

**APLICACIÓN DE SISTEMAS EMBEBIDOS PARA LA  
AUTOMATIZACIÓN DE CULTIVOS URBANOS.**

**Autor**

**JOSE JUAQUIN RIAÑO BECERRA**

**Director**

**LUZ MARINA SANTOS JAIMES**

**Dra.**

**Universidad de Pamplona**

**Facultad de Ingenierías y Arquitectura**

**Departamento de Ingenierías Electrónica, Eléctrica, Sistemas y  
Telecomunicaciones**

**Programa de Ingeniería de Sistemas**

**Pamplona, Norte de Santander – Colombia**

**2018**

**Resumen**

Este proyecto presenta las ventajas y capacidades de los sistemas embebidos para acceso remoto en procesos de automatización de cultivos urbanos. En específico se realizó el modelado de un sistema hidropónico de acuerdo a las especificaciones NFT (*Nutrient Film Technique*), se tuvieron en cuenta las variables involucradas en el crecimiento de las plantas como: temperatura, humedad del ambiente, humedad de la raíz, nivel de reservorio y precipitación. Se implementó y configuró el prototipo de sistema embebido que sensaba datos en tiempo real y permitía su monitoreo remoto. El sistema automáticamente accionaba el sistema de riego en caso de que los valores de las variables sensadas estuvieran por fuera de los parámetros de control del cultivo. Adicionalmente, se realizó un tratamiento de imágenes con fotos tomadas de la parte superior de la planta para determinar el porcentaje de crecimiento.

## **Abstract**

This project presents the advantages and capabilities of embedded systems for remote access in urban crop automation processes. Specifically, the modeling of a hydroponic system according to the NFT (Nutrient Film Technique) specifications was carried out. The variables involved in the growth of the plants were taken into account, such as: temperature, humidity, root moisture, reservoir level and precipitation. The prototype of an embedded system that sensed data in real time and allowed its remote monitoring was implemented and configured. The system automatically operated the irrigation system in case that the values of the sensed variables were outside the control parameters of the crop. Additionally, an image treatment was carried out with photos taken of the upper part of the plants to determine the percentage of growth.

## Tabla de Contenidos

<b>1.</b>	<b>9</b>	
1.1.	Planteamiento del problema	9
1.2.	Justificación	10
1.3.	Delimitación	10
1.4.	Metodología	11
1.5.	Estructura del documento	11
<b>2.</b>	<b>13</b>	
2.1.	13	
2.1.1.	Cultivos urbanos	13
2.1.2.	Cultivos hidropónicos	14
2.1.3.	Ventajas y limitaciones de la hidroponía.	15
2.2.	IoT (Internet de las cosas)	15
2.3.	Redes Industriales.	16
2.3.1.	Clasificación de las redes Industriales.	17
2.4.	Sistemas embebidos (SE)	18
2.4.1.	Características básicas de los sistemas embebidos.	19
2.5.	Protocolos de comunicación	21
2.5.1.	Protocolo TCP/IP.	21
2.5.2.	Protocolo I2C.	22
2.6.	Conexiones de red	24
2.7.	Tecnología wifi	26
2.8.	Señales que usan los sistemas embebidos para datos de entrada y salida.	27
2.9.	Estado del arte	28
2.9.1.	Nacionales	29
2.9.2.	Internacionales	30
<b>3.</b>	<b>34</b>	
3.1.	Estudio del sistema	35
3.2.	Modelado del sistema.	39
<b>4.</b>	<b>44</b>	

4.1.	Placas (Sistemas embebidos)	45
4.2.	Sensores y actuadores	50
4.3.	Definición del sistema de comunicación usado en el proceso de 54	
<b>5.</b>	<b>60</b>	
5.1.	Diseño y construcción	60
5.2.	Análisis de datos	70
5.2.	Resultados	84
<b>6.</b>	<b>86</b>	
<b>7.</b>	<b>88</b>	

### **Tabla de figuras**

Figura 1:	Marco de la Internet de las cosas.	16
Figura 2:	Red de Comunicación Industrial.	17

Figura 3: Clasificación de las redes industriales.	18
Figura 4: Capas modelo TCP/IP.	22
Figura 5: Conexión de dos placas implementando I <sup>2</sup> C	23
Figura 6: Modelo de conexión GSM.	25
Figura 7: Modelo de conexión satelital. Diseño propio.	26
Figura 8: Controlador Wifi (referencia Wemos D1).	27
Figura 9: Pines digitales y análogos del Arduino Uno usado en este proyecto. Diseño propio.	28
Figura 10: Resumen del sistema completo de control descrito en el artículo.	32
Figura 11: Esquema general del proceso descrito en este artículo.	33
Figura 12: diagrama de transferencia cliente servidor. En un servidor web alojado en el sistema embebido.	35
Figura 13: Sistema NFT	36
Figura 14: Caso de uso Guardar.	40
Figura 15: Caso de uso Mostrar.	40
Figura 16: Caso de uso Eliminar.	41
Figura 17: Descripción de las clases (diagrama de clases del cultivo).	42
Figura 18: Modelo Entidad/Relación.	44
Figura 19: Raspberry pi 3.	46
Figura 20: Wemos D1.	48
Figura 21: Wemos D1 mini.	48
Figura 22: Arduino uno.	49
Figura 23: Sensor de humedad de suelo.	50
Figura 24: Sensor de humedad y temperatura ambiente.	51
Figura 25: Sensor de precipitación.	53
Figura 26: Sensor de ultrasonido hc-sr04.	54
Figura 27: Niveles de Red industrial del cultivo.	55

Figura 28: canales y cables de comunicación I2C Arduino y Wemos.	57
Figura 29: formas de comunicación Placas-Servidor. Diseño Propio.	58
Figura 30: Modelo de conexión ASDL. Diseño Propio.	59
Figura 31: Estructura del prototipo. Diseño Propio.	61
Figura 32: Bomba y Reservorio. Diseño Propio.	61
Figura 33: Soporte de planta. Diseño Propio.	62
Figura 34: Resultado de Cultivo hidropónico. Diseño Propio.	62
Figura 35: Sensor de Detección de precipitación o lluvia. Diseño Propio.	63
Figura 36: Sensor de Temperatura y humedad del ambiente. Diseño Propio.	63
Figura 37: Sensor de humedad de suelo implementado en soporte de sostenimiento. Diseño Propio.	64
Figura 38: Sensor PH implementado en reservorio. Diseño Propio.	64
Figura 39: Calibrador (Intermediario entre el sensor y el sistema embebido). Diseño Propio.	65
Figura 40: Arquitectura eléctrica del sistema. Diseño Propio.	66
Figura 41: Prueba de conexión y envío de datos (Servidor virtualizado)	68
Figura 42: Inicio de sesión	69
Figura 43: Interface 1.	70
Figura 44: Interfaz 2	70
Figura 45: Interface 3.	71
Figura 46: Temperaturas media del día 29 en relación con la hora.	72
Figura 47: Lectura de temperatura mal tomada por el sensor.	73
Figura 48: Humedad tomada el día 29 en relación con la hora.	74
Figura 49: Humedad de la raíz del día 29 en relación con la hora.	75
Figura 50: Diagrama de Medición de nivel.	77
Figura 51: Nivel de solución tomado el día 29 en relación con la hora.	78
Figura 52: Datos del sensor de lluvia del día 28 en las horas 13 a 15.	80

Figura 53: Proceso ejecutado por el programa en Matlab	83
Figura 54: Resultado de tratamiento imagen 1 y 2.	84
Figura 55: Resultado de tratamiento imagen 2 y 3.	84
Figura 56: Alteración del nivel, malas lecturas y bajo nivel de solución.	85
Figura 57: Hoja nievas detectadas en las plantas.	86

### **Índice de tablas**

Tabla 1:Características de la Raspberry pi modelo B.....	47
Tabla 2:Características de la Wemos D1.....	48
Tabla 3: Características de la Wemos D1 mini.....	49

Tabla 4: Características principales del Arduino uno.....	50
Tabla 5: Características del sensor de humedad de suelos.....	51
Tabla 6: Características del sensor de humedad y temperatura ambiente.....	52
Tabla 7: Características del sensor de precipitaciones. ....	54
Tabla 8: Características del sensor HC-sr04. ....	55
Tabla 9: Promedios de temperatura por hora.....	72
Tabla 10: Promedios de humedad por hora.....	74
Tabla 11: Promedios de humedad de la raíz por hora. ....	76
Tabla 12: Promedios de nivel de reservorio .....	78
Tabla 13: Riegos activados por altas temperatura. ....	81

## **1. Introducción**

En Colombia los cultivos urbanos constituyen una de las actividades que potencialmente podría mejorar la calidad de vida y las finanzas de las familias, sin embargo, los adelantos tecnológicos en este sector son escasos, con un vínculo lento de la automatización a los procesos que hacen parte de estos cultivos. A medida que se aumenta la automatización, los procesos dan un resultado más eficaz, demandando sistemas de control que admiten supervisar las variables que forman parte de los procesos agrícolas. La contribución de este proyecto es la base para que muchos sectores del campo y las ciudades conozcan de soluciones que

automaticen a bajo costo muchos procesos en cultivos urbanos y se dé la implementación de estos mismos.

### **1.1. Planteamiento del problema**

Actualmente Colombia le apuesta a una industrialización del campo automatizando los cultivos con el fin de volver la tierra o el espacio más productivo. Debido a que los sistemas de automatización que actualmente existen son de costos elevados y de difícil acceso a nuestro entorno, surge la incógnita de si los sistemas embebidos en conjunto con el internet de las cosas pueden presentar una solución de fácil instalación y económica al monitoreo y automatización de cultivos.

### **1.2. Justificación**

Es importante mostrar en la agricultura urbana un instrumento importante para lograr la soberanía alimentaria en un país. Las familias de ciudad en espacios reducidos pueden producir sus propios alimentos de una forma más limpia y a menores costos. “Este tipo de producción puede aportar hasta el 60 por ciento de las necesidades alimenticias de una familia, mejora sustancialmente la nutrición y permite a éstas gastar una parte mayor de sus ingresos en otras necesidades, como educación y salud. (Gómez, 2014)

De lo anterior, diferentes cultivos urbanos tienden a orientar su inversión en adquirir sistemas de control, software de aplicación, sensores y actuadores, que permitan un control en las variables que interceden en su producción. Tales inversiones se realizan usando tecnología extranjera, lo cual aumenta el costo de la implementación. Este proyecto pretende demostrar la eficiencia del monitoreo y

control de cultivos urbanos en particular un cultivo hidropónico con sistema de recirculación utilizando sensores y actuadores controlados por sistemas embebidos los cuales permiten implementar lo que se requiere a un bajo costo.

### **1.3. Delimitación**

- Objetivo general
  - Diseñar un sistema para monitorear y controlar remotamente un cultivo urbano.
  
- Objetivos específicos
  - Estudiar y modelar el cultivo urbano a automatizar.
  - Caracterizar los componentes utilizados tales como sistemas embebidos sensores y actuadores seleccionando los adecuados para el sistema.
  - Describir los sistemas de comunicación adecuados para el prototipo.
  - Construir el prototipo con los sistemas embebidos para el acceso remoto de los datos y decisiones de control automatizadas.

### **1.4. Metodología**

El tipo de metodología escogida es descriptiva experimental debido a que se desarrollará un prototipo. El prototipo incluyó en su estudio dos o más variables independientes. Al variar intencionalmente una de ellas, las demás también varían. Ejemplo: Si la falta de humedad es la causa de resequead en las plantas, al detectar esto, es posible que se halla dañado algo o no esté funcionando bien.

También se incluyen aspectos cuantitativos debido a que se tomarán datos

provenientes de los sensores y almacenados en la base de datos, para graficar el comportamiento de cada una de las variables implicadas en el cultivo. Esta información generada es base para el análisis del prototipo y el sistema de cultivo.

## **1.5. Estructura del documento**

Este documento está estructurado de forma que se cumplan los objetivos propuestos en este proyecto. El capítulo 2 muestra la base teórica y estudios encontrados los cuales conforman la fundamentación del proyecto. El capítulo 3 describe el estudio del sistema hidropónico, sus características y modelado mediante casos de uso, diagrama de clases y modelo entidad relación de la base de datos empleada en el prototipo. El capítulo 4 expone los componentes del sistema embebido, las características de los sensores y actuadores, y el sistema de comunicación que permite llevar datos de las placas a la web para su monitoreo. El capítulo 5 hace referencia al diseño y construcción del prototipo, y análisis de datos recolectados de las diferentes variables del sistema. Por último, el capítulo 6 expone las conclusiones del proyecto.

## **2. Marco teórico y estado del arte**

A continuación, se presenta la base teórica de esta investigación y la relación de proyectos relacionados a nivel nacional e internacional.

### **2.1. Definición de Cultivos**

#### **2.1.1. Cultivos urbanos**

Para definir Cultivo Urbano (en adelante C.U) es importante conocer un término más general como es el de Agricultura Urbana, ya que éstos se encuentran dentro de este ámbito de estudio. Puede considerarse que Agricultura Urbana es toda actividad relacionada con el cultivo de alimentos próximo a la ciudad y en el que el destino final de su producción sea abastecer a dicha ciudad; es decir, que la producción forme parte del sistema agroalimentario urbano (producción, distribución, consumo y gestión de residuos orgánicos generados). Los C.Us se encuentran dentro de las ciudades o en sus periferias, éstos además de la función de producción y consumo, tiene también una función social y ecológica, y como alternativa financiera. Un C.U es un espacio de tierra cultivada en un entorno

urbano, esto incluye pueblos y ciudades. Incluye los cultivos que nacen en espacios vacíos, públicos o privados, dentro de la ciudad, generalmente solares. Los cultivos que crecen en los espacios de las viviendas, patios, balcones, terrazas, los que se cultivan en los patios de las escuelas. (García, Tutor, Cueto, & Barco, 2016)

### **2.1.2. Cultivos hidropónicos**

Los sistemas hidropónicos son tecnologías de cultivo que utilizan soluciones de nutrientes en lugar de sustratos del suelo. A veces se usan medios naturales o artificiales, como turba, aserrín, carbón, lana de roca, coco, gránulos de arcilla, grava o cerámica para proporcionar soporte físico a las plantas. Los sistemas hidropónicos ofrecen una serie de beneficios, que incluyen: la capacidad de reutilizar agua y nutrientes, un control ambiental fácil y la prevención de enfermedades y plagas transmitidas por el suelo.

Durante las últimas décadas, la investigación hidropónica ha aumentado constantemente, especialmente en los temas de mejora de la productividad de los cultivos y la resolución de las limitaciones de los sistemas hidropónicos. (Domingues, Takahashi, Camara, & Nixdorf, 2012). Diferentes modelos de sistemas en cultivos hidropónicos fueron tratados en (Domingues et al., 2012).

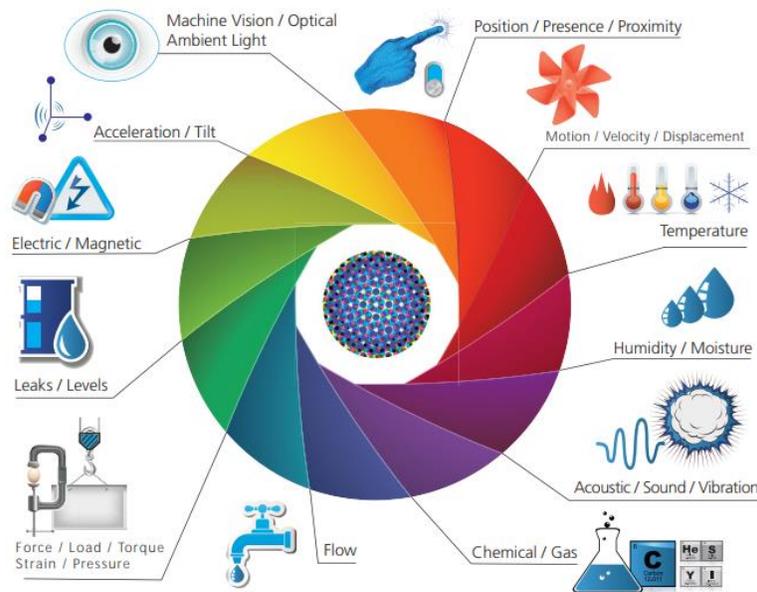
### **2.1.3. Ventajas y limitaciones de la hidroponía.**

Existen muchas ventajas de los sistemas hidropónicos sobre los sistemas de cultivo del suelo. La hidroponía funciona bien, incluso en áreas que de otro modo serían

inadecuadas para el cultivo debido a productos químicos tóxicos o metales pesados que contaminan el suelo. Los sistemas hidropónicos interiores también facilitan el control de las condiciones de crecimiento, como temperatura, velocidad de flujo y volumen de agua, nutrientes, humedad relativa y duración de la iluminación para optimizar la producción de cultivos.(Domingues et al., 2012)

## **2.2. IoT (Internet de las cosas)**

Internet de las cosas (IoT) está cambiando la forma en que los humanos y la tecnología interactúan. Específicamente, los dispositivos de IoT se pueden encontrar en "hogares y procesos industriales inteligentes" que supervisan y ajustan el entorno para adaptarse mejor a los usuarios (Severino, D'Urso, Scarfato, & Toraldo, 2018). Una de las definiciones que se acota perfectamente a IoT es la indicada por Altimeter Group donde se define como la interconexión y la interacción de lo digital y el mundo físico, en el que la tecnología permite integrar "cosas" físicas a las redes de información a través de infraestructuras de Internet existentes y emergentes. Es decir, IoT es una plataforma para conectar personas, objetos, y entornos para informar y permitir la visibilidad, compromiso, y la innovación. IoT está trayendo consigo una nueva información procedente de los sensores conectados que permiten ofrecer nuevas experiencias personalizadas a un entorno más conectado a través de nuevos dispositivos, como por ejemplo los "wearables" y que ampliarán la variedad de pantallas de los consumidores para ver e interactuar con las aplicaciones, en la Figura 1 vemos todo lo que enmarca IoT ("Internet of things (IoT) en la transformación digital de las empresas 2015," 2015).



**Figura 1: Marco de la Internet de las cosas.**

**Fuente: (Postscapes, 2014).**

### **2.3. Redes Industriales.**

Una red de comunicaciones industriales se puede definir como una red de tiempo real utilizada en un sistema de producción para conectar distintos procesos de aplicación con el propósito de asegurar la explotación de la instalación (comando, supervisión, mantenimiento y gestión) como muestra la Figura 2. Otra definición corresponde a un sistema de comunicación que provee servicios bajo restricciones temporales y está constituido por protocolos capaces de gestionar estas restricciones (Universidad del Cauca, 2009).

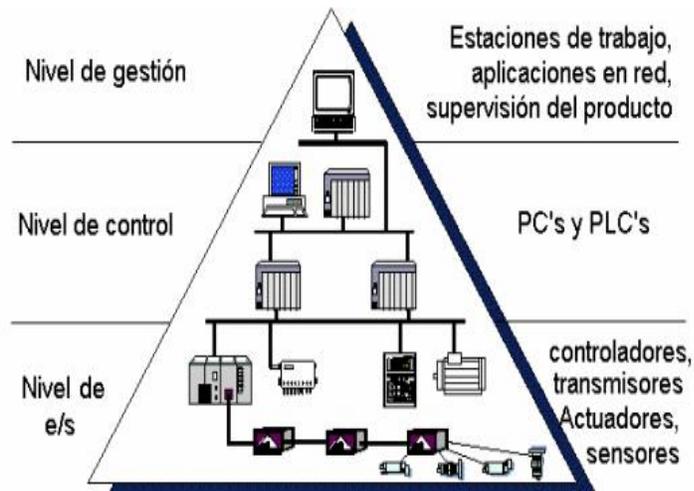


**Figura 2: Red de Comunicación Industrial.**

**Fuente:(Universidad del Cauca, 2009).**

### 2.3.1. Clasificación de las redes Industriales.

Dados los tipos de los equipos que conforman el ambiente de las manufacturas, existen varios ascensos de procesamiento que difieren de acuerdo a las exigencias de los antecedentes a procesar, constituyéndose la organización jerárquica de los niveles que se muestran en la Figura 3.



### **Figura 3: Clasificación de las redes industriales.**

**Fuente: (Universidad del Cauca, 2009).**

#### **2.4. Sistemas embebidos (SE)**

El término «sistema embebido» hace referencia a todo circuito electrónico digital capaz de realizar operaciones de computación, generalmente en tiempo real, que sirven para cumplir una tarea específica en un producto. Los sistemas embebidos no son equivalentes a los sistemas de cómputo usados en las laptops o en computadoras de escritorio que se venden en las tiendas tecnológicas, ya que los sistemas embebidos suelen tener recursos ilimitados y aplicaciones específicas que los hacen sumamente útiles en múltiples ambientes, como en el campo automotriz (sistemas de inyección de gasolina, alarmas contra robos, control de climatización, sistema de frenado ABS) o en teléfonos móviles, iPad, reproductores Blu-ray, refrigeradoras, alarmas de casa, lavadoras, cámaras fotográficas, instrumentación industrial, equipos médicos, Set Top Boxes, entre otros (Salas Arriarán, 2015).

La arquitectura de un sistema embebido contiene un microprocesador dedicado capaz de ejecutar instrucciones a una determinada velocidad, controlada por una señal de reloj. De acuerdo con la arquitectura del microprocesador del sistema embebido, los recursos internos (periféricos) y la máxima frecuencia de operación, se define la potencia de procesamiento. Normalmente, este parámetro se mide en unidades de MIPS (millones de instrucciones por segundo). El programa que ejecuta un sistema embebido es por lo general elaborado en lenguajes como el

ensamblador, ANSI C, C++ o Basic. Algunos sistemas embebidos tienen la capacidad de ejecutar sistemas operativos limitados, conocidos como RTOS (Real Time Operating Systems), que permiten que el procesador ejecute diversas tareas, asignándoles una prioridad y un orden de ejecución. Algunos de estos sistemas operativos son el MQX de Freescale,  $\mu$ C/OS-II, FreeRTOS y  $\mu$ Linux, entre los más conocidos (Salas Arriarán, 2015)

Una de las tipologías presentes de todo SE, y muy significativa, es el bajo gasto de energía. Como muchos de sus estudios involucran dispositivos que utilizan acumuladores de voltaje, las modalidades de bajo consumo de corriente (modo sueño) son significativos para que puedan ser traídos en este tipo de aplicaciones.

#### **2.4.1. Características básicas de los sistemas embebidos.**

Las características básicas de los sistemas embebidos según (ENGINEERING, 2011) se describen de la siguiente manera:

- Deben ser confiables, la confiabilidad, en inglés reliability  $R(t)$ , es la probabilidad de que el sistema trabaje correctamente dado que está funcionando en  $t=0$ .
- La mantenibilidad, en inglés Maintainability  $M(d)$ , es la probabilidad de que el sistema vuelva a trabajar correctamente  $d$  unidades de tiempo después de un fallo.
- La disponibilidad, en inglés Availability  $A(t)$ , es la probabilidad de que el sistema esté funcionando en el tiempo  $t$ .
- La seguridad informática consiste en disponer de una comunicación confidencial y autenticada.

- La creación de un sistema confiable debe ser considerada desde un comienzo, no como una consideración posterior.
- Deben ser eficientes en cuanto a la energía, al tamaño de código, al peso y al costo.
- Están dedicados a ciertas aplicaciones con interfaces de usuario dedicadas (sin ratón, keyboard y pantalla).

También en cuestión de comunicación (ENGINEERING, 2011) presenta estas características:

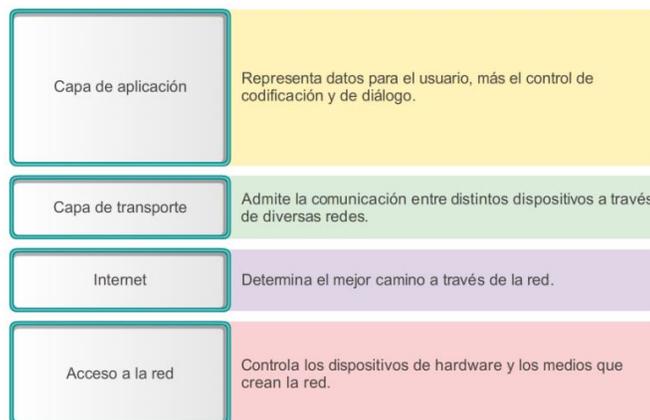
- RS-232, RS-422, RS-485, UART / USART (Receptor Universal Síncrono y Asíncrono / Transmisor).
- I2C (Circuito Inter-Integrado), SPI (Bus de Interface periférico en serie), SSC y ESSI (Interfaz mejorada serie síncrona), USB (Universal Serial Bus);
- Protocolos de comunicación de red: Ethernet, CAN (Controlador del área de red), Lon Works etc.
- Software: Popular OS – QNX4 RIOS, Linux embebido y Linux-base (Android, etc.), iOS, Windows CE, etc.

## **2.5. Protocolos de comunicación**

Lo principal de la comunicación de datos es resolver el problema de llevar la información de un punto hacia otro sin errores, utilizando redes con la simbolización oportuna para su traspaso. Los métodos de comunicación no manifiestan ni reaccionan ante el contenido de la información. Un componente importante en el sistema de comunicación de este proyecto es el protocolo de comunicación de las placas y hacia la nube.

### 2.5.1. Protocolo TCP/IP.

TCP es un protocolo transporte orientado por conexión que envía datos como un flujo de bytes sin estructura. Usando los números de secuencia y los mensajes de reconocimiento, el TCP puede proporcionar un nodo de envío con la información de entrega sobre los paquetes transmitidos a un nodo de destino. TCP puede retransmitir los datos perdidos hasta que o se alcance una condición del descanso o hasta que se haya alcanzado la entrega exitosa, la Figura 4 muestra las capas de este modelo (Tcp et al., n.d.).



**Figura 4: Capas**

**TCP/IP.**

**modelo**

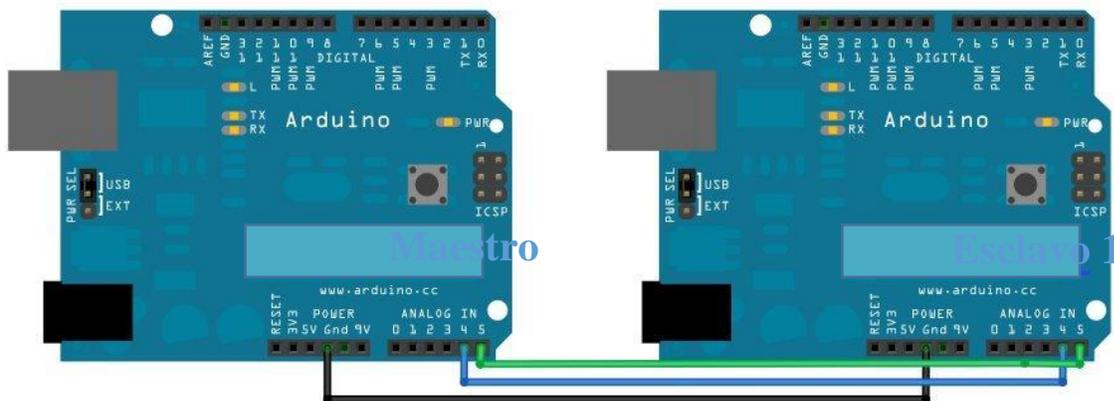
**Fuente: (Systems, 2008).**

### 2.5.2. Protocolo I2C.

El I2C-bus es un estándar mundial de facto que ahora se implementa en más de 1000 circuitos integrados diferentes fabricados por más de 50 empresas. Dos cables, datos serie (SDA) y reloj serial (SCL), transportan información entre los dispositivos conectados al bus. Cada dispositivo es reconocido por una dirección única (ya sea un microcontrolador, un controlador LCD, una interfaz de memoria o

teclado) y puede funcionar como un transmisor o receptor, dependiendo de la función del dispositivo.

El protocolo anterior en este proyecto es usado para la comunicación entre dos placas con el fin de aprovechar al máximo los puertos análogos de una de las dos, y así permitiendo la toma de datos en sensores y con la otra placa él envió de los datos a la web.



**Figura 5: Conexión de dos placas implementando I<sup>2</sup>C**

**Fuente: Propia.**

En la Figura 5 se confirma que el bus I2C es una interfaz serie que solo requiere dos líneas, una línea serie de datos (SDA) y una línea serie de reloj (SCL). Cada dispositivo conectado al bus es direccionado por software por una única dirección y simples relaciones master/esclavo. El maestro controla la comunicación asigna el canal de comunicación y recibe y envía datos según la necesidad (Parody, Ca, & Fecha, 2006). El flujo de comunicación se describe a continuación:

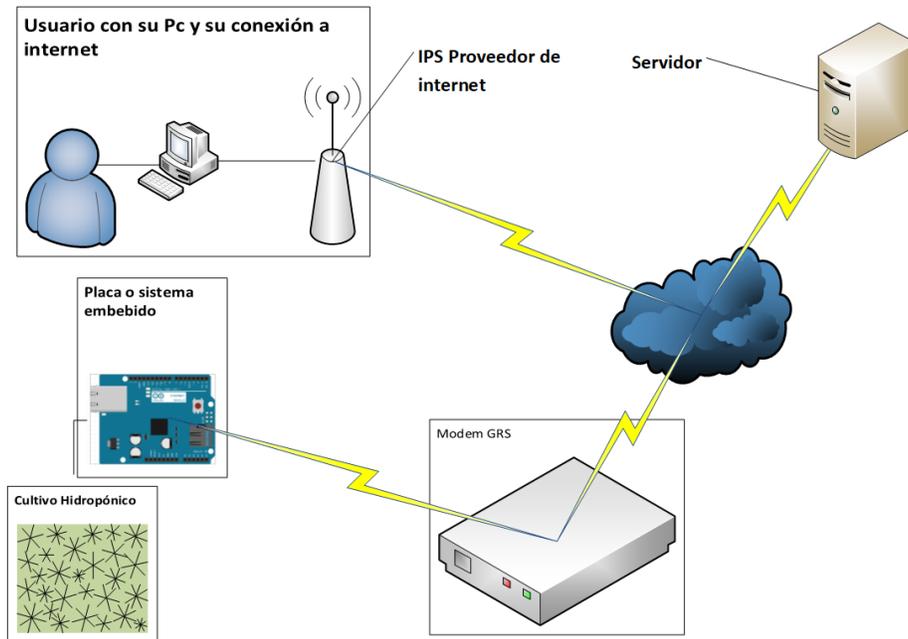
- Si el maestro envía datos a un esclavo:

- El maestro inicia la comunicación.
- El maestro coloca la dirección y la orden de escritura.
- El esclavo direccionado responde con señal de conformidad (ACK).
- El maestro envía datos.
- El esclavo devuelve conformidad de todos los datos (ACK)
- El maestro termina la comunicación.
- Si el maestro recibe datos de un esclavo:
  - El maestro inicia la comunicación.
  - El maestro sitúa la dirección en el bus y la orden de lectura.
  - El esclavo direccionado responde con señal de conformidad (ACK).
  - El esclavo envía datos.
  - El maestro responde con señal de conformidad a los datos recibidos excepto al último (ACK).
  - El maestro termina la comunicación.

## **2.6. Conexiones de red**

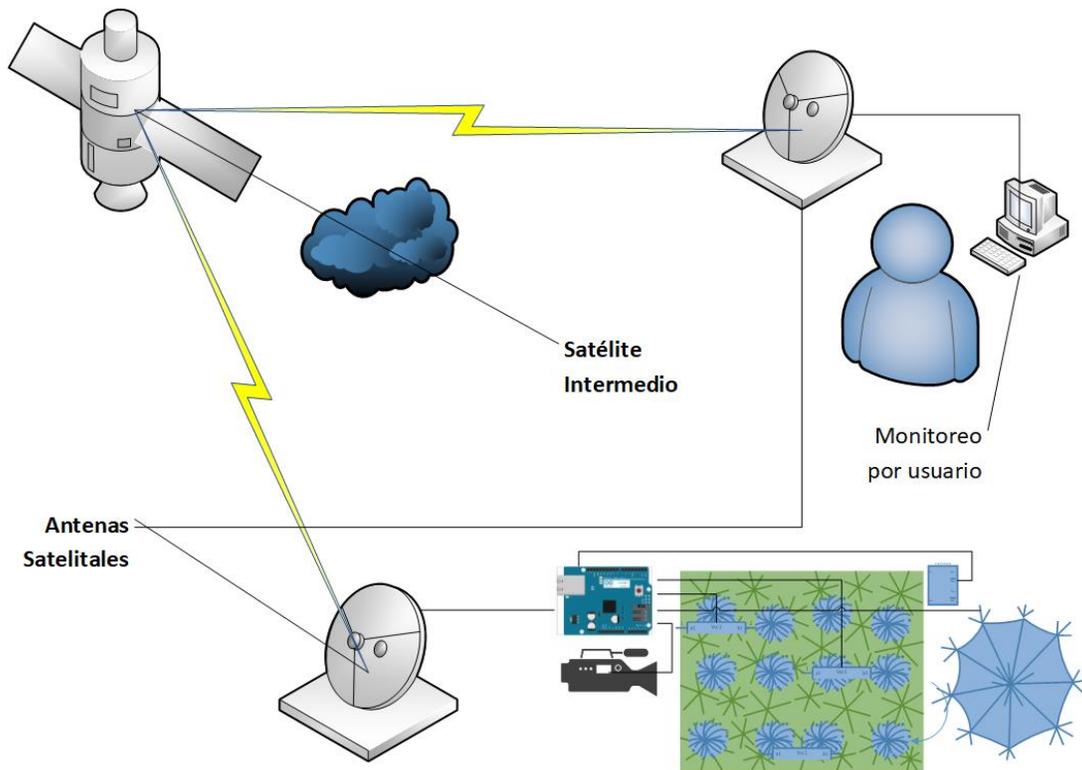
Las redes de dispositivos IoT pueden crear una gran cantidad de datos, algunos de los cuales deben analizarse casi en tiempo real. Este proyecto contempla 3 tipos de conexión del cultivo hacia las internet descritas a continuación:

- Conexión GSM es un tipo de red que se utiliza para la transmisión móvil de voz y datos. Caso en el que se utiliza un módem 3G que permita acceso y envío de datos a la nube. El modelo de la Figura 6, lo que permite es colocar el cultivo en este caso en cualquier parte o lugar donde tengamos cobertura GSM, así abarcando un rango de distancia más amplio.



**Figura 6: Modelo de conexión GSM.**

- Conexión ADSL, es una clase de tecnología que permite la conexión a Internet mediante el uso de la línea telefónica tradicional, en este caso la línea de movistar, y como son cultivos urbanos sería una condición ideal de comunicación (Secci et al., 2002).
- Conexión Satelital, esta tecnología utiliza satélites para proporcionar conexión a internet, es algo muy costoso según lo investigado, pero es posible como lo muestra (Secci et al., 2002), documento en el cual definen conexiones de este tipo. La Figura 7 muestra cómo sería la implementación en este proyecto.



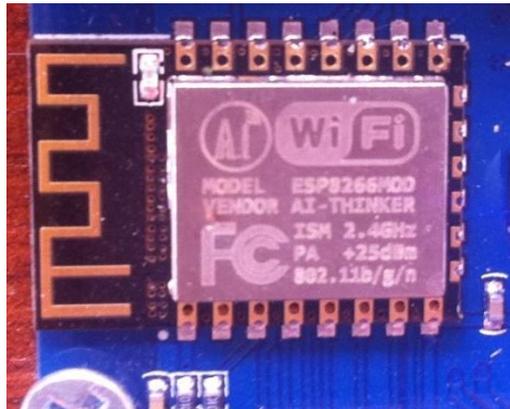
**Figura 7: Modelo de conexión satelital. Diseño propio.**

## 2.7. Tecnología wifi

Una red Wi-Fi es una red de comunicaciones de datos y, por lo tanto, permite conectar servidores, PC, impresoras, etc., con la particularidad de alcanzarlo sin necesidad de cableado (“Las tecnologías wifi y wimax,” n.d.). La ubicación de la tecnología Wi-Fi en los escenarios modernos y su interoperabilidad con protocolos de aplicaciones ampliamente utilizados (por ejemplo, HTTP) la convierten en una tecnología importante. Wi-Fi garantiza cobertura de gran área, gran ancho de banda, robustez y rentabilidad (Davoli, Belli, Cilfone, & Ferrari, 2016). Existen varios tipos de tecnologías wifi, se muestran algunos de ellos:

- 802.11a(Wi-Fi)
- 802.11b(Wi-Fi)
- 802.11g(Wi-Fi)
- 802.11n(Wi-Fi)
- 802.11i (Security)
- 802.16(Wi-Max)

Este proyecto según las placas utilizadas y sus controladores Wifi instalados en ellas cuentan con 3 de los anteriores nombrados el b, g, n como se muestra en la Figura 8.



**Figura 8: Controlador Wifi (referencia Wemos D1).**

## **2.8. Señales que usan los sistemas embebidos para datos de entrada y salida.**

Los sistemas embebidos son placas que están compuestas por un cierto número de pines los cuales sirven para recibir o enviar información, esta información son señales las cuales se describen como análogas y digitales y se muestran en la Figura 9:



**Figura 9: Pines digitales y analógicos del Arduino Uno usado en este proyecto. Diseño propio.**

- Señales Análogas: Son variables eléctricas que evolucionan en el tiempo en forma análoga a alguna variable física. Estas variables pueden presentarse en la forma de una corriente, una tensión o una carga eléctrica. Varían en forma continua entre un límite inferior y un límite superior según lo encontrado en (Miyara, 2004). En cuanto determinamos que estos límites coinciden con los límites que admite un dispositivo como por ejemplo el Arduino usado aquí, se dice que la señal está regulada y una de las ventajas de ocuparse con señales reguladas es que se aprovecha mejor la relación señal/ruido del dispositivo, en otras palabras, más exactas.
- Señales Digitales: Son variables eléctricas con dos niveles bien diferenciados que se alternan en el tiempo transmitiendo información según un código previamente acordado. Cada nivel eléctrico representa uno de dos símbolos: 0 ó 1, V o F (Miyara, 2004). También se hace uso de este tipo de señales en esta investigación en algunos de los sensores que más adelante se describirán.

## **2.9. Estado del arte**

Proyectos de esta calidad están en apogeo pues van en conjunto con el hecho de aportar al desarrollo de la humanidad, en particular este proyecto se apoyó en diversos documentos presentados a continuación que ayudaron a determinar la forma como ha sido tratado el tema, y cómo se encuentra el avance del conocimiento en el momento de realizar esta investigación, estos instrumentos están enfocados en el desarrollo de plataformas web en sistemas embebidos y manejo de sensores para el control de variables, y diseños de sistemas de riego.

De acuerdo con lo anterior se estructura el estado del arte en dos apartados, uno dedicado a lo que nacionalmente tiene relación con el proyecto y otro a lo internacionalmente.

### **2.9.1. Nacionales**

- La producción hidropónica de tomate según (Peña, Posada, & Monsalve, 2014) se da por existencia de factores limitantes del suelo, como salinización, agotamiento de la fertilidad natural y deterioro físico, esto conlleva a una búsqueda del mejoramiento de las tecnologías utilizadas para el desarrollo y la producción del mismo, Se llevó a cabo un ensayo en Chía (Colombia), en las instalaciones del Centro de Bio-Sistemas de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano donde se determinó el efecto de diferentes sustratos acondicionados. Este proyecto constituye una pauta para aplicar el proceso como el que se estudia en este trabajo.
- En (“Manual de usuario para el sistema automatizado de invernadero

hidropónico Página 1,” 2017) se realiza un guía para un invernadero donde se cultiva hidropónicamente, el proyecto propone desarrollar un método automatizado para un ambiente compuesto que simule un invernadero hidropónico, se cumple el monitoreo e inspección de las variables de humedad, luminosidad, temperatura, CO<sub>2</sub> y pH; para ello se uso una placa de Arduino, a la placa se conectan los sensores y actuadores del sistema automatizado que funcionan bajo un programa diseñado según los requerimientos del invernadero.

### **2.9.2. Internacionales**

- Según (Vasconez & Chamba, 2013) se diseñó e implemento un sistema de riego automatizado y controlado de forma inalámbrica para una finca ubicada en el sector popular de Balerio. Para este sistema automatizado se aplicó la electrónica de los sistemas domóticos ya que éstos son los que permiten realizar tareas de control dentro y fuera del hogar. El proyecto uso un Microcontrolador 16F877A que es el que realiza toda la operación de control del sistema de riego, y la programación se realizó con el software microcode studio plus. El sistema cuenta con 2 sensores de nivel de agua, el uno ubicado en el reservorio de irrigación y el otro en un pozo localizado a 170 m de distancia de la zona de cultivo que es donde se bombea el agua, estos controlan los niveles del reservorio y pozo, y el encendido de esta bomba es por comunicación inalámbrica, utilizando los módulos XBee pro ya que la distancia entre estos es larga. También se generan alertas por medio de un modem GSM ME3006, que se utilizó para generar mensajes de texto cada vez que el sistema de riego se encuentre activo y esta información sea recibida por el o los usuarios que lo requieran.

- El autor de este artículo (Gallegos, 2017) enfatiza el uso de IoT en un diseño de sistema de control automatizado con sistemas embebidos, aplicaciones móviles y el internet de las cosas, aporato la importancia de como cada instrumento, dispositivo u objeto de uso cotidiano puede estar interconectado por medio de internet, de modo que permita ser monitoreado y/o controlado desde cualquier lugar en tiempo real. En ese artículo se muestra como por medio de una aplicación o interfaz mediante Internet se conecta a una base de datos la cual recibe parámetros desde un sistema embebido acerca del proceso que se está controlando y es capaz de gestionar variables del sistema en tiempo real. Con base en lo anterior se logró entender aspectos importantes para desarrollar el presente proyecto y se muestra en la figura 10 un resumen del sistema de control.



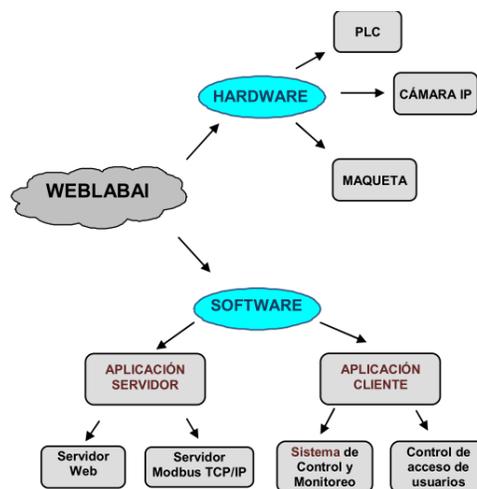
**Figura 10: Resumen del sistema completo de control descrito en el artículo.**

**Fuente:** (Gallegos, 2017)

- En (Valera, Soriano, & Vallés, 2014) presenta una plataforma de bajo coste

multidisciplinar que permite cubrir diferentes cuestiones relacionadas con la realización de trabajos prácticos relacionados con el control automático.

- Este trabajo (Laboratorio Remoto de Automatización Industrial) presenta un laboratorio remoto que permite a los alumnos interactuar y realizar, desde Internet, prácticas de automatización y control de procesos. (De la Cruz, Díaz-Granados, Zerpa, & Giménez, 2010). En resumen, realizaron una plataforma web con la cual manipulaban variables en tiempo real localizadas en proyectos que se encontraban el en laboratorio. “La interacción de un computador servidor, un Controlador Lógico Programable o PLC y una cámara IP permite el control y monitorización remota de una maqueta que simula un proceso de fabricación de alimentos.” y la figura 11 describe el esquema.



**Figura 11: Esquema general del proceso descrito en este artículo.**

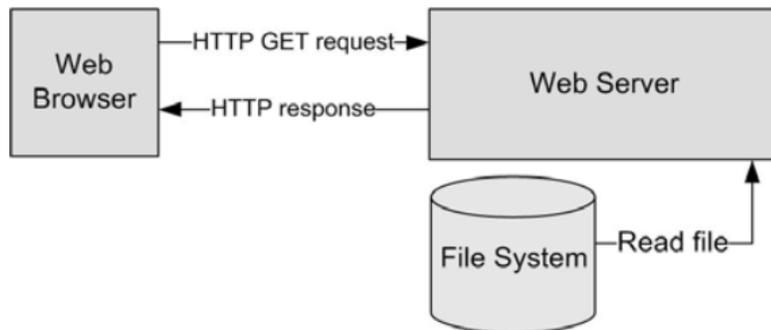
**Fuente:** (De la Cruz et al., 2010 figura 1).

- La cuestión en el artículo (Huang & Nassar, 1984) es que los factores climáticos y culturales apropiados requeridos para producir cultivos hidropónicamente podrían ser proporcionados por el flujo de aire y los

controles ambientales disponibles en el sistema de invernadero considerado. Control del medio ambiente en invernadero también hace referencia al uso de la energía solar que podría ser utilizada de forma efectiva para calentar la solución de nutrientes con un sistema de paneles solares absorbentes de calor junto con el sistema de control. En conclusión, se muestra lo que se conoce como control de clima en espacios reducidos para producción en este caso de algún alimento.

- Al mirar la importancia de las variables en cuestión (Domingues et al., 2012) diseña un sistema completamente administrado por un software hecho en laboratorio. Monitorea la conductividad y el pH durante 24h durante todo el ciclo de producción. Además, permite ajustar automáticamente cualquier variación, a través de válvulas solenoides que dispensan soluciones de ácido / base o nutrientes. Es importante ya que con esta información se determina que, en hidropónico, el crecimiento depende de la composición de la solución nutritiva diseñando un Sistema automatizado para controlar el pH y la concentración de la solución de nutrientes evaluada en la producción de lechuga hidropónica.
- En este artículo (Bacterias y hongos beneficiosos en sistemas hidropónicos: tipos y características de los métodos de producción de alimentos hidropónicos.) se muestra la importancia de culturizarnos con este tipo de cultivos. Aquí el objetivo de esta revisión es presentar información sobre los sistemas hidropónicos, que incluye: los diferentes tipos y métodos de operación; tendencias, ventajas y limitaciones, el papel de las bacterias y hongos beneficiosos en la reducción de las enfermedades de las plantas y la mejora de la calidad y la productividad de las plantas.(Lee & Lee, 2015)

- Este documento describe un desarrollo de un servidor web ligero que se ejecuta en hardware limitado recursos de un sistema integrado. El servidor web aloja páginas web estáticas, habilita la transferencia de archivos HTTP y admite la comunicación de entrada / salida. ver figura 12 (Legat, 2008)



**Figura 12: diagrama de transferencia cliente servidor. En un servidor web alojado en el sistema embebido.**

**Fuente: (Legat, 2008 figura 4).**

- Las sequías persistentes, el crecimiento de la población y las consecuencias del cambio climático imponen severas restricciones sobre agricultura en muchas regiones.(Severino et al., 2018) generalizando lo que se propone en este documento es el IoT como herramienta para combinar la programación del riego con la geoestadística de los suelos para que se evalúe y controle los riesgos ambientales asociados con el uso de agua reciclada, diseñando una red autónoma de sensores que recopile datos sobre la humedad del suelo y la concentración de contaminantes disueltos. En estos riegos se propone utilizar agua reciclada y así mejorar los suelos para realizar agricultura todo dentro de un marco de las IoT.

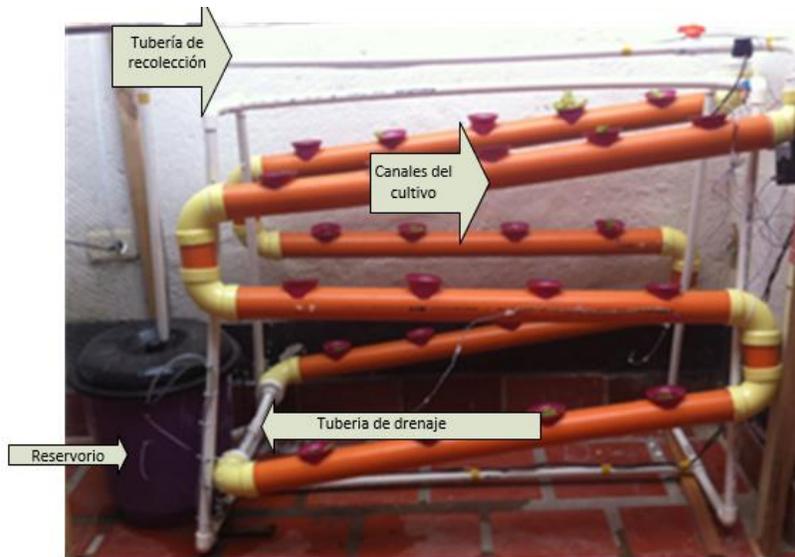
### **3. Estudio y Modelado del sistema.**

#### **3.1. Estudio del sistema**

Al estar enfocado en cultivos hidropónicos se dio la tarea de investigar sobre estos encontrando algo que fuese amigable con el medio ambiente, resultando de ello un sistema NFT (Nutrient Film Technique) descrito a continuación:

Según este manual (Carrasco & Izquierdo, 1996) el NFT (la técnica de la película de nutriente) es un sistema hidropónico que consiste en la circulación constante o intermitente de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo, no existiendo pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye en un sistema de tipo cerrado. A diferencia del sistema propuesto para las huertas hidropónicas populares, las plantas se cultivan en ausencia de sustrato, por lo cual las plantas se encuentran suspendidas en canales de cultivo con o sin un contenedor de soporte.

Otra característica del sistema, es la necesidad de contar con una pendiente o desnivel de la superficie de cultivo, ya que, por medio de ésta, se posibilita la recirculación de la solución nutritiva como se muestra la figura 13:



**Figura 13: Sistema NFT**

**Fuente: Diseño propio.**

El sistema básico "NFT" (Figura 13) se constituye de cinco elementos iniciales básicos para el funcionamiento:

- Reservorio
- Canales de cultivo
- Bomba
- Red de distribución o tubos de llenado.
- Tubería colectora o tubos de drenaje.

Descripción de los elementos:

- Reservorio: El estanque colector tiene por función almacenar la solución nutritiva a través del período de cultivo. Existe una gran gama de tipos de contenedores que pueden utilizarse como estanques colectores de solución nutritiva.

- Canales de cultivo: El sistema "NFT" se caracteriza por no utilizar ningún tipo de sustrato, sino por el contrario, es un sistema estrictamente hidropónico, o sea, se cultiva directamente en agua con sales minerales disueltas. Así, al no contar con un medio sólido de sostén, éste es brindado a las plantas por el tipo de contenedor utilizado como también por el canal de cultivo, el cual permite la sujeción de las plantas.
- Bomba: Corresponde a uno de los componentes claves del sistema, el cual requirió una preocupación especial no sólo en cuanto a su elección, sino también a su operación. Su función es impulsar permanentemente la solución nutritiva desde el reservorio hasta la parte alta de los canales de cultivo.
- Red de distribución o tubos de llenado: La solución nutritiva es distribuida a través de una red compuesta por tuberías de PVC desde la bomba impulsora hacia la parte superior de los canales de cultivo.
- Tubería colectora: La tubería colectora recoge la solución nutritiva desde los canales de cultivo y la lleva de retorno hacia el estanque.

El cultivo que se sembró fue de lechuga, es una hortaliza de hoja típica de ensaladas, actualmente aunque se puede encontrar de forma silvestre, la mayoría de las variedades de lechuga que se cultivan comercialmente son producto de la hibridación según datos de la tesis (Tlahque, 2011).

Esta hortaliza es un cultivo que se adapta mejor a las bajas temperaturas que a las altas según el estudio “Valoración productiva de lechuga hidropónica con la técnica de película de nutrientes (nft)” (Jaques & Luis, 2005). Ellos también determinaron que las temperaturas óptimas para el crecimiento son de 18 a 23°C durante el día y de 7 a 15°C durante la noche, como temperatura máxima se pueden considerar los 30°C y como mínima puede soportar temperaturas de hasta -6°C. Tiene un

requerimiento de agua relativamente alto, y la humedad relativa para su mejor desarrollo es de 60 al 80% aunque puede tolerar menos del 60%, la solución nutritiva que se uso se denomina SOLUTEC la cual a ser soluble en agua se adapta a este tipo de cultivos.

### **3.2. Modelado del sistema.**

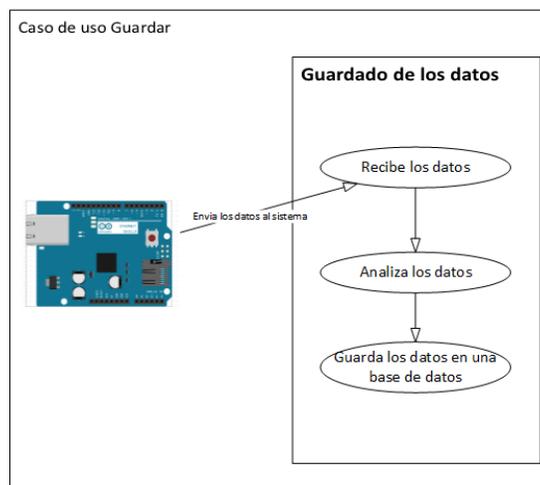
Se plantea el modelado de un sistema de información que servirá para la recolección de datos y construcción de una plataforma web con la cual se puede monitorear el cultivo, a continuación, se muestran los procesos que determinan lo que esta va hacer este sistema:

El sistema va a:

- Guardar los datos
- Mostrar los datos
- Eliminar los datos

Para ello se muestra a continuación haciendo uso de UML para el modelado los casos de uso de cada proceso:

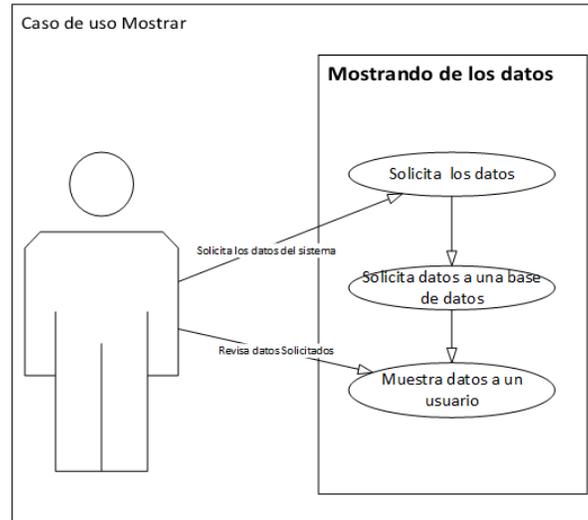
- Casos de uso.
  - Caso de uso Guardar



**Figura 14: Caso de uso Guardar.**

Para este proceso el actor que como se ve en la figura 14 es la placa, envía los datos a el servidor quien los analiza y los guarda en una base de datos.

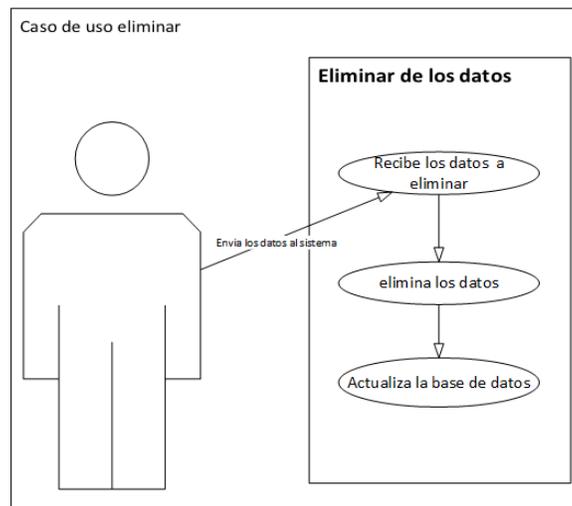
- Caso de uso Mostrar



**Figura 15: Caso de uso Mostrar.**

En este proceso el usuario hace la solicitud de los datos o registros que quiera ver al sistema quien de inmediato hace la solicitud al servidor de base de datos devolviendo este un resultado que es lo que es usuario visualiza.

- Caso de uso Eliminar



**Figura 16: Caso de uso Eliminar.**

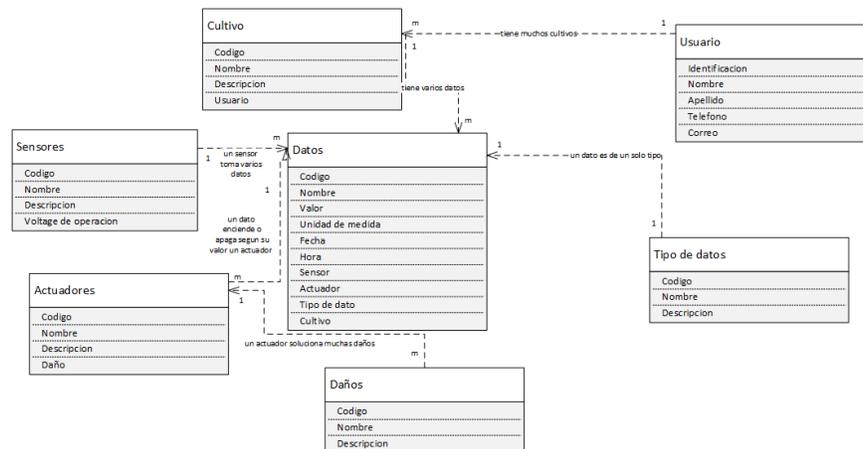
Como sabemos este proyecto usa un sistema embebido como servidor el cual tiene recursos que son limitados y para ello este proceso permite ir limpiando archivos que ya no se necesitan de tal manera que el usuario es quién los analiza y determina si los borra o no.

Para este modelo de este sistema se tuvo en cuenta también las variables que este envolvía, el tratamiento de plantas en cultivos urbanos más específicamente en cultivos hidropónicos tiene en cuenta los siguientes factores:

- Temperatura (del ambiente y agua).
- Humedad (de la raíz y el ambiente).
- PH de la solución para riego.
- El nivel del reservorio.
- Precipitación.

Partiendo de la anterior describo un modelo general del cultivo hidropónico, este compuesto por sensores actuadores y variables representados en clases mostradas en Diagrama de clases de la figura 17.

Diagrama de clases



**Figura 17: Descripción de las clases (diagrama de clases del cultivo).**

- Descripción de los elementos del modelo:
  - Los sensores: son los dispositivos que toman los datos directamente del cultivo, ellos se proporciona el nombre, la marca y tipo del sensor, descripción, el voltaje de operación y el tipo de señal que usa.
  - Las variables o datos: son aquellas con que se envuelve el cultivo, estas tienen en común su nombre, su valor, la unidad de medida, rango de operación, descripción y el sensor que requiere.
  - Actuadores: son dispositivos que toman algún estado según lo requiera el sistema, este puede ser encendido o apagado según requieran las alteraciones en las variables. Se define su nombre, estado y descripción.

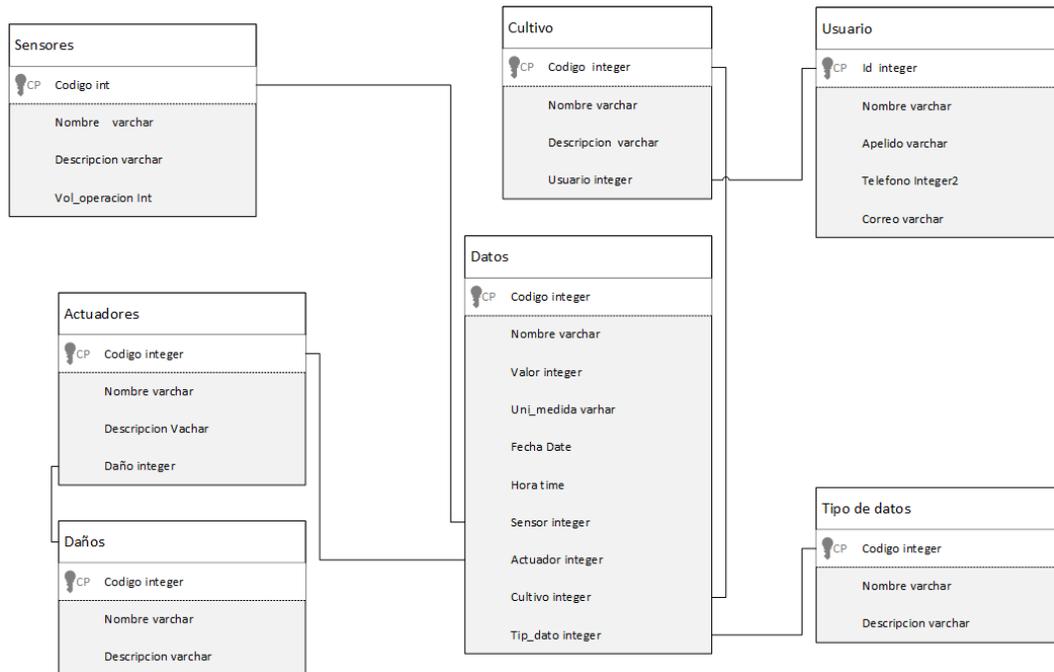
- Daños (alteraciones que pueden presentar las variables): son aquellos problemas que puede presentar el cultivo y que se solucionan con la presencia de actuadores.

Después de identificar el sistema y mostrando a grandes rasgos de que se compone y como funciona, se pasó a construir una base de datos que permita recolectar información para que pueda ser mostrada en tiempo real a un cliente remoto del sistema por una plataforma, y así estar al tanto del cultivo, también para que permita tener registros de todo lo que valla sucediendo.

Del cultivo se va a guardar datos importantes como los del Ingeniero operador para así identificarlo y darle acceso a la plataforma, también datos meteorológicos como temperatura y humedad en el ambiente, fecha y la hora, los cuales permiten determinar diferentes factores en el cultivo como daños en este caso por heladas y quemaduras de las plantas. También se registrará la humedad promedio de las raíces las cuales permitirán determinar algún error de riego o de sensores, el pH y la temperatura del agua también serán factores los cuales se registrarán y permitirán determinar cómo y cuándo se aplicarán nutrientes al cultivo.

Con toda esta información registrada lo que se busca es que el sistema en monitoreo se mantenga firme y unido a la automatización se contribuya a la estabilidad del mismo

Seguidamente y ya determinando las clases diseñamos el siguiente modelo ER(Entidad/Relación):



**Figura 18: Modelo Entidad/Relación.**

Este permitió codificar la base de datos usando el motor PostgreSQL y conectados después a él guardar los datos que se requieren.

#### **4. Caracterización de las placas, sensores y definición de sistema de comunicación.**

Para entender más sobre estas los sistemas embebidos en este capítulo describió todo lo relacionado con los usados en este proyecto, también definiendo sus características, especificaciones y su relación con sensores y actuadores los cuales también se describen acá.

Aportando a este proyecto es importante saber que los sistemas embebidos a pesar de no ser muy escogidos están en muchas partes, en realidad, es difícil encontrar algún terminal cuyo funcionamiento no esté basado en alguna placa, desde carros hasta celulares e incluso en algunos electrodomésticos comunes como refrigeradores y hornos de microondas, estas son unas de las placas utilizadas en este proyecto:

##### **4.1. Placas (Sistemas embebidos)**

- Raspberry pi 3

Su semblante es el de una placa base en miniatura como se muestra en la figura 19. Pero es mucho más, ya que integra todos los componentes necesarios para su correcto funcionamiento, un hardware tan flexible como Raspberry Pi requiere de un software que se comunique bien con él y permita hacer de todo, y ahí entra el sistema operativo a hacer parte de una maravilla.

Por defecto, los responsables de Raspberry Pi recomiendan su propio sistema, Raspbian, una versión de Debian Linux adaptada y que por supuesto utilizamos acá en este proyecto.



**Figura 19: Raspberry pi 3.**

Esta placa permite en este proyecto ajustar el servidor donde funciona la plataforma que muestra los datos en tiempo real, en ella también funciona el motor de bases de datos y a ella es donde el usuario se conectara remotamente.

**Tabla 1: Características de la Raspberry pi modelo B.**

Característica	Especificación
Procesador	Cuatro núcleos a 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
RAM	1 GB
Ethernet	100 Base Ethernet
Wifi	Si, Low energy (BLE) on board
Bluetooth	Si, Low energy (BLE) on board
GPIO	40 Pins
Puertos USB	4 USB, 2 puertos
HDMI	Si

Puerto para cámara Raspberry	Si
Puerto para display Raspberry	Si
Puerto Micro SD	Si
Alimentación Micro USB	Si, a 2.5A

- Wemos D1

Wemos D1, compatible con Arduino UNO y con una cualidad especial, integra un módulo Wi-Fi ESP8266, el cual permite la conexión de la misma a internet.



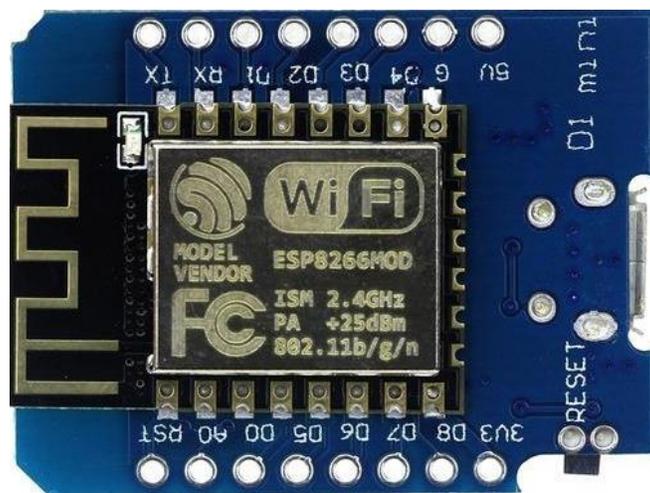
**Figura 20: Wemos D1.**

**Tabla 2: Características de la Wemos D1.**

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
Voltaje de operación	3.3V
Digital I/O Pins	11
Pines de entrada analógicos	1 (voltaje máximo de 3.2V)
Pines PWM	11
Comunicación I2C	Si
Velocidad de reloj	80Mhz/160Mhz
Corriente por pin	20 mA

- Wemos d1 mini

Es una placa bastante minúscula(pequeña) y con muy buen aspecto ideal en este proyecto para conectar sensores y enviando datos a través de WIFI.



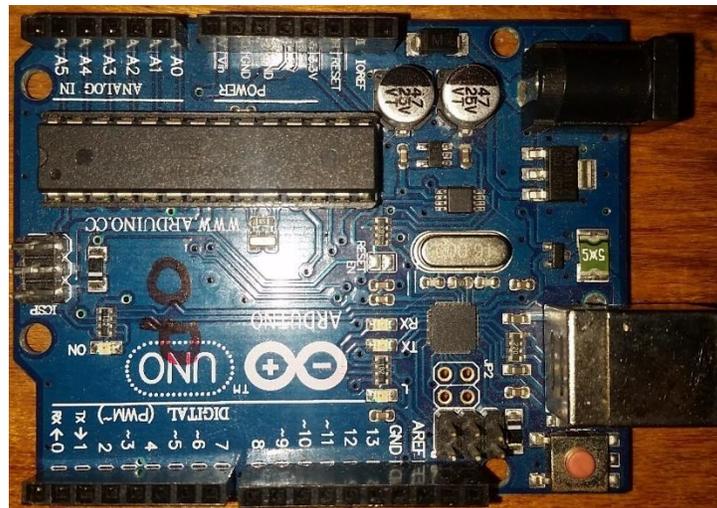
**Figura 21: Wemos D1 mini.**

**Tabla 3: Características de la Wemos D1 mini.**

Característica	Especificación
Voltaje de operación	3.3V
Digital I/O Pins	11
Pines de entrada analógicos	1 (voltaje máximo de 3.2V)
Pines PWM	11
Comunicación I2C	Si
Velocidad de reloj	80Mhz/160Mhz
Corriente por pin	20 mA

- Arduino uno.

Arduino es una plataforma de electrónica de código abierto basada en hardware fácil de usar incluyendo las 2 anteriores. Las placas Arduino pueden leer señales de entrada y convertirlas en una salida, activar un motor, encender un LED.



**Figura 22: Arduino uno.**

**Tabla 4: Características principales del Arduino uno.**

Característica	Especificación
----------------	----------------

Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada	7V a 12V
Digital I/O Pins	14
PWM digital I/O Pin	6
Pines de entrada analógicos	6
Corriente por Pin	20mA
Velocidad de reloj	16Mhz

## 4.2. Sensores y actuadores

Esta sesión hace una breve descripción de los sensores y actuadores que permitieron tanto la recolección de datos como la automatización de procesos en el cultivo. A continuación, se muestra cada uno con sus respectivas características descritas en tablas.

- **Sensor de Humedad del suelo.**



**Figura 23: Sensor de humedad de suelo.**

**Tabla 5: Características del sensor de humedad de suelos.(Moisture Sensor Datasheet, n.d.)**

Característica	Especificación
----------------	----------------

Voltaje de trabajo	5V
Corriente de operación	$\leq 20\text{mA}$
Tipo de señal de salida	Análoga-Digital
Temperatura de trabajo	10°C a 30°C
Peso	3g
Tamaño	63mmx20mmx8mm
Compatible con Arduino	Si
Sensibilidad	Alta
Señal de voltaje de salida	0V ~ 5v (Rango analógico de 0 a 1023)
Profundidad máxima	37mm

- **Sensor de Humedad y temperatura ambiente**



**Figura 24: Sensor de humedad y temperatura ambiente.**

**Tabla 6: Características del sensor de humedad y temperatura ambiente.(Hartono et al., 2010)**

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
Voltaje de Trabajo	$3V \leq V_{cc} \leq 5V$
Rango de medición de temperatura	0°C a 50°C
Precisión de medición de temperatura	+2°C
Resolución de temperatura	0.1°C
Precisión de medición de Humedad	4% RH
Resolución de Humedad	1% RH
Rango de medición de humead	20% a 90% RH
Dimensiones	15.5mm x 12mm x 5.5 mm
Tipo de señal de salida	Analógica y Digital
Compatible con Arduino	Si
Señal de salida de voltaje	0V ~ 5V (Rango analógico de 0 a 1023 )

- **Sensor de precipitaciones.**



**Figura 25: Sensor de precipitación.**

**Tabla 7: Características del sensor de precipitaciones.**

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
Voltaje de trabajo	3.3V $\leq V_{cc} \leq$ 5V
Corriente de operación	$\leq$ 20mA
Tipo de señal de salida	Análoga-Digital
Temperatura de trabajo	10°C a 30°C
Peso	6g

Tamaño de PCB	32mm x 14mm
Tamaño de celda	50mm x 40mm
Compatible con Arduino	Si
Sensibilidad	Alta
Chip comparador	LM393
Señal de voltaje de salida	0V ~ 5v (Rango analógico de 0 a 1023)
Profundidad máxima	37mm

- **Sensor HC-SR04.**



**Figura 26: Sensor de ultrasonido hc-sr04.**

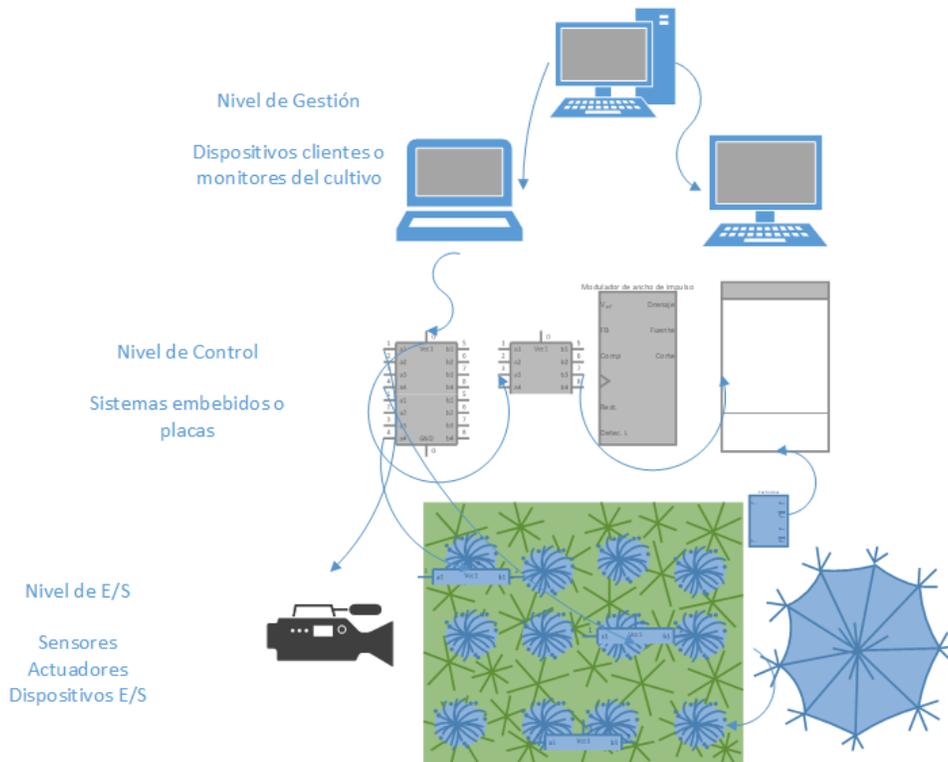
**Tabla 8: Características del sensor HC-sr04.**

<b>Característica</b>	<b>Especificación</b>
Voltaje de alimentación	5V
Corriente de consumo	$\leq 2\text{mA}$
Angulo eficaz	15°
Rango de medición	2cm a 500 cm
Resolución	0.3cm

### 4.3. Definición del sistema de comunicación usado en el proceso de colección de datos en el cultivo.

La IoT hace que mediante la recolección, agregación y uso inteligente de los datos se ofrezca una mejor calidad de vida a sus residentes, siempre desde la eficiencia. El concepto de IoT apunta a una red basada en datos obtenidos a partir de la interconexión online de objetos físicos, conceptos descritos en el capítulo 2 de este proyecto, en este caso en particular de sistemas embebidos que colectan información de un cultivo hidropónico y lo llevan a la web mostrándolo al usuario final para su monitoreo constante.

Pero el desarrollo de este proyecto da la necesidad del diseño de una red de conexiones, asemejando esto a el concepto de una red industrial se diseña una red que me permita comprender las uniones de la misma, en la figura 27 se muestra un esquema general de la red utilizando como referencia los niveles de una red industrial.



### **Figura 27: Niveles de Red industrial del cultivo.**

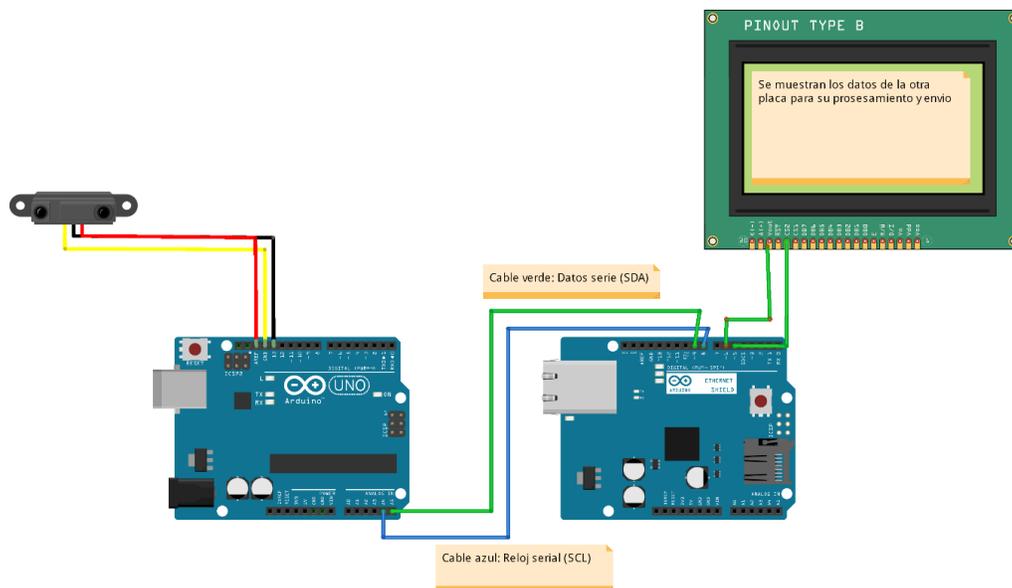
Los tres niveles anteriores son los que conforman la red, el nivel de E/S se compone de los sensores, actuadores y demás que son los encargados de tomar directamente los datos del cultivo, seguidamente en el nivel de control se encuentran las placas (sistemas embebidos) las cuales transforman los datos transmitidos por los sensores en un lenguaje más entendible por el usuario con algoritmos diseñados para ello, seguidamente en el nivel de gestión ya los datos los cuales se muestran por medio de una plataforma son vistos y tratados por el usuario o de manera automática según el caso haciendo así participe en el sistema los actuadores del nivel de E/S.

- Comunicación entre placas y el servidor.

Para el montaje de servidor se utilizó un sistema embebido llamada Raspberry pi 3 con conectividad WIFI y BT(blueetooth), capaz de ejecutar un S.O. en tiempo real y de mantener un servidor en línea instalado por el usuario, también sistemas embebidos descritos todos en el capítulo 4 como son las tarjetas Arduino uno, wemos D1, y wemos D1 mini, las dos últimas con un controlador capas de conectarlas a la red de forma inalámbrica

.Requiriendo el sistema toma de datos análogos más que digitales se determinó el uso de la tarjeta Arduino UNO específicamente pues consta de 5 puertos análogos en ventaja de las Wemos que solo traen 1, como esta tarjeta no trae ningún controlador para conectarla a la red se utilizó un protocolo de comunicación entre dispositivos llamado I2C, que lo que admite es enviar datos de una placa a otra por medio de canales de comunicación, en la figura 28 se describe la comunicación entre placas usando I2C.

Convirtiendo de esta manera una de las placas en esclava de la otra, la comunicación consiste en un bus que determina el canal de identificación de la placa maestra y el otro para enviar los datos. Resumiendo, se hizo esto pues la placa maestra en este caso la wemos permite enviar los datos procesados por la placa esclava (Arduino) a la red por medio de su modulo wifi.

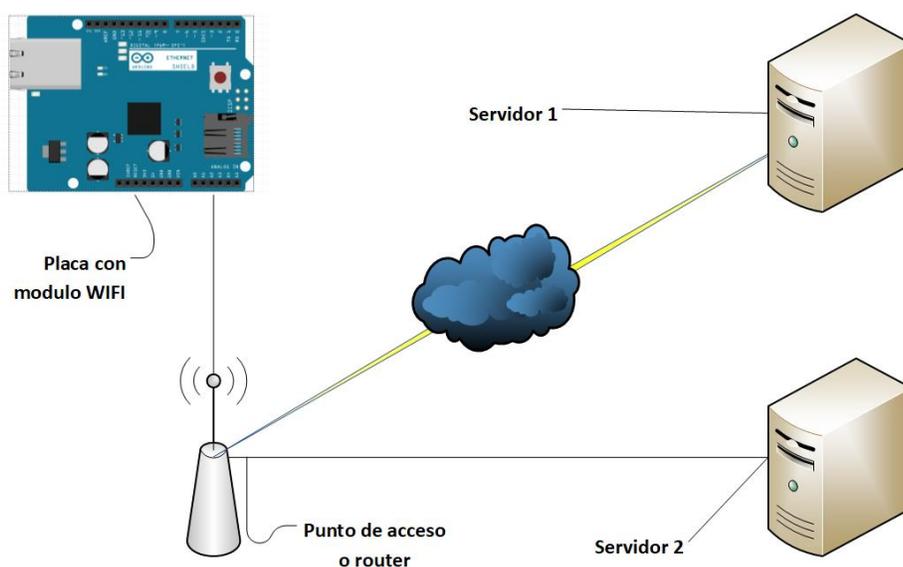


**Figura 28: canales y cables de comunicación I2C Arduino y Wemos.**

**Diseño Propio.**

- Comunicación de las placas con el servidor

Como se ha descrito en este proyecto se hizo el uso de unas placas (sistemas embebidos) las cuales unas de ellas presentan una característica muy ventajosa primero que son compatibles con Arduino y con una calidad especial, integran un módulo Wi-Fi ESP8266. Este módulo permite que los resultados que dan los procesos que hace la placa los podamos compartir en la red a un servidor, este asunto se desarrolla programando el sistema embebido y definiendo parámetros como la red a la que se quiere conectar y la dirección del servidor al cual queremos enviar los datos para su gestión.



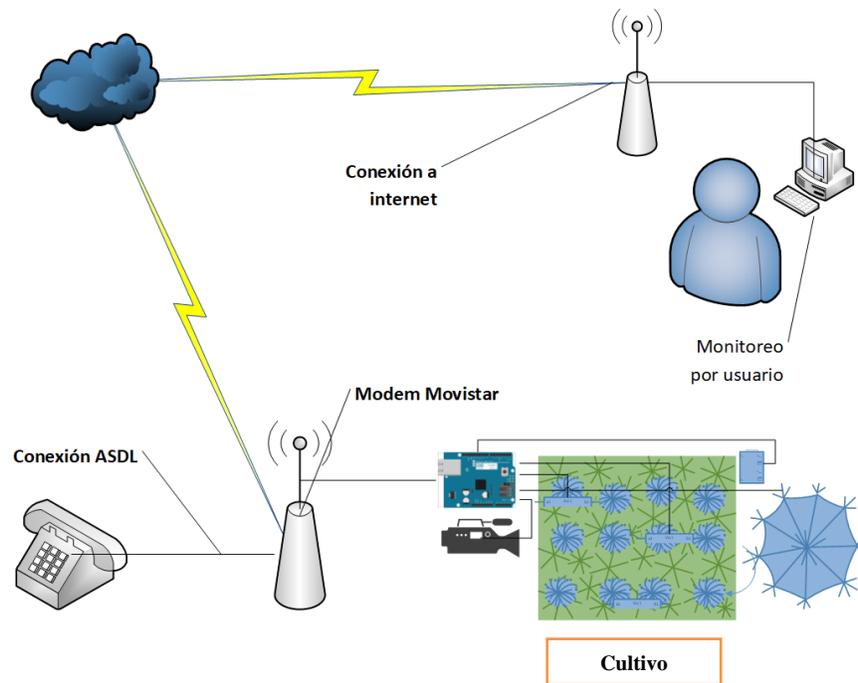
**Figura 29: formas de comunicación Placas-Servidor. Diseño Propio.**

El diagrama anterior de la figura 29 muestra dos maneras las cuales se puede usar para conectar el sistema embebido al servidor. Se ven dos tipos de servidores uno local (servidor 2) y otro externo (servidor 1 en internet) y lo que sucede es que esta conexión depende de cómo se diseñe el sistema en general, en este caso en específico para el cultivo se uso una conexión como la del servidor 2 pues el servidor es un sistema embebido el cual hace parte del cultivo, lo que no descarta la posibilidad de usar la otra en proyectos afines.

Como este proyecto contemplo la idea de que el cultivo fuese monitorizado de manera remota desde cualquier lugar se hizo necesario la adquisición de un espacio en la nube para lo que se requirió de una IP publica que proporcionó el proveedor de servicio de internet, se utilizó una línea de la empresa de movistar y un servidor DNS gratuito el cual permite usar la IP publica de la línea sin tener que pagar excedentes y asignarle un Nombre o dominio para identificarlo en la nube.

De forma más entendible este contexto para poder navegar en internet y colocar nuestro servidor allí se hace necesario tener una puerta de entrada y salida (IP publica) de tal manera que podamos tener acceso desde la nube al servidor y como lo que queremos es que los datos del cultivo puedan ser vistos de forma remota vamos a describir la forma de construir las conexiones que permitan hacerlo.

Existen varias formas de conectarnos a la nube esto depende en que ámbito y cobertura se encuentre el que quiera conectarse, este proyecto se desarrolló con conexión ADSL, en la figura 30 se muestra el diagrama de conexión:



**Figura 30: Modelo de conexión ADSL. Diseño Propio.**

Siendo esta la opción escogida para este proyecto por su fácil y rápida adecuación con el prototipo en la zona urbana de Pamplona, se contó con un internet de banda ancha de 5Mb, esta es una conexión ADSL la cual según (Fernández, 2013) tesis sobre la evolución de este tipo de tecnologías, consiste en una tecnología asimétrica que proporciona mucho más caudal en el canal descendente, de la red hacia el usuario, que en ascendente, del usuario a la red. Esto se realiza dividiendo el ancho de banda del par de cobre en tres secciones, usando técnicas de multiplexación por división en frecuencia, una para el servicio telefónico, otra para el canal ascendente y otra para el canal descendente.

El uso de esta línea permite que podamos enviar y traer datos de la red en este caso datos de nuestro cultivo, Ofrece una capacidad hacia el usuario (Descarga) de hasta 8 Mbps, y desde el usuario hacia la red (Carga) de hasta 1 Mbps, usando un solo par de cobre de hasta 4 Km.

## 5. Diseño, construcción, pruebas y análisis de resultados.

### 5.1. Diseño y construcción

Esta sección del capítulo 5 hace referencia al diseño y construcción del prototipo el cual consistió en un cultivo hidropónico basado en el sistema NFT como se explica en el capítulo 3 (Estudio del sistema), para este se utilizó material PVC y pegamento especial para evitar fugas de agua dando como resultado lo que se muestra en la figura 31.



**Figura 31: Estructura del prototipo. Diseño Propio.**

El prototipo cuenta con todas las características tiene su nivel de caída de 5°, su reservorio, bomba para recircular el agua, canales de cultivo, tubos de llenado y de drenaje.



**Figura 32: Bomba y Reservorio. Diseño Propio.**

Después de pruebas de recirculación de agua y revisión de si existía alguna fuga, se dio paso al sembrado de las plantas utilizando un material de soporte llamado oasis más conocido técnicamente como espuma floral, las plantas en este sistema requieren de un soporte que replacen la tierra porque cuando salen de su proceso de germinación todavía no se sostiene por si solas utilizando el oasis y un vaso plástico como se ve en la figura 33 logrando que se sostengan y que este material las mantenga húmedas.



**Figura 33: Soporte de planta. Diseño Propio.**

Este tipo de cultivos necesitan un espacio el cual tenga una buena ventilación y limpio el cual después de construido se adaptó en un sitio con esas características, dando resultados como se muestra en la figura 34.



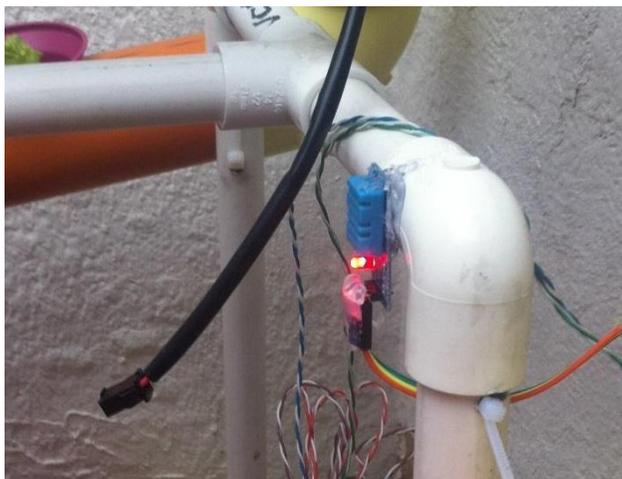
### **Figura 34: Resultado de Cultivo hidropónico. Diseño Propio.**

- Aplicación de sensores según las variables que estos cultivos relacionan en su entorno.

Como se muestra en el estudio que se encuentra en el capítulo 3, las variables a tratar en este cultivo son Temperatura, Humedad, PH y precipitación y con esto determinamos los sensores a usar que también se describen en el capítulo 4 de este proyecto. Las figuras a continuación muestran cómo se instalaron los sensores:



**Figura 35: Sensor de Detección de precipitación o lluvia. Diseño Propio.**

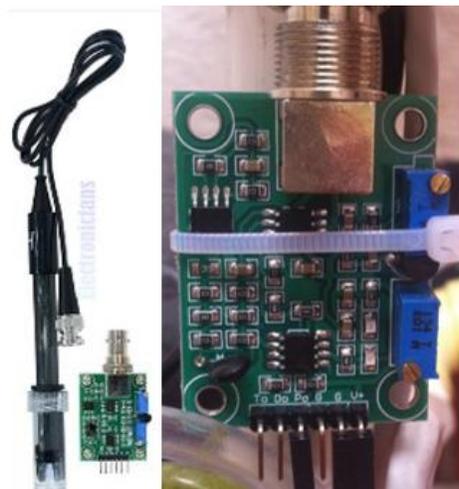


**Figura 36: Sensor de del ambiente. Diseño**

**Temperatura y humedad Propio.**

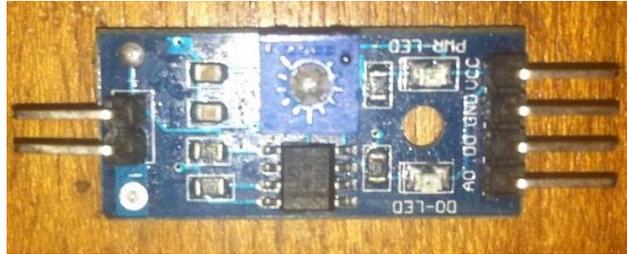


**Figura 37: Sensor de humedad de suelo implementado en soporte de sostenimiento. Diseño Propio.**



### **Figura 38: Sensor PH implementado en reservorio. Diseño Propio.**

Cabe resaltar que unos de los sensores usados en este proyecto se complementan de una pequeña placa de calibración como la que se muestra en la figura 39, más exactamente los de precipitación y Humedad de suelo.



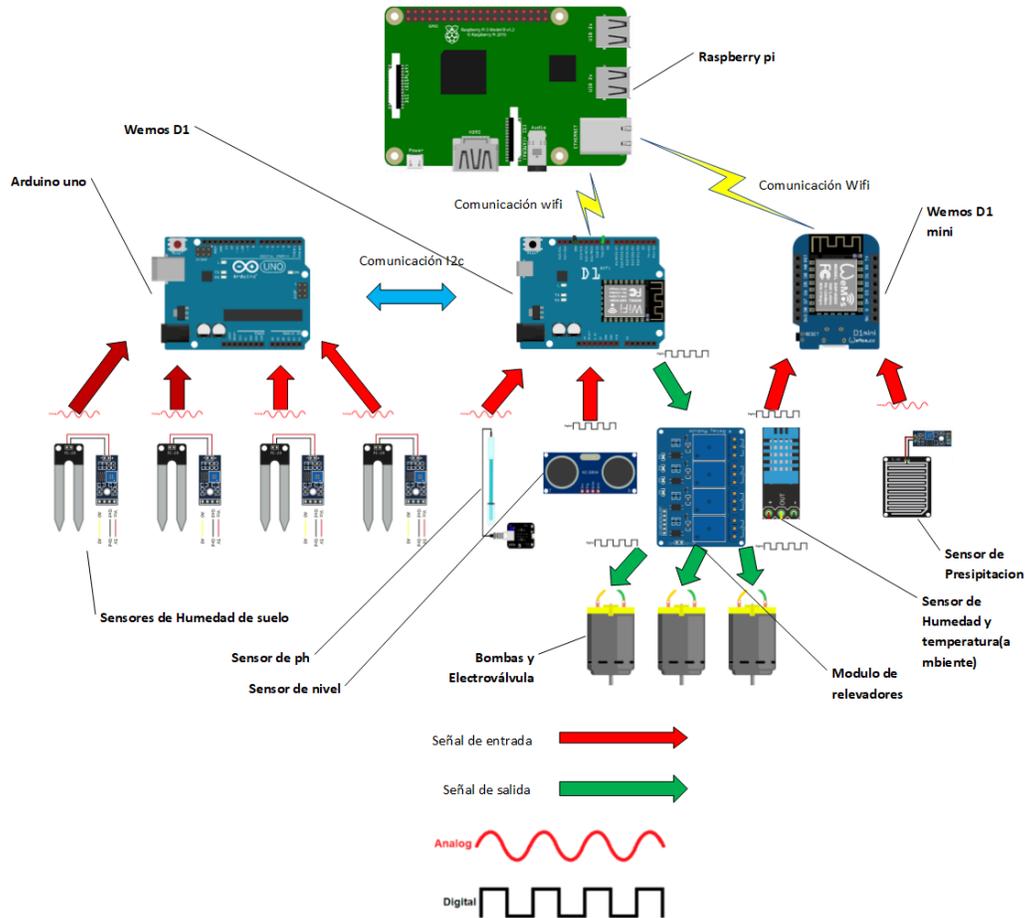
### **Figura 39: Calibrador (Intermediario entre el sensor y el sistema embebido). Diseño Propio.**

La función principal de este es calibrar la sensibilidad con la cual el sensor funciona y define mediante pines el tipo de dato que queremos, podemos decidir si el dato que envía a la placa es análogo o digital. Por ejemplo, hay dos formas de tomar la precipitación con este intermediario, la primera sería definiendo si llovió o no llovió utilizando el pin digital escribiendo en la placa 1 o 0 respectivamente y la segunda la cual se uso es tomando valores análogos que van desde 0 a 1023 y de esta manera podemos definir lluvias fuertes, lluvias suaves y que no ha llovido también.

- Construcción de centro o panel de control

De acá en adelante inicia la construcción de un sistema de automatización que permite que el cultivo tome decisiones según la alteración de las variables que lo rodean. Las placas y componentes tienen una función específica, las cuales en

conjunto hacen que el sistema funcione, de acuerdo a esto en la figura 40 se muestra más específicamente la arquitectura del sistema, como se integran y como se desarrolló.



**Figura 40: Arquitectura eléctrica del sistema. Diseño Propio.**

Las flechas rojas y verdes indican señales de entrada y salida respectivamente, la azul la comunicación I2C entre las dos placas y lo demás son las conexiones inalámbricas con el servidor.

Los sensores toman los datos y estos son recibidos por las placa en señales digitales y análogas, en el caso del Arduino uno lo que sucede es que se recibe la humedad de suelo en cuatro partes estratégicas del cultivo para luego promediarla, teniendo

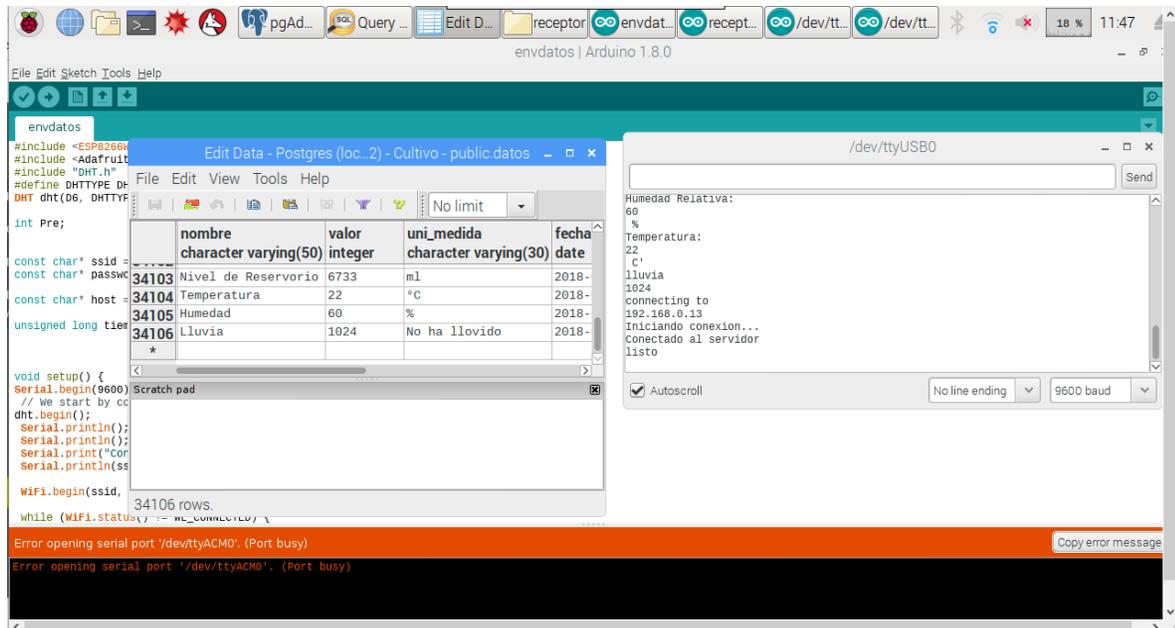
ese promedio se hace uso del protocolo I2C el cual permite comunicarnos con otra placa y enviarle los datos, el uso de este modo de comunicación y del Arduino Uno se implementó por la necesidad de tomar varios datos analógicos pues las demás placas cuentan solo con un puerto analógico a diferencia de esta.

Las otras dos placas como bien se describió anteriormente en otros capítulos tiene la posibilidad de enviar los datos al servidor por la conexión Wifi, de esta manera recibiendo datos de los sensores y del Arduino Uno todo trabaja en conjunto permitiendo la colección y envío a su destino.

Haciendo énfasis en los datos de salida se hace referencia a los actuadores que controlan el proceso, como se ve en la figura 40, los dispositivos de salida están conectados a un módulo de relevadores cuya función es permitirnos manejar en este proyecto diferentes corrientes por que los actuadores como tal funcionan unos con corrientes alternas y otros con corrientes directas.

- Pruebas de envío de datos al servidor

Las placas que están en funcionamiento se programaron con un software llamado Arduino IDE y tienen cargado un programa el cual permite procesar y enviar datos al servidor esta prueba consistió en revisar que los datos que estamos tomando en el cultivo hayan sido guardados en el servidor correctamente.



**Figura 41: Prueba de conexión y envío de datos (Servidor virtualizado).  
Diseño Propio.**

La figura 41 muestra el servidor virtualizado y en ella podemos ver 3 ventanas la del fondo que es el programa que se le cargo al sistema embebido las demás, una la de la derecha es el monitor serial que muestra el resultado de los datos que tomaron los sensores y la otra en la parte izquierda muestra la base de datos con el ultimo resultado guardado coincidiendo este con el último dato que se mostró en el monitor serial.

- Construcción de la plataforma

La plataforma es la herramienta que permite al usuario monitorear el cultivo, en ella se ven los valores de las variables en tiempo real, actualizándose cada periodo.

Esta plataforma web se encuentra en el servidor (Raspberry pi) para la construcción se instaló un servidor apache, motor de base de datos (PostgreSQL en este caso) y un lenguaje de programación web (PHP).

Basándonos en el modelado y en los procesos que desplegara la plataforma cuenta con un inicio de sesión (identificación del usuario) y tres interfaces generales, la primera es donde se muestra los datos en tiempo real (Mostrar datos) y se permite el monitoreo por parte del usuario.

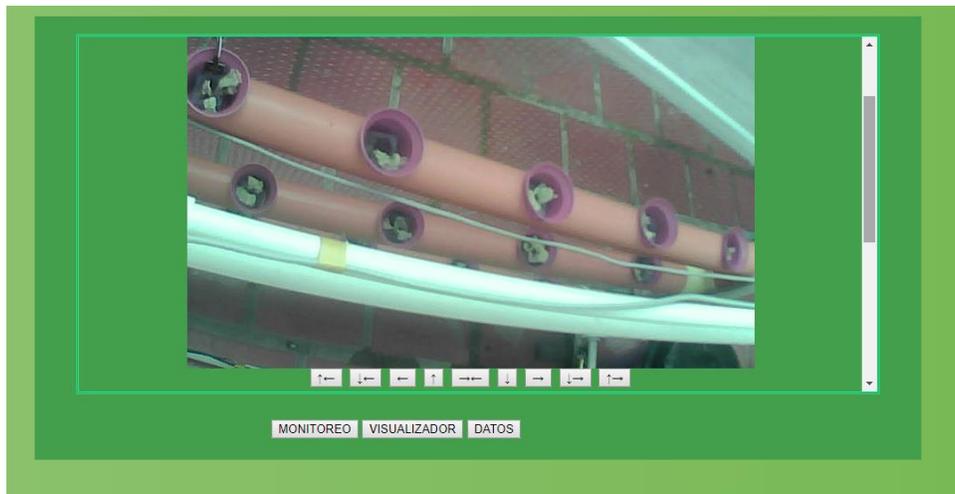


**Figura 42: Inicio de sesión**



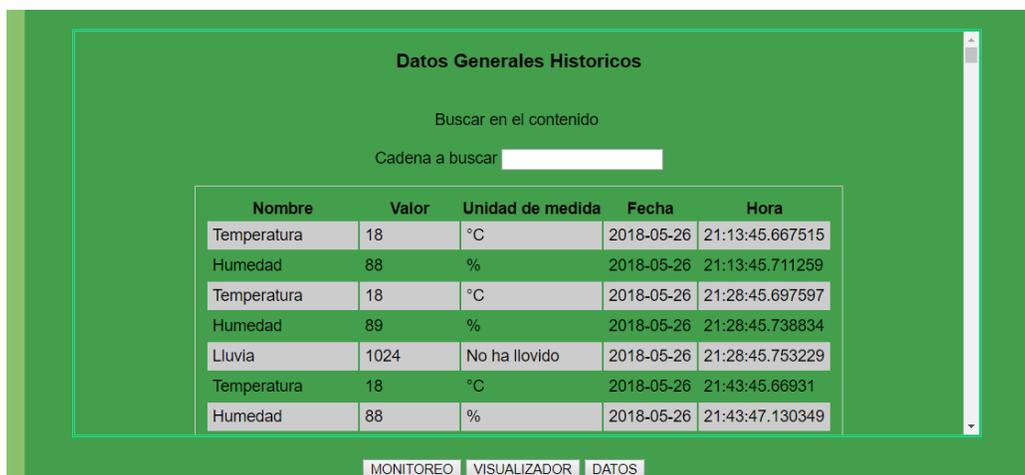
**Figura 43: Interface 1.**

La segunda es la visualización del cultivo por medio de una cámara conectada al sistema con el fin de ver cualquier anomalía y también de tomar imágenes que permitan determinar el crecimiento de la planta.



**Figura 44: Interfaz 2**

La tercera interfaz cuenta con la visualización de los datos guardados (Guardar y eliminar datos) y enviados desde las placas al servidor que permiten hacer un histórico de lo que ha sucedido en el sistema teniendo registro de ello y borrando lo que se crea que ya no es necesario.



Nombre	Valor	Unidad de medida	Fecha	Hora
Temperatura	18	°C	2018-05-26	21:13:45.667515
Humedad	88	%	2018-05-26	21:13:45.711259
Temperatura	18	°C	2018-05-26	21:28:45.697597
Humedad	89	%	2018-05-26	21:28:45.738834
Lluvia	1024	No ha llovido	2018-05-26	21:28:45.753229
Temperatura	18	°C	2018-05-26	21:43:45.66931
Humedad	88	%	2018-05-26	21:43:47.130349

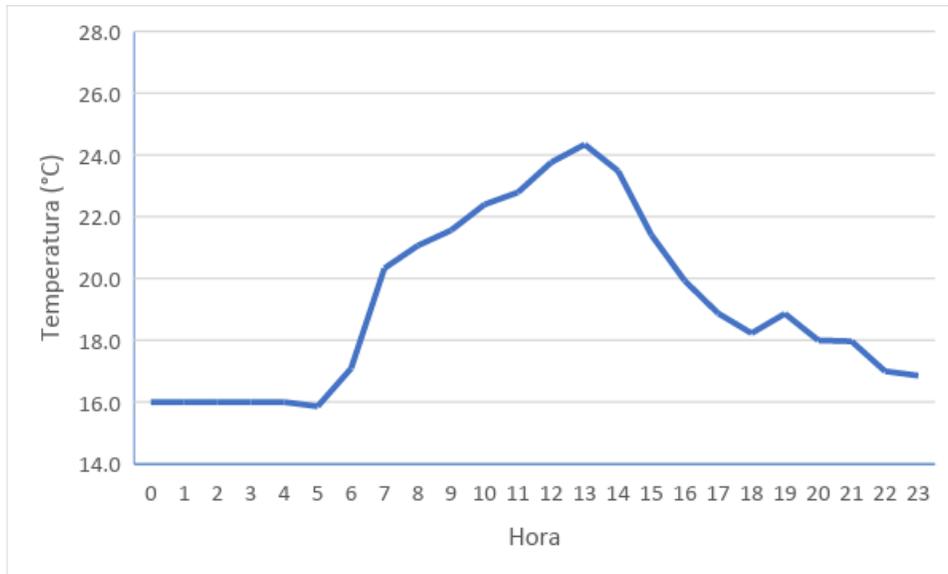
### **Figura 45: Interface 3.**

#### **5.2. Análisis de datos**

Esta sesión muestra todo lo relacionado con los datos del cultivo que fueron tomados y guardados en la base de datos.

De acuerdo con la especificación dada en el estudio (capítulo 3) con respecto a los rangos de estabilidad el prototipo que se creó este sujeto a estos, y teniendo registro de estos datos en el servidor desde el día 28/05/2018 hasta 31/05/2018. En la figura 46 se muestra la media de temperatura por hora del día 29.

- Temperatura del ambiente
  - Día 29



**Figura 46: Temperaturas media del día 29 en relación con la hora.**

**Tabla 9: Promedios de temperatura por hora.**

Horas	Promedios
0	16,0
1	16,0
2	16,0
3	16,0
4	16,0
5	15,9
6	17,1
7	20,3
8	21,1
9	21,6
10	22,4
11	22,8
12	23,8
13	24,3
14	23,5
15	21,4
16	19,9
17	18,9
18	18,2
19	18,9

20	18,0
21	18,0
22	17,0
23	16,9

La tabla 9 muestra los promedios de temperatura de cada hora graficados en la figura 46, Cuestionando los resultados de esta variable se muestran temperaturas que se acoplan con el cultivo, también que el sensor es estable, aunque se resalta que los datos están filtrados porque sistema desecha malas lecturas que al comienzo se comenzaron a ver registradas como se muestra a continuación:



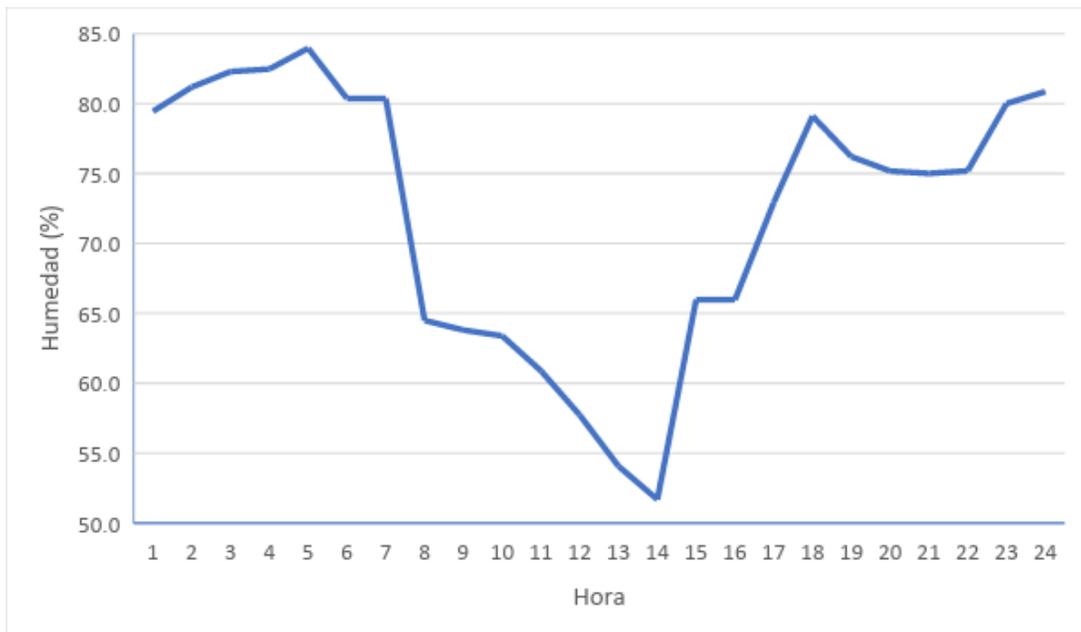
**Figura 47: Lectura de temperatura mal tomada por el sensor.**

De los datos mostrados también podemos ver que en las horas de la noche no hubo registro por el sensor de temperaturas menores a 16°C por lo que se deduce que la

temperatura en horas de la noche no es la ideal según lo investigado, pero tampoco impide o afecta el progreso del cultivo.

- Humedad del ambiente

- Día 29



**Figura 48: Humedad tomada el día 29 en relación con la hora.**

**Tabla 10: Promedios de humedad por hora.**

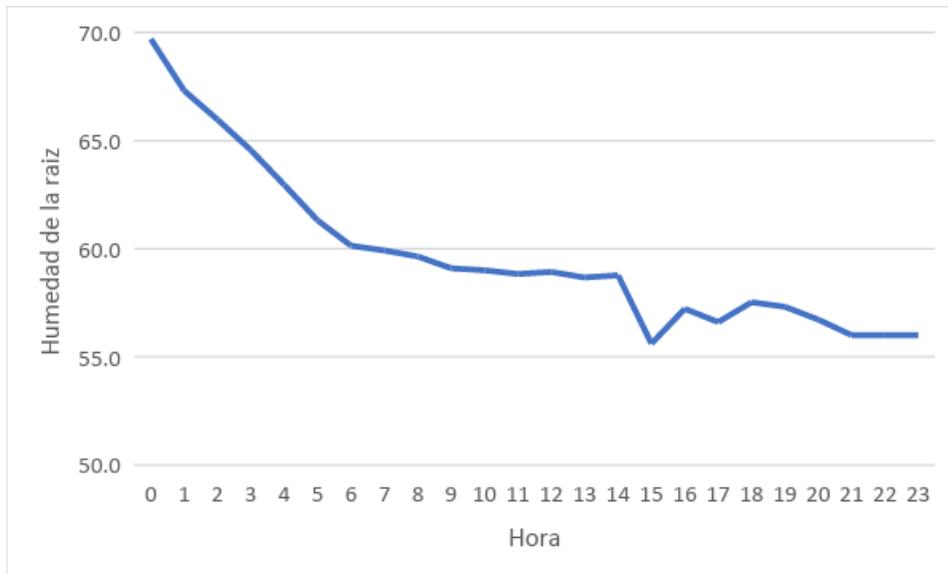
0	79,4
1	81,2
2	82,3
3	82,5
4	84,0
5	80,4
6	80,4
7	64,5
8	63,8
9	63,4
10	60,9
11	57,7
12	54,1
13	51,7

14	66,0
15	66,0
16	72,9
17	79,1
18	76,2
19	75,2
20	75,0
21	75,2
22	80,0
23	80,9

La tabla 10 muestra los promedios de humedad de cada hora graficados en la figura 48, Los datos de esta variable al igual que la temperatura mantiene estable el cultivo, al ser pamplona el lugar no preciso para el cultivo se muestra que puede ser una época para cultivar viendo que se registran humedades que están dentro del rango de producción de lechuga y estas no afectan.

Como el sensor que se uso para medir la variable de temperatura es el mismo que mide esta humedad también toma las malas lecturas y al igual se desecharon.

- Humedad de la raíz
  - Dia 29



**Figura 49: Humedad de la raíz del día 29 en relación con la hora.**

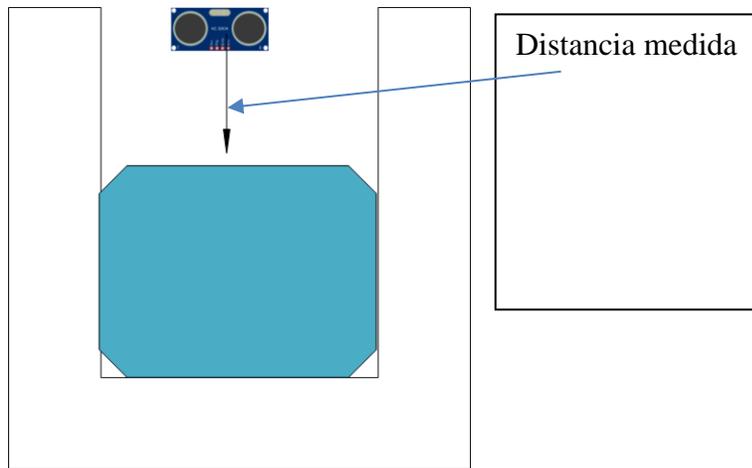
**Tabla 11: Promedios de humedad de la raíz por hora.**

0	69,7
1	67,3
2	66,0
3	64,6
4	63,0
5	61,3
6	60,1
7	59,9
8	59,6
9	59,1
10	59,0
11	58,8
12	58,9
13	58,7
14	58,8
15	55,6
16	57,2
17	56,6
18	57,5
19	57,3
20	56,7
21	56,0
22	56,0
23	56,0

La Humedad de raíz en este cultivo se tomó simulando que este fuese un cultivo en tierra, el material de soporte(oasis) es donde se ubicó el sensor y sucede que al estar sosteniendo la planta también absorbe la solución del reservorio cuando hay riego permitiendo dos cosas, primero que la raíz mientras no esté el sistema en recirculación se mantenga húmeda y segundo que por medio de esa materia el sensor tome lectura de la humedad, en relación con el cultivo este dato permite encontrar fallas en el riego mas no es un punto de partida para activarlo pues estos cultivos según lo investigado requieren de circulación de solución nutritiva continua o intermitente para la oxigenación de la misma por lo que el riego es

automatizado cada cierto tiempo en este caso cada media hora 5 minutos haciéndolo intermitente.

- Nivel de solución en el reservorio



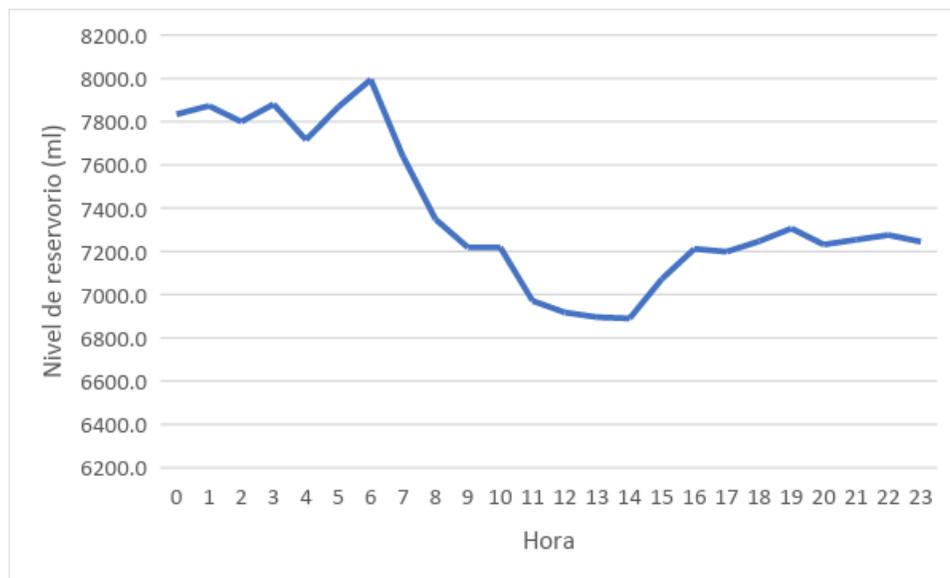
**Figura 50: Diagrama de Medición de nivel.**

El diagrama ilustrado en la figura 50 muestra como está diseñado este medidor y sucede que a medida que baja el nivel aumenta la distancia que está midiendo el sensor, por lo que se dedujo una relación inversamente proporcional dando como resultado poder hacer la conversión de milímetros a mililitros.

La solución nutritiva de este cultivo es de 8 litros de agua suficiente para que recircule sin que la bomba tenga inconvenientes ni se quede sin líquido para adsorber y sufra daños, los datos de la variable “Nivel de la solución” se tomaron con el sensor ultrasonido el cual lo que permite es medir distancia en este caso desde una superficie hasta el agua transformando esa medida después en mililitros de agua. En la figura 51 se muestran los datos tomados por el sensor el día 29 y la tabla 12 los promedios, como era esperado se puede observar reducción del nivel

dado que cada vez que el sistema recircula el oasis absorbe agua y también las plantas, aparte se ve que hay aumentos de nivel repetitivos y se debe a que cada vez que se termina el ciclo de recirculación el soporte se escurre y el sensor marca esa subida de nivel.

○ Dia 29



**Figura 51: Nivel de solución tomado el día 29 en relación con la hora.**

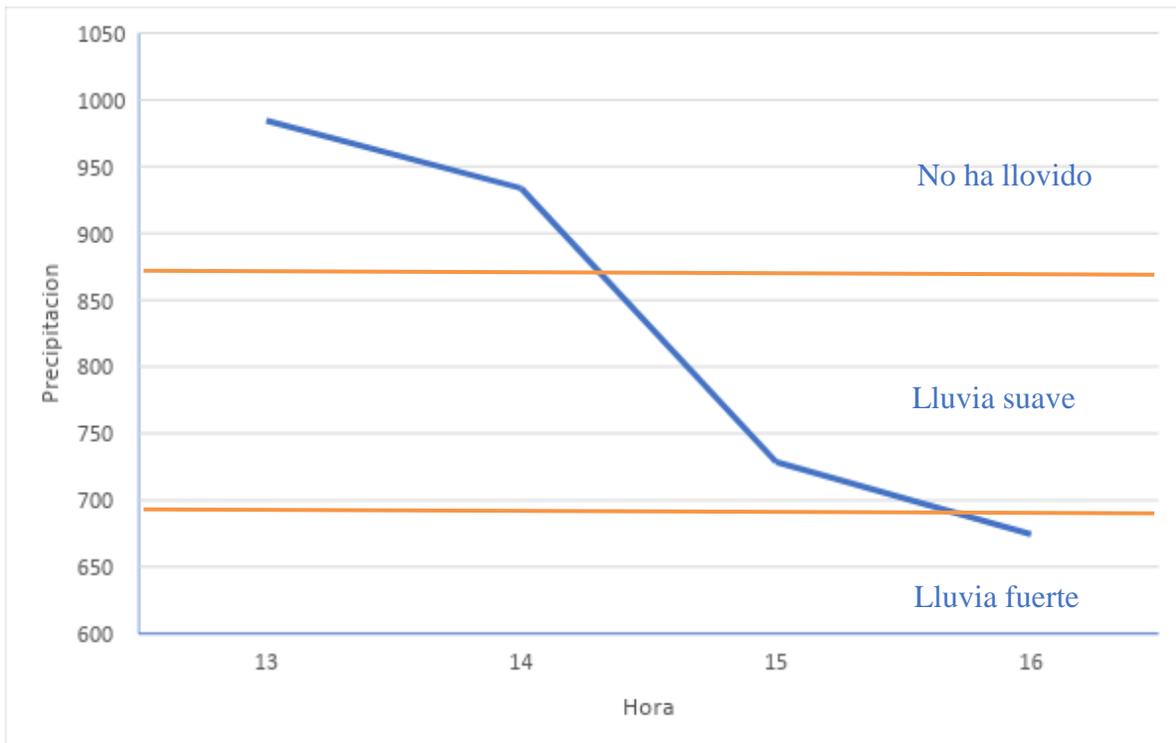
**Tabla 12: Promedios de nivel de reservorio**

0	7834,2
1	7872,8
2	7800,0
3	7880,5
4	7715,8
5	7868,1
6	7994,7
7	7637,8
8	7349,0
9	7218,6
10	7218,6

11	6971,4
12	6917,5
13	6895,8
14	6890,1
15	7072,9
16	7211,7
17	7198,5
18	7246,6
19	7306,2
20	7231,5
21	7254,1
22	7275,6
23	7244,7

- Lluvia

Es una variable meteorológica del sistema que permite determinar en qué hora del día hubo precipitaciones y así por ejemplo para cultivos de este tipo al aire libre tener control de la humedad de las plantas, con ello hicimos conversiones de esos valores análogos a datos comprensibles por el usuario. Sabiendo que el sensor envía datos que van desde 0 a 1023 siendo 0 totalmente mojado y 1023 totalmente seco podemos determinar mediante rangos cuando hay lluvias fuertes, suaves o si no ha llovido.



**Figura 52: Datos del sensor de lluvia del día 28 en las horas 13 a 15.**

Se muestra en la figura 52 que hubo entre las horas 13 y 16 del día 28 precipitaciones, las que se pueden apreciar se registraron en el sistema convirtiendo los valores de la siguiente manera:

- Si el valor disminuye de 1023 a 900 se desprecia por ser tan sensible el sensor y se determina que no ha llovido.
- Si el valor disminuye de 900 a 700 quiere decir que hay lluvia constante y suave.
- Si el valor de este sensor disminuye de 700 hacia abajo es una lluvia fuerte.

- Alteración de variables

En esta alteración de variables lo que entran son los actuadores esto hacen que el sistema se mantenga estable, por ejemplo, en el caso del nivel del reservorio se hace una revisión de acuerdo a si está por debajo de los 5000ml y si es así la electro válvula llena hasta los 8000ml. De todos los casos en los datos tomados se registró el riego por altas temperaturas lo que sucede es que cuando la temperatura ambiente esta mayor a 28°C el riego se activa con el fin de mantener las plantas hidratadas y si está el proceso en riego continua su curso normal.

En la tabla 13 se muestran los riegos que se presentaron por altas temperaturas.

**Tabla 13: Riegos activados por altas temperatura. Diseño propio.**

Temperatura	28	Riego	1	08:46:59.34558	08:46:51.573423
Temperatura	28	Riego	1	08:47:35.24548	08:47:42.748688
Temperatura	28	Riego	1	08:48:35.867278	08:48:45.747781
Temperatura	28	Riego	1	08:49:38.72874	08:49:42.752559
Temperatura	28	Riego	1	08:50:37.117448	08:50:42.830977
Temperatura	29	Riego	1	08:51:37.730578	08:51:42.796735
Temperatura	29	Riego	1	08:52:38.368132	08:52:45.006674
Temperatura	28	Riego	1	08:53:38.967039	08:53:42.771932
Temperatura	28	Riego	1	08:54:39.578638	08:54:42.770532
Temperatura	28	Riego	1	08:55:40.169746	08:55:42.852613
Temperatura	28	Riego	1	08:56:40.809741	08:56:42.792515
Temperatura	28	Riego	1	08:57:41.441041	08:57:42.759265
Temperatura	29	Riego	1	09:03:45.10714	09:03:42.777773
Temperatura	29	Riego	1	09:04:45.711978	09:04:42.814584
Temperatura	29	Riego	1	09:05:46.324562	09:05:42.787376
Temperatura	29	Riego	1	09:06:46.939136	09:06:42.792721
Temperatura	29	Riego	1	09:07:47.560167	09:07:43.919781
Temperatura	29	Riego	1	09:08:48.156459	09:08:45.565667
Temperatura	29	Riego	1	09:09:48.765958	09:09:42.797084
Temperatura	28	Riego	1	09:10:49.41166	09:10:42.776469
Temperatura	28	Riego	1	09:11:50.014083	09:11:42.818148

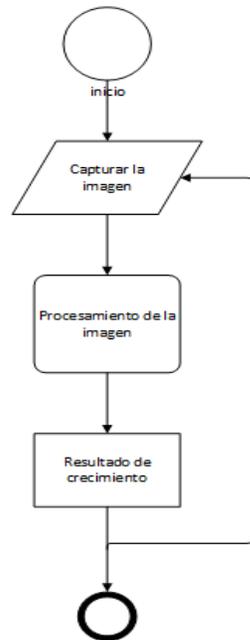
Temperatura	29	Riego	1	09:12:50.623286	09:12:42.827872
Temperatura	29	Riego	1	09:13:51.236915	09:13:43.700569
Temperatura	28	Riego	1	09:14:51.849189	09:14:42.840413
Temperatura	29	Riego	1	09:15:52.461527	09:15:43.97518
Temperatura	28	Riego	1	09:16:53.055644	09:17:43.000533
Temperatura	28	Riego	1	09:17:53.66772	09:32:42.834218
Temperatura	28	Riego	1	09:33:02.82157	09:33:42.83306
Temperatura	28	Riego	1	09:34:03.426926	09:34:42.827092
Temperatura	29	Riego	1	09:35:04.032333	09:35:42.831691
Temperatura	29	Riego	1	09:36:04.641334	09:36:42.861968
Temperatura	29	Riego	1	09:37:05.265298	09:37:42.843145
Temperatura	29	Riego	1	09:43:08.907911	09:43:42.827934
Temperatura	29	Riego	1	09:44:09.556169	09:44:42.858847
Temperatura	29	Riego	1	09:45:10.167172	09:45:42.880765
Temperatura	28	Riego	1	09:46:10.836231	09:46:42.849781
Temperatura	28	Riego	1	09:47:11.866966	09:47:45.977861

- Crecimiento de la planta

La variable tratada acá es un procedimiento el cual surgió con la integración de la cámara para visualizar el cultivo y revisar anomalías, la implementación de esta cámara tubo sus desventajas que ya en las conclusiones se reflejaron, pero una de las ventajas es que con ella se pudo determinar que tanto porcentaje a crecido la planta utilizando un algoritmo diseñado en Matlab.

La cámara que se uso permite tomar imágenes cada cierto periodo de tiempo y enviarlas mediante un servidor FTP a una ubicación en específica, lo que se hizo fue tomar imágenes de la parte superior de la planta cada semana obteniendo 3 imágenes desde su sembrado enviándolas a un host local el cual estaba conectado a la red. Teniendo Matlab instalado y las imágenes en posición el algoritmo toma las dos primeras imágenes puestas ahí por el servidor ftp (imagen 1 tomada desde el

inicio y la 2 de la misma planta una semana después) y ejecuta el siguiente proceso descrito en la figura 53 por un diagrama de flujo:

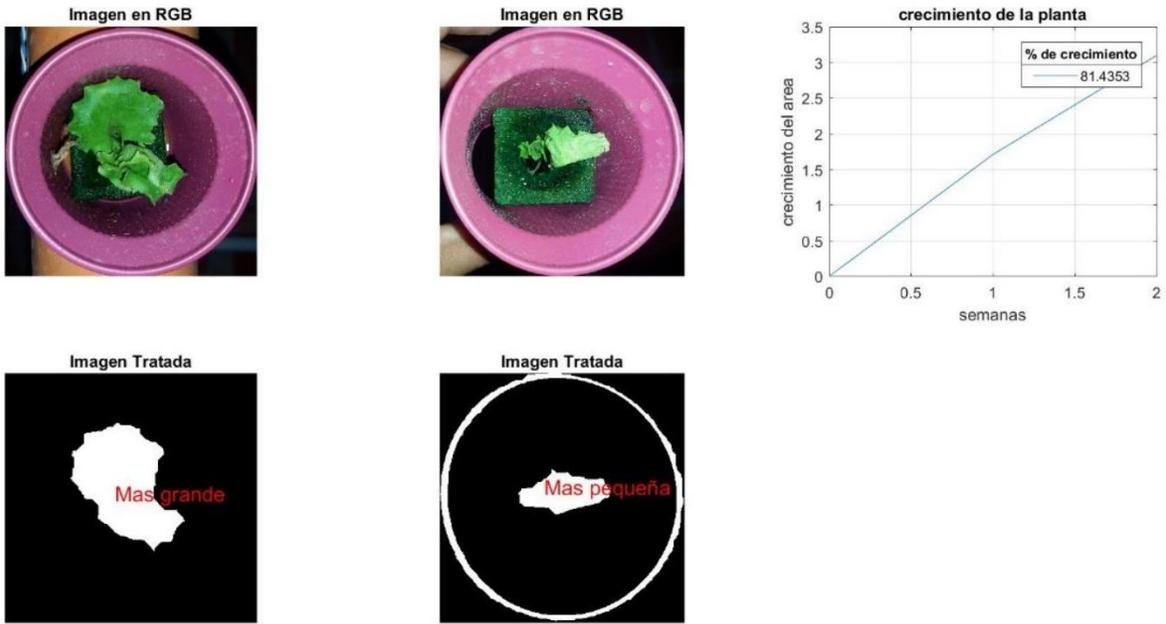


**Figura 53: Proceso**

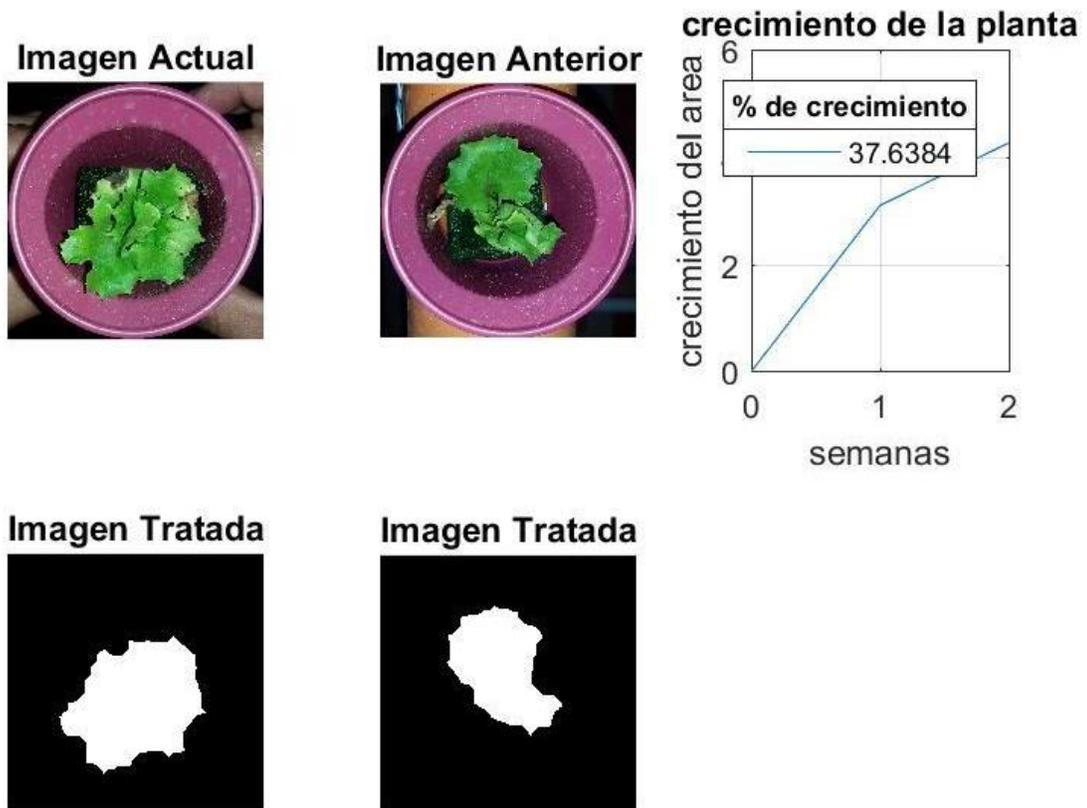
**ejecutado por el programa en**

**Matlab**

Este procesamiento comienza con pasar la imagen de RGB a escala de grises (esto se realiza para reducir el costo computacional) con la matriz verde. Seguidamente se implementa una binarización y sus respectivos filtros para observar exclusivamente la planta en blanco y todo lo demás en negro. Cuando el algoritmo llega a este punto calcula la propiedad de área la cual determina que tan grande es la parte en blanco (tamaño de la planta), y realiza la comparación de áreas con una imagen anteriormente tomada (imagen 1), la cual también mediante el mismo algoritmo se ha calculado su área, estas dos áreas se restan y se halla un área de final con la cual se calcula el porcentaje de crecimiento de la planta en comparación con la imagen 1 resultando lo que se muestra continuación en la figura 54y 55.



**Figura 54: Resultado de tratamiento imagen 1 y 2.**



**Figura 55: Resultado de tratamiento imagen 2 y 3.**

## 5.2. Resultados

Como primer resultado se obtuvo un prototipo automatizado el cual funciona, se estableció que el funcionamiento de los sistemas embebidos es viable para el uso en proyecto de este y de otro tipo dando resultados de estabilidad buenos, en cuanto a la plataforma es interactiva, el monitoreo funciona de tal forma que si hay alguna alteración en cuanto a las variables muestra la anomalía presentada, diciéndonos si algo no está funcionando bien. Las imágenes cambian de acuerdo a ese estado, se muestra también los 10 últimos registros tomados, así en el momento se sabe que ha pasado.



**Figura 56: Alteración del nivel, malas lecturas y bajo nivel de solución.**

La plataforma resultante se encuentra en el siguiente enlace [cultivourbano.sytes.net:800/Proyectocultivo](http://cultivourbano.sytes.net:800/Proyectocultivo), de ahí se puede observar, monitorear y determinar cuestiones relacionadas con el cultivo.

En cuanto a los datos que se tomaron arrojaron buenos resultados mostrados en el análisis estando estos dentro de los parámetros del cultivo escogido y viendo progreso, en la figura 57 se muestra el crecimiento de nuevas ramas en las plantas.



**Figura 57: Hoja nievas detectadas en las plantas.**

Asimismo, un amplio conocimiento en este campo de los sistemas embebidos el cual permite que mas adelante pueda hacer parte laboralmente en proyectos relacionados y un estudio sumamente importante para que prototipos a gran escala se puedan implementar en el campo haciendo espacios productivos sin la necesidad de tierra.

## **6. Conclusiones**

En relación a la problemática descrita se puede concluir que proyectos como este pueden aportar a la generación de proyectos productivos tanto en el campo como en la ciudad, asimismo la implementación de este prototipo abarca muchas cosas las cuales pueden dar punto de partida para nuevas investigaciones. El cultivo acá automatizado conto con visualización tiempo real la cual se concluye que no es viable pues para transmitir video en tiempo real se requiere de más recursos, aunque la integración de la cámara que en un principio era para lo anterior comentado dio

otros resultados en cuanto al crecimiento de la planta variable que se desarrolló con tratamiento de imágenes dando resultados positivos.

En cuanto a sensores podemos ultimar que a pesar que se mostraron un poco inestables dieron resultados esperados, y en comparación con dispositivos más costosos se mostraron muy bien, unas de las falencias detectadas es su sensibilidad a las corrientes pues al ser de circuitos pequeños con cualquier mal conexión pueden echarse a perder, en nuestro caso sucedió con el de PH por eso aunque en el estudio se contemplo el tratamiento de esa variable no se ve en la plataforma, el sensor lleugo en mal estado y no se pudieron tomar lecturas.

En cuanto a la plataforma y el servidor se puede concluir que el uso de las Raspberry para este cultivo fue una excelente decisión, trabajo muy bien y para lo que requería el proyecto estuvo ala altura sin presentar ninguna anomalía ni daño, tampoco fallos de peticiones por parte del usuario ni obstáculos a la hora de la instalación y configuración de los servicios requeridos para el mogate de la plataforma en la web lo nos deja una muy buena impresión de esta placa y su poder al ser un sistema embebido.

## 7. Bibliografía

- Carrasco, G., & Izquierdo, J. I. (1996). Manual técnico: La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de solución nutritiva recirculante (“NFT”). *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación. Universidad de Talca*, 2–62.
- Davoli, L., Belli, L., Cilfone, A., & Ferrari, G. (2016). Integration of Wi-Fi mobile nodes in a Web of Things Testbed. *ICT Express*, 2(3), 96–99.  
<https://doi.org/10.1016/j.icte.2016.07.001>
- De la Cruz, F., Díaz-Granados, M., Zerpa, S., & Giménez, D. (2010). Web-LABAI: Laboratorio Remoto de Automatización Industrial. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 7(1), 101–106.  
<https://doi.org/10.4995/RIAI.2010.01.10>
- Domingues, D. S., Takahashi, H. W., Camara, C. A. P., & Nixdorf, S. L. (2012). Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 84, 53–61.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.006>
- ENGINEERING, I. S. (2011). MASTER DEGREE : Industrial Systems Engineering nivel, 1–19. Retrieved from [http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion\\_de\\_referencia\\_ISE5\\_3\\_1.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE5_3_1.pdf)
- Fernández, H. (2013). TECNOLOGÍAS xDSL Proyecto Fin de Carrera ( Plan 2000 ), (Plan 2000).
- Gallegos, H. (2017). Diseño de sistema de control automatizado con sistemas embebidos , aplicaciones móviles y el internet de las cosas *Introducción*, 4(11), 51–62.
- García, R., Tutor, C., Cueto, A. S., & Barco, P. M. (2016). Trabajo Fin de Grado,

1–51.

- Gómez, J. N. (2014). Agricultura Urbana en América Latina y Colombia: Perspectiva y elementos agronómicos diferenciadores, 77. Retrieved from <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/2749/1/15385851.pdf>
- Hartono, R., Purnomo, A., Sensirion, Isnianto, H. N., Puspitaningrum, E., Septiadhi, Y. T., ... Arief, M. R. (2010). Universitas Sumatera Utara 70. *Current*, 2010(November), 1–6.  
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195179477.003.0005>
- Huang, B. K., & Nassar, A. H. (1984). Environment Control of Greenhouse Solar System for Automated Hydroponic Culture. *IFAC Proceedings Volumes*, 17(2), 2021–2026. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)61273-4](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)61273-4)
- Internet of things (IoT) en la transformación digital de las empresas 2015. (2015).
- Jaques, C., & Luis, J. (2005). Valoración productiva de lechuga hidropónica con la técnica de película de nutrientes ( nft ), 3, 11–16.
- Las tecnologías wifi y wimax. (n.d.).
- Lee, S., & Lee, J. (2015). Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. *Scientia Horticulturae*, 195, 206–215. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.011>
- Legat, U. (2008). Embedded System Web Server. *October*, (October), 3–6.
- Manual de usuario para el sistema automatizado de invernadero hidropónico Página 1. (2017).
- Miyara, F. (2004). CONVERSORES D/A Y A/D Segunda Edición -Año 2004. *Electrónica III*. Retrieved from <http://www.fceia.unr.edu.ar/enica3>
- Moisture Sensor Datasheet. (n.d.). High Sensitivity Moisture Sensor, 1–9.
- Parody, N., Ca, N., & Fecha, A. (2006). 16F876 de Microchip .
- Peña, M. Y., Posada, F. C., & Monsalve, O. I. (2014). Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en cascarilla de arroz mezclada con

- materiales minerales y orgánicos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(2), 217–227. <https://doi.org/10.17584/rcch.2013v7i2.2236>
- Postscapes, I.-. (2014). What exactly is the Internet of Things?, 1–10. Retrieved from <https://s3.amazonaws.com/postscapes/IoT-Harbor-Postscapes-Infographic.pdf%5Cnhttp://postscapes.com/what-exactly-is-the-internet-of-things-infographic>
- Salas Arriarán, S. (2015). Todo sobre sistemas embebidos, 38. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10757/579143>
- Secci, R., Cl, C., Secci, G. S. M., Tecnolog, I. I. N., Para, a S., Acceso, E. L., ... Local, R. (2002). Parte V Tecnologia De, 225–245.
- Severino, G., D’Urso, G., Scarfato, M., & Toraldo, G. (2018). The IoT as a tool to combine the scheduling of the irrigation with the geostatistics of the soils. *Future Generation Computer Systems*, 82, 268–273. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.12.058>
- Systems, C. (2008). Capítulo 3 : Objetivos.
- Tcp, I. P., Ruteo, I. P., Protocolos, E. I. P., Igrp, R. I. P., Ospf, E., Implementaci, E. G. P. B. G. P., ... Eliminaci, I. P. M. (n.d.). Información general de TCP / IP.
- Tlahque, J. G. (2011). Produccion Hidroponica de lechuga con y sin recirculacion de solucion, 18–21. Retrieved from <https://chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISMCH2011120908126441.pdf>
- Universidad del Cauca. (2009). Introduccion a las redes de Comunicacion, 3–4. Retrieved from <ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/Redes Industriales/Redes/Conferencias/Capitulo 1.pdf>
- Valera, A., Soriano, A., & Vallés, M. (2014). Plataformas de Bajo Coste para la Realización de Trabajos Prácticos de Mecatrónica y Robótica. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 11(4), 363–376.

<https://doi.org/10.1016/j.riai.2014.09.002>

Vasconez, C., & Chamba, J. (2013). Diseño E Implementacion De Un Sistema De Riego Automatizado Y Controlado De Forma Inalambrica Para Una Finca Ubicada En El Sector Popular De Balerio, 144. Retrieved from <https://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5304/1/UPS-GT000434.pdf>