



# DISEÑO DE UNA RED INALAMBRICA DE BAJA POTENCIA PARA LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN LA FINCA “LA HABANA”

Autor:

Christian Mauricio Salazar Bravo

Director

Juan Carlos Cruz Ardila

Co-Director

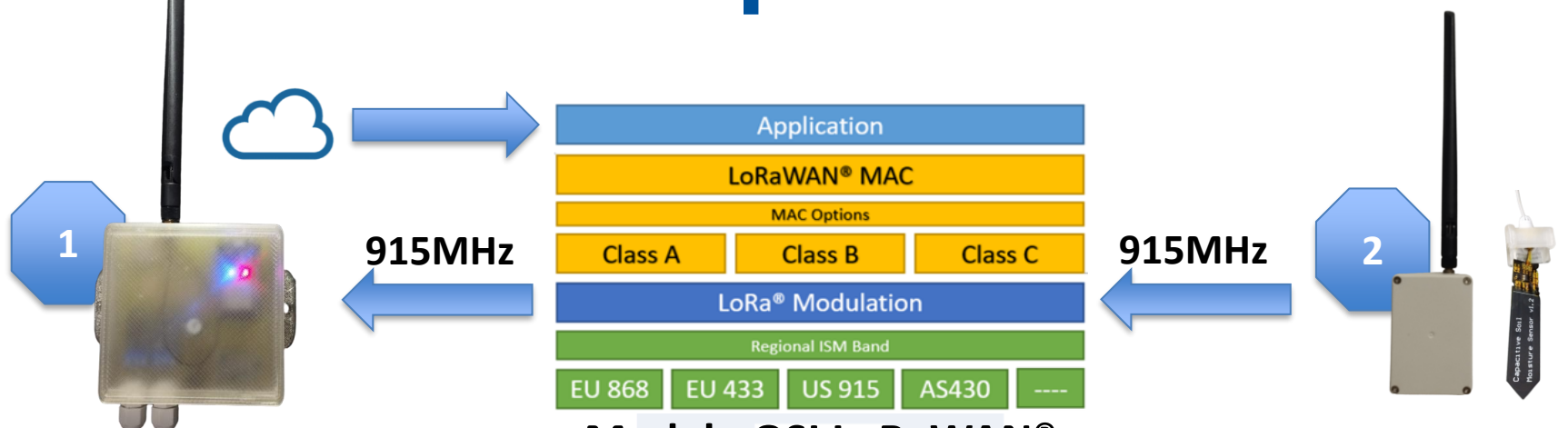
Guillermo Adolfo David Núñez



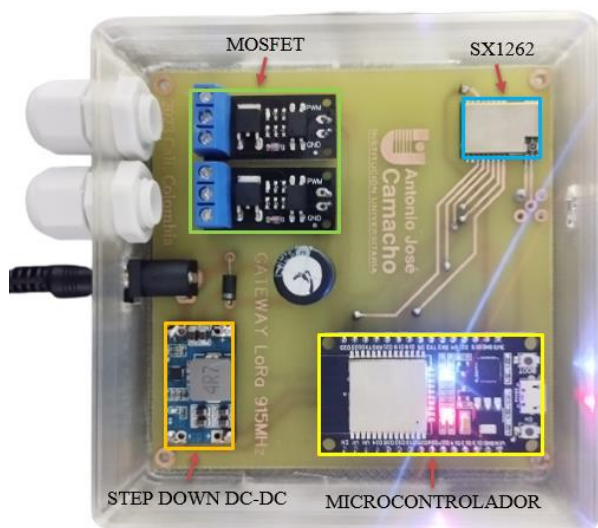
# 1. Identificación del Problema



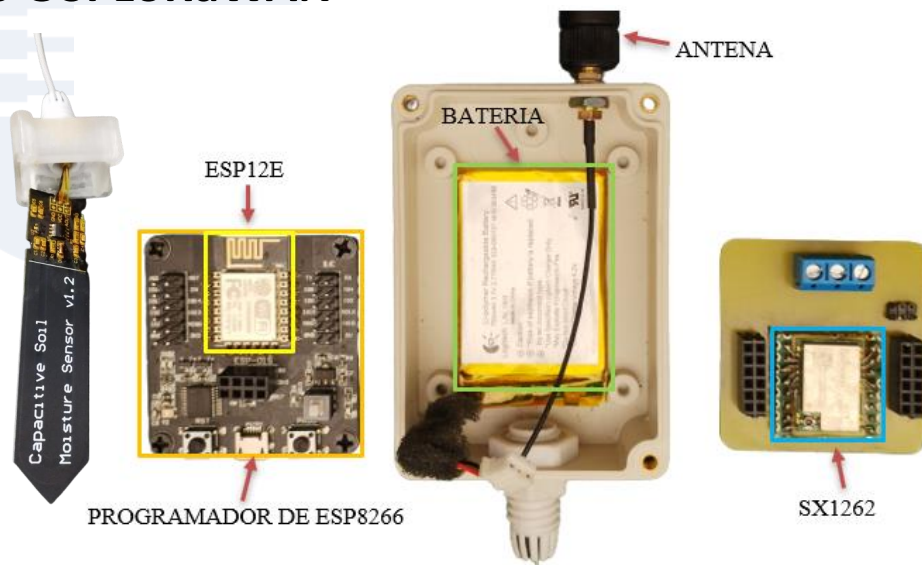
## 2. Prototipo de la Red



Modelo OSI LoRaWAN®

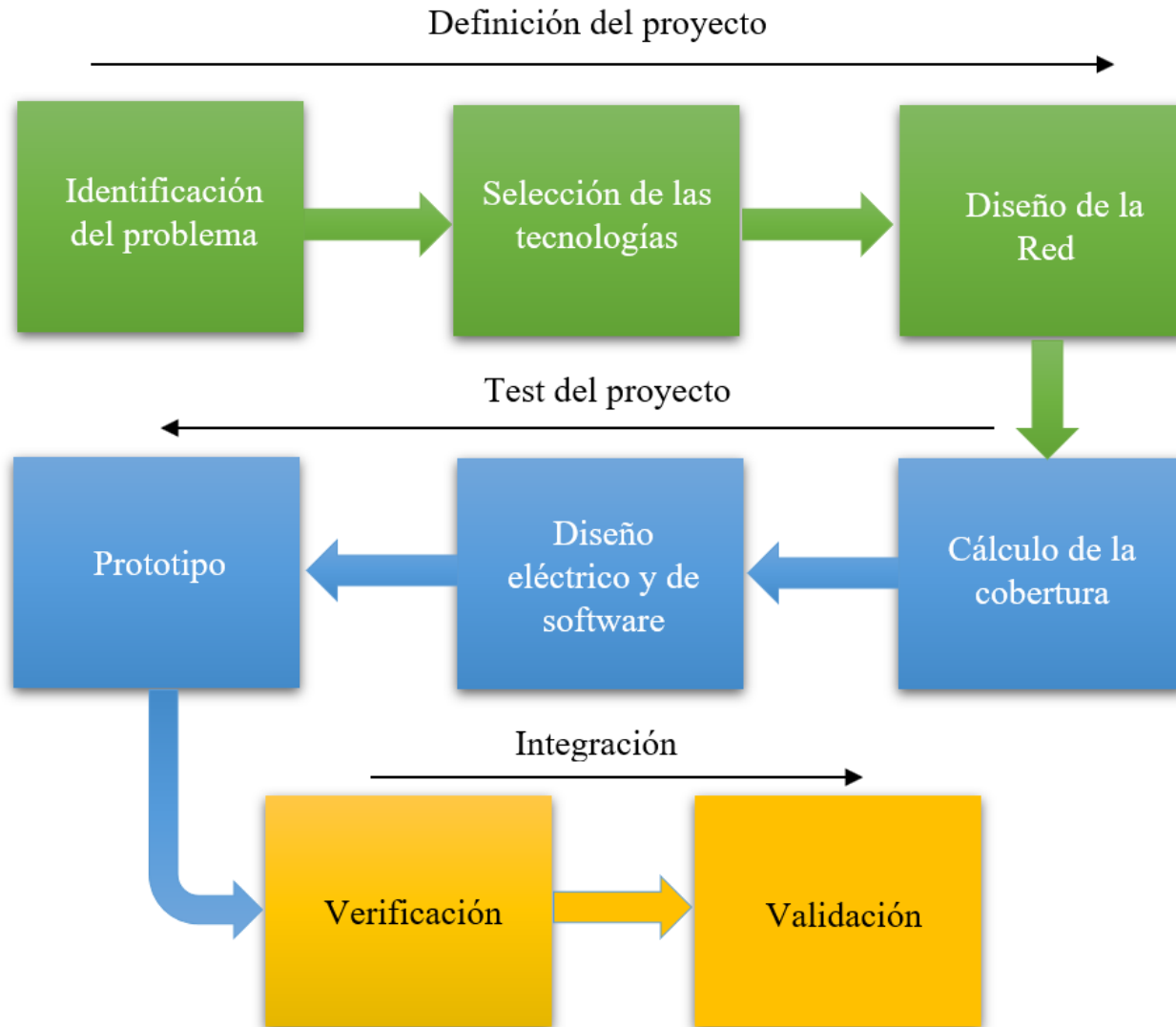


Gateway



Nodo Sensor

# 3. Metodología



# 4. Objetivos

## Objetivo General:

Diseñar una red inalámbrica de bajo consumo energético y baja potencia de transmisión para el monitoreo de la humedad del suelo en la “Finca La Habana”, que pueda ser usada en un sistema de gestión de información en consonancia con los conceptos de la AP.

## Objetivos Específicos:

- Elaborar un estado del arte de los estudios referentes que permitan un punto de partida para el diseño de la red inalámbrica.
- Establecer consideraciones de diseño para el desarrollo de la red inalámbrica.
- Realizar simulaciones y cálculos de los enlaces inalámbricos.
- Validar el diseño de la red a través de la construcción de un prototipo físico.

# 5. Antecedentes

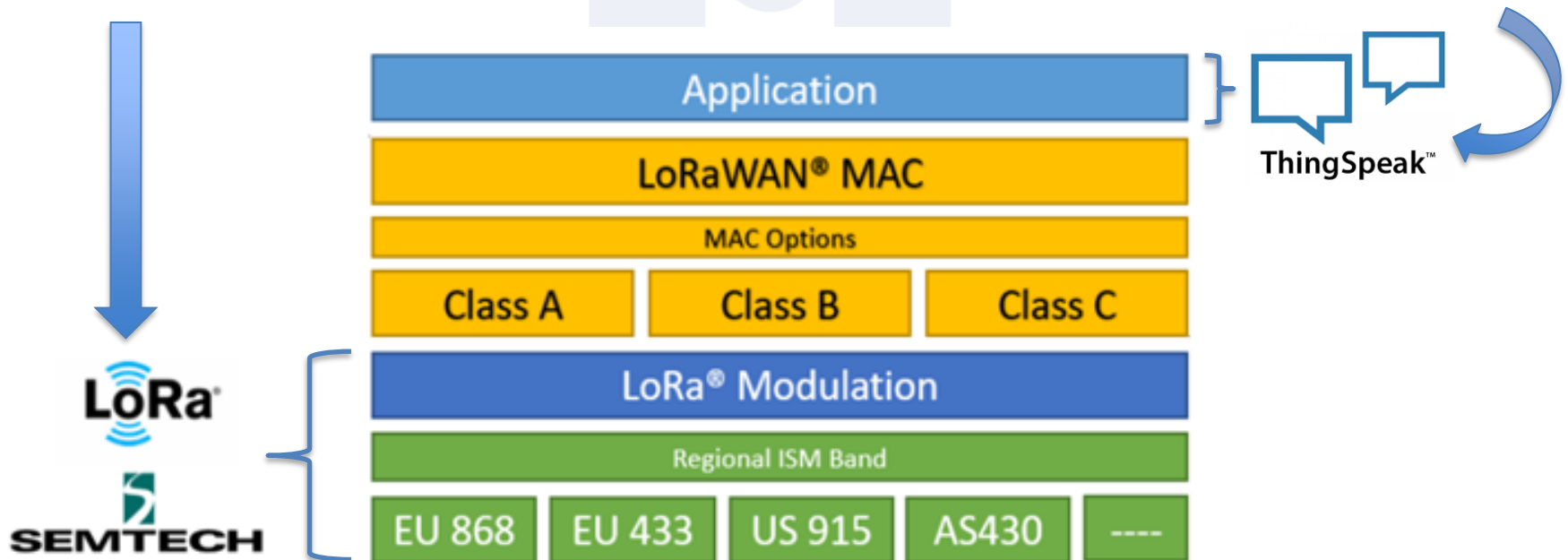
Autor	Resumen
(Mosquera & Cevallos, 2022)	(Uso de una aplicación descargable ThingView con ThinkSpeak)
(Bautista, 2022)	(Seguridad de LoRaWAN)
(García , Gamboa, & Garzón, 2020)	(ESP8266 como servidor, consultas DNS o multidifusión)
(Acosta & Valverde, 2020)	(Integración de MySQL con Excel)
(Noguera Lomas, 2020)	(Sistema de riego con MySQL y ESP8266)
(Marín Cava, 2020)	(Testeo de red de comunicaciones LoRaWAN, con SOC)
(Polidura, 2019)	(Configuración OTTA, ABP con Things Network)
(Rodríguez & López, 2017)	(HMI desde XML con Android Studio)
(Valenciano, 2022)	(Configuraciones de ChirpStack con Node-Red)
(Hernández & Caicedo, 2021)	(Frameworks de API en JAVA y Android Studio)
(Mazuera & Ortiz, 2020)	(Uso de aplicación descargable ThingView con ESP32)
(Chasiluisa Macias, 2020)	(Monitoreo APP de un invernadero con LoRa SX1278 y Micro SD)



# 6. Selección de las Tecnologías

- **LoRa®** como capa física PHY (Physical Layer) 915MHz

- **ThingSpeak™** como capa de aplicación (Application Layer)



Capas del modelo OSI (Open Systems Interconnection)



# 6. Selección de las Tecnologías

## Criterios de Selección:

5	Excelente	Cumple satisfactoriamente con los requerimientos técnicos
4	Buena	Cumple al límite de los requerimientos técnicos
3	Regular	Puede cumplir con mejoras
2	Mala	No cumple
0	No Aplica	No Aplica

## Comparación y selección del Transceptor RF:

Características	LLCC68	Cal	SX1262	Cal	SX1272	Cal	SX1276/79	Cal
Potencia Tx	+22 dBm	5	+22 dBm	5	+20 dBm	4	+ 20 dBm	4
RX consumo	4.6 mA	5	4.6 mA	5	10.5 mA	3	9.9 mA	4
Enlace (dB)	151 dB	3	170 dB	5	157 dB	4	148 dB	2
Velocidad Tx	62.5 kbps	5	62.5 kbps	5	37.5 kbps	4	37.5 kbps	4
Tx Consumo	118 mA	5	118 mA	5	125 mA	5	120 mA	4
Paquete	255 bytes	5	255 bytes	5	255 bytes	5	255 bytes	5
Sensibilidad	-129 dBm	4	-124 dBm	3	-137 dBm	4	-148 dBm	5
Compatibilidad	SX1262	5	LLCC68	5	N/A	0	N/A	0
Adquisición	No available	0	Available	5	Available	5	Availbble	5
Total		37		43		34		33

# 6. Selección de las Tecnologías

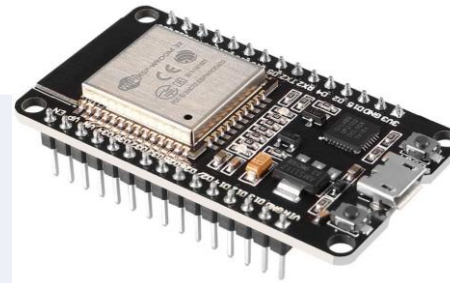
## Dispositivos seleccionados:



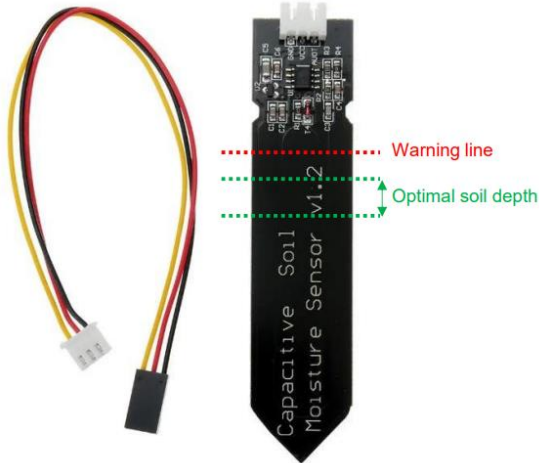
Microcontrolador  
ESP8266 -12F



Módulo LoRa® RF E22-  
900M22S



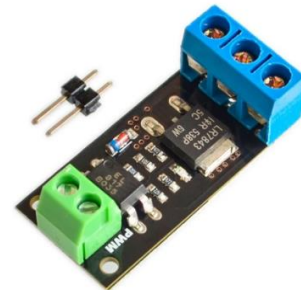
Microcontrolador ESP32 DEV-  
KIT V1.0



Sensor capacitivo de humedad  
SEN0193



Módulo regulador  
DC-DC Mini 560



Módulo de activación  
MOSFET D1484



Antena omnidireccional  
RF 915MHz

# 6. Selección de las Tecnologías

## Selección de la Batería:

$$I_d = \left( \left( \frac{timewake(s)}{3600 s} \right) \times I_{max}(mA) + \left( \frac{timesleep(s)}{3600 s} \right) \times I_{min}(mA) \right) * 24h$$

$$I_{Total} = I_{E22900MS} + I_{ESP8266} + I_{SEN0193}$$

$$I_{Total} = 1.6 mA + 0.87 mA + 0.133 mA$$

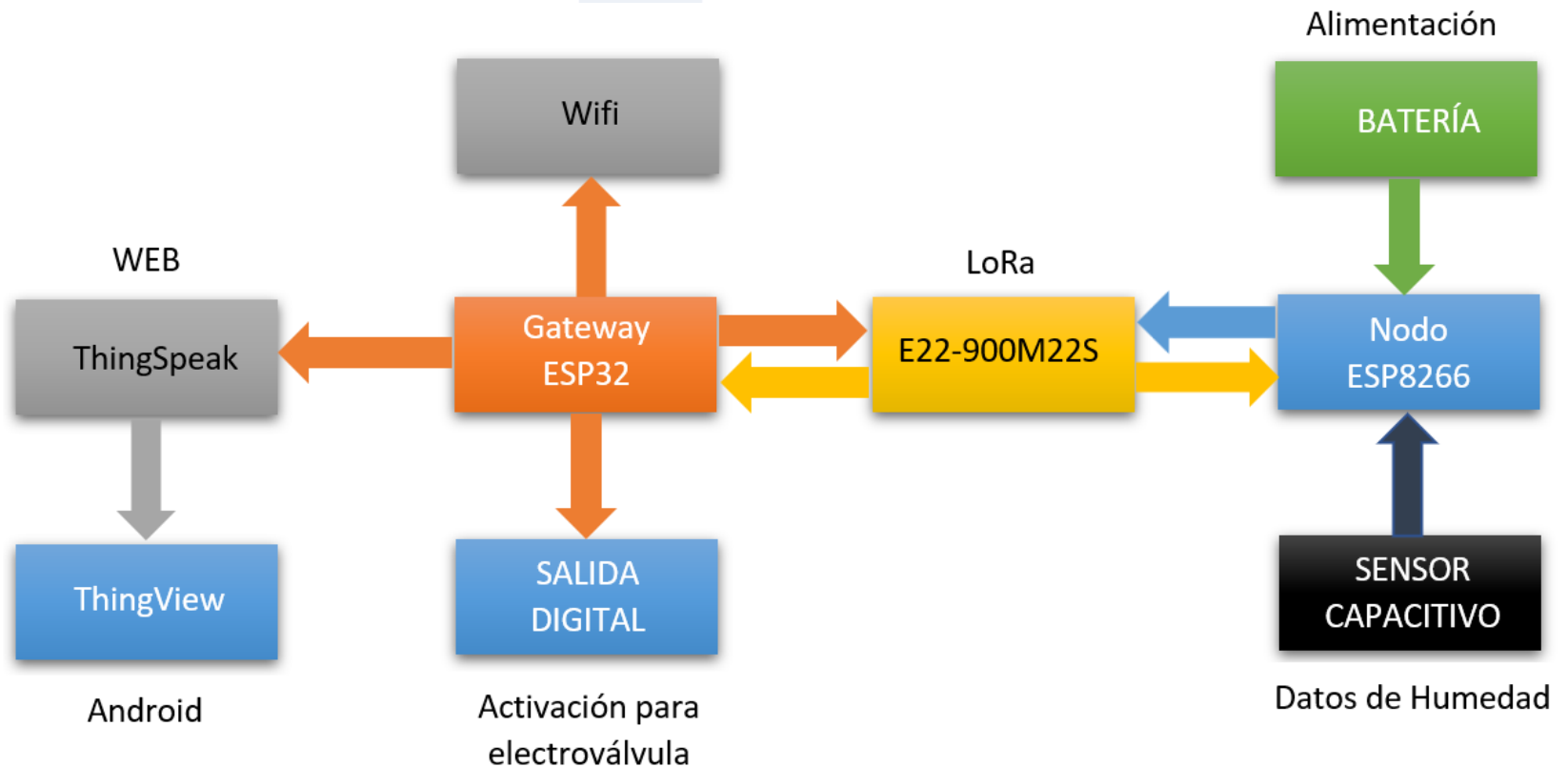
$$I_{Total} = 2.6 mA$$



Batería Recargable

# 7. Diseño de la Red

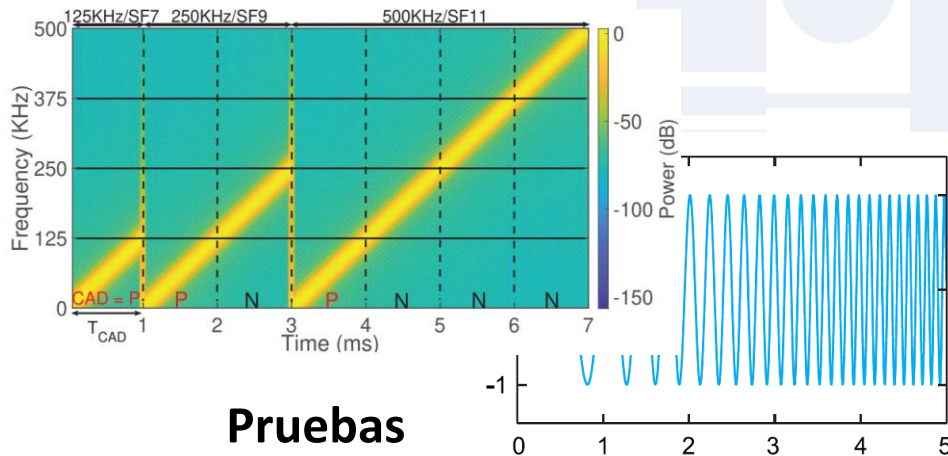
## Arquitectura del Diseño de la Red:



# 7. Diseño de la Red

Consideraciones de diseño:

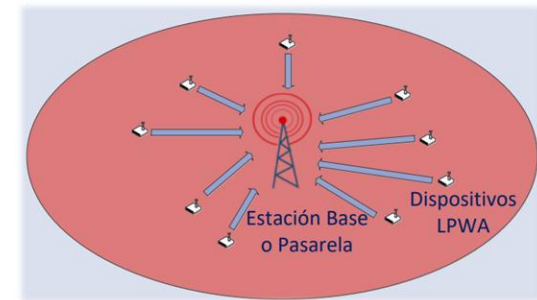
## Parámetros Tx



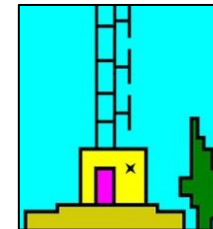
## Pruebas



## Topología en estrella

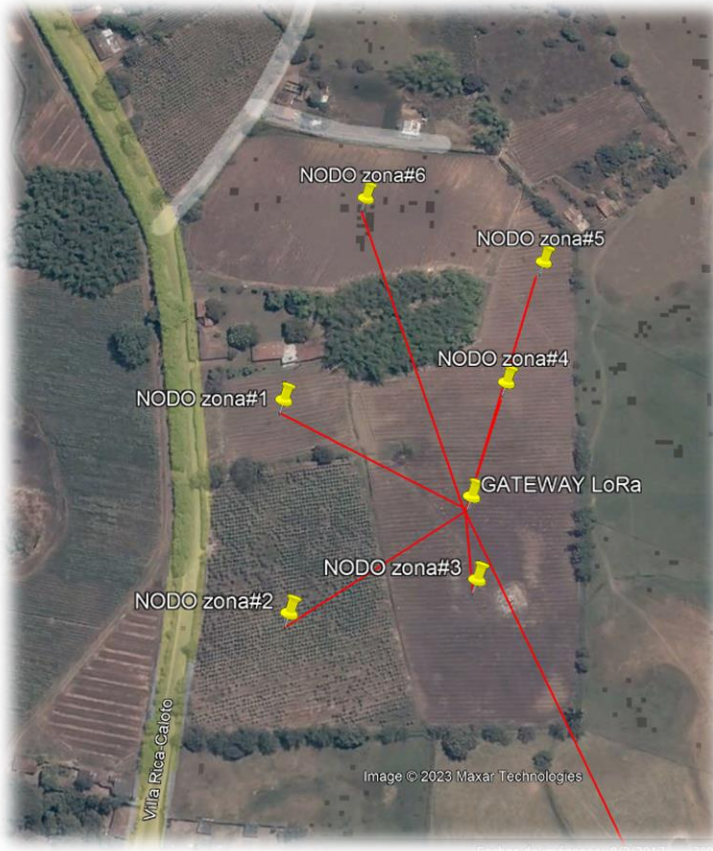


## Simulaciones con Radio Mobile



# 8. Cálculo de la Cobertura

## Topología en estrella



Nota: Recuperado de Google Earth Pro

## Zonas de cultivo



## Distancia de los nodos

Dispositivo	Distancia en metros (m)
NODO zona#1	111.89
NODO zona#2	109.47
NODO zona#3	42.35
NODO zona#4	63.12
NODO zona#5	136.91
NODO zona#6	178.67
NODO zona#7	3579.83

# 8. Cálculo de la Cobertura

Cálculos de pérdidas de potencia de transmisión:

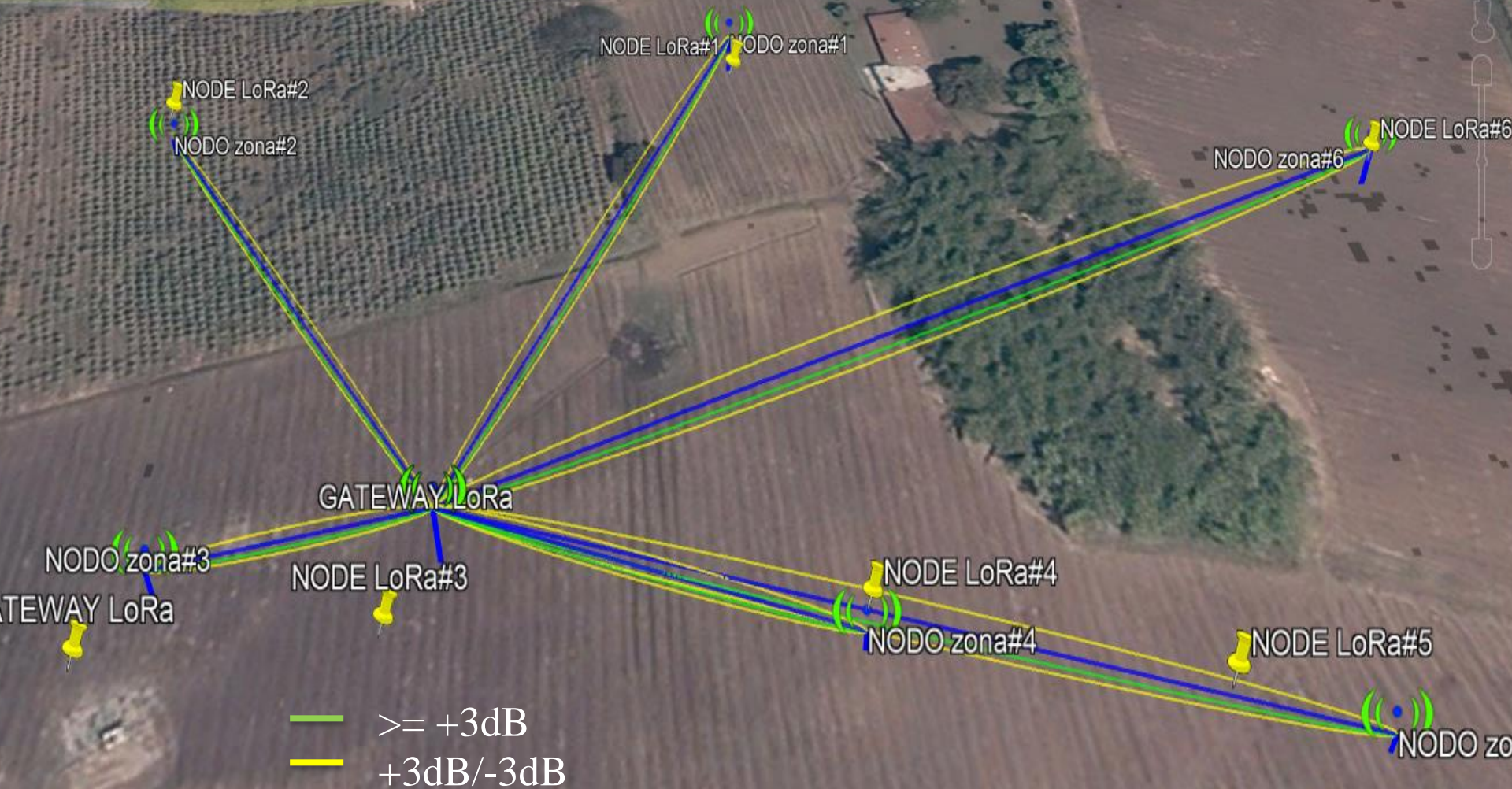
- $LbNODO$  zona#1= 87.80 dB
- $LbNODO$  zona#2= 87.53 dB
- $LbNODO$  zona#3= 71.59 dB
- $LbNODO$  zona#4= 78.28 dB
- $LbNODO$  zona#5= 91.28 dB
- $LbNODO$  zona#6= 95.75 dB
- $LbNODO$  zona#7= 146 dB
- $LbNODO$  zona#1= 78.4 dB
- $LbNODO$  zona#2= 76.9 dB
- $LbNODO$  zona#3= 70.9 dB
- $LbNODO$  zona#4= 74.2 dB
- $LbNODO$  zona#5= 80.0 dB
- $LbNODO$  zona#6= 83.1 dB
- $LbNODO$  zona#7= 114.2 dB

**Okumura-Hata**

**Radio Mobile**



# 8. Cálculo de la Cobertura

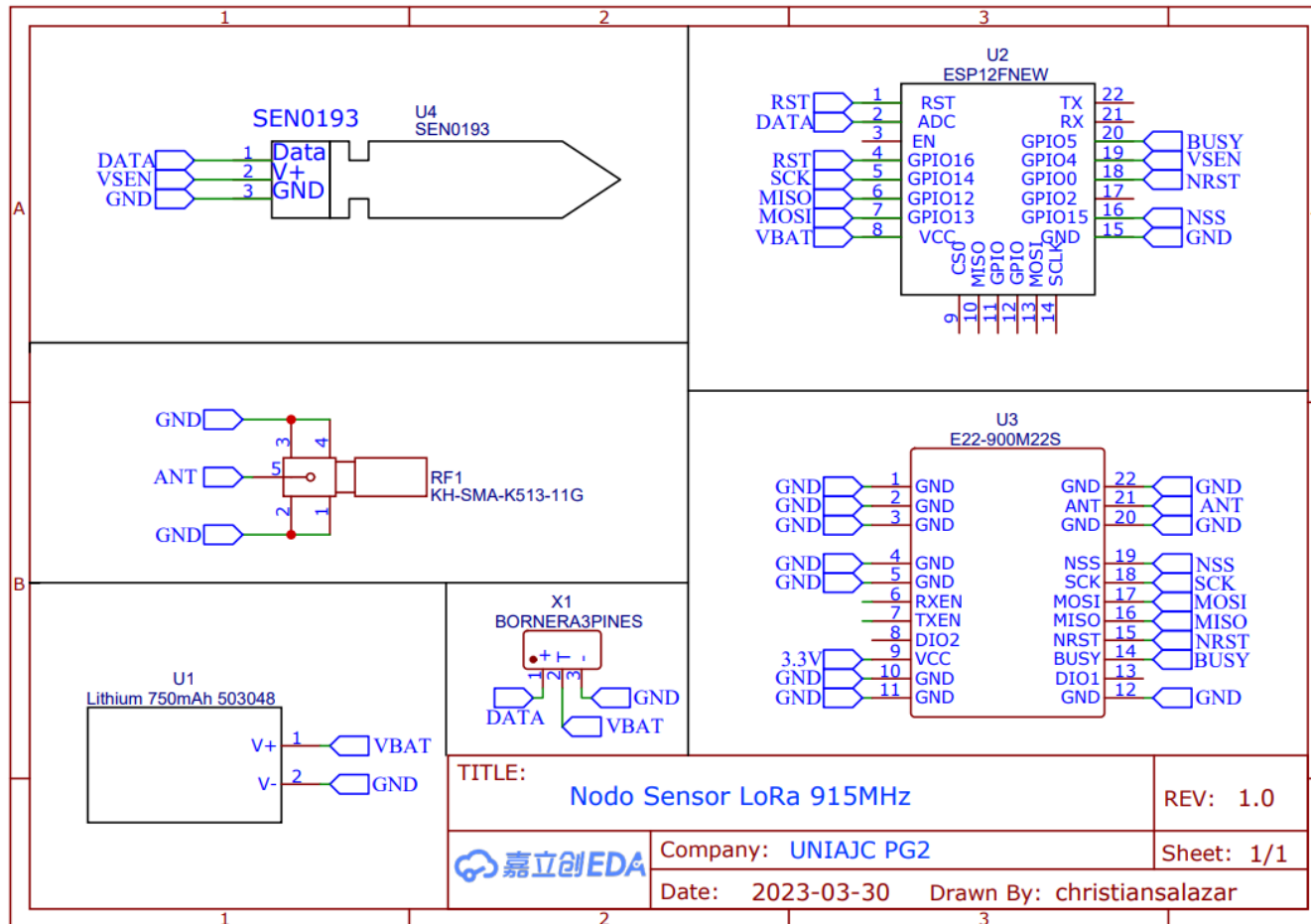




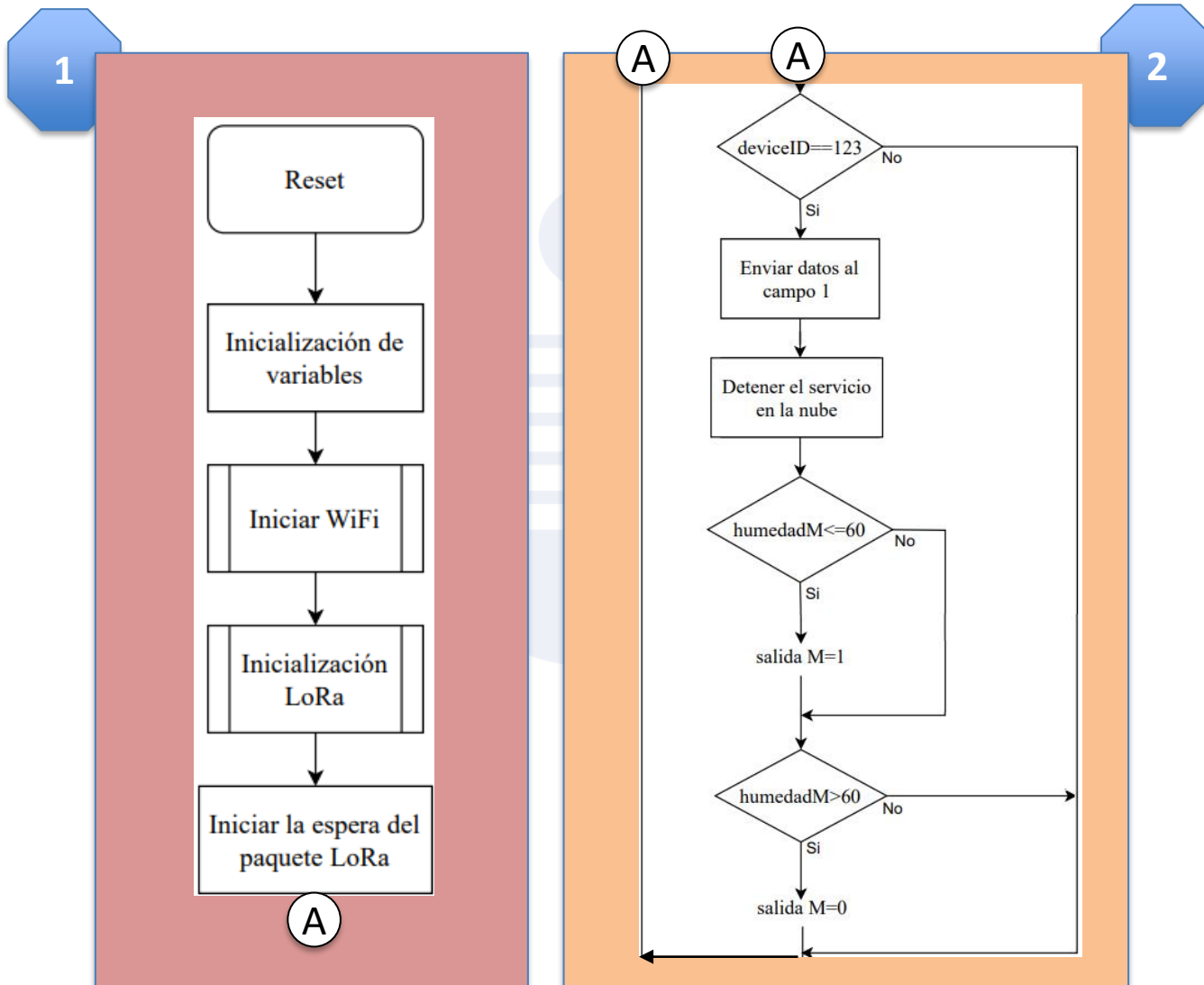


# 9. Diseño Eléctrico

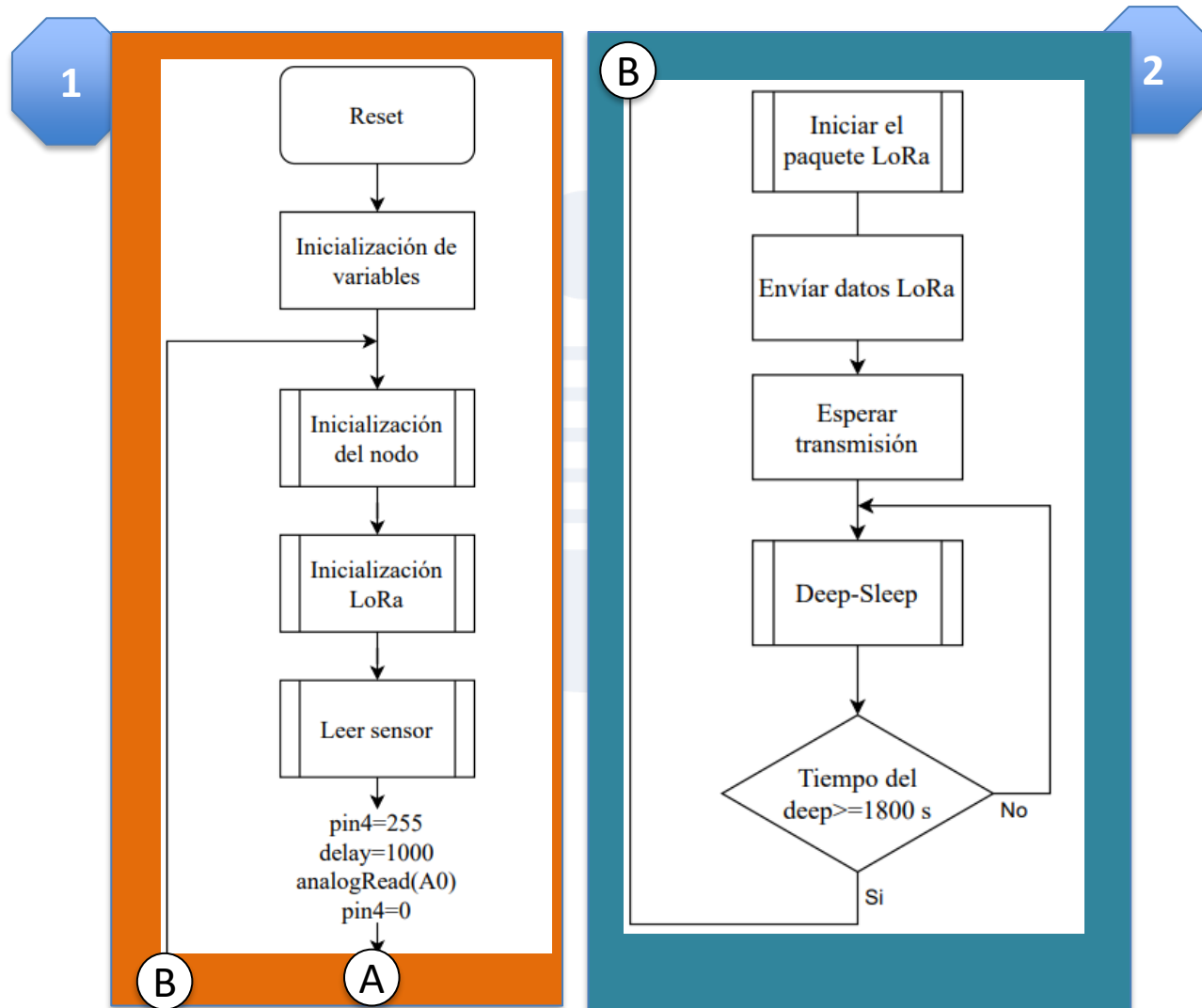
## Diseño Eléctrico Circuito Nodo Sensor



# 10. Diseño del Software Gateway



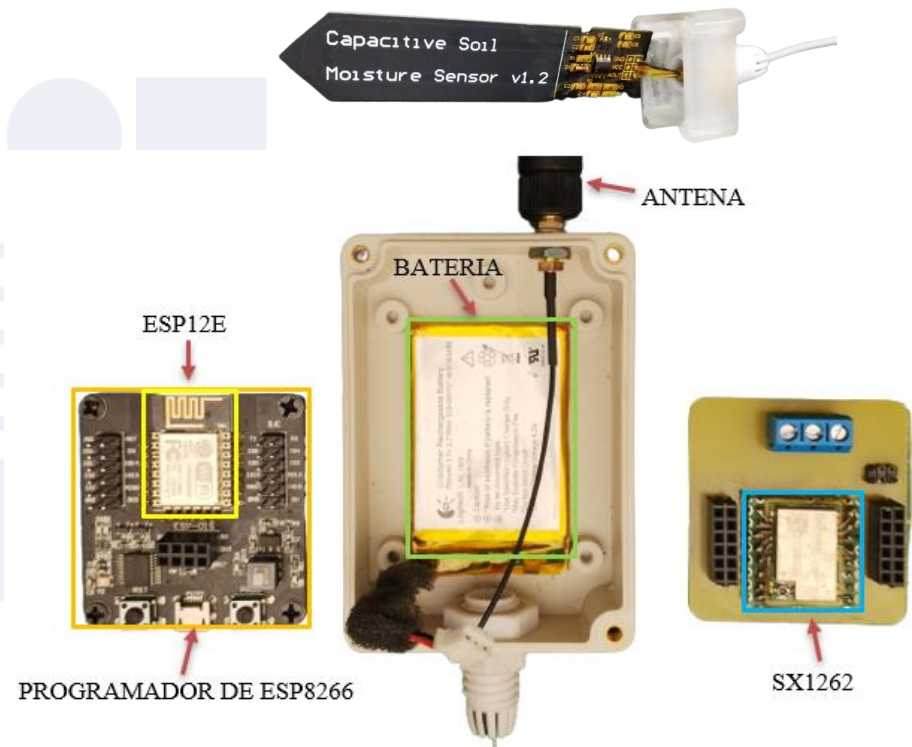
# 10. Diseño del Software Nodo



# 11. Prototipo



**Gateway**



**Nodo Sensor**

# 11. Verificación Tx

## Pruebas de transmisión Tx con diferente Spread Factor (SF):

```
Set RF module to use TCXO as clock reference
Set frequency to 915 Mhz
Set TX power to +22 dBm
Set modulation parameters:
```

```
    Spreading factor = 7
```

```
    Bandwidth = 125 kHz
```

```
    Coding rate = 4/5
```

```
Set packet parameters:
```

```
    Explicit header type
```

```
    Preamble length = 12
```

```
    Payload Length = 1|
```

```
    CRC on
```

```
Set synchronize word to 0x3444
```

```
-- LORA TRANSMITTER --
```

```
65535
```

```
5.00
```

```
50
```

```
123
```

```
1
```

```
Transmit time: 47 ms
```

**SF=7**



```
Set RF module to use TCXO as clock reference
Set frequency to 915 Mhz
Set TX power to +22 dBm
Set modulation parameters:
```

```
    Spreading factor = 10
```

```
    Bandwidth = 125 kHz
```

```
    Coding rate = 4/5
```

```
Set packet parameters:
```

```
    Explicit header type
```

```
    Preamble length = 12
```

```
    Payload Length = 1|
```

```
    CRC on
```

```
Set synchronize word to 0x3444
```

```
-- LORA TRANSMITTER --
```

```
65535
```

```
5.00
```

```
50
```

```
123
```

```
1
```

```
Transmit time: 252 ms
```

**SF=10**

# 11. Verificación Rx

## Pruebas de recepción Rx con diferente Spread Factor (SF):

```
.Wifi conectado!
Begin LoRa radio
E (1172) gpio: GPIO can only be used as input mode
E (1172) gpio: GPIO can only be used as input mode
Set RF module to use TCXO as clock reference
Set frequency to 915 Mhz
Set RX gain to power saving gain
Set modulation parameters:
    Spreading factor = 7
    Bandwidth = 125 kHz
    Coding rate = 4/5
Set packet parameters:
    Explicit header type
    Preamble length = 12
    Payload Length = 11
    CRC on
Set synchronize word to 0x3444

-- LORA RECEIVER --
Tiempo rx: 16234.00 us
1
123
1
5.00
Packet status: RSSI = -17 dBm | SNR = 13.00 dB
```

**SF=7**

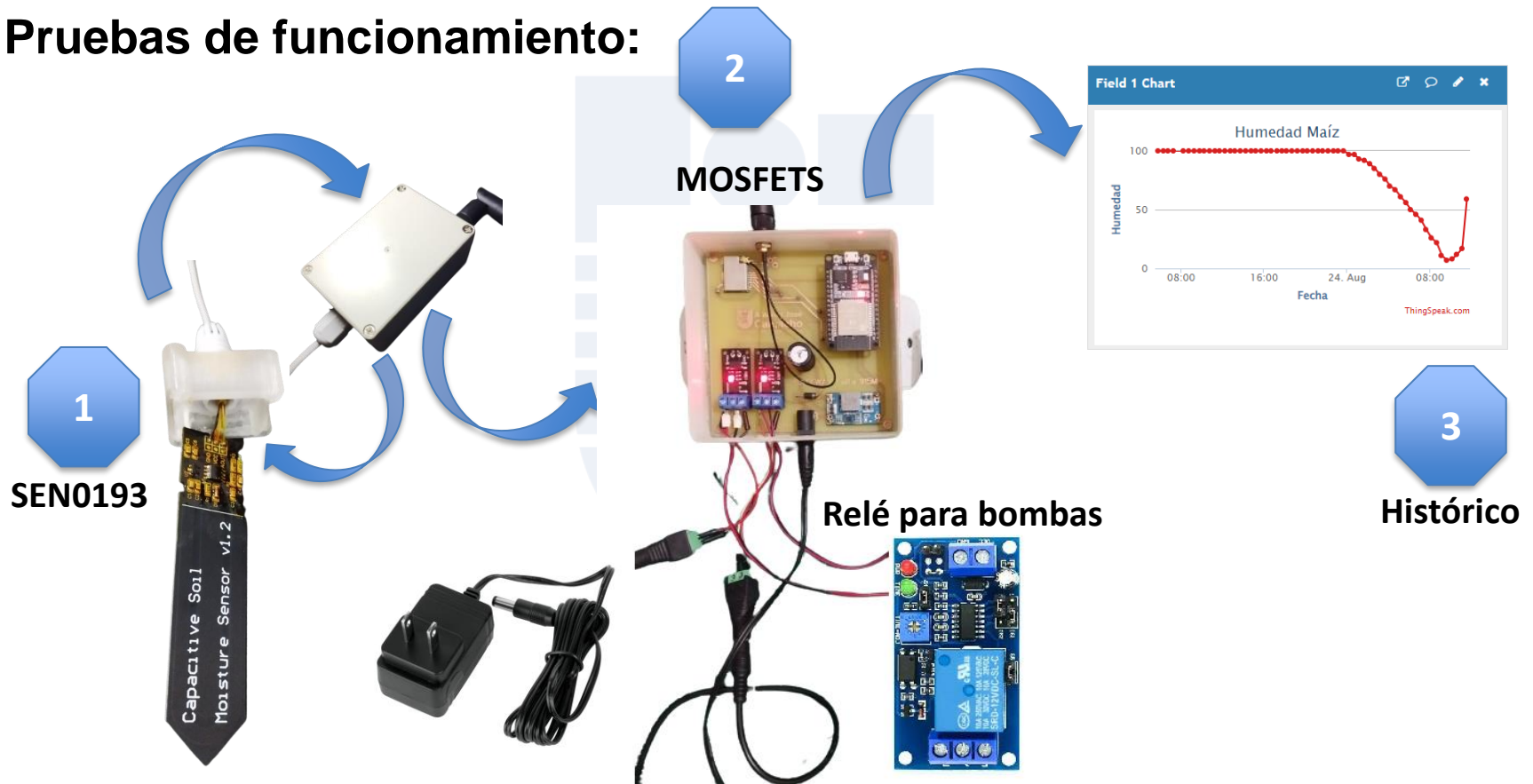
```
.Wifi conectado!
Begin LoRa radio
E (1223) gpio: GPIO can only be used as input mode
E (1223) gpio: GPIO can only be used as input mode
Set RF module to use TCXO as clock reference
Set frequency to 915 Mhz
Set RX gain to power saving gain
Set modulation parameters:
    Spreading factor = 10
    Bandwidth = 125 kHz
    Coding rate = 4/5
Set packet parameters:
    Explicit header type
    Preamble length = 12
    Payload Length = 11
    CRC on
Set synchronize word to 0x3444

-- LORA RECEIVER --
Tiempo rx: 99092.00 us
118
123
100
5.00
Packet status: RSSI = -10 dBm | SNR = 7.00 dB
```

**SF=10**

# 12. Validación

Pruebas de funcionamiento:





# 12. Validación

Pruebas de campo:

1



SEN0193



2

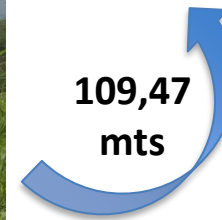


Antena Nodo Sensor



Gateway

3



# 13. Resultados

## Trama recibida CVS:

Año-Mes-DíaTHora:Minuto:Segundo-  
Voltaje,humedad en 10 bits,humedad  
en 8 bits.

```
2023-08-19T02:35:45-05:00,1037,60,,0.00000,,,,,  
2023-08-19T02:36:16-05:00,1038,60,,0.00000,,,,,  
2023-08-19T02:36:47-05:00,1039,60,,0.00000,,,,,  
2023-08-19T02:37:18-05:00,1040,60,,0.00000,,,,,  
2023-08-19T02:37:50-05:00,1041,60,,0.00000,,,,,
```

Export

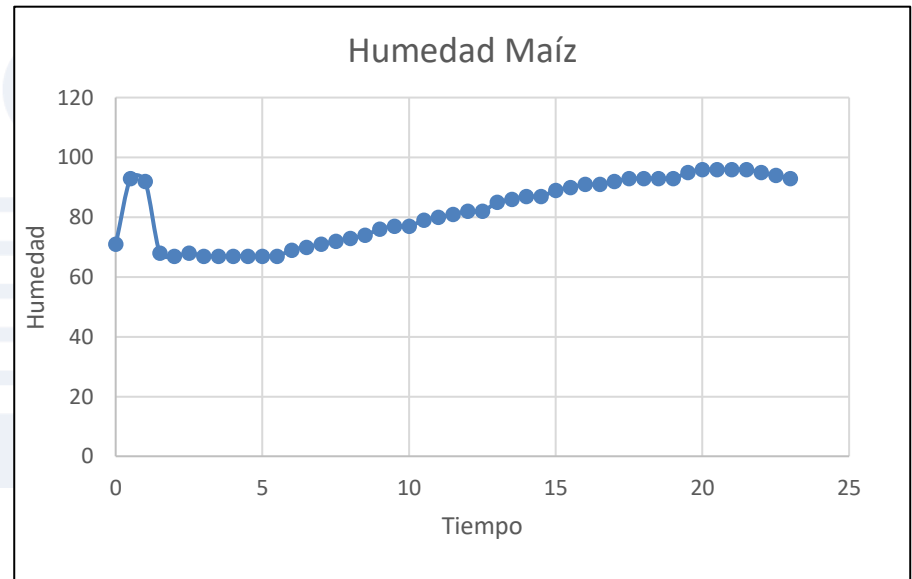
Download all of this Channel's feeds in CSV format.

Time Zone

(GMT-05:00) Bogota

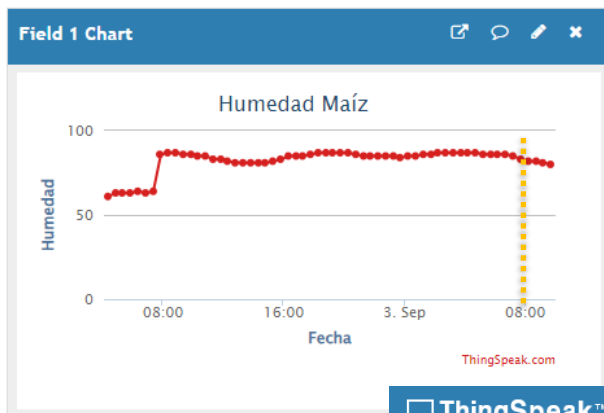
Download

## Dispersión:

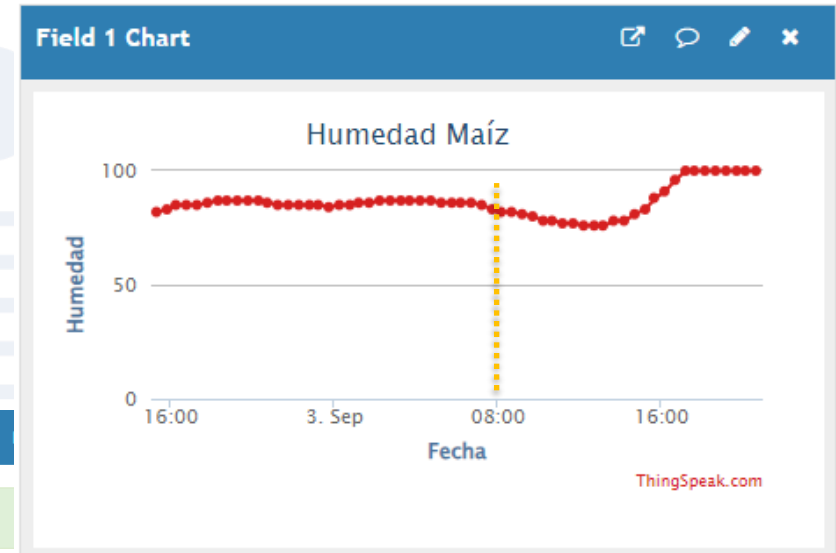


# 13. Resultados

## Histórico en ThingSpeak:



Signed in successfully.



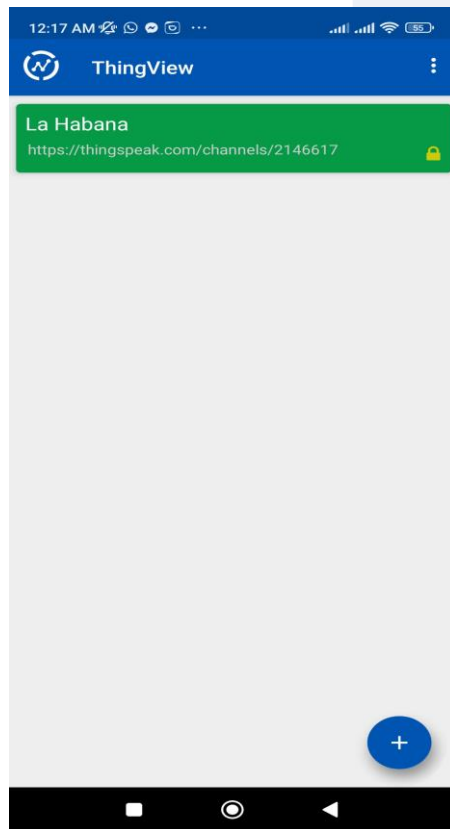
## My Channels

<a href="#">New Channel</a>			<input type="text" value="Search by tag"/>		<input type="button" value="Q"/>
Name	Created	Updated			
La Habana	2023-05-14	2023-05-14 06:52			
<a href="#">Private</a> <a href="#">Public</a> <a href="#">Settings</a> <a href="#">Sharing</a> <a href="#">API Keys</a> <a href="#">Data Import / Export</a>					

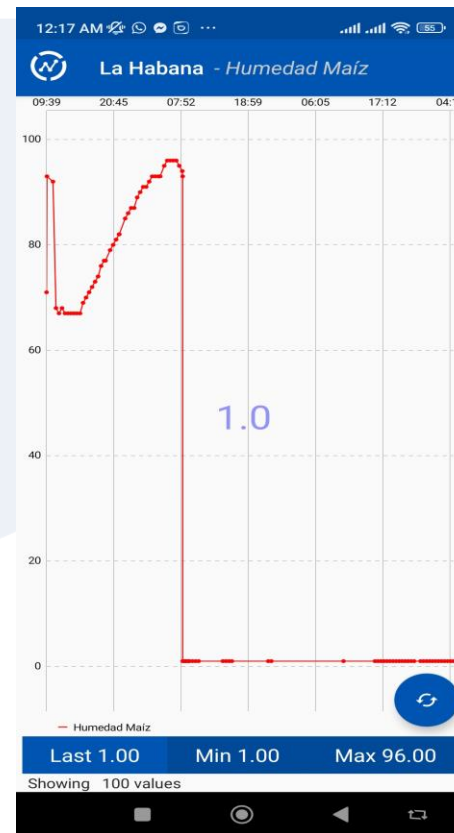
Canal "La Habana"

# 13. Resultados

## ThingSpeak en Android:



Canal "La Habana"



Campo

# 14. Conclusiones

- La técnica de modulación LoRa®, permitió el libre diseño de una red inalámbrica de bajo consumo eléctrico definida en la capa física del modelo de comunicación OSI para redes descentralizadas LoRaWAN®, reduciendo los recursos de infraestructura como derechos por el uso del espectro electromagnético.
- Los dispositivos poseen características de baja potencia de transmisión y bajo consumo eléctrico que permiten acceso a
- ThingSpeak™ responde satisfactoriamente como capa de aplicación del modelo de comunicación OSI. La aplicación dispone de la información de los datos sensados que pueden ser usados en consonancia con los términos de la AP para la mejora de la productividad del cultivo de maíz.
- La metodología experimental propuesta, da cumplimiento a las consideraciones de diseño como los parámetros de transmisión y topología de la red, verificando la mayoría de estas bajo pruebas experimentales.
- Radio Mobile entrega resultados de las simulaciones de las pérdidas de transmisión en dB con resultados similares a los calculados con el modelo Hakumura-Mata, que permiten obtener un acercamiento al comportamiento real de los enlaces inalámbricos.
- El prototipo del circuito Gateway y del nodo sensor validan el diseño propuesto, cumpliendo con los requerimientos de diseño eléctrico y de software.

# 15. Referencias

- Acosta, A., & Valverde, S. (2020). *Desarrollo de un sistema de monitoreo y transmisión de datos por medio inalámbrico, para cultivos de hortalizas en Buenos Aires (Cauca)*. Cali, Colombia: Institución Universitaria Antonio José Camacho. Obtenido de <https://repositorio.uniajc.edu.co/handle/uniajc/267>
- Aguilar Zavaleta, S. (2020). *Diseño de una solución basada en el Internet de las cosas (IoT) empleando LoRaWAN para el monitoreo de cultivos agrícolas en Perú*. Lima, Perú: Universidad Tecnológica del Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12867/2946>
- ANE. (2023). *Generalidades del espectro ¿Qué es el espectro radioeléctrico?* Obtenido de Agencia Nacional del Espectro: [https://portalespectro.ane.gov.co/Style%20Library/ane\\_master/que-es-el-espectro-radioelectrico.aspx](https://portalespectro.ane.gov.co/Style%20Library/ane_master/que-es-el-espectro-radioelectrico.aspx)
- Bautista, J. A. (2022). *Demostración de los ataques Password Cracking y Spoofing en redes LoRaWAN*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11441/137449>

