



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Desarrollo de un sistema de monitorización mediante la implementación de una infraestructura de red con tecnología LoRaWAN para aplicaciones IoT orientadas a agricultura de precisión en el campus IASA I

Autores: Lema Chulli Richard Joel
Villavicencio Vega Freddy Fernando

Director: Ing. Alejandro Castro



- ▶ **01. Introducción**
- ▶ **02. Objetivos**
- ▶ **03. Diseño e Implementación**
- ▶ **04. Pruebas y Resultados**
- ▶ **05. Conclusiones y Recomendaciones**





01. Introducción



02. Objetivos



03. Diseño e Implementación



04. Pruebas y Resultados



05. Conclusiones y Recomendaciones



IoT
(Internet of Things)



1999 - Kevin Ashton



Monitoreo y control de vehículos, activos, personas y mascotas.



Automatización agrícola



Consumo energético



Seguridad y vigilancia



Gestión de edificios



Móviles embebidos



las cosas cotidianas se conectan



por un mañana más inteligente



M2M y red de sensores inalámbricos



Cosas cotidianas



Hogares y ciudades inteligentes



Telemedicina y atención médica



Agricultura de Precisión



Changotasi, F., & Lechón, B. (2022). Diseño e implementación de un sistema de medición de variables climáticas e hidro-físicas mediante una red LPWAN para aplicaciones IoT de agricultura de precisión.

Páez, S. (2021). Evaluación del desempeño de una red de sensores para la monitorización de variables físicas del suelo en un invernadero mediante tecnología Sigfox.



- Aumento del rendimiento de la producción agrícola
- Modernización de técnicas de cultivo
- Sustentabilidad ambiental y económica
- Países industrializados
- Ecuador, sistemas agrícolas convencionales
- Apoyo al agricultor en las distintas etapas de producción de los cultivos
- Sistemas amigables
- Disponibilidad
- Trabajo multidisciplinario



01. Introducción



02. Objetivos



03. Diseño e Implementación



04. Pruebas y Resultados



05. Conclusiones y Recomendaciones



Objetivo General

- Desarrollar un sistema de monitorización mediante la implementación de una infraestructura de red con tecnología LoRaWAN para aplicaciones IoT orientadas a Agricultura de Precisión en el campus IASA I.



Objetivos Específicos

- Implementar la infraestructura de la red LPWAN con tecnología LoRaWAN en el campus IASA I.
- Realizar la caracterización de los sensores a utilizar y obtener sus curvas de calibración.
- Desplegar una red de sensores con tecnología de comunicación LoRaWAN, para medir las variables físico-químicas del suelo y del agua.
- Desplegar una red de sensores con tecnología de comunicación LoRaWAN, para medir las variables ambientales.



Objetivos Específicos

- Desarrollar una aplicación web y una aplicación móvil para visualizar las mediciones obtenidas por los sensores en un dashboard de mando.
- Evaluar el desempeño de la tecnología LoRaWAN en comparación con el protocolo Sigfox utilizado en otros proyectos de investigación.
- Validar la precisión de las mediciones de los sensores mediante un protocolo de pruebas.





01. Introducción



02. Objetivos



03. Diseño e Implementación



04. Pruebas y Resultados

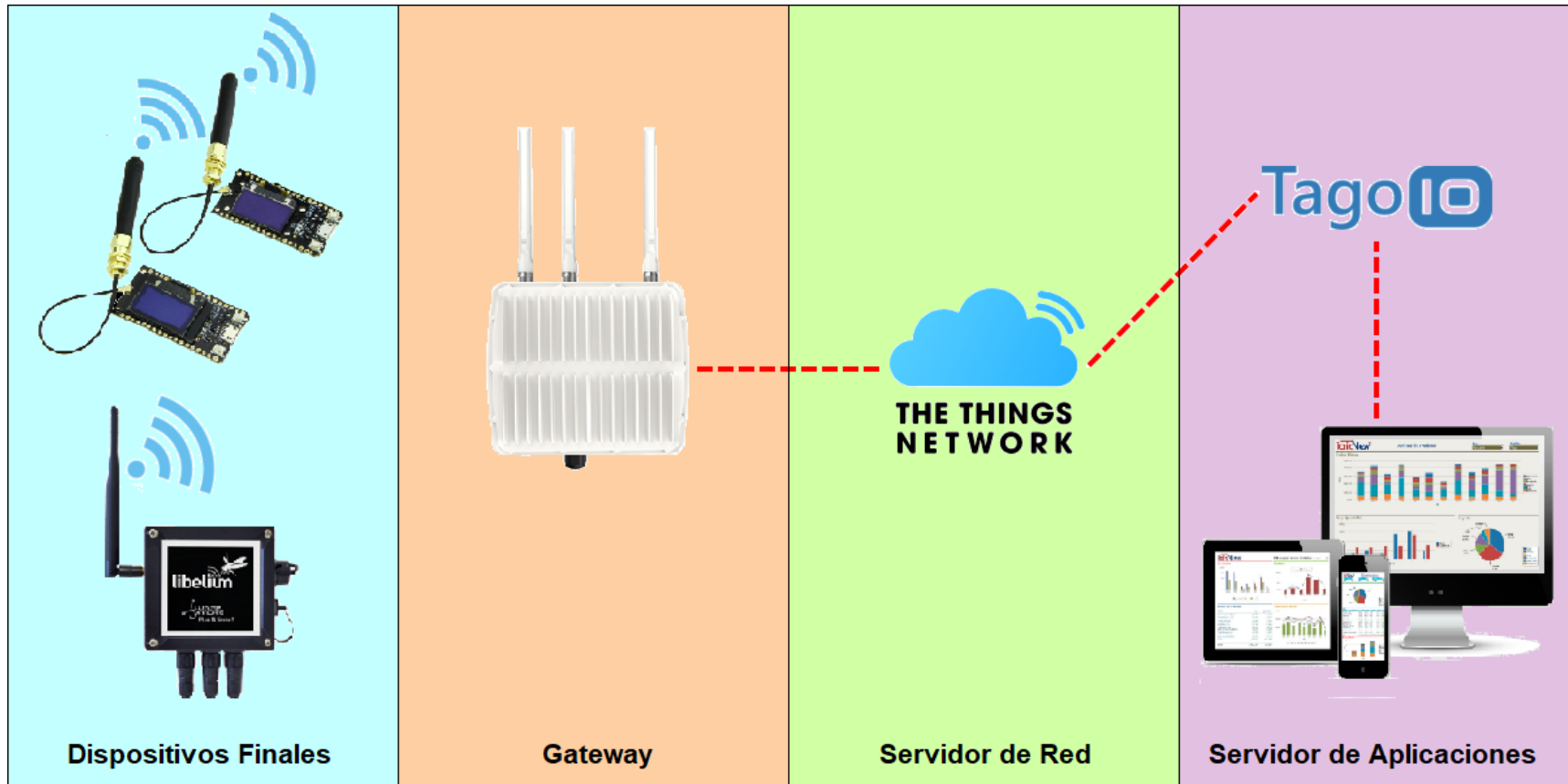


05. Conclusiones y Recomendaciones



Diseño e Implementación

Arquitectura de la red LoRaWAN



Diseño e Implementación

Requerimientos:

- Variables Nodo 1: pH, TDS y temperatura del agua.
- Variables Nodo 2: humedad, presión y temperatura del ambiente, radiación solar, temperatura del suelo, cantidad de lluvia, velocidad y dirección del viento.
- Variables Nodo 3: temperatura y humedad del suelo a diferentes profundidades.
- Se establece el envío de 48 mensajes por día, con un intervalo de frecuencia de 30 minutos entre mensajes.
- Los nodos deben contar con protección IP65 e IP54 para condiciones de intemperie.
- Los servicios en la nube deben ofrecer una alta disponibilidad y un servicio de almacenamiento de datos accesible.



Diseño e Implementación

Área de Cobertura



Nivel de señal de
-113 dBm

Área aproximada
de 103 km^2

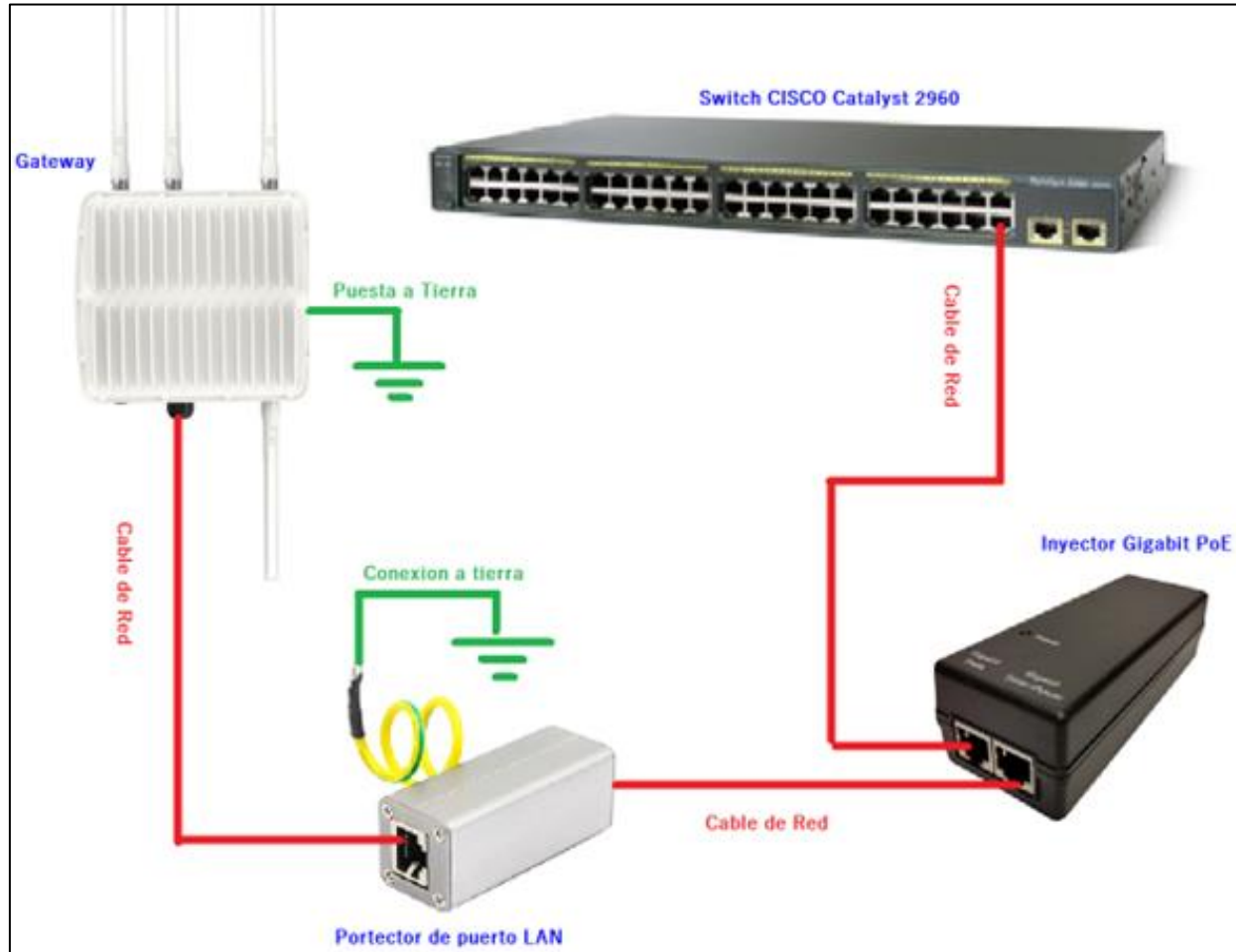
Sensibilidad de
dispositivos LoRa de
hasta -140 dBm

Enlace	Distancia (m)	Ubicación (Latitud, Longitud)
–	–	Gateway: 0°23'8.27"S, 78°24'58.93"O
Gateway – Nodo 1	430	Nodo 1: 0°23'21.26"S, 78°24'55.24"O
Gateway – Nodo 2	763	Nodo 2: 0°23'31.67"S, 78°24'51.31"O
Gateway – Nodo 3	409	Nodo 3: 0°23'20.67"S, 78°24'54.52"O



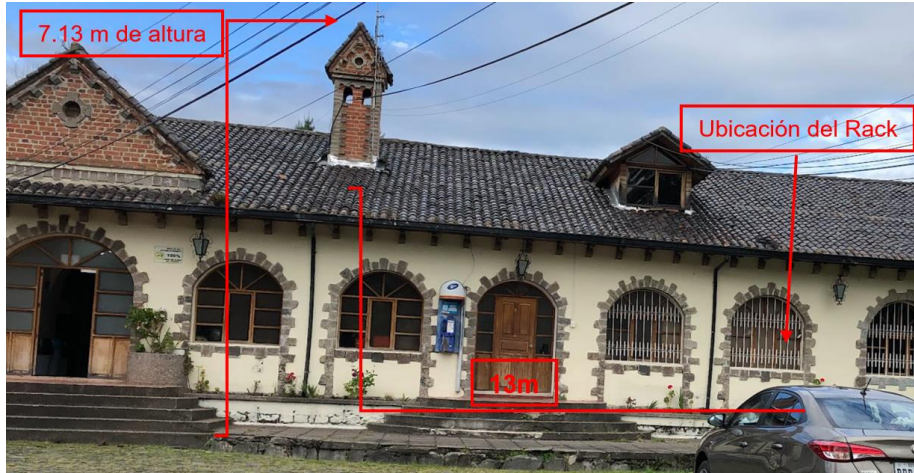
Diseño e Implementación

Esquema de conexión Gateway



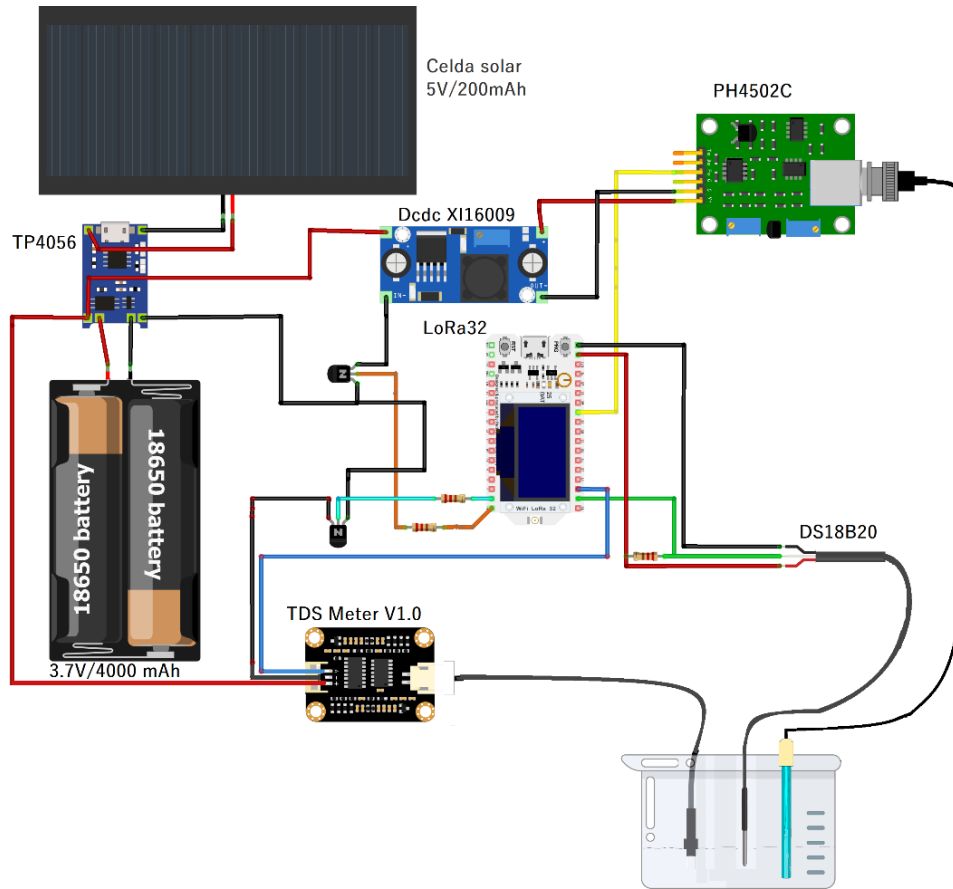
Diseño e Implementación

Instalación Gateway

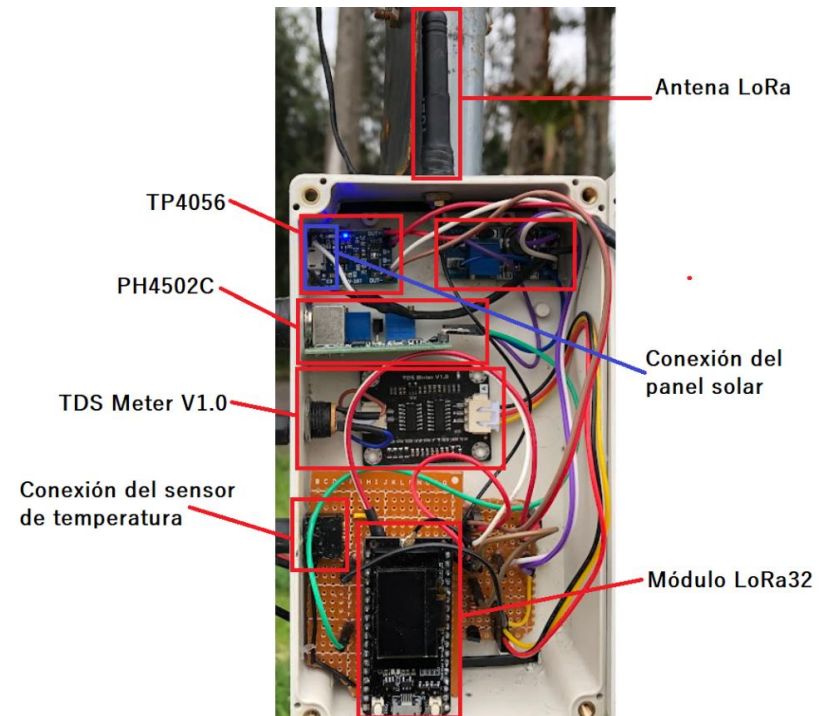


Diseño e Implementación

Nodo sensor 1



Sensor	Pin LoRa32	Tipo de Señal
PH-4502C	GPIO34	Analógico
DS18B20	GPIO13	Digital
TDS-Meter V1.0	GPIO12	Analógico



Diseño e Implementación

Despliegue Nodo 1



Panel Solar



Nodo 1/LoRa



Conexión
Sensores de
pH, TDS, y
temperatura



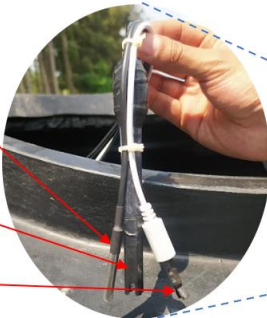
Altura de
2 metros

Tubo de
acero
galvanizado

Sensor de
Temperatura

Sonda de
pH

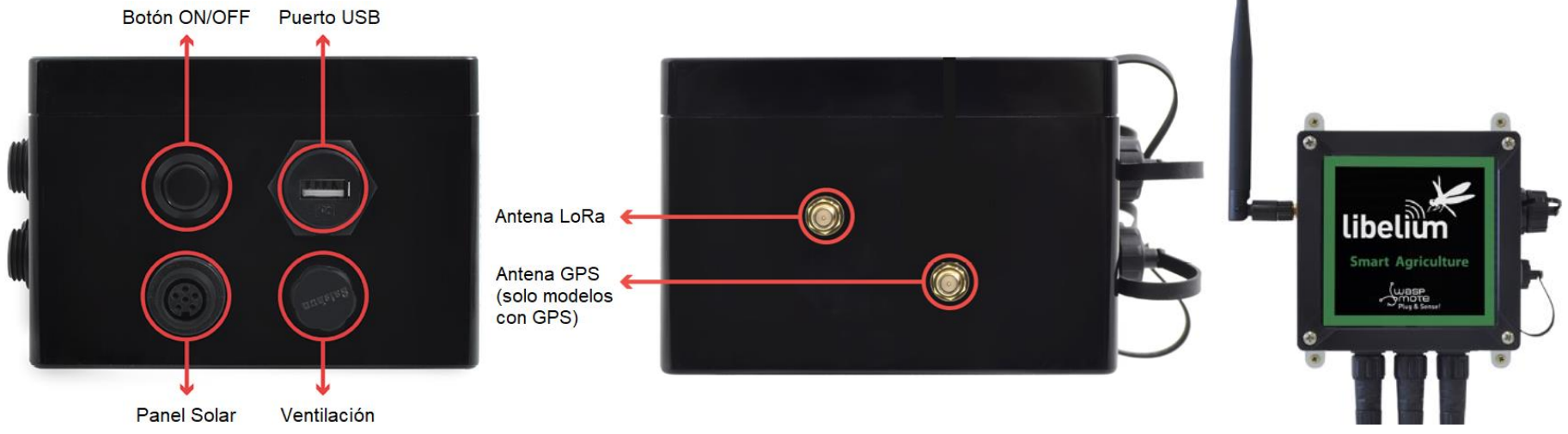
Sensor de
TDS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño e Implementación

Nodo sensor 2



Sensor puerto	Parámetro
A	Estación Meteorológica (WS-3000)
B	Sensor de radiación solar PAR
D	Temperatura del suelo (Pt-1000)
F	Temperatura + Humedad + Presión

Diseño e Implementación

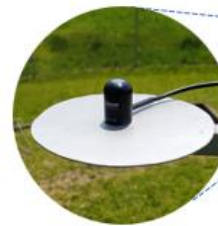
Despliegue Nodo 2



Veleta y Anemómetro



Sensor de Radiación solar PAR



Pluviómetro



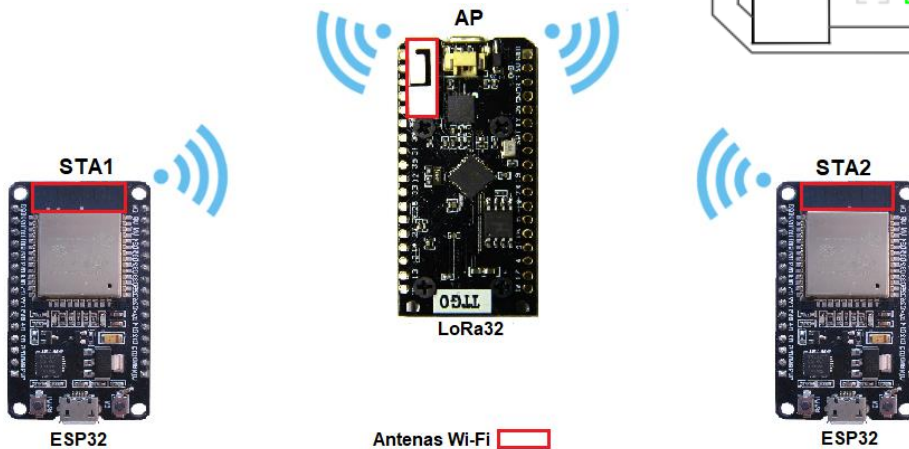
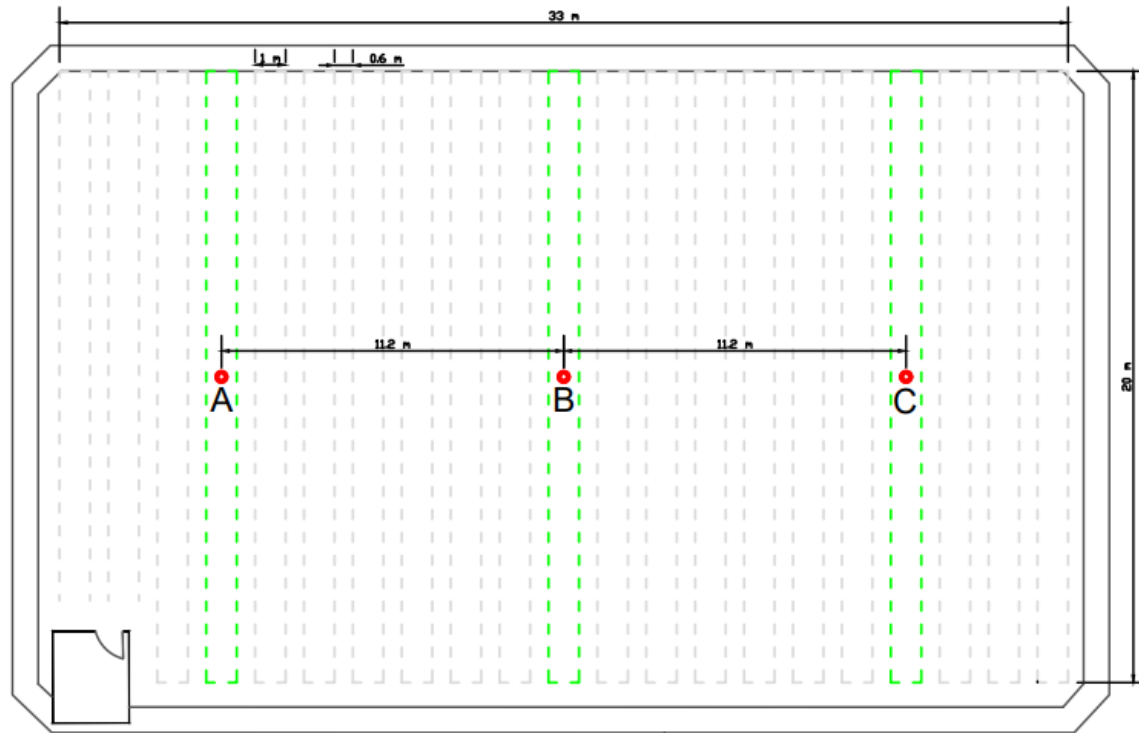
Sensor de Temperatura, Humedad
y Presión atmosférica



Diseño e Implementación

Nodo sensor 3

- Módulo LoRa32 en modo punto de acceso (AP), para proporcionar una red Wi-Fi y recibir las conexiones entrantes de los demás dispositivos (estaciones).
- Módulos ESP32 en modo estación (STA), para que se conecten a la red Wi-Fi.
- AP ubicado en el Punto B, STA1 ubicado en el Punto A y STA2 ubicado en el Punto C.

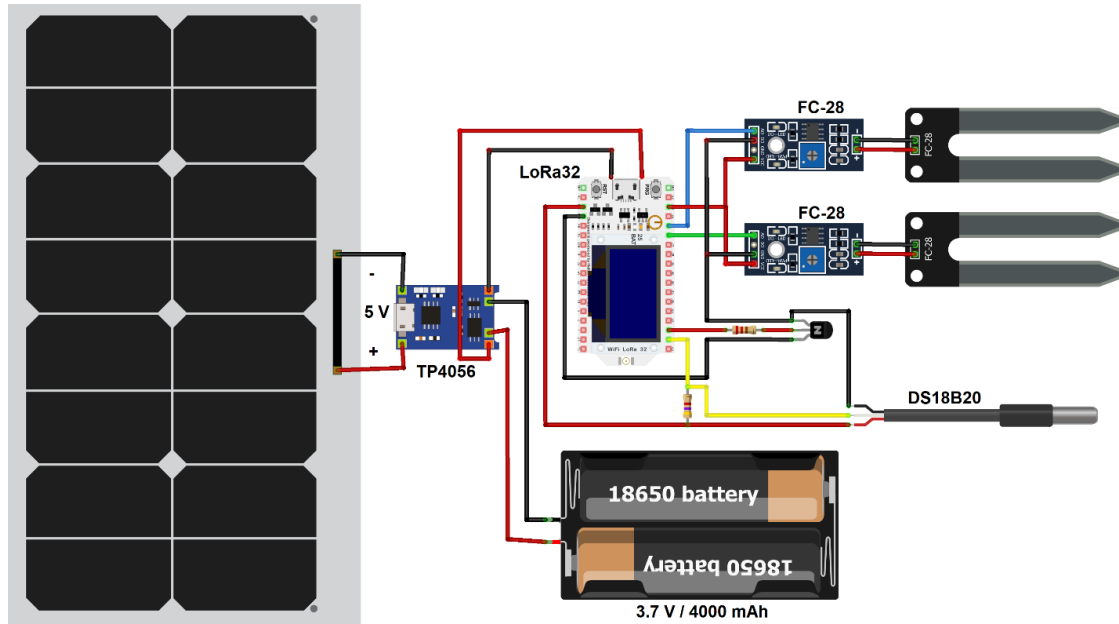


Antenas Wi-Fi 

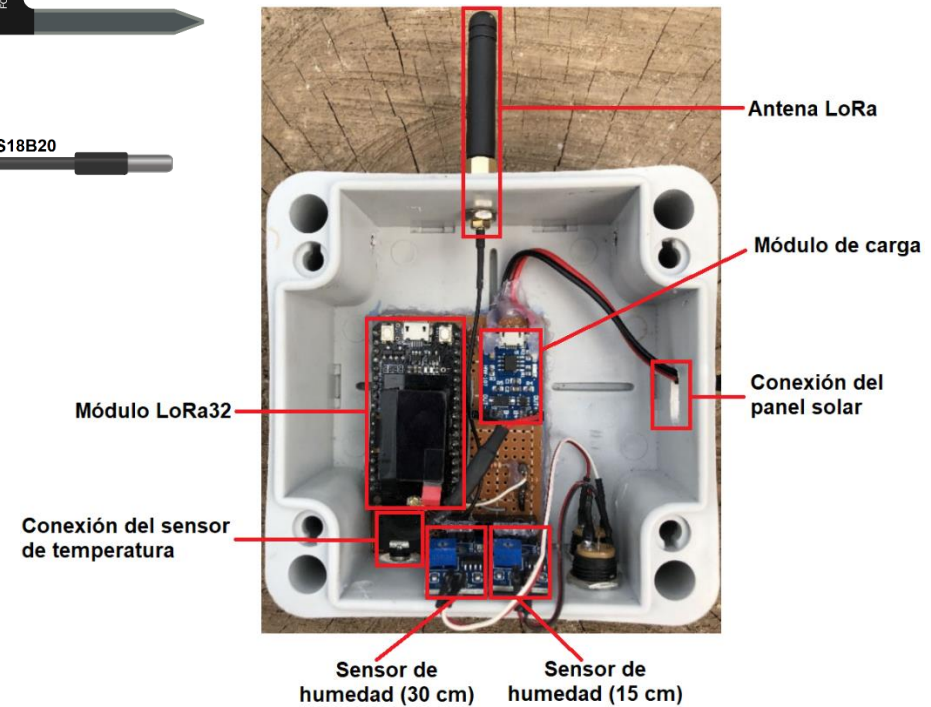


Diseño e Implementación

Nodo sensor 3: AP/LoRa

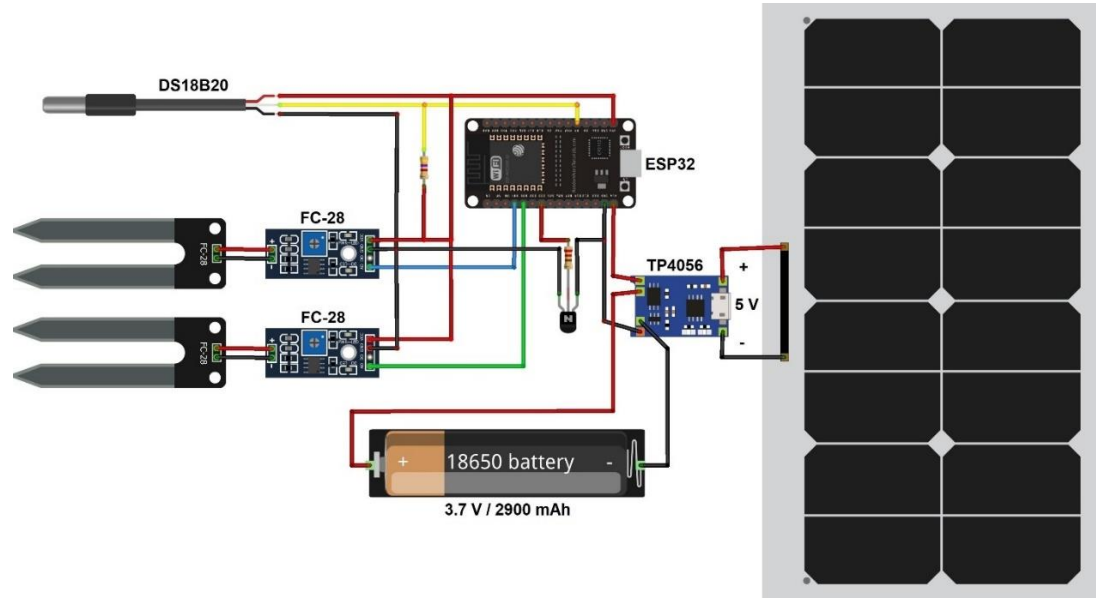


Sensor	Pines LoRa32	Tipo de señal
FC-28 (15 cm)	GPIO37	Analógica
FC-28 (30 cm)	GPIO38	Analógica
DS18B20 (15 cm)	GPIO13	Digital

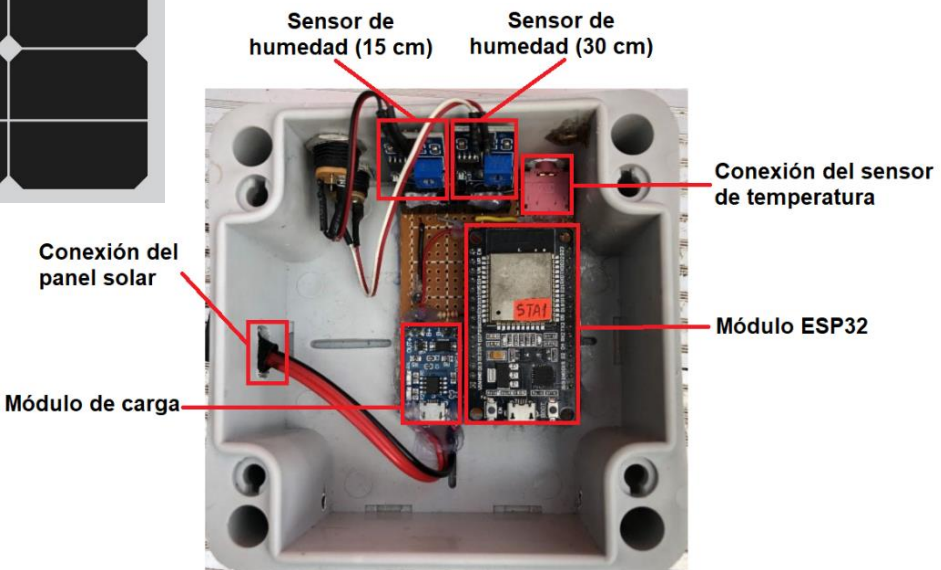


Diseño e Implementación

Nodo sensor 3: STA1 y STA2



Sensor	Pines ESP32	Tipo de señal
FC-28 (15 cm)	GPIO34	Analógica
FC-28 (30 cm)	GPIO35	Analógica
DS18B20 (15 cm)	GPIO4	Digital



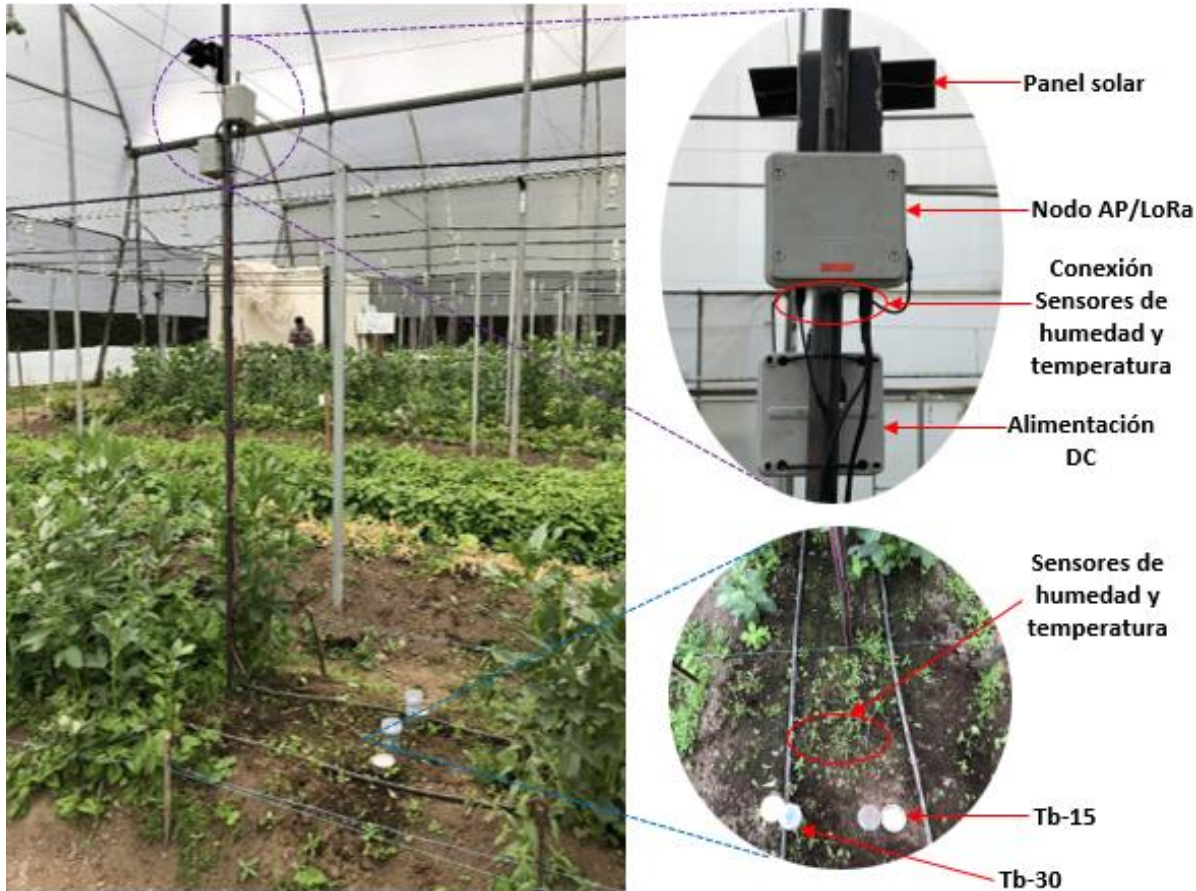
Diseño e Implementación

Despliegue Nodo 3



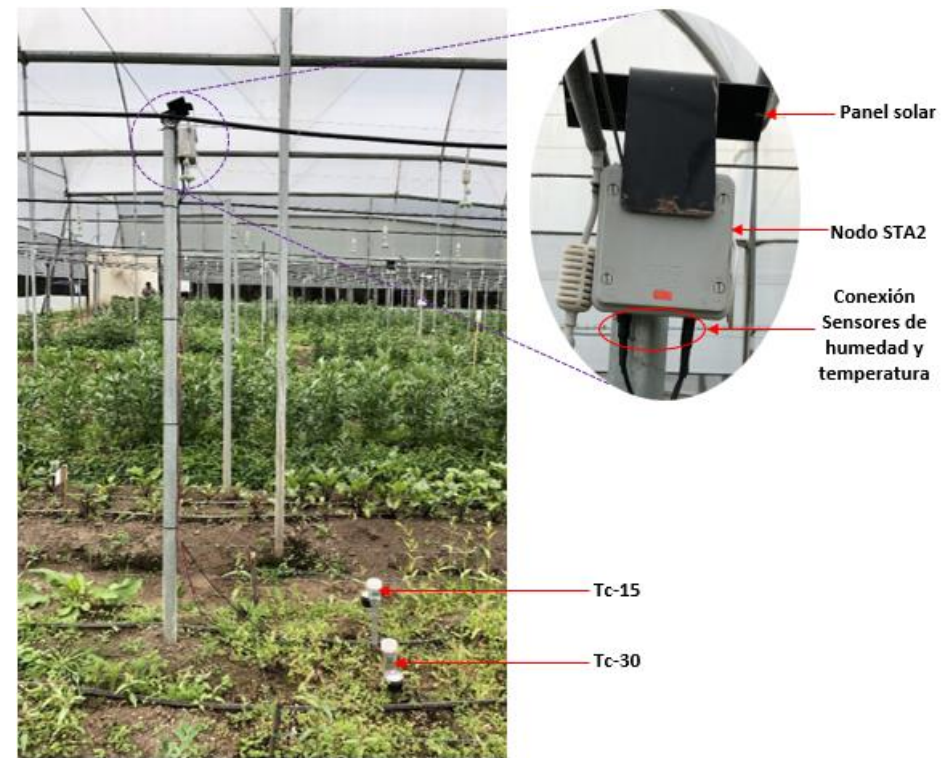
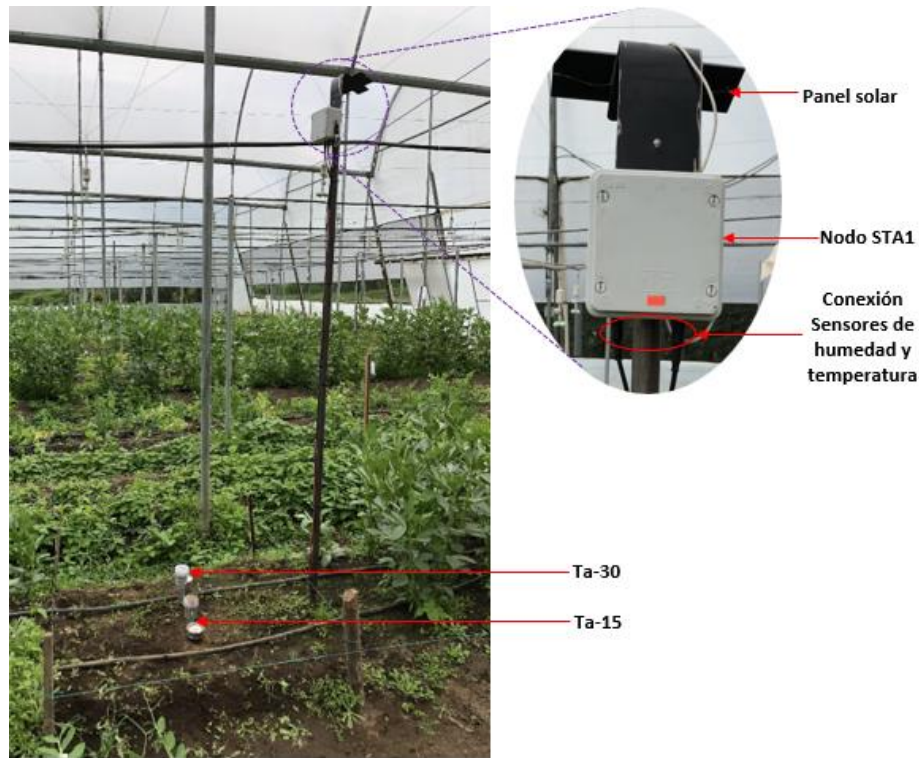
Diseño e Implementación

Despliegue Nodo 3: AP/LoRa



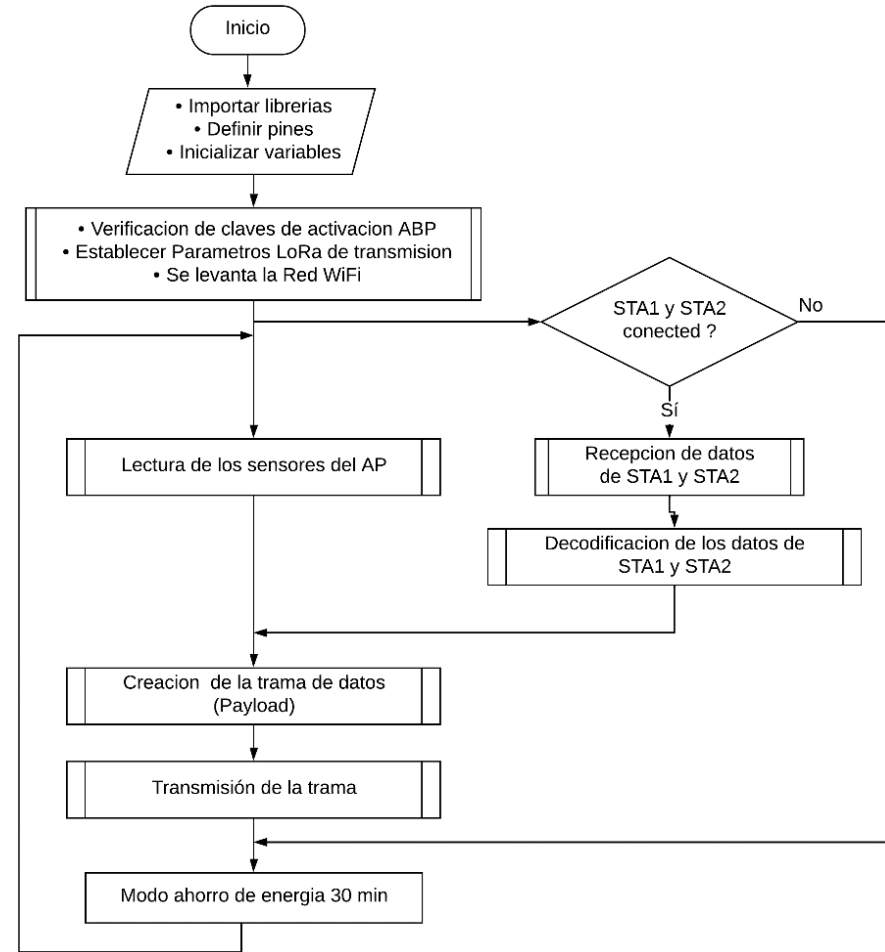
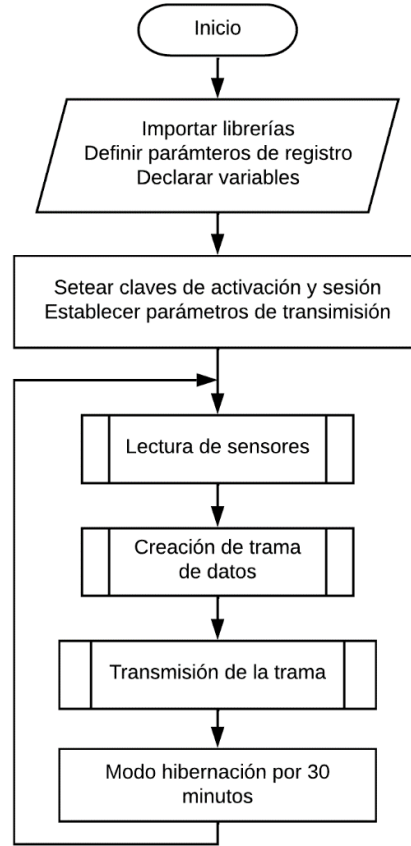
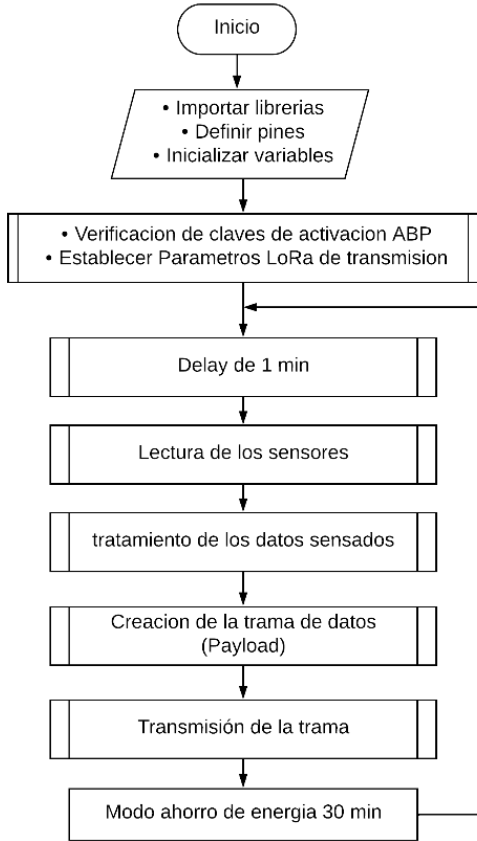
Diseño e Implementación

Despliegue Nodo 3: STA1 y STA2



Diseño e Implementación

Diagramas de flujo



Sub-banda

Canales Uplink (MHz)

Sub-banda	8	9	10	11	12	13	14	15
2	903.9	904.1	904.3	904.5	904.7	904.9	905.1	905.3



Diseño e Implementación

Payload de datos

Nodo 1 10 Bytes

PAYLOAD				
Control		Datos		
2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes
ID	No. Mensaje	Valor de PH	Valor de TDS	Temperatura

Nodo 2 51 Bytes

PAYLOAD												
2 Bytes		2 Bytes		5 Bytes			5 Bytes		5 Bytes		5 Bytes	
1 Byte	1 Byte	ID	Valor	ID	Valor	ID	Valor	ID	Valor	ID	Valor	
A	B	Bateria		Sensor temperatura			Sensor humedad		Sensor presión		Sensor PT1000	
PAYLOAD												
5 Bytes		5 Bytes		5 Bytes		5 Bytes		5 Bytes		2 Bytes		
ID	Valor	ID	Valor	ID	Valor	ID	Valor	ID	Valor	ID	Valor	
Sensor radiación		Anemómetro		Pluviómetro 1		Pluviómetro 2		Pluviómetro 3		Dirección		

Nodo 3 22 Bytes

PAYLOAD					
Control		Datos AP/LoRa			
2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes
ID	No. Mensaje	Humedad (15 cm)	Humedad (30 cm)	Temperatura	
PAYLOAD					
Datos STA1			Datos STA2		
2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes
Humedad (15 cm)	Humedad (30 cm)	Temperatura	Humedad (15 cm)	Humedad (30 cm)	Temperatura



Diseño e Implementación

Servidor de Red: *The Things Network*

Telemetría de dispositivos

The screenshot shows the 'Live data' page for Gateway-CICTE. The table below is a representation of the data shown in the interface:

Time	Type	Data preview
10:11:20	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 0, txin: 0, txok: 0, rxin: 0, rxok: 0, rxfw: 0 }
10:11:00	Receive gateway status	Metrics: { rxin: 0, rxok: 0, rxfw: 0, ackr: 0, txin: 0, txok: 0 }
10:10:40	Receive gateway status	Metrics: { rxok: 0, rxfw: 0, ackr: 0, txin: 0, txok: 0, rxin: 0 }
10:10:20	Receive gateway status	Metrics: { ackr: 0, txin: 1, txok: 1, rxin: 1, rxok: 1, rxfw: 1 }
10:10:09	Send downlink message	Tx Power: 28.15 Data rate: SF7BW500

Integración con TagoIO

The screenshot shows the 'Integrations' page in The Things Stack. The 'Webhooks' section is highlighted, and the 'TagoIO' integration card is also highlighted with a red box. Other visible integration cards include Telemetry2U, tellsens.io, thethings.io, Thinger.io, ThingSpeak, TTN Mapper, and Ubidots.

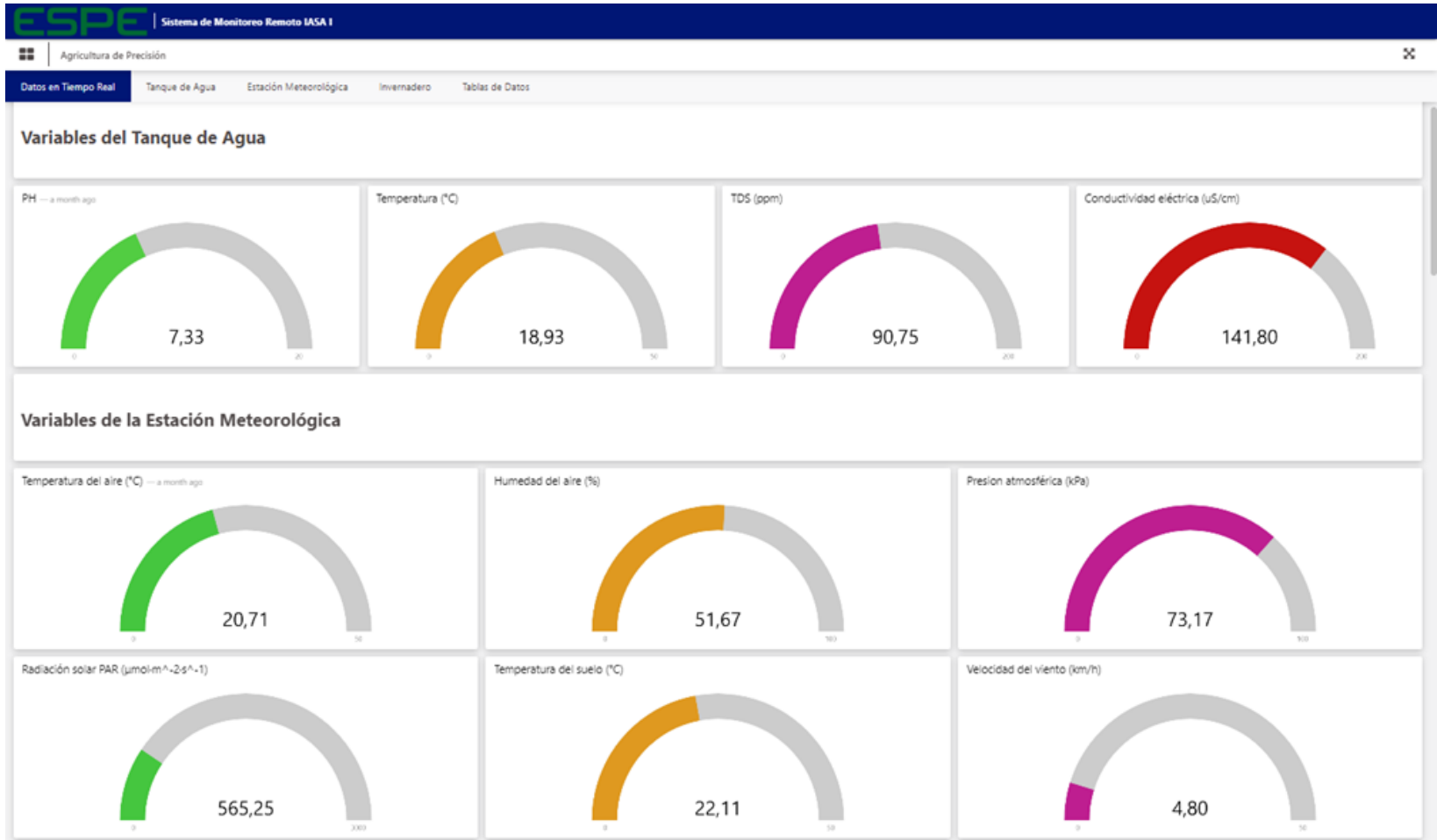
Decodificación de payload

```
function decodeUplink(input) {  
  var data = {};  
  data.idnodo1 = ((input.bytes[1] << 8) + input.bytes[0]);  
  data.nummsg = ((input.bytes[3] << 8) + input.bytes[2]);  
  data.ph = ((input.bytes[5] << 8) + input.bytes[4])/100;  
  data.tds = ((input.bytes[7] << 8) + input.bytes[6])/100;  
  data.temp = ((input.bytes[9] << 8) + input.bytes[8])/100;  
  
  var warnings = [];  
  return {  
    data: data,  
    warnings: warnings  
  };  
}
```



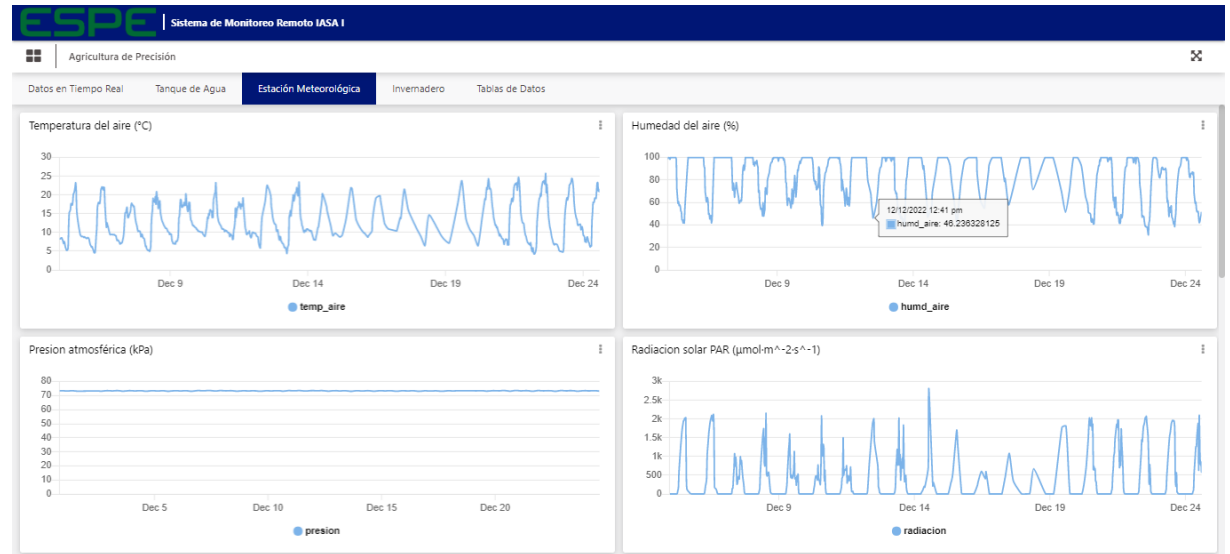
Diseño e Implementación

Página Web



Diseño e Implementación

Página Web



The screenshot displays the 'Tablas de Datos' section of the ESPE web interface, specifically for 'Variables del Tanque de Agua'. It shows a table with 6 columns: ph, temp, tds, ce, nummsg, and Date and Time. The data is for 'Variables Nodo 1' and is 11 days old.

ph	temp	tds	ce	nummsg	Date and Time
7,33	18,93	90,75	141,796875	582	12/24/2022 04:12:36 pm
6,88	19,43	89,78	140,28125	581	12/24/2022 03:42:39 pm
7,12	19,37	89,9	140,46875	580	12/24/2022 03:12:32 pm
6,94	19,25	90,14	140,64375	579	12/24/2022 02:42:18 pm
7,04	19,12	90,39	141,234375	578	12/24/2022 02:11:58 pm
7,04	18,87	90,87	141,984375	577	12/24/2022 01:41:35 pm
6,75	18,75	91,12	142,375	576	12/24/2022 01:11:11 pm
7,06	18,56	91,49	142,953125	575	12/24/2022 12:40:44 pm
7,16	18,31	91,99	143,734375	574	12/24/2022 12:10:08 pm
7,13	18	92,62	144,71875	573	12/24/2022 11:39:35 am
7,26	17,68	93,26	145,71875	572	12/24/2022 11:09:04 am



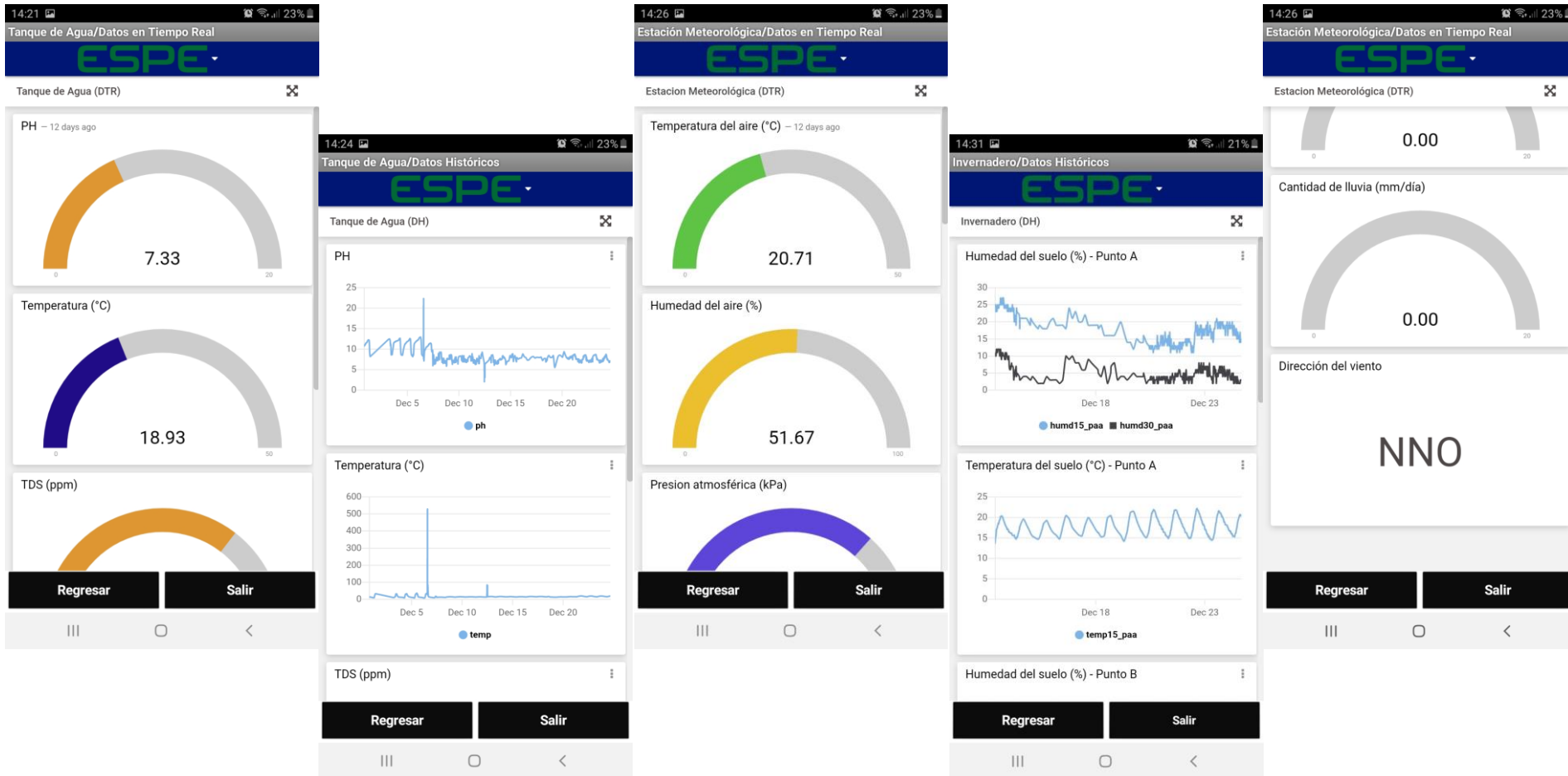
Diseño e Implementación

Aplicación móvil Android



Diseño e Implementación

Aplicación móvil Android





01. Introducción



02. Objetivos



03. Diseño e Implementación



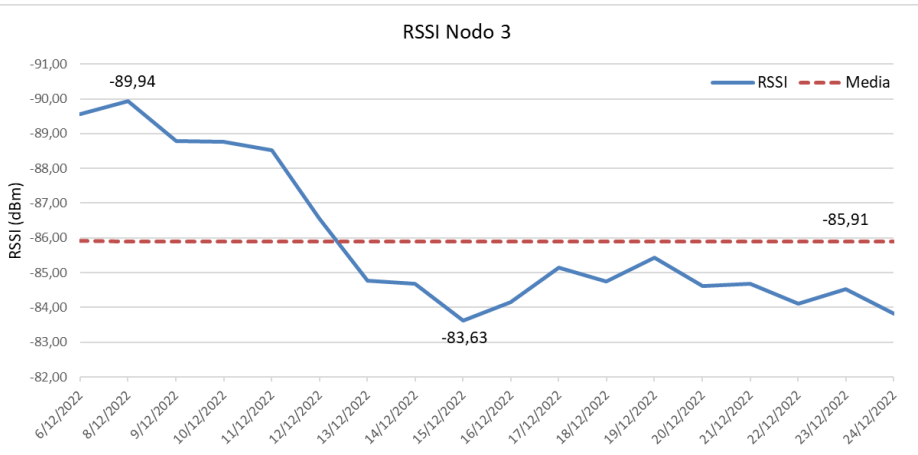
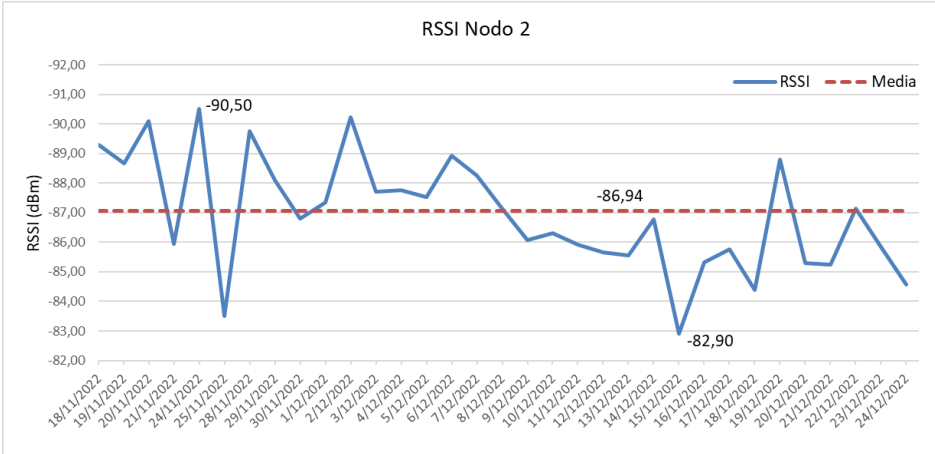
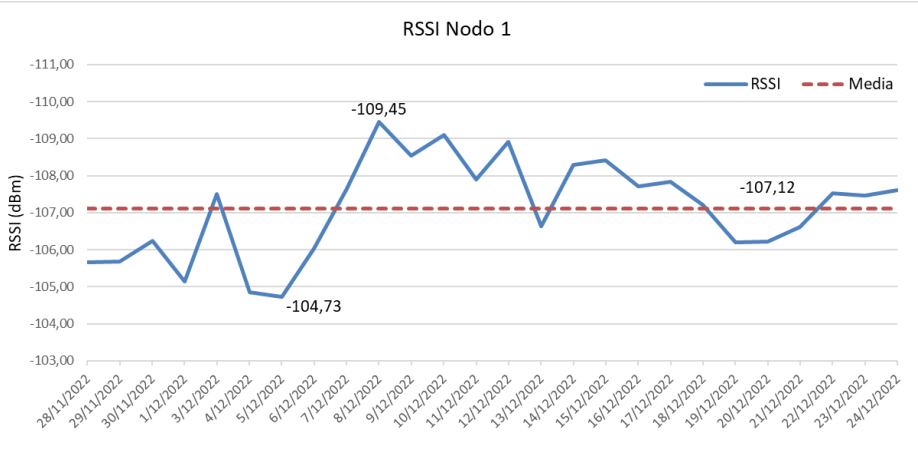
04. Pruebas y Resultados



05. Conclusiones y Recomendaciones



RSSI



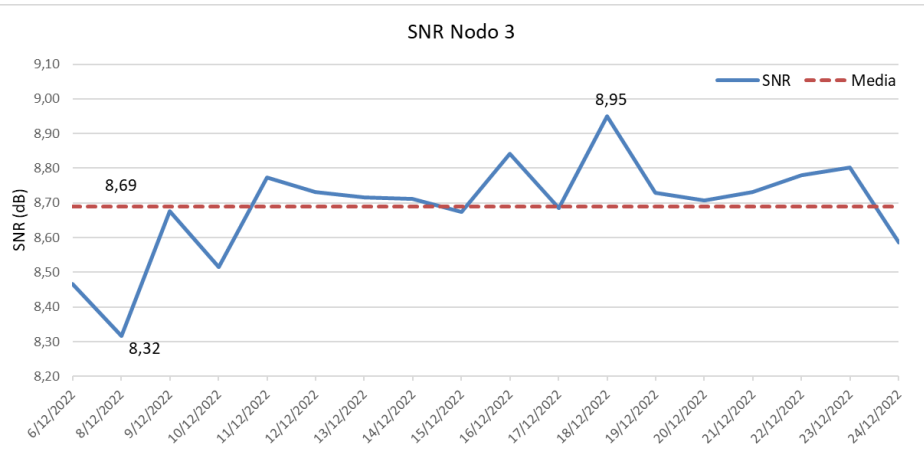
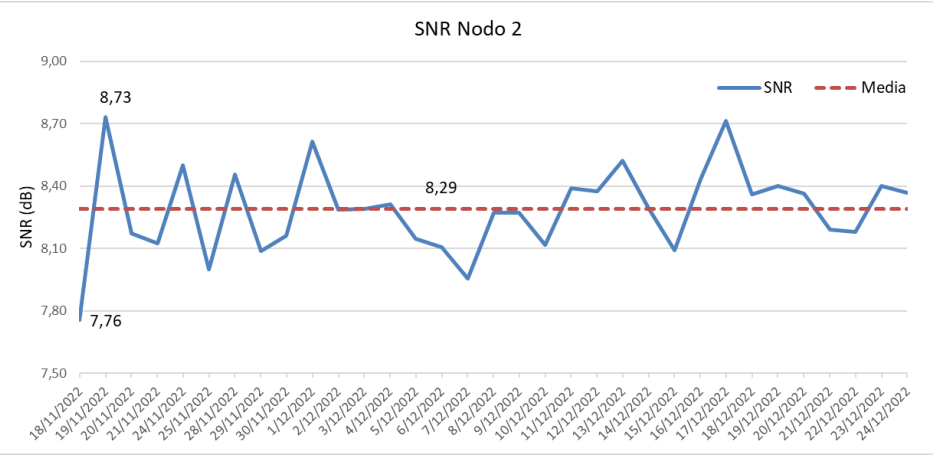
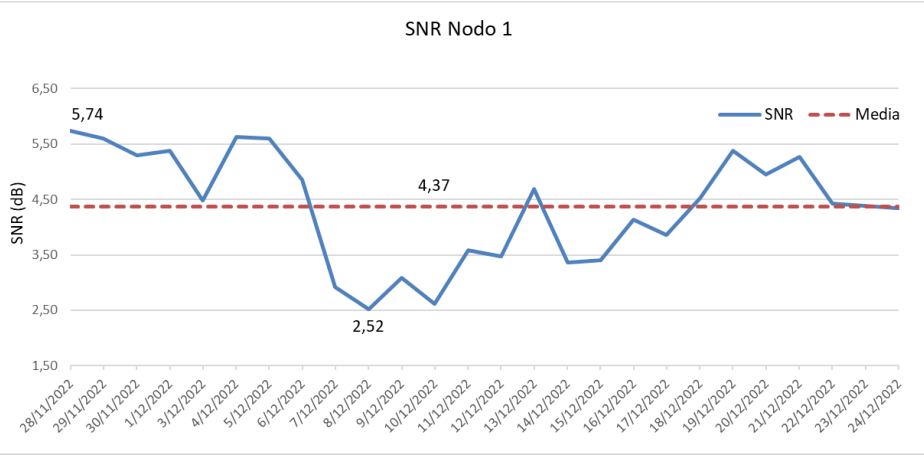
RSSI [dBm]	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3
Máximo	-104.73	-82.90	-83.63
Mínimo	-109.45	-90.50	-89.94
Media	-107.12	-86.94	-85.91
Distancia Gateway	430 m	763 m	409 m

Los valores típicos de RSSI en LoRa son:

- Si RSSI = -30 dBm, la señal es fuerte
- Si RSSI = -120 dBm, la señal es débil



SNR

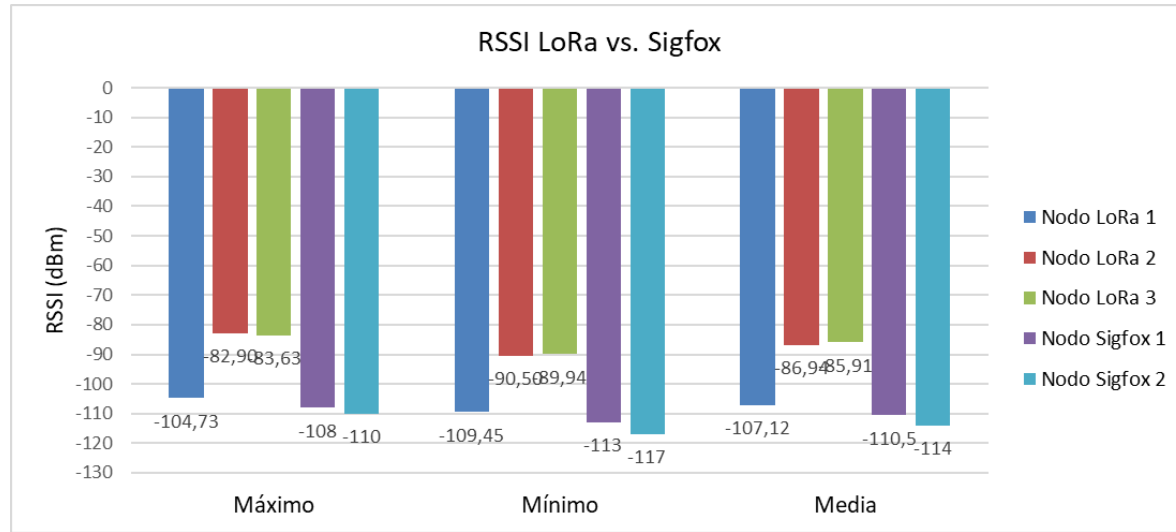


SNR [dB]	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3
Máximo	5.74	8.73	8.95
Mínimo	2.52	7.76	8.32
Media	4.37	8.29	8.69
Distancia Gateway	430 m	763 m	409 m

Los valores típicos de SNR en LoRa están entre -20 dB y +10 dB



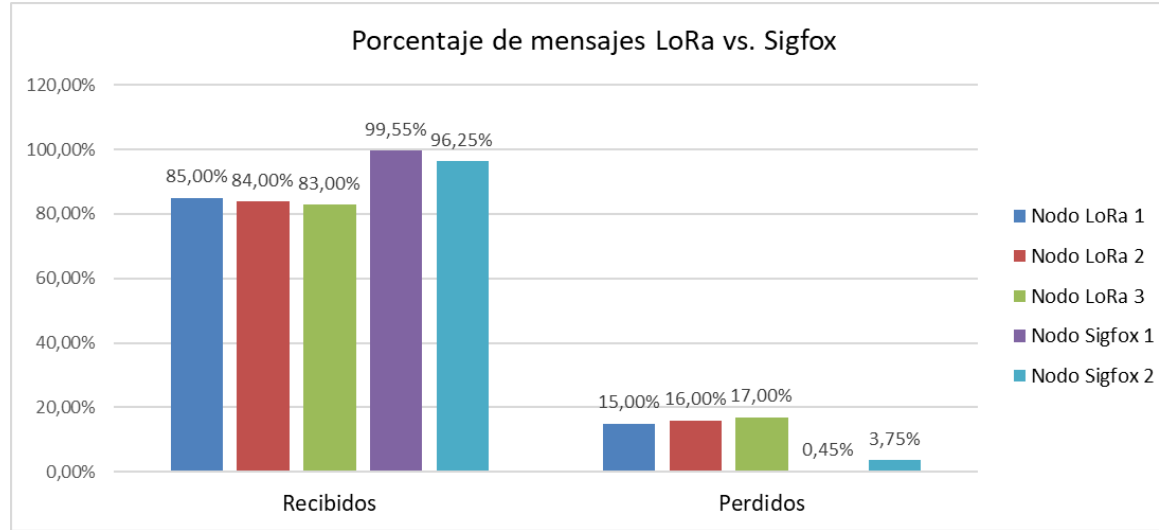
RSSI: LoRa vs. Sigfox



RSSI [dBm]	LoRa			Sigfox	
	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 1	Nodo 2
Máximo	-104.73	-82.90	-83.63	-108	-110
Mínimo	-109.45	-90.50	-89.94	-113	-117
Media	-107.12	-86.94	-85.91	-110.5	-114
Media general	-93.32			-112.25	



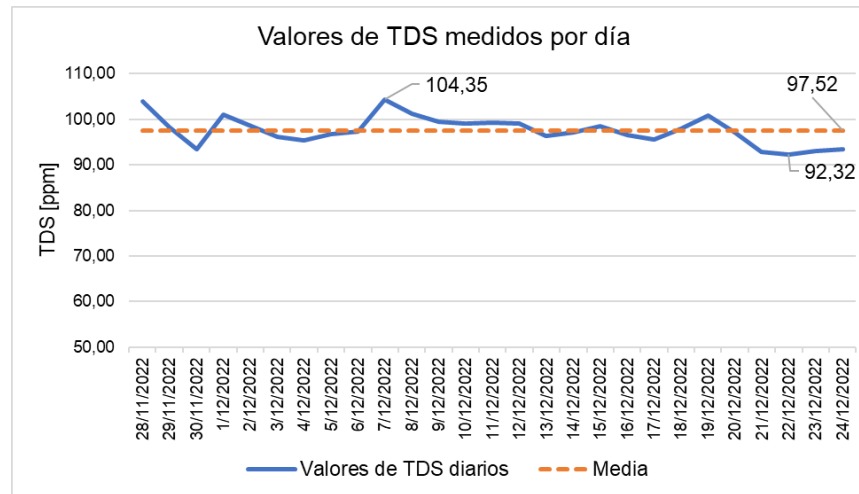
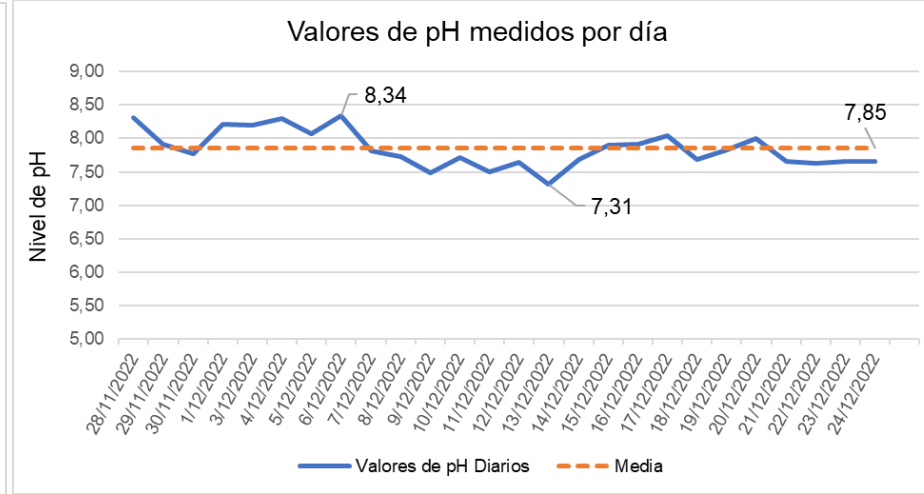
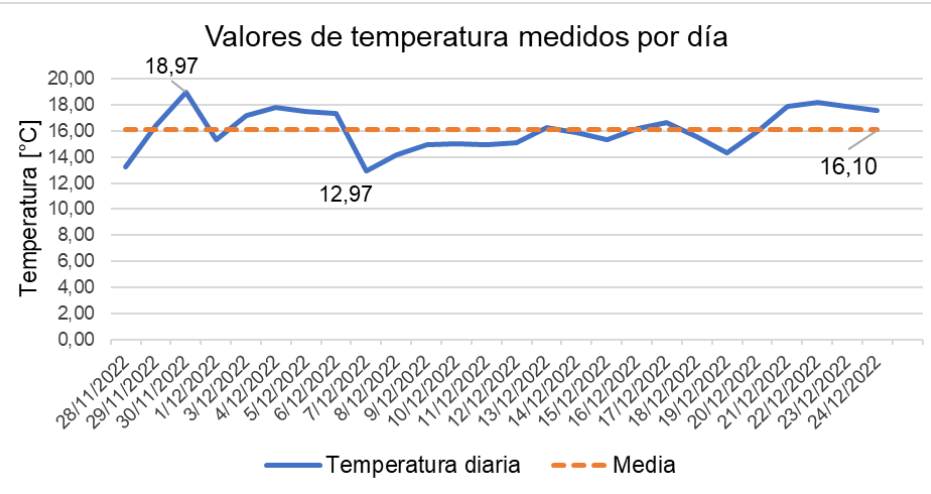
Mensajes recibidos y perdidos: LoRa vs Sigfox



Mensajes	LoRa						Sigfox			
	Nodo 1		Nodo 2		Nodo 3		Nodo 1		Nodo 2	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Enviados	1008	100%	1008	100%	624	100%	3960	100%	4752	100%
Recibidos	859	85%	845	84%	521	83%	3942	99.55%	4574	96.25%
Perdidos	149	15%	163	16%	103	17%	18	0.45%	178	3.75%
Media	40						130			

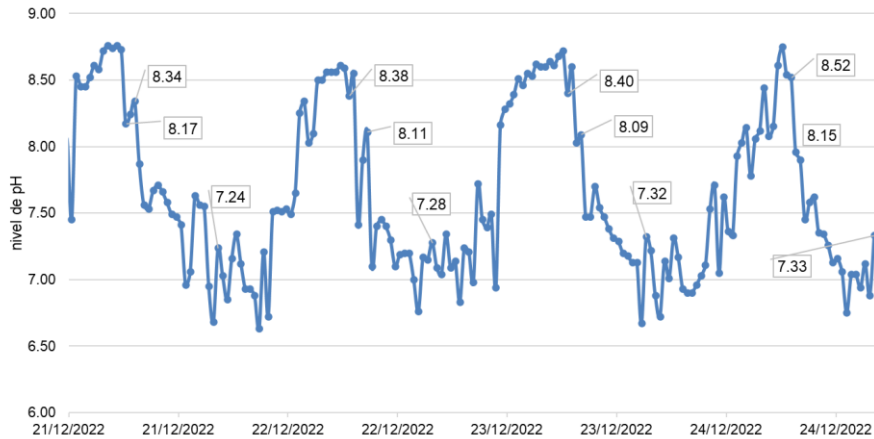


Variables Nodo 1: Temperatura, pH y TDS del agua

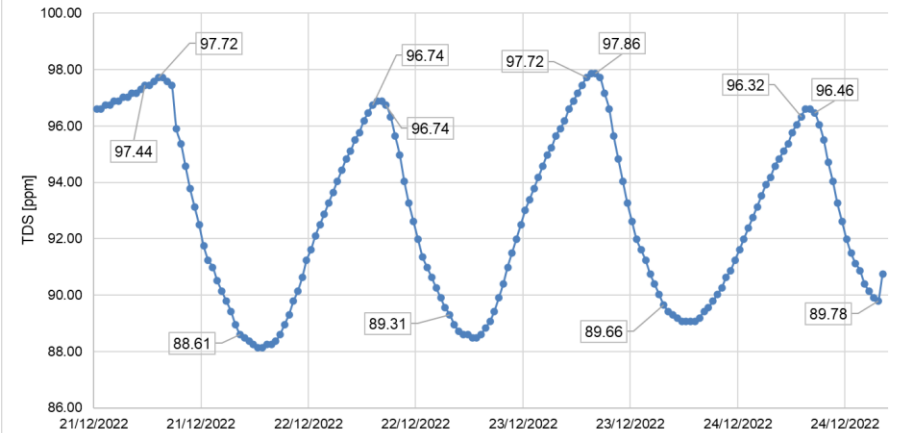


Variables Nodo 1: Precisión de las mediciones

Precisión en las mediciones de pH



Precisión en las mediciones de TDS

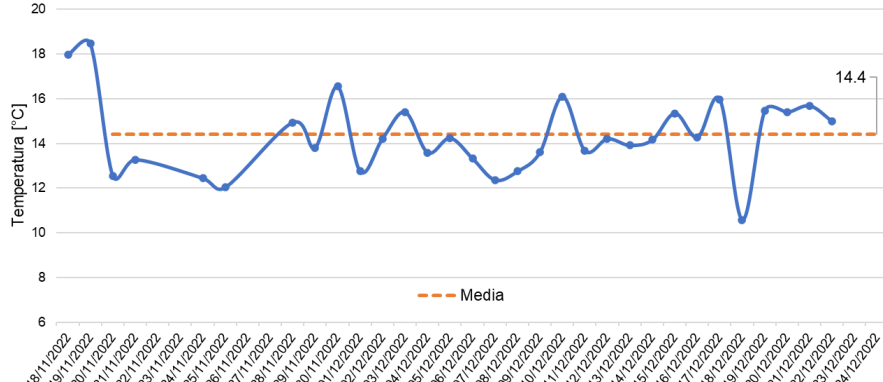


Intervalo de días	pH	TDS [ppm]	Desviación estándar	
			pH	TDS
21/12/2022 7:14:06	8.34	97.72		
22/12/2022 7:11:25	8.38	96.74		
23/12/2022 7:06:40	8.40	97.72	0.0774	0.7081
24/12/2022 7:06:34	8.52	96.32		
21/12/2022 6:15:03	8.17	97.44		
22/12/2022 6:12:28	8.11	96.74		
23/12/2022 6:11:25	8.09	97.86	0.0365	0.6403
24/12/2022 6:13:45	8.15	96.46		

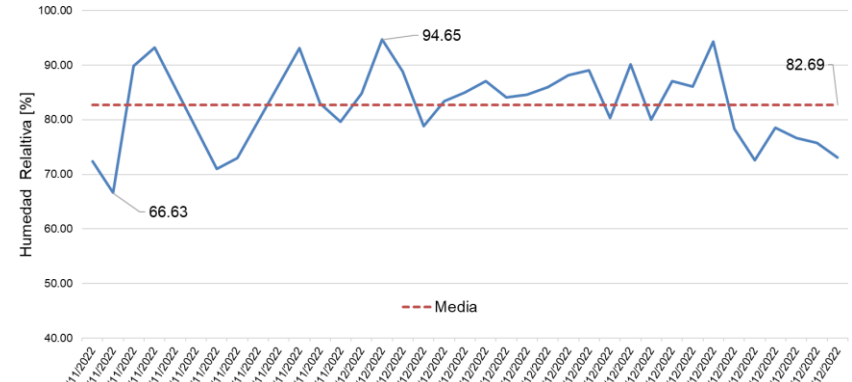


Variables Nodo 2: Humedad y temperatura ambiental

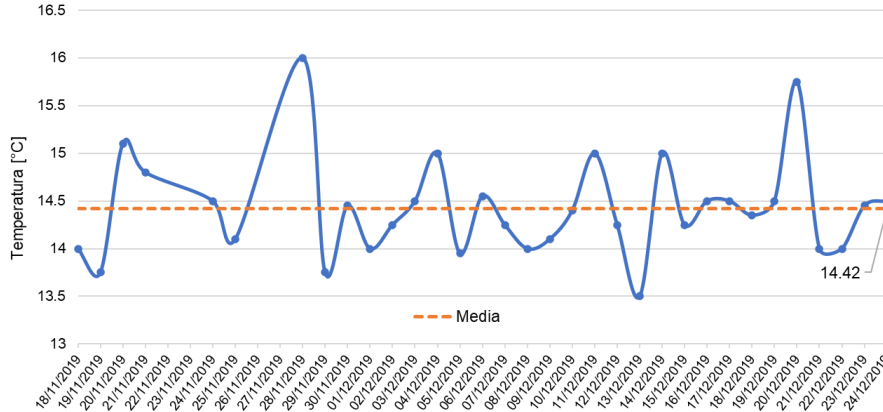
Valores de Temperatura Promedio por día



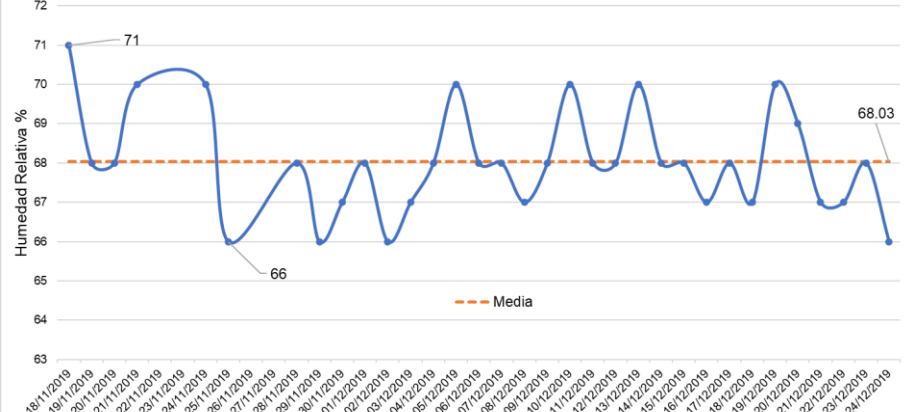
Valores de humedad ambiental por día



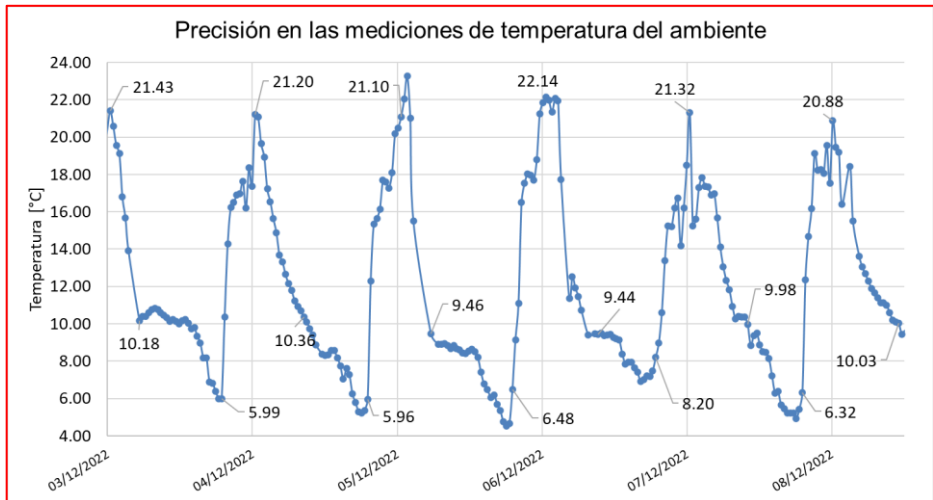
Valores de Temperatura Promedio por día 2019



Valores de humedad ambiental por día 2019



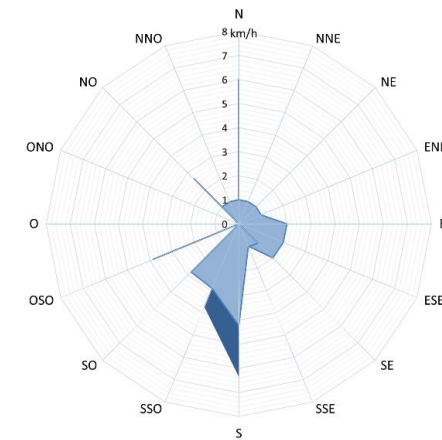
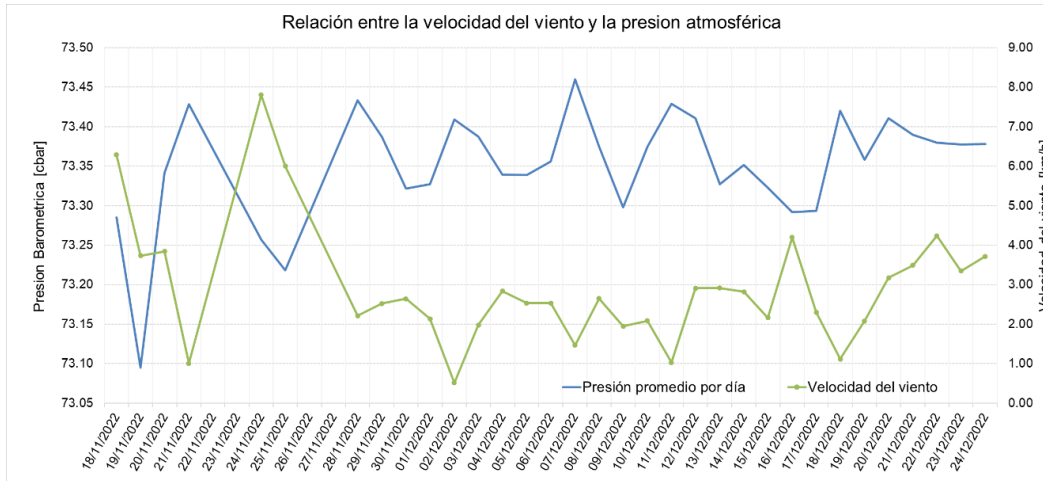
Variables Nodo 2: Precisión de las mediciones



Intervalo de días	Temperatura [°C]	Desviación estándar
03/12/2022 12:26:58	21.43	0.5551
04/12/2022 12:27:12	21.20	
05/12/2022 12:39:25	21.10	
06/12/2022 12:38:28	22.10	
07/12/2022 12:29:36	21.32	
08/12/2022 12:11:29	20.38	
03/12/2022 17:17:37	10.18	0.3789
04/12/2022 17:29:45	10.36	
05/12/2022 17:35:39	9.46	
06/12/2022 17:31:00	9.44	
07/12/2022 17:32:08	9.98	
08/12/2022 17:29:35	10.03	
03/12/2022 06:54:26	5.99	0.1969
04/12/2022 07:06:38	5.96	
05/12/2022 07:05:39	6.48	
07/12/2022 07:08:58	6.32	

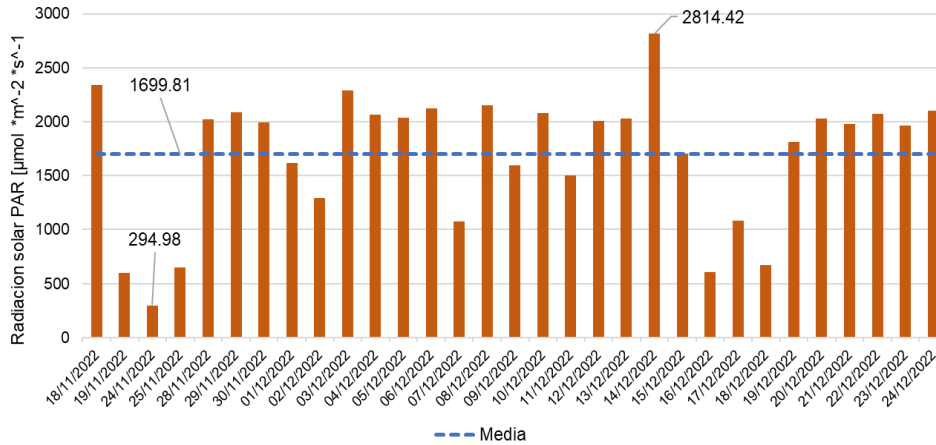


Variables Nodo 2: Presión atmosférica, velocidad y dirección del viento

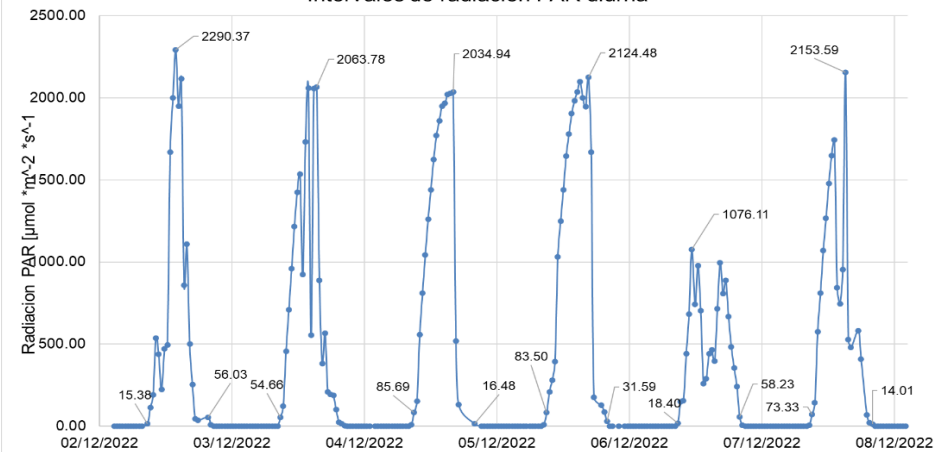


Variables Nodo 2: Radiación solar

Valores maximos de radiacion solar PAR diurna



Intervalos de radiacion PAR diurna

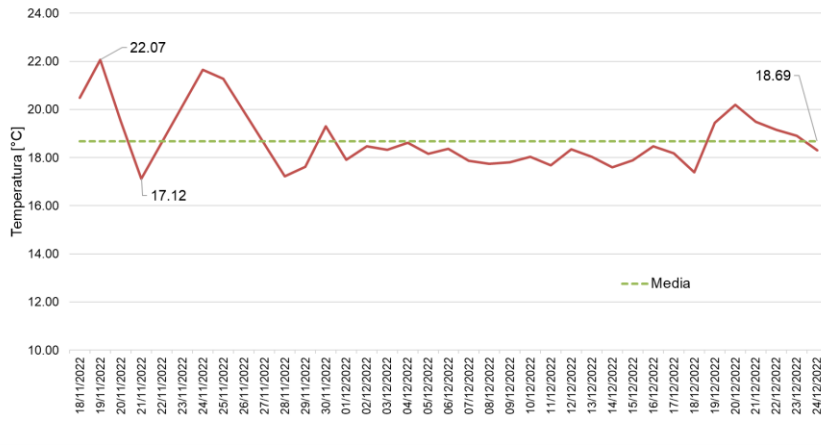


Intervalos de días	Radiación solar PAR $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
03/12/22 6:20:19 am	15.38
Rad. Máxima: 03/12/22 11:26:28 pm	2290.37
03/12/22 17:17:37 pm	56.03
04/12/22 6:24:10 am	54.66
Rad. Máxima: 04/12/22 12:57:28 pm	2063.78
04/12/22 17:29:45 pm	15.66
05/12/22 6:36:23 am	85.69
Rad. Máxima: 05/12/22 13:39:55 pm	2034.94
05/12/22 17:35:39 pm	16.48
06/12/2022 6:35:24 am	83.50
Rad. Máxima: 06/12/22 14:09:14 pm	2124.48
06/12/22 17:31:00 pm	31.59
07/12/2022 6:20:39 am	18.40
Rad. Máxima: 07/12/22 8:51:55 am	1076.11
07/12/22 17:32:08 pm	58.23
08/12/2022 6:38:43 am	73.33
Rad. Máxima: 08/12/22 12:41:44 pm	2153.59
08/12/22 17:34:10 pm	14.01

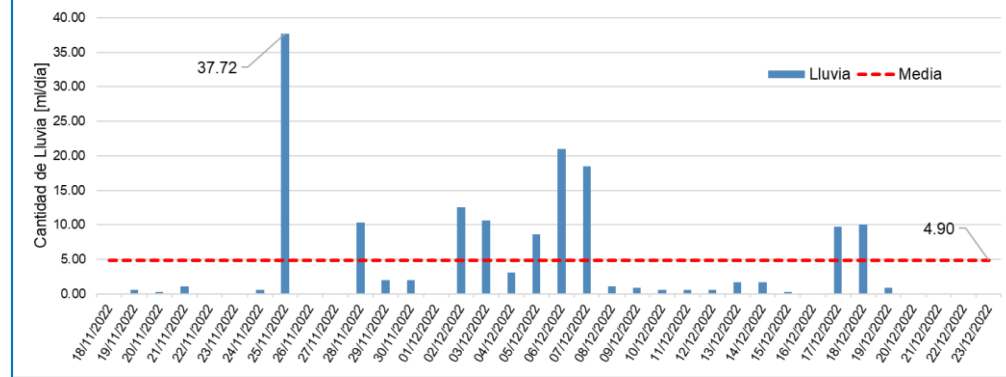


Variables Nodo 2: Temperatura del suelo y cantidad de lluvia

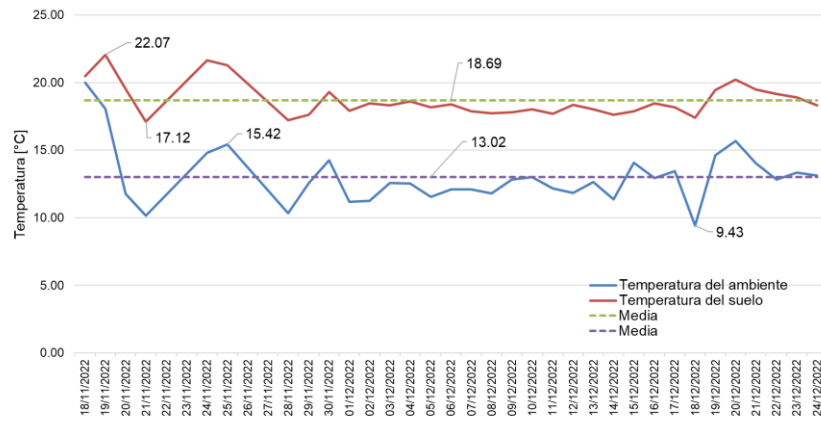
Valores de temperatura promedio diario del suelo



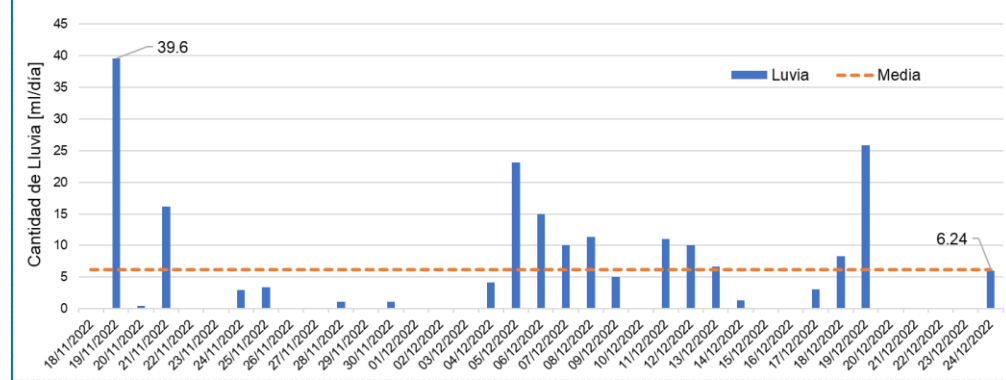
Cantidad de lluvia diaria



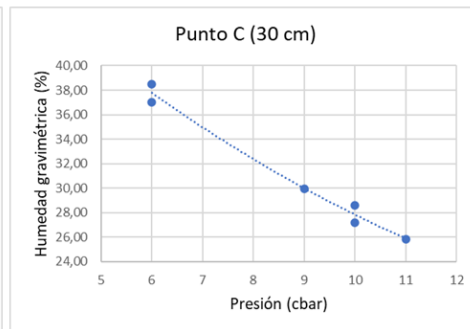
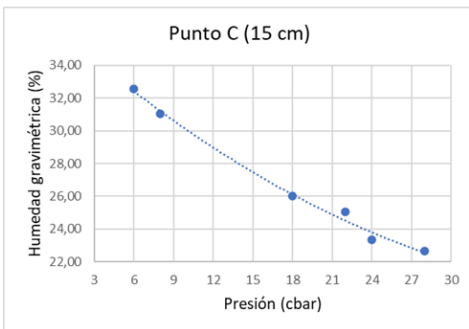
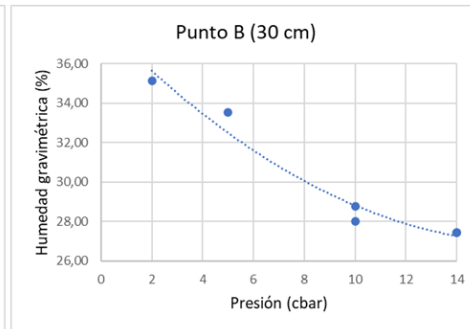
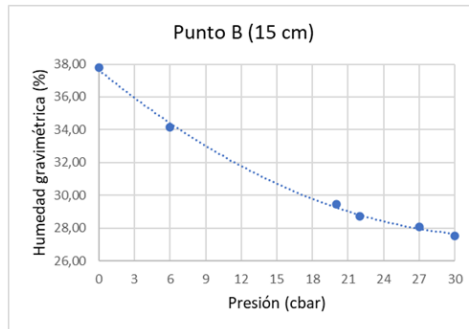
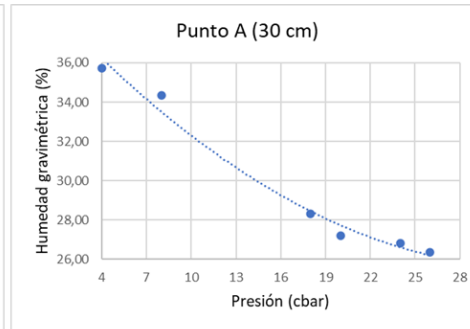
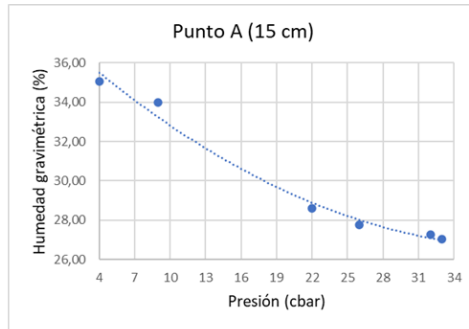
Relación entre la temperatura del ambiente con la temperatura del suelo



Cantidad de lluvia diaria año 2019



Variables Nodo 3: Curvas de retención de humedad del suelo



	C1-15		C2-30		C3-15	
No.	% HG	cb	% HG	cb	% HG	cb
1	35,05	4	35,73	4	37,80	0
2	33,98	9	34,34	8	34,13	6
3	28,61	22	28,32	18	29,45	20
4	27,78	26	27,20	20	28,73	22
5	27,26	32	26,80	24	28,08	27
6	27,05	33	26,35	26	27,50	30

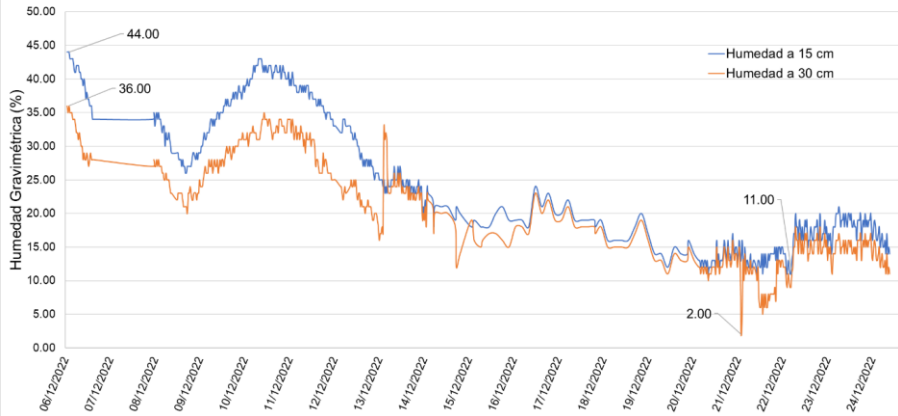
	C4-30		C5-15		C6-30	
No.	% HG	cb	% HG	cb	% HG	cb
1	35,15	2	32,54	6	38,51	6
2	33,52	5	31,04	8	37,05	6
3	28,75	10	26,03	18	29,94	9
4	28,00	10	25,03	22	28,57	10
5	27,42	14	23,34	24	27,21	10
6	27,42	14	22,64	28	25,86	11

- De 0 a 10 Cbar: el suelo está saturado.
- De 10 a 30 Cbar: el suelo está adecuadamente mojado.
- De 30 a 60 Cbar: el suelo necesita irrigación (en la mayoría de suelos).

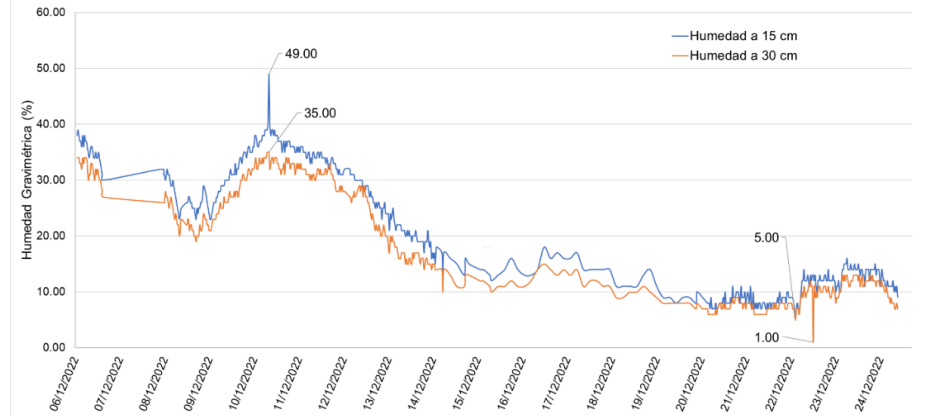


Variables Nodo 3: Humedad gravimétrica del suelo

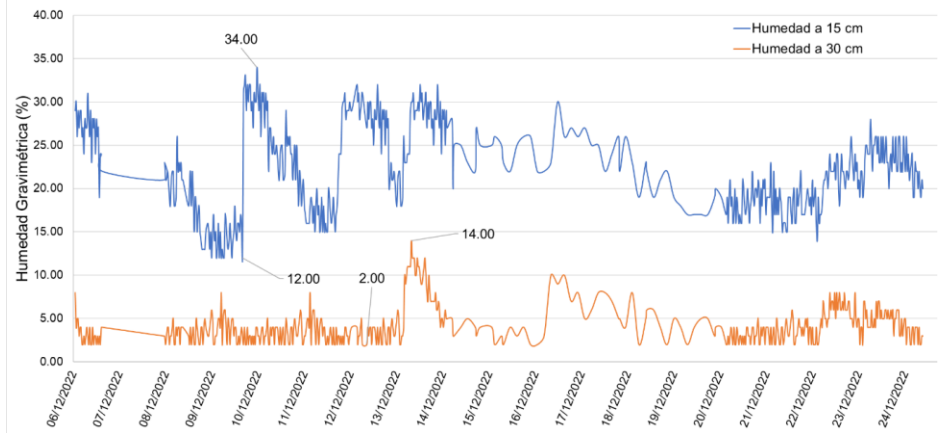
Valores historicos de humedad del suelo Punto A



Valores historicos de humedad del suelo Punto B



Valores historicos de humedad del suelo Punto C





01. Introducción



02. Objetivos



03. Diseño e Implementación



04. Pruebas y Resultados



05. Conclusiones y Recomendaciones



Conclusiones

- Se implementó una red LoRaWAN con enfoque en la seguridad eléctrica en el campus IASA I, colocando protectores de sobretensión para dirigir las descargas eléctricas a tierra y garantizar la integridad de la señal y la fiabilidad de los sistemas de comunicación.
- La caracterización de los sensores incluyó la evaluación de sus especificaciones técnicas y funcionales. La calibración de los sensores consistió en ajustar las mediciones a valores conocidos mediante el uso de un equipo patrón, con el fin de mejorar su precisión y reducir la incertidumbre en las mismas.
- Se desplegó una red de sensores con tecnología LoRaWAN conformada por tres nodos finales; el nodo 1 se destinó a la medición de la calidad del agua de riego, el nodo 2 realizó la medición para conocer el comportamiento del clima en la zona y el nodo 3 se instaló para conocer el comportamiento del suelo del invernadero.
- Se desarrolló una aplicación web en donde se puede visualizar de manera gráfica e intuitiva los parámetros censados, también se creó una aplicación móvil para proveer de movilidad y mejorar la experiencia del usuario al poder acceder a la información de forma remota y en tiempo real.



Conclusiones

- En la comparación de la calidad del enlace de radio entre LoRa y Sigfox en función del RSSI, en LoRa se obtuvo un nivel de RSSI más alto con un promedio de -93.32 dBm, mientras que en Sigfox el nivel de RSSI es menor con un promedio -112.25 dBm.
- En cuanto a los mensajes recibidos y perdidos a través de la red, en LoRaWAN se registró un valor promedio de 16% de mensajes perdidos, mientras que en Sigfox la pérdida fue mínima con un valor promedio de 2.10%.
- Para evaluar la precisión, se determinó la desviación estándar a partir de los datos recogidos en un intervalo de tiempo específico y en condiciones similares. Además, se realizó una comparación entre las variables meteorológicas y los datos de medición correspondientes al mismo período de tiempo en el año 2019 para obtener una evaluación más precisa.



Recomendaciones

- Para trabajos futuros con tecnologías LoRaWAN, es recomendable utilizar una infraestructura totalmente independiente con el objetivo de que los equipos estén operativos con la mayor disponibilidad posible.
- En trabajos futuros orientados a la agricultura de precisión, se recomienda implementar algoritmos de inteligencia artificial y *Deep Learning* que permitan generar predicciones en el análisis de las variables involucradas.
- Contrastar la información obtenida con los datos generados en instituciones como el INAMHI para poder mejorar la precisión en las mediciones realizadas.
- Es recomendable que la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE analice la posibilidad de contratación de servicios de *Cloud Computing* para utilizarlos en proyectos de investigación académica.
- Continuar con el desarrollo de proyectos multidisciplinarios entre el DEEL y el IASA I con el objetivo de generar conocimiento y poder brindar soluciones tecnológicas al sector agrícola del país.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Desarrollo de un sistema de monitorización mediante la implementación de una infraestructura de red con tecnología LoRaWAN para aplicaciones IoT orientadas a agricultura de precisión en el campus IASA I

Autores: Lema Chulli Richard Joel
Villavicencio Vega Freddy Fernando

Director: Ing. Alejandro Castro

