

**Universidad Internacional de La Rioja (UNIR)**

**ESIT**

**Máster Universitario en Industria 4.0**

# Diseño y fabricación de un huerto acuapónico urbano monitoreado por IoT

**Trabajo Fin de Máster**

**presentado por:** Landázuri Maldonado, Diego Fernando

**Director/a:** Sánchez Crespo, Luis Enrique

## Resumen

El trabajo actual busca dar una solución adicional a la producción sostenible de alimentos orgánicos, mediante la construcción de un huerto acuapónico urbano monitoreado por IoT; y además, crear un modelo de estudio futuro que genere información y permita optimizar el proceso de producción.

Para progresar con esta solución, fue necesario utilizar conocimientos en Industria 4.0, IoT, sensores, electrónica de control, telecomunicaciones y redes, programación además de estudiar métodos de agricultura alternativa como es la acuaponía.

La solución se desarrolla en plataformas Arduino, Thingspeak, IFTTT, Android y Windows y como resultado se obtiene un modelo operativo.

**Palabras clave:** Acuaponía, agricultura urbana, agricultura integral, IoT, ThingSpeak, Arduino.

## Abstract

The current work seeks to provide an additional solution to the sustainable production of organic food, through the construction of an urban aquaponic garden monitored by IoT; and also to create a future study model that generates information and allows optimizing the production process.

To progress with this solution, it was necessary to use knowledge in Industry 4.0, IoT, sensors, control electronics, telecommunications and networks, programming, in addition to studying alternative agricultural methods such as aquaponics.

The solution is developed on Arduino, Thingspeak, IFTTT, Android and Windows platforms and as a result an operational model is obtained.

**Keywords:** Acuaponía, agricultura urbana, agricultura integrada, IoT, ThingSpeak, Arduino.

## Índice de contenido

Resumen.....	I
Abstract .....	II
Índice de contenido .....	III
Índice de figuras.....	VII
Índice de tablas.....	XII
2. INTRODUCCIÓN .....	1
2.1. Motivación.....	2
2.2. Planteamiento de trabajo .....	2
2.3. Estructura .....	3
3. CONTEXTO Y ESTADO DEL ARTE .....	5
3.1. Conceptos básicos.....	5
3.1.1. Técnica de Acuicultura .....	5
3.1.2. Técnica de Hidroponía .....	6
3.1.3. Técnica de Acuaponía. ....	9
3.2. Ciclo de Vida .....	10
3.2.1. Calidad de agua .....	11
3.3. Especies para cultivos .....	14
3.3.1. Tipos de peces .....	15
3.3.2. Tipos de plantas.....	16
3.4. Proyectos similares .....	17
3.4.1. Aquapioneers .....	17
3.4.2. Tesis de pregrado, trabajos de fin de master, tesis doctorales. ....	18
3.5. Conclusiones del Estado del Arte .....	18
4. CONTRIBUCION.....	20

4.1.	Objetivos .....	20
4.1.1.	Objetivo General.....	20
4.1.2.	Objetivos particulares .....	20
4.2.	Metodología .....	21
4.2.1.	Fase de investigación.....	21
4.2.2.	Fase de diseño y construcción del modelo.....	21
4.2.3.	Fase de puesta en marcha del sistema acuapónico sin supervisión.....	21
4.2.4.	Fase de implementación electrónica y conexión IoT.....	22
5.	DESARROLLO HUERTO ACUAPÓNICO CON CONEXIÓN IoT .....	23
5.1.	Componentes Mecánicos.....	25
5.1.1.	Pecera.....	25
5.1.2.	Bomba y calentador .....	26
5.1.3.	Filtro mecánico.....	28
5.1.4.	Filtro biológico.....	28
5.1.5.	Maceta .....	28
5.1.6.	Sifón de campana.....	29
5.2.	Componentes Electrónicos .....	30
5.2.1.	Arduino.....	30
5.2.2.	Sensor de temperatura – DS18B20 .....	31
5.2.3.	Sensor de humedad y temperatura– DHT11 .....	31
5.2.4.	Sensor pH – GAOHOU PH0-14.....	32
5.2.5.	Sensor de distancia ultrasónico – HC-SR04.....	32
5.2.6.	Sensor de presión atmosférica – BMP085 .....	33
5.2.7.	Display OLED – SSD1306 .....	34
5.3.	Circuito electrónico.....	34

5.4.	Diseño De Lógica De Programación .....	37
5.4.1.	Subrutina sensor DHT11 .....	38
5.4.2.	Subrutina sensor pH .....	39
5.4.3.	Subrutina sensor DS18B20.....	40
5.4.4.	Subrutina sensor BMP085.....	41
5.4.5.	Subrutina sensor HC-SR04.....	42
5.5.	Configuración IoT.....	44
5.5.1.	Configuración Thingspeak.....	46
5.5.2.	Configuración de ThingShow, ThingView y IoT ThingSpeak Monitor Widget ...	48
5.5.3.	Configuración de IFTTT y conexión con Thingspeak.....	50
5.6.	Resultados de datos.....	54
5.6.1.	Circuito electrónico.....	54
5.6.2.	Thingspeak.....	55
5.6.3.	Aplicaciones móviles.....	57
5.6.4.	IFTTT.....	59
5.7.	Presupuesto.....	59
5.8.	Planificación para replicar el proyecto. ....	61
5.8.1.	Etapla inicial. ....	62
5.8.2.	Ensamblado parte mecánica. ....	62
5.8.3.	Etapla ensamblado electrónico y configuración IoT. ....	63
5.8.4.	Diagrama de Gantt.....	63
6.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	65
6.1.	Análisis de objetivos .....	65
6.2.	Conclusiones.....	66
6.3.	Oportunidades de mejora. ....	67

Referencias bibliográficas .....	69
Anexo A. Programa Arduino MKR1000 .....	72
Anexo B. Imágenes del proceso.....	88

## Índice de figuras

Figura 1. Sistema de acuicultura recirculante. (FAO, 2014).....	6
Figura 2. Sistema de hidroponía. (FAO, 2014).....	7
Figura 3. Sistema acuapónico (FAO, 2014).....	9
Figura 4. Diagrama de bloques sistema acuapónico (Creación Propia). (Jácome, 2014) .....	11
Figura 5. Ciclo del Nitrógeno (Ecoaquarium, 2014).....	14
Figura 6. Modelo acuapónico construido (Creación propia).....	23
Figura 7. Esquema componentes electrónicos en el sistema (Creación propia) .....	24
Figura 8. Dimensiones pecera (Creación propia) .....	26
Figura 9. Referencia de calentador 50 W (Premium Aquatics, 2021) .....	27
Figura 10. Referencia bomba LED-288F Amara (Rebel Pets, 2021).....	27
Figura 11. Maceta con sustrato de arlita. (Creación propia) .....	29
Figura 12. Filtro tipo campana (Creación propia).....	30
Figura 13. Arduino MKR1000 (Arduino, 2021) .....	31
Figura 14. Sensor de temperatura DS18B20 (Components 101, 2021).....	31
Figura 15. Sensor de humedad y temperatura DHT11 .....	32
Figura 16. Sensor de pH GAOHOU .....	32
Figura 17. Sensor de distancia ultrasónico – HC-SR04 (Geek Factory, 2021) .....	33
Figura 18. Sensor de presión atmosférica BMP085 (Geek Factory, 2021) .....	33
Figura 19. Display OLED SSD1306 .....	34
Figura 20. Distribución de pines MKR1000 (Caccavale, 2021) .....	35
Figura 21. Diagrama esquemático (Creación Propia) .....	36
Figura 22. Modelo digital del circuito. (Creación propia) .....	36
Figura 23. Fotografía de circuito real. (Creación propia).....	37
Figura 24. Librerías incluidas en la programación del proyecto. (Creación propia).....	37



Figura 25. Flujograma general de la programación. (Creación propia) .....	38
Figura 26. Diagrama de flujo de subrutina sensor DHT11. (Creación propia) .....	39
Figura 27. Diagrama de flujo de subrutina sonda pH. (Creación propia) .....	40
Figura 28. Sonda DS18B20 sumergida. (Creación propia) .....	41
Figura 29. Diagrama de flujo de subrutina sensor DS18B20. (Creación propia).....	41
Figura 30. Diagrama de flujo de subrutina sensor BMP085. (Creación propia).....	42
Figura 31. Ubicación sensor ultrasónico. (Creación propia) .....	43
Figura 32. Diagrama de flujo de subrutina sensor HC-SR04. (Creación propia) .....	44
Figura 33. Arquitectura Thingspeak.....	45
Figura 34. Arquitectura IoT de solución. (Creación propia) .....	46
Figura 35. Índice de uso diario – Thingspeak. (Creación propia) .....	46
Figura 36. Configuración de comunicación entre el canal Thingspeak y Arduino .....	47
Figura 37. Configuración de campos Thingspeak. (Creación propia) .....	48
Figura 38. Configuración de Thingspeak en ThingShow y ThingView. (Creación propia) .....	49
Figura 39. Configuración de ThingSpeak en IoT ThingSpeak Monitor Widget. ....	49
Figura 40. Configuración IFTTT - If This Then That (I) .....	50
Figura 41. Webhooks .....	50
Figura 42. Configuración de Email para Then That.....	51
Figura 43. Configuración IFTTT - If This Then That (II) .....	51
Figura 44. Configuración de ThingHTTP. (Creación propia) .....	52
Figura 45. Configuración de React. (Creación propia) .....	53
Figura 46. Datos presentados en pantalla OLED. (Creación propia) .....	54
Figura 47. Opción de configuración de campos Thingspeak. (Creación propia).....	55
Figura 48. Datos presentados en interfaz Thingspeak. (Creación propia).....	55
Figura 49. Datos JSON y XML exportados desde Thingspeak. (Creación propia).....	56

Figura 50. Comparación humedad y temperatura ambiente. (Creación propia) .....	56
Figura 51. Comparación temperatura pecera y pH - 22/06/2021. (Creación propia).....	56
Figura 52. Volumen pecera. (Creación propia).....	57
Figura 53. Presentación de datos ThingShow .....	57
Figura 54. Presentación de datos ThingViewer .....	58
Figura 55. Presentación de datos y alarma IoT ThingSpeak Monitor Widget.....	58
Figura 56. Correos de alerta enviados por IFTTT .....	59
Figura 57. Diagrama de Gantt - Planificación del proyecto .....	64
Figura 58. Partes de huerto acuapónico - Inicio de proyecto (I) .....	88
Figura 59. Partes de huerto acuapónico - Inicio de proyecto (II) .....	88
Figura 60. Ensamblaje sifón campana (I) .....	89
Figura 61. Ensamblaje sifón campana (II) .....	89
Figura 62. Ensamblaje sifón campana (III) .....	90
Figura 63. Ensamblaje sifón campana (IV) .....	90
Figura 64. Ensamblaje sifón campana (V) .....	91
Figura 65. Ensamblaje sifón campana (VI) .....	91
Figura 66. Ensamblaje sifón campana (VII) .....	92
Figura 67. Ensamblaje estructura (I) .....	92
Figura 68. Ensamblaje estructura (II) .....	93
Figura 69. Ensamblaje estructura (III) .....	93
Figura 70. Ensamblaje estructura (IV) .....	94
Figura 71. Tubería a la pecera (I) .....	94
Figura 72. Tubería a la pecera (II) .....	95
Figura 73. Tubería a la pecera modificación (I) .....	95
Figura 74. Tubería a la pecera modificación (II) .....	96

Figura 75. Tubería a las macetas .....	96
Figura 76. Tubería a las macetas modificación (I) .....	97
Figura 77. Tubería a las macetas modificación (II) .....	97
Figura 78. Bomba de recirculación. ....	98
Figura 79. Calentador de agua.....	98
Figura 80. Sonda de sensor pH .....	99
Figura 81. Sensor de humedad y temperatura ambiente.....	99
Figura 82. Sonda sensor de temperatura pecera .....	100
Figura 83. Sonda de sensor de temperatura y calentador de agua. ....	100
Figura 84. Pantalla LCD primer intento.....	101
Figura 85. Circuito completo. ....	101
Figura 86. Plantas estado inicial (I) .....	102
Figura 87. Plantas estado inicial (II) .....	102
Figura 88. Modelo completo (I) .....	103
Figura 89. Evolución de plantas (I).....	103
Figura 90. Evolución de plantas (II).....	104
Figura 91. Evolución de plantas (III).....	104
Figura 92. Evolución de plantas (IV).....	105
Figura 93. Evolución de plantas (V) .....	105
Figura 94. Evolución plantas (VI) .....	106
Figura 95. Evolución de plantas (VII).....	106
Figura 96. Evolución de plantas (VIII).....	107
Figura 97. Evolución de plantas (IX).....	107
Figura 98. Evolución de plantas (X).....	108
Figura 99. Evolución de plantas (XI).....	108

Figura 100. Evolución de plantas (XII).....	109
Figura 101. Peces (I).....	109
Figura 102. Peces (II).....	110
Figura 103. Peces (III).....	110
Figura 104. Modelo completo (II).....	111

## Índice de tablas

Tabla 1. Comparativa de fortalezas y debilidades en métodos de cultivo hidropónico. ....	8
Tabla 2. Rangos de tolerancia de variables físicas y químicas para organismos en un sistema de recirculación acuapónica. ....	12
Tabla 3. Tolerancia en parámetros de calidad de agua para las especies acuícolas utilizadas en los sistemas de acuaponía. ....	15
Tabla 4. Parámetros ambientales y condiciones generales de cultivo para vegetales comúnmente cultivados en el sistema de acuaponía. ....	16
Tabla 5. Síntomas de deficiencia de nutrientes en plantas. ....	17
Tabla 6. Comparación del Radio de Cultivo: Volumen del sistema. ....	25
Tabla 7. Potencia de calentador relacionada con la capacidad de agua. ....	26
Tabla 8. Potencia y columna de agua bombas de la marca Amara. ....	27
Tabla 9. Distribución de conexiones Arduino MKR1000. ....	35
Tabla 10. Resumen de configuración Thingspeak - IFTTT. ....	54
Tabla 11. Costos componentes físicos. ....	60
Tabla 12. Costos componentes electrónicos. ....	61
Tabla 13. Costos componentes adicionales. ....	61

## 2. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo propone la integración de conocimientos del Master en Industria 4.0 para diseñar y construir el modelo de un sistema que cultive alimentos de calidad en un ambiente urbano, combinados con la técnica de cultivo denominada “acuaponía”.

Se busca dar una solución adicional a la producción sostenible de alimentos orgánicos en el interior de la urbe.

De acuerdo a la declaración universal de derechos humanos que en el artículo 25 menciona, que todas las personas poseen derecho a la buena salud, a un nivel de vida suficiente para mantener a su familia y sobre todo a la **alimentación**. (Naciones Unidas, 1948)

Los métodos agrarios tradicionales se han desarrollado en grandes áreas de tierra, produciendo y cosechando grandes cantidades de frutas, tubérculos, verduras, entre otros. En este proceso agrario se involucran diferentes factores químicos, microbiológicos y físicos del tipo de cultivo, clima, agua y suelo, de la misma manera se presenta el uso indiscriminado de fertilizantes inorgánicos, productos químicos y pesticidas, semillas bio-modificadas que impactan negativamente sobre productor, consumidor y medio ambiente. (Martínez, 2002)

Los desplazamientos urbanos han crecido tan velozmente, que no permite que se adapten a su medio ambiente, lo que traduce en un gran agotamiento de recursos. Gran parte de la energía que se utiliza, no es renovable. A esto se le puede sumar un estilo de vida urbano, que no reflexiona sobre los ciclos de la materia. En 1992, se llevó a cabo en Río de Janeiro la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, donde se discutieron estos temas. Los resultados de esta presentación han resaltado los factores que fortalecen la categoría de una ciudad es a través de la infraestructura de zonas verdes y su conservación.

Con el tiempo, la horticultura urbana se ve obligada a adecuarse, creando un modelo de reorganización, que a su vez forma un sector en expansión, posibilitando el desarrollo de diferentes sistemas alternativos e inversiones en tecnologías de innovación.

De acuerdo con la (FAO, 2020), los impedimentos cada vez mayores del suministro hídrico atentan con la seguridad alimentaria y la nutrición. La producción agrícola de regadío sigue siendo, de lejos, el principal consumidor de agua dulce, pero la falta de este recurso establece

un inconveniente cada vez mayor debido al aumento de la demanda y a la competencia por su uso.

Se han creado opciones con el fin de mitigar los impactos generados por el uso excesivo del recurso hídrico, el crecimiento exponencial de las ciudades y por ende las secuelas en el cambio climático, estas son el diseño de alternativas para la obtención de suministros inocuos. Algunas de estas opciones son para cultivos urbanos hidropónicos y aeropónicos que utilizan técnicas orgánicas. Sin embargo, una de las dificultades de estos módulos es la baja capacidad para integrar la producción en pequeños espacios. Otra alternativa novedosa para resolver los espacios reducidos en las zonas urbanas es la implementación de sistemas acuapónicos.

## 2.1. Motivación

La realización de este proyecto nace del interés generado por la posibilidad de integrar sistema autónomos ayudados del internet de las cosas con producción agrícola, que generen una opción adicional para cubrir la deficiencia de alimentos sanos en un entorno urbano.

Se busca crear las bases suficientes para que se pueda reproducir el modelo en varios hogares, presentado un huerto que proporcione productos básicos para el alimento de todos los días, además integrando al hogar un lugar que sume paz y armonía.

Además se presenta un modelo generador de un banco de datos que pueden servir para estudios futuros en los campos de la electrónica y agricultura en igual medida.

## 2.2. Planteamiento de trabajo

El proyecto esta inicialmente planificado para adecuar una pecera con peces de acuario (no comestibles) que alimenten un huerto con plantas de consumo de ciclo corto y a este conectar un sistema electrónico con capacidad IoT, que permita recopilar información de variables físicas para generar una base de análisis sobre el comportamiento del sistema. Las variables que se busca adquirir son temperatura en pecera, PH, nivel de agua, temperatura ambiental y humedad relativa.

El modelo propuesto se apoya en IoT debido al crecimiento que presenta en los últimos años al cubrir diferentes necesidades en diversos sectores. La tecnología para lograr proyectos IoT es de fácil acceso y un costo relativamente bajo, además que se pueden integrar diferentes herramientas, sensores, dispositivos, actuadores, etc.

La solución planteada permite diseñar y construir un prototipo funcional de un sistema acuapónico que alimente un banco de datos mediante IoT que se pueda replicar en el interior de cualquier departamento y a su vez con un estudio posterior de los datos se pueden crear patrones de crecimiento de plantas en estas condiciones.

Se desarrollará cada apartado de forma que este trabajo ofrezca una guía con todos los detalles para futuras reproducciones del proyecto o mejoras del mismo.

### 2.3. Estructura

A continuación, se forjará una corta descripción del contenido de cada capítulo que integran este trabajo.

- **Contexto y estado del arte.**

Este capítulo empieza con las descripciones de acuicultura, hidroponía y acuaponía, con esto se crea un contexto del tema que se está desarrollando; Para luego, pasar a describir el ciclo de vida para un sistema acuapónico con sus variables principales y referir el tipo de plantas y peces más comunes que se producen en este tipo de sistema, finalmente se menciona brevemente proyectos similares que se desarrollan o desarrollaron en los últimos años y las conclusiones de este capítulo.

- **Contribución del TFM.**

Este capítulo presenta los objetivos, el general y los específicos, los cuales están orientados a entregar un modelo funcional que pueda ser replicado por cualquier persona con conocimientos básicos de microcontroladores, programación, agricultura y que permita almacenar las variables físicas para un estudio futuro. Adicional a esto, se comentará la metodología que se utilizó en el desarrollo del proyecto y se describirán todos los pasos para llevarla a cabo.

- **Desarrollo de solución para un huerto acuapónico.**

Este capítulo detalla todo lo requerido para la construcción del prototipo como son los componentes mecánicos y electrónicos. También, se explica el diseño e implementación de la lógica IoT; Además, se presenta la construcción del circuito electrónico con su diagrama del circuito electrónico y la configuración de todos los sensores. Finalmente, se presenta los resultados en las diferentes opciones de visualización de la plataforma de IoT, luego de un



periodo de funcionamiento. Se complementa el capítulo con un resumen económico de la inversión realizada y una corta descripción de las etapas necesarias para replicar este proyecto.

- **Conclusiones y trabajos futuros.**

El capítulo final, presenta en resumen las contribuciones que este proyecto sumará como solución al problema planteado y se contrastará cada uno de los objetivos generales y específicos.

Finalmente se planearán posibles opciones de trabajo futuro sobre este trabajo, así como las opciones de mejoras identificadas. Y los posibles canales de estudio sobre el banco de datos generado.

## 3. CONTEXTO Y ESTADO DEL ARTE

Podemos definir acuaponía de forma simplificada, como la combinación de los métodos de hidroponía y acuicultura en un solo sistema. La hidroponía se basa en el cultivo de plantas en un medio acuático con nutrientes, y acuicultura es el cultivo de plantas y animales acuáticos en un ambiente controlado.

### 3.1. Conceptos básicos.

Con la intención de generar una definición formal sobre acuicultura, hidroponía y acuaponía a continuación se describen de forma más completa estos conceptos.

#### 3.1.1. Técnica de Acuicultura

Según la FAO el término *acuicultura* engloba los cultivos de especímenes acuáticos, ya sean peces, plantas o moluscos, en la que se involucra el hombre en el proceso para acrecentar la producción. (FAO, 2021)

De acuerdo a la cantidad de peces que se producen por  $m^2$ , se pueden clasificar en acuicultura los sistemas como intensivos o extensivos, comprendiendo cuatro tipos: cultivo de estanques, aguas abiertas, canales de recirculación y canales fluviales. (Orvay, 1993)

Un sistema de recirculación para la acuicultura por sus siglas SRA, es el procedimiento en el cual el agua viaja desde los recipientes de cultivo a la etapa de tratamiento y luego de regreso al cultivo. En la etapa de tratamiento, el agua sigue un proceso de filtración para su reutilización; la filtración se realiza por medio de dos vías: mecánica y biológica. La filtración biológica permite la transformación de toxinas en nutrientes mediante un ciclo bacteriano y la filtración mecánica ayuda a contener las partículas sólidas en suspensión. (FAO, 2014)

Por lo general primero se colocan los filtros mecánicos y a continuación los filtros biológicos como se presenta en la Figura 1.

Debido al alto costo de inversión, energía y gestión, los sistemas de recirculación acuapónica son los sistemas más económicos de producción, sin embargo este es el proceso de ahorro de agua más eficiente (10% menos comparado con otros proyectos similares de acuicultura extensiva y reúso), ya que puede aumentar drásticamente la producción por unidad de área de tierra.

La acuicultura de recirculación es el modelo de proceso que se integra con la técnica de hidroponía para formar un sistema acuapónico de producción.

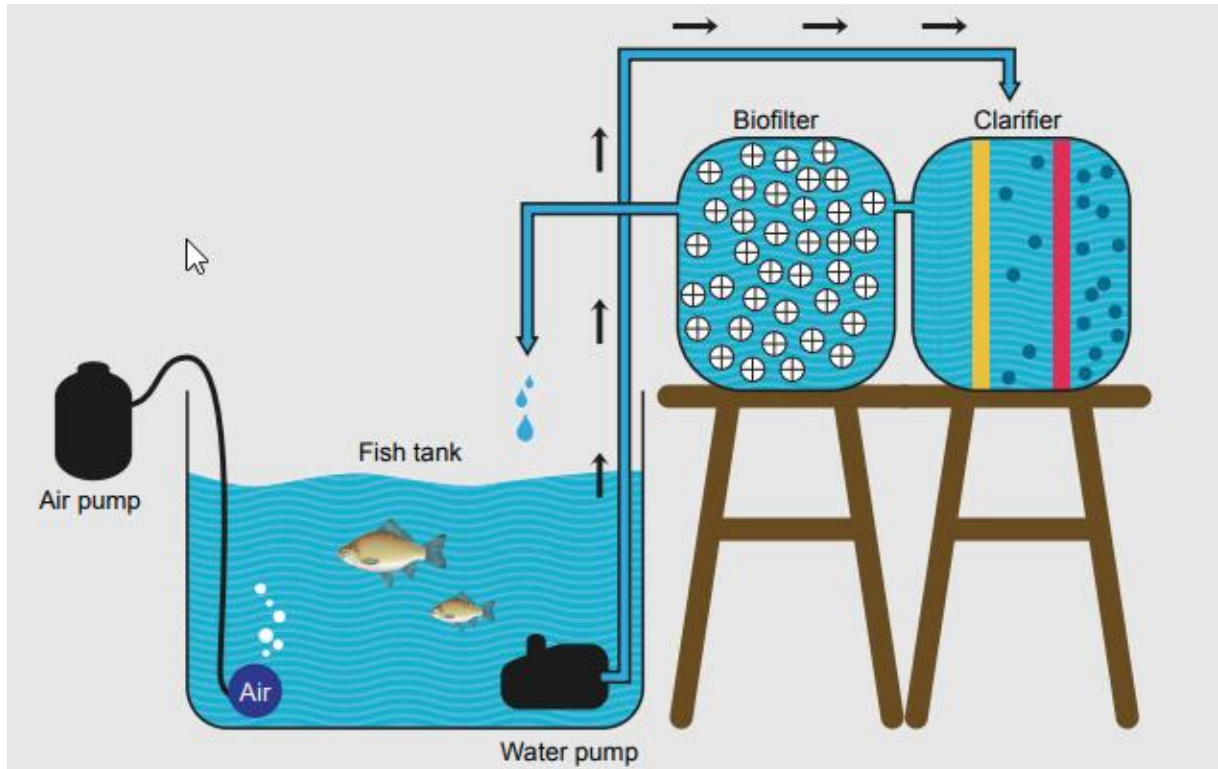


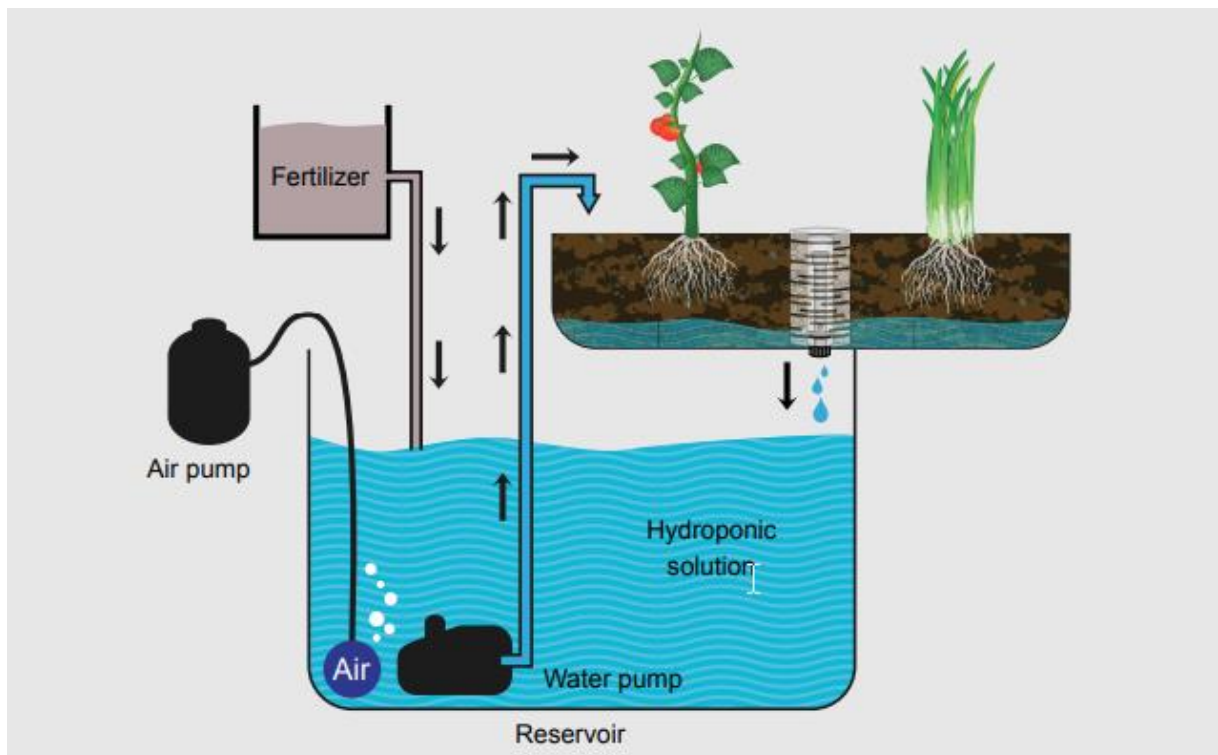
Figura 1. Sistema de acuicultura recirculante. (FAO, 2014)

### 3.1.2. Técnica de Hidroponía

El significado de *hidroponía* es «trabajo del agua» que proviene la combinación de las palabras griegas HIDROS (agua) y PONOS (labor o trabajo), adecuando este concepto, también podemos decir que *hidroponía* es el conjunto de técnicas que permiten el cultivo de plantas sin suelo. (Beltrano, et al., 2015)

La agricultura sin suelo es un método de cultivo sin utilizar el suelo. En lugar de suelo, se utilizan varios medios de crecimiento inertes o inactivos, también llamados sustratos. Estos soportes retienen el agua y sostienen las plantas. El sistema de riego se integra con estos medios para proporcionar la solución nutritiva a la zona de la raíz de la planta y de esta manera llegan los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta. La forma más común de cultivar sin tierra es la hidroponía, que consiste en cultivar plantas con las raíces desnudas en un sustrato acuoso o inclusive sin sustrato siempre manteniendo el medio acuoso. Existen varios diseños posibles para los sistemas hidropónicos, pero todos comparten las siguientes características básicas presentadas en la Figura 2.

Las enfermedades y plagas transmitidas por la tierra que afectan a los monocultivos se reducen gracias a la agricultura sin suelo, esto se debe a que la hidroponía, es capaz de controlarlas al evitar el contacto entre el suelo y las plantas, además, los medios sin tierra se pueden desinfectar y reutilizar entre cultivos. El reciclado de los sustratos atiende a las necesidades específicas de la producción intensa. Algunos sustratos son muy superiores al suelo, sobre todo en su capacidad para retener el agua y suministrar oxígeno en la área de la raíz. En las raíces de las plantas la disponibilidad de nutrientes está mejor manipulada, supervisada y se controla en tiempo real, lo que permite aumentar la producción cuantitativa y cualitativa. Además, se debe tomar en consideración que gracias a que la solución nutritiva se recircula en la mayoría o casi todos de los métodos de cultivo sin suelo, estos emplean solo una porción del agua necesaria para la obtención de productos si se lo compara con la producción tradicional apoyada en la tierra. (FAO, 2014)



*Figura 2. Sistema de hidroponía. (FAO, 2014)*

El medio acuoso, debe mantener los parámetros fisicoquímicos que benefician el crecimiento de los vegetales. A continuación se mencionan los tres sistemas más comunes de cultivos hidropónicos:

- Nutrient Film Technique conocido por sus siglas NFT. Son sistemas que se pueden implementar en lugares con espacio reducido. Los vegetales o plantas se suspenden en algún recipiente sobre el canal de modo que las raíces lleguen al nivel del agua. El canal que debe tener una pequeña inclinación de forma que la solución nutritiva pueda circular y luego regresar al tanque reservorio.
- Camas de sustrato: Los depósitos deben estar repletos de algún sustrato inerte por ejemplo perlita, grava, vermiculita, etc., el sustrato sirve para sostener las plantas, dando libertad y oxígeno a las raíces. La solución nutritiva debe ingresar por un lado y en su opuesto debe estar la salida o retorno al reservorio, permitiendo que la solución nutritiva inunde los contenedores.
- Camas flotantes: A diferencia de los sistemas anteriores este sistema no necesita un tanque reservorio y un contenedor, ya que las plantas estarán flotando sobre los depósitos llenos de la solución nutritiva, normalmente se coloca poliestireno expandido y en este se realizan perforaciones para que las plantas se sostengan y las raíces floten en el líquido nutritivo. La solución debe ser oxigenada mediante turbulencia de forma continua. (Beltrano, et al., 2015).

La siguiente tabla muestra algunas de las fortalezas y debilidades de estos métodos.

**Tabla 1. Comparativa de fortalezas y debilidades en métodos de cultivo hidropónico.**

SISTEMA	FORTALEZAS	DEBILIDADES
NFT	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Instalación simple</li> <li>– Simple de escalarlo</li> <li>– Bajo mantenimiento</li> </ul>	El oxígeno y nutrientes no se distribuyen uniformemente, se tiene menos a mayor distancia del estanque.
Camas de sustrato	<ul style="list-style-type: none"> <li>– El sustrato sirve como filtro mecánico.</li> <li>– Raíces con soporte y buen soporte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Los desechos orgánicos pueden obstruir las salidas y generar ambientes anaerobios</li> <li>– Son usados para sistemas pequeños.</li> </ul>
Camas flotantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Son fáciles de operar</li> <li>– Adecuado para sistemas grandes</li> </ul>	Altos costos en la instalación inicial.

Adaptada de (Ramirez, Sabogal, Jiménez, & Hurtado Giraldo, 2018)

### 3.1.3. Técnica de Acuaponía.

De acuerdo a la (FAO, 2014), *acuaponía* se define como la combinación de la acuicultura de recirculación y la hidroponía en un sistema de producción.

En base a lo anterior la acuaponía puede definirse como la integración de sistemas de cultivo de organismos acuáticos con sistemas de cultivo de plantas sin suelo, beneficiándose ellos y potenciándolos.

En un sistema acuapónico, el agua del acuario fluye a través de filtros de los lechos de cultivo de las plantas y luego vuelve a los peces. (Figura 3).

Los desechos de los peces pasan a través de un biofiltro (lecho de plantas) que procesa los desechos disueltos y luego se filtran mecánicamente para eliminar los desechos sólidos y devolverlos al acuario o pecera.

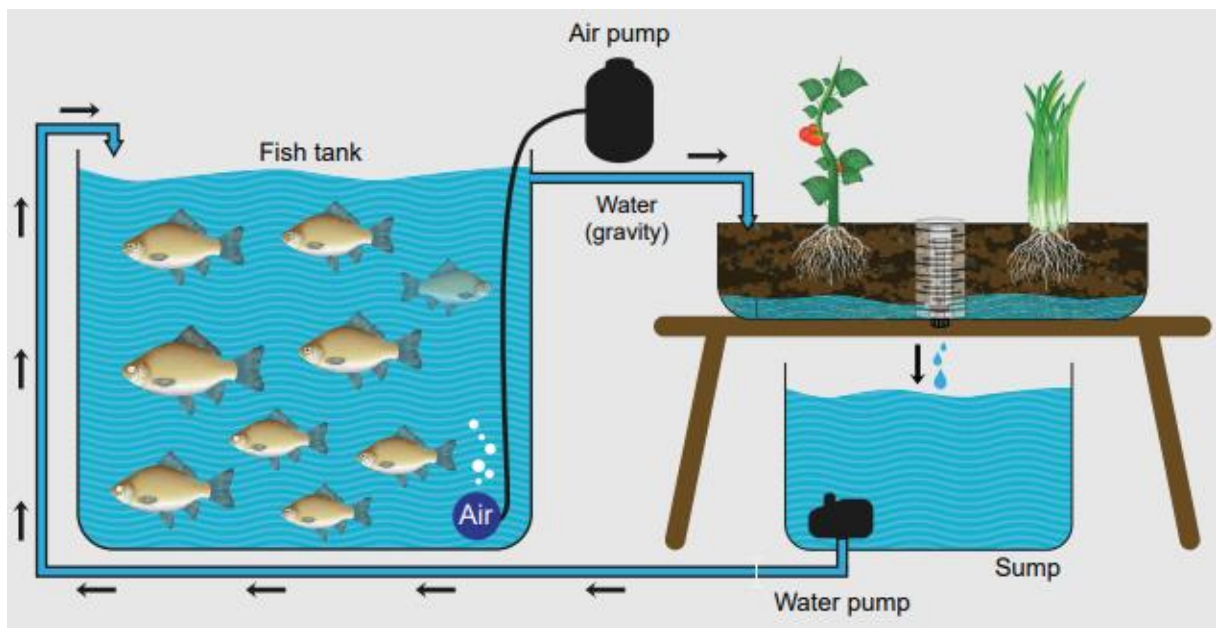


Figura 3. Sistema acuapónico (FAO, 2014)

El biofiltro permite la nitrificación, que es el proceso mediante el cual las bacterias transforman el amoníaco (que es una toxina para los peces) en nitrato, y este a su vez sirve como un nutriente para las plantas. El agua que contiene varios nutrientes, incluidos los nitratos, pasa a través del lecho de crecimiento, las plantas captan los nutrientes y, finalmente, el agua purificada regresa al acuario. A través de este proceso, permite que las plantas, bacterias y los peces se desarrollen de forma simbiótica y equilibrada para desarrollar un entorno saludable para cada una de las partes.

En la acuaponía, las aguas residuales de la acuicultura se redirigen a través de la vegetación y no se liberan al medio ambiente, pero al mismo tiempo los fitonutrientes son sostenibles, asequibles y provienen de fuentes no químicas. La acuaponía es más productiva y más barata, especialmente en los casos en que la tierra y el agua son limitados. Sin embargo, la acuaponía es complicada y requiere importantes costes de puesta en marcha. El aumento de la producción debe compensar los mayores costes de inversión necesarios para integrar los dos sistemas.

Aunque la producción de pescado y verduras es el resultado más visible de las unidades acuapónicas, es esencial entender que la acuaponía es una gestión holística del ecosistema que incluye tres grupos principales de organismos: peces, plantas y bacterias.

De forma general, se trata de un sistema en el que los residuos orgánicos de un organismo acuático determinado (para el caso de este estudio peces) se convierten, mediante la acción bacteriana en nitratos y nitritos que son aprovechados por las plantas para su crecimiento y estas a su vez limpian el agua actuando como un filtro biológico, como resultado se puede obtener un huerto libre de pesticidas y la producción de animales acuáticos en conjunto.

### 3.2. Ciclo de Vida

El sistema acuapónico de una forma simple cuenta con tres componentes biológicos principales: peces, plantas y bacterias. Estos tres componentes se combinan en tres técnicas de cultivo: acuicultura, hidroponía y biofiltración. El pedestal de su funcionamiento reside en la interacción de los componentes bióticos y abióticos del sistema, con la cual se conserva la calidad del agua en óptimas condiciones. Por ende, los requerimientos en este sistema (área de cultivo, agua y energía) son minimizados utilizando un sistema en el cual se pretende recircular y reutilizar los nutrientes. Esto se esquematiza en la Figura 4.

El equilibrio dentro del sistema acuapónico se puede comparar con un balanza que mantiene como punto de apoyo la colonia de bacterias y en sus brazos a las plantas y a los peces, uno de cada lado. (Candarle)

Para determinar los parámetros necesarios para mantener ciclo de vida en el sistema se pueden analizar múltiples variables entre ellas: PH (Potencial de Hidrógeno),  $NH_3$  (Amoníaco),  $NH_4$  (Amonio),  $NO_2$  (Nitrito),  $NO_3$  (Nitrato), Hierro, Oxígeno,  $CO_2$  (Dióxido de Carbono),

Cobre, Potasio, Cloro, Nivel de agua, temperatura de agua. (Ambientum, 2021)

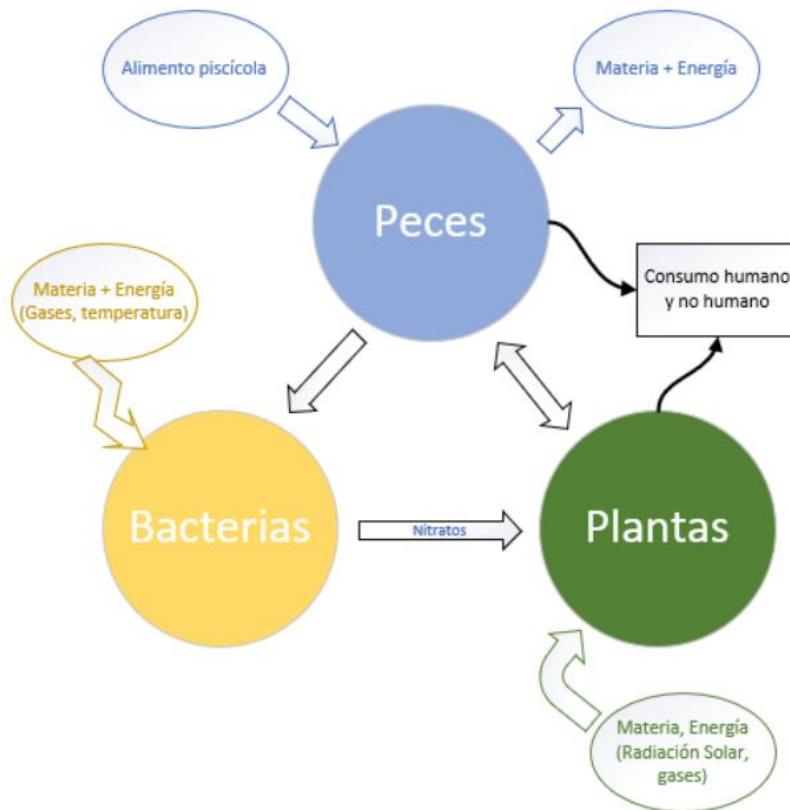


Figura 4. Diagrama de bloques sistema acuapónico (Creación Propia). (Jácome, 2014)

Un sistema hidropónico debe mantener un recambio del 10% de agua al día, mientras que en un sistema de recirculación acuapónico es del 1% al 3%, estas cantidades se pueden depreciar debido a la evaporación propia del sistema.

### 3.2.1. Calidad de agua

En un sistema de recirculación acuapónico para comprender el grado de importancia de la calidad del agua, se debe comparar con el papel de la sangre en el sistema circulatorio de un ser vivo, que se encarga de distribuir nutrientes y el oxígeno en todo el organismo. El agua provee los macro nutrientes (fósforo, nitrógeno, calcio, potasio, magnesio, sodio) y micro nutrientes (cloro, hierro, manganeso, zinc, boro, cobre) a las plantas de cultivo, y es un medio para que los peces reciban oxígeno.

Los principales parámetros que determinan la calidad del agua son la alcalinidad (pH), la temperatura, el oxígeno disuelto y los compuestos nitrogenados. Estos parámetros se resumen en la siguiente tabla.



**Tabla 2. Rangos de tolerancia de variables físicas y químicas para organismos en un sistema de recirculación acuapónica.**

TIPO DE ORGANISMO	TEMPERATURA (°C)	pH	NAT <sup>1</sup> (mg/l)	NITRITO (mg/l)	NITRATO (mg/l)	OD <sup>2</sup> (mg/l)
Peces aguas cálidas	22 - 32	6 - 8.5	<3	<1	<400	4 - 6
Peces aguas frías	10 - 18	6 - 8.5	<1	<0.1	<400	6 - 8
Plantas	16 - 30	5.5 - 7.5	<30	<1	-	>3
Bacterias nitrificantes	14 - 34	6 - 8.5	<3	<1	-	4 - 8

Adaptada de (Araujo Gómez, 2019)

Cada uno de los parámetros por si solo es transcendental, pero se debe discurrir la correlación de todos los parámetros al tiempo.

#### 3.2.1.1. Temperatura

Las plantas inmersas en agua deben vivir en ambientes de temperatura apropiada ya que variaciones excesivas perturban el metabolismo celular, llegando incluso a la muerte. La presencia de oxígeno es esencial para la vida celular y este elemento se diluye mejor en aguas frías que calientes. (Beltrano, y otros, 2015)

En el caso de los peces, este elemento definirá la tasa metabólica de los peces. Se debe mantener en rangos para asegurar un buen crecimiento y no solamente a rangos de sobrevivencia.

#### 3.2.1.2. Grado de acidez o alcalinidad – pH

La densidad de iones de hidrógeno en un elemento es el pH y se representa en una escala logarítmica que va del 1 al 14, el 7 es considerado como neutro, números menores representan acidez mientras que número mayores representan alcalinidad.

<sup>1</sup> NAT. Nitrógeno amoniacal.

<sup>2</sup> OD. Oxígeno disuelto

El pH tiene un consecuencia inmediata con la absorción iónica. Las soluciones con pH mayor a 7.5 provocan disminución en la absorción de nitratos. Descensos de pH limitan la absorción de amoníaco y aumenta la de nitratos. Las soluciones con PH menor a 4 disminuye la absorción de potasio resultando en un desequilibrio en la polaridad de las membranas celulares de las raíces. Para reducir el estrés en los peces en el acuario se debe mantener el pH estable en el sistema.

#### 3.2.1.3. Oxígeno disuelto

El oxígeno es un parámetro determinante, porque sin oxígeno los peces pueden morir en horas y las concentraciones bajas pueden causar la reducción de la producción de nitritos. Asegurar un alto nivel de oxígeno en el sistema es beneficioso para los peces, las plantas y los diferentes grupos de bacterias presentes en el sistema.

La temperatura del agua afecta inversamente a la solubilidad del oxígeno, una condición que se contrapone con el aumento del metabolismo en los peces. Por esta razón es recomendable evita fluctuaciones térmicas para mantener estables los niveles de oxígeno.

Se busca mantener concentraciones superiores a 3 mg/l. La eficacia de las bombas aireadoras, dependerá de la turbulencia que produzcan en la superficie, siempre se debe buscar burbujas de pequeño tamaño, para que faciliten la disolución del oxígeno.

#### 3.2.1.4. Dureza y alcalinidad.

La dureza es una medida de los cationes en el agua, que se componen principalmente de Hierro, Calcio y Magnesio. Para el sistema acuapónico la dureza es muy importante debido a que estos elementos son nutrientes fundamentales para los vegetales.

La nitrificación es el proceso que consume alcalinidad y como resultado produce ácido nítrico, para mantener valores estables de pH en el agua. Para evitar la acidificación de la fuente de agua, debe asegurarse de que la fuente de agua sea alcalina al renovar el agua en el sistema.

#### 3.2.1.5. Nitrógeno amoniacal o NAT.

El nitrógeno amoniacal se constituye de amonio ionizado ( $\text{NH}_4^+$ ) y amonio no ionizado ( $\text{NH}_3$ ), ocasionado la proteólisis o desintegración de proteínas, acción ejecutada por los peces y la desintegración consonante de los restos sólidos.  $\text{NH}_3$  es considerablemente tóxico para todos

los animales acuáticos. Su cantidad depende del pH y de la temperatura del agua. Se utilizan varias tácticas de filtración biológica en el control del nitrógeno amoniacal.

No se han definido las secuelas subletales del amoníaco, en concentraciones bajas (0,02 a 0,07 mg/L), se ha presentado reducción en el crecimiento de las especies y daños en los tejidos branquiales de algunas variedades de peces de aguas cálidas. El proceso de nitrificación como parte de su proceso entrega amonio no ionizado y nitritos, pero en concentraciones bajas no presentan toxicidad que pueda afectar el sistema.

En el proceso de la nitrificación finalmente se producen los nitratos, es el componente menos tóxico para los peces. La concentración de nitratos nunca alcanza altos niveles, gracias al recambio de agua diario. (Masser, Rakocy, & Losordo, 1998)

En la Figura 5 se presenta de forma gráfica el ciclo de nitrógenos para tener una mejor referencia de lo explicado.

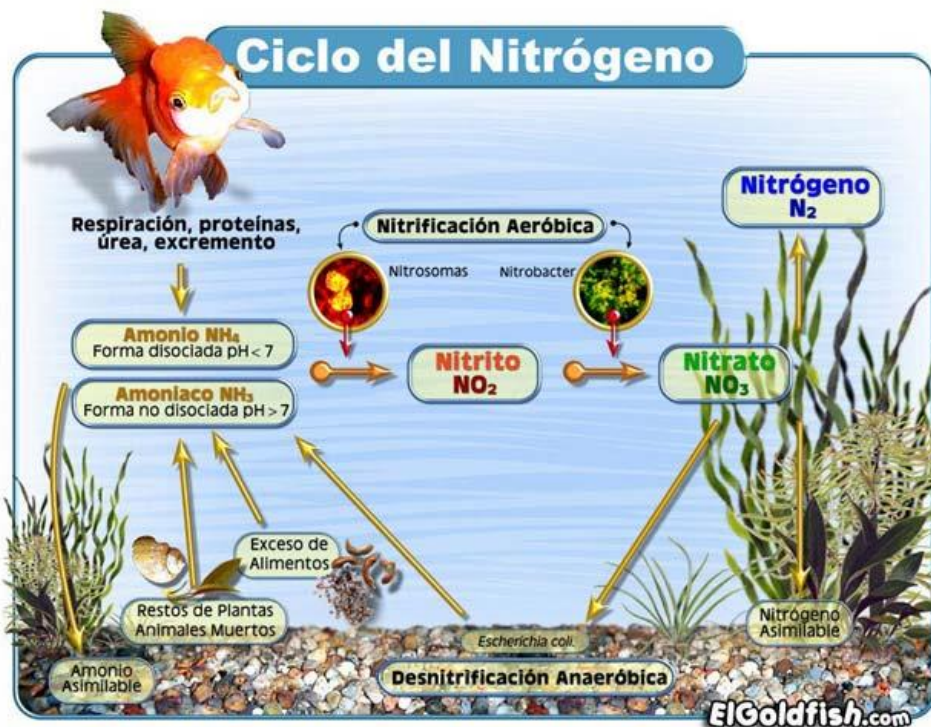


Figura 5. Ciclo del Nitrógeno (Ecoaquarium, 2014)

### 3.3. Especies para cultivos

Las variedades que logran ser producidas por el sistema acuapónico son muy diversas, tanto vegetales como peces. Se debe considerar que ambas especies requieran similares

características por lo menos en lo que se refiere a pH y temperatura. La gran mayoría de peces prefieren pH alrededor de 7.5, mientras que las plantas 5.5 de pH.

### 3.3.1. Tipos de peces

Los SRA son usados principalmente en la producción de especies que soportan altas densidades de población, alta tolerancia a enfermedades comunes y cierta tolerancia a compuestos nitrogenados.

Varias especies han sido cultivadas con éxito: Murray Cod, Pacú, Channel catfish, Randiá, Tilapia, Sunfish, Largue mouthbass, Carpa común, Carpa Koi, Bagre de canal, Trucha, etc. de algunos se presenta sus características en la Tabla 3 y peces ornamentales como: guppies, gold fish, carassius, espadas, pez ángel, cometa, mollies, etc.

**Tabla 3. Tolerancia en parámetros de calidad de agua para las especies acuícolas utilizadas en los sistemas de acuaponía.**

ORGANISMO DE CULTIVO	TEMPERATURA (°C)		NAT <sup>3</sup> (mg/l)	NITRITO (mg/l)	OXÍGENO (mg/l)	% PROTEÍNA EN ALTO RENDIMIENTO	TIEMPO DE CRECIMIENTO
	Vital	Óptima					
Carpa común	4 a 34	25 a 30	<1	<1	>4	30 a 38	60 gr en 10 meses
Tilapia del Nilo	14 a 36	27 a 30	<2	<1	>4	28 a 32	600 gr en 7 meses
Bagre de canal	5 a 34	25 a 30	<1	<1	>3	25 a 36	400 gr en 8 meses
Trucha arco iris	10 a 18	14 a 16	<0.5	<0.5	>6	42	1 kg en 15 meses
Cabeza chata	8 a 32	20 a 27	<1	<1	>4	30 a 34	750 gr en 10 meses

Adaptada de (Araujo Gómez, 2019)

<sup>3</sup> NAT. Nitrógeno amoniacal.

### 3.3.2. Tipos de plantas.

Algunas plantas han crecido bien con el sistema acuapónico, entre las más comunes tenemos: hortalizas (rúcula, lechuga, radicheta, perejil, acelga, espinaca, etc.); vegetales (pimientos, zanahoria, brócoli, tomate, arvejas, coliflor, cebolla, etc.); hierbas aromáticas (Hierba buena, albahaca, menta, orégano, cilantro, etc.); plantas acuáticas (Iemna, valisneria, loto, elodea, etc.) y ornamentales (helechos, florales, etc.). Se presentan varias de las mencionadas y sus tolerancia a parámetros en la Tabla 4.

Para seleccionar los vegetales a producir o cultivar, se debe tener en consideración que mientras mayor es la demanda nutricional (por ejemplo, plantas frutales), los sistemas deben generar más nutrientes y esto se traduce en una mayor carga de peces. Un sistema maduro puede generar de forma estable una mejor calidad de nutrientes, se puede considerar un sistema como maduro aquel que tiene mínimo seis meses de funcionamiento. (Caló, 2011)

La producción de cultivos vegetales en un sistema de acuaponía comercial produce entre el 66 al 90 % de las ganancias, esto se debe al rápido crecimiento del vegetal si se lo compara con los animales. (Araujo Gómez, 2019)

**Tabla 4. Parámetros ambientales y condiciones generales de cultivo para vegetales comúnmente cultivados en el sistema de acuaponía.**

ESPECIE DE CULTIVO	pH	<i>PLANTAS/m<sup>2</sup></i>	TIEMPO DE GERMINACIÓN (días)	TIEMPO DE CRECIMIENTO (semanas)	TEMPERATURA (°C)	EXPOSICIÓN SOLAR
Albahaca	5.5 - 6.5	8 - 40	6 - 7	5 - 6	20 - 25	Moderada /Alta
Coliflor	6 - 6.5	3 - 5	4 - 7	2 - 4	10 - 20	Alta
Lechuga	6 - 7	20 - 25	3 - 6	4 - 5	15 - 22	Moderada /Alta
Pimiento	5.5 - 6.5	3 - 4	8 - 12	2 - 3	15 - 30	Alta
Tomates	5.5 - 6.5	3 - 5	4 - 7	2 - 3	15 - 25	Alta
Acelga	6 - 7.5	15 - 20	4 - 5	4 - 5	15 - 25	Moderada /Alta
Perejil	6 - 7	10 - 15	8 - 10	3 - 4	15 - 25	Moderada /Alta

Adaptada de (Araujo Gómez, 2019)

Se pueden presentar alteraciones en las plantas que nos indican deficiencias de ciertos nutrientes en la Tabla 5, se listan algunos.

**Tabla 5. Síntomas de deficiencia de nutrientes en plantas.**

ELEMENTO	DEFECTO
Nitrógeno	Pobre desarrollo de frutos. Las hojas son de color verde claro o amarillentas, especialmente las hojas más viejas.
Fósforo	El crecimiento de las plantas es deficiente. Las hojas son de color violáceo.
Potasio	Crecimiento irregular de frutos. Las hojas viejas tienen bordes amarillos y morirán.
Calcio	Crecimiento pobre de frutos. Reducción o muerte de nuevos racimos.
Magnesio	Las frutas están subdesarrolladas. Las venas de las hojas son de color amarillento.
Azufre	Los síntomas son similares a los observados en la deficiencia de nitrógeno, pero aparecen en nuevos brotes. La presencia de color amarillento en las hojas nuevas progresa luego por toda la planta.
Manganeso	Presencia de manchas color marrón en las hojas más viejas
Zinc	Hojas de tamaño reducido. Presencia de color amarillento entre nervaduras de hojas jóvenes.
Boro	Deformación de hojas con áreas descoloridas y hojas de tamaño reducido
Hierro	Áreas amarillas o blancas entre las nervaduras de las hojas jóvenes, manchas de tejido muerto

Adaptada de (Masser, Rakocy, & Losordo, 1998)

### 3.4. Proyectos similares

En este apartado se describen brevemente proyectos similares desarrollados en torno a la acuaponía y sus similitudes o diferencias con el proyecto desarrollado en este documento.

#### 3.4.1. Aquapioneers

Existe una organización localizada en Parque Natural de Collserola - Barcelona llamada Aquapioneers (<http://aquapioneers.io/es/>) que utiliza la tecnología más reciente en

agricultura sin tierra para desarrollar soluciones de agricultura urbana sostenible, además, promueve la autosuficiencia alimentaria en las ciudades.

Ofrecen su diseño Open Source, para comprarlo o descargarlo, además de un taller dónde enseñan a montarlo y a utilizarlo. El costo del modelo es de € 990.

- A diferencia de Aquapionners, este proyecto está orientado al diseño de un sistema autónomo que permita recolectar información de las variables del sistema y provea un sistema de alerta al usuario.
- El coste final del proyecto debe de ser menor.

#### 3.4.2. Tesis de pregrado, trabajos de fin de master, tesis doctorales.

Durante la investigación se han encontrado trabajos similares al planteado en este documento.

- “Diseño, construcción y análisis de funcionamiento inicial de un sistema de acuaponía que combina un estanque ornamental con un jardín vertical exterior” (González Bermúdez, 2017)
- “Diseño de un sistema acuapónico autónomo” (Jácome, 2014)
- “Implementación de un sistema acuapónico urbano bajo invernadero en la ciudad de Xalapa” (Kanchi Díaz, 2013)
- “Diseño e implementación de un sistema para el control y monitoreo de variables aplicado a un cultivo acuapónico a pequeña escala basado en IoT” (Piñeros Bolívar & Borraez Hernández, Bogota)

Ninguno presenta el enfoque de Industria 4.0 como el que se plantea dar en este trabajo, la tesis de (Piñeros Bolívar & Borraez Hernández, Bogotá), realiza un modelo autónomo, pero este no fue puesto en prueba, los otros documentos tienen enfoques agropecuarios o de producción en escalas más grandes que no se pueden instalar en interior de un departamento.

### 3.5. Conclusiones del Estado del Arte

La producción tradicional proporciona productos que se ven afectados por factores externos, como pesticidas y otros productos químicos, que pueden afectar el valor nutricional e incluso

ser dañinos para la salud humana, a esto se le suma que esta producción ocupa grandes área de cultivo y que el líquido vital no se aprovecha al máximo.

Esto destaca la importancia de encontrar opciones, luego investigarlas y optimizarlas para una producción más saludable y eficiente.

La técnica de hidroponía ofrece una alternativa válida para la producción y uso más saludable de los recursos hídricos, si a esto se le suma la acuicultura eliminando la adición de nutrientes químicos externos crea un sistema altamente sostenible y saludable, se lo conoce como acuaponía.

La acuaponía es un proceso que se utiliza manualmente o con acceso limitado a la tecnología. Es en esta parte donde se justifica crear un sistema de acuaponía funcional que permita ser monitoreado desde una plataforma IoT, que además se desarrolla fuera de un laboratorio llevando su construcción a un entorno urbano y permitirá su replicación en cualquier entorno. Se busca generar datos de análisis como uno de los resultados de este proyecto.

Sin embargo, los datos individuales en sí deben considerarse poco útiles. Estas son solo la materia prima que producen información cuando se procesan. Para esto es necesario generar tendencias y patrones. Por lo tanto, este proyecto debe desarrollarse como un punto de partida para la investigación y el desarrollo futuros en el área de la acuaponía urbana.

Durante este capítulo se ha descrito el ciclo óptimo de vida en un sistema de acuaponía además se han mencionado los tipos de plantas y peces que se pueden cultivar en un entorno urbano, al final se revisó rápidamente las opciones académicas y comerciales desarrolladas entorno a los huertos acuapónicos con monitorización IoT, para llegar a concluir cuales son los vacíos que se intenta cubrir con este trabajo.



## 4. CONTRIBUCION

Con este proyecto se pretende entregar un modelo funcional que pueda ser replicado por cualquier persona con conocimientos básicos de microcontroladores, programación y agricultura. Que otorgue los beneficios de poder tener en el interior de casa un sistema que se autocontrole y produzca alimentos de consumo sanos y frescos.

En este apartado se describirá los objetivos del proyecto y la metodología utilizada para desarrollarlo.

### 4.1. Objetivos

A continuación se definen los objetivos generales y específicos que se busca cubrir con el presente trabajo.

#### 4.1.1. Objetivo General

Diseñar, implementar y especificar un pequeño sistema de acuaponía para la producción complementaria de alimentos en el interior de un departamento en zona urbana que permita el control y seguimiento de variables bajo el concepto de IoT.

#### 4.1.2. Objetivos particulares

Cada objetivo específico que se define a continuación, es considerado como parte del objetivo general. Se espera cubrir a totalidad los planteamientos durante el desarrollo de este trabajo.

- Investigar la producción agrícola alternativa en los huertos urbanos y correlacionar si los hubiera con proyectos de IoT existentes.
- Diseñar un prototipo de sistema acuapónico capaz de producir plantas de ciclo corto en el interior de un departamento en zona urbana.
- Documentar la construcción y el funcionamiento del sistema acuapónico autónomo.
- Construir un sistema permita medir de las variables como pH, nivel de agua, temperatura en el ambiente y temperatura en el interior del acuario.
- Desarrollo de una interfaz IoT que permita monitorear de las variables del sistema, desde el internet y APP en el celular.

## 4.2. Metodología

La metodología utilizada es del tipo mixta, combinada entre un análisis experimental fusionado con el análisis cualitativo, enfocada a orientar acerca de un proceso ya establecido sobre la producción acuapónica artesanal, trasladando estos conocimientos a un entorno urbano y dándole opción de supervisión de las variables mediante IoT.

### 4.2.1. Fase de investigación.

Durante este período, se realizarán investigaciones acerca de las técnicas de hidroponía y acuaponía, se recopila tesis, documentos científicos relevantes, se investiga equipos de control, monitorización, transmisión de datos al internet, espacios en la nube para recopilación de datos IoT. También se revisan sensores disponibles en el mercado que se puedan adaptar al proyecto.

Se estudia el tipo de plantas que se pueden producir por este método y el tipo de peces que pueden aportar con nutrientes y que pueda resistir condiciones ambientales con mayores adversidades para las pruebas, así como las características para mantener el ciclo de vida en la pecera como en las macetas.

### 4.2.2. Fase de diseño y construcción del modelo.

Para esta etapa se determinó el tamaño del modelo a ensamblar y se definió las características de la bomba y tuberías para la recirculación del agua. Se procede con la adquisición de la pecera, calentador, aireador, tuberías, macetas, etc.

Se adecua el lugar y se construye el modelo.

Se adquieren los equipos electrónicos, sensores, además se realizan pruebas cortas de transmisión de información a la nube para definir el modelo completo.

### 4.2.3. Fase de puesta en marcha del sistema acuapónico sin supervisión.

Para esta etapa se define el tipo de vegetales que se pueden colocar y el material que permitirá fijarlos a la cama de agua.

Se adquieren los peces y se arranca el sistema como etapa inicial no se colocan las plantas para que los peces puedan desarrollar el biofiltro sin agentes externos, para la etapa dos se incluyen lechugas, hierba buena, cebollín, albaca y acelga.

#### 4.2.4. Fase de implementación electrónica y conexión IoT.

En esta etapa se construye el circuito electrónico, se procede a estructurar y diseñar la programación del microcontrolador de los sensores de temperatura en la pecera, temperatura y humedad ambiente, sonda de PH, nivel de agua en pecera y se agregan un sensor que entrega datos de presión atmosférica y altura para poder relacionar las condiciones climáticas con las otras variables.

Para poder visualizar la información se configura una pantalla OLED de 64x128 px.

Se prueban distintas plataformas IoT y se elige las que mayor prestaciones nos entrega en la capa gratuita, se configura el canal y se envían datos para que se almacenen. También se configuran APP en un teléfono Android para monitorear los datos reportados y almacenados.

## 5. DESARROLLO HUERTO ACUAPÓNICO CON CONEXIÓN IOT

En este capítulo se describirá a detalle los componentes mecánicos, electrónicos, lógica de programación y plataforma IoT de recolección de datos. Finalmente se presentará un resumen con los gastos de inversión realizada y una corta propuesta de planificación para replicar este proyecto.

Así, la Figura 6 muestra el modelo a construir y nombra sus principales componentes.

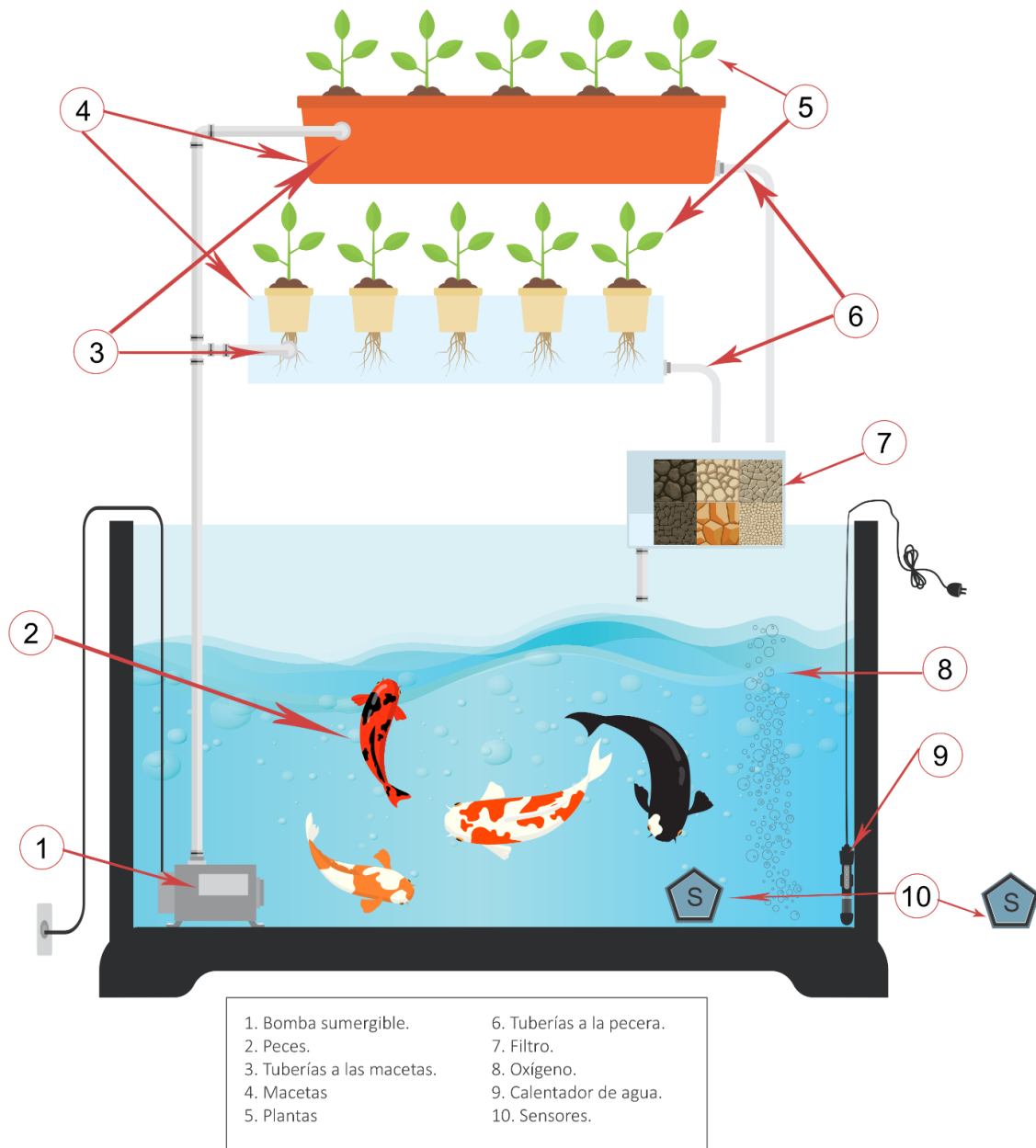


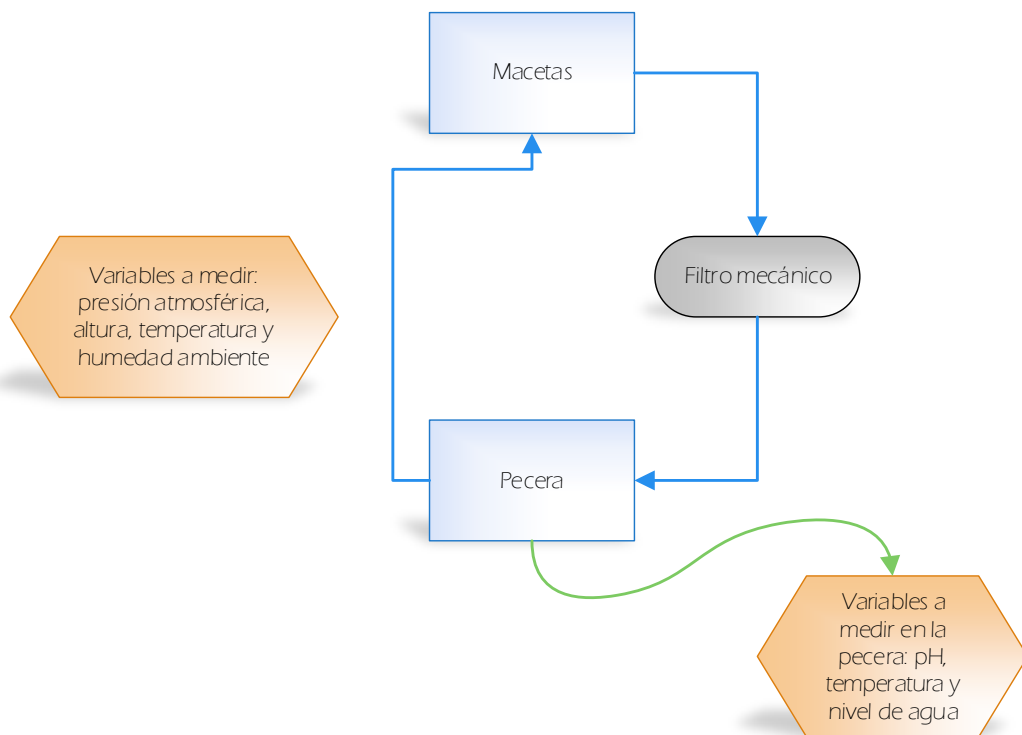
Figura 6. Modelo acuapónico construido (Creación propia).

Para que el sistema entre en funcionamiento se debe considerar el ciclado del sistema que ayuda con la maduración del biofiltro, con este proceso se busca que se establezca la colonia bacteriana para que suceda el proceso de nitrificación, este es un paso inicial en todo sistema de recirculación acuapónico nuevo.

Este es un proceso que toma de 3 a 5 semanas en condiciones normales para que las colonias bacterianas crezcan y creen un filtro biológico para el sistema.

La luz ultravioleta puede bloquear el crecimiento bacteriano, por lo que el sistema debe protegerse de la luz solar directa. De acuerdo a (Candarle) se debe considerarse que durante los primeros ciclados se pueden presentar altos niveles de nitritos y de amonio, y esto se traduce en que presentan alto riesgo para los peces.

En la Figura 7 se presenta un esquema con los componentes electrónicos instalados en el sistema.



*Figura 7. Esquema componentes electrónicos en el sistema (Creación propia)*

A continuación se describe a detalle cada uno de los componentes mecánicos y electrónicos.

## 5.1. Componentes Mecánicos

En esta sección se describen todos los elementos mecánicos que se utilizaron y se justifica su selección.

### 5.1.1. Pecera

Para seleccionar el tamaño de la pecera es importante comparar el radio de cultivo expuesto que se calcula como la proporción área de cultivo con el volumen del sistema. De esta manera, puede determinar sus posibilidades de éxito en base a experiencias anteriores. Se toma como referencia la Tabla 6.

**Tabla 6. Comparación del Radio de Cultivo: Volumen del sistema**

TANQUE DE CULTIVO ( $m^3$ )	VOLUMEN DEL SISTEMA ( $m^3$ )	ÁREA HIDROPÓNICA ( $m^2$ )	RADIO
0.5	0.5	3.4	6.8
0.5	0.5	2.3	4.6
22.5	22.5	100	4.44
0.5	0.5	1.5	3
0.87	3.85	8.8	2.29
6.9	7.4	9	1.22
11.2	17.8	13.8	0.78
2.3	2.6	1.6	0.62
6.4	6.6	1.8	0.27
6.9	7.5	1.2	0.16

Adaptada de (Jácome, 2014)

En este caso de estudio, se seleccionó un acuario como se muestra en la Figura 8. Con estas dimensiones se calcula la cantidad de agua que son 53 litros o  $0.05 m^3$  y se conoce que el área de cultivo son  $0.08 m^2$  dando un radio de 1.6 y de acuerdo a la tabla anterior nos encontramos en el rango medio por lo que se puede aseverar que la capacidad del sistema es estable.

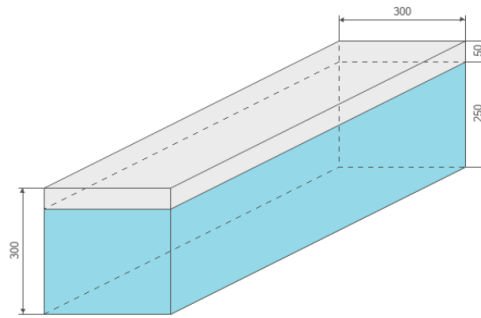


Figura 8. Dimensiones pecera (Creación propia)

### 5.1.2. Bomba y calentador

Estos dos elementos se eligieron de las opciones comerciales disponibles, para el calentador se seleccionó uno de acuerdo al volumen de agua en la pecera y que nos permita mantener una temperatura mínima de 21 °C, considerando que el tipo de peces para la prueba no necesitan de calentador en el agua, pero reducir la variación de temperatura reduce el estrés en los peces y por tanto el índice de amoniaco. Se adquiere el calentador de la marca LansenFish de 50W (Figura 9), tomando como referencia la Tabla 7 de acuerdo datos del fabricante.

**Tabla 7. Potencia de calentador relacionada con la capacidad de agua.**

POTENCIA DEL CALENTADOR (vatios)	CAPACIDAD (litros)
25	10 – 45
50	40 – 80
100	70 – 150
150	120 – 250
200	150 – 350
300	250 – 450

Adaptada de (Midland Aquatic Solutions, 2021)



Figura 9. Referencia de calentador 50 W (Premium Aquatics, 2021)

De forma similar para seleccionar la bomba se buscó entre las opciones disponibles en el mercado y el único requisito que debía cumplir es que la potencia de la bomba levante la columna de agua mínimo 80 cm para alcanzar el nivel de las macetas. De acuerdo al fabricante de la marca Amara se elige el modelo LED-288F (Figura 10), tomando como referencia la Tabla 8.



Figura 10. Referencia bomba LED-288F Amara (Rebel Pets, 2021)

**Tabla 8. Potencia y columna de agua bombas de la marca Amara**

MODELO	POTENCIA (W)	MÁXIMO FLUJO (l/h)	Altura máxima (cm)	Volumen del tanque (litros)
LED-388F	40	2500	1800	110 – 120
LED-288F	30	1800	1500	80 – 90
LED-188F	25	880	1200	50 - 60
LED-088F	15	650	1000	25 – 30

Adaptada de (Rebel Pets, 2021)



Este modelo de bomba cuenta con un depósito para el filtro mecánico, que se aprovecha en el sistema.

### 5.1.3. Filtro mecánico.

Una parte importante del sistema de recirculación es la purificación del agua mediante un proceso mecánico. Este procedimiento permite la separación de los desechos sólidos en suspensión. Estas partículas en suspensión pueden ser material fecal de los peces, restos de alimentos, bacterias, hongos y algas del sistema. Los desechos sólidos pueden acumularse en el tanque y descomponerse, luego viajar a las raíces de las plantas y obstruirlas, liberando gases tóxicos e impidiendo la absorción adecuada de nutrientes. (FAO, 2014)

Para el caso de estudio se utiliza una combinación de filtro mecánico (lana de perlón), filtración biológica (materiales de origen cerámico y poliuretano) y filtro químico (carbón activo).

### 5.1.4. Filtro biológico.

La mineralización o proceso de liberación de nutrientes, es un requisito vital para el sistema denominado también como filtración biológica o nitrificación. Mediante la labor de microorganismos involucrados en la descomposición de los residuos sólidos a partir del usar al carbono como fuente de alimento, esto produce la nitrificación que a su vez entrega micronutrientes que aprovechan las plantas.

Estos organismos, requieren condiciones aeróbicas (con oxígeno) para crecer normalmente y para mineralizarse con éxito en el agua.

Todas las partes del sistema pasan por este proceso hasta cierto punto. (Araujo Gómez, 2019)

### 5.1.5. Maceta

Las macetas para el sistema acuapónico se utilizan los mismo sistemas que para los huertos hidropónicos, para el modelo que se construyó se optó por el sistema de lecho de sustratos utilizando como sustrato inerte la arlita. (Figura 11)



*Figura 11. Maceta con sustrato de arlita. (Creación propia)*

#### 5.1.6. Sifón de campana.

En acuaponía, es ineludible cuidar el flujo de agua, este debe ser suficiente y continuo para que los nutrientes se distribuyan correctamente para las plantas y los peces obtengan el ciclado necesario.

El dispositivo conocido como sifón de campana es simple, permite controlar el flujo de agua en este tipo de sistemas de manera fácil y eficiente; La principal ventaja es que no necesita ningún tipo de supervisión o intervención humana. El sifón de campana realiza ciclos de inundación y drenado en el lecho de cultivo de forma autónoma siempre manteniendo un nivel mínimo de agua y evitando estancamientos. El ciclo de inundación y drenaje representa un punto crítico para garantizar un desarrollo saludable de las plantas, este impulsa la oxigenación y de esta manera ayuda a las plantas a absorber más nutrientes. (Figura 12).

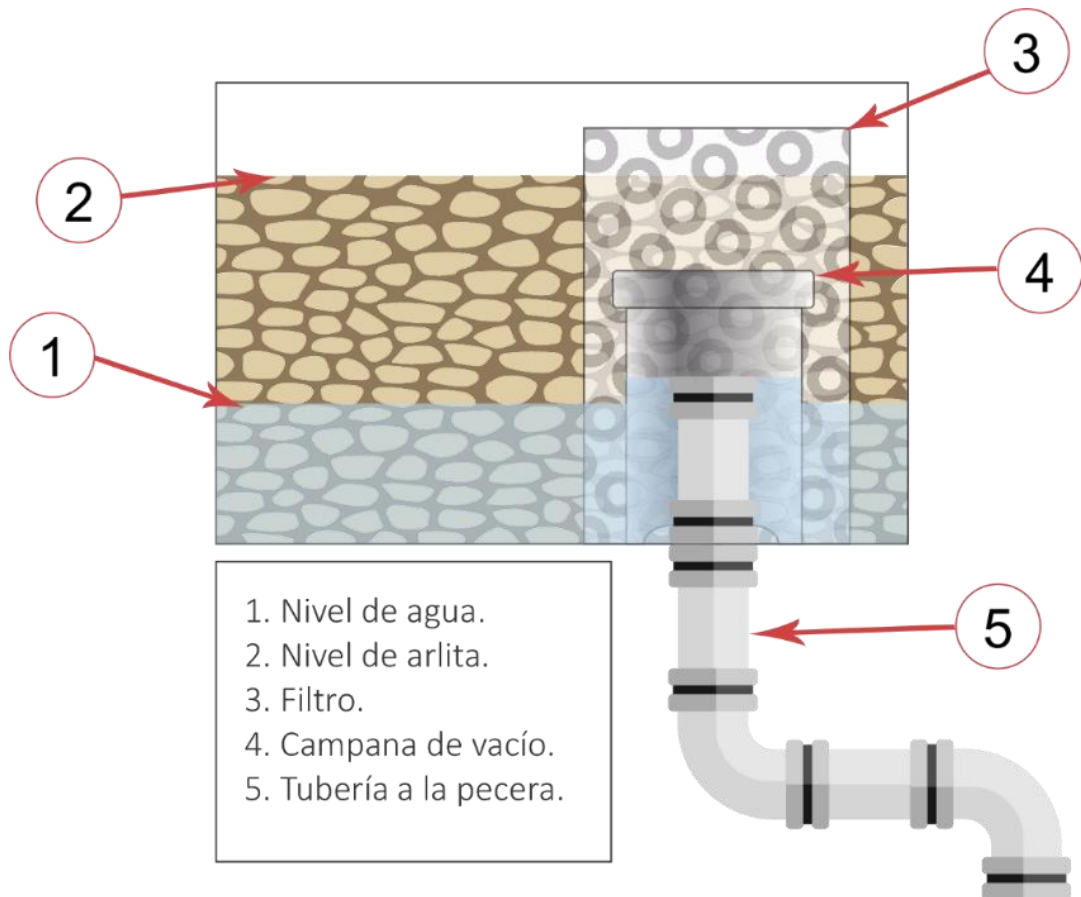


Figura 12. Filtro tipo campana (Creación propia).

## 5.2. Componentes Electrónicos

En este capítulo se describen todos los componentes electrónicos utilizados en la configuración del circuito para el prototipo descrito en este documento.

### 5.2.1. Arduino

Se ha seleccionado Arduino porque su función principal es facilitar el uso de la electrónica en todo tipo de proyectos y se basa en la filosofía del software libre y el código de fuente abierta. Se trata de una placa equipada con un microcontrolador que se puede combinar con un entorno de desarrollo a gran escala.

De las vastas opciones de la familia Arduino para este proyecto se elige Arduino MKR1000

#### 5.2.1.1. Arduino MKR1000

MKR1000 es una tarjeta potente que combina las funciones de la Zero y la Wi-Fi Shield. Esta es una solución ideal para creadores que desean diseñar proyectos de IoT. (Figura 13)

Está diseñado para proporcionar una solución práctica y rentable para los fabricantes que buscan agregar conectividad WiFi a sus diseños. Está basado en el SoC (System on Chip) ATSAMW25 de Atmel, que forma parte de la familia de dispositivos inalámbricos SmartConnect de Atmel diseñados específicamente para dispositivos y proyectos de IoT. El módulo Wifi MKR1000 soporta el certificado SHA-256.



Figura 13. Arduino MKR1000 (Arduino, 2021)

Todos los periféricos se seleccionan para que sean compatibles con el sistema Arduino

### 5.2.2. Sensor de temperatura – DS18B20

Sensor de temperatura DS18B20 encapsulado de interfaz 1-Wire, es decir solo necesita de un puerto para la comunicación. Rango de temperatura de -55 °C a +125 °C con una precisión de  $\pm 0.5$  °C de -10 °C a +85 °C. (Figura 14) (Dallas Semiconductor, 2019)

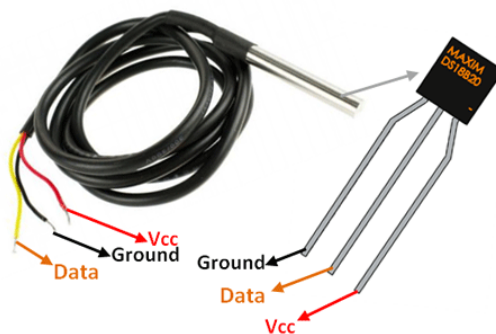


Figura 14. Sensor de temperatura DS18B20 (Components 101, 2021)

### 5.2.3. Sensor de humedad y temperatura– DHT11

El sensor digital de temperatura y humedad DHT11 es un sensor compuesto que contiene la salida de la señal digital calibrado de la temperatura y la humedad. La tecnología de módulos

digitales dedicado a la temperatura y humedad garantizan que el producto tiene alta confiabilidad y excelente estabilidad. (Figura 15)

Permite un rango de medida de 20 a 90 % de Humedad relativa y de 0 °C a 50 °C con una precisión para la humedad relativa de  $\pm 5$  % y para la temperatura una precisión de  $\pm 2$  °C. (Mouser)

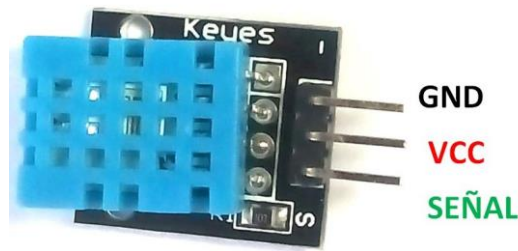


Figura 15. Sensor de humedad y temperatura DHT11

#### 5.2.4. Sensor pH – GAOHOU PH0-14

La combinación del sensor junto con la sonda PH BNC permite medir rangos de pH de 0 a 14. Consume de 5 a 10 mA, tiene tiempos de respuesta menores a 5 segundos. (Figura 16)

La sonda puede presentar un error alcalino menor a 15 mV.



Figura 16. Sensor de pH GAOHOU

#### 5.2.5. Sensor de distancia ultrasónico – HC-SR04

HC-SR04 es un módulo que concentra un par de transductores de ultrasónicos que se utilizan juntos para determinar la distancia del sensor a un objeto frente al sensor. (Figura 17)

Proporciona un rango de medición sin contacto de 2 cm a 400 cm, con una precisión de hasta 3 mm.

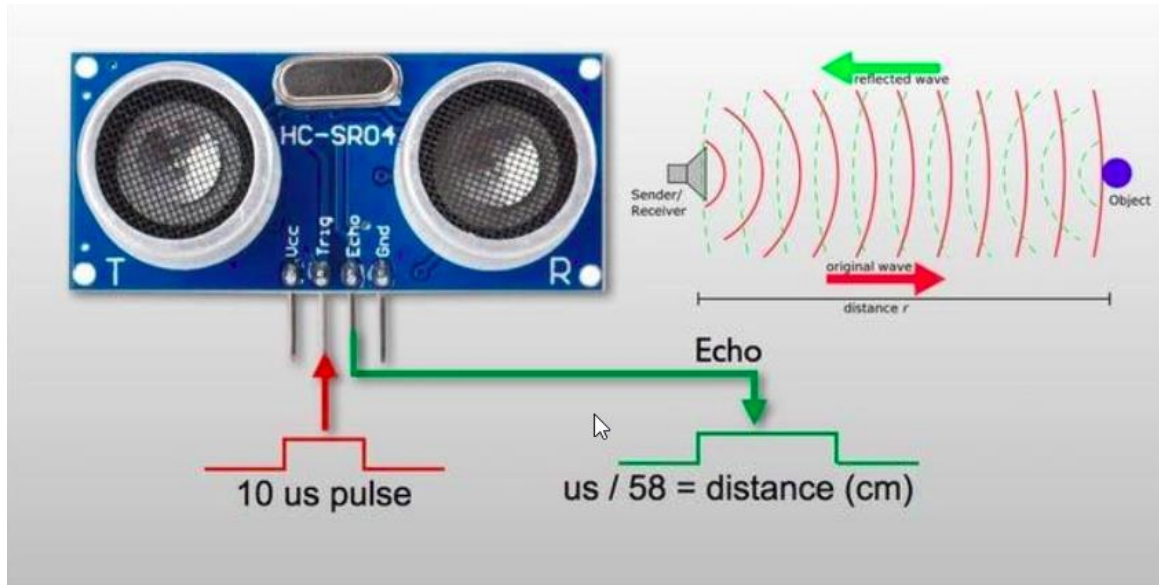


Figura 17. Sensor de distancia ultrasónico – HC-SR04 (Geek Factory, 2021)

#### 5.2.6. Sensor de presión atmosférica – BMP085

BMP085 es el sensor de Presión Atmosférica ideal en aplicaciones de meteorología, permite lecturas de presión atmosférica y también puede usarse como altímetro. Posee interfaz I2C para comunicación con el microcontrolador. (Figura 18)

Su resolución es de 300 a 1100 hPa (9000 m a 500 m sobre el nivel del mar), con una precisión de 0.03 hPa / 0.25m. (BOSCH, 2009)

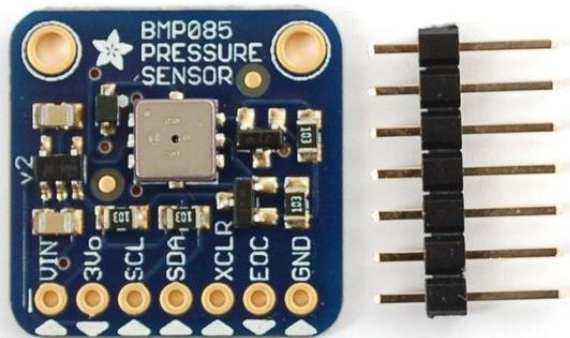


Figura 18. Sensor de presión atmosférica BMP085 (Geek Factory, 2021)

### 5.2.7. Display OLED – SSD1306

La tecnología OLED (Organic Light-Emitting Diode) traducida al español se convierte en un diodo orgánico emisor de luz. Las pantallas OLED están fabricadas con láminas de materiales orgánicos como el carbono

A diferencia de las pantallas LCD, OLED tiene la ventaja de no requerir luz de fondo, lo que reduce el consumo de energía y la hace mucho más fina.

SSD1306 es un componente OLED CMOS que se comunica con el microcontrolador mediante SPI o I2C, el modelo utilizado en este desarrollo es de 128 x 64 px, con 128 x 16 px en color amarillo y 128 x 46 en color azul.(Figura 19) (SSD1306, 2008)

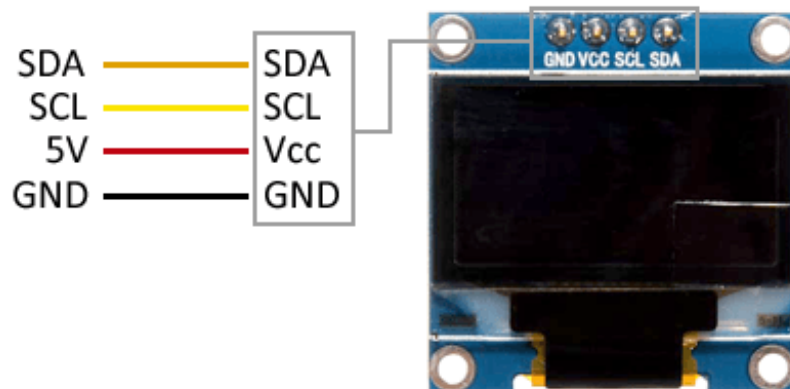


Figura 19. Display OLED SSD1306

### 5.3. Circuito electrónico.

Como se definió en el apartado anterior la solución esta centralizada en el módulo MKR1000 de Arduino que cuenta con conexión WIFI. En la Figura 20 se presenta la distribución de pines para este dispositivo.

De acuerdo a la configuración de cada dispositivo se realiza la conexión en entradas analógicas, en pines tipo PWM o mediante el uso de la comunicación serial I2C, que permite hasta 127 dispositivos. Para este caso MKR1000 actúa como master y los otros dispositivos son los esclavos.

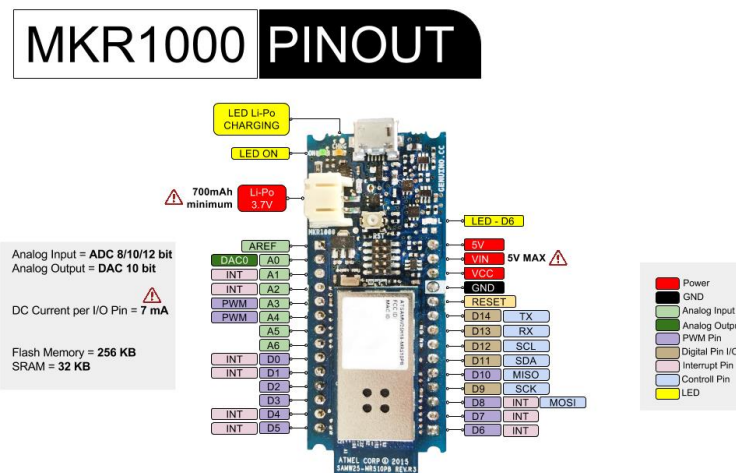
En la Tabla 9 se presenta un listado de todos los dispositivos conectados, de forma que sirva como una guía rápida para interpretar el esquema eléctrico presentado en la Figura 21.

**Tabla 9. Distribución de conexiones Arduino MKR1000.**

DISPOSITIVO	PIN CONEXIÓN
Sensor de Temperatura - DS18B20	D4
Sensor de humedad y temperatura ambiente - DHT11	D5
Sensor PH - GAOHOU PH0-14	A0
Sensor de distancia ultrasónico – HC-SR04	Trig (D6), Echo (D7)
Sensor de presión atmosférica – BMP085	SCL (D12), SDA (D11)
Display OLED – SSD1306	SCL (D12), SDA (D11)

Creación propia

Siempre debe asegurarse de que las tierras de todos los equipos estén conectadas para evitar descargas electrostáticas que puedan quemar o dañar los equipos. Además, se debe constatar que no se supera los umbrales de voltaje para el cual están diseñados los dispositivos.



*Figura 20. Distribución de pines MKR1000 (Caccavale, 2021)*

En las figuras siguientes Figura 22 y Figura 23 se presentan el modelo digital y una fotografía del circuito real correspondientemente.



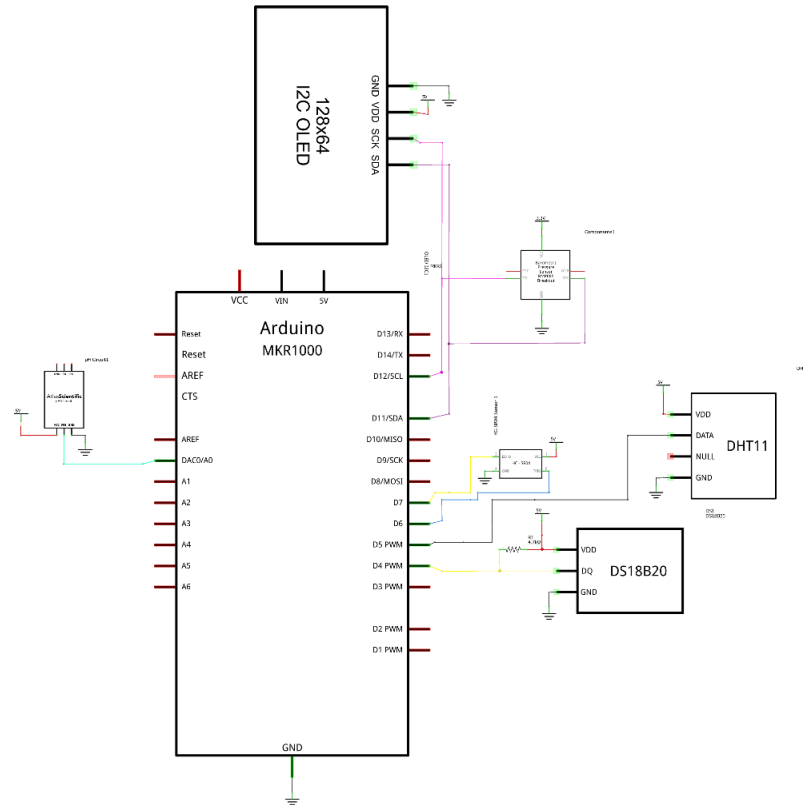


Figura 21. Diagrama esquemático (Creación Propia)

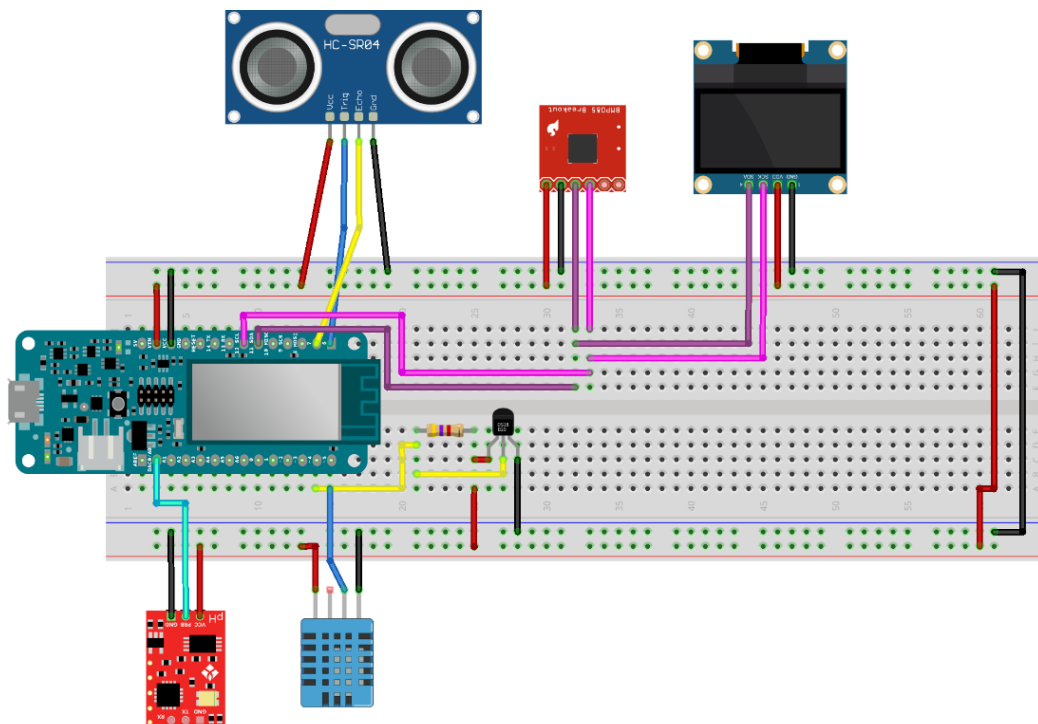


Figura 22. Modelo digital del circuito. (Creación propia)

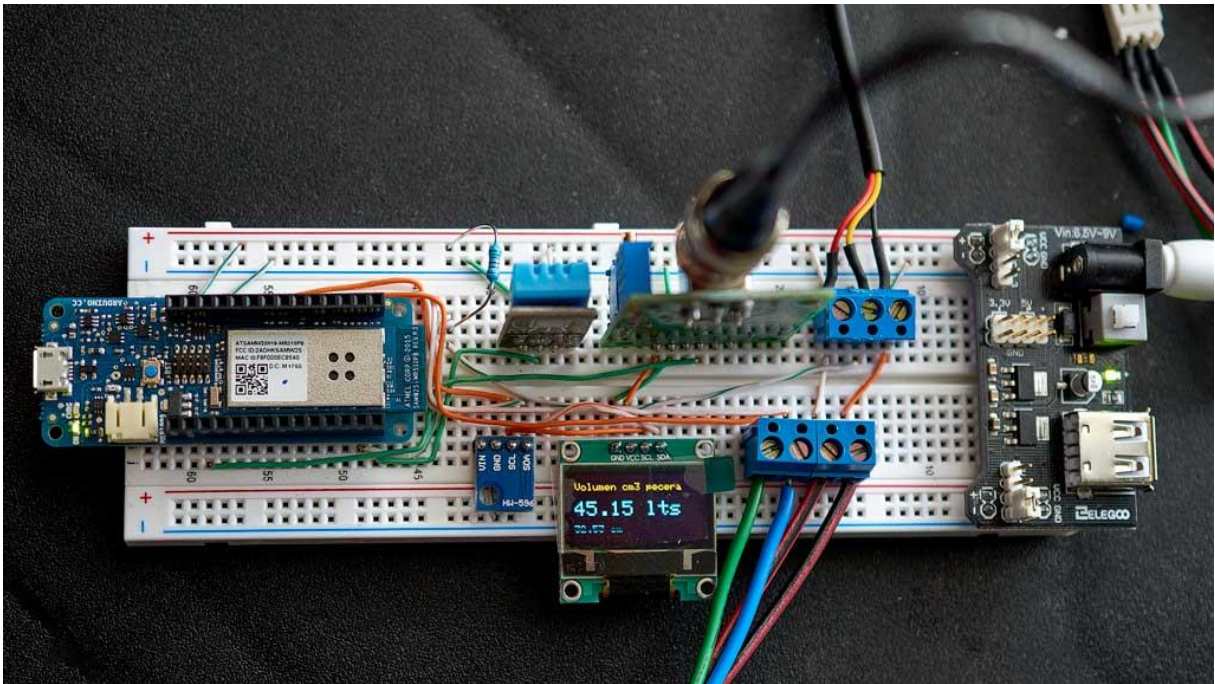


Figura 23. Fotografía de circuito real. (Creación propia)

#### 5.4. Diseño De Lógica De Programación

El lenguaje de programación de Arduino es bastante intuitivo y simple, además, que el desarrollo se puede apoyar en múltiples bibliotecas de subrutinas. Para poder utilizar estas subrutinas es necesario conocer cómo Figura 24. Flujograma general de la programación. se debe realizar la configuración y principalmente incluirlas al inicio del programa.

```
#include "ThingSpeak.h" // Libreria IoT ThingSpeak
#include <WiFi101.h> // Libreria conexión WIFI
#include "DHT.h" // Sensor DHT Humedad y Temperatura
#include <Wire.h> // Libreria I2C
#include <DallasTemperature.h> // Libreria sensor de temperatura
#include <OneWire.h> // Libreria conexión con un cable (Sensor de temperatura)
#include "Adafruit_BMP085.h" // Sensor de altitud y presión
#include <Adafruit_GFX.h> // libreria para pantallas graficas
#include <Adafruit_SSD1306.h> // libreria para controlador SSD1306
```

Figura 24. Librerías incluidas en la programación del proyecto. (Creación propia)

A continuación se presenta el flujograma general de la estructura del programa, en el que se describen las fases de la programación. (Figura 25). Para revisar el código completo se puede consultar el Anexo A.

Para cada subrutina se explicarán las particularidades de cada tipo de sensor.

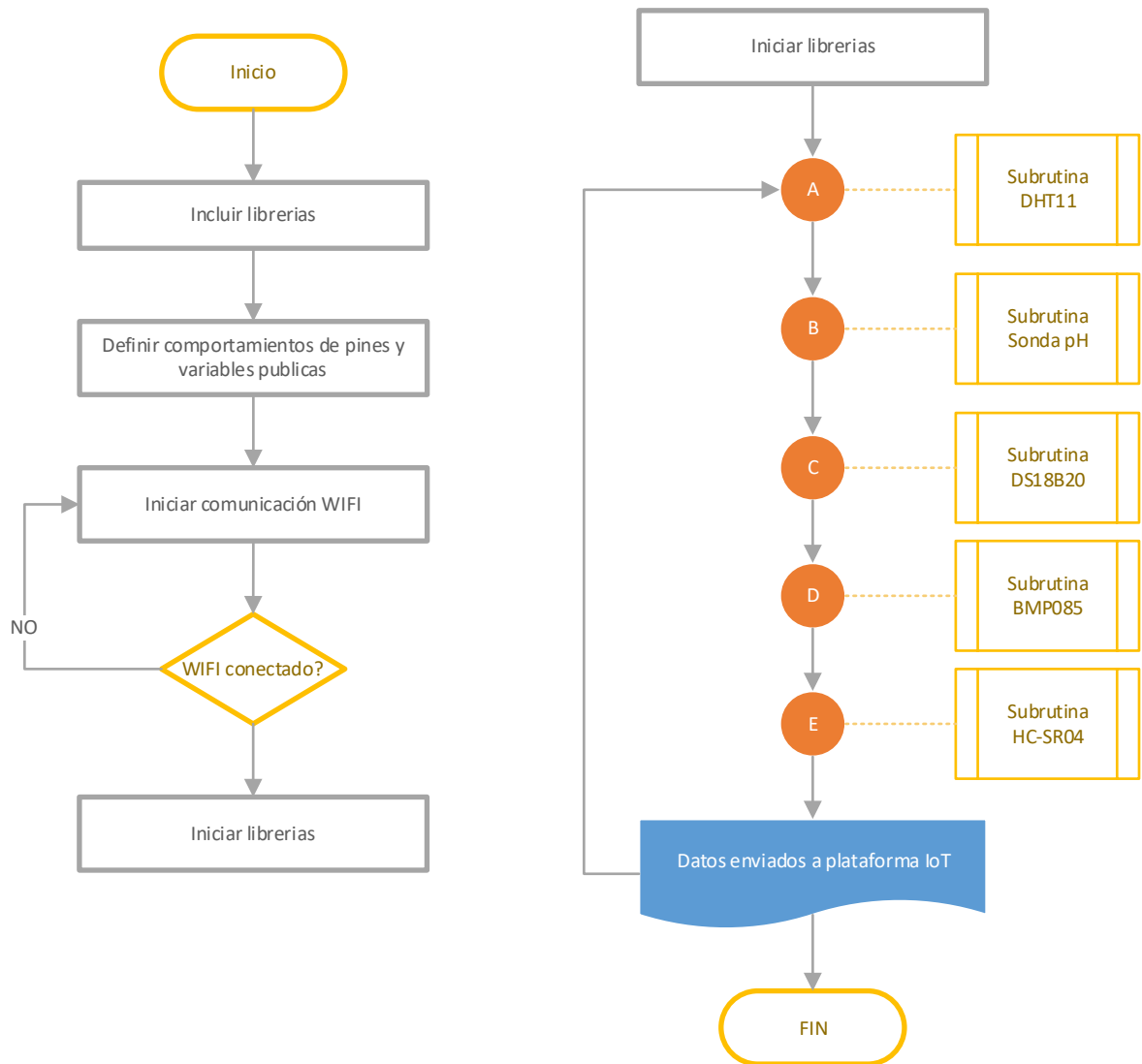


Figura 25. Flujograma general de la programación. (Creación propia)

#### 5.4.1. Subrutina sensor DHT11

El sensor DHT11 por un pin PWM entrega datos de temperatura y humedad ambiente, la configuración es sencilla, a continuación se presenta el diagrama de flujo en la Figura 26.

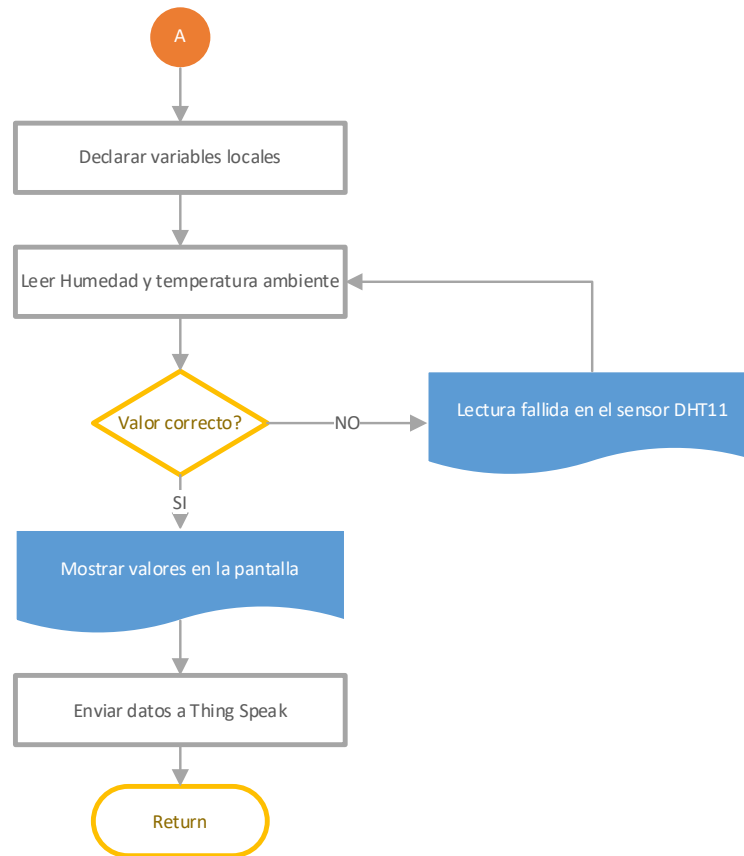


Figura 26. Diagrama de flujo de subrutina sensor DHT11. (Creación propia)

#### 5.4.2. Subrutina sensor pH

El sensor de pH se compone de la sonda y un microcontrolador que transforma lo datos recibidos por la sonda a voltaje de 0 a 5 V, para tener un dato más acertado se debe realizar varias mediciones y estas promediarlas, para luego realizar la transformación del valor de voltaje al dato de pH.

Para esto se usa la ecuación provista por el fabricante:

$$Vol = \frac{5(Vol_{promedio})}{\frac{1024}{6}}$$

$$pH = (-5.70 * Vol) + Value_{calibracion}$$

El valor de calibración se obtuvo de pruebas con sustancia de calibración de pH 4.0, de acuerdo recomendación del fabricante de deben realizar calibraciones cada 3 meses.

En la Figura 27 se expresa el diagrama de flujo de la subrutina para el sensor de pH.

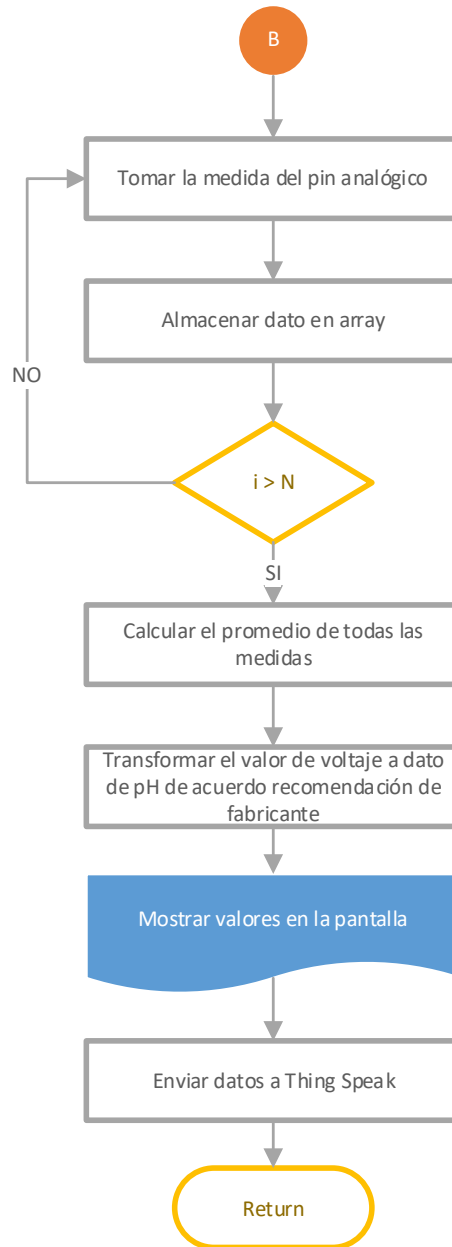


Figura 27. Diagrama de flujo de subrutina sonda pH. (Creación propia)

#### 5.4.3. Subrutina sensor DS18B20

El sensor de temperatura elegido viene encapsulado y sellado de manera que permite sumergirlo en la pecera para medir el valor del agua.

En la Figura 28 se presenta una fotografía real de la sonda DS18B20 en el interior de la pecera. La librería utilizada permite una programación bastante simple no permite capturar el valor en Celsius o Fahrenheit, para este desarrollo se elige Celsius, se presenta la subrutina en la Figura 29.



Figura 28. Sonda DS18B20 sumergida. (Creación propia)

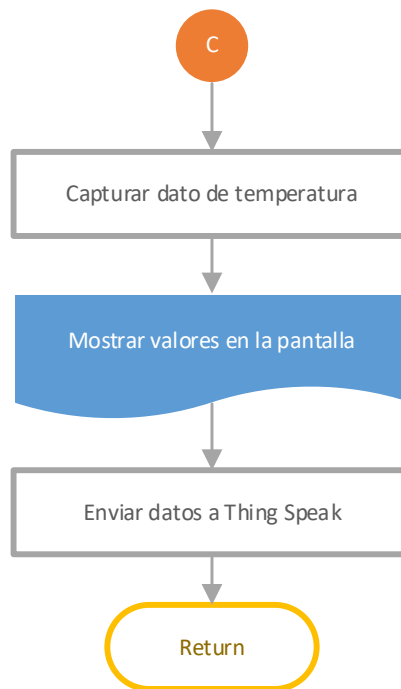


Figura 29. Diagrama de flujo de subrutina sensor DS18B20. (Creación propia)

#### 5.4.4. Subrutina sensor BMP085

El sensor BMP085 permite recolectar el dato de presión y altitud, se considera almacenar estas dos variables, para la presión es necesario realizar la transformación de Pascales (Pa) a Atmosferas (atm). Para el caso de altitud en las pruebas se detecta alta variabilidad entre medidas por lo que se configura un lazo para obtener el promedio de los valores. En la Figura 30 se puede ver el diagrama de flujo.

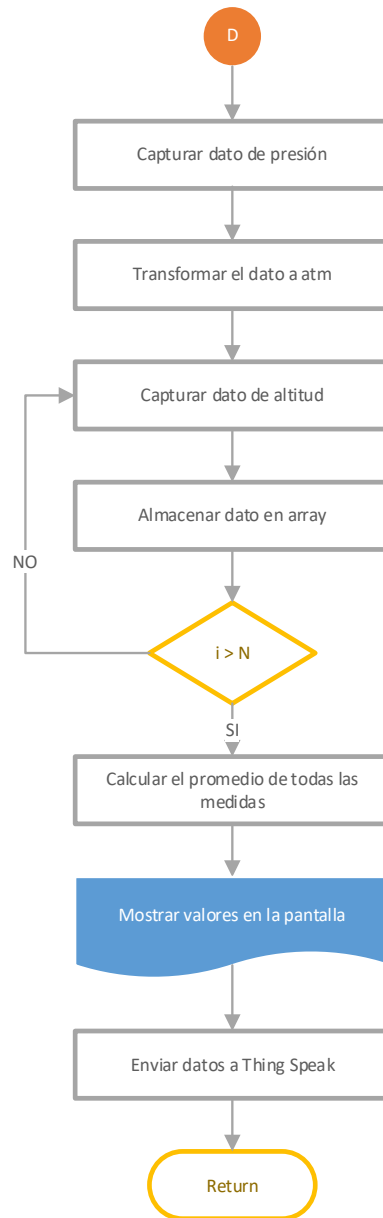


Figura 30. Diagrama de flujo de subrutina sensor BMP085. (Creación propia)

#### 5.4.5. Subrutina sensor HC-SR04

El sensor ultrasónico mide el tiempo en el que rebota o regresa un pulso al chocar con un objeto, para el caso del modelo se utiliza esta característica para determinar la distancia a la que se encuentra el espejo de agua con respecto del sensor, conociendo el valor que existe entre la base del acuario y el sensor, con una resta se puede determinar la altura de agua en la acuario y con los datos de largo y ancho de la pecera que son constantes se determina el volumen del agua. En la Figura 31 se presenta una modelación básica de lo mencionado.

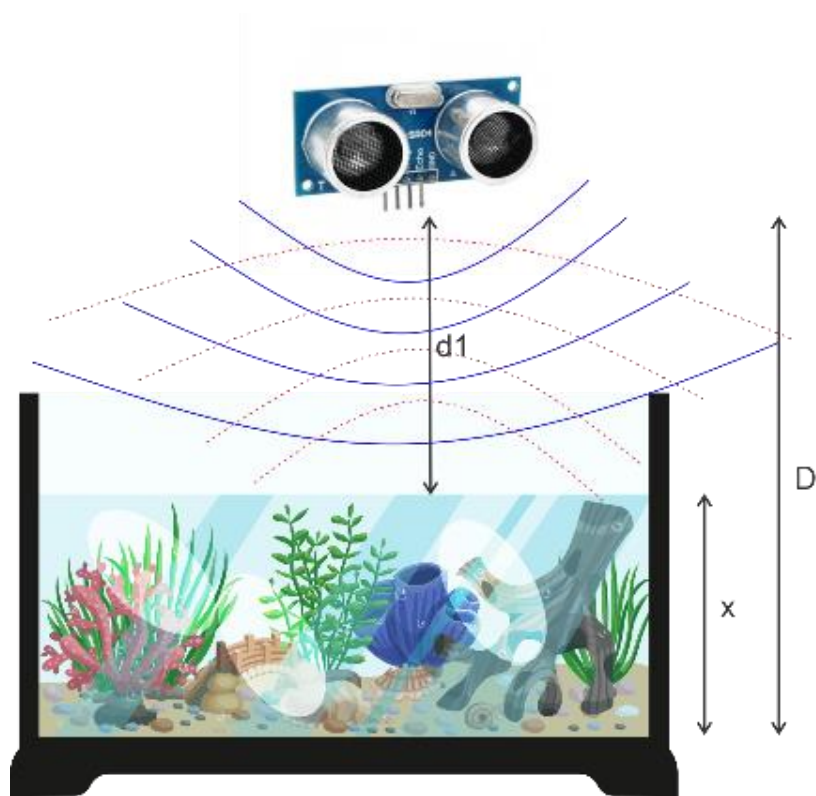


Figura 31. Ubicación sensor ultrasónico. (Creación propia)

Se debe considerar que el espejo de agua está en turbulencia todo el tiempo y esto causa que los valores varíen constantemente, además que el nivel del agua es dinámico por los ciclos de llenado y drenaje en las macetas.

De forma indirecta se puede interpretar si existe variación en los datos, puede significar por ejemplo que los aireadores están encendidos, que la bomba de recirculación y el sifón campana están haciendo su trabajo.

De forma directa podemos conocer cuando el nivel ha bajado y esto alertarnos de realizar el mantenimiento en pecera y completar el nivel de agua. Las razones para disminución del nivel de agua son el consumo del propio sistema y la evaporación.

Si el dato recibido es un valor constante se puede interpretar como fallo en el sistema de oxigenación, en la bomba de recirculación, taponado de sifón campana, así como si se detecta un brusco descenso de nivel puede significar una fuga en la pecera.

En la Figura 32 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina para este sensor.



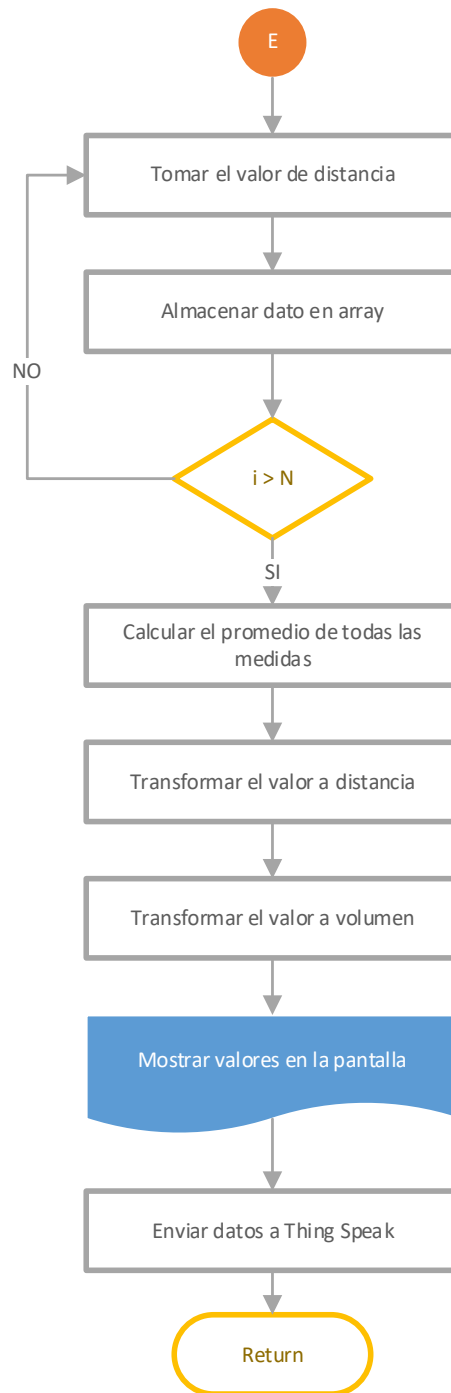


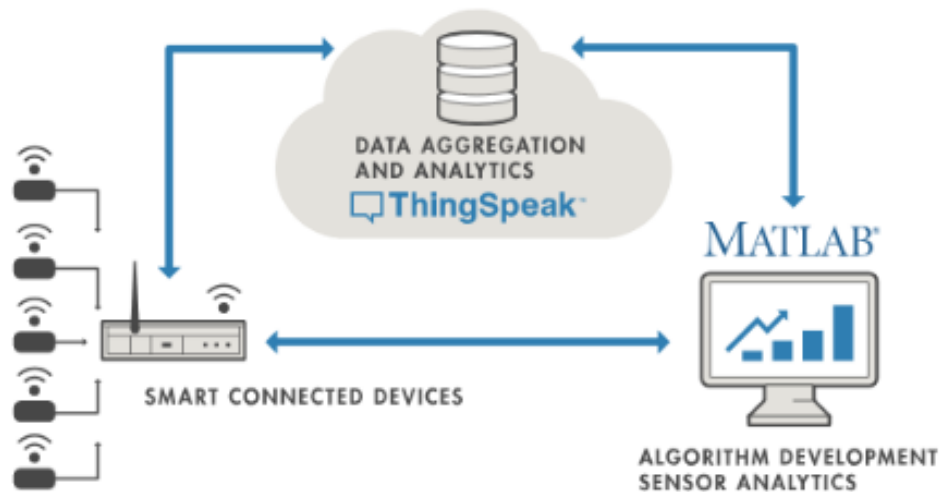
Figura 32. Diagrama de flujo de subrutina sensor HC-SR04. (Creación propia)

### 5.5. Configuración IoT.

Existe una variedad grande de plataformas de servicios IoT. Para este desarrollo se selecciona la plataforma Thingspeak para almacenar la información e IFTTT para el sistema de alertas.

**Thingspeak** permite recolectar datos de sensores y almacenarlos en la nube para desarrollar aplicaciones IoT, además, ofrece como opción para análisis y visualización de datos a MATLAB.

Al ser una plataforma altamente conocida, se tiene disponible información suficiente para realizar la integración y los desarrollos. Se pueden conectar fácilmente equipos Arduino, Raspberry Pi, BeagleBone Black y otros tipos de hardware.



*Figura 33. Arquitectura Thingspeak*

También se puede realizar configuración en dispositivos móviles mediante APP, para la visualización y soporte de los proyectos. Para visualizarlos datos se usaron las siguientes APP: ThingShow, ThingViewer, IoT ThingSpeak Monitor Widget (permite configurar alertas)

**IFTTT** (If This Then That), que en español se puede traducir a: «Si esto, entonces aquello», es un canal que simplifica la conexión con varias aplicaciones y dispositivos entre ellos: Evernote, Twitter, iRobot, Fitbit, Dropbox, Google Assistant, Amazon Alexa, etc.

La herramienta IFTTT sirve de puente entre varias plataformas, para este caso recibirá la alerta de Thinspeak y enviará correos de alerta, de la misma manera se puede configurar mensajes de texto, llamadas, etc. En la Figura 34 siguiente se presenta un esquema con la arquitectura construida.

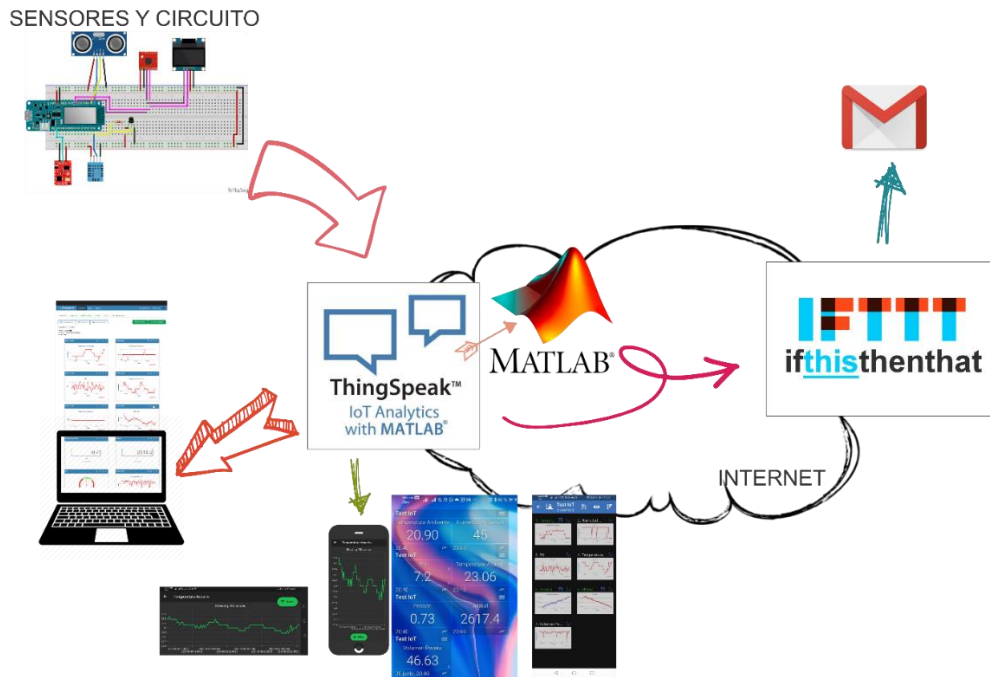


Figura 34. Arquitectura IoT de solución. (Creación propia)

### 5.5.1. Configuración Thingspeak.

En Thingspeak se abre un canal gratis, ya que el proyecto no tiene proyección comercial, esta opción nos permite 3 millones de mensajes por año aproximadamente 8200 por cada día. Actualmente se están enviando menos de 2000 mensajes por día, en la Figura 35 se puede evidenciar lo comentado.

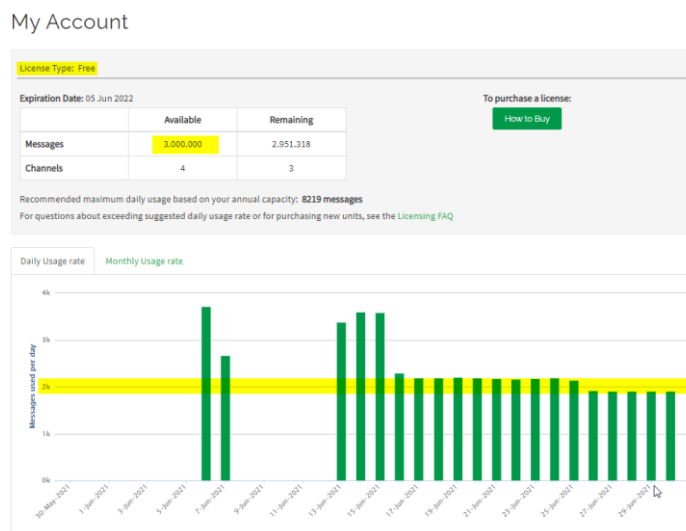


Figura 35. Índice de uso diario – Thingspeak. (Creación propia)

La licencia gratuita nos permite envió de datos no menores a 15 segundos. Al no supervisar un proceso critico se envían en datos con intervalos de 45 segundos.

Para configurar la comunicación entre el dispositivo Android y la plataforma Thingspeak es necesario incluir en la programación del microcontrolador las librerías de conexión WIFI101.h y Thingspeak.h, luego de estoy levantar la comunicación wifi y salida al internet; finalmente configurar el ID del canal y la APIKey de escritura. (Figura 36)

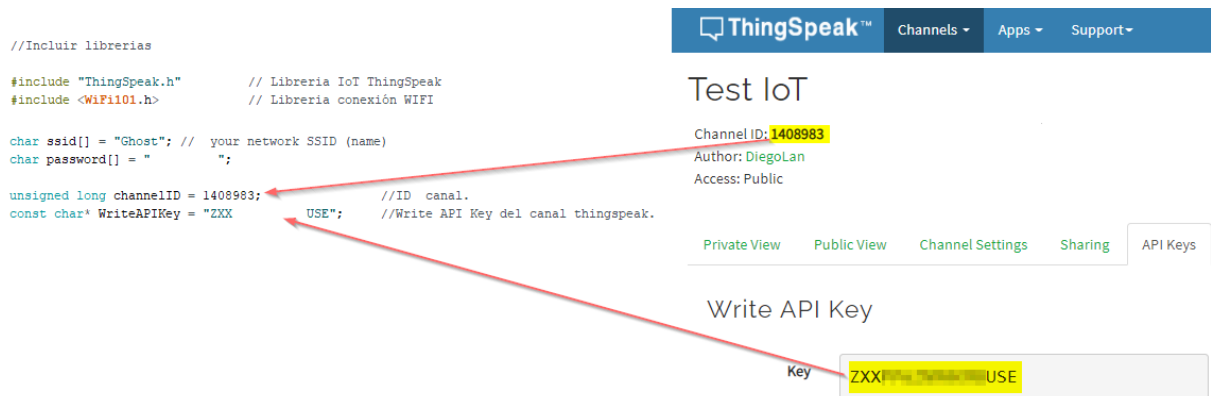


Figura 36. Configuración de comunicación entre el canal Thingspeak y Arduino

En Thingspeak la licencia gratuita permite configurar 4 canales, cada canal puede configurar 8 campos (Figura 37), para este proyecto basto con 7 campos de un canal. Es importante determinar que variable va en cada canal para enviar esta información desde Arduino. Para enviar la información se usa el comando «ThingSpeak.setField (<Número de campo>, <Nombre de variable>)».

The screenshot shows the 'Channel Settings' page for a ThingSpeak channel named 'Huerto acuapónico'. The channel ID is 1408983. The page has tabs for 'Private View', 'Public View', 'Channel Settings', 'Sharing', 'API Keys', and 'D'. The 'Percentage complete' is 30%. The 'Name' field is 'Huerto acuapónico'. The 'Description' field is empty. There are eight fields listed, each with a checkbox to enable or disable it. Fields 1 through 7 are checked, and Field 8 is unchecked. Red arrows point from code snippets to the corresponding fields. The code snippets are: `ThingSpeak.setField (1,t1);` for Field 1, `ThingSpeak.setField (2,h1);` for Field 2, `ThingSpeak.setField (3,ph_act);` for Field 3, `ThingSpeak.setField (4,Celsius);` for Field 4, `ThingSpeak.setField (5,presionatm);` for Field 5, `ThingSpeak.setField (6,altitud);` for Field 6, and `ThingSpeak.setField (7,(float)VolumenPecera);` for Field 7. The 'Metadata' field is empty.

Field	Name	Enabled
Field 1	Temperatura Ambient	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 2	Humedad Ambiente	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 3	PH	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 4	Temperatura Acuario	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 5	Presion	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 6	Altitud	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 7	Volumen Pecera	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 8		<input type="checkbox"/>

Figura 37. Configuración de campos Thingspeak. (Creación propia)

ThingSpeak permite configurar si el canal puede ser público o solo privado para su visualización. La configuración actual es pública.

### 5.5.2. Configuración de ThingShow, ThingView y IoT ThingSpeak Monitor Widget

La mayoría de aplicaciones disponibles para poder visualizar los datos necesitan el ID del canal y la dirección del servidor si este es público, en la caso de ser privado adicional se necesita el ApiKey de lectura.

En la Figura 38 se puede ver ejemplos de configuración en de ThingSpeak en las APP ThingView y ThingShow.

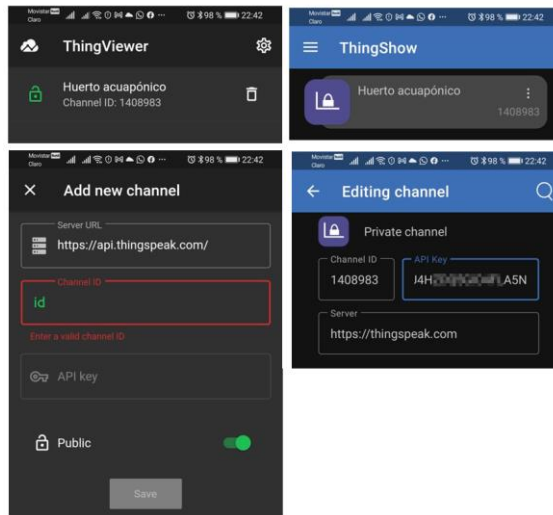


Figura 38. Configuración de Thingspeak en ThingShow y ThingView. (Creación propia)

Para el monitor Widget de IoT ThingSpeak adicional de configurar la ID de canal y dirección del servidor se puede realizar otras configuraciones, por ejemplo fijar límites máximos y mínimos de valores para que realicen notificaciones con mensajes Pop-up o con alertas sonoras, entre otras. (Figura 39)

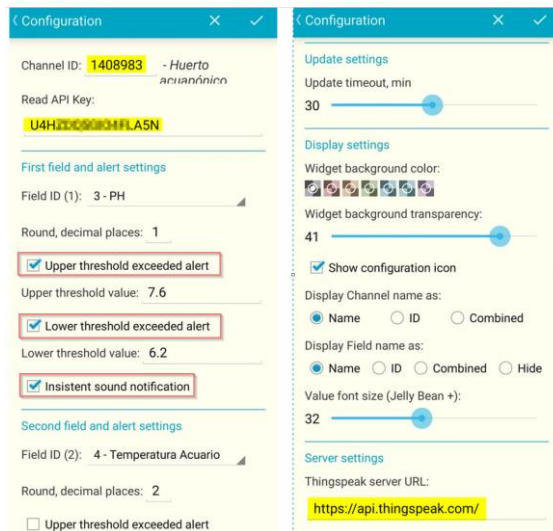


Figura 39. Configuración de ThingSpeak en IoT ThingSpeak Monitor Widget.

Cada APP permite configurar los controles de visualización permitiendo modificar la cantidad de datos que se muestra, el tipo y color de línea, realizar operaciones como mediana, promedio, redondeo de valores, etc. Thingspeak permite activar que los datos se guarden en el celular.

### 5.5.3. Configuración de IFTTT y conexión con Thingspeak.

La interfaz de IFTTT es bastante amigable, en este sistema también se configura una cuenta gratis que permite configurar 3 «Applets», cada Applet es una conexión entre alguna entrada («If this») y su resultado en una salida («Then That»), tanto la entrada como la salida pueden ser dispositivos, plataformas, aplicaciones, etc. (Figura 40)

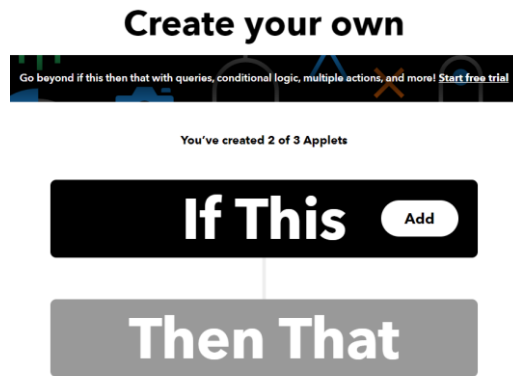


Figura 40. Configuración IFTTT - If This Then That (I)

Para «If this» se selecciona Webhooks, este es un desarrollo web que relaciona los eventos con acciones y se debe colocar el nombre del evento y tomar la URL para llamar a ese evento. (Figura 41)

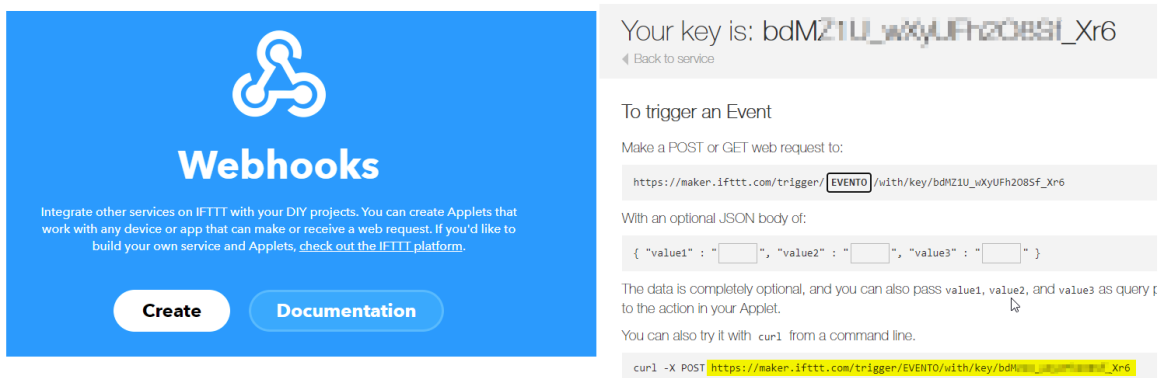


Figura 41. Webhooks

Para «Then That» se selecciona «Email» en donde se debe configurar el correo al cual enviar el mensaje, también se debe definir el título del correo y el argumento del mismo, pudiendo incluir la fecha y valores, en la Figura 42 se presenta el ejemplo configurado para el nivel bajo de agua.

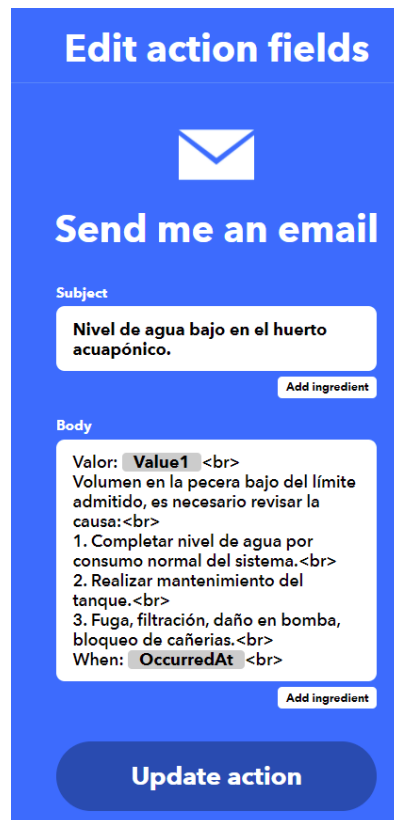


Figura 42. Configuración de Email para Then That

IFTTT está configurada como se indica en la Figura 43, pero se debe realizar unos pasos de configuración en Thingspeak para que se produzcan los eventos.

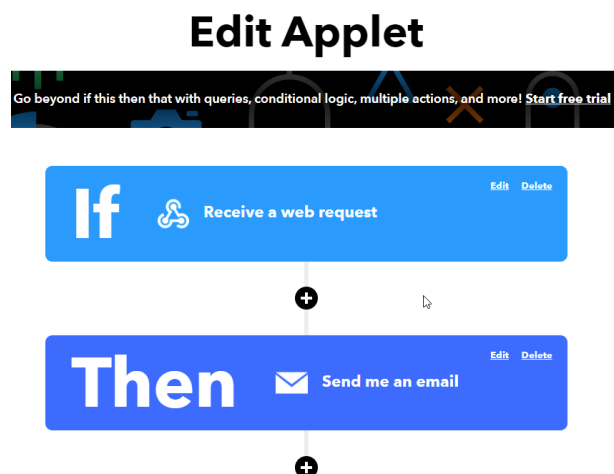


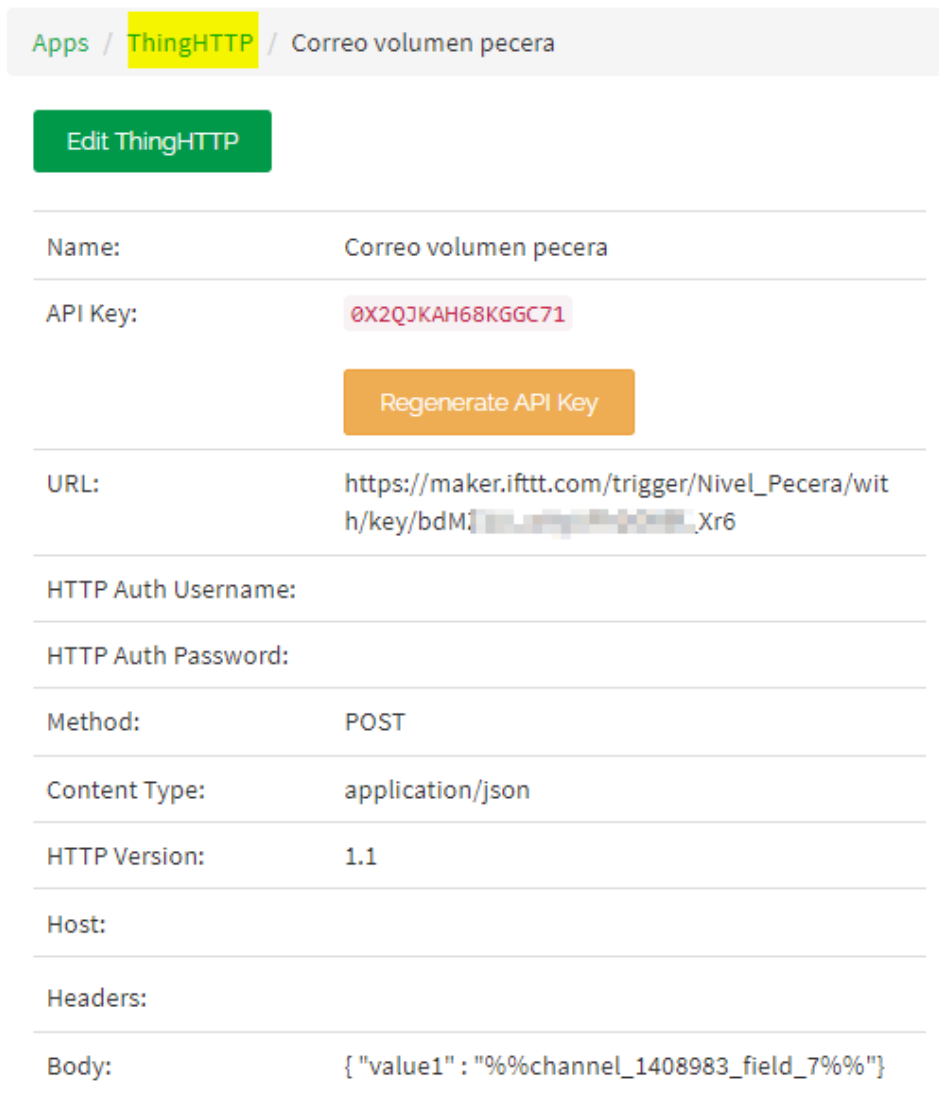
Figura 43. Configuración IFTTT - If This Then That (II)

En Thingspeak se deben configurar del menú Apps: ThingHTTP y React.



ThingHTTP permite la comunicación entre sitios y servicios web, sin necesidad de implementar un protocolo a nivel de dispositivo. En ThingHTTP se declaran acciones que se inician con otras aplicaciones como React, TimeControl y TweetControl. (ThingSpeak, 2021)

En ThingHTTP, se configura la URL obtenida de Webhooks y de ser el caso se llama al valor de algún canal y su campo para enviar al aplicativo. (Figura 44)



Apps / ThingHTTP / Correo volumen pecera	
<a href="#">Edit ThingHTTP</a>	
Name:	Correo volumen pecera
API Key:	0X2QJKAH68KGGC71
	<a href="#">Regenerate API Key</a>
URL:	https://maker.ifttt.com/trigger/Nivel_Pecera/with/key/bdM..._Xr6
HTTP Auth Username:	
HTTP Auth Password:	
Method:	POST
Content Type:	application/json
HTTP Version:	1.1
Host:	
Headers:	
Body:	{ "value1" : "%%channel_1408983_field_7%%" }

Figura 44. Configuración de ThingHTTP. (Creación propia)

React funciona con ThingTweet y ThingHTTP para realizar acciones en función de que los datos de un canal cumplan ciertas condiciones. (Figura 45).

Por ejemplo si el valor del campo 3, para nuestro caso es el pH está por encima de 7.6 o por debajo de 6.2 (Se han configurado dos React uno para cada condición de pH) se activa el ThingHTTP y está a la vez dispara el Webhook y se enviará el correo a la cuenta indicada.

[Apps](#) / [React](#) / PH Alto

[Edit React](#)

Name:	PH Alto
Condition Type:	Numeric
Test Frequency:	On data insertion
Last Ran:	2021-06-30 23:32
Channel:	<a href="#">Huerto acuapónico</a>
Condition:	Field 3 (PH) is greater than 7.6
ThingHTTP:	<a href="#">Envio correo PH</a>
Run:	Each time the condition is met
Created:	2021-06-30 6:23 pm

*Figura 45. Configuración de React. (Creación propia)*

En resumen la Tabla 10 presenta las configuraciones realizadas.

**Tabla 10. Resumen de configuración Thingspeak - IFTTT**

THINGSPEAK		IFTTT	
REACT	THINGHTTP	EVENTOS WEBHOOKS	EMAIL
pH Alto pH Bajo	Envío correo pH	pH_fuera_de_rango	El valor de pH esta fuera de rango en el huerto acuapónico.
Nivel bajo de pecera	Correo volumen pecera	Nivel_pecera	Nivel de agua bajo en el huerto acuapónico.
Sin datos	Envío correo sin datos	Sin_datos_nuevos	NO se reciben datos nuevos

Creación propia

### 5.6. Resultados de datos.

De forma similar al apartado anterior se describirán los resultados que podemos obtener de cada uno de los elementos involucrados en la arquitectura.

#### 5.6.1. Circuito electrónico.

El sistema es capaz de informar al usuario el valor de cada una de las variables mediante la pantalla OLED, en la cual se puede dar lectura a los 7 campos medidos, se puede revisar la ID del canal de Thingspeak y de ser el caso algunas alertas del comportamiento del circuito o de los sensores. (Figura 46)



*Figura 46. Datos presentados en pantalla OLED. (Creación propia)*

## 5.6.2. Thingspeak

Thingspeak presenta una interfaz en donde se puede configurar cada campo dando opciones como obtener el promedio, media, sumatoria, etc., seleccionar el tipo de línea y color, asignar nombres a los campos y a cada uno de los ejes, configurar valores máximos y mínimos de visualización, además la opción de mostrar otro tipo de indicadores. (Figura 47 y Figura 48)

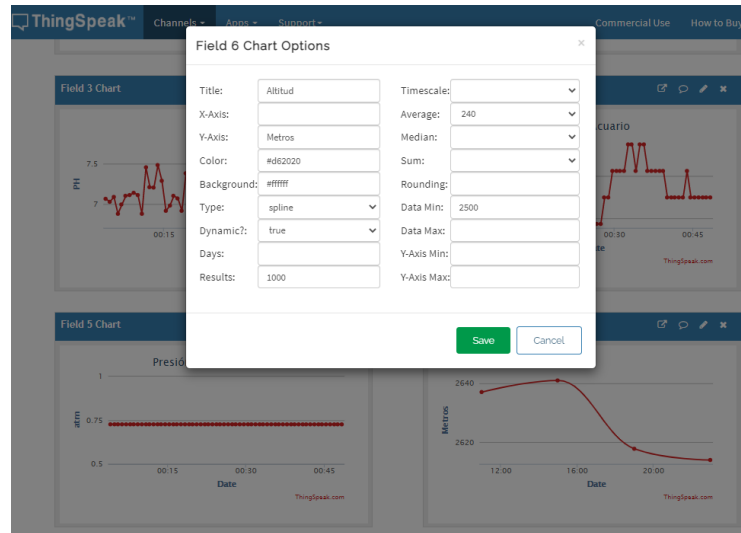


Figura 47. Opción de configuración de campos Thingspeak. (Creación propia)

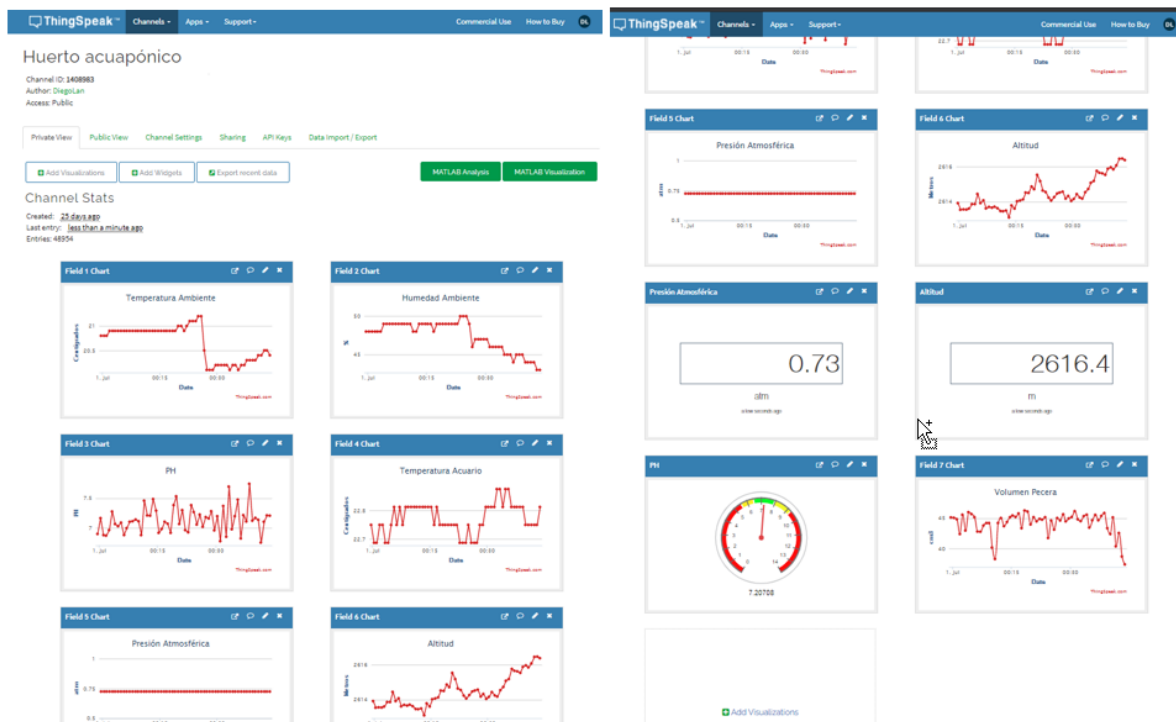


Figura 48. Datos presentados en interfaz Thingspeak. (Creación propia)

Ademas Thingspeak permite exportar los datos almacenados en formato CSV, XML y JSON, para que puedan ser procesados en otras herramientas con total libertad. (Figura 49)

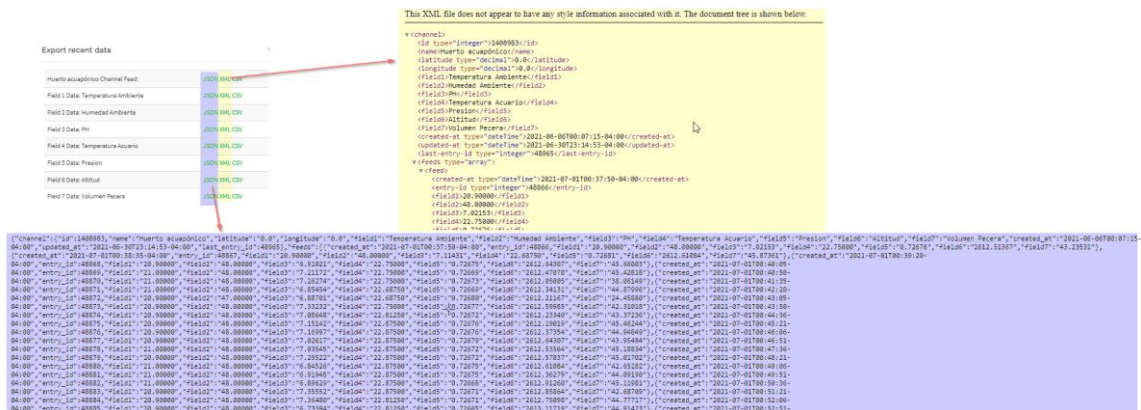


Figura 49. Datos JSON y XML exportados desde Thingspeak. (Creación propia)

Con los datos exportados en formato CSV, mediante Excel podemos graficarlos de acuerdo a nuestra necesidad para explotar y estudiar los datos a nuestro beneficio. En las figuras siguientes se presentan algunos ejemplos.

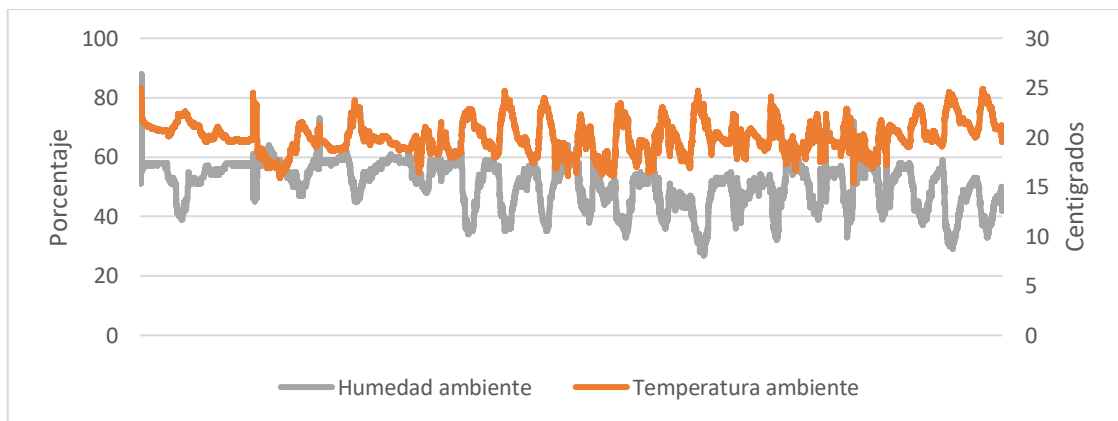


Figura 50. Comparación humedad y temperatura ambiente. (Creación propia)

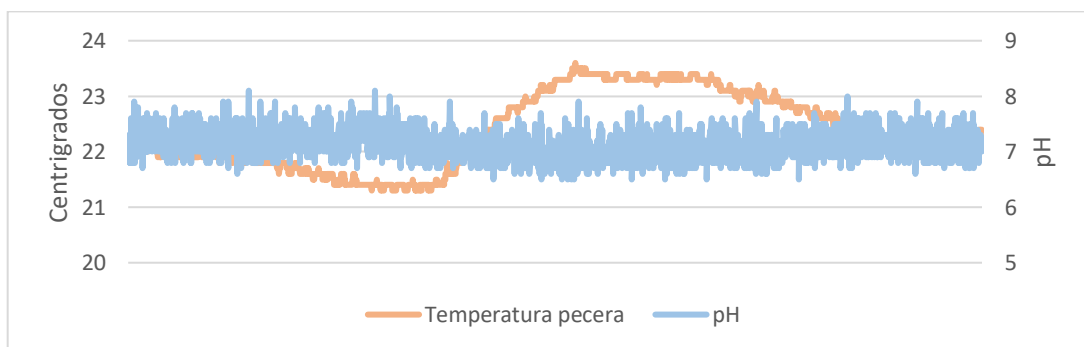


Figura 51. Comparación temperatura pecera y pH - 22/06/2021. (Creación propia)

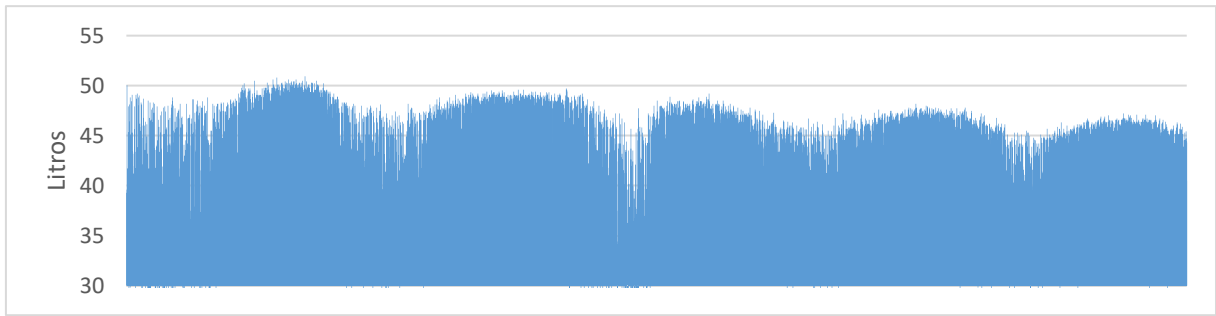


Figura 52. Volumen pecera. (Creación propia)

### 5.6.3. Aplicaciones móviles

ThingShow y ThingViewer son muy similares ambas presentan los datos de forma similar a la capa de presentación de Thingspeak.

ThingShow tiene las mismas características de configuración para los campos como Thingspeak es decir se puede obtener el promedio, media, sumatoria, etc., seleccionar el tipo de línea y color, asignar nombres a los campos y a cada uno de los ejes, configurar valores máximos y mínimos de visualización. (Figura 53)

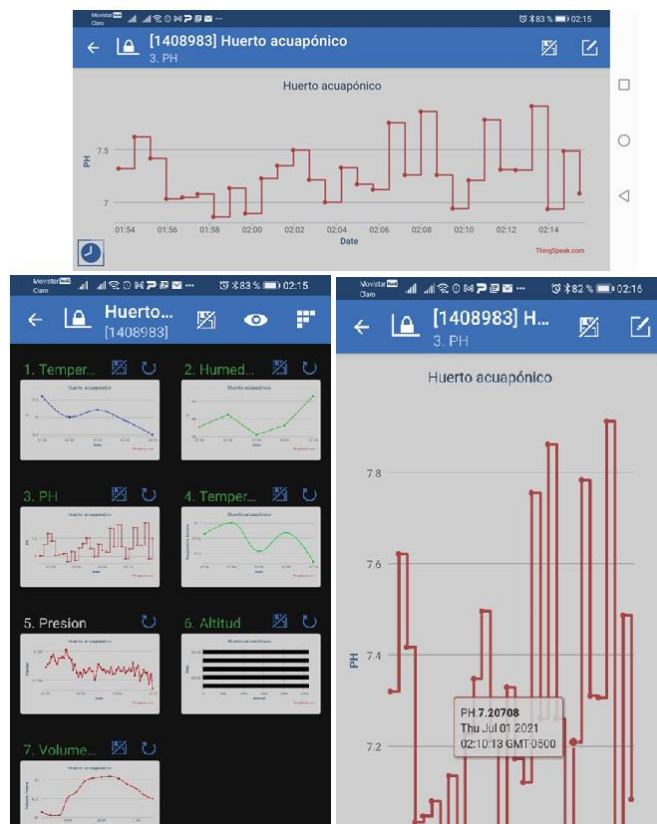


Figura 53. Presentación de datos ThingShow

ThingViewer no permite ver todos los campos a la vez, pero se puede ampliar la data si fuera necesario, si necesidad de modificar la escala. (Figura 54)



Figura 54. Presentación de datos ThingViewer

IoT ThingSpeak Monitor Widget, presenta de otra forma la información. Teniendo todo el tiempo visible la información sin necesidad de abrir la aplicación, además que puede alertar de cambios de acuerdo a la configuración de límites superior o inferior. (Figura 55)

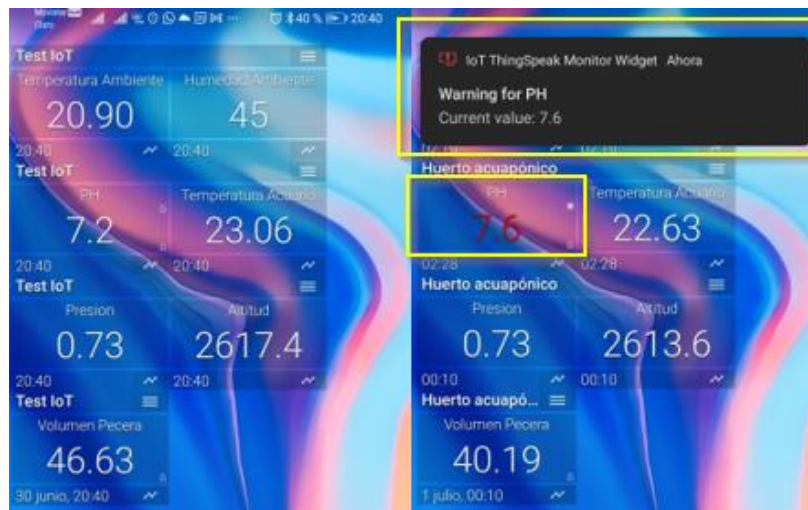


Figura 55. Presentación de datos y alarma IoT ThingSpeak Monitor Widget

#### 5.6.4. IFTTT

Como se había comentado antes IFTTT para este desarrollo se usa para enviar correos de advertencia por cambios de pH y volumen en la pecera, los correos de alerta que envía se presentan a continuación. (Figura 56)

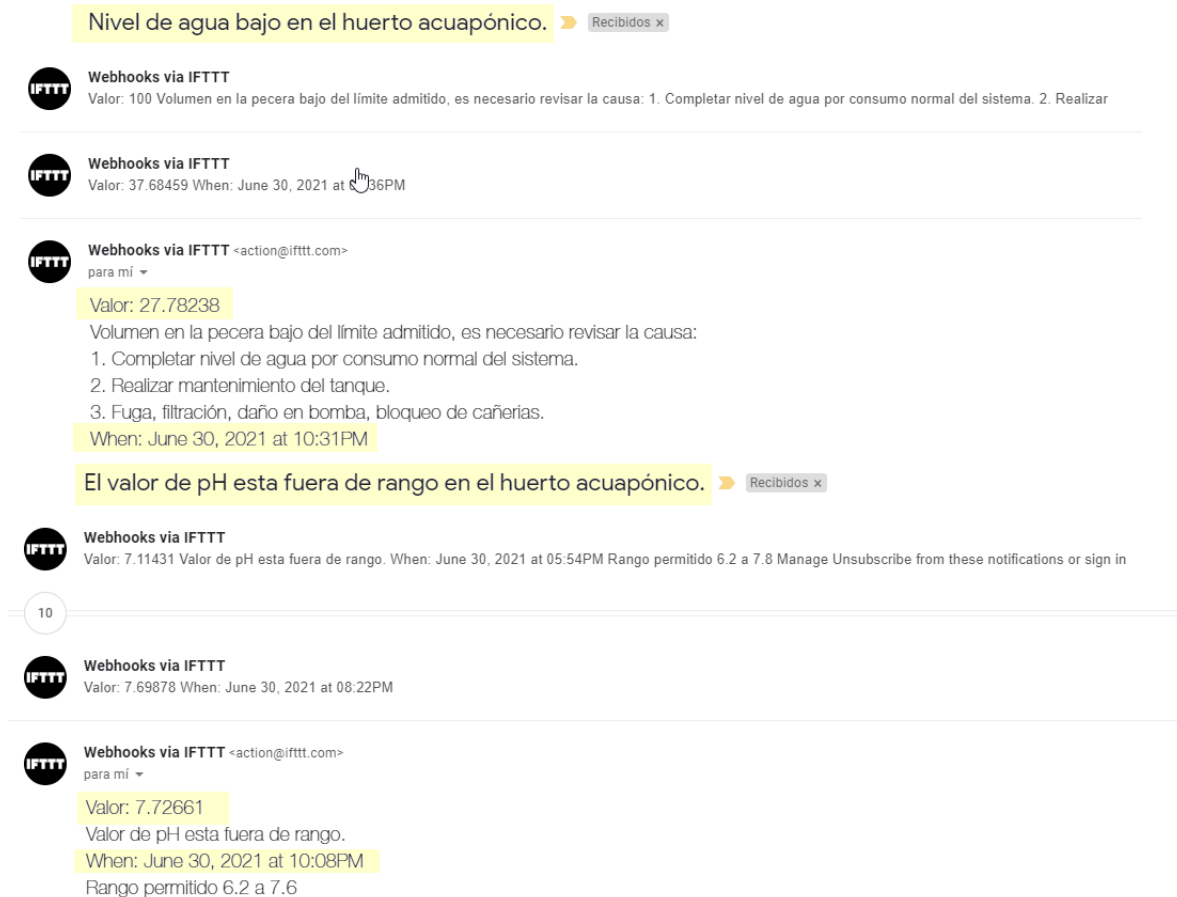


Figura 56. Correos de alerta enviados por IFTTT

#### 5.7. Presupuesto.

Los valores se toman con referencia a Ecuador y la moneda en la que se representan los valores es el dólar estadounidense.

El prototipo fue construido desde cero por lo que se presentan los valores registrados como gastos para la parte física en la Tabla 11 y en la Creación propia



Tabla 12 se agrupan los valores para los dispositivos electrónicos.

Para el apartado IoT no se reflejan gastos por que la opción elegida permite el uso de licencia estudiantil con varias características gratuitas.

Para el mantenimiento de un sistema acuapónico es necesario adquirir algunas pruebas químicas para comprobar niveles de nitritos – nitratos, pH, nivel de amoniaco, etc. Estos se reflejan en la Creación propia

Tabla 13.

**Tabla 11. Costos componentes físicos.**

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Macetas	2	\$6,00	\$12,00
Tuberías, uniones, codos, etc.	1	\$15,00	\$15,00
Pecera	1	\$20,00	\$20,00
Bomba de recirculación	1	\$23,00	\$23,00
Calentador	1	\$12,00	\$12,00
Aireador	1	\$8,00	\$8,00
Difusor de aire	2	\$4,00	\$8,00
Filtro mecánico	1	\$17,00	\$17,00
Arlita	6	\$3,00	\$18,00
Materiales para sifón de campana	2	\$3,00	\$6,00
Estructura	1	\$20,00	\$20,00
Cortapicos	1	\$12,00	\$12,00

Pecera	1	\$20,00	\$0,00
			\$191,00
Creación propia			

**Tabla 12. Costos componentes electrónicos.**

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
MKR1000	1	\$53,25	\$53,25
Protoboard	1	\$3,75	\$3,75
Fuente 5 - 3,3V	1	\$4,53	\$4,53
Sonda de temperatura - DS18B20	1	\$3,50	\$3,50
Sensor de humedad y temperatura DHT11	1	\$1,97	\$1,97
Sensor pH - GAOHOU	1	\$45,00	\$45,00
Sensor Ultrasónico HC-SR04	1	\$2,00	\$2,00
Sensor de presión atmosférica BMP085	1	\$10,97	\$10,97
Cables, conectores, etc.	1	\$5,00	\$5,00
			\$129,97
Creación propia			

**Tabla 13. Costos componentes adicionales.**

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Medidor amoniaco	1	15	\$15,00
Prueba pH	1	25	\$25,00
Prueba Nitritos y nitratos	1	25	\$25,00
			\$65,00

Creación propia

El costo total de proyecto es de 385,97 dólares americanos, se considera un costo elevado como inversión inicial del proyecto, pero una vez establecido el sistema se puede tener producción por largo tiempo, lo que amortiza la inversión.

### 5.8. Planificación para replicar el proyecto.

En esta etapa se definen las fases y el tiempo de construcción del prototipo, para finalizar se creará un diagrama de Gantt con el cronograma del proyecto.

El proyecto se ha construido de forma que puede ser replicado de forma exacta o con las especificaciones mencionadas se lo puede escalar sin mayores complicaciones. Si se lo replica exactamente, es decir no se realizan modificaciones en la programación y se usan los mismos sensores, microcontrolador y la configuración se la realiza en las mismas plataformas se estiman aproximadamente 50 días divididos en las siguientes etapas.

#### 5.8.1. Etapa inicial.

En esta etapa se debe definir el diseño de la estructura así como dimensiones y materiales a emplearse, también se debe decidir si se van adquirir el mismo tiempo de equipos electrónicos y si se va a realizar el despliegue sobre las mismas plataformas. Como resultado de esta etapa se debe tener el listado de materiales comprados.

Ya con todos los materiales comprados se puede pasar a la construcción mecánica y electrónica.

#### 5.8.2. Ensamblado parte mecánica.

Es importante concluir lo antes posible el ensamblado mecánico, ya que entre más tiempo se pueda tener a los peces en el hábitat esto ayudará a crear el biofiltro, con el crecimiento

bacteriano, se considera esta etapa concluida con las pruebas de recirculación de agua por todo el sistema y que se compruebe que no se tiene fugas y que el circuito funciona correctamente.

A partir de que el sistema este operativo se puede incluir a los peces siempre en etapas para dar oportunidad de aclimatación química, luego de que los peces se encuentre por lo menos 15 días (se pueden reducir días utilizando agentes externos para ayudar al crecimiento de la colonia bacteriana), se puede incluir las plantas, a partir de este punto es importante realizar mediciones manuales de nitratos, nitritos y amoniaco, que pueden llegar a ser fatales si los niveles crecen demasiado, esto parámetros se estabilizaran a medida que el biofiltro empiece a trabajar y las plantas empiecen a consumir los nutrientes y por tanto purificar el agua.

En forma paralela se puede empezar con las etapas de los circuitos electrónicos y configuración IoT.

### 5.8.3. Etapa ensamblado electrónico y configuración IoT.

Con los elementos comprados y con el esquema presentado en este trabajo debe resultar sencillo replicar los circuitos. La programación del microcontrolador si se utiliza el mismo modelo solo debe ser compilada antes de cargarlo.

Los sensores como ultrasónico para nivel, temperatura y pH necesitan que se realice un acondicionamiento en el cableado al circuito, conexiones y sujeción al estructura, que dependerá de las condiciones físicas del despliegue.

Con el circuito electrónico funcionando se puede comprobar el desempeño con la pantalla OLED, es importante realizar las calibraciones para uno de los sensores de acuerdo a patrones o medidores externos.

El siguiente paso será configurar la plataforma IoT para recibir la información, este entrega los parámetros de conexión como son las APIRead y APIWrite que deben ser configurados en el código del microcontrolador y en las APP.

Esta etapa se considerará finalizada cuando se compruebe que la información medida en el huerto se transmite a la plataforma y se almacenan los datos.

Luego de esto el sistema estará listo para estudio o producción dependiendo del caso. Se deben programar mantenimientos como revisión de tuberías, sifonado de suelo de pecera, limpieza de peceras, etc.

#### 5.8.4. Diagrama de Gantt

A continuación se presenta un diagrama de Gantt, mencionado las fases anteriormente descritas en este documento y desglosándolas en subapartados, se considera que el trabajo es desarrollado por una persona y con una copia exacta del trabajo desarrollado en este documento. Si se realiza por un grupo de personas o se realizan modificaciones los tiempos pueden variar sobre todo por los ajustes y pruebas necesarias al incluir un nuevo elemento. (Figura 57)

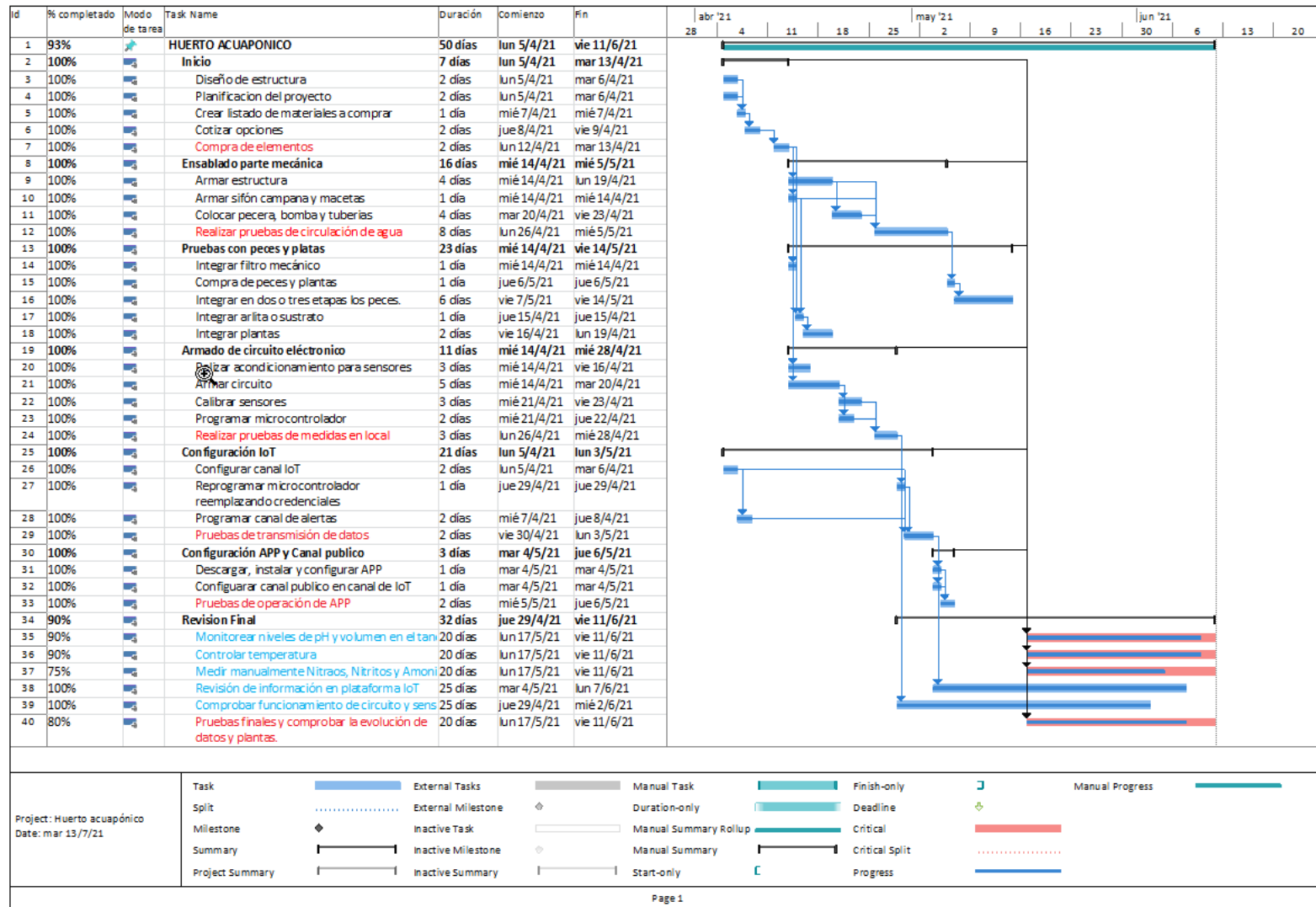


Figura 57. Diagrama de Gantt - Planificación del proyecto

## 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este capítulo contrasta los objetivos planteados con los resultados obtenidos además se presentan las contribuciones que suma este proyecto se planearán posibles opciones de trabajo futuro, así como las opciones de mejoras identificadas

### 6.1. Análisis de objetivos

El primer objetivo específico trata acerca de investigar la producción agrícola alternativa en los huertos urbanos y relacionar los proyectos de IoT existentes, este objetivo se fue cubierto en el Capítulo 3, en el que se estudiaron las técnicas de acuicultura, hidroponía y acuaponía enfocándolas a la producción en un entorno urbano, también se realizó un análisis de las especies más adecuadas para este entorno y por último se revisaron trabajos académicos y comerciales similares para de esta manera encontrar las oportunidades en las que se basa el aporte de esta investigación y desarrollo.

El segundo objetivo específico trata sobre el diseño de un prototipo de sistema acuapónico capaz de producir plantas de ciclo corto en el interior de un departamento en un entorno urbano. Este objetivo se cumplió, en el sistema se han mantenido con vida 14 peces y se han producido lechuga cressa, hierba buena, acelga, albaca, tomillo, menta, cebollín y culantro. El ciclo bacteriano es estable y no se han tenido alertas de nitritos o amoníaco. El sistema esta implementado en un departamento en el piso 6, al norte de la ciudad de Quito - Ecuador. En el Anexo B se pueden encontrar fotografías de la evolución del proyecto.

El tercer objetivo trata sobre documentar la construcción y el funcionamiento del sistema acuapónico autónomo. El presente documento fue creado con la concepción de que sirva como una guía para reproducir el proyecto y también sirva como base para realizar proyectos más grandes, se ha documentado todo el proceso incluyendo en el Anexo A el código del microcontrolador y se ha detallado el ensamblaje del modelo, además colocando la guía completa de configuración en todas las plataformas y los resultados que se pueden obtener de cada una de ellas. En el Anexo B se adjunta un registro de imágenes con el fin de que sirvan como guía y ayuden a despejar cualquier duda, por lo que, se concluye que este objetivo fue cubierto.

El cuarto objetivo específico, está relacionado con la construcción de un sistema que permita la medición de las variables como pH, nivel de agua, temperatura en el ambiente y temperatura en el interior del acuario. El objetivo se da como válido debido a que se logra medir las variables mencionadas y además, se registra variables como la humedad ambiente, presión atmosférica y altura del lugar geográfico en que se encuentra ubicado el prototipo. Con el nivel de agua se calcula el volumen de la pecera y se lo expresa en litros.

Por último el quinto objetivo específico es acerca del desarrollo de una interfaz IoT conceptual que permita monitorear las variables desde internet y APP. El objetivo fue cubierto por la integración con Thingspeak, además de las diferentes opciones de visualización mediante las APP y el sistema de alerta desarrollado a través de IFTTT.

En general, se concluye que los objetivos identificados para este trabajo se han logrado plenamente, al lograr investigar, diseñar, desarrollar e implementar un sistema de acuaponía en un entorno urbano que ha producido una variedad importante de vegetales y este se supervisa desde la plataforma Thingspeak con un sistema de alerta generado por IFTTT. Este trabajo podría ser un punto de partida para la investigación en los campos de Industria 4.0, agronomía e ingenierías de diferentes ramas.

## 6.2. Conclusiones

Este trabajo fue creado como una solución complementaria para la producción de alimentos orgánicos sostenibles a través de la construcción de un huerto acuapónico urbano monitoreado por IoT. Sobre la base de este desarrollo, se han extraído las siguientes conclusiones:

- La acuaponía es un sistema con un costo inicial alto, que se puede justificar o amortiguar en una producción larga.
- La acuaponía elimina la posibilidad de plagas en el suelo, ya que no utiliza suelo y gracias a esto también se descarta la posibilidad de que exista maleza.
- La construcción de este tipo de sistemas que producen alimentos seguros, inocuos y de gran calidad no solo contribuye a la protección del medio ambiente al reducir el uso



de pesticidas y el desperdicio de agua, sino que también hace una contribución significativa a la salud de las personas.

- Para que el sistema funcione correctamente, fue necesario desarrollar un biofiltro funcional que mantenga los niveles de nitrito y amoníaco controlado produciendo nutrientes para las plantas.
- Este tipo de proyecto se puede aplicar en entornos áridos o con poco acceso a recursos hídricos ya que se reduce el consumo de agua con relación a una producción agrícola en suelo, además que se puede a la vez producir peces de consumo generando otra fuente de alimento sano.
- Thingspeak es una plataforma de código abierto, por lo que se necesita crear un proceso automático para respaldar su información.
- Derivado de los trabajos realizados con Arduino, se concluye que tiene la capacidad para desarrollar proyectos que aporten a la investigación y gracias a su alta compatibilidad con varios periféricos de bajo costo puede ofrecer resultados altísima calidad.
- El desarrollo de este tipo de prototipos abre el horizonte para que se realicen estudios similares que ayuden a la alimentación sana y el mejor aprovechamiento de recursos.

### 6.3. Oportunidades de mejora.

A continuación se proponen líneas futuras de desarrollo que puedan servir como complemento de este trabajo.

- Se puede trabajar en mejorar la precisión en la toma de datos de los sensores, además que se puede implementar la parte de control por ejemplo para mantener un nivel constante de agua en la pecera o construir un sistema que permita alertar el taponamiento de tuberías para evitar el desbordamiento de macetas.
- Desarrollar un sistema de alerta para fallos o mal funcionamiento de los componentes, bomba, calentador, sensores, etc.
- Realizar un proyecto que logre medir la cantidad de nitritos y nitratos en el ciclo, actualmente los sistemas para este fin solo están disponibles como pruebas manuales

o equipos de alto costo, por lo que es imposible realizar la inversión para proyectos de pequeña escala.

- Desarrollar un módulo de alimentación de energía limpia o renovable, puede ser mediante celdas solares, para que alimente los circuitos.
- Se pueden realizar estudios enfocados en cierto tipo de vegetales con esto poder optimizar el crecimiento y la producción de los mismos. Con la medición de las variables físicas se pueden establecer patrones para perfeccionar los ciclos de cultivo, siempre con la premisa de que sean cultivos en medios urbanos.
- Se puede masificar el proyecto creando kits para ensamblaje rápido y distribuirlo o comercializarlo en distintos puntos de la urbe logrando generar productos agrícolas de calidad y escalar el proyecto para tener producción de peces comestibles.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambientum. (16 de 05 de 2021). <https://www.ambientum.com/>. Obtenido de Enciclopedia medioambiental, Agua: [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/aguas/](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/)
- Araujo Gómez, K. (2019). *Acuaponia*. Ica, Perú: Universidad Alas Peruanas.
- Arduino. (27 de 05 de 2021). *Arduino.cc*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- Beltrano, J., Giménez, D. O., Ruscitti, M. F., Carbone, A. V., Andreau, R., Vasicek, A. L., . . . Garbi, M. (2015). *Cultivo en hidroponía*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- BOSCH. (2009). *BMP085 Digital pressure sensor - Data sheet*. Bosch.
- Caccavale, G. (2021). *MKR1000 PinOUT*. Obtenido de [www.giuseoecaccavale.it](http://www.giuseoecaccavale.it)
- Caló, P. (2011). *Introducción a la Acuaponia*. Argentina: Centro Nacional de Desarrollo Acuícola.
- Candarle, P. (s.f.). *Técnicas de Acuaponia*. Argentina: Centro Nacional de Desarrollo Acuícola.
- Components 101. (27 de 05 de 2021). *Components 101*. Obtenido de DS18B20 Temperature Sensor: <https://components101.com/sensors/ds18b20-temperature-sensor>
- Dallas Semiconductor. (2019). *DS18B20-PAR*. Maxim Integrated Products.
- Ecoaquarium. (12 de Marzo de 2014). *Ecoaquarium*. Obtenido de <https://ecoaquarium.wordpress.com/2014/03/12/sistemas-de-filtracion-de-los-acuarios/>
- FAO. (2014). *Small-scale aquaponic*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2020). *El Estado Mundial de la agricultura y la alimentación*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nation.
- FAO. (18 de Abril de 2021). *FAO TERM PORTAL*. Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nation.: <http://www.fao.org/3/y5751s/y5751s08.htm>
- Geek Factory. (28 de 06 de 2021). *Geek Factory*. Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/>

- González Bermúdez, A. M. (2017). *Diseño, construcción y análisis de funcionamiento inicial de un sistema de acuaponía que combina un estanque ornamental con un jardín vertical exterior*. Sevilla: TESIS DE PREGRADO, UNIVERSIDAD DE SEVILLA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA.
- Jácome, O. A. (2014). *Diseño de un sistema acuapónico autónomo*. Querretaró: TESIS DOCTORAL, UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO.
- Kanchi Díaz, D. A. (2013). *Implementación de un sistema acuapónico urbano bajo invernadero en la ciudad de Xalapa*. Xalapa de Enríquez, Veracruz: TESIS DE PREGRADO, UNIVERSIDAD VERACRUZANA.
- Martínez, E. R. (2002). La multifuncionalidad del mundo rural. *Información Comercial Española, ICE: Revista de economía, Nº 803*, 33-44.
- Masser, M., Rakocy, J., & Losordo, T. (1998). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems. En *Management of Recirculating Systems*. USA: Southern Regional Aquaculture Center N. 452.
- Midland Aquatic Solutions. (27 de 05 de 2021). MAS. Obtenido de <https://midlandaquatic.ie/product/lansenfish-ls-heater-50w-heater-with-thermostat-for-aquarium-40l-80l/>
- Mouser. (s.f.). *DHT11 Humidity & Temperature Sensor*. Mouser.
- Naciones Unidas. (21 de 04 de 1948). *La Declaración Universal de Derechos Humanos*. París: Naciones Unidas. Obtenido de La Declaración Universal de Derechos Humanos: <https://www.un.org/es/about-us/universal-declaration-of-human-rights>
- Orvay, F. C. (1993). *Acuicultura marina: Fundamentos biológicos y tecnología de la producción*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Peuchpanngarm, C., Srinitiworawong, P., Samerjai, W., & Sunetnanta, T. (2016). *DIY Sensor-Based Automatic Control Mobile Application for Hydroponics*. Thailand: Faculty of Information and Communication Technology Mahidol University.

Piñeros Bolívar, B., & Borraez Hernández, C. M. (Bogota). .: *Diseño e implementación de un sistema para el control y monitoreo de variables aplicado a un cultivo acuapónico a pequeña escala basado en IoT*. 2019: TESIS, UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.

Premium Aquatics. (27 de 05 de 2021). *Premium Aquatics*. Obtenido de <https://premiumaquatics.co.za/product/lansenfish-aquarium-glass-heaters/>

Ramirez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., & Hurtado Giraldo, H. (2018). La Acuaponía: Una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Facultad de Ciencias Básica - Universidad Militar "Nueva Granada"*, 32-51.

Rebel Pets. (27 de 05 de 2021). Obtenido de <https://www.rebelpets.co.za/shop/all-products/fish/filtration/hang-on-filters/led-aquarium-top-filter-1800lh/>

Rodríguez Gutierrez, O. I. (2016). *Diseño e implementación de un microsistema de cultivo acuapónico automatizado*. Villavicencio, Colombia: Universidad de Los Llanos.

SSD1306. (2008). Solomon SYSTECH Limited.

ThingSpeak. (30 de 06 de 2021). *ThingSpeak for IoT Projects*. Obtenido de <https://thingspeak.com/>

## Anexo A. Programa Arduino MKR1000

En esta sección, se presenta el código fuente del programa implementado en microcontrolador de Arduino MKR1000, todas las librerías utilizadas son de fácil ubicación mediante la librería de Arduino.

El código se ha comentado a lo largo de su desarrollo para que pueda interpretarse de forma sencilla, este código junto con los esquemas electrónicos y distribución de pines pueden permitir replicar el proyecto con una corta inversión de tiempo.

En el código se ha censurado la clave de WiFi y el API de escritura por motivos de seguridad, en todo caso estos valores deben ser modificados para cada desarrollador en función de su propia configuración de red y canal.

```
//Incluir librerías

#include "ThingSpeak.h"    // Librería IoT ThingSpeak

#include <WiFi101.h>       // Librería conexión WIFI

#include "DHT.h"          // Sensor DHT Humedad y Temperatura

#include <Wire.h>         // Librería I2C

#include <DallasTemperature.h> // Librería sensor de temperatura

#include <OneWire.h>      // Librería conexión con un cable (Sensor de temperatura)

#include "Adafruit_BMP085.h" // Sensor de altitud y presión

#include <Adafruit_GFX.h> // Librería para pantallas graficas

#include <Adafruit_SSD1306.h> // Librería para controlador SSD1306

#include <Adafruit_SleepyDog.h> //Watchdog

#define ONE_WIRE_BUS 4    // Sonda de temperatura

#define OLED_RESET 0     // Necesario por la librería de la pantalla OLED pero no usado

#define pin1 5           // Pin lectura de sensor DHT
```

```
#define ANCHO 128          // reemplaza ocurrencia de ANCHO por 128, pantalla OLED
#define ALTO 64           // reemplaza ocurrencia de ALTO por 64, pantalla OLED

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); // Sensor de temperatura
DallasTemperature sensors(&oneWire); // Sensor de temperatura

float Celsius = 0;
float Fahrenheit = 0;

char ssid[] = "Ghost"; // your network SSID (name)
char password[] = "dL[REDACTED]2!";

unsigned long channelID = 1408983; //ID canal.
const char* WriteAPIKey = "ZXX[REDACTED]USE"; //Write API Key del canal thingspeak.

//Variables PH
float calibration_value = 21.34-1.14;
int phval = 0;
unsigned long int avgval;
int buffer_arr[10], temp;

const int EchoPin = 6; //Sensor ultrasónico
const int TriggerPin = 7; //Sensor ultrasónico
```

```
WiFiClient cliente;

Adafruit_BMP085 bmp;

Adafruit_SSD1306 oled(ANCHO, ALTO, &Wire, OLED_RESET); // Crea objeto, OLED

DHT dht1(pin1, DHT11);          // Sensor DHT11

void setup()

{

  Serial.begin(9600);           // Abrir comunicación serial

  int countdownMS = Watchdog.enable(8000);

  Serial.println("***Proyecto Acuaponia***");

  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);

  WiFi.begin(ssid,password);   // Iniciar conexión WIFI

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)

  {

    digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);

    delay(500);

    digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);

    Serial.print(".");

  }

  Serial.println("Wifi conectado!");

  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);

  sensors.begin();

  ThingSpeak.begin(cliente);
```



```
dht1.begin();

bmp.begin();

Wire.begin();          // Inicia bus I2C

oled.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C); // inicializa pantalla con dirección 0x3C

pinMode(TriplePin, OUTPUT);

pinMode(EchoPin, INPUT);

Watchdog.reset();

}

void loop() {

  Serial.println("***NUEVA LECTURA***");

  Serial.println("-----");

  delay(2000);

  leerDHT1();

  Watchdog.reset();

  delay(2000);

  leerPH();

  Watchdog.reset();

  delay(2000);
```

```
leertemp();  
  
Watchdog.reset();  
  
  
  
delay(2000);  
  
leerbmp();  
  
Watchdog.reset();  
  
  
  
delay(2000);  
  
leerVolumen();  
  
Watchdog.reset();  
  
  
  
ThingSpeak.writeFields(channelID,WriteAPIKey);  
  
Serial.println("Datos enviados a ThingSpeak!");  
  
Serial.println("*****");  
  
oled.clearDisplay();  
  
oled.setTextColor(WHITE);  
  
oled.setTextSize(1); // Escala del texto 1: 6x8 px  
  
oled.setCursor(0, 8);  
  
oled.print("Datos enviados a:");  
  
oled.setTextSize(2); // Escala del texto 2: 12x16 px  
  
oled.setCursor(0, 24);  
  
oled.print("ThingSpeak");  
  
oled.setTextSize(1);  
  
oled.setCursor(0, 48);
```

```
oled.print("ID:1408983");

oled.display();    // Imprime pantalla

digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);

delay(500);

digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);

Watchdog.reset();

delay(6000);

Watchdog.reset();

delay(6000);

Watchdog.reset();

}

void leerDHT1() {

float t1 = dht1.readTemperature();

float h1 = dht1.readHumidity();

if (isnan(t1) || isnan(h1))

{

Serial.println("Lectura fallida en el sensor DHT11.");

oled.clearDisplay();

oled.setTextColor(WHITE);
```

```
oled.setTextSize(1); // Escala del texto 1: 6x8 px  
oled.setCursor(0, 8);  
oled.print("Lectura fallida en el sensor DHT11.");  
oled.setTextSize(2); // Escala del texto 2: 12x16 px  
oled.setCursor(0, 24);  
oled.print("DHT11");  
oled.display(); // Imprime pantalla  
  
t1 = 0;  
h1 = 0;  
}
```

```
Serial.print("Temperatura DHT11: ");  
Serial.print(t1);  
Serial.println(" °C.");
```

```
Serial.print("Humedad DHT11: ");  
Serial.print(h1);  
Serial.println(" %.");
```

```
Serial.println("-----");
```

```
oled.clearDisplay();  
oled.setTextColor(WHITE);
```

```
oled.setTextSize(1); // Escala del texto 1: 6x8 px  
oled.setCursor(0, 8);  
oled.print("Temperatura Ambiente");  
oled.setTextSize(2); // Escala del texto 2: 12x16 px  
oled.setCursor(0, 24);  
oled.print(t1);  
oled.print(" C.");  
oled.display(); // Imprime pantalla  
//delay(2500);
```

```
oled.clearDisplay();  
oled.setTextColor(WHITE);  
oled.setTextSize(1); // Escala del texto 1: 6x8 px  
oled.setCursor(0, 8);  
oled.print("Humedad Ambiente");  
oled.setTextSize(2); // Escala del texto 2: 12x16 px  
oled.setCursor(0, 24);  
oled.print(h1);  
oled.print(" %.");  
oled.display(); // Imprime pantalla  
delay(2500);
```

```
ThingSpeak.setField (1,t1);
```

```
ThingSpeak.setField (2,h1);
```

```
}

void leerPH()
{
  for (int i = 0; i < 10; i++)
  {
    buffer_arr[i] = analogRead(A0);
    delay(30);
  }
  for (int i = 0; i < 9; i++)
  {
    for (int j = i + 1; j < 10; j++)
    {
      if (buffer_arr[i] > buffer_arr[j])
      {
        temp = buffer_arr[i];
        buffer_arr[i] = buffer_arr[j];
        buffer_arr[j] = temp;
      }
    }
  }
  avgval = 0;
  for (int i = 2; i < 8; i++)
  {
    avgval += buffer_arr[i];
  }
}
```

```
float volt = (float)avgval * 5.0 / 1024 / 6;

float ph_act = -5.70 * volt + calibration_value;

//float ph_act = -8.57 * volt + calibration_value;

Serial.print("  pH:");

Serial.print(ph_act);

Serial.println(" ");

Serial.println(volt);

Serial.println("-----");

//delay(1000);

oled.clearDisplay();

oled.setTextColor(WHITE);

oled.setTextSize(1);  // Escala del texto 1: 6x8 px

oled.setCursor(0, 8);

oled.print("PH");

oled.setTextSize(2);  // Escala del texto 2: 12x16 px

oled.setCursor(0, 24);

oled.print(ph_act);

oled.display();      // Imprime pantalla

delay(2500);

ThingSpeak.setField (3,ph_act);

}

void leertemp()
```

```
{  
  
sensors.requestTemperatures();  
  
Celsius = sensors.getTempCByIndex(0);  
Fahrenheit = sensors.toFahrenheit(Celsius);  
  
Serial.print(Celsius);  
Serial.print(" C ");  
Serial.print(Fahrenheit);  
Serial.println(" F ");  
Serial.println("-----");  
  
//delay(1000);  
  
oled.clearDisplay();  
oled.setTextColor(WHITE);  
  
oled.setTextSize(1); // Escala del texto 1: 6x8 px  
oled.setCursor(0, 8);  
oled.print("Temperatura Pecera");  
  
oled.setTextSize(2); // Escala del texto 2: 12x16 px  
oled.setCursor(0, 24);  
oled.print(Celsius);  
oled.print(" C.");  
oled.display(); // Imprime pantalla  
delay(2500);
```



```
ThingSpeak.setField (4,Celsius);  
  
}  
  
void leerbmp()  
{  
  
    float presion = bmp.readPressure();  
    float presionatm = presion * 0.000009869;  
    //float altitud = bmp.readAltitude();  
    const int N = 10;  
    float altitud;  
    float Altitud_arr[N], suma = 0;  
  
    for (int i = 0; i < N; i++)  
    {  
        Altitud_arr[i] = bmp.readAltitude();  
        delay(30);  
    }  
  
    for (int i = 0; i < N; i++)  
    {  
        suma += Altitud_arr[i];  
    }  
  
    altitud = suma / N;
```

```
Serial.print("Presión bmp: ");
```

```
Serial.print(presion);
```

```
Serial.println(" Pa.");
```

```
Serial.print("Presión bmp: ");
```

```
Serial.print(presionatm);
```

```
Serial.println(" atm");
```

```
oled.clearDisplay();
```

```
oled.setTextColor(WHITE);
```

```
oled.setTextSize(1); // Escala del texto 1: 6x8 px
```

```
oled.setCursor(0, 8);
```

```
oled.print("PresiOn AtmosfErica");
```

```
oled.setTextSize(2); // Escala del texto 2: 12x16 px
```

```
oled.setCursor(0, 24);
```

```
oled.print(presionatm);
```

```
oled.print(" atm.");
```

```
oled.display(); // Imprime pantalla
```

```
delay(2500);
```

```
Serial.print("Altitud bmp: ");
```

```
Serial.print(altitud);
```

```
Serial.println(" metros.");
```

```
oled.clearDisplay();

oled.setTextColor(WHITE);

oled.setTextSize(1); // Escala del texto 1: 6x8 px

oled.setCursor(0, 8);

oled.print("Altitud");

oled.setTextSize(2); // Escala del texto 2: 12x16 px

oled.setCursor(0, 24);

oled.print(altitud);

oled.print(" m.");

oled.display(); // Imprime pantalla

delay(2500);

Serial.println("-----");

ThingSpeak.setField (5,presionatm);

ThingSpeak.setField (6,altitud);

}

void leerVolumen()

{

double duration;

double distanceCm, VolumenPecera;

const int N = 20;

long duration_arr[N], suma = 0;
```

```
for (int i = 0; i < N; i++)  
  
{  
  
digitalWrite(TriggerPin, LOW); //para generar un pulso limpio ponemos a LOW 4us  
  
delayMicroseconds(4);  
  
digitalWrite(TriggerPin, HIGH); //generamos Trigger (disparo) de 10us  
  
delayMicroseconds(10);  
  
digitalWrite(TriggerPin, LOW);  
  
  
duration_arr[i] = pulseIn(EchoPin, HIGH); //medimos el tiempo entre pulsos, en  
microsegundos  
  
delay(30);  
  
}  
  
for (int i = 0; i < N; i++)  
  
{  
  
suma += duration_arr[i];  
  
}  
  
duration = suma / N;  
  
  
distanceCm = duration * 10 / 292 / 2; //convertimos a distancia, en cm  
  
VolumenPecera = (69*29*(55.1 - distanceCm))/1000;  
  
Serial.print("Distancia: ");  
  
Serial.println(distanceCm);
```

```
Serial.print("Volumen: ");  
  
Serial.print(VolumenPecera);  
  
Serial.println(" lts");  
  
Serial.println("-----");  
  
  
//delay(1000);  
  
oled.clearDisplay();  
  
oled.setTextColor(WHITE);  
  
oled.setTextSize(1); // Escala del texto 1: 6x8 px  
  
oled.setCursor(0, 8);  
  
oled.print("Volumen cm3 pecera");  
  
oled.setTextSize(2); // Escala del texto 2: 12x16 px  
  
oled.setCursor(0, 24);  
  
oled.print(VolumenPecera);  
  
oled.print(" lts");  
  
oled.setTextSize(1);  
  
oled.setCursor(0, 48);  
  
oled.print(distanceCm);  
  
oled.print(" cm");  
  
oled.display(); // Imprime pantalla  
  
delay(2500);  
  
ThingSpeak.setField (7,(float)VolumenPecera);  
  
}
```

## Anexo B. Imágenes del proceso

Para el desarrollo del prototipo se adquirieron todos los elementos para su construcción, primero se realizó el ensamblado de la parte mecánica, en la siguientes figuras se presentan imágenes de su desarrollo. (Figura 58 y Figura 59)



*Figura 58. Partes de huerto acuapónico - Inicio de proyecto (I)*

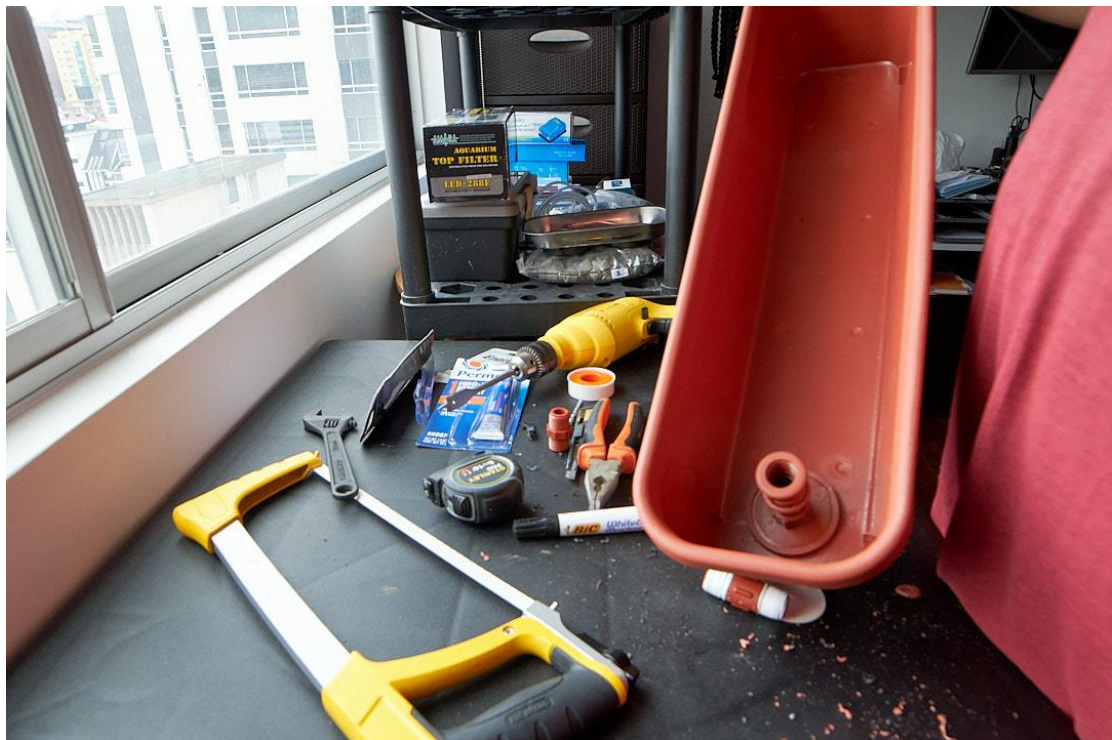


*Figura 59. Partes de huerto acuapónico - Inicio de proyecto (II)*

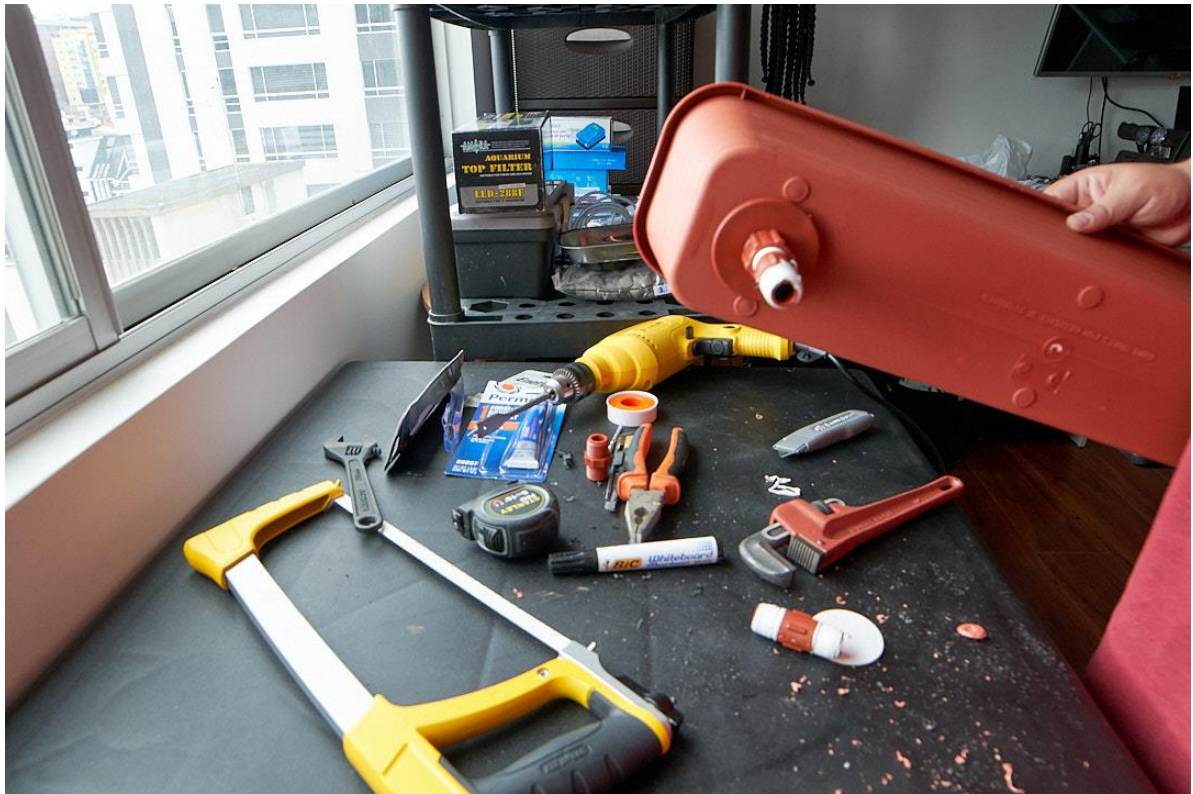
Parte importante del proyecto es el sifón de campana las imágenes a continuación registran su construcción y montaje en el modelo. (Figura 60, Figura 61, Figura 62, Figura 63, Figura 64, Figura 65 y Figura 66)



*Figura 60. Ensamblaje sifón campana (I)*



*Figura 61. Ensamblaje sifón campana (II)*



*Figura 62. Ensamblaje sifón campana (III)*

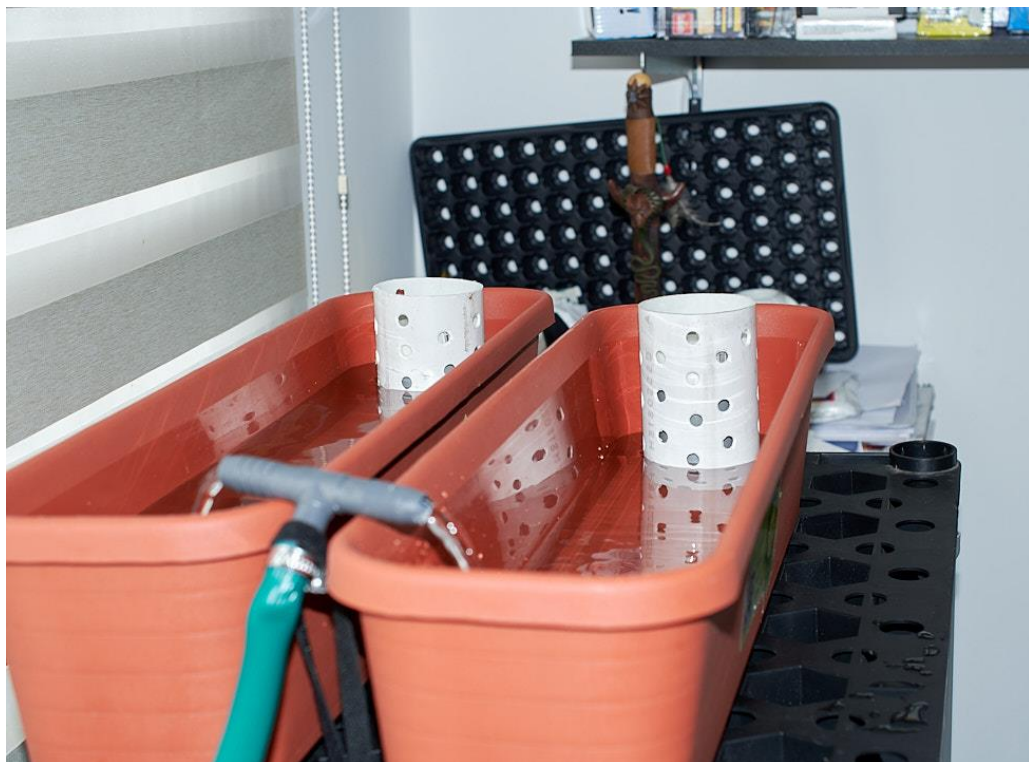


*Figura 63. Ensamblaje sifón campana (IV)*





*Figura 64. Ensamblaje sifón campana (V)*



*Figura 65. Ensamblaje sifón campana (VI)*



*Figura 66. Ensamblaje sifón campana (VII)*

En las siguientes figuras se presenta el modelo inicial del soporte de las macetas y filtro mecánico pero luego se decide realizar una modificación en la estructura colocando columnas de mayor longitud. (Figura 67, Figura 68, Figura 69 y Figura 70)



*Figura 67. Ensamblaje estructura (I)*



*Figura 68. Ensamblaje estructura (II)*



*Figura 69. Ensamblaje estructura (III)*

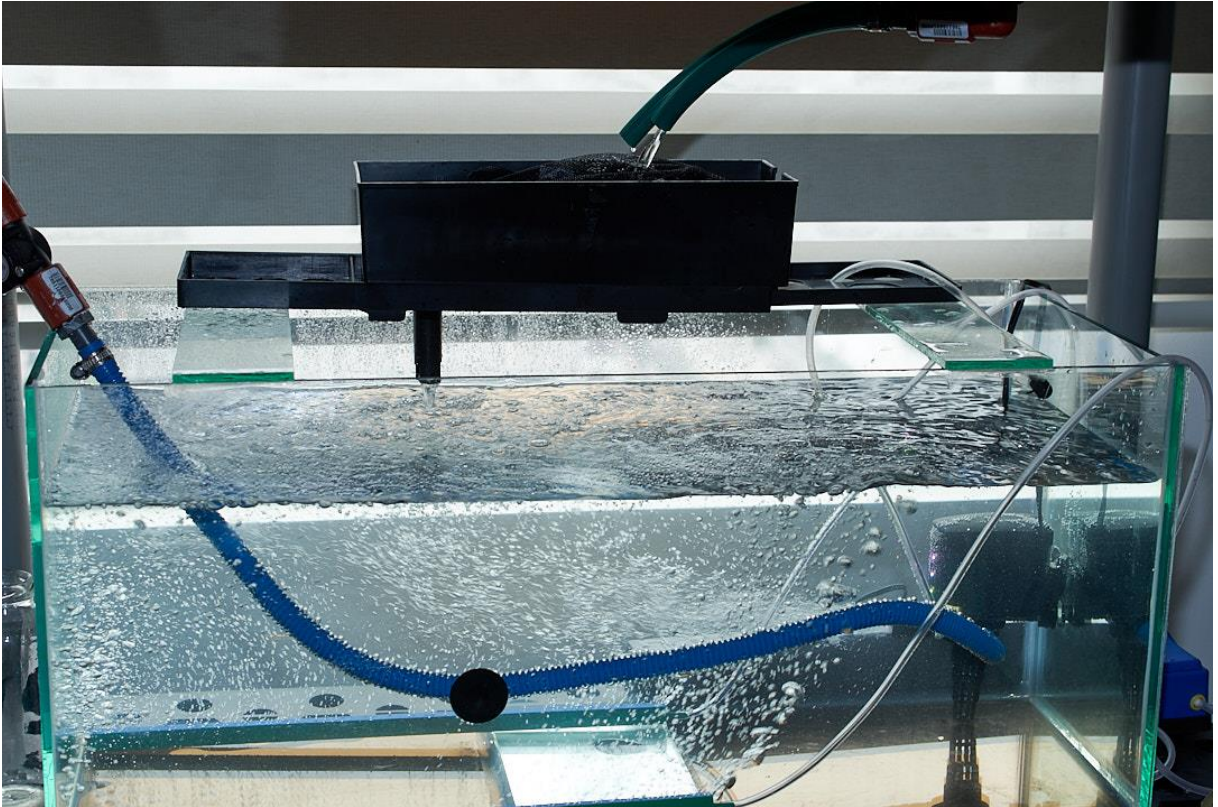


*Figura 70. Ensamblaje estructura (IV)*

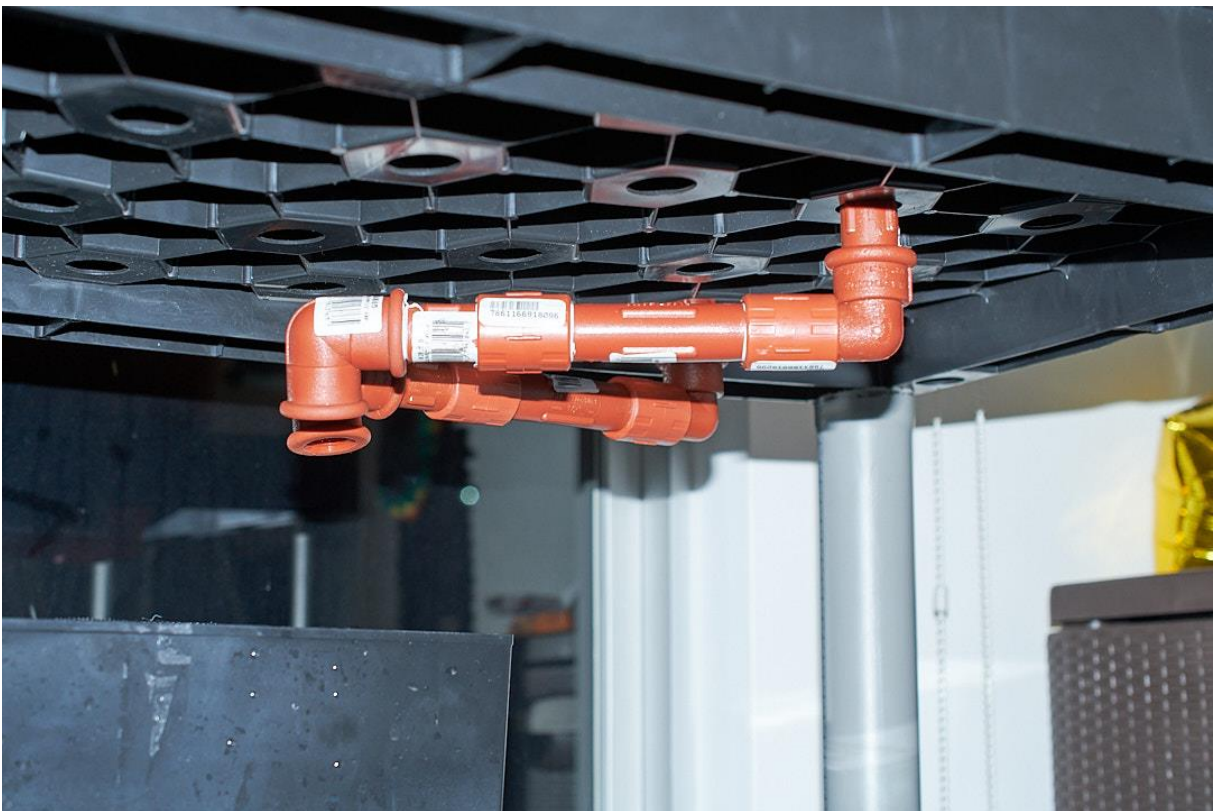
Se registra también las pruebas iniciales de circulación de agua y en base a estas pruebas se decide modificar las tuberías a la pecera y macetas. (Figura 71, Figura 72, Figura 73, Figura 74, Figura 75, Figura 76 y Figura 77)



*Figura 71. Tubería a la pecera (I)*



*Figura 72. Tubería a la pecera (II)*



*Figura 73. Tubería a la pecera modificación (I)*



*Figura 74. Tubería a la pecera modificación (II)*



*Figura 75. Tubería a las macetas*



*Figura 76. Tubería a las macetas modificación (I)*



*Figura 77. Tubería a las macetas modificación (II)*

Se levanta un registro de los componentes electrónicos, en algunos se realizaron modificaciones como el cambio de la pantalla LCD a OLED, además que se presenta imágenes del circuito armado para pruebas y luego ya con una presentación final. (Figura 78, Figura 79, Figura 80, Figura 81, Figura 82, Figura 83, Figura 84 y Figura 85)



*Figura 78. Bomba de recirculación.*

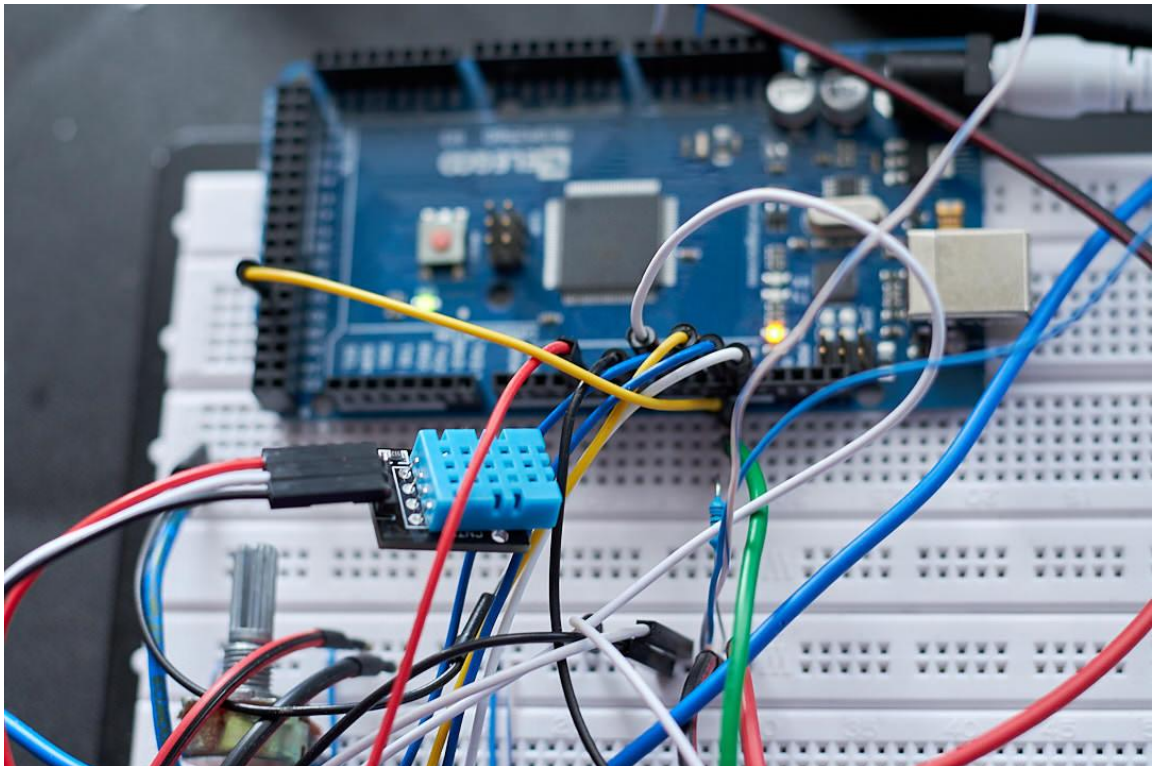


*Figura 79. Calentador de agua.*





*Figura 80. Sonda de sensor pH*



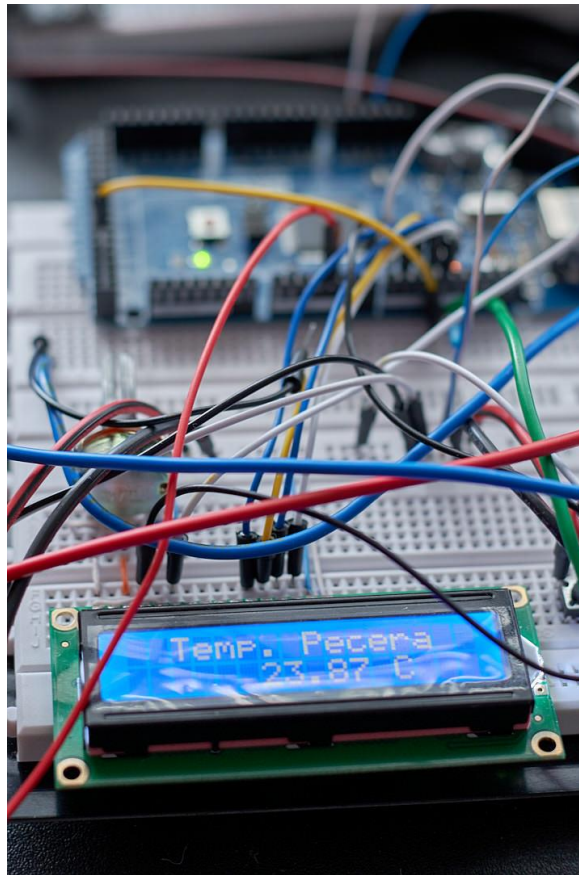
*Figura 81. Sensor de humedad y temperatura ambiente*



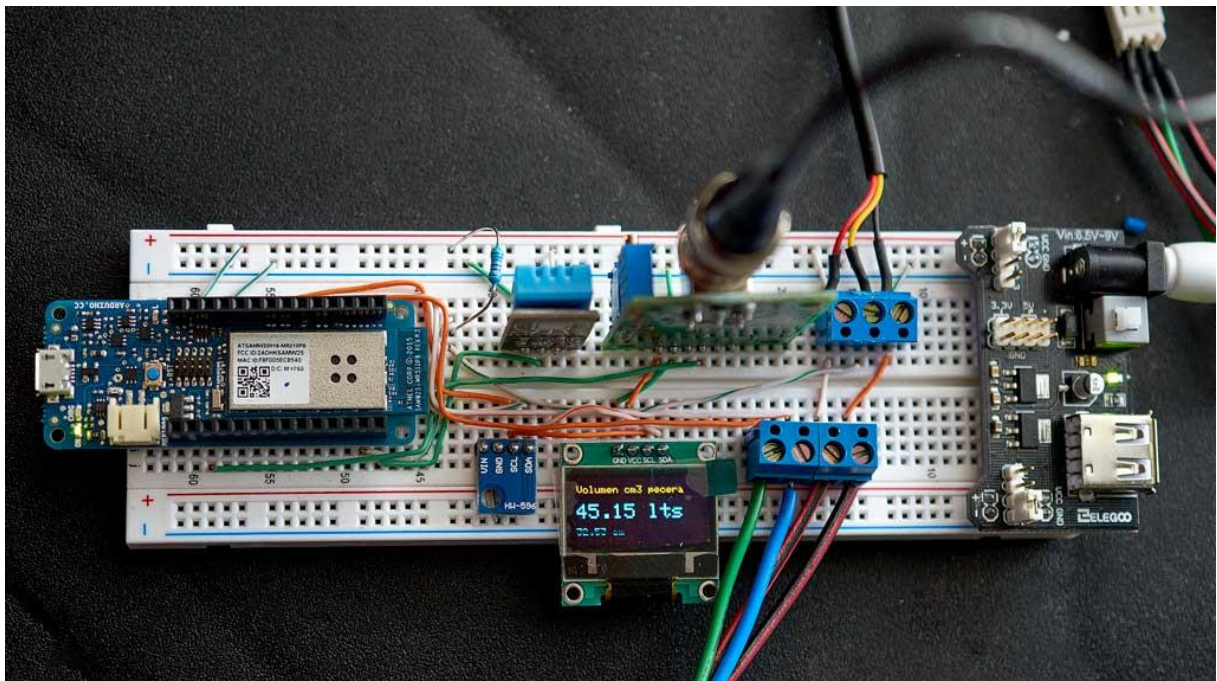
*Figura 82. Sonda sensor de temperatura pecera*



*Figura 83. Sonda de sensor de temperatura y calentador de agua.*



*Figura 84. Pantalla LCD primer intento.*



*Figura 85. Circuito completo.*

La fotografías a continuación registran la evolución de las plantas y su crecimiento. (Figura 86, Figura 87, Figura 88, Figura 89, Figura 90, Figura 91, Figura 92, Figura 93, Figura 95, Figura 96, Figura 97, Figura 98, Figura 99, Figura 100 y Figura 100)



*Figura 86. Plantas estado inicial (I)*



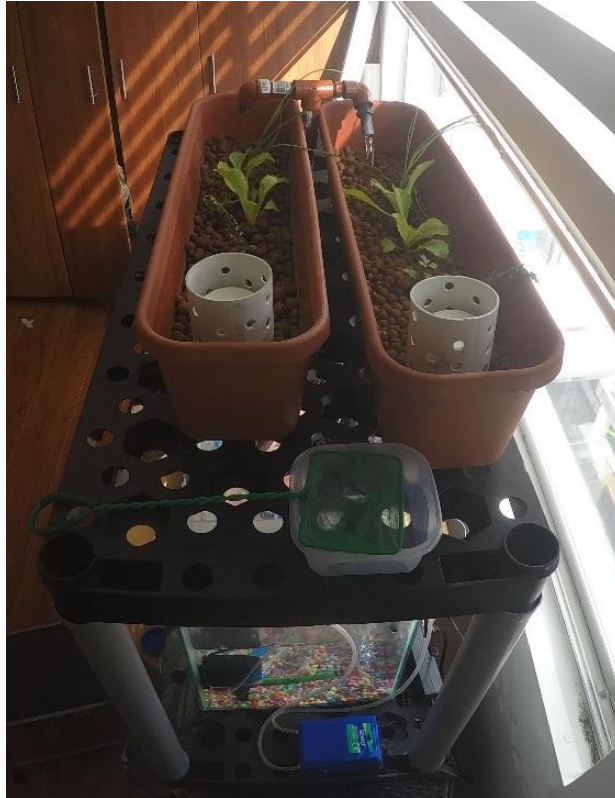
*Figura 87. Plantas estado inicial (II)*



*Figura 88. Modelo completo (I)*



*Figura 89. Evolución de plantas (I)*



*Figura 90. Evolución de plantas (II)*



*Figura 91. Evolución de plantas (III)*



*Figura 92. Evolución de plantas (IV)*



*Figura 93. Evolución de plantas (V)*

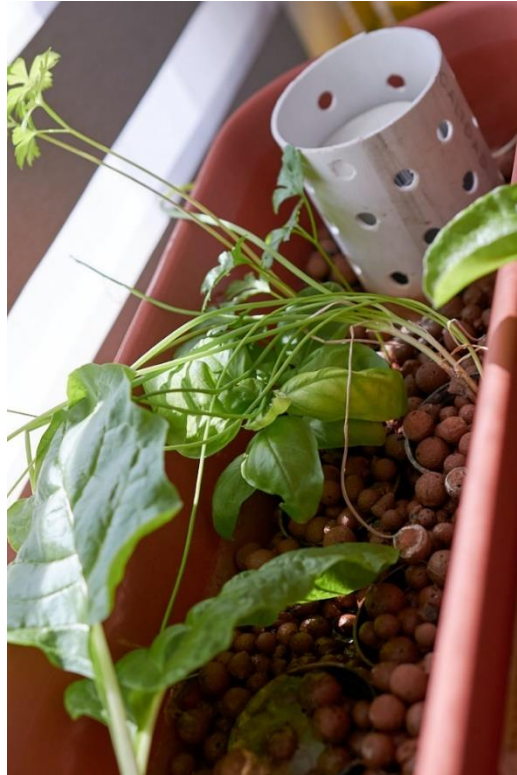


*Figura 94. Evolución plantas (VI)*

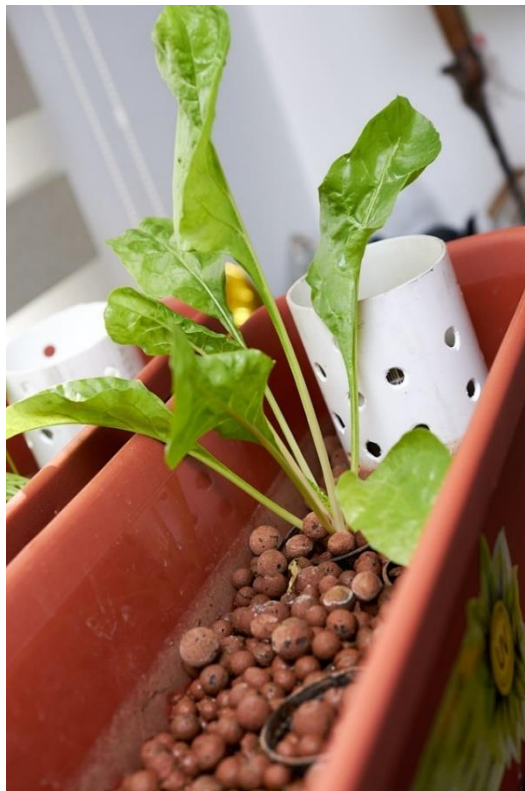


*Figura 95. Evolución de plantas (VII)*





*Figura 96. Evolución de plantas (VIII)*



*Figura 97. Evolución de plantas (IX)*



*Figura 98. Evolución de plantas (X)*



*Figura 99. Evolución de plantas (XI)*



*Figura 100. Evolución de plantas (XII)*

La fotos siguientes presentan los tipos de peces que tiene actualmente el huerto acuapónico.  
(Figura 102, Figura 103 y Figura 103)



*Figura 101. Peces (I)*

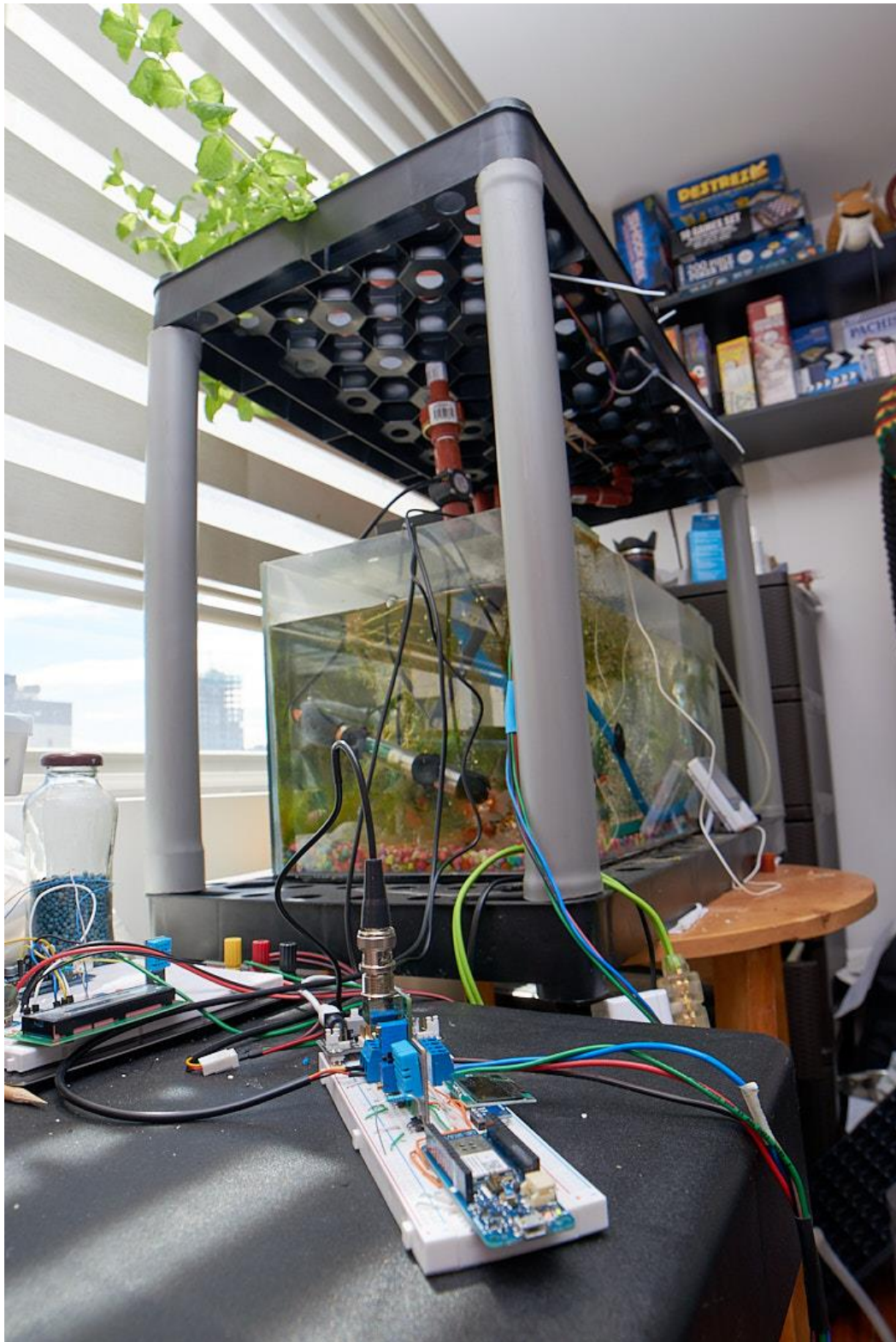


*Figura 102. Peces (II)*



*Figura 103. Peces (III)*

Finalmente en la Figura 104 se presenta una vista en donde se puede evidenciar los componentes electrónicos, mecánicos, además, de las plantas y peces del sistema.



*Figura 104. Modelo completo (II)*