



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

" Diseño e implementación de una solución IoT para el monitoreo de la calidad del agua en el campus IASA I usando tecnología LoRaWAN"

Autores:

Alex Francisco Calderón Villalva
Geovanny Alexander Chiliguano Espin

Director del Proyecto:

Ing. Alejandro Fabián Castro



Agenda

1.- INTRODUCCIÓN

2.- OBJETIVOS

3.- DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

4.- RESULTADOS

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES






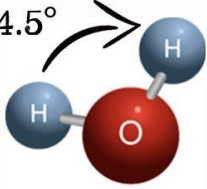
IoT (Internet of Things)



Calidad de Agua

Agua
Propiedades físicas y químicas

Conductora de electricidad				pH
Tensión superficial				Densidad
Calor específico				Hidrólisis
Molécula polar				Capilaridad
"Solvente Universal"				Incompresible
				Punto de fusión
				Punto de ebullición

104.5° 

Loya A. (2022) realizó un dispositivo IoT de bajo costo orientado al *Smart Farming* usando una red LoRa. Con el objetivo de mejorar el uso de los recursos en un cultivo hidropónico

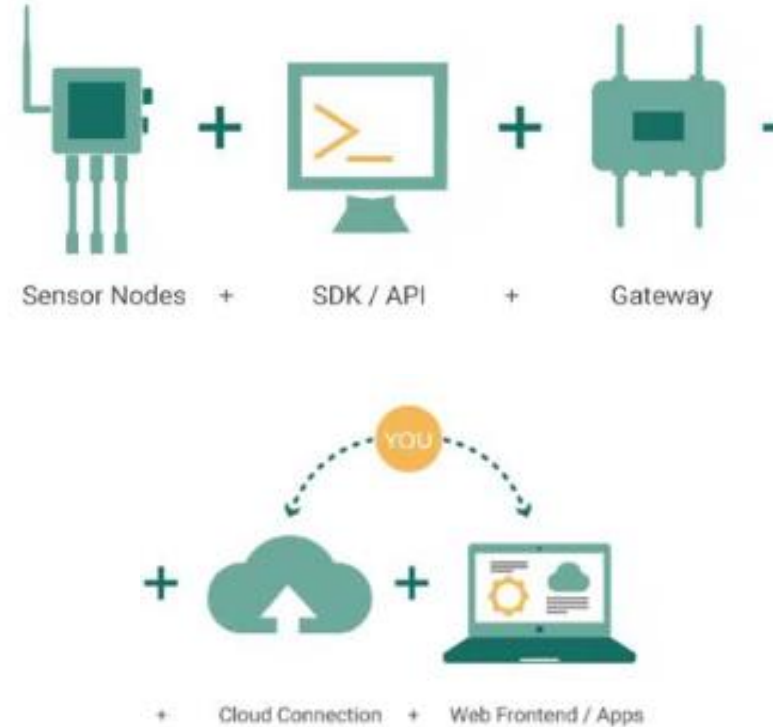
Changotasi F. & Lechón B. (2022) desarrollaron un sistema para el campus IASA I que recoge los datos de distintas variables climáticas y variables hidro-físicas del suelo

En el campus IASA I, Lema J. & Villavicencio F. (2023) implementaron una infraestructura de red LoRaWAN y se realizó el despliegue de una red de sensores inalámbricos encargados de realizar la medición de parámetros meteorológicos y variables físico-químicas del agua y de la tierra





Al incorporar la tecnología IoT



Objetivo General

Diseñar e implementar una solución IoT para el monitoreo de la calidad de agua en el campus IASA I con tecnología LoRa

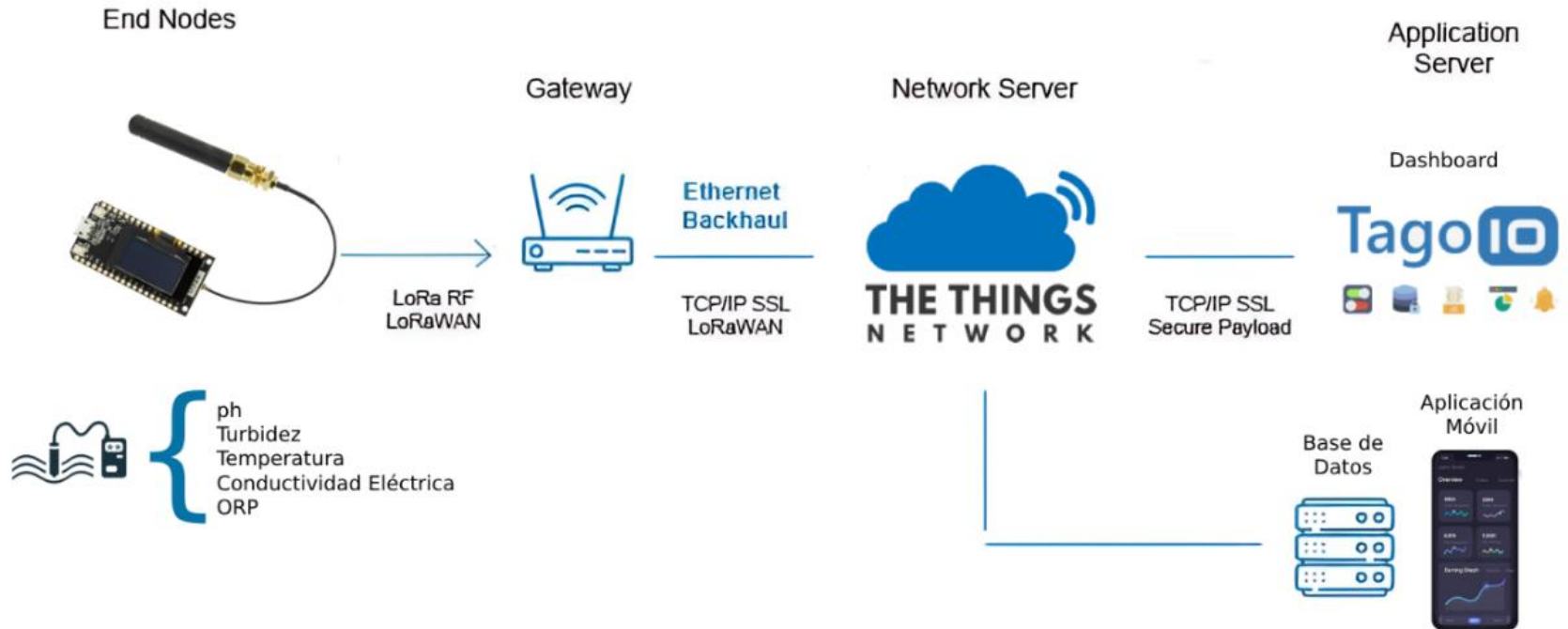
Objetivos Específicos

- Definir los sensores adecuados para la implementación del monitoreo del sistema.
- Calibrar los sensores para la correcta toma de datos y obtener curvas de calibración de ellos.
- Diseñar y desplegar dos prototipos con una red de sensores con tecnología de comunicación LoRaWAN, para la medición de las variables Químico-Físicas en los sitios determinados para la captación de agua en el campus IASA I.
- Desarrollar una interfaz web y una aplicación móvil para visualizar las mediciones de las variables obtenidas en tiempo real de los sensores mediante un dashboard.
- Comparar y validar la medición de los sensores con métodos de prueba en laboratorio.
- Verificar la variación del pH del agua en referencia a la conductividad eléctrica.



Diseño e Implementación

Arquitectura de la red LoRaWAN



Requerimientos:

- Variables de medición: temperatura, pH, turbidez, ORP, conductividad eléctrica.
- Se establece el envío de 360 mensajes por día, con un intervalo de frecuencia de 4 minutos entre mensajes.
- Los nodos deben contar con protección IP65 e IP54 debido a que se ubicarán en exteriores.
- La aplicación web y móvil deben ofrecer una alta disponibilidad y un servicio de almacenamiento de datos accesible.



Elementos

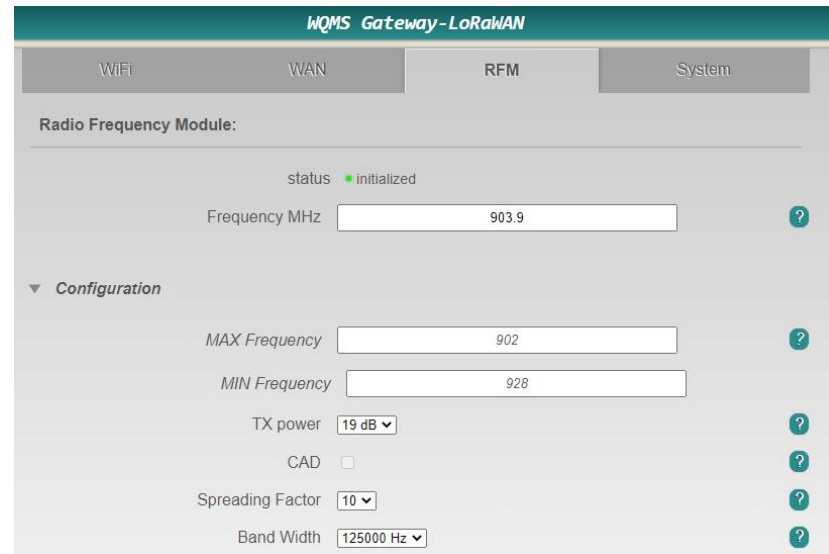
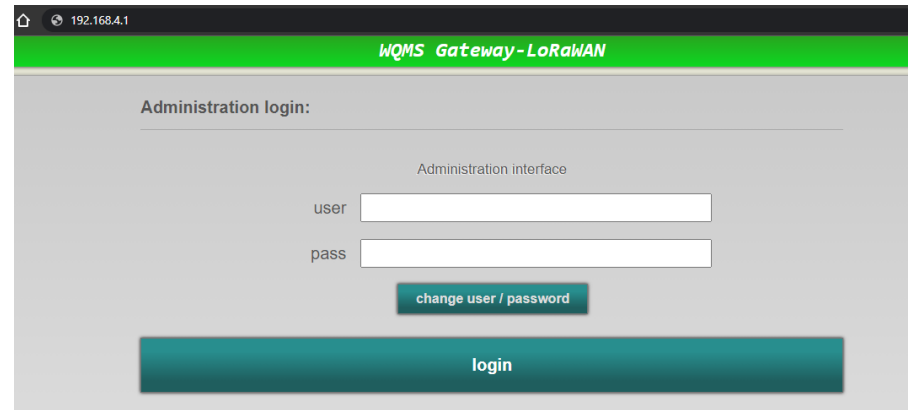
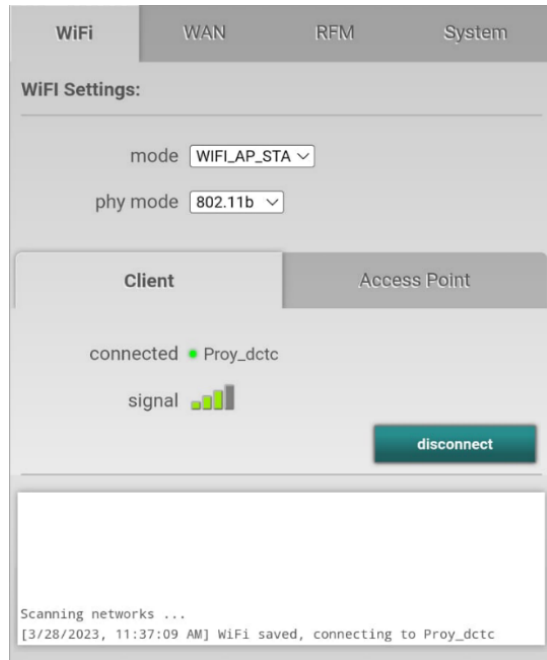
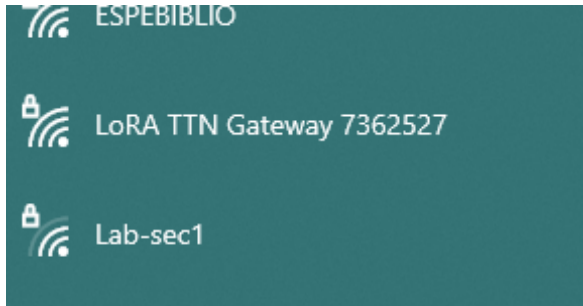
Modulo LoRa SX1276



ESP8266 MOD



Configuración



Registro de Gateways en Servidor de Red



Gateway IASA Ganaderia

ID: gateway-ganaderia

↑ 1 ↓ 0 • Last activity 25 seconds ago ⓘ

2 Collaborators 0 API keys

General information

Gateway ID	gateway-ganaderia	
Gateway EUI	BC FF 4D FF FF 39 B2 64	
Gateway description	None	
Created at	Mar 27, 2023 13:15:36	
Last updated at	Mar 27, 2023 13:27:28	

Live data

See all activity →

```

📶 11:04:43 Receive gateway status Metrics: { ackr: 0, txin: 7227, t
📶 11:03:43 Receive gateway status Metrics: { rxin: 48212, rxok: 482
📶 11:02:43 Receive gateway status Metrics: { rxok: 48212, rxfw: 482
📶 11:01:43 Receive gateway status Metrics: { rxin: 48212, rxok: 482
📶 11:00:43 Receive gateway status Metrics: { txok: 0, rxin: 48212,
📶 10:59:47 Receive gateway status Metrics: { txok: 0, rxin: 48212,
    
```



Gateway IASA Pailones

ID: gateway-pailones

↑ 128 ↓ 127 • Last activity 5 seconds ago ⓘ

3 Collaborators 0 API keys

General information

Gateway ID	gateway-pailones	
Gateway EUI	8C AA B5 FF FF 66 14 D1	
Gateway description	None	
Created at	Dec 29, 2022 00:27:19	
Last updated at	Mar 27, 2023 13:32:34	

Live data

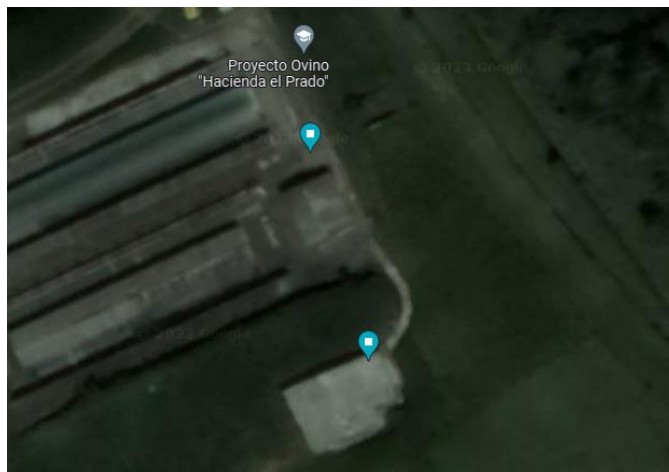
See all activity →

```

📶 11:10:11 Receive gateway status Metrics: { ackr: 0, txin: 7573, t
🚫 11:09:30 Transmit downlink message failure
↓ 11:09:30 Send downlink message Tx Power: 28.15 Data rate: SF10BW5
↑ 11:09:30 Receive uplink message DevAddr: 26 0C 39 20 <> FCn
📶 11:09:11 Receive gateway status Metrics: { txok: 0, rxin: 7744, r
📶 11:08:11 Receive gateway status Metrics: { txok: 0, rxin: 7744, r
    
```



Gateway Pailones



Ubicación (Latitud, Longitud)

0°25'25.56"S, 78°24'42.97"O

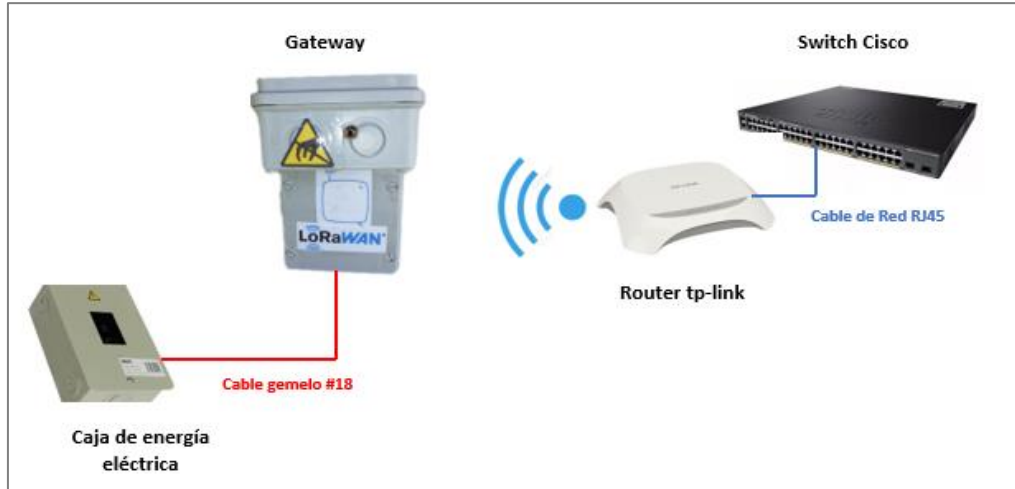
Gateway Ganadería



Ubicación (Latitud, Longitud)

0°23'36.27"S, 78°24'48.31"O





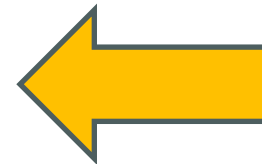
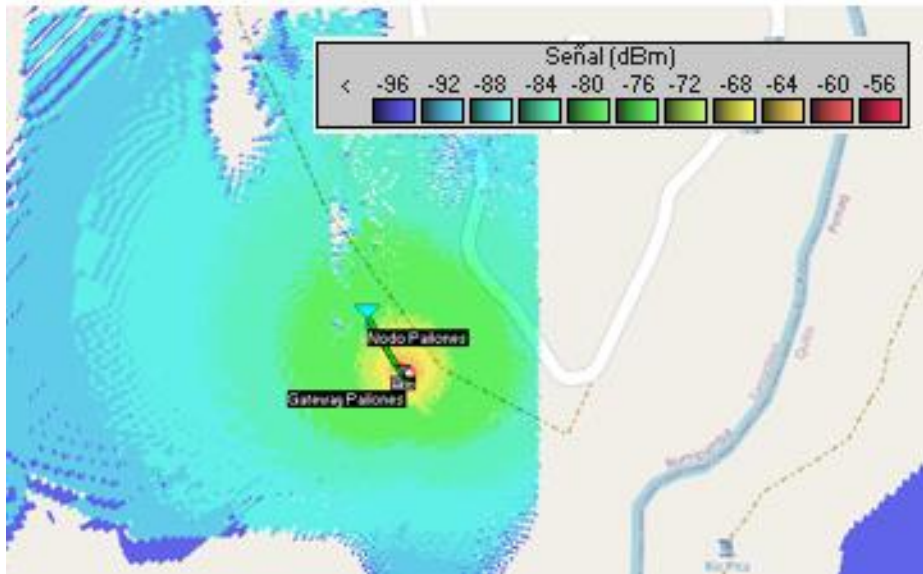
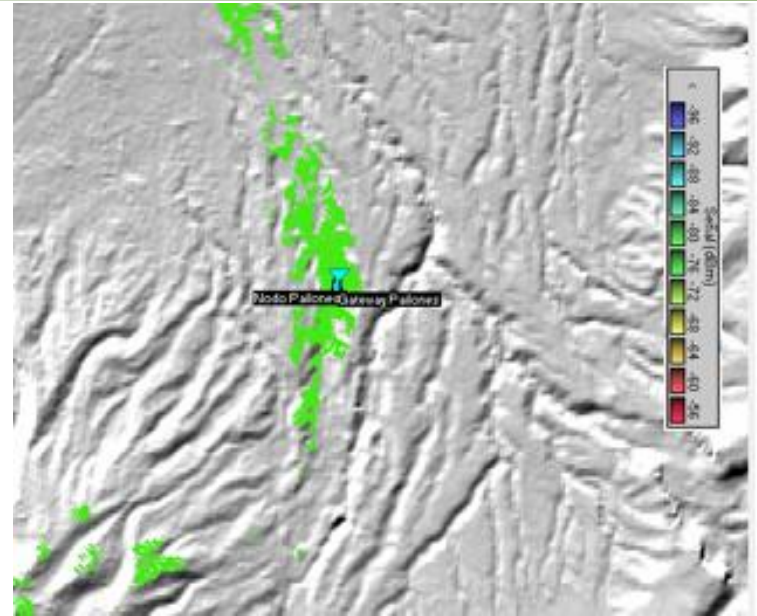
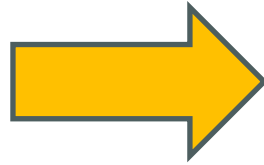
Gateway Pailones



Gateway Ganadería



Sector
Ganadería



Sector
Pailones



Elementos

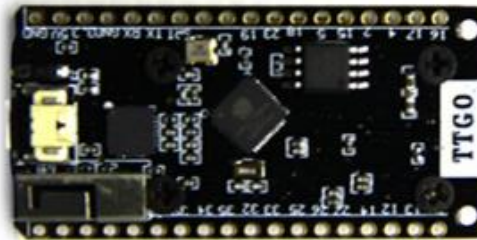
Heltec Wireless stick Lite V2.0



Mt3608 Elevador de Voltaje



TTGO Lora32-Oled V1.0



TP4056 Modulo de carga



Arduino Nano



Baterías 18650



Panel Solar 6 VDC



Sensores

Sensor Analógico de ORP



Sensor Conductividad Eléctrica



Sensor de Turbidez



Sensor de Temperatura

Sensor de PH

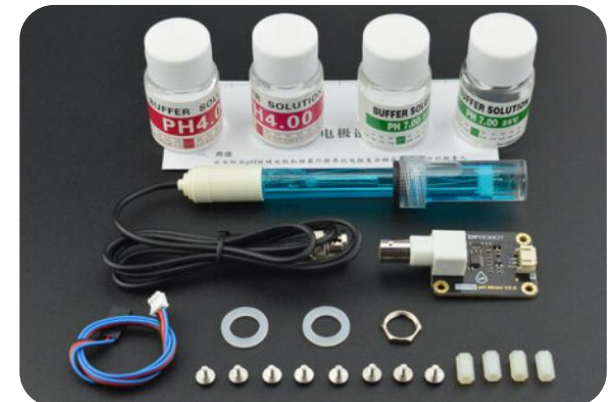
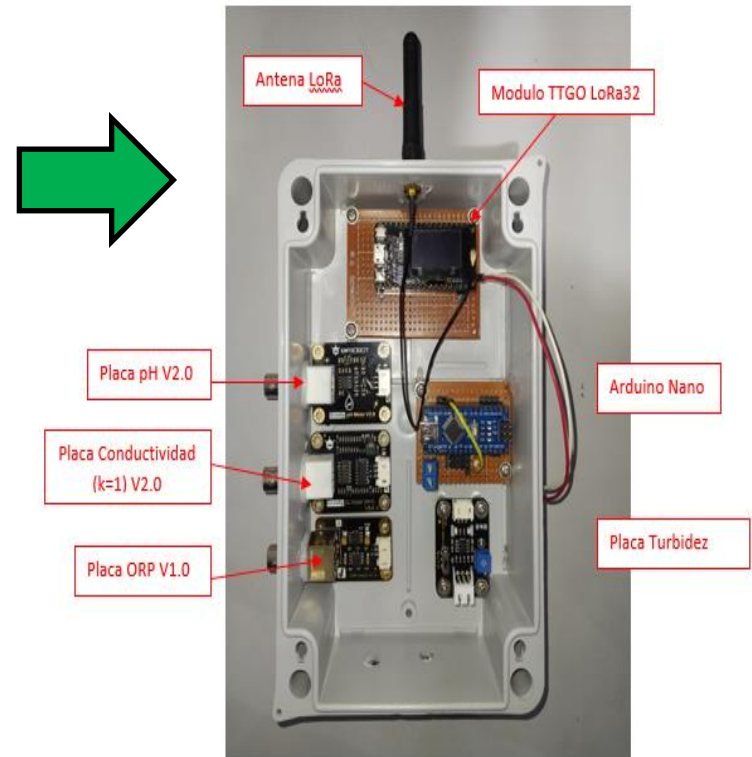
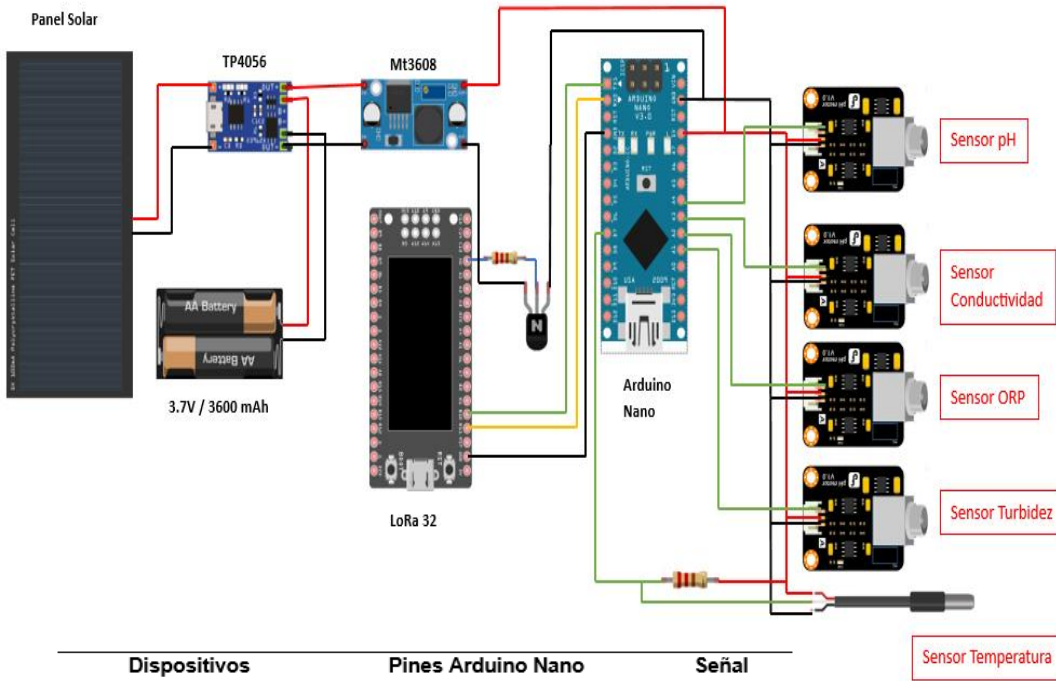


Diagrama esquemático



Dispositivos	Pines Arduino Nano	Señal
Sensor ORP	A3	Analógica
Sensor CE	A1	Analógica
Sensor Turbidez	A4	Analógica
Sensor pH	A2	Analógica
DS18B20 Temperatura	D9	Digital
Heltec LoRa	GPIO10(U1_TX) → D1(RX) GPIO9(U1_RX) → D0(TX) GND → GND	Digital
TTGO LoRa 32	GPIO17(U2_TX) → D1(RX) GPIO16(U2_RX) → D0(TX) GND → GND	Digital

← Pines

Calibración

Sensor de Temperatura (DS18B20).

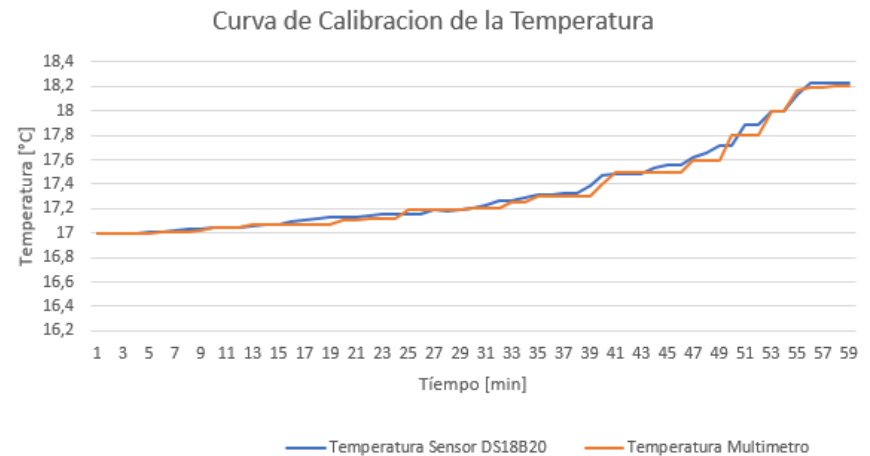


Librerías *OneWire* y *Dallas Temperature*.

```

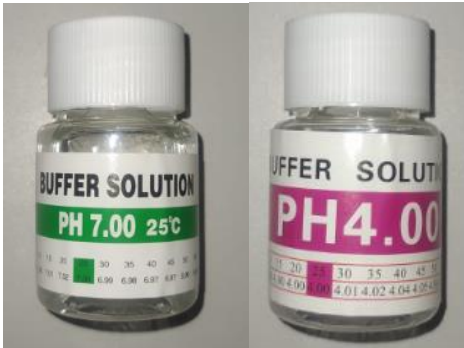
1 #include <OneWire.h>
2 #include <DallasTemperature.h>
3
4 // Pin donde se conecta el bus 1-Wire
5 const int pinDatosDQ = 9;
6
7 // Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature
8 OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);
9 DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);
    
```

Validación de datos del sensor de temperatura



Sensor pH

Alimentación de 3.3 a 5 VDC
soluciones buffer de 4.0 y 7.0



Calibración

```
DFRobot_PH:DFRobot_PH()  
{  
    this->_temperature = 25.0;  
    this->_pHValue      = 7.0;  
    this->_acidVoltage  = 2032.44; //buffer solution 4.0 at 25C  
    this->_neutralVoltage = 1500.0; //buffer solution 7.0 at 25C  
    this->_voltage      = 1500.0;  
}
```

enterph

```
12:04:06.383 ->  
12:04:06.383 -> >>>Enter PH Calibration Mode<  
12:04:06.383 -> >>>Please put the probe into  
12:04:06.383 ->  
12:04:07.367 -> temperature:19.7^C pH:6.43  
12:04:08.350 -> temperature:19.7^C pH:6.40  
12:04:09.380 -> temperature:19.7^C pH:6.43  
12:04:10.362 -> temperature:19.7^C pH:6.46  
12:04:11.391 -> temperature:19.7^C pH:6.37  
12:04:12.379 -> temperature:19.7^C pH:6.43  
12:04:13.360 -> temperature:19.8^C pH:6.43  
12:04:14.390 -> temperature:19.7^C pH:6.37  
12:04:15.371 -> temperature:19.7^C pH:6.43  
12:04:16.400 -> temperature:19.8^C pH:6.43  
12:04:17.384 -> temperature:19.8^C pH:6.37  
12:04:18.370 -> temperature:19.7^C pH:6.43
```

calph

```
12:04:55.439 ->  
12:04:59.439 -> >>>Buffer Solution:7.0,Send E  
12:04:59.439 ->  
12:05:00.421 -> temperature:19.9^C pH:7.07  
12:05:01.450 -> temperature:19.9^C pH:7.03  
12:05:02.431 -> temperature:19.9^C pH:7.07  
12:05:03.460 -> temperature:19.9^C pH:6.93  
12:05:04.441 -> temperature:19.9^C pH:6.93  
12:05:05.424 -> temperature:19.9^C pH:6.97  
12:05:06.454 -> temperature:19.9^C pH:6.97  
12:05:07.437 -> temperature:19.9^C pH:6.97  
12:05:08.420 -> temperature:19.9^C pH:7.03  
12:05:09.451 -> temperature:19.9^C pH:7.03  
12:05:10.433 -> temperature:19.9^C pH:7.03  
12:05:11.465 -> temperature:19.9^C pH:7.00  
12:05:12.446 -> temperature:19.9^C pH:7.00
```

exitph

```
12:05:59.500 -> >>>Calibration Successful,E  
12:05:59.500 ->  
12:06:00.528 -> temperature:20.0^C pH:7.03  
12:06:01.512 -> temperature:20.1^C pH:7.03  
12:06:02.496 -> temperature:20.1^C pH:7.07  
12:06:03.526 -> temperature:20.0^C pH:7.07  
12:06:04.517 -> temperature:20.0^C pH:7.03  
12:06:05.502 -> temperature:20.0^C pH:7.03  
12:06:06.534 -> temperature:20.1^C pH:7.00  
12:06:07.522 -> temperature:20.1^C pH:6.97  
12:06:08.507 -> temperature:20.1^C pH:7.00  
12:06:09.537 -> temperature:20.1^C pH:7.03  
12:06:10.522 -> temperature:20.1^C pH:7.00  
12:06:11.504 -> temperature:20.1^C pH:7.03  
12:06:12.538 -> temperature:20.1^C pH:7.00
```



Sensor conductividad eléctrica

soluciones base de 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 12.88 mS/cm



enterec

```

12:25:32.672 -> >>>Enter EC Calibration Mode<<<
12:25:32.672 -> >>>Please put the probe into the
12:25:32.672 ->
12:25:33.515 -> temperature:20.9°C EC:1.64ms/cm
12:25:34.498 -> temperature:20.9°C EC:1.64ms/cm
12:25:35.527 -> temperature:20.9°C EC:1.67ms/cm
12:25:36.509 -> temperature:20.9°C EC:1.71ms/cm
12:25:37.493 -> temperature:20.9°C EC:1.61ms/cm
12:25:38.521 -> temperature:20.9°C EC:1.58ms/cm
12:25:39.505 -> temperature:20.9°C EC:1.38ms/cm
12:25:40.533 -> temperature:20.9°C EC:1.87ms/cm
12:25:41.516 -> temperature:20.9°C EC:1.42ms/cm
12:25:42.499 -> temperature:20.9°C EC:1.83ms/cm
12:25:43.525 -> temperature:20.9°C EC:1.77ms/cm
12:25:44.506 -> temperature:20.9°C EC:1.55ms/cm
    
```

Calibración



calec

```

12:41:15.687 -> >>>Successful,K:0.87, Send EXITEC
12:41:16.718 -> temperature:22.3°C EC:1.52ms/cm
12:41:17.698 -> temperature:22.2°C EC:1.47ms/cm
12:41:18.680 -> temperature:22.2°C EC:1.47ms/cm
12:41:19.709 -> temperature:22.3°C EC:1.74ms/cm
12:41:20.691 -> temperature:22.3°C EC:1.44ms/cm
12:41:21.721 -> temperature:22.3°C EC:1.36ms/cm
12:41:22.704 -> temperature:22.3°C EC:1.33ms/cm
12:41:23.688 -> temperature:22.3°C EC:1.30ms/cm
12:41:24.717 -> temperature:22.3°C EC:1.39ms/cm
12:41:25.698 -> temperature:22.3°C EC:1.41ms/cm
12:41:26.728 -> temperature:22.3°C EC:1.47ms/cm
12:41:27.711 -> temperature:22.3°C EC:1.17ms/cm
12:41:28.693 -> temperature:22.3°C EC:1.25ms/cm
    
```

exitec

```

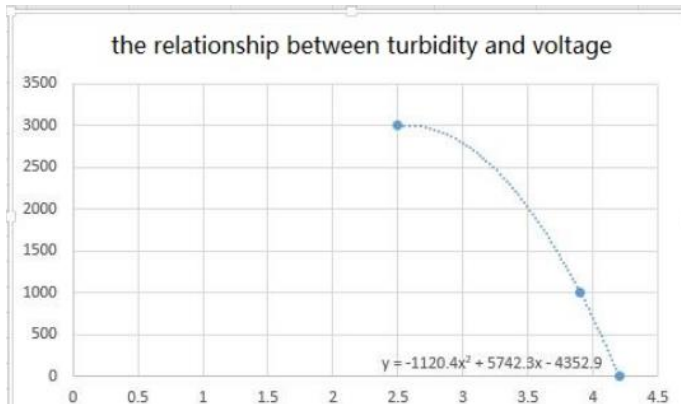
12:42:34.790 -> >>>Calibration Successful,Exit EC
12:42:34.790 ->
12:42:35.772 -> temperature:22.4°C EC:1.27ms/cm
12:42:36.802 -> temperature:22.4°C EC:1.30ms/cm
12:42:37.785 -> temperature:22.4°C EC:1.27ms/cm
12:42:38.813 -> temperature:22.5°C EC:1.19ms/cm
12:42:39.797 -> temperature:22.5°C EC:1.60ms/cm
12:42:40.776 -> temperature:22.5°C EC:1.54ms/cm
12:42:41.804 -> temperature:22.5°C EC:1.35ms/cm
12:42:42.786 -> temperature:22.5°C EC:1.43ms/cm
12:42:43.814 -> temperature:22.5°C EC:1.35ms/cm
12:42:44.796 -> temperature:22.5°C EC:1.38ms/cm
12:42:45.780 -> temperature:22.5°C EC:1.38ms/cm
12:42:46.809 -> temperature:22.5°C EC:1.38ms/cm
12:42:47.807 -> temperature:22.5°C EC:1.52ms/cm
    
```


Sensor Turbidez

- Alimentación de 5VDC.
- Unidad de medida de la turbidez es NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*).
- Rango de temperatura de 10°C ~50°C.
- 0 NTU (baja), 3000 NTU(alta)

Fabricante

$$y = -1120 \cdot 4x^2 + 5742 \cdot 3x - 4352.9$$



Calibración

Voltaje [V]	NTU
2,51	3001,64096
2,76	2961,08896
2,97	2818,79464
3,02	2770,34984
3,22	2520,55064
3,35	2310,116
3,58	1845,03944
3,82	1233,36104
4,04	559,27136
4,1999	1,2708948
4,2	0,904

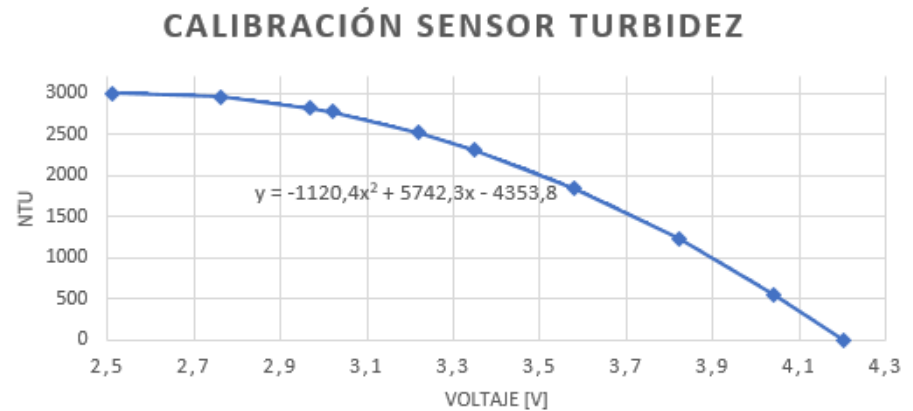
Sensor Turbidez

Calibración

El fabricante menciona que para 2,5 VDC el valor en NTU corresponde a 3000 siendo este el máximo que se puede obtener, al igual que para un valor de 4,2 VDC el valor en NTU es de cero siendo en este caso el mínimo.

$$y = -1120 \cdot 4x^2 + 5742 \cdot 3x - 4353.8$$

Voltaje [V]	NTU
2,51	3000,74096
2,76	2960,18896
2,97	2817,89464
3,02	2769,44984
3,22	2519,65064
3,35	2309,216
3,58	1844,13944
3,82	1232,46104
4,04	558,37136
4,1999	0,3708948
4,2	0,004



Sensor ORP

- La sonda del sensor de ORP viene con un líquido de 3,3 mol/L KCL que sirve de protección
- La sonda posee un electrodo echo de oro o platino
- Alimentación 5VDC



Calibración

Si existe errores en las mediciones el fabricante recomienda hacer lo siguiente:

- Cargar el código de muestra y esperar el mensaje `#define OFFSET 0`
- Luego se debe abrir el monitor serial donde salgan los valores de ORP, se presiona el botón de calibración y se presentará un pequeño valor.
- Una vez hecho esto el valor que salió se debe colocar en el código de muestra. Por ejemplo, si sale 8 mV en la parte `#define OFFSET 0` se cambia por `#define OFFSET 8` y se completa la calibración.

Desarrollo Software

Diagrama de flujo de la placa Arduino Nano

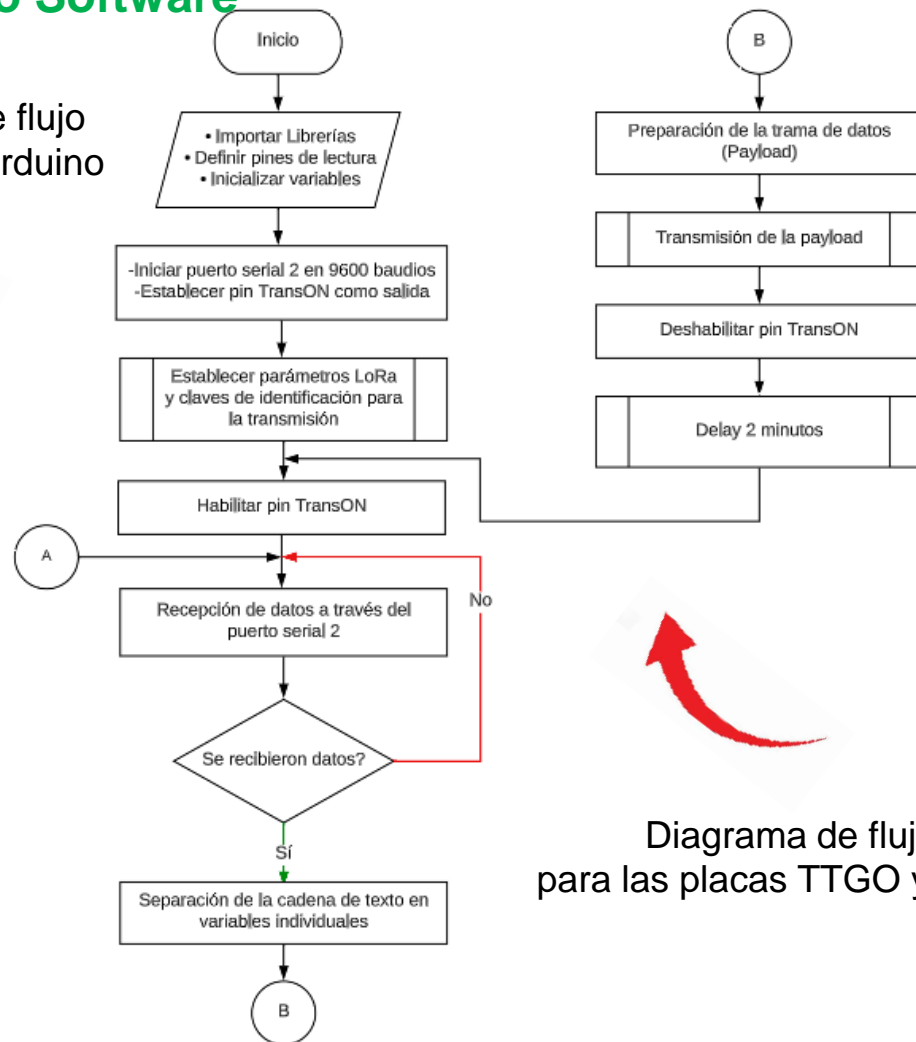
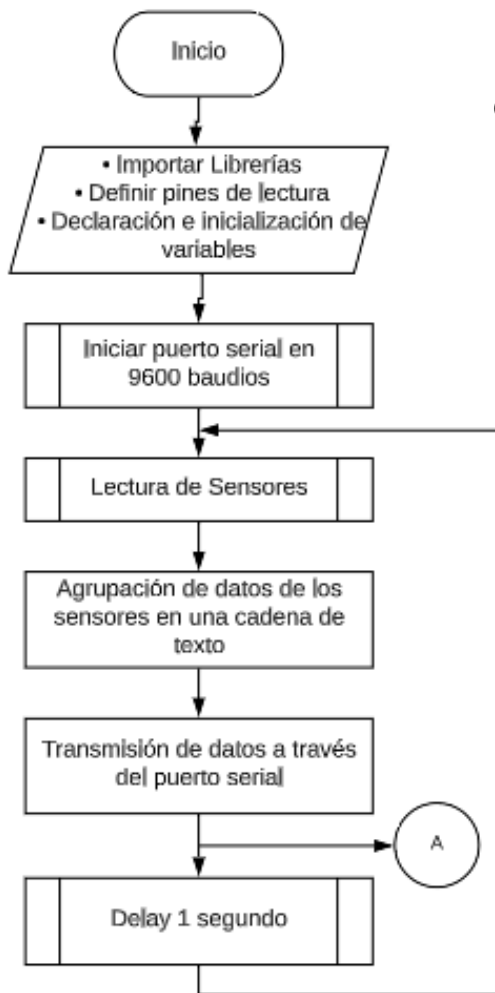


Diagrama de flujo para las placas TTGO y Heltec



Cadena de Datos

NameString = sensor1 / sensor2 / ... / sensorN

↑
Nombre de variable
de la cadena

↑
Carácter
separador

↑
Nombre de variable
de cada sensor

Estructura Payload

PAYLOAD				
DATOS				
2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes
Valor Temperatura	Valor Turbidez	Valor Conductividad Eléctrica	Valor PH	Valor ORP



Decodificación de Payload



```
1 function Decoder(bytes, port) {
2   if(bytes.length == 10 ) {
3     var temperature = (bytes[0]<<8) | bytes[1];
4     var turbidez = (bytes[2]<<8) | bytes[3];
5     var ecValue = (bytes[4]<<8) | bytes[5];
6     var pHValue = (bytes[6]<<8) | bytes[7];
7     var orpValue = (bytes[8]<<8) | bytes[9];
8
9     return {
10      'Temperatura': temperature/100,
11      'Turbidez': turbidez/100,
12      'CE': ecValue/100,
13      'pH': (pHValue/100),
14      'ORP': orpValue/100
15    }
16   } else {
17     return {
18       'error': 'payload unknown'
19     }
20   }
21 }
```

Integración entre TTN y TagoIO

The screenshot shows the TTN integrations page. The 'Integrations' menu is expanded, and 'Webhooks' is selected. The TagoIO integration card is highlighted with a red border. Other visible integrations include Homey, Losant, my IoT open Tech, Climate, Qubitro, Telemetry2U, tellsens.io, thethings.io, thinger.io, and ThingSpeak.

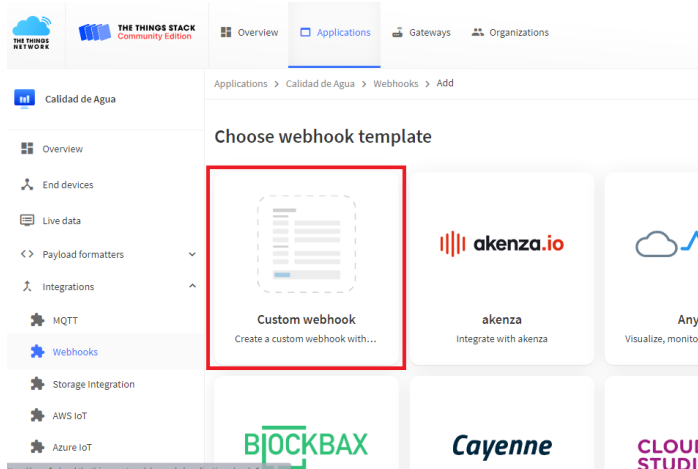


The screenshot shows the TTN Devices table. The table has columns for Name, Last Input, Connector, Network, Active, and Type. Two devices are listed: 'Nodo Sensor Ganaderia' and 'Nodo Sensor Pailones'. Both are active and have their last input times displayed.

Name	Last Input	Connector	Network	Active	Type
Nodo Sensor Ganaderia	hace 3 minutos	Custom TTI / TTN	LoRaWAN TTI/TTN v3	Yes	Device Data Optimized (Imm
Nodo Sensor Pailones	hace 2 minutos	Custom TTI / TTN	LoRaWAN TTI/TTN v3	Yes	Device Data Optimized (Imm



Integración entre TTN y Host Privado.



/public_html/payload.php

```
1 <?php
2
3 require_once ("connect_db.php");
4 $data = file_get_contents("php://input");
5 $json = json_decode($data,true);
6
7 $received_at = date('Y-m-d H:i:s');
8 $received_at1 = date('Y-m-d H:i:s',strtotime('-5 hour',strtotime($received_at)));
9 $send_device_ids = $json['end_device_ids'];
10 $device_id = $send_device_ids ['device_id'];
11 $application_id = $send_device_ids['application_ids']['application_id'];
12
13 $uplink_message = $json['uplink_message'];
14 $Temperatura = $uplink_message['decoded_payload']['Temperatura'];
15 $Turbidez = $uplink_message['decoded_payload']['Turbidez'];
16 $CE = $uplink_message['decoded_payload']['CE'];
17 $pH = $uplink_message['decoded_payload']['pH'];
18 $ORP = $uplink_message['decoded_payload']['ORP'];
19 $rssi = $uplink_message['rx_metadata'][0]['rssi'];
20 $snr = $uplink_message['rx_metadata'][0]['snr'];
21
22 $sqlCommand = "INSERT INTO db_iotwqstable(temperatura, turbidez, ecValue, phValue, orpValue, rssi, snr, device_id,
received_at) VALUES ('$Temperatura','$Turbidez','$CE','$pH','$ORP','$rssi','$snr','$device_id','$received_at1'
```

Name	Size	Date
img		2023-07-12 22:54:00
.htaccess	0.2 kB	2022-10-04 00:00:00
connect_db.php	0.4 kB	2022-10-13 00:00:00
connection.php	0.4 kB	2023-07-05 08:25:00
db_user.php	0.4 kB	2023-07-05 08:30:00
index.html	3.0 kB	2023-07-12 22:55:00
listado.php	0.5 kB	2022-12-31 00:00:00
nuevo.php	1.1 kB	2022-10-19 00:00:00
payload.php	1.2 kB	2023-04-16 03:56:00
payloadnuevo.php	1.3 kB	2023-04-16 03:23:00
payloadrespaldo.php	1.1 kB	2023-04-16 03:24:00
prueba.php	0.9 kB	2022-09-29 00:00:00

Mostrando filas 71325 - 71349 (total de 100979. La consulta tardó 0.1351 segundos.)

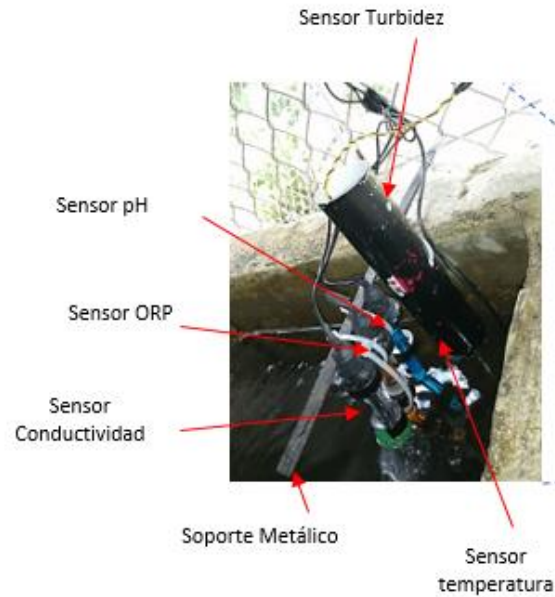
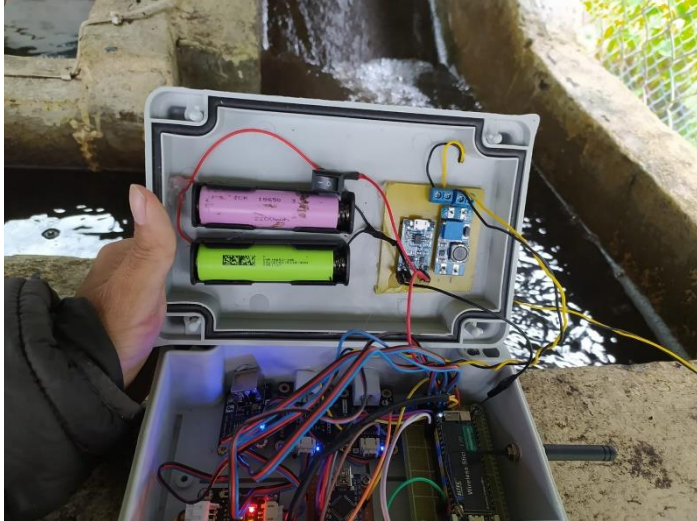
```
SELECT * FROM `db_iotwqstable`
```

id	temperatura	turbidez	ecValue	phValue	orpValue	rssi	snr	device_id	received_at
81588	11.25	98.13	0.17	7.19	611.74	-88	-6.25	heltec-node-1	2023-06-20 06:26:58
81589	15.13	214.65	0.211	8.33	15.82	-70	9.5	ttgo-node-2	2023-06-20 06:27:33
81590	11.25	98.13	0.21	7.19	560.21	-87	-6	heltec-node-1	2023-06-20 06:29:00
81591	15.19	198.81	0.21	8.31	15.69	-70	9	ttgo-node-2	2023-06-20 06:29:36
81592	11.25	98.13	0.28	6.02	16.77	-90	-10	heltec-node-1	2023-06-20 06:31:03
81593	15.13	214.65	0.2118	8.28	15.18	-70	8.5	ttgo-node-2	2023-06-20 06:31:38
81594	11.19	98.13	0.17	7.42	545.82	-94	-16.5	heltec-node-1	2023-06-20 06:33:05
81595	15.13	214.65	0.2095	8.31	16.59	-70	10	ttgo-node-2	2023-06-20 06:33:41

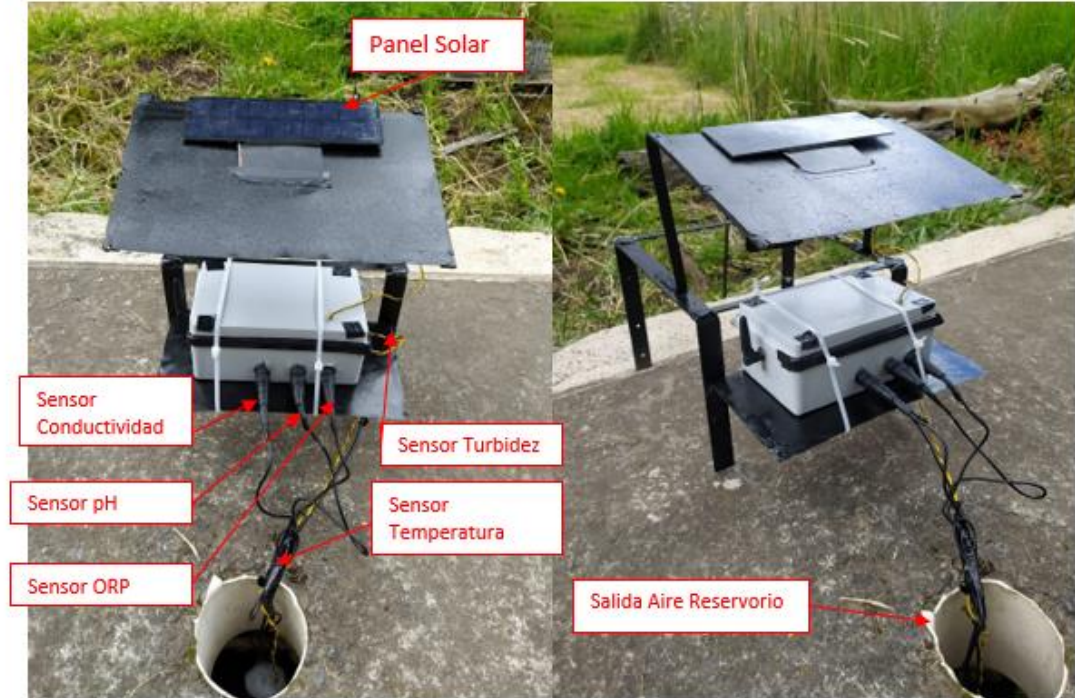




Implementación Nodo-Pailones



Implementación Nodo-Ganadería





The graphic features a background of water with bubbles. On the left, a stylized icon shows a blue water drop and a green leaf within a circular outline. The text is arranged in a structured layout with rounded rectangular boxes.

*Medición de la Calidad de
Agua usando tecnología
LoRaWAN*

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Ingeniería en Electrónica y
Telecomunicaciones

Proyecto de Titulación

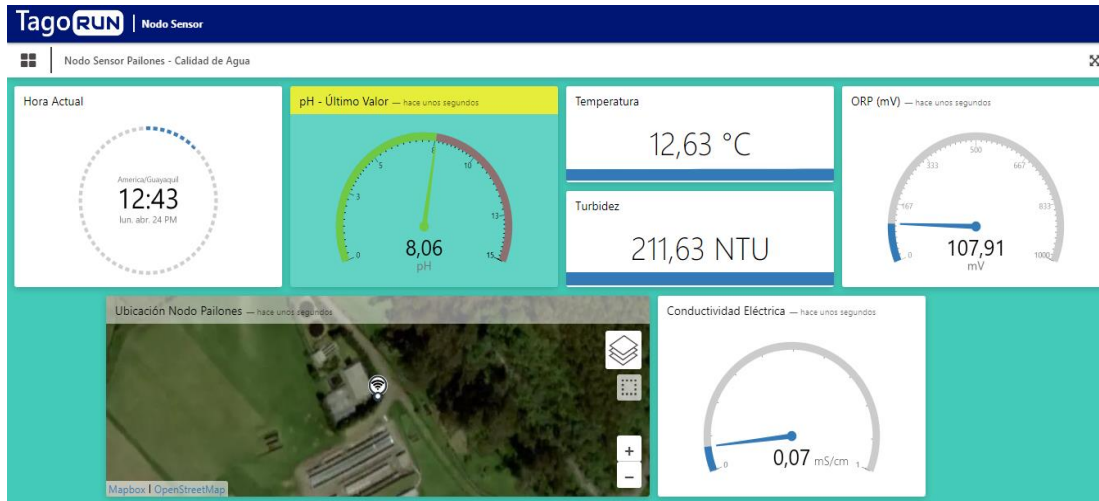
Realizado por:
Alex Calderón
Alexander Chiliguano

DASHBOARD GANADERÍA

DASHBOARD PAILONES

Powered by 000webhost

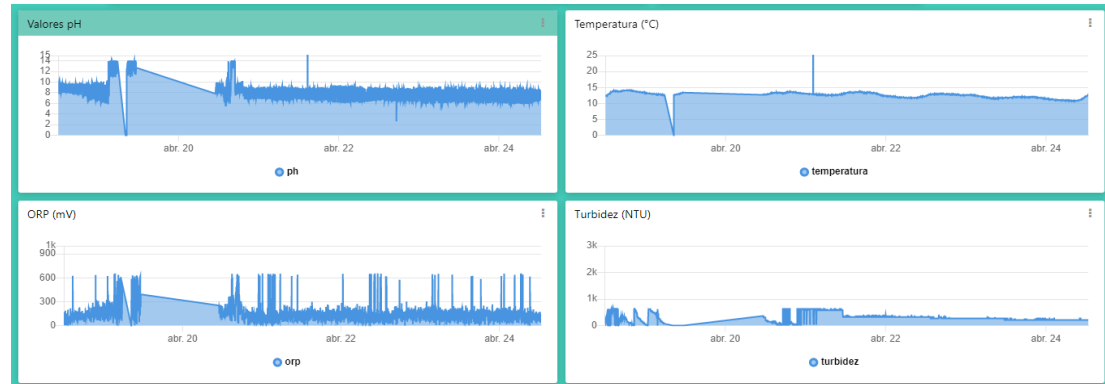


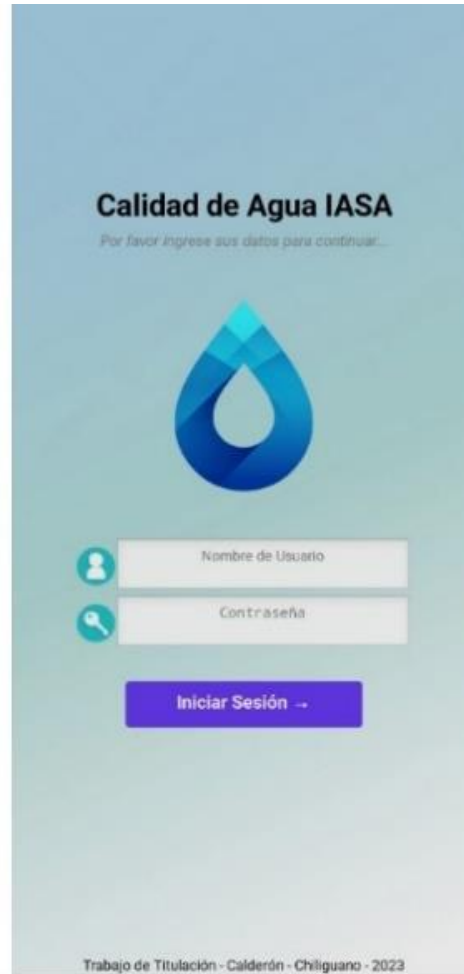


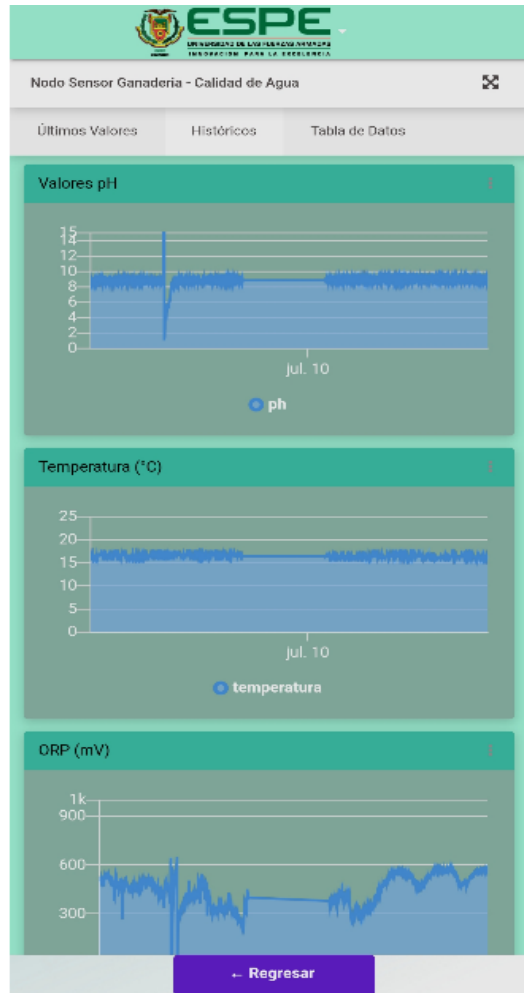
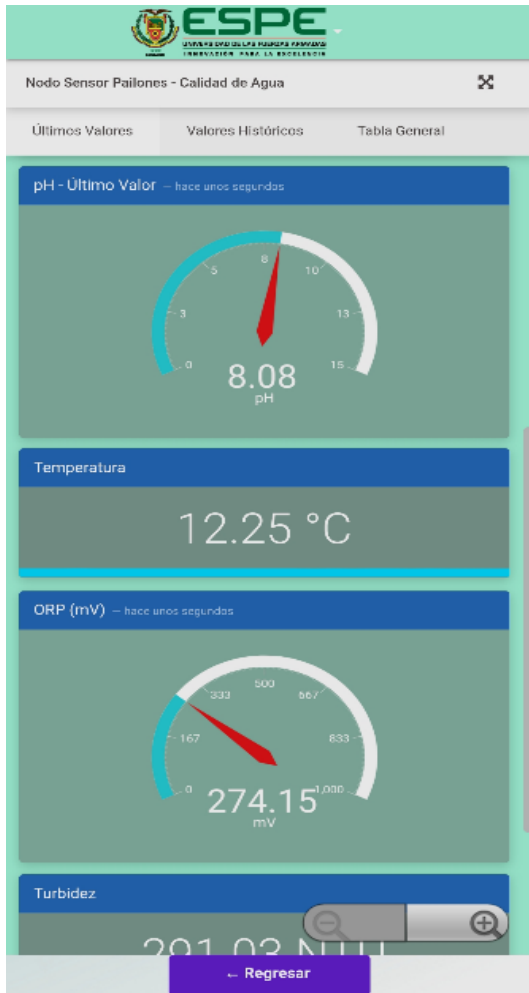
Sensores — hace unos segundos

pH ↕	Temperatura (°C) ↕	Turbidez (NTU) ↕	ORP (mV) ↕	CE (mS/cm) ↕
8,06	12,63	211,63	107,91	0,07
8,33	12,69	211,63	83,75	0,13
6,67	12,63	211,63	32,74	0,1
7,28	12,56	211,63	143,76	0,13
8,36	12,5	211,63	40,71	0,13
6,97	12,5	211,63	114,72	0,24
7,56	12,5	211,63	123,84	0,13
8,44	12,44	211,63	49,83	0,07
6,72	12,44	211,63	86,45	0,03
7,42	12,38	211,63	139,38	0,2

1 2 3 4 5 ... 200 > 2.000 rows







Nodo Sensor Pailones - Calidad de Agua

Últimos Valores | Valores Históricos | Tabla General

Sensores — hace unos segundos

pH	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	ORP (mV)	CE (mS)
6.34	12.25	291.03	326.45	0.0
7.53	12.31	291.03	79.48	0.0
8.08	12.25	291.03	274.15	0.0
9.81	12.31	291.03	158.12	0.0
9.42	12.31	291.03	53.14	0.0
11.39	12.31	291.03	170.07	0.0
8.38	12.38	291.03	45.3	0.0
11.5	12.31	291.03	126.76	0.0
9.13	12.38	291.03	87.19	0.0
7.28	12.38	291.03	81.28	0.0
6.44	12.31	291.03	275.56	0.0

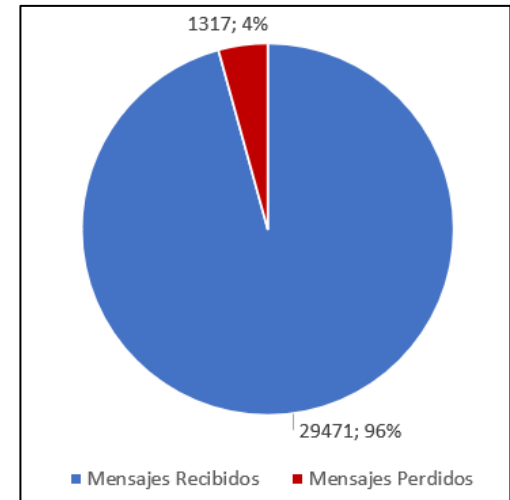
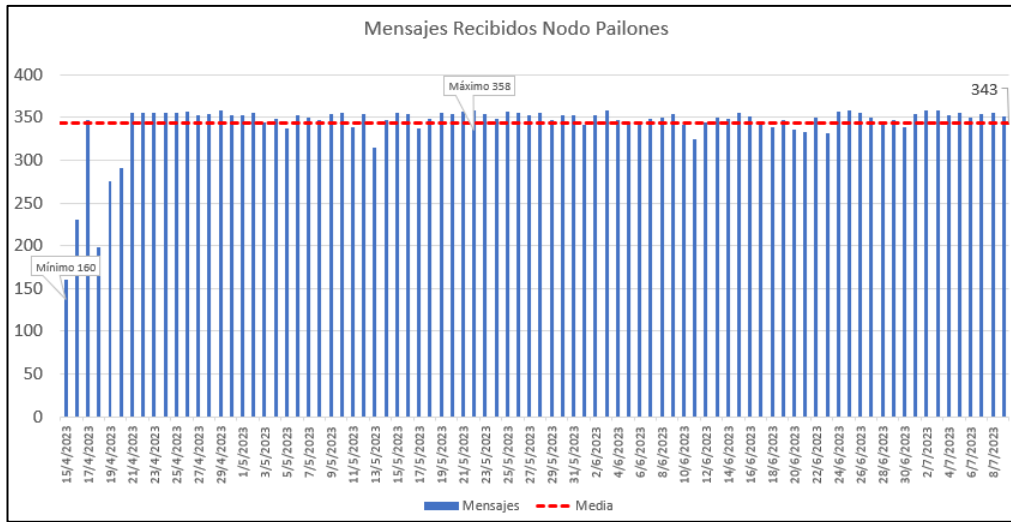
Regresar



Trafico de la Red LoRaWAN

Mensajes Diarios

Nodo Pailones



Nodo Ganadería

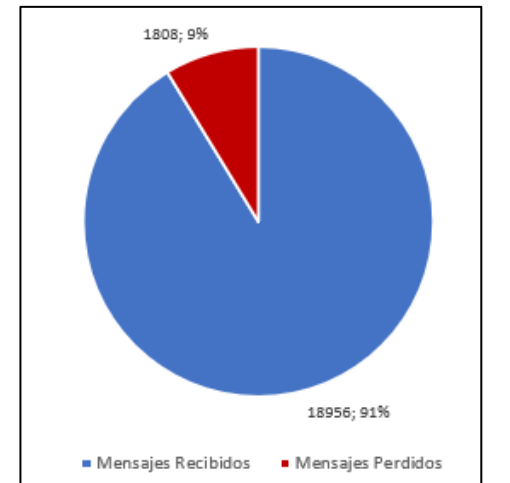
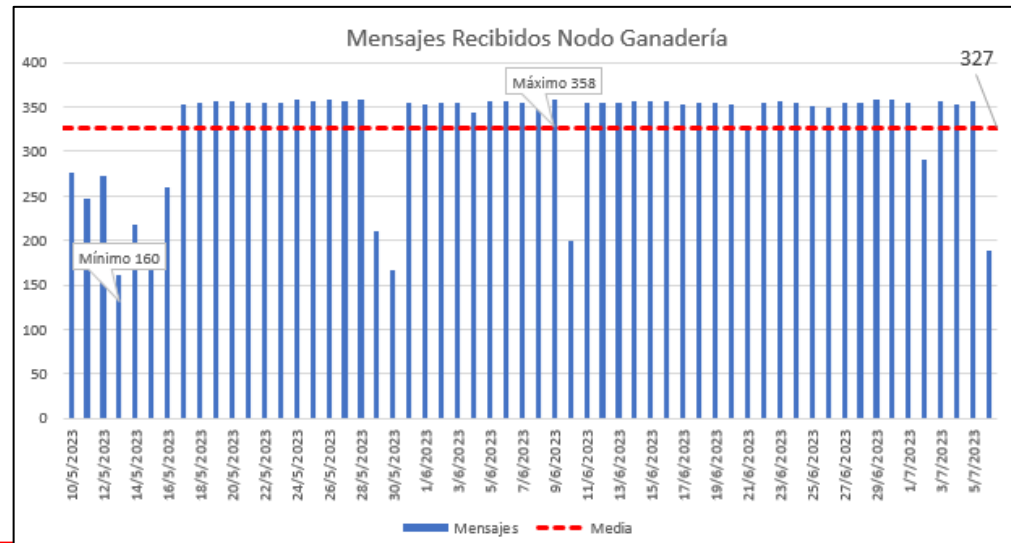


Tabla Resumen

	Nodo Pailones		Nodo Ganadería	
	Mensajes	Porcentaje	Mensajes	Porcentaje
Recibidos	29471	96%	18956	91%
Perdidos	1317	4%	1808	9%
Promedio	343	--	327	--
Total	30788	100%	20764	100%

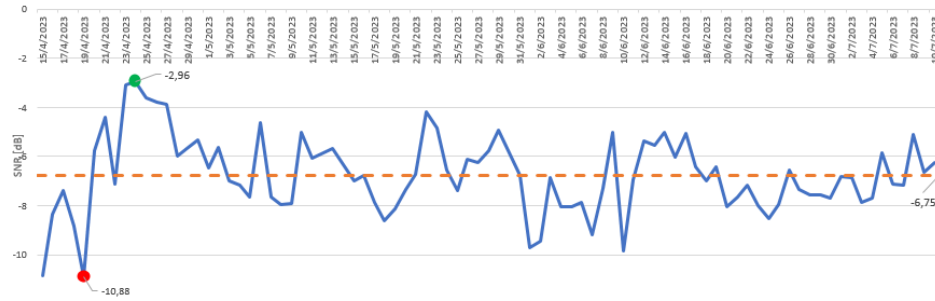


Calidad Enlace de los Gateways

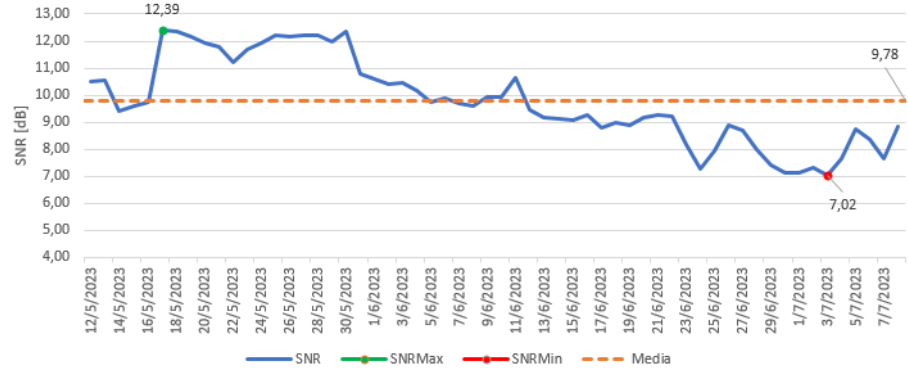
Resultados

Parámetros de la Calidad de la Señal **SNR**

SNR promedio nodo Pailones

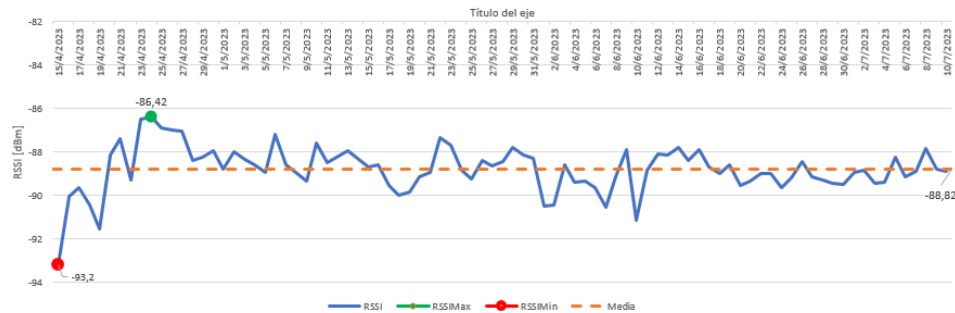


SNR promedio nodo Ganadería



RSSI

RSSI promedio nodo Pailones



RSSI promedio Ganadería

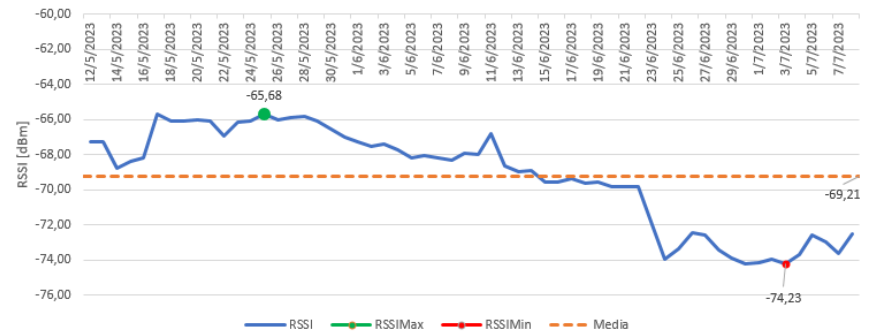
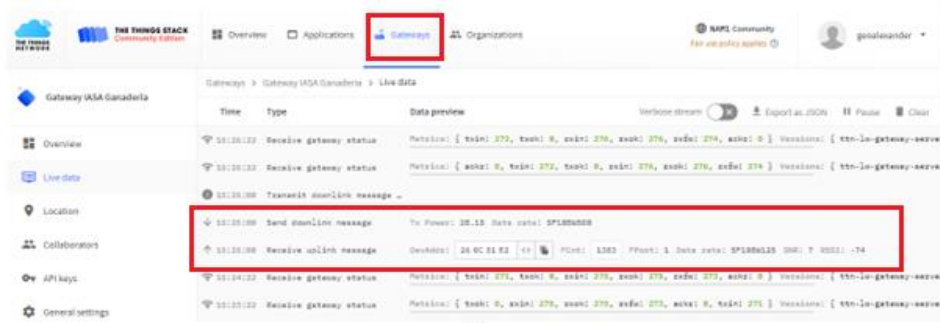


Tabla Resumen

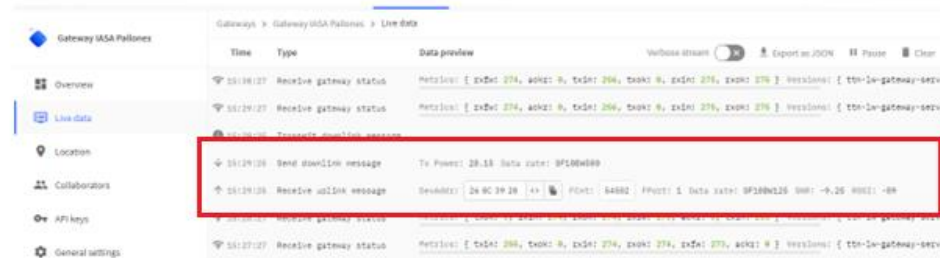
	Nodo Ganadería	Nodo Pailones
RSSI	-74,23 dBm a -65,68 dBm	-93,2 dBm a -86,42 dBm
Media RSSI	-69,21 dBm	-88,82 dBm
SNR	7,02 dB a 12,39 dB	-10,88 dB a -2,96 dB
Media SNR	9,78 dB	-6,75 dB
Distancia Nodo/Gateway	5 m	73 m



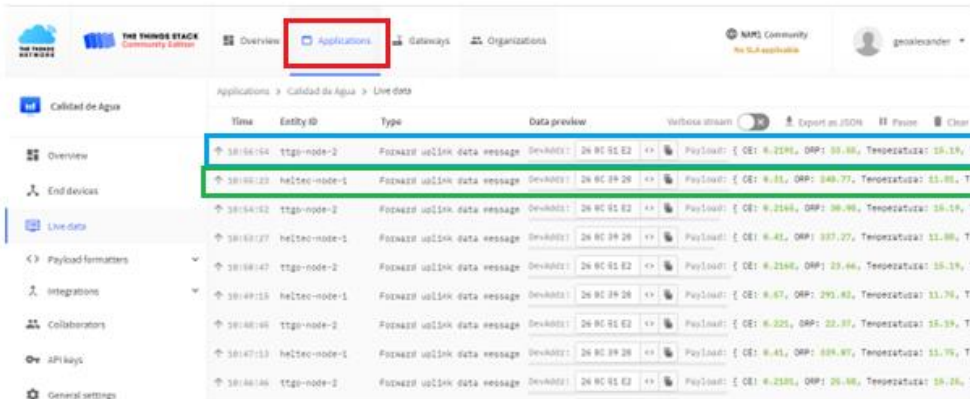


a)

Interfaz TTN



b)



Pestaña de aplicaciones de TTN



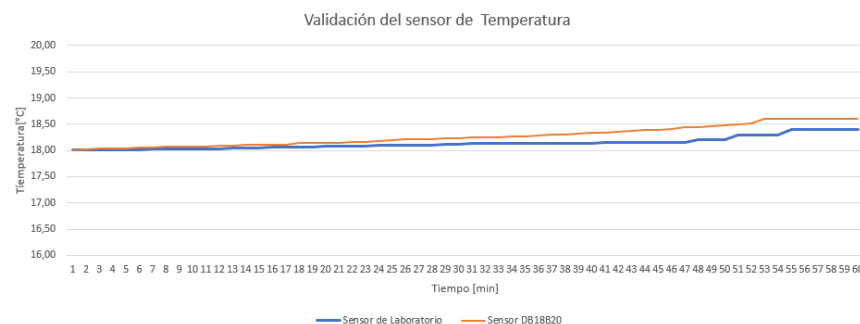
Comparación de Valores de los Nodos Sensores con los de Laboratorio



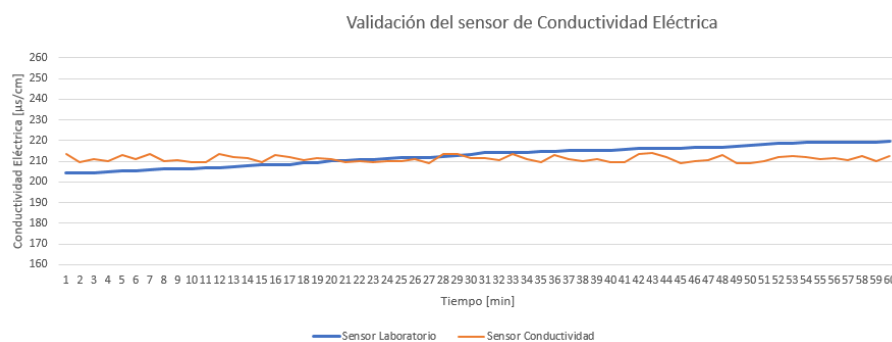
Ambiente de trabajo



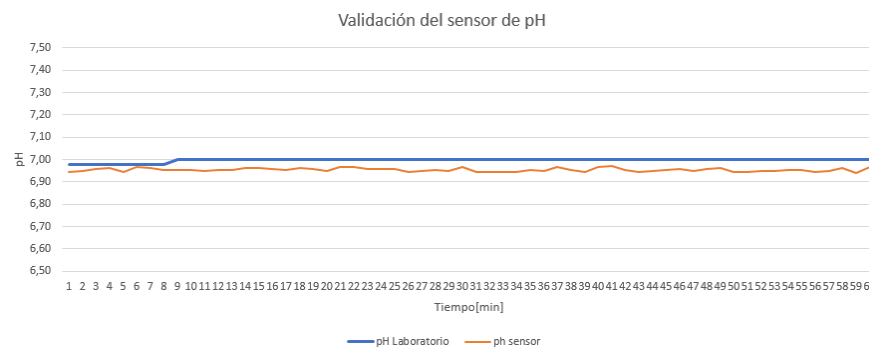
Sensores laboratorio marca APERA



Sensor DS18B20



Sensor Conductividad Eléctrica



Sensor pH

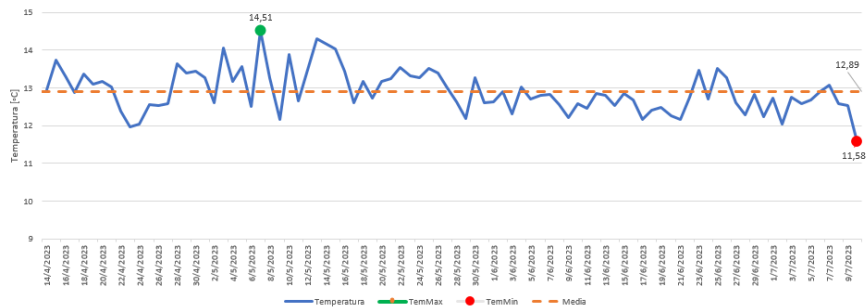


Temperatura

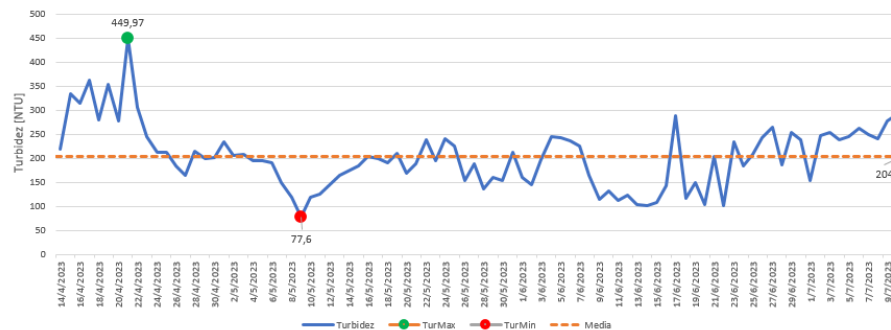
PAILONES

Turbidez

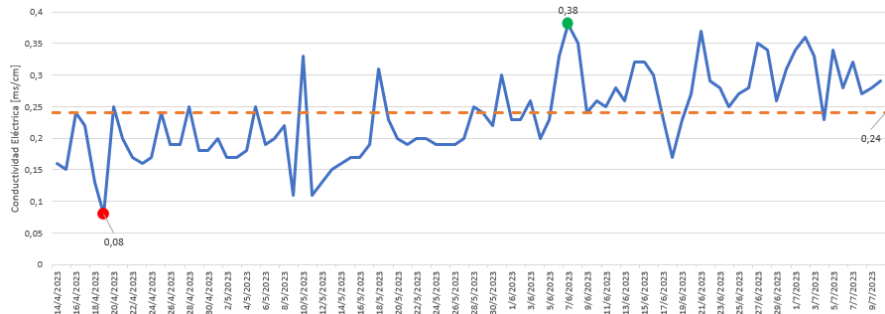
Valores de Temperatura Promedio por Día



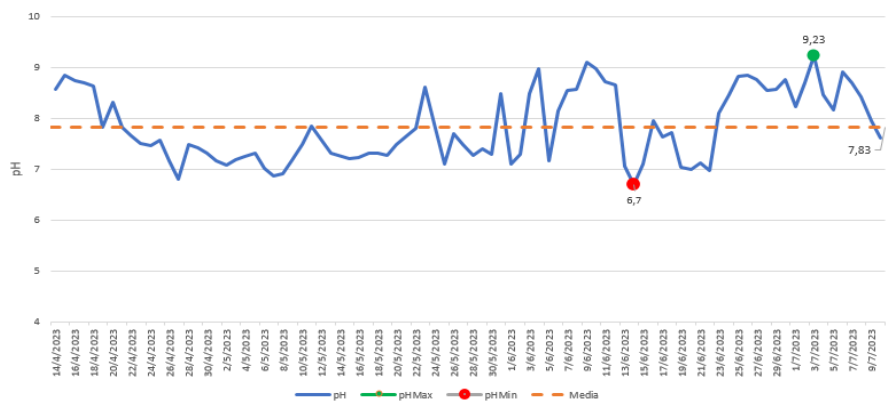
Valores de Turbidez promedio por día



Valores de Conductividad Eléctrica promedio por día

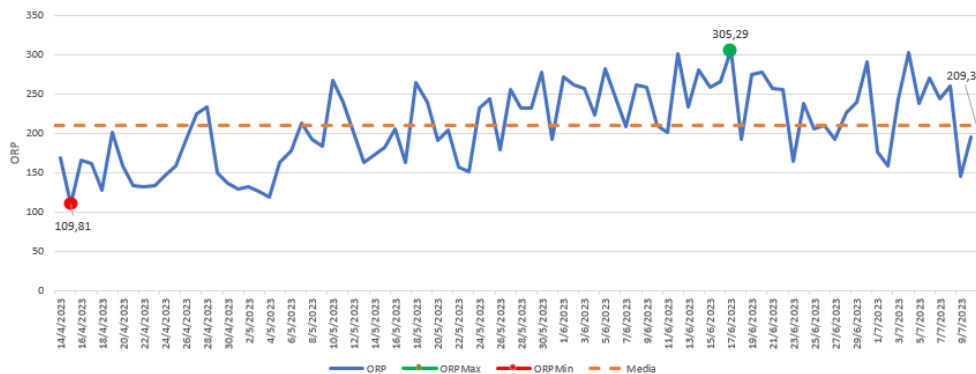


Valores de pH promedio por día



Conductividad

Valores de ORP promedio por día

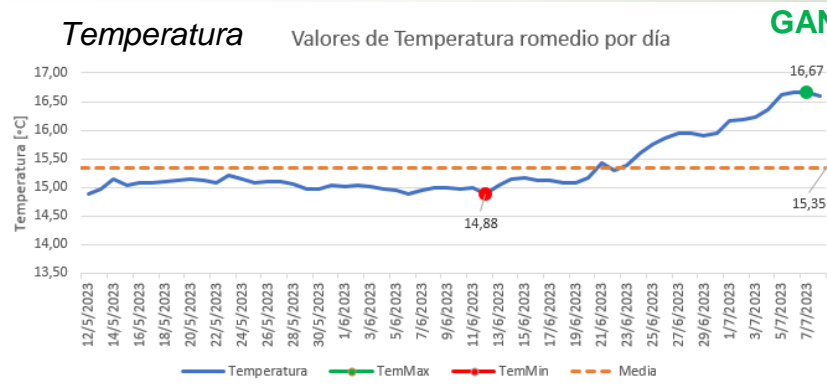


pH

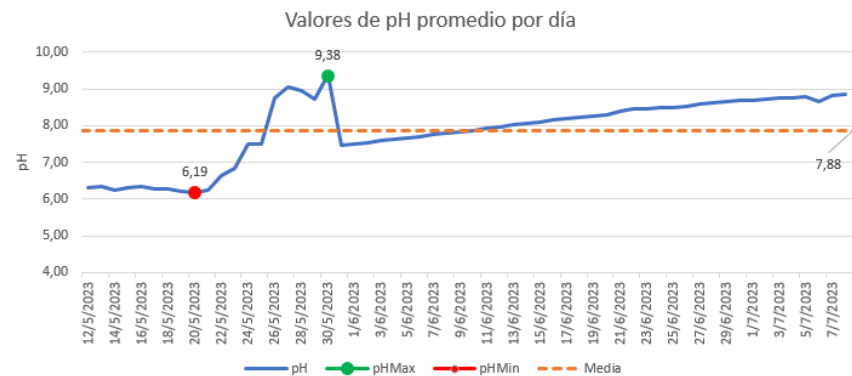
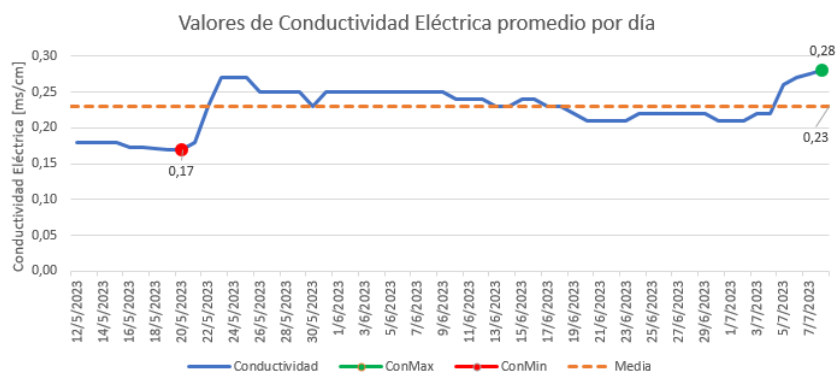
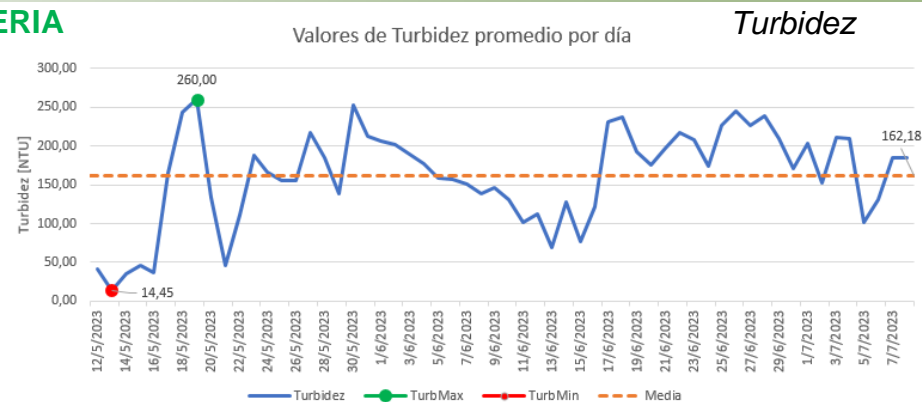
ORP



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



GANADERIA



pH

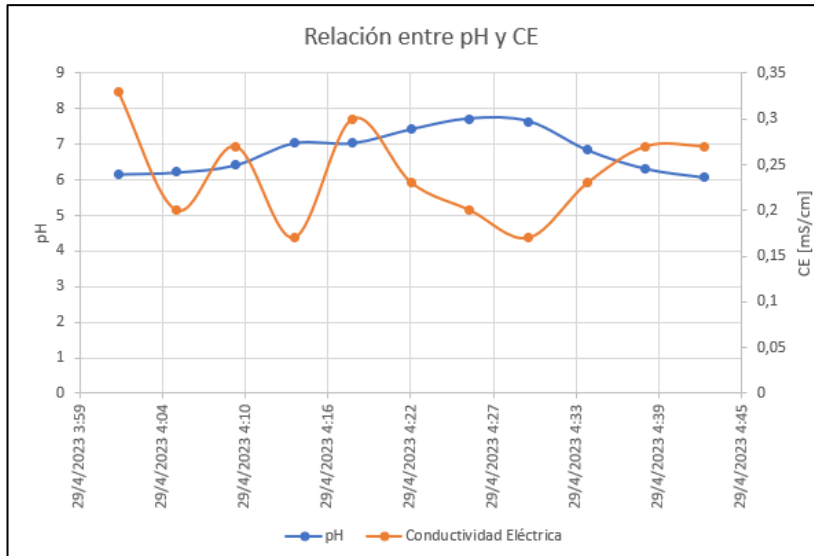
ORP



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Variables	Valores Max- Min
pH	6,5 a 9,5
Conductividad Eléctrica	0 a 250 μ S/cm riesgo bajo
	250 a750 μ S/cm riesgo medio
	750 a 2250 μ S/cm riesgo alto
Turbidez	0 a 5 NTU para consumo
	0 a 1000 NTU para riego
ORP	0-300mV
Temperatura	8°C a 18°C





Muestra de 60 minutos

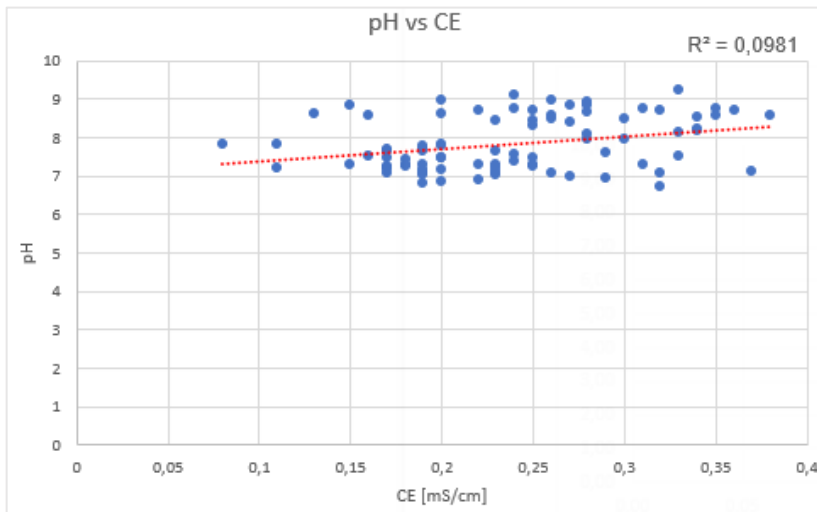


Diagrama de dispersión

Coefficiente de correlación $r=0.313$



Ausencia de relación



Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Valor Final
2	Sensor de Temperatura DS18B20	4,50	9,00
2	Sensor ORP	89,00	178,00
2	Sensor Conductividad Eléctrica	68,00	136,00
2	Sensor pH	39,50	79,00
2	Sensor Turbidez	9,80	19,60
1	TTGO ESP32 LoRa V1.0	25,00	25,00
1	Heltec Wireless Stick Lite V2.0	35,00	35,00
1	Envío Sensores China-Ecuador	37,16	37,16
4	Baterías Litio 18650(3,7VDC/2000mAh)	7,00	28,00
4	Porta Baterías 18650	1,50	6,00
2	Modulo ESP8266	7,50	15,00
2	Modulo LoRa SX1276	12,00	24,00
2	Arduino Nano	10,00	20,00
4	Caja IP65 10x10	4,50	18,00
2	Caja IP65 15x10	9,50	19,00
1	Cinta Auto fundente	3,50	3,50
1	Cinta Aislante	2,00	2,00
1	Cable gemelo #18 AWG (20 m)	9,00	9,00
1	Enchufe, tornillos, abrazaderas, baquelitas, estaño	10,00	10,00
2	Modulo MT3608	1,00	2,00
2	Modulo TP4056	1,50	3,00
2	Paneles Solares 5VDC	7,00	14,00
1	Estructura metálica nodos y Gateways	25,00	25,00
		Total	717,26



- Se diseñó e implementó un sistema de monitorización en tiempo real, capaz de medir parámetros Físico-Químicos del agua, mediante el uso de una red LoRaWAN, la cual por su bajo consumo de energía y altas prestaciones facilita la recolección de datos.
- El análisis de la calidad de agua involucra una gran cantidad de variables Físico-Químicas que se puede medir, dentro de las más importantes se escogió a la temperatura, turbidez, ORP, conductividad eléctrica y pH con sus respectivos sensores para la implementación del sistema de monitorización.
- Se calibró los sensores incorporados en los nodos del sistema, para el pH y la conductividad eléctrica se utilizó el método de dos puntos con soluciones estándares proporcionados por el fabricante del sensor lo que hace que sea simple y conveniente. Para el sensor de turbidez se ajustó a la curva característica que facilita el fabricante, la cual relaciona los valores en NTU con el voltaje, en cambio para el sensor de temperatura se tomaron valores y se las comparó con un equipo patrón para ajustar sus mediciones. Finalmente, el sensor de ORP ya se encuentra calibrado simplemente se ajusta el OFFSET que se puede generar en el sensor y si el usuario no se siente conforme con sus mediciones se puede utilizar una solución estándar de ORP.



- Se desplegaron dos prototipos, cada uno con una red de sensores con tecnología de red LoRaWAN capaces de medir los variables de importancia para la calidad del agua. El primer prototipo se instaló en el sector de Pailones que se dedican a la piscicultura, mientras que el segundo prototipo se instaló en el sector de Ganadería que se dedican a la crianza de bovinos.
- Con los datos obtenidos en Pailones podemos concluir que el agua en ese lugar es aceptable para las diferentes aplicaciones, en especial para la piscicultura, ya que con valores de pH mínimos de 6,7 y máximos de 9.23 cumple con el rango. Al obtener valores de conductividad eléctrica por debajo de los 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ el riesgo para la crianza de peces es mínimo. De igual manera el agua que ingresa a los estanques no presenta índices de turbidez muy elevada por los filtros que usan lo que hace que el agua presente una transparencia ideal.
- Con los datos obtenidos en el sector de Ganadería se concluye que el uso del agua en este sector no es perjudicial ya que al tener un pH mínimo de 6,19 y un máximo de 9,38 no hay riesgo de la presencia de contaminantes. Por otro lado, al estar el agua en un reservorio los valores de conductividad, turbidez y ORP no sobrepasan los rangos.



- En los laboratorios de acuicultura del campus IASA, se realizó comprobaciones de los sensores que poseen los nodos desarrollados con equipos especializados en la medición de la calidad de agua. Después de realizar una toma de datos en un lapso de una hora se comprobó que los datos obtenidos tienen una variación pequeña con respecto a los equipos de laboratorio, determinando que la precisión de los sensores utilizados en los nodos Pailones y Ganadería es adecuada.
- Para que el usuario final logre visualizar los datos de ambos nodos se desarrolló un dashboard basado en una aplicación web a través de la plataforma TagIO. Este permite una visualización de los datos sensados en tiempo real de una manera gráfica e intuitiva. Además, se realizó una aplicación móvil para el sistema operativo Android con el objetivo de que el usuario pueda acceder a visualizar los datos de una manera sencilla y cómoda. En ambas aplicaciones es posible ver las cinco variables en tiempo real, los datos históricos y una tabla que reúne todos los datos sensados.



- Para determinar la existencia de relación entre el pH y conductividad eléctrica se utilizó el método de correlación, se escogió un determinado número de muestras para graficar y se obtuvo el coeficiente de correlación $r = 0.313$, lo que indica una ausencia de relación entre las dos variables. El pH depende más de la temperatura ya que si aumenta esta variable el pH disminuye es decir es inversamente proporcional y una medición de pH sin temperatura es incoherente. Tal como se indica en el capítulo cinco en el apartado variación de pH con la conductividad eléctrica.



Recomendaciones

- Los sensores usados en el presente trabajo al estar largos periodos de tiempo sumergidos en agua tienden a reducir su precisión y vida útil, es por eso que para trabajos futuros se recomienda el uso de sensores de tipo industrial ya que estos constan con mejores protecciones y tendrán una vida útil más larga, además que los datos que se obtengan tendrán una mejor precisión.
- Los Gateways de un solo canal realizados en el presente trabajo funcionan correctamente a distancias cortas siempre y cuando se tenga línea de vista con el nodo final, por ende, se recomienda mejorar las antenas que disponen los módulos SX1276 y que de esta manera alcancen una cobertura mayor.
- Se recomienda usar equipos que permitan el manejo del método de activación OTA para evitar pérdidas de la información ya que con el método ABP si los equipos pierden conexión con el servidor de red es necesario realizar un reseteo de sesión desde TTN, para reestablecer la conexión con el servidor de red haciendo que durante el tiempo que no se realice este proceso se generarán pérdidas de datos.



- Para los datos que se recolectaron por los sistemas implementados en los sectores de Ganadería y Pailones se puede incorporar algoritmos de aprendizaje automático que permitan generar modelos predictivos para la determinación de la calidad de agua.

