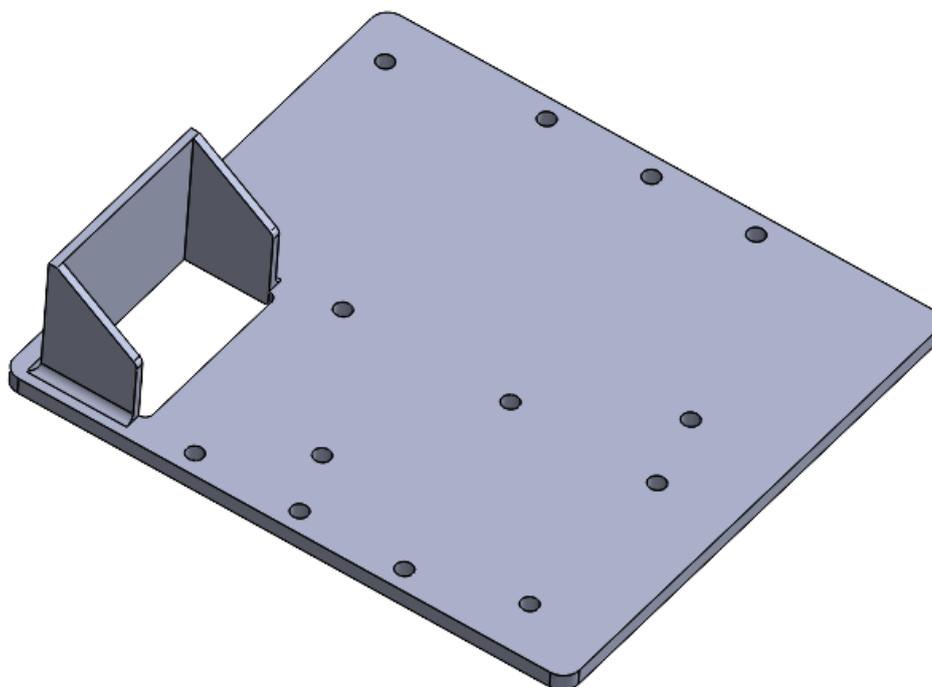
Costos de Infraestructura			
Nombre	Unidades	Precio unitario (USD)	Subtotal (USD)
Caja hermética	2	4,9	9,8
Estaca	2	3	6
Cables	1	5	5
PCB	2	5	10
Impresión 3D	2	10	20
Total			50,8

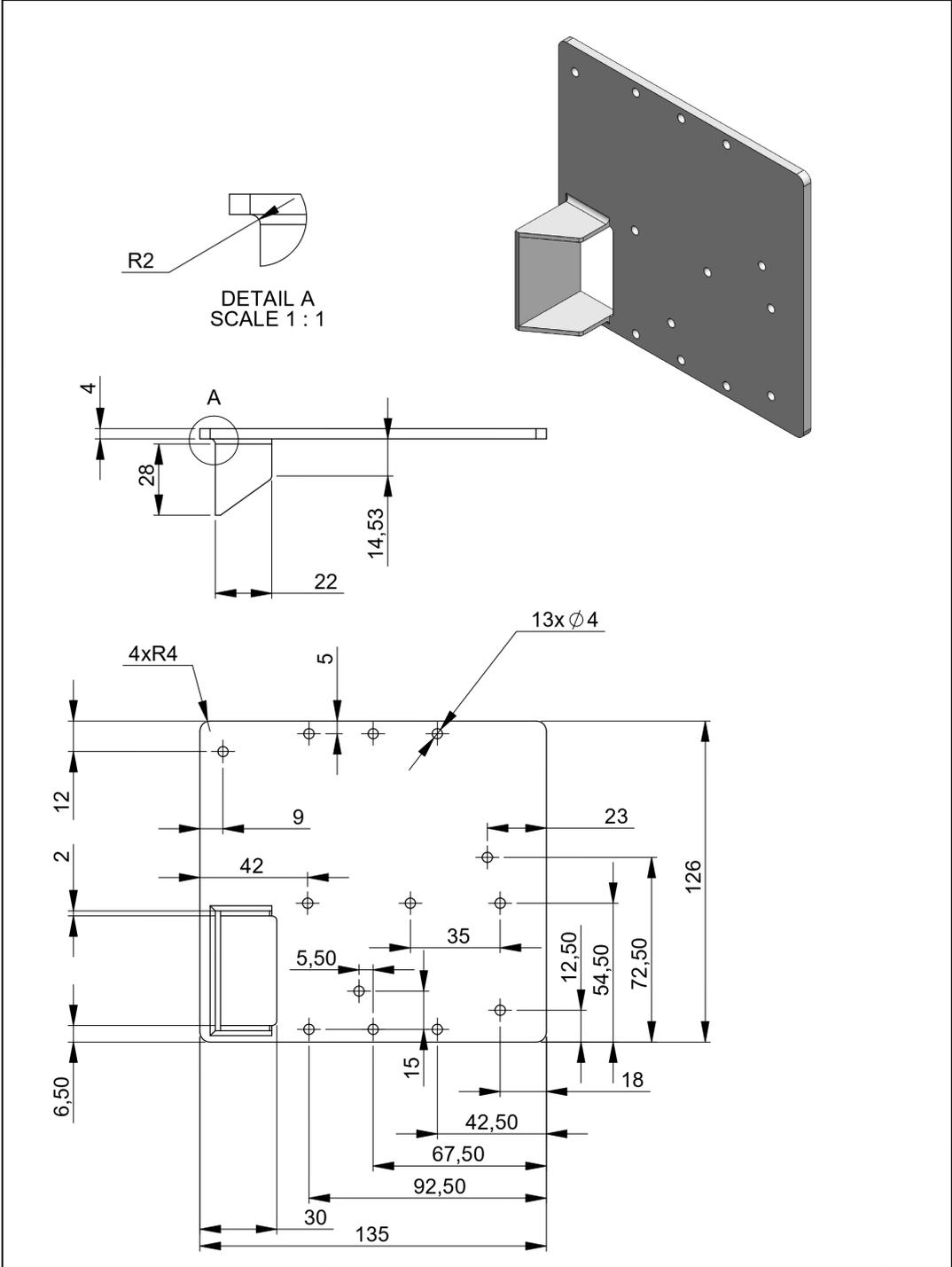
<b>Costos de Software</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio unitario (USD)</b>	<b>Subtotal (USD)</b>
Arduino IDE	1	0	0
Plataforma TTN	1	0	0
Datacake	1	0	0
Serial Port Utility	1	0	0
<b>Total</b>			<b>0</b>

<b>Costo Total</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Total</b>
Costo de hardware	390,6
Costo de infraestructura	50,8
Costo de software	0
<b>Total</b>	<b>441,4</b>

## **Anexo B**

### **Plano de la base de la caja**





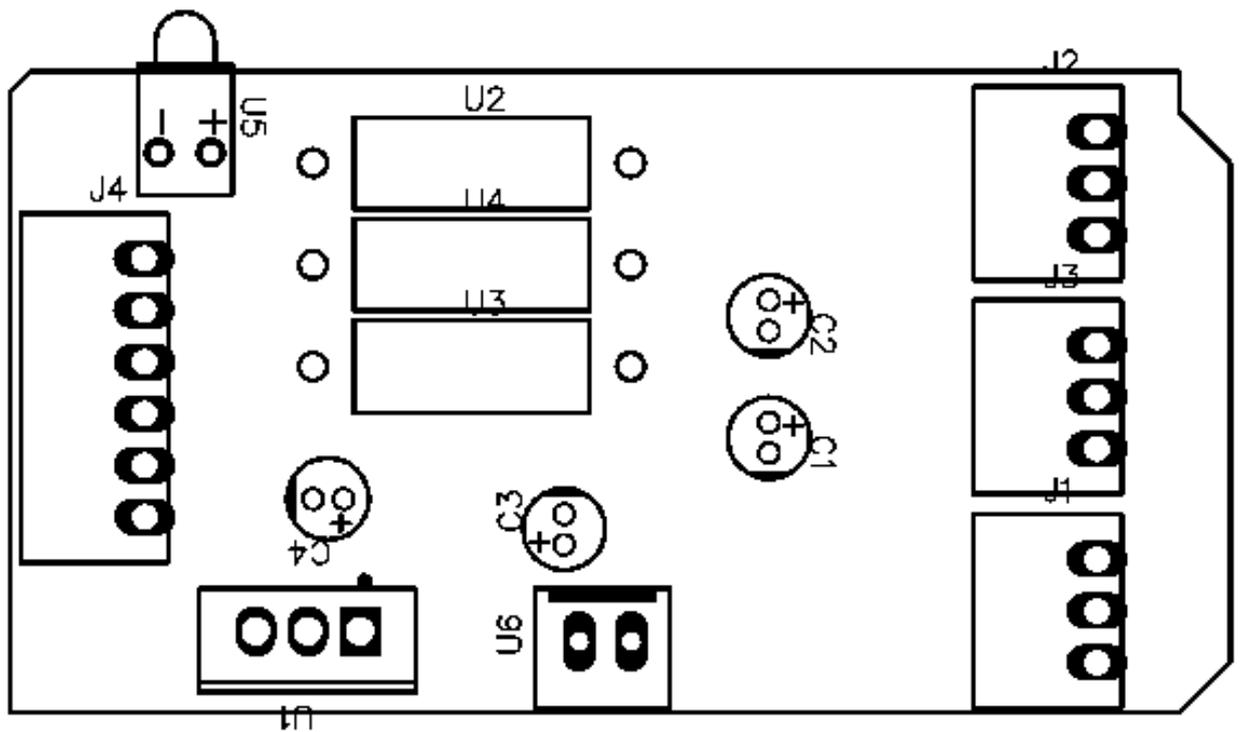
PROYECTO: BASE CAJA HERMÉTICA				ESCALA: 1:2	
PARTE: Base_caja					
CÓDIGO: BASE-RED-TESIS				TOLERANCIA: ±	
MATERIAL:	PLA	DISEÑO:	CAMPUÉS A.	6/6/2024	HOJA: 1/1 A4
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	CAMPUÉS A.	7/6/2024	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	ROSERO X.	10/7/2024	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ROSERO X.	10/7/2024	

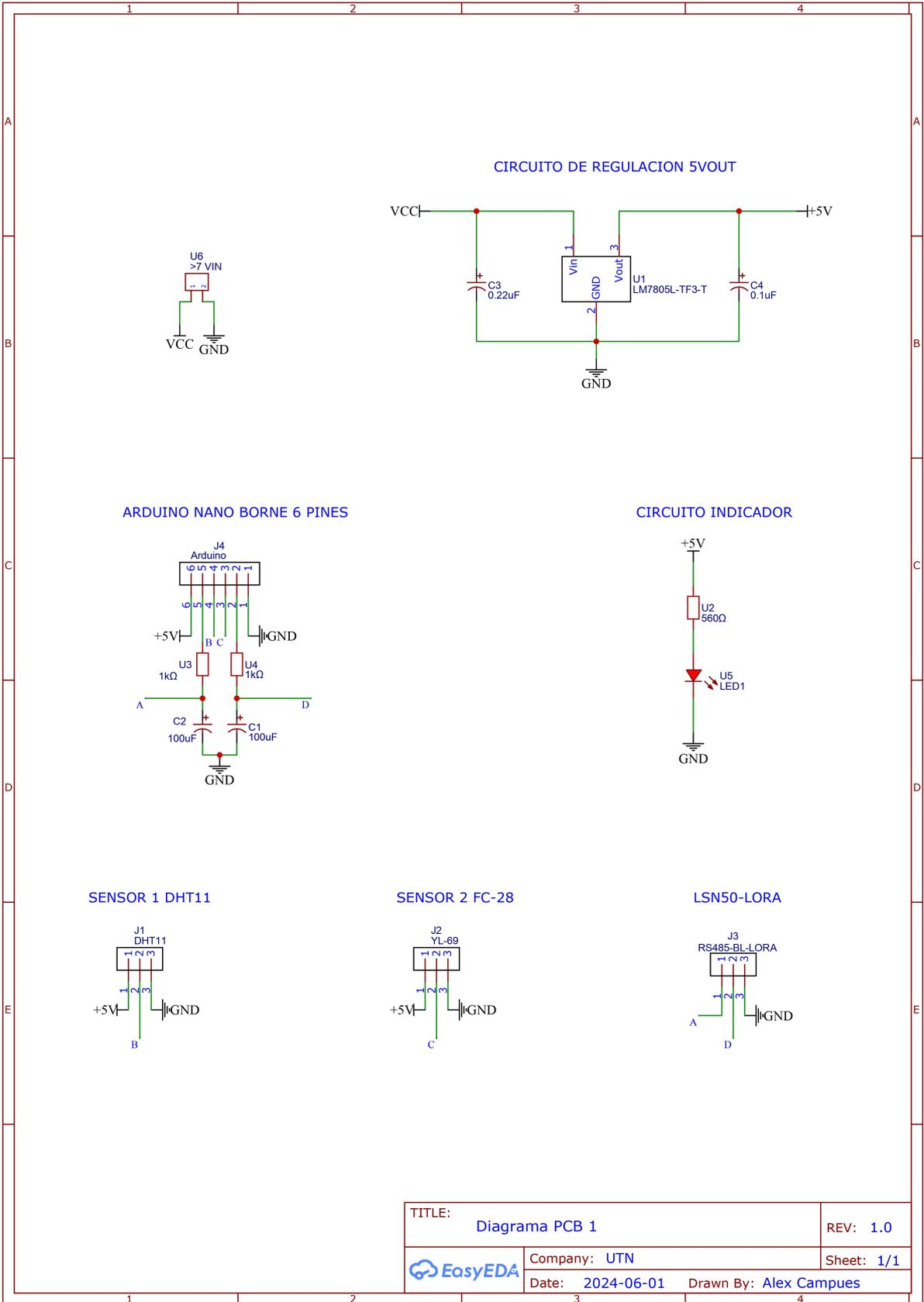
UTN

CIME

# Anexo C

## Plano de PCB

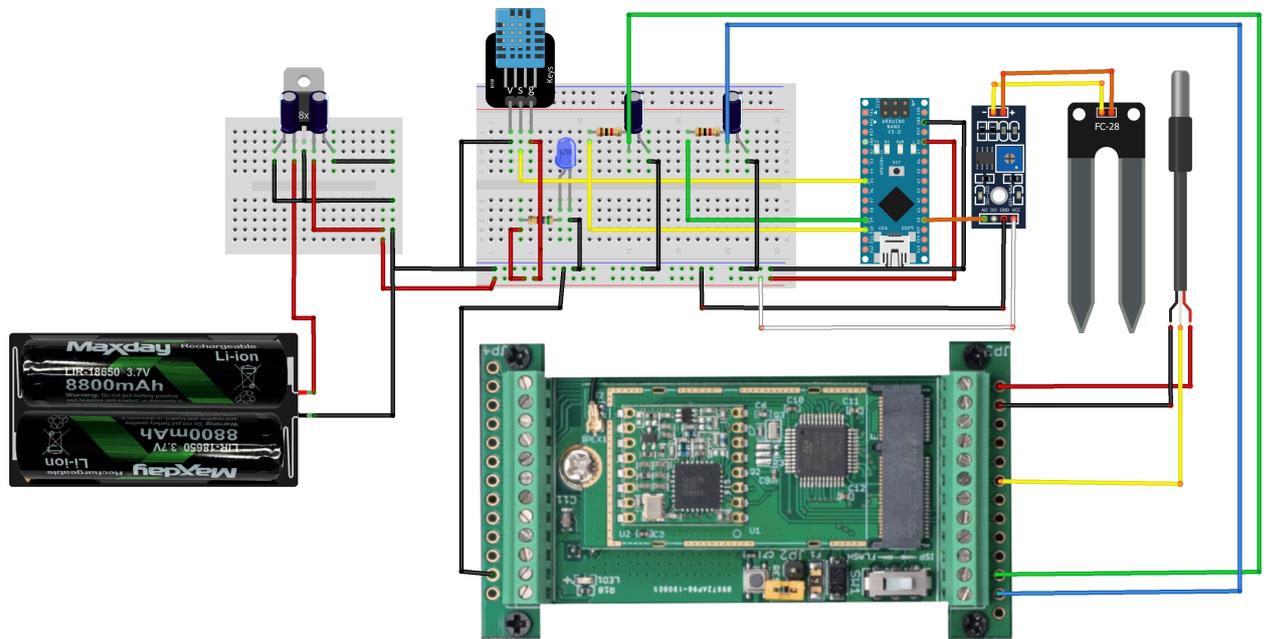




TITLE: Diagrama PCB 1		REV: 1.0
EasyEDA	Company: UTN	Sheet: 1/1
	Date: 2024-06-01	Drawn By: Alex Campues

# Anexo D

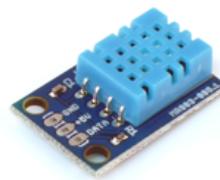
## Esquema de conexión de componentes



# Anexo E

## Datasheet Componentes

Name: **DHT11 Humidity and Temperature Digital Sensor**  
Code: **MR003-005.1**



This board is a breakout board for the DHT11 sensor and gives a digital output that is proportional to temperature and humidity measured by the sensor. Technology used to produce the DHT11 sensor grants high reliability, excellent long-term stability and very fast response time.

Each DHT11 element is accurately calibrated in the laboratory. Calibration coefficient is stored in the internal OTP memory and this value is used by the sensor's internal signal detecting process.

The single-wire serial interface makes the integration of this sensor in digital system quick and easy.

Sensor physical interfacing is realized through a 0.1" pitch 3-pin connector: +5V, GND and DATA. First two pins are power supply and ground and they are used to power the sensor, the third one is the sensor digital output signal.

Its small physical size (1.05"x0.7") and its very light weight (just 0.1oz) make this board an ideal choice to implementing small robots and ambient monitoring systems.

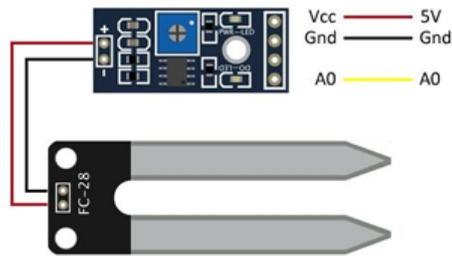
### CONNECTIONS

DATA	Serial data output
GND	Ground
+5V	Power supply (+5V)

*Tab.1 – Connections*

### Sensor de Humedad de Suelo FC-28

Un higrómetro de suelo FC-28 es un sensor que mide la humedad del suelo. Son ampliamente empleados en sistemas automáticos de riego para detectar cuando es necesario activar el sistema de bombeo. El FC-28 es un sensor sencillo que mide la humedad del suelo por la variación de su conductividad.

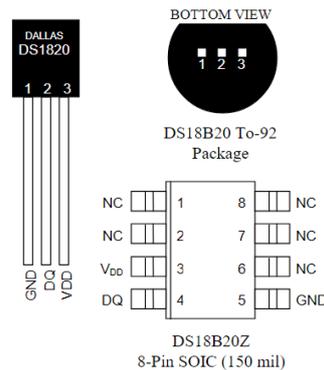


- Sensibilidad ajustable mediante el potenciómetro (color azul)
- Voltaje de operación: 3.3V - 5Vdc
- Modo de salida dual, salida digital y salida analógica más precisa.
- Agujeros de montaje para una fácil instalación.
- Dimensiones Tarjeta : 30mm x 16mm
- Dimensiones de sonda : 60mm x 30mm
- Módulo amplificador LM393.

### FEATURES

- Unique 1-Wire interface requires only one port pin for communication
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Zero standby power required
- Measures temperatures from -55°C to +125°C. Fahrenheit equivalent is -67°F to +257°F
- ±0.5°C accuracy from -10°C to +85°C
- Thermometer resolution is programmable from 9 to 12 bits
- Converts 12-bit temperature to digital word in 750 ms (max.)
- User-definable, nonvolatile temperature alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

### PIN ASSIGNMENT



### PIN DESCRIPTION

- GND - Ground
- DQ - Data In/Out
- V<sub>DD</sub> - Power Supply Voltage
- NC - No Connect

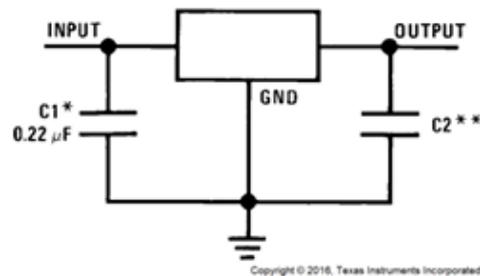
LM7805 is also available in a higher accuracy and better performance version (LM340A). Refer to LM340A specifications in the [LM340A Electrical Characteristics](#) table.

#### Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM340x LM7805 Family	DDPAK/TO-263 (3)	10.18 mm × 8.41 mm
	SOT-223 (4)	6.50 mm × 3.50 mm
	TO-220 (3)	14.986 mm × 10.16 mm
	TO-3 (2)	38.94 mm x 25.40 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

#### Fixed Output Voltage Regulator



\*Required if the regulator is located far from the power supply filter.

\*\*Although no output capacitor is needed for stability, it does help transient response. (If needed, use 0.1- $\mu$ F, ceramic disc).

# Anexo F

## Código Arduino

```
#include <DHT.h>

#define DHTTYPE DHT11

#define DHTPIN 5

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

double voltaje;

double AW3 = 0;

double real_voltaje = 0;

double const ssuelo = 0.2316715543;

int AW5=0;

double Real_Voltaje = 0;
```

```

void setup() {

    Serial.begin(9600);

    dht.begin();

    pinMode(9, OUTPUT);

    pinMode(10,OUTPUT);

}

void loop() {

    int lectura = analogRead(A0);

    float humidity = dht.readHumidity();

    float temperature = dht.readTemperature();

    if (isnan(humidity) || isnan(temperature)) {

        Serial.println("ERROR_EN_EL_SENSOR");

        return;

    }

    Serial.println("LECTURA_SENSOR_DHT11");

```

```

AW3 = (humidity + 73.44) / 1.36;
real_voltaje = (AW3 * 3.49) / 190;

analogWrite(9, AW3);

Serial.print("Humidity:");
Serial.println(humidity);
Serial.print("%Temperature:");
Serial.print(temperature);
Serial.println("C");
Serial.print("Humidity_voltage:");
Serial.println(AW3);
Serial.print("Real_Voltage:");
Serial.println(real_voltaje);

delay(5000);

//Convirtiendo a Porcentaje
int lecturaPorcentaje = map(lectura, 1023, 0,0,100);

Serial.println("LECTURA_SENSOR_FC-28");

```

```

Serial.print("La_humedad_es_de:_");
Serial.print(lecturaPorcentaje);
Serial.println("%");

AW5=(255*2/4.745-255*3.5/4.745)/(1023)*lectura+255*3.5/4.745;
Real_Voltaje = (AW5*4.745)/255;

analogWrite(10,AW5);
Serial.print("AW5:_");
Serial.print(AW5);
Serial.println();
Serial.print(" Voltaje_Real:_");
Serial.print(Real_Voltaje);
Serial.println();
Serial.print("La_lectura_es:_");
Serial.println(lectura);

}

```

## **Anexo G**

### **Manual de usuario dispositivos LoRa**

En el siguiente enlace se puede encontrar el manual de usuario del LSN50.

<http://wiki.dragino.com/xwiki/bin/view/Main/User%20Manual%20for%20LoRaWAN%20End%20Nodes/LSN50%20%26%20LSN50-V2%20-%20LoRaWAN%20Sensor%20Node%20User%20Manual/>

En el siguiente enlace se puede encontrar el manual de usuario del gateway LG308N.

<http://wiki.dragino.com/xwiki/bin/view/Main/User%20Manual%20for%20All%20Gateway%20models/LG308N%20-%20LoRaWAN%20Gateway%20User%20Manual/#H3.A0TypicalNetworkSetup>