

Proyecto final de carrera

# Sistema de monitoreo y control de cultivos en ambientes cerrados con interface Zigbee y tecnología IoT

Alumno: Urquiza Martinez, Jonatán Ezequiel

Director: Murdocca, Roberto Martín



Universidad  
Nacional  
de San Luis



Facultad de Ciencias  
Físico Matemáticas  
y Naturales



---

# Agenda

Introducción

Tecnología

Especificaciones de diseño

Hardware

Software

Experimentos y resultados

Demostración

Conclusiones y futuras mejoras



# Introducción

A hand is shown from the palm side, holding a variety of green seeds. The background is a textured green surface, possibly soil or a field. The text is overlaid on the left side of the image.

---

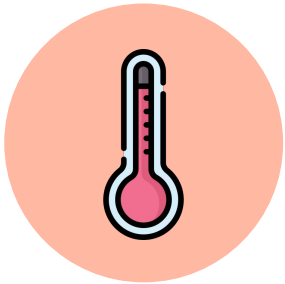
# Agricultura en ambientes cerrados

Es una técnica de producción que garantiza la productividad de un cultivo.

- Calidad de cultivos
- Mayores rendimientos
- Producciones en cualquier momento del año
- Alargar ciclo de cultivo



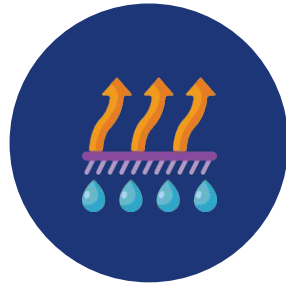
# Variables a medir



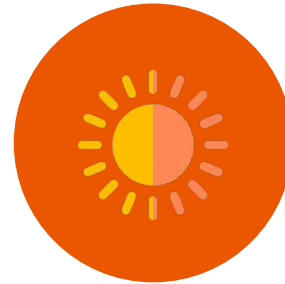
Temperatura



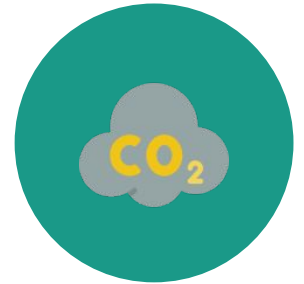
Humedad relativa



Humedad de suelo



Iluminación



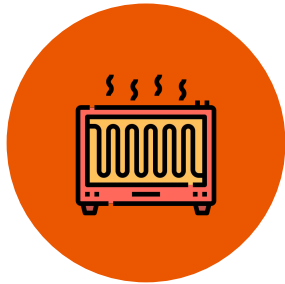
Dióxido de carbono



# Variables a controlar



Riego



Calefacción



Ventilación



Iluminación

# Ejemplo / Producción Tomate

**Temperatura mínima letal:** 0 a 2 °C

**Temperatura mínima biológica:** 10 a 12 °C

**Temperatura óptima:** 13 a 16 °C

**Temperatura máxima biológica:** 21 a 27 °C

**Temperatura máxima letal:** 33 a 38 °C

**Humedad Relativa Óptima:** 50 a 60 % HR

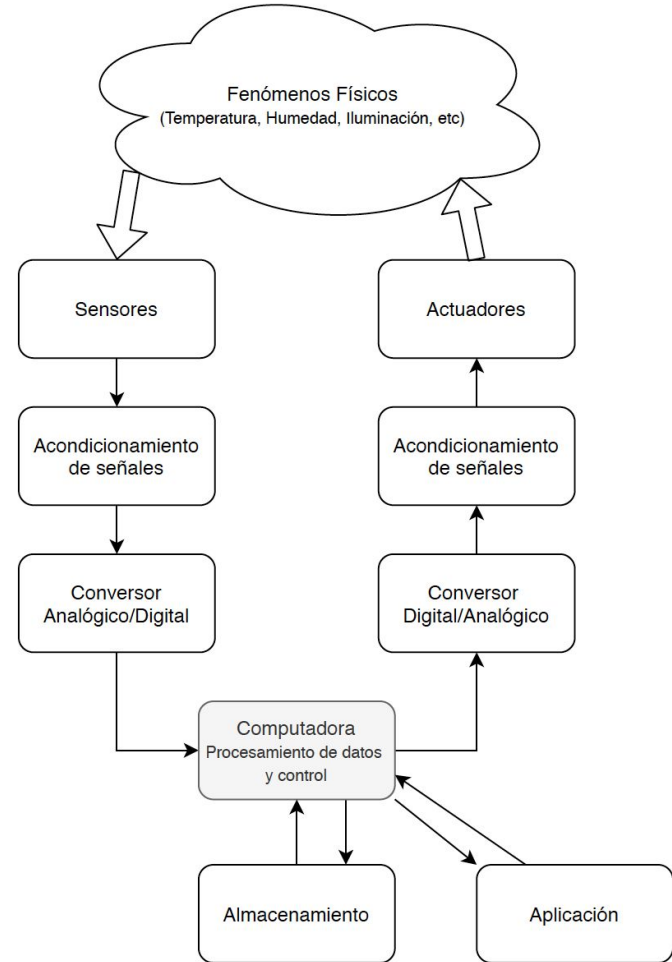
**Humedad de suelo:** Se recomienda suelo con buen drenaje

**Concentración CO<sub>2</sub>:** Entre 700 y 1000 ppm

**Iluminación:** 10000-40000 lx



# Sistema de control



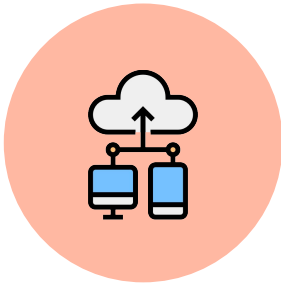




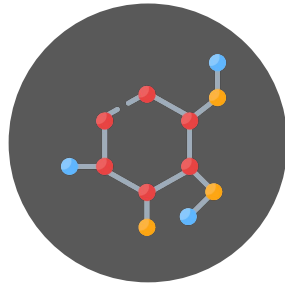
# Tecnología



# Tecnologías y protocolos



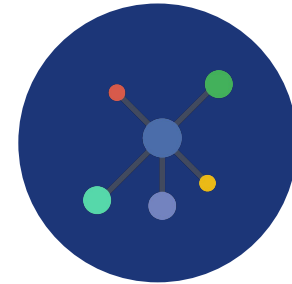
IoT



ZigBee

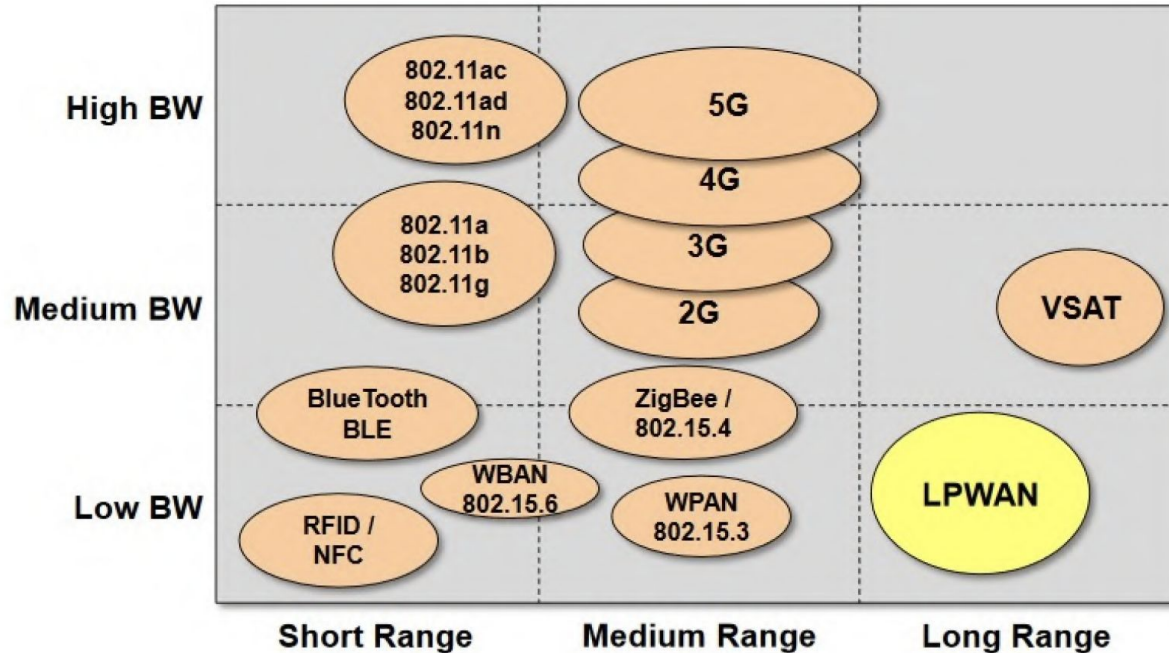


Wi-Fi



MQTT

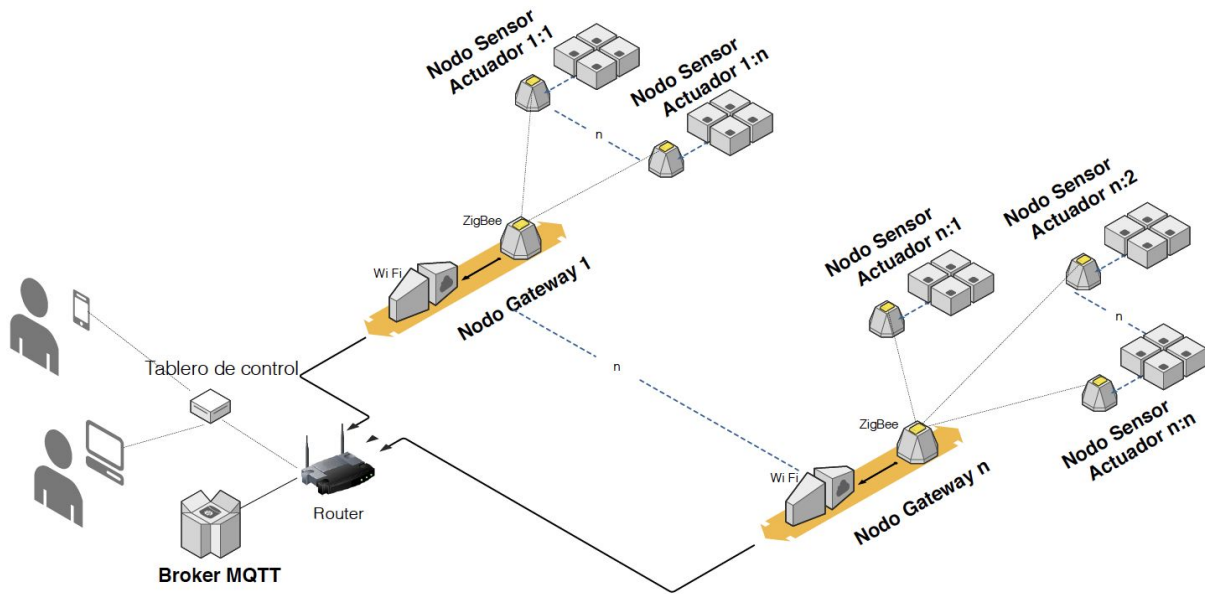
# Tecnologías inalámbricas





# Especificaciones de diseño

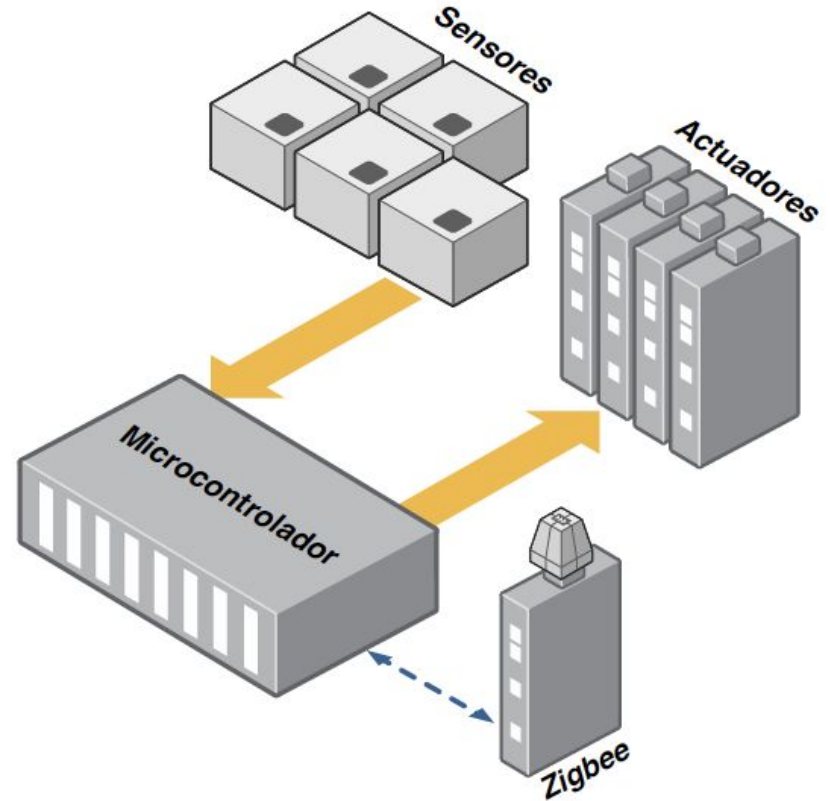
# Sistema Completo



---

# Nodo Sensor Actuador

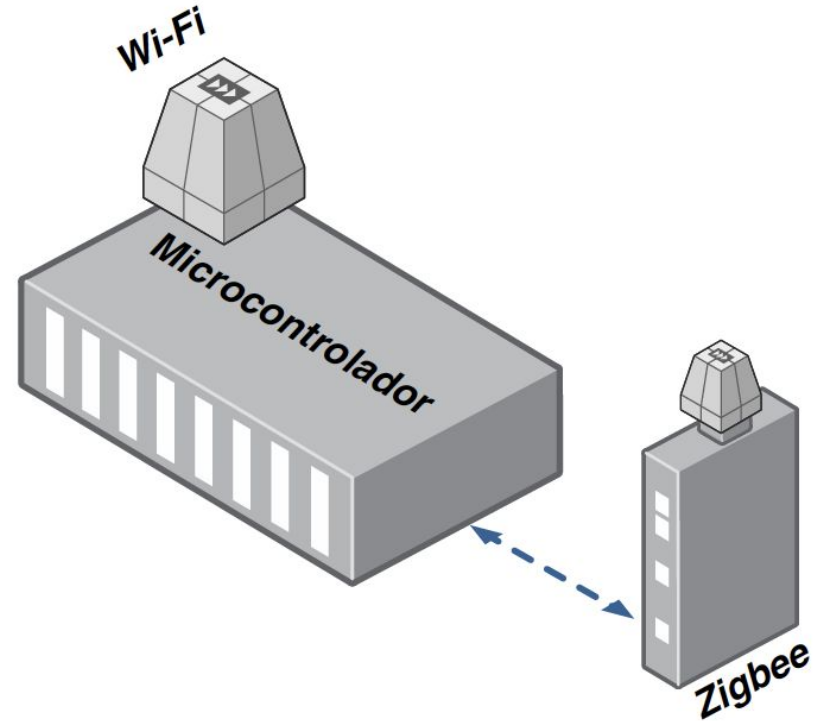
- Sensores
- Actuadores
- Interface ZigBee (Nodo Gateway)



---

# Nodo Gateway

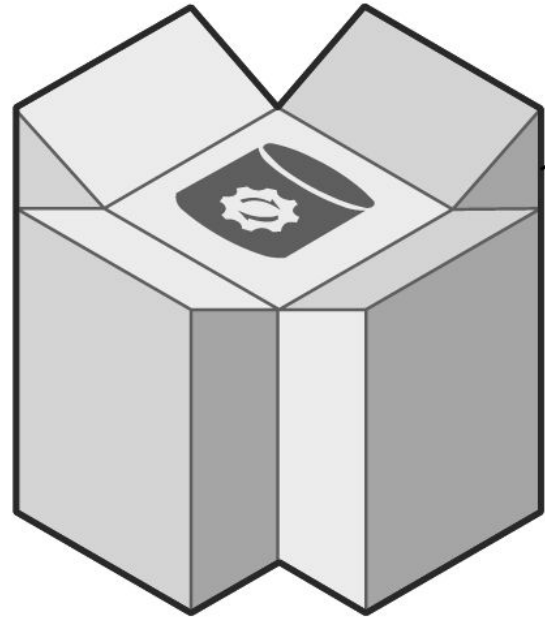
- Concentra Nodos Sensor Actuador
- Interface ZigBee (Nodo Sensor Actuador)
- Interface Wi-Fi (Broker)





# Broker

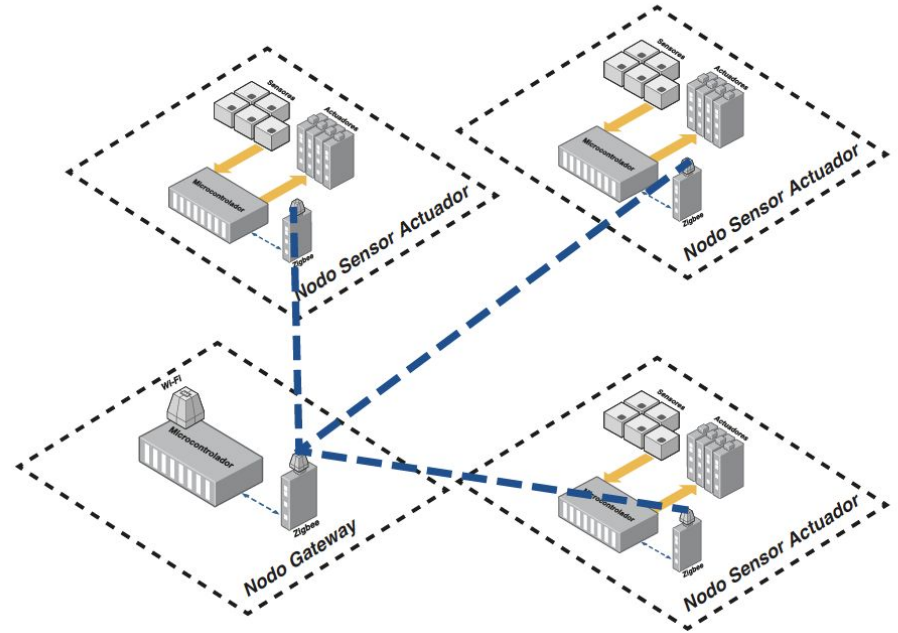
Broker MQTT  
Concentra Nodos Gateway



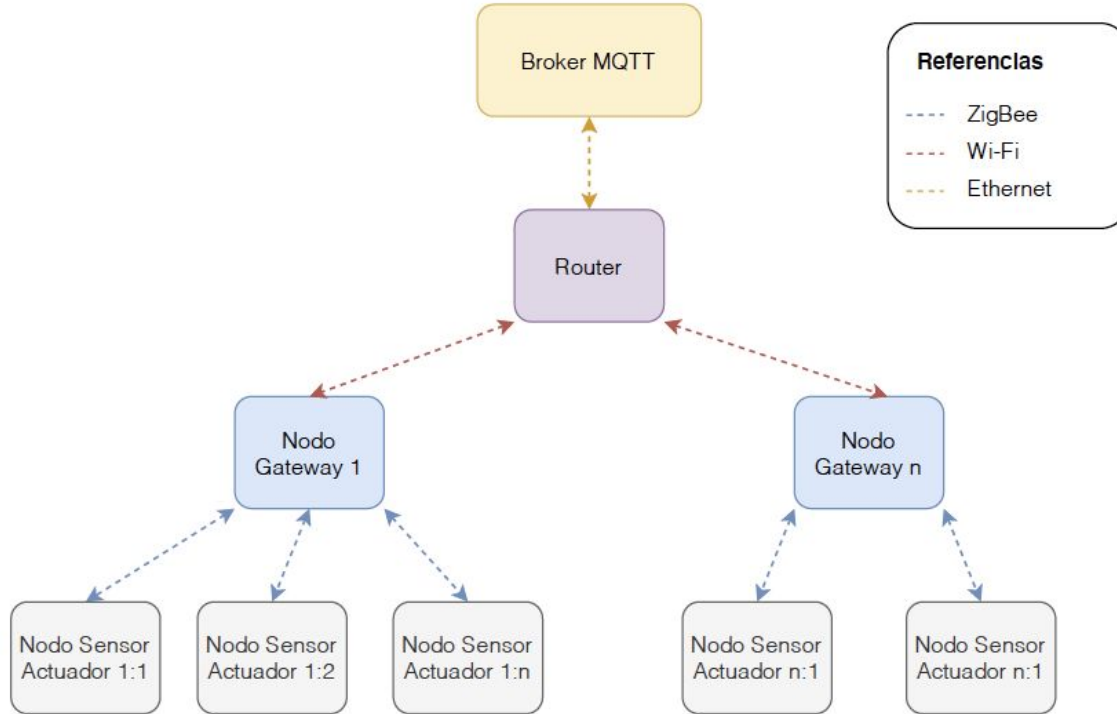




# Subred Nodo Gateway



# Diagrama de niveles



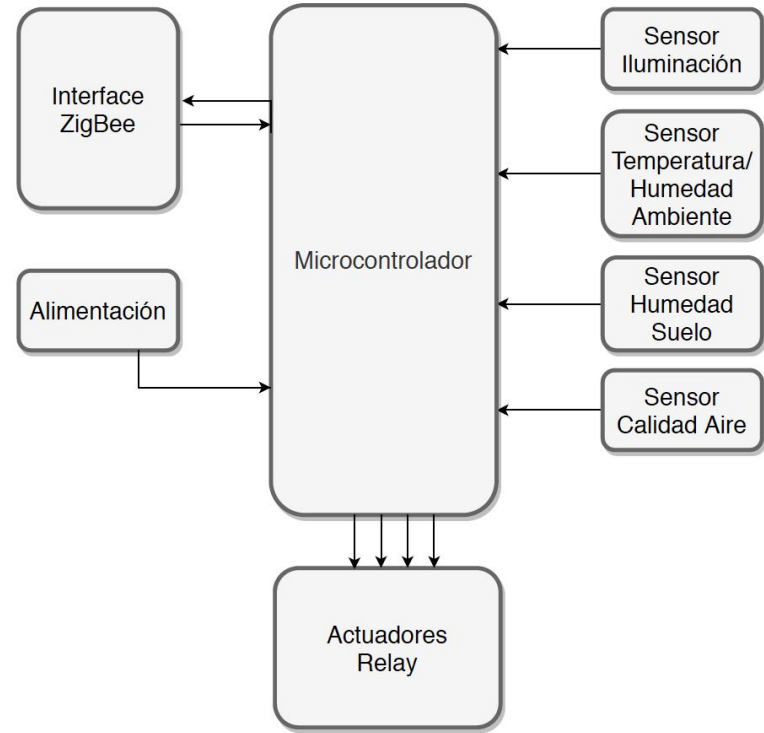


# Hardware

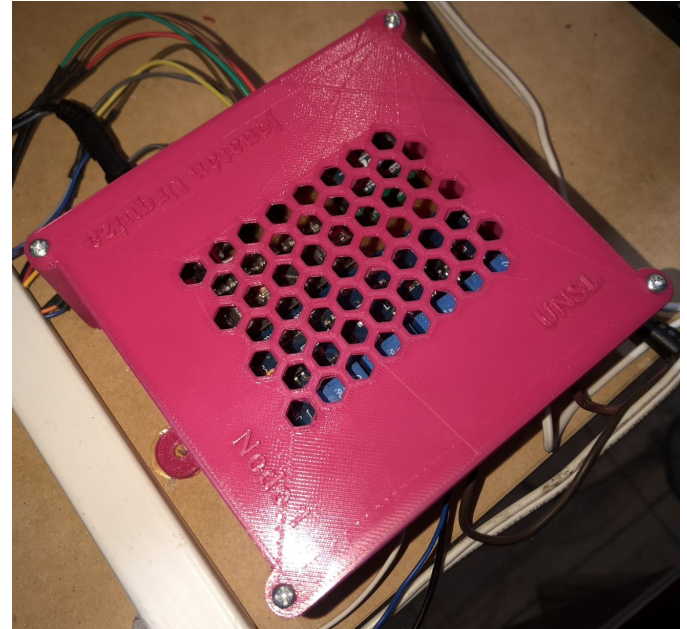
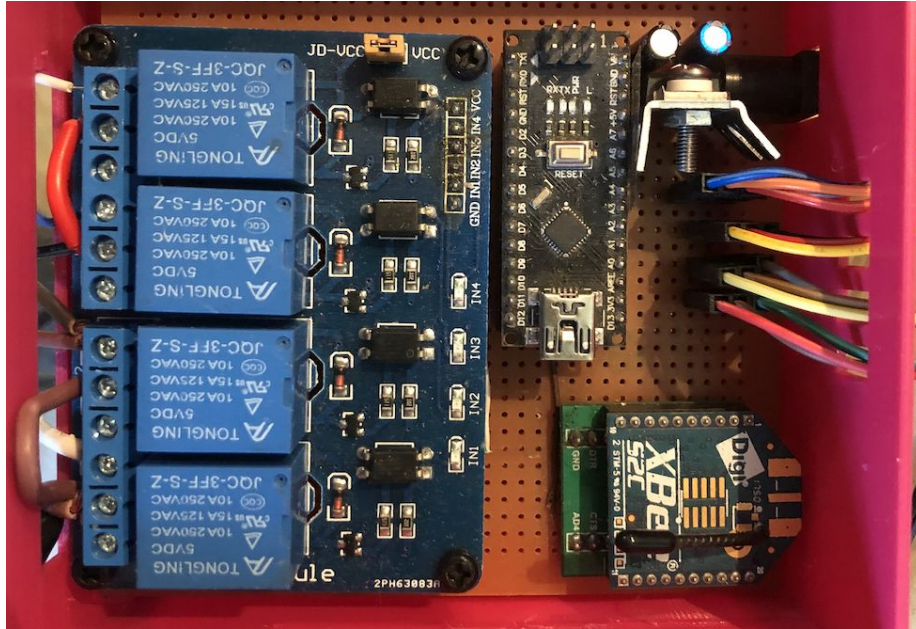


# Nodo Sensor Actuador

- Arduino Nano
- BH1750
- MQ-135
- DHT11
- SEN0193
- Salida Relay 4 canales
- XBee S2C



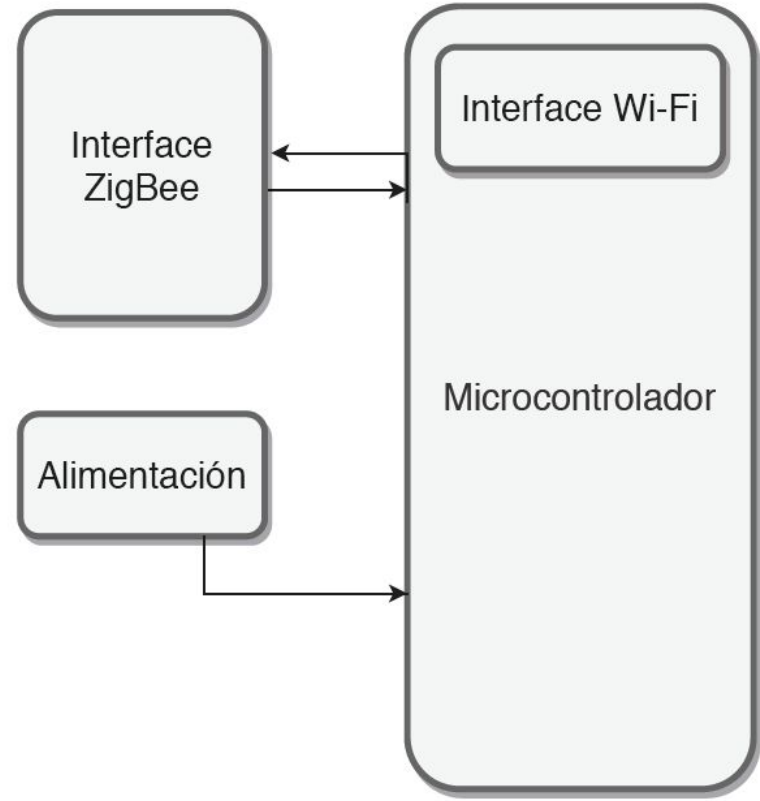
# Prototipo Nodo Sensor Actuator



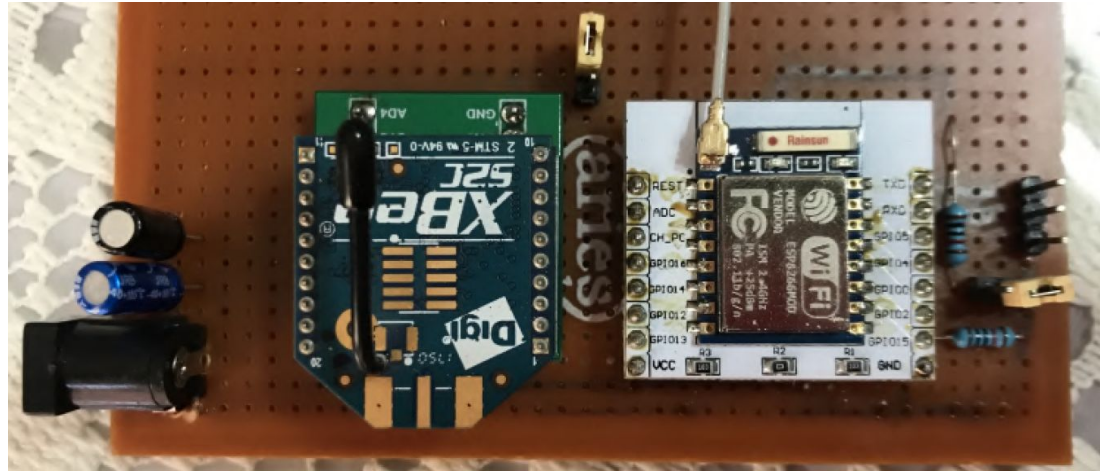
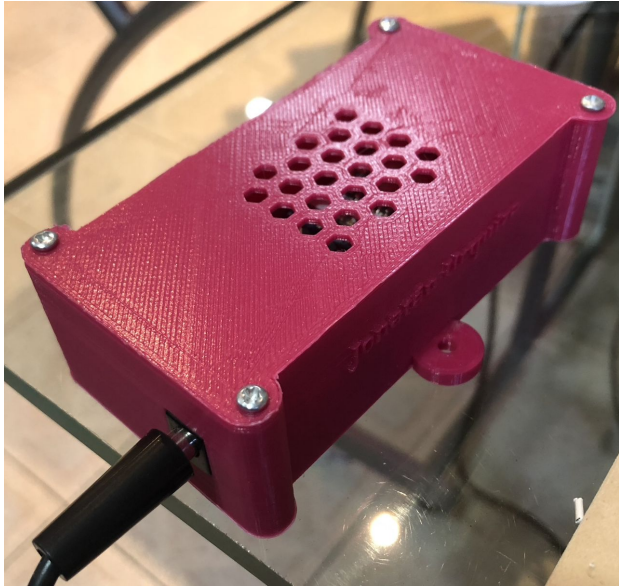


# Nodo Gateway

- ESP8266 ESP-07
- XBee S2C



# Prototipo Nodo Gateway





# Broker

Raspberry Pi 3 Model B



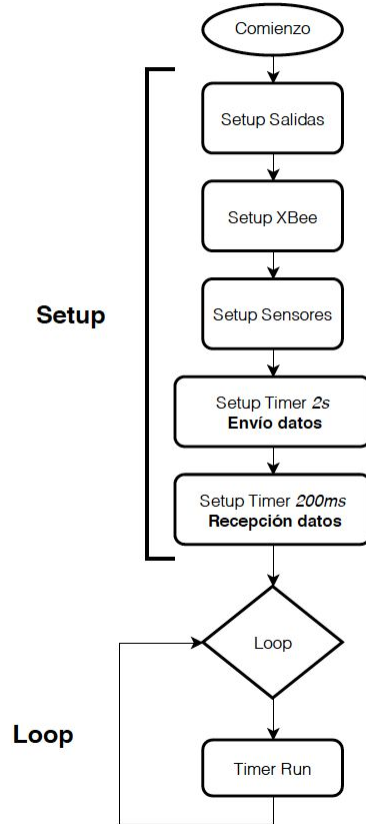




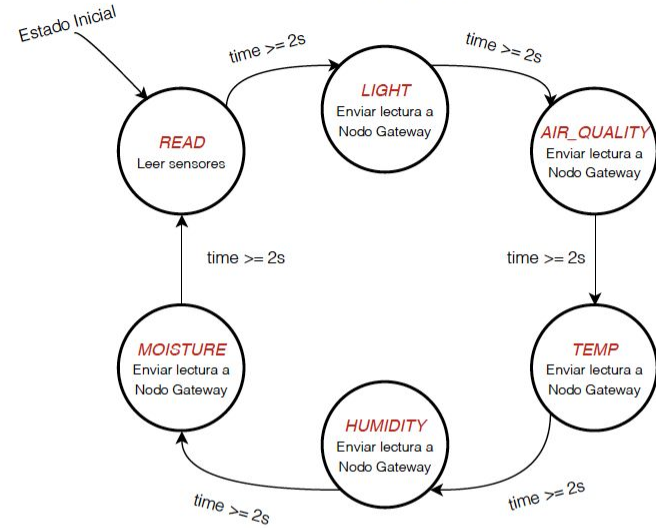
**Software**

# Nodo Sensor Actuador

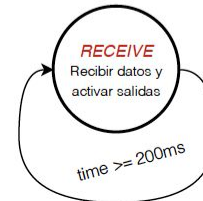
## Programa Principal



## Rutina envío datos Se atiende cada 2 segundos



## Rutina recepción datos Se atiende cada 200 milisegundos





# Nodo Sensor Actuador: Envío/Recepción

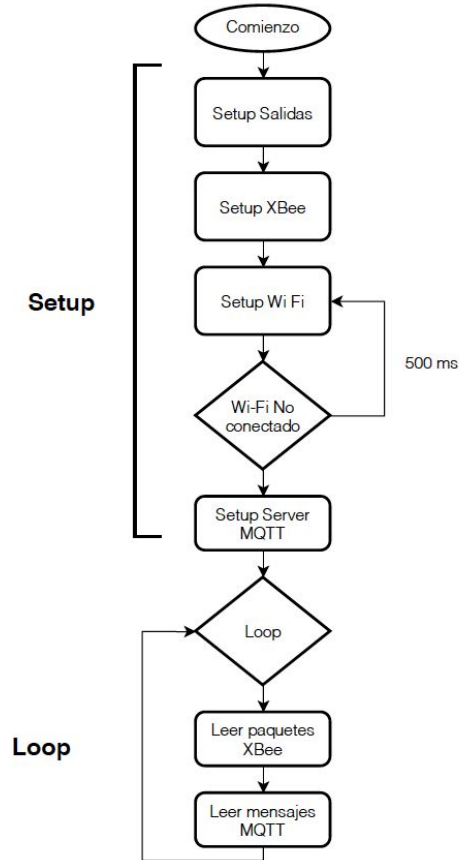
Carga útil envío

Id Sensor	MSB Data	LSB Data
--------------	-------------	-------------

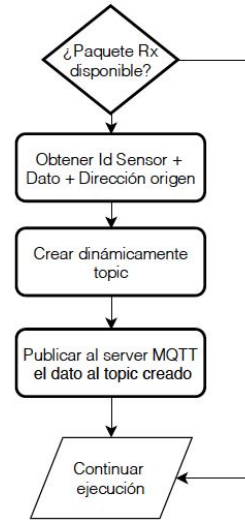
Carga útil recepción

Id Actuador	Data
----------------	------

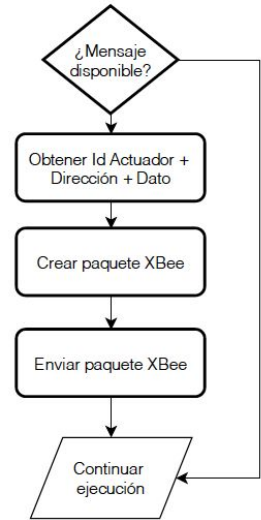
# Nodo Gateway



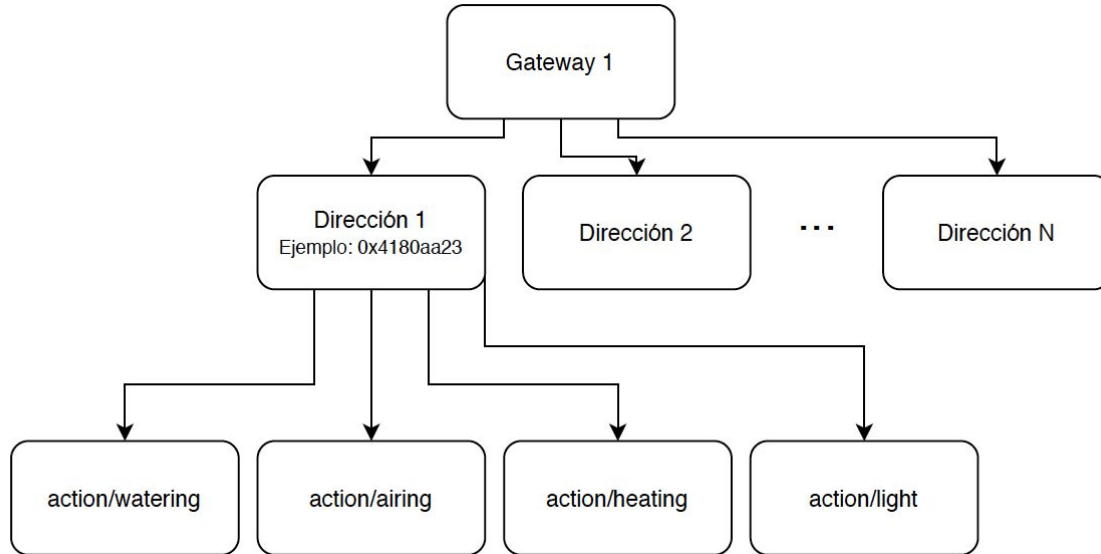
## Leer paquetes XBee



## Leer mensajes MQTT

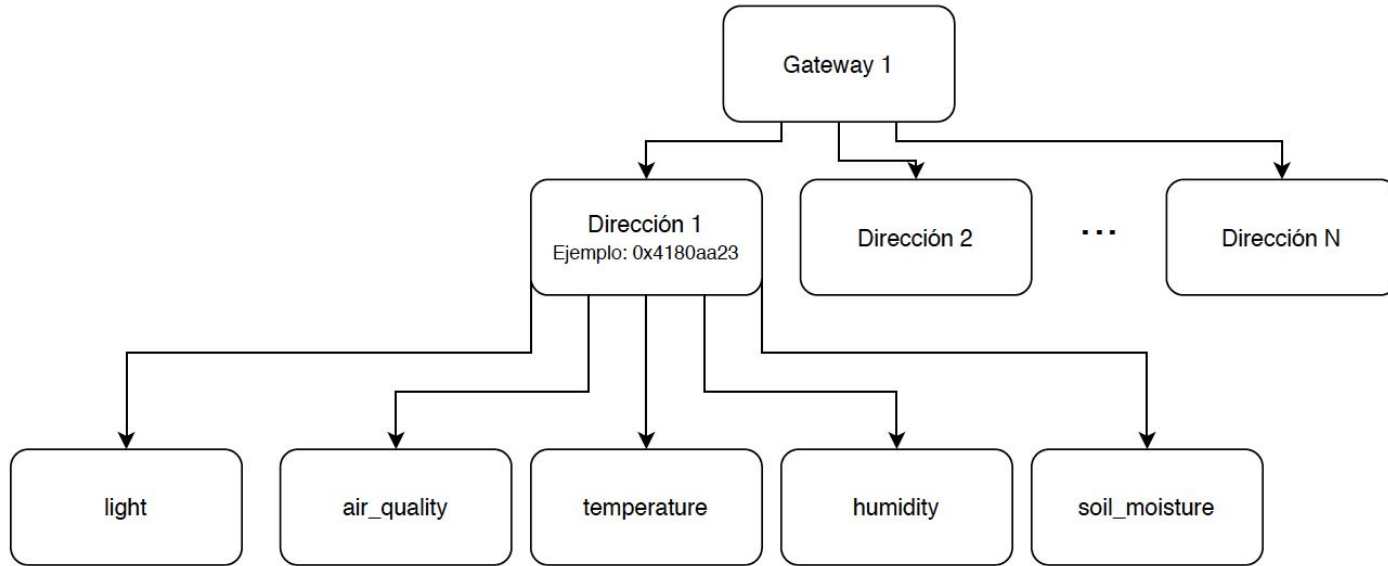


# Nodo Gateway: Árbol topics MQTT Acción



*/gateway1/0x4180aa23/action/watering*

# Nodo Gateway: Árbol topics MQTT Lectura



*/gateway3/0x4180aa23/light*

# Broker

Raspbian Stretch  
Mosquitto  
NodeRED



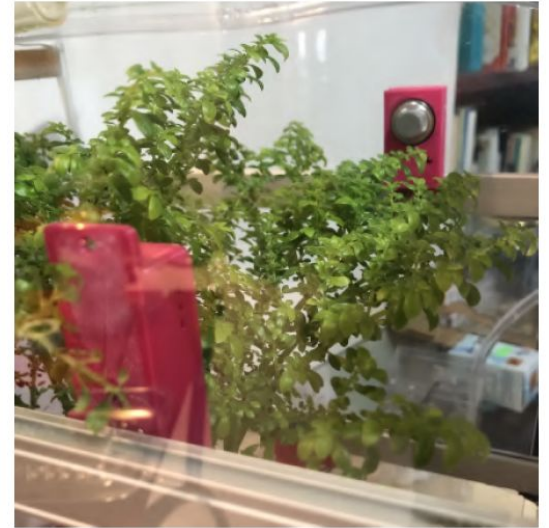
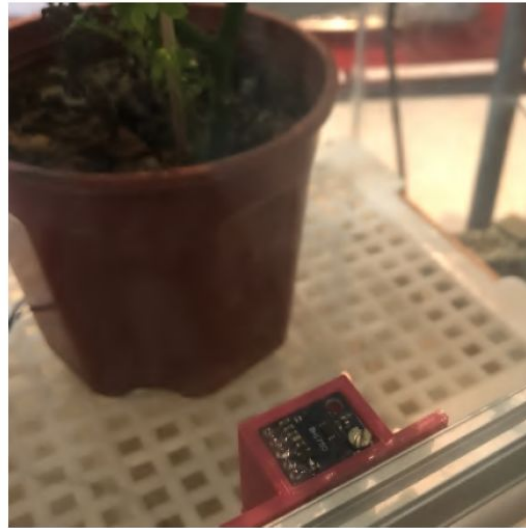
---

# Experimentos y Resultados



# Maqueta

---

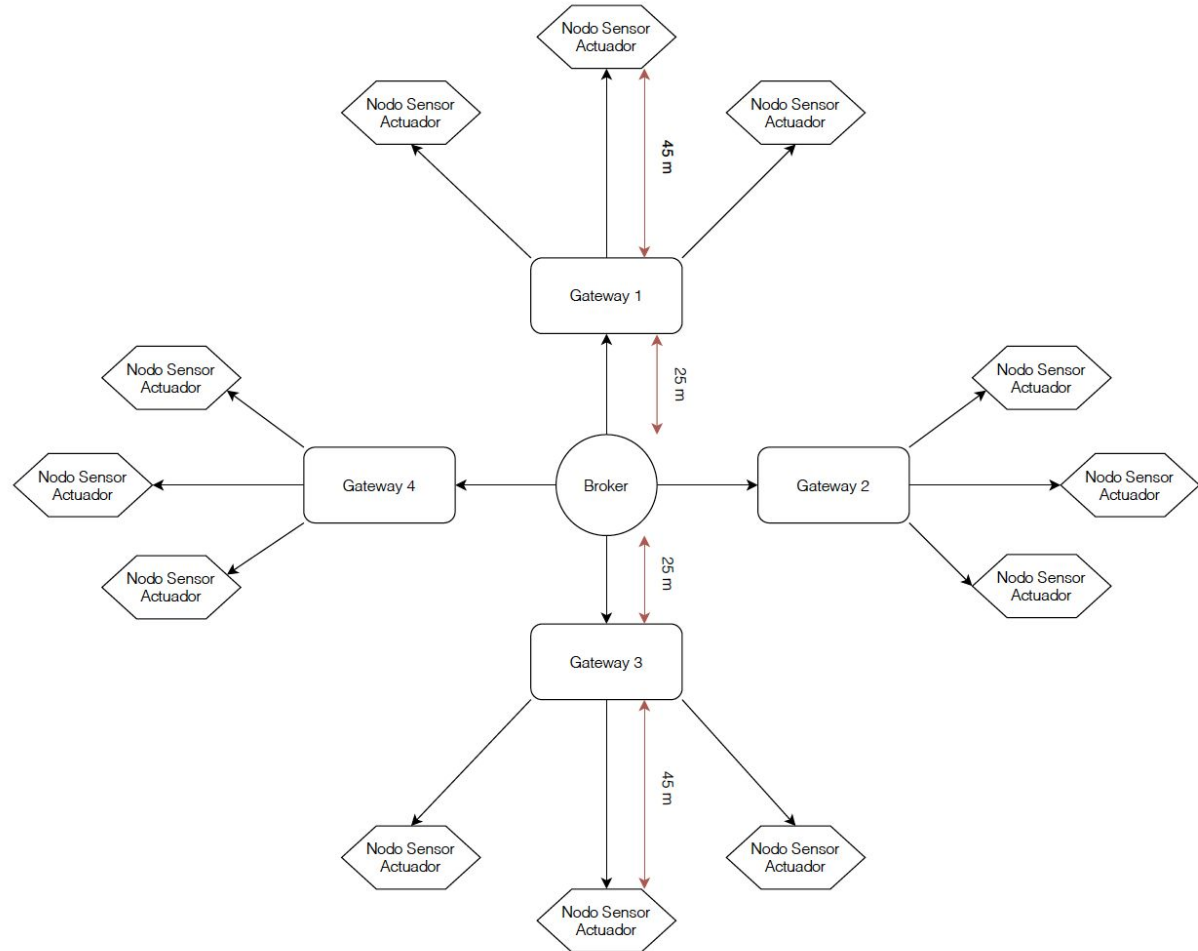




# Pruebas de integración

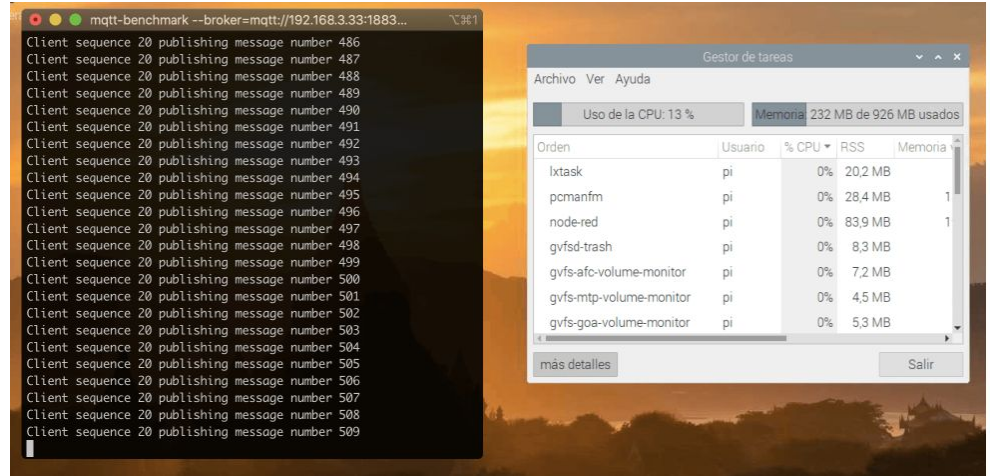
- Distancia máxima práctica
- Escalabilidad de red
- Comparativa contra sensores homologados
- Restablecimiento frente a reset

# Distancia máxima práctica



# Escalabilidad de red

- Pruebas de carga o stress
- Cantidad máxima de dispositivos



The image shows two overlapping windows from a Linux desktop environment. The background is a sunset landscape with a pagoda.

The left window is a terminal titled "mqtt-benchmark --broker=mqtt://192.168.3.33:1883...". It displays a list of log messages: "Client sequence 20 publishing message number" followed by numbers from 486 to 509. A cursor is visible at the end of the last line.

The right window is the "Gestor de tareas" (Task Manager) window. It shows system usage: "Uso de la CPU: 13 %" and "Memoria: 232 MB de 926 MB usados". Below this is a table of running processes:

Orden	Usuario	% CPU	RSS	Memoria
1	pi	0%	20,2 MB	
2	pi	0%	28,4 MB	1
3	pi	0%	83,9 MB	1
4	pi	0%	8,3 MB	
5	pi	0%	7,2 MB	
6	pi	0%	4,5 MB	
7	pi	0%	5,3 MB	

Buttons for "más detalles" and "Salir" are visible at the bottom of the task manager window.

# Comparación con sensores homologados



Lutrón Lm-8000



Sensor Xiaomi Aqara

# Comparación con sensores homologados

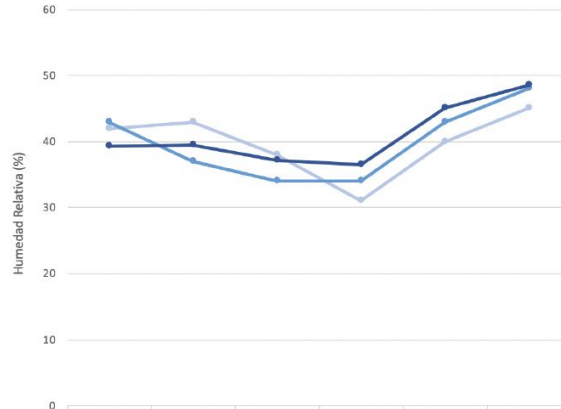


### Temperatura



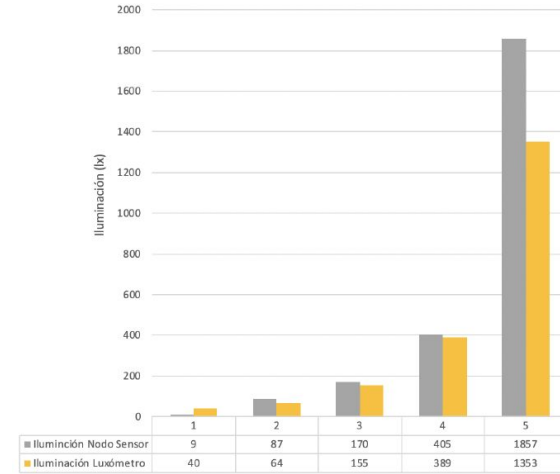
	1	2	3	4	5	6
Nodo Sensor	27	26	26	24	22	21
Xiaomi	30	29	28.5	27.5	24.5	23
Lutron Lm-8000	30.1	29.7	29	28	25.6	24.1

### Humedad Relativa



	1	2	3	4	5	6
Nodo Sensor	42	43	38	31	40	45
Xiaomi	43	37	34	34	43	48
Lutron Lm-8000	39.3	39.5	37.1	36.5	45	48.6

### Iluminación



	1	2	3	4	5
Iluminación Nodo Sensor	9	87	170	405	1857
Iluminación Luxómetro	40	64	155	389	1353



# Restablecimiento frente a reset\*

<b>Nodo Sensor Actuador</b>	<b>Nodo Gateway</b>	<b>Broker</b>
7,192 segundos	6,094 segundos	50,76 segundos

\* Promedio basado en 5 pruebas de restablecimiento frente a reset



# Análisis económico

- Comparativa frente a sistema similar de la familia **Libelium**.
- Sistema **15 veces** más económico.



# Demostración



---

# Conclusiones y futuras mejoras



# Conclusiones

- Desarrollo exitoso de prototipo funcional y escalable del sistema.
- Sistema económico y versátil.
- Integración y aplicación de conocimientos adquiridos durante la carrera.



# Futuras mejoras

- Automatización de actuadores mediante parámetros
- Sistema de alarma
- Redundancia de datos
- Seguridad
- Topología de red en malla
- Sensor de temperatura de suelo y control de nutrientes en el riego

¿Preguntas?



**Muchas gracias**

