

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

SANTIAGO - CHILE



“Diseño y construcción de un sistema de cultivo aeropónico monitoreado y controlado remotamente”

SIMÓN KLESSE PÉREZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: PH.D. RODRIGO BARRAZA VICENCIO
PROFESOR CORREFERENTE: ING. ADOLFO GAETE HIDALGO

NOVIEMBRE 2022

Agradecimientos

*Quiero agradecer a mi familia,
amigos y compañeros de carrera
por acompañarme todos estos años de estudios.
Sin ellos difícilmente hubiese podido terminar esta etapa.*

Resumen

En la actualidad nuestro planeta se ha visto cada vez más afectado por los efectos del cambio climático, teniendo cada vez más sequías y escases de agua dulce. El 70% del agua dulce en el mundo es consumida por el sector agrícola, por lo que reducir su consumo es vital para asegurar reservas de agua para el futuro. Una nueva forma de cultivar, llamada aeroponía está dándose a conocer cada vez más en el mundo, porque ataca directamente al sector agrícola en consumo de agua. Los sistemas aeropónicos son una forma de cultivo sin suelo, en que la planta crece suspendida en el aire y tiene la capacidad de reducir en un 98% el consumo de agua. En este trabajo se diseñó y construyó un sistema aeropónico basándose en la teoría existente con aplicación en IoT para ser monitoreado y controlado remotamente. Se concluyó que el sistema funciona de la forma esperada, pero se necesitan hacer mejoras en el control de temperatura y humedad para conseguir cosechas exitosas.

Abstract

Currently, our planet has been affected by the effects of climate change, having more droughts each time and freshwater shortage. 70% of freshwater around the world is consumed by the farming industry, thereby is imperative to reduce their consumption to secure our freshwater reservoirs for the future. A new way of culture, named aeroponic is growing around the world because it resolves the problem of water consumption in the farming industry. The aeroponic systems are a soilless culture in which the plant grow suspended in the air and can reduce the water consumption up to 98%. For this work, an aeroponic system was design and constructed having the existing theory as guide. It has also an Iot application for it to be monitored and controlled remotely. It concluded that the system works as expected but improvements in the temperature and humidity control are necessary to achieve successful harvests.

Glosario

- IoT : Internet of Things
- IdC : Internet de las Cosas
- RFA : Radiación fotosintéticamente activa
- LED : Light-emitting diode (Diodo emisor de luz)
- HID : High Intensity Discharge (Descarga de alta intensidad)
- PPFD : Photosynthetic Photon Flux Density (Densidad de flujo de fotones fotosintéticos)
- NFT : Nutrient Film Technique (Técnica de película de nutrientes)
- LPA : Low Pressure Aeroponics (Aerponía de baja presión)
- HPA : High Pressure Aeroponics (Aerponía de alta presión)
- SoC : System on Chip (Sistema en Chip)

Nomenclatura

P	Presión [psi], [Pa]
T	Temperatura [°C]
t	Tiempo [s]

Índice general

Agradecimientos.....	i
Resumen	ii
Abstract.....	iii
Glosario	iv
Nomenclatura.....	v
Índice general	vi
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
1. Introducción y Objetivos.....	1
1.1. Introducción general.....	1
1.2. Objetivo general	2
1.3. Objetivos específicos.....	2
2. Estado del arte	3
2.1. Cultivos sin suelo	3
2.1.1. Cultivos con sustratos.....	4
2.1.2. Cultivos en agua.....	4
2.1.2.1. Hidroponía.....	4
2.1.2.2. Aeroponía.....	9
2.2. Tamaño de gota óptimo e intervalos de riego	10
2.3. Temperatura y humedad necesaria	12
2.4. Exposición a luz solar y artificial.....	12
2.5. Implementación en lugares del mundo.....	12
2.6. Sistema de control automático	14
2.6.2. NodeMCU V3	15

2.6.2.2.	Pin Digital	16
2.6.2.3.	Pin Análogo.....	16
2.6.3.	Relé	17
2.6.4.	Sensores DHT	18
2.6.5.	Arduino IDE.....	19
2.7.	IoT Internet de las cosas.....	21
2.7.2.	Ubidots	22
3.	Diseño.....	24
3.1.	Atributos de diseño.....	24
3.2.	Diseños conceptuales	28
3.2.1.	Concepto 1: Torre de piezas acoplables	28
3.2.2.	Concepto 2: Pared acoplable	30
3.2.3.	Concepto 3: Pirámide	32
3.2.4.	Concepto 4: Torre cuadrada	33
3.3.	Selección de conceptos.....	33
3.4.	Sistema hidráulico	35
3.5.	Estructura	41
4.	Sistema de Control	43
4.1.	Componentes.....	43
4.2.	Lógica de funcionamiento.....	44
5.	Construcción y Resultados	48
5.1.	Construcción	48
5.2.	Mediciones tamaño de gota.....	54
5.3.	Cultivos	66
6.	Conclusiones	69
6.1.	Conclusiones principales.....	69
6.2.	Recomendaciones futuras.....	70
7.	Referencias	72
8.	Anexos.....	75
8.1.	Cálculos para selección de bomba	75
8.2.	Cálculo tamaño de gota teórico.....	80
8.3.	Propagación de errores.....	83
8.3.1.	Error diámetro al realizar la conversión de pixeles de cada imagen	83

8.3.2.	Error diámetro promedio 5 imágenes	83
8.3.3.	Error diámetro gota esférica	83
8.4.	Código ArduinoIDE	84

Índice de tablas

Tabla 1. Características de atomizadores utilizados en el estudio hecho por la Universidad de Jiangsu.....	11
Tabla 2. Lista de objetivos	25
Tabla 3. Puntajes ponderados entre los tres subgrupos de objetivos.....	25
Tabla 4. Puntajes ponderados entre objetivos dentro del subgrupo de requerimientos económicos. 26	
Tabla 5. Puntajes ponderados entre requerimientos dentro del subgrupo de requerimientos sociales.	27
Tabla 6. Puntajes ponderados entre requerimientos dentro del subgrupo de requerimientos medioambientales.....	27
Tabla 7. Puntajes de respuesta de los conceptos a cada objetivo y puntajes totales.	34
Tabla 8. Imagen 1 y tamaños de gota.....	62
Tabla 9. Imagen 2 y tamaños de gota.....	62
Tabla 10. Imagen 3 y tamaños de gota.....	63
Tabla 11. Imagen 4 y tamaños de gota.....	63
Tabla 12. Imagen 5 y tamaños de gota.....	64
Tabla 13. Valores de funcionamiento bombas Aquatec serie 8800	78

Índice de figuras

Figura 1. Mapa conceptual de las diferentes técnicas de cultivos de plantas [4].	3
Figura 2. Avance tecnológico de los sistemas hidropónicos hacia la aeroponía. [8]	5
.Figura 3. Sistema hidropónico de mecha [10].	6
Figura 4. Sistema hidropónico de agua profunda [10].	7
Figura 5. Sistema hidropónico de flujo y reflujo [10].	7
Figura 6. Sistema hidropónico por goteo [10].	8
Figura 7. Sistema hidropónico de película de nutrientes [10].	8
Figura 8. Esquema huerta aeropónica y sus componentes [2].	9
Figura 9. Largo de tallo promedio y superficie de hojas de lechugas al variar los intervalos de riego utilizando distintos atomizadores [15].	11
Figura 10. Implementación de tecnología aeropónica en el mundo: (a) Primera granja aeropónica del mundo de la empresa Grow-Anywhere LLC; (b) Una de las tres granjas verticales a gran escala de la empresa AeroFarm; (c) Prototipo inflable hecho por AgriHouse, Inc. y NASA; (d) Granja de la empresa Future Growing en el aeropuerto internacional O'Hare, Chicago.	13
Figura 11. Sistema de control de lazo abierto.	14
Figura 12. Sistema de control de lazo cerrado.	14
Figura 13. Placa NodeMCU V3. El chip metálico del centro corresponde al SoC Wi-Fi ESP8266 sobre el cual se construyó la placa.	15
Figura 14. Asignación de pines placa NodeMCU V3.	16
Figura 15. Relé óptico aislado.	17
Figura 16. Diagrama relé óptico aislado [25].	18
Figura 17. Especificaciones técnicas de sensores DHT11 y DHT22 [26].	19
Figura 18. Asignación de pines DHT11 [27].	19
Figura 19. Interfaz Arduino IDE.	20
Figura 20. Algunas de las placas compatibles con Arduino IDE, entre las cuales se destaca la placa NodeMCU 1.0 utilizada en este trabajo.	21
Figura 21. Aplicaciones de IoT.	22
Figura 22. Dashboard de la plataforma Ubidots. Se muestran algunos de los gadgets que se pueden crear para la visualización de variables.	23
Figura 23. Vista isométrica concepto torre de piezas acoplables.	28
Figura 24. Vista trasera pieza acoplable.	29
Figura 25. Vista frontal pieza acoplable.	29
Figura 26. Vista frontal torre de piezas acoplables con medidas.	29

Figura 27. Vista en corte de la base de la torre de piezas acoplables.....	30
Figura 28. Vista frontal a concepto de pared acoplable.	31
Figura 29. Vista trasera concepto de pared acoplable.	31
Figura 30. Vista frontal concepto pirámide.....	32
Figura 31. Vista frontal con detalle al interior del concepto pirámide.....	32
Figura 32. Vista frontal torre cuadrada.	33
Figura 33. Vista frontal concepto torre cuadrada.	33
Figura 34. Diagrama sistema hidráulico.....	35
Figura 35. Aspersor tipo nebulizador.....	36
Figura 36. Bomba Aquatec modelo 8852.....	37
Figura 37. Transductor de presión.....	38
Figura 38. Tanque acumulador de presión.	39
Figura 39. Filtro de sedimentos.....	40
Figura 40. Conectores tipo push-fit marca John Guest.	40
Figura 41. Vista isométrica del diseño de la huera.....	41
Figura 42. Vista frontal del diseño de la huerta.	42
Figura 43. Vista lateral del diseño de la huerta.	42
Figura 44. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema.....	44
Figura 45. Interruptores digitales para las luces y bomba en Ubidots.....	45
Figura 46. Página de dispositivos en Ubidots.	46
Figura 47. Eventos Ubidots.....	47
Figura 48. Creación de evento “Presión baja” que alerta al usuario via SMS.	47
Figura 49. Resultado final huerta aeropónica construida. La imagen de la izquierda muestra la sección de soporte de plantas tapada y la de la derecha expuesta al ambiente.	49
Figura 50. Bomba, tanque acumulador de presión, estanque de agua y transductor de presión. En el estanque de agua se ve la manguera azul que va hacia la bomba, la cual tiene un filtro en ella, y una manguera negra que es el retorno que viene desde la cámara de cultivo.	50
Figura 51. Cámara de crecimiento por fuera y por dentro. Se aprecia la posición de uno de los aspersores.	51
Figura 52. Aspersor.....	52
Figura 53. Componentes electrónicos. En la foto se ve una protoboard, un NodeMCU V3, un relé, un sensor DHT11 y un alargador múltiple para conexiones USB.....	53
Figura 54. Sensor DHT22 que para registrar temperatura y humedad dentro de la cámara de cultivo.	54
Figura 55. Vista frontal del set-up para medir el tamaño de gota.	55
Figura 56. Vista de la tabla de medición dentro del espacio aislado.....	56
Figura 57. Tabla de medición recibiendo riego del aspersor.....	57
Figura 58. Aspersores regando la tabla de medición (Se muestran dos aspersores regando a modo de ilustración, el experimento se hizo con un solo aspersor apuntando a la tabla de medición). El Skateboard es usado como patrón para mantener una distancia similar entre las mediciones.	58
Figura 59. Tabla de medición.....	59
Figura 60. Microscopio casero listo para visualizar las gotas.	60
Figura 61. Vista desde el microscopio casero.	61

Figura 62. Esquema de la gota de un líquido y sus los tensores dentro de la ecuación de Young. La energía de superficie del sólido (γ_{SG}) es igual a la suma de la tensión de interfase líquido-sólido (γ_{SL}) y la componente horizontal de la tensión superficial del líquido ($\gamma_{LG}\cos\theta$)..... 65

Figura 63. Esquema utilizado para obtener la relación entre el radio real (R') y teórico de las gotas de agua. 65

Figura 64. Semilla germinada dentro del canastillo donde crecerá hasta llegar a adulta. Se aprecian dos raíces atravesando la gasa y quedando al descubierto por debajo del canastillo. 67

Figura 65. Semillas germinadas dentro del sistema aeropónico..... 67

Figura 66. Semillas quemadas luego de 1 día en la huerta..... 68

Figura 67. Ángulo de contacto entre gotas de agua y distintas superficies [30]. 80

Capítulo 1

Introducción y Objetivos

1.1. Introducción general

Uno de los mayores problemas que afecta a la humanidad en la actualidad es la escasez hídrica, que se intensifica cada vez más en distintos lugares del mundo. Sumado a esto se agrega que más del 70% del consumo de agua fresca en el mundo es destinado a la agricultura [1]. Es por esto que nace el desafío de desarrollar una forma de cultivar con un uso eficiente de agua.

Un sistema de cultivo que tiene el potencial de resolver el problema del consumo de agua en la agricultura es la aeroponía. Es un método de cultivo sin suelo en que las plantas crecen en el aire y se mantienen erguidas con ayuda de soportes artificiales [2]. Según un reporte de NASA, los beneficios que tienen estos sistemas son el bajo consumo de agua respecto a otras formas de cultivo (98% menos), plantar en cualquier momento del año, una disminución en el uso de nutrientes (reducción de un 60%) y la eliminación de pesticidas [3].

1.2. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es diseñar y construir un sistema de cultivo aeropónico que funcione de forma autónoma y que su control y monitoreo sea remoto.

1.3. Objetivos específicos

Se definen los siguientes objetivos específicos, que servirán como etapas para cumplir el objetivo general del trabajo.

- Estudiar la bibliografía y revisar el estado del arte relacionado a aeroponía, sistemas de control automático e interconexión digital.
- Diseñar un prototipo de cultivo aeropónico vertical.
- Diseñar los sistemas de control para funcionamiento autónomo y a distancia.
- Construir el sistema de cultivo aeropónico y verificar óptimo funcionamiento de los componentes.

Capítulo 2

Estado del arte

2.1. Cultivos sin suelo

Los cultivos sin suelo, como su nombre lo indica, son métodos de cultivo en que se utilizan partículas sólidas o agua en vez de suelo como medio para que crezcan las raíces de una planta. Diversos estudios sugieren que este tipo de cultivos son más económicos, generan más ganancias y son más rápidos de cosechar que los tradicionales [4], [5].

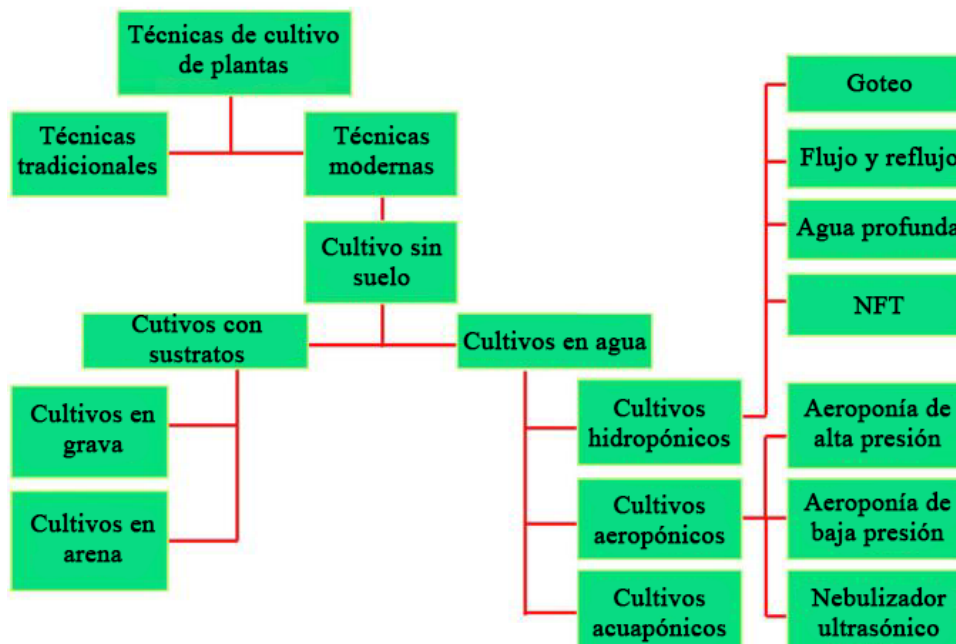


Figura 1. Mapa conceptual de las diferentes técnicas de cultivos de plantas [4].

La idea de eliminar el suelo en los cultivos ofrece una solución innovadora para asegurar la sustentabilidad económica y ambiental para el abastecimiento de alimentos con alto valor nutricional.

2.1.1. Cultivos con sustratos

Los cultivos con sustratos son aquellos en que se utiliza un material sólido inerte como medio para el crecimiento de raíces de plantas. Pueden ser de origen orgánico, inorgánico o sintético.

- **Sustratos orgánicos:** Aserrín, fibra de coco, turba, astillas de madera, lana, orujo y corteza de árbol.
- **Sustratos inorgánicos:** Perlita, vermiculita, zeolita, grava, lana mineral, arena, lana de vidrio, piedra pómez, sepiolita, arcilla expandida y toba volcánica.
- **Sustratos sintéticos:** Hidrogel, cartón pluma (poliuretano) y oasis (espuma floral)

Independiente de qué tipo de material se desee utilizar como sustrato, este debe mantener su composición durante todo el ciclo de crecimiento de la planta. Es importante que éste tenga una porosidad tal, que pueda mantener una relación de aire-agua estable que permita el crecimiento de raíces. Se pueden mezclar materiales orgánicos con inorgánicos para disminuir los cambios físicos en el sustrato debido a la descomposición de material orgánico [6].

2.1.2. Cultivos en agua

Los cultivos en agua son el otro tipo de cultivo que reemplaza el suelo por una solución de agua rica en nutrientes. Existen tres categorías: hidroponía, acuaponía y aeroponía. Los sistemas acuapónicos no se detallarán en este trabajo porque incluyen vida marina en ellos y se alejan mucho de lo que se quiere realizar.

2.1.2.1. Hidroponía

La hidroponía en su forma más básica consiste en sumergir las raíces de la planta en una solución de agua y nutrientes. Estos sistemas son superiores respecto a los métodos tradicionales de cultivo en tierra en temas de calidad y productividad de cultivo. Se encontró evidencia que sostiene que tomates que crecieron en sistemas hidropónicos eran más firmes y ricos en vitamina C que otros que crecieron en suelo [7]. Generalmente se utiliza algún sustrato o canastillo para sostener a la planta sobre el agua, dejando caer las

raíces hasta que queden sumergidas. Es importante que las raíces de la planta se mantengan oxigenadas para favorecer el crecimiento aeróbico. Esto se puede lograr de distintas formas y es la principal razón por la que existen diferentes formas de hidroponía.





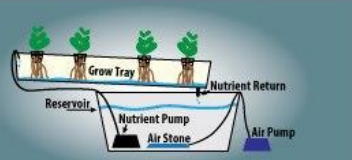
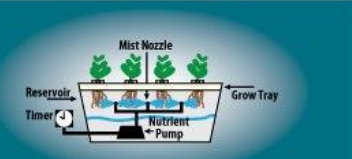
Simple	Sistemas Hidropónicos		Pros	Contras
Sistemas de mecha:			<ul style="list-style-type: none"> • Accesible • Bajo mantenimiento • Sin bomba de nutrientes 	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso de oxígeno limitado • Tasa de crecimiento más lenta • No hay recirculación de nutrientes • Propenso al crecimiento de algas
Cultivo de agua profunda:			<ul style="list-style-type: none"> • Más barato de los sistemas activos • Configuración simple • Sin bomba de nutrientes • Confiable 	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de putrefacción de raíces si no se limpia regularmente • Tasa de crecimiento más lenta • El agua debe cubrir hasta que las raíces sean lo suficientemente largas como para caer en la solución de nutrientes • Reservoirio debe rellenarse con frecuencia
Flujo y reflujo:			<ul style="list-style-type: none"> • Accesible • Bajo mantenimiento • Exceso de solución de nutrientes recircula 	<ul style="list-style-type: none"> • Propenso a crecimiento de algas • Malfuncionamientos técnicos pueden resultar en pérdidas de cultivo
Método de goteo:			<ul style="list-style-type: none"> • Exceso de solución de nutrientes recircula • Suficiente flujo de oxígeno 	<ul style="list-style-type: none"> • Propenso a obstrucciones • Propenso a crecimiento de algas • Requiere limpiezas periódicas
Técnica de película de nutrientes:			<ul style="list-style-type: none"> • Exceso de solución de nutrientes recircula • Abundante flujo de oxígeno • Espacio eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Propenso a obstrucciones • Malfuncionamientos técnicos pueden resultar en pérdidas de cultivo
Aeroponía: Avanzado			<ul style="list-style-type: none"> • Máxima absorción de nutrientes • Exceso de solución de nutrientes recircula • Abundante flujo de oxígeno • Espacio eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Propenso a obstrucciones • Malfuncionamientos técnicos pueden resultar en pérdidas de cultivo • Alta tecnología • Demandante en tiempo • Pobremente adecuado para nutrientes y aditivos orgánicos gruesos

Figura 2. Avance tecnológico de los sistemas hidropónicos hacia la aeroponía. [8]

2.1.2.1.1. Sistemas de mecha

Los sistemas de mecha son los sistemas más básicos de hidroponía, y debido a su facilidad de montaje y su bajo costo son uno de los sistemas preferidos para iniciarse en esta variante a la agricultura tradicional [9].

El set-up consiste en un reservorio de agua y nutrientes sobre el cual se monta el material que servirá como medio para el crecimiento de las plantas. La idea es que una mecha vaya desde el reservorio de agua hasta el material de crecimiento, funcionando como medio de transporte para el agua. De esta forma la planta absorberá agua y nutrientes directamente de la mecha a medida que ésta lo requiera.



Figura 3. Sistema hidropónico de mecha [10].

2.1.2.1.2. Cultivo de agua profunda

Los sistemas de cultivo de agua profunda son similares a los sistemas de mecha, pero se diferencian en que éstos eliminan la mecha para proveer de agua a la planta. En primer lugar, se disponen las plantas sobre el reservorio de agua en pequeños canastos o en un sustrato. Las raíces de las plantas caen directamente a la solución de agua y nutrientes, de esta forma pueden absorber agua en todo momento. En estos sistemas es necesario incluir una bomba de aire para oxigenar el agua y evitar que las plantas se ahoguen, favoreciendo el crecimiento aeróbico.



Figura 4. Sistema hidropónico de agua profunda [10].

2.1.2.1.3. Flujo y reflujo

En flujo y reflujo se trata de mejorar la exposición de las plantas al oxígeno, dejándolas sin agua por algunos intervalos. Para ello se inunda a la planta con la solución de agua y nutrientes en ciclos controlados y luego el agua se drena por gravedad a un recipiente ubicado bajo la zona de crecimiento de las raíces. Estos sistemas requieren un monitoreo constante de variables ambientales para programar de forma eficiente los ciclos de bombeo y evitar secar o sobresaturar de agua a las plantas. Entre cada ciclo de bombeo el agua debe ser oxigenada al igual como se hace en un sistema de agua profunda.



Figura 5. Sistema hidropónico de flujo y reflujo [10].

2.1.2.1.4. Método de goteo

Para el método de goteo es necesaria la utilización de un material absorbente (sustrato) para disponer a las plantas, las cuales normalmente están separadas entre sí en canastos individuales. El agua y nutrientes fluyen hacia las plantas por mangueras gracias a una bomba o por gravedad en caso de tener el recipiente con agua en altura. Cada planta

recibe agua por medio de al menos un dispensador o gotero, el cual puede ser regulado para controlar la cantidad de agua que esta recibe. Gracias al material absorbente, la planta puede mantener una humedad óptima mientras el riego por goteo se configure acorde a lo que necesite la planta [11].



Figura 6. Sistema hidropónico por goteo [10].

2.1.2.1.5. Técnica de película de nutrientes

La técnica de película de nutrientes (*Nutrient Film Technique*) consiste en bombear agua con nutrientes sobre a la cámara de cultivo, la cual se encuentra en un plano inclinado. Al bombear la cantidad justa de agua, se puede alcanzar el punto en que se crea una pequeña película con nutrientes de la cual las raíces pueden absorber agua. El mayor beneficio de este sistema es que las raíces se encuentran expuestas a oxígeno y agua en todo momento.



Figura 7. Sistema hidropónico de película de nutrientes [10].

2.1.2.2. Aeroponía

La aeroponía es un método para cultivar en agua, pero las raíces no están sumergidas en la solución de nutrientes como ocurre en cultivos hidropónicos, en cambio están suspendidas en el aire. El término aeroponía fue tomado de los términos griegos y latín Aero y Ponic respectivamente, que significan aire y trabajo [4]. En este sistema las raíces cuelgan dentro de una cámara de cultivo, mientras que la parte superior de la planta (brote) crece fuera de la cámara de cultivo, pudiendo estar expuesta al exterior.

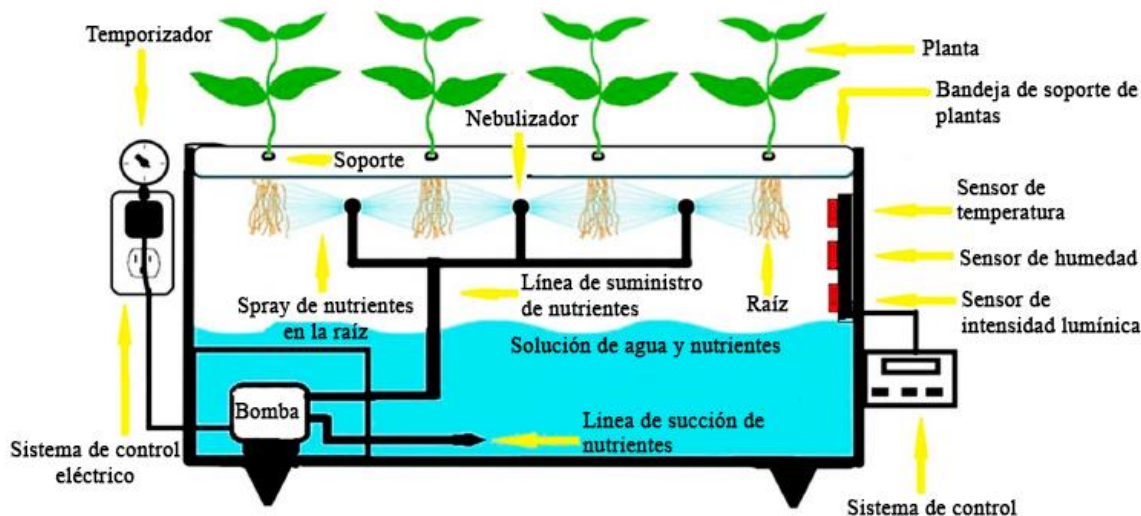


Figura 8. Esquema huerta aeropónica y sus componentes [2].

Un sistema aeropónico está compuesto por tres secciones principales, 1) la cámara de cultivo, 2) la sección de soporte de plantas y 3) el sistema de suministro de nutrientes.

Diversos estudios sugieren además, que los sistemas aeropónicos son superiores a otros cultivos sin uso de suelo, ya que ahorran en uso de fertilizantes y agua [12]. Al comparar el crecimiento de mini tubérculos de papas en cultivos hidropónicos frente a aeropónicos se determinó que el cultivo aeropónico tuvo un mayor crecimiento vegetativo, por lo que se retrasó la formación de tubérculos y se extendió el ciclo vegetativo en 7 meses. El rendimiento por planta en el sistema aeropónico fue un 70% mayor y la cantidad de papas cosechadas 2.5 veces la del hidropónico. Además el peso promedio de los tubérculos se redujo en un 33% en el cultivo aeropónico [13].

Existen tres tipos principales de sistemas aeropónicos, los de baja presión (LPA), los de alta presión (HPA) y los de nebulización ultrasónica.

2.1.2.2.1. Aeroponía de baja presión (LPA)

La aeroponía de baja presión (*Low Pressure Aeroponics*) es uno de los tres tipos de aeroponía. Se caracteriza por utilizar atomizadores tipo jet que atomizan las partículas de agua en pequeñas gotas. El orificio de los atomizadores debe ser muy pequeño para que el tamaño de las gotas sea lo suficientemente pequeño. Son más propensos a obstrucciones, pero al instalar filtros de malla se puede reducir la probabilidad de que ocurran [2].

En general son fáciles de armar y se utilizan en pequeñas granjas verticales. Al tener menos componentes son de menor costo que un sistema de alta presión.

2.1.2.2.2. Aeroponía de alta presión (HPA)

Los sistemas de alta presión (*High Pressure Aeroponics*) usan atomizadores con orificios de mayor tamaño que los de baja presión, así se reduce la probabilidad de que estos se tapen. Para alcanzar el tamaño de gota óptimo necesitan ayudarse de aire comprimido y una mayor presión, de ahí su nombre. Son considerablemente más complejos y caros de implementar, por lo que son más recomendados para aplicaciones a gran escala.

2.1.2.2.3. Aeroponía con nebulización ultrasónica

En la aeroponía con nebulización ultrasónica se utilizan nebulizadores que trabajan en frecuencias entre 1 y 3 MHz. Son muy caros y difíciles de mantener. Además afectan las propiedades químicas de la solución de nutrientes. Se utilizan para jardinería en interiores.

2.2. Tamaño de gota óptimo e intervalos de riego

El tamaño de gota óptimo para la mayoría de las plantas se encuentra en el rango entre 30 - 100 μm . Gotas bajo los 30 μm tienden a mantenerse en el aire como neblina y no favorecen un crecimiento adecuado, mientras que las gotas de tamaño mayor a los 100 μm tienden a caer con mucha facilidad antes de llegar a la planta. Además, gotas muy grandes implican menos presencia de oxígeno en la cámara de crecimiento [2].

Un estudio comparó los efectos que tenían distintos atomizadores en el crecimiento, contenido de polifenoles y actividad antioxidante en hojas de lechugas. Se construyeron 3 sistemas aeropónicos, uno con un atomizador de aire comprimido (A1), uno con un atomizador sin aire (A2) y otro con un nebulizador ultrasónico (A3). Los tamaños de gota promedio de cada uno fueron 23.281 μm (A1), 46.385 μm (A2) y 3.451 μm (A3). El atomizador A2 tuvo mejores resultados en las tres categorías comparadas. Todos los

sistemas aeropónicos fueron configurados con riegos de 20 minutos en intervalos de 3 horas entre cada uno [14].

Otro estudio un poco más complejo, realizado por la Universidad de Jianguo, utilizó 4 tipos de atomizadores con las siguientes características [15]:

Tabla 1. Características de atomizadores utilizados en el estudio hecho por la Universidad de Jianguo.

Atomizador	Tipo	Tamaño gota μm
A1	Con aire comprimido	11.24
A2	Sin aire	26.35
A3	Sin aire	17.38
A4	Nebulizador ultrasónico	4.89

Los 4 sistemas construidos se utilizaron para crecer lechugas con distintos intervalos de riego. Siempre se mantuvieron 5 minutos de riego y se modificó el intervalo entre cada uno (15, 30, 45 y 60 minutos).

Entre la serie de resultados obtenidos, se destacan 2. El tamaño del tallo y área de las hojas de las lechugas.

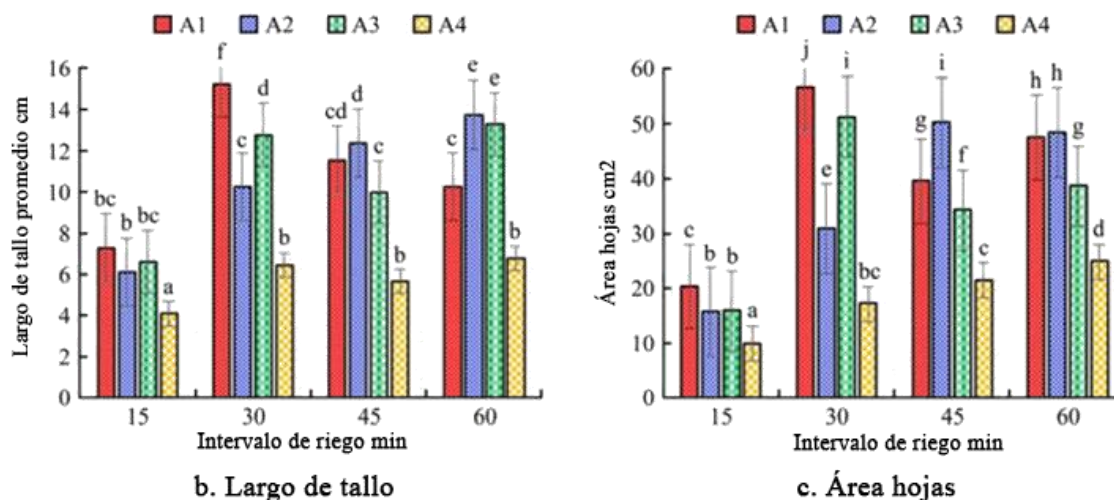


Figura 9. Largo de tallo promedio y superficie de hojas de lechugas al variar los intervalos de riego utilizando distintos atomizadores [15].

El atomizador A1 fue superior con el intervalo de riego de 30 minutos. Sin embargo, los atomizadores A2 y A3 obtuvieron mejores resultados que el A1 cuando se aumentó este intervalo.

2.3. Temperatura y humedad necesaria

La temperatura y humedad son factores claves para el éxito de un sistema aeropónico. La temperatura dentro de la cámara de cultivo debe estar dentro del rango entre 4 y 30 °C [16]. La raíz de la planta obtiene agua de las partículas de agua suspendidas en el aire, por lo que mantener una alta humedad cercana al 100% es lo ideal [16].

2.4. Exposición a luz solar y artificial

Un aspecto fundamental para el crecimiento de plantas es la exposición a luz solar. Sin luz no hay fotosíntesis y por lo tanto no hay crecimiento. Los tiempos e intensidad de exposición pueden variar para distintas especies de plantas según la etapa de crecimiento en la que se encuentren [17], [18].

La luz artificial puede reemplazar la función que realiza la luz solar en el crecimiento cuando se aplica dentro de los rangos correctos. La luz azul (450nm – 495nm) y roja (620nm – 750nm), por ejemplo, favorecen a la fotosíntesis. La luz roja lejana (710nm – 850nm) es un indicador metabólico, normalmente asociado a cambios entre día y noche. La luz naranja (590nm – 620nm) puede gatillar patrones reproductivos asociados a la temporada [19]. Estos son puntos a tener en consideración cuando se decida usar luz artificial, pero se debe indagar más al aplicar en alguna planta específica.

En cuanto a los tipos de luz artificial que existen, algunos de los más utilizados son las lámparas fluorescentes HID y LED [20], [21]. Las luces LED por su parte tienen un gran potencial de implementación ya que tienen la mayor eficiencia RFA (80% - 100% en contraste con el 40% de las HID [20]), operan a baja temperatura, las hay para distintas frecuencias y son pequeñas. En la práctica tienen la ventaja de poder instalar LEDs de distintas longitudes de onda a poca distancia de las plantas y encenderse sólo las frecuencias que favorezcan al crecimiento dependiendo de la etapa en que se encuentre la planta [20].

2.5. Implementación en lugares del mundo

Al revisar la literatura, se encontraron muchos casos en el mundo que están aplicando la aeroponía con fines comerciales, experimentales y caseros.

La primera granja aeropónica conocida es de la empresa Grow Anywhere, Llc. Ésta granja producía microgreens para restaurantes locales y destacaba por el sabor de sus productos frente a los de sus competidores [22]. AeroFarm por su parte, llevó este concepto

al siguiente nivel al habilitar granjas de gran tamaño con la que pueden producir cerca de 900.000 kg de microgreens al año [23].



Figura 10. Implementación de tecnología aeropónica en el mundo: (a) Primera granja aeropónica del mundo de la empresa Grow-Anywhere LLC; (b) Una de las tres granjas verticales a gran escala de la empresa AeroFarm; (c) Prototipo inflable hecho por AgriHouse, Inc. y NASA; (d) Granja de la empresa Future Growing en el aeropuerto internacional O'Hare, Chicago.

En 1997, AgriHouse, Inc. junto a NASA desarrollaron un prototipo inflable para realizar experimentos a bordo de la estación espacial Mir. Entre los resultados obtenidos con este prototipo, se observó un mayor crecimiento de microgreens a bordo de la estación espacial frente a otros plantados en la Tierra bajo las mismas condiciones [3].

Otro caso destacado es la del aeropuerto internacional de O'Hare en Chicago. Allí se instaló un jardín urbano en que se plantaba una gran variedad de vegetales, hierbas y flores comestibles para los restaurantes de las instalaciones. Algunos beneficios evidenciados fueron: eliminación de pesticidas químicos, reducción en la degradación nutricional asociada al transporte, mejoras en sabor y calidad de alimentos, creación de un oasis “natural” y mejoras en la reputación del aeropuerto [24].

2.6. Sistema de control automático

Un sistema de control automático es un sistema que es capaz de controlar procesos de forma autónoma, sin la necesidad de intervención humana. Existen de dos tipos: de lazo abierto y lazo cerrado.

Un sistema de control de lazo abierto es aquel que activa algún proceso cuando éste recibe la señal indicada. La desventaja que poseen es que son propensos a perturbaciones externas, lo que se traduce en efectos no deseados a la salida del sistema.

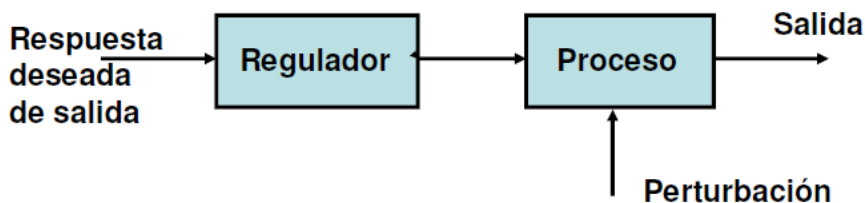


Figura 11. Sistema de control de lazo abierto.

Para hacer que un sistema sea menos propenso a perturbaciones externas se agrega una retroalimentación. De esta forma se mantienen las variables críticas dentro de los márgenes deseados de funcionamiento.

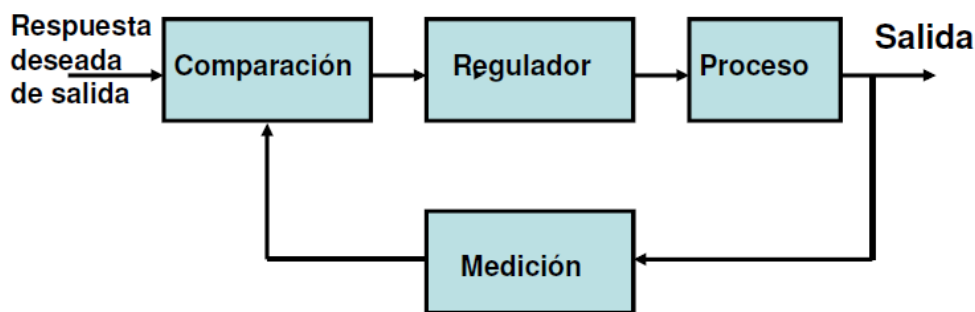


Figura 12. Sistema de control de lazo cerrado.

Para este trabajo el sistema de control automático consistirá en la realización de riegos periódicos, activación de luces, creación de alertas de usuario y regulación de temperatura y humedad dentro de una cámara de cultivo.

El monitoreo y control se realizará utilizando una tarjeta NodeMCU V3, la plataforma de monitoreo Ubidots y el software Arduino IDE para la programación. Se decidió ocupar la placa NodeMCU y el software Arduino por su bajo costo y por ser muy difundidos en internet, lo que puede facilitar la resolución de problemas al presentarse alguno. Además,

que es relativamente rápido aprender a programar con estos elementos. La plataforma Ubidots se eligió por su interfaz amigable. Cuenta con algunas limitaciones ligadas a la cantidad de información que puede procesar (al utilizar el plan gratuito), pero para este trabajo cumple su función.

2.6.2. NodeMCU V3

La placa NodeMCU V3 es un firmware de código abierto construido a partir del SoC (*System on Chip*) Wi-Fi ESP8266. Es programable en lenguaje C++ y compatible con el software Arduino IDE.

Con ella se pueden leer inputs (ej. leer temperatura en un sensor, el estado de un interruptor o mensajes en internet) y convertirlos en outputs (ej. accionar una bomba, prender una luz o enviar información por internet). Al estar construido a partir del SoC Wi-Fi ESP8266 puede conectarse a redes wifi y utilizarse para enviar y recibir información a través de internet.

Esta placa tiene 13 pines digitales, 1 pin análogo, 4 salidas de voltaje, 4 tierras y 4 pines para transferencia de información entre equipos electrónicos. El voltaje de alimentación de la placa es de 5V y las salidas de voltaje de los pines digitales son de 3.3V, al igual que las salidas de voltaje constante. Existe un pin adicional, marcado como VU, que utiliza el voltaje de alimentación del puerto USB para suministrar un voltaje equivalente a éste (5V). Este pin no es programable. Sólo sirve para alimentar algún componente que requiera más de 3.3V para funcionar.



Figura 13. Placa NodeMCU V3. El chip metálico del centro corresponde al SoC Wi-Fi ESP8266 sobre el cual se construyó la placa.

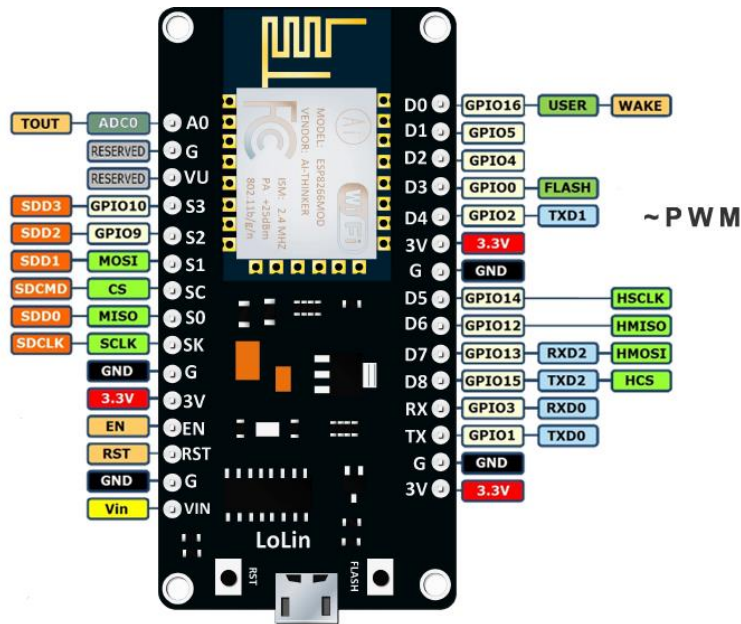


Figura 14. Asignación de pines placa NodeMCU V3.

2.6.2.2. Pin Digital

Un pin digital en Arduino puede ser configurado como INPUT (entrada) o como OUTPUT (salida). Cuando es configurado como entrada, el pin se encuentra en un estado de alta impedancia, lo que le permite cambiar de estado con muy poca corriente. Esto es útil cuando se quiere implementar sensores touch capacitivos, leer un LED como un fotodiodo o para leer cualquier tipo de sensor resistivo.

Cuando un pin digital es configurado como una salida se encuentra en un estado de baja impedancia, lo que le permite entregar una cantidad considerable de corriente a otros circuitos. Esto puede ser utilizado para prender y apagar LEDs o hacer funcionar sensores, pero no entregan una corriente tan alta como para hacer funcionar solenoides o relés.

2.6.2.3. Pin Análogo

Un pin análogo funciona midiendo un cambio en la resistencia de un sensor análogo y convirtiéndolo a una señal digital. El controlador de las placas Arduino que hace esta conversión tiene una resolución de 10 bits, lo que le permite entregar la información leída como un número entero dentro del rango 0 a 1023. Luego este número debe ser interpretado para obtener la medición del sensor en la unidad correspondiente.

2.6.3. Relé

Un relé es un switch que se enciende o apaga cuando recibe una señal eléctrica. Estos pueden ser NA (normalmente abierto), es decir que en su estado de reposo no dejan pasar corriente, o NC (normalmente cerrado), que dejan pasar corriente en su estado de reposo.



Figura 15. Relé opto aislado.

La principal función que tienen los relés es la de automatizar o manejar a distancia la conexión o desconexión de circuitos eléctricos. La señal que éstos reciben para cambiar entre estado abierto o cerrado suele ser muy inferior en magnitud a la del circuito que controlan.

El relé mostrado en la Figura 13, que se utilizó para este trabajo requiere una señal de 5V para ser accionado. El dilema que existe al accionarlo desde un pin digital de una placa NodeMCU es que el voltaje que ésta entrega es de 3V y por sí sola no puede accionar el relé. La solución para este problema es quitar el “*Jumper*” que conecta las alimentaciones del circuito del optoacoplador y la del relé, y alimentar ambos circuitos con distintas fuentes (ver Figura 14). La señal del pin digital se usa para accionar el optoacoplador y el pin VU (5V) para alimentar el relé.

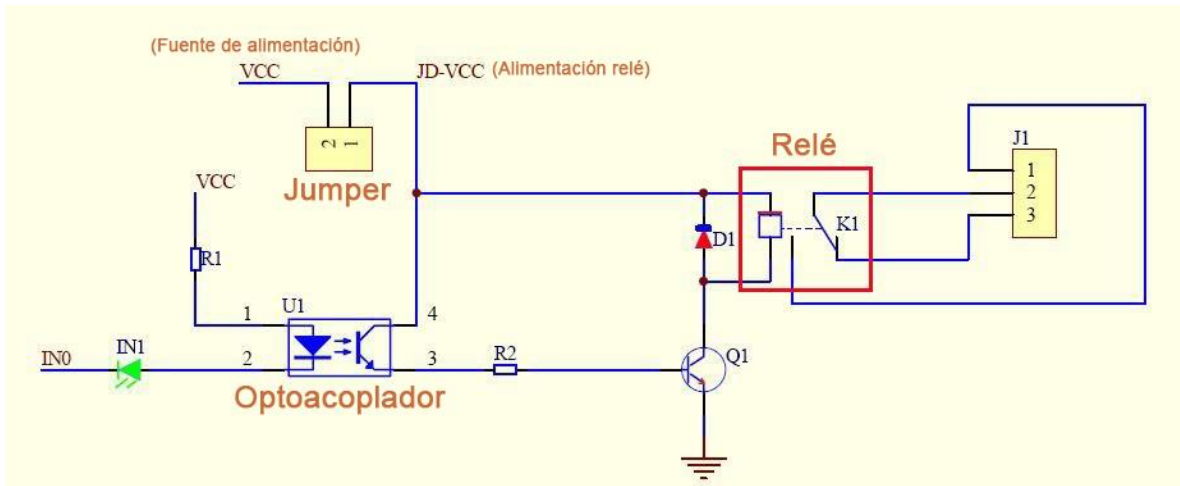


Figura 16. Diagrama relé opto aislado [25].

El optoacoplador es un switch accionado con luz. Se compone de un diodo LED y un fototransistor (transistor sensible a la luz). Al encenderse el LED se activa el fototransistor y deja pasar corriente entre los puntos 4 y 3.

2.6.4. Sensores DHT

Los sensores DHT (*Digital Humidity and Temperature*) son sensores que miden humedad y temperatura como información en serie. Esto quiere decir que los datos que miden son registrados como bits de información y luego son enviados de forma secuencial (un bit a la vez) a una computadora. Para lograr medir temperatura estos sensores cuentan con un termistor NTC, que transforma el valor de una resistencia en temperatura.

Son sensores de bajo costo y fáciles de utilizar. Existen los modelos DHT11 y DHT22 que se diferencian entre sí por el rango de valores que son capaces de medir y por la velocidad con la que registran información.

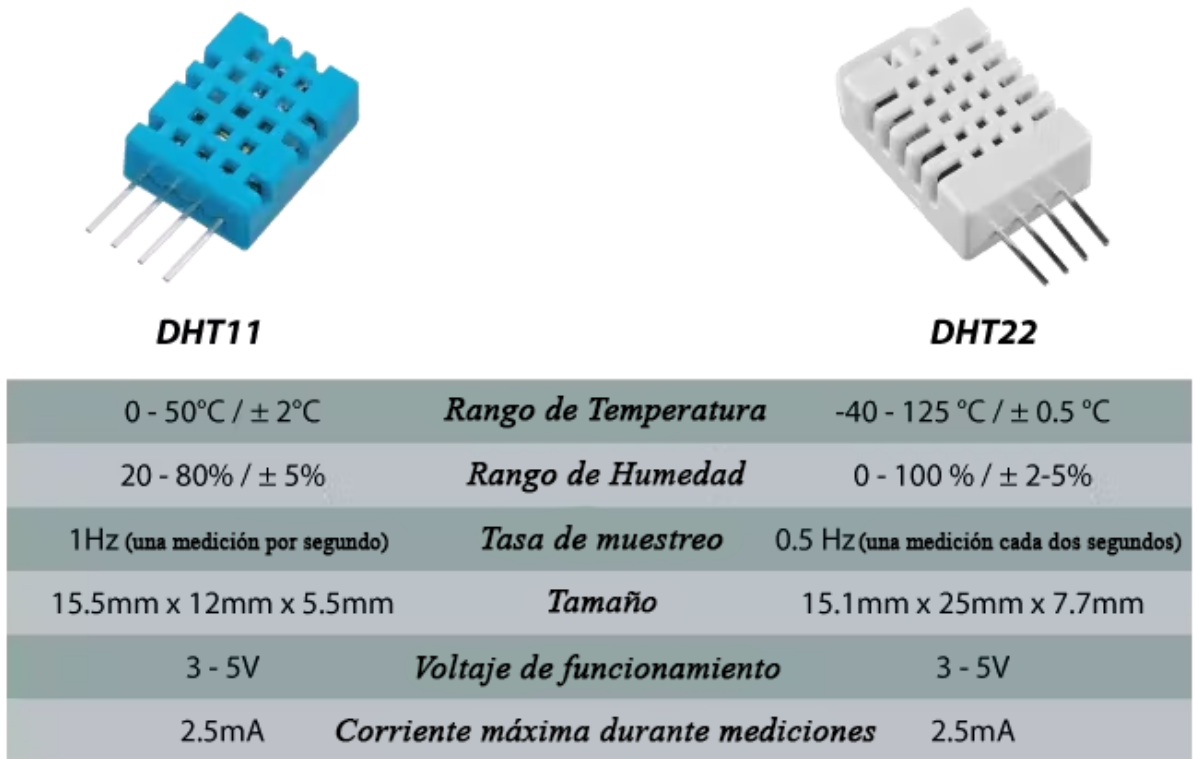


Figura 17. Especificaciones técnicas de sensores DHT11 y DHT22 [26].

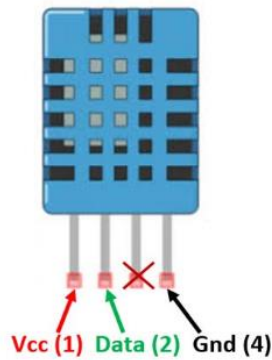


Figura 18. Asignación de pines DTH11 [27].

2.6.5. Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Enviornment*) es un software de código abierto para editar códigos de programación en lenguaje C/C++. El lenguaje de Arduino tiene algunas diferencias mínimas con C/C++ principalmente en las librerías que utiliza, ya

que las más utilizadas de C/C++ no son compatibles con Arduino. Esto se debe a la poca memoria RAM que poseen las placas Arduino y la necesidad de simplificar el lenguaje de programación para poder cargarles códigos [28].



Figura 19. Interfaz Arduino IDE.

Además de ser un editor de texto, el software cuenta con la función de cargar códigos a una amplia variedad de hardwares o placas. Entre ellas se encuentra toda la serie de placas Arduino y otras placas compatibles con el software.

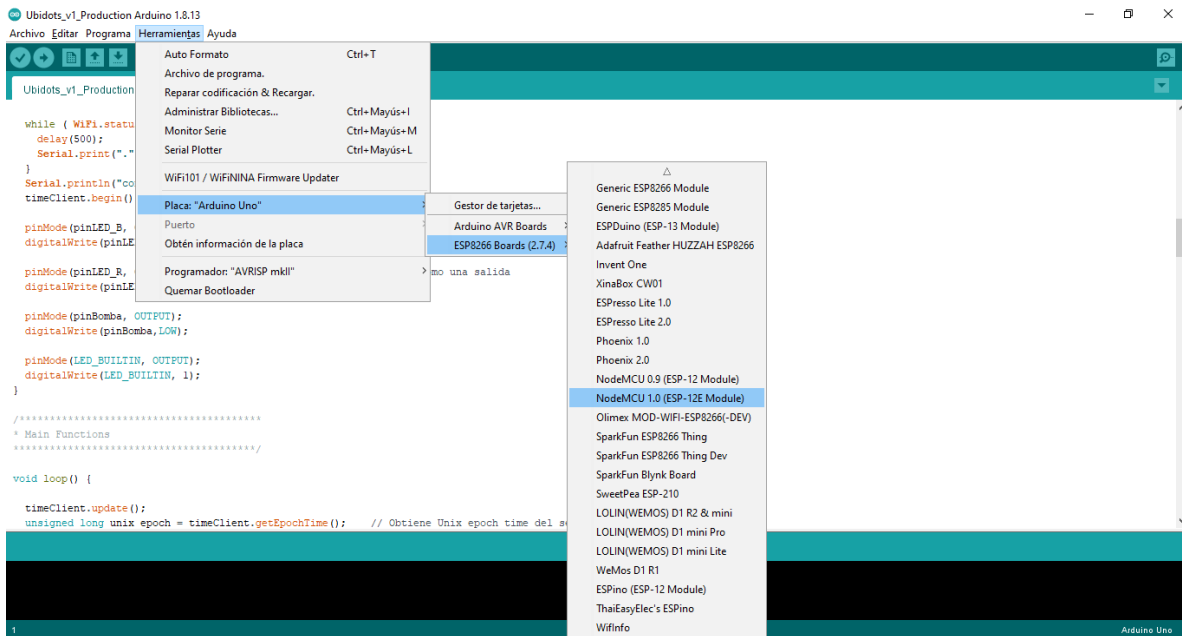


Figura 20. Algunas de las placas compatibles con Arduino IDE, entre las cuales se destaca la placa NodeMCU 1.0 utilizada en este trabajo.

2.7. IoT Internet de las cosas

IoT (*Internet of Things*) se refiere a la interconexión de objetos a través de internet [29]. Es una forma de simplificar la vida de las personas, al integrar a los objetos de uso cotidiano con una conexión a internet y asignar tareas sin la necesidad de interacción humana. En algunos casos se puede dotar de sensores a los objetos para que se activen ciertas tareas al llegar a un estado determinado. Por ejemplo, considere el caso de un auto con sistema GPS y el portón de un garaje. Al conectar ambos a internet se puede enviar la posición del auto al garaje para que este se abra cuando el auto se encuentre a pocos metros de llegar a casa. De esta forma se evitaría la tarea de bajarse del auto para abrir la puerta del garaje o la necesidad de tener muchas llaves o controles remotos. Incluso se podría ampliar esta función a más de un garaje, agregando el garaje de un familiar o amigo. La apertura del portón tendría que considerar el espacio para estacionar dentro del garaje. Esta última tarea requeriría además la inclusión de sensores de proximidad para detectar vehículos. Incluso podría incorporarse alertas enviadas al Smartphone del usuario para avisarle si hay o no espacio para estacionar.

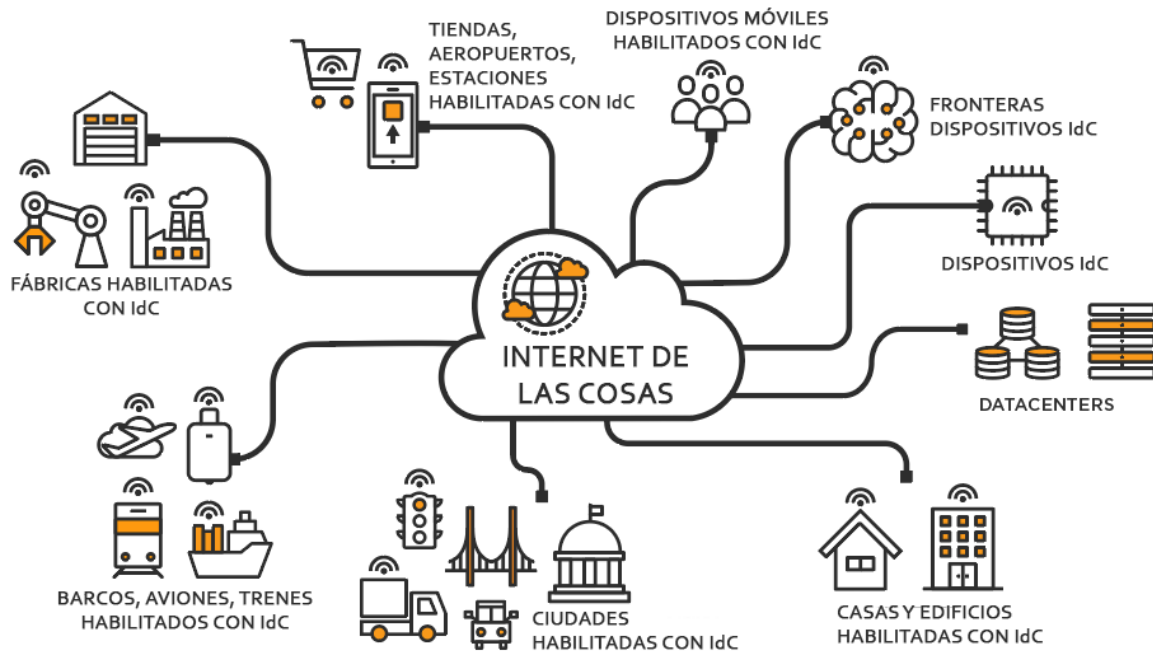


Figura 21. Aplicaciones de IoT.

Las posibilidades de mejora al aplicar IoT en la vida cotidiana de las personas, en la industria o en puestos de trabajo son inmensas.

2.7.2. Ubidots

Ubidots es una plataforma de IoT capaz de crear visualizaciones, analizar información, crear alertas para un usuario y enviar datos a partir de otros datos que recibe de sensores.

Es compatible con una gran lista de hardwares del mercado para aplicaciones a través de HTTP, MQTT, TCP, UDP o por protocolos personalizados. Además es utilizable con varios tipos de conexiones como Wi-Fi, LTE-M, NB-IoT, entre otros.

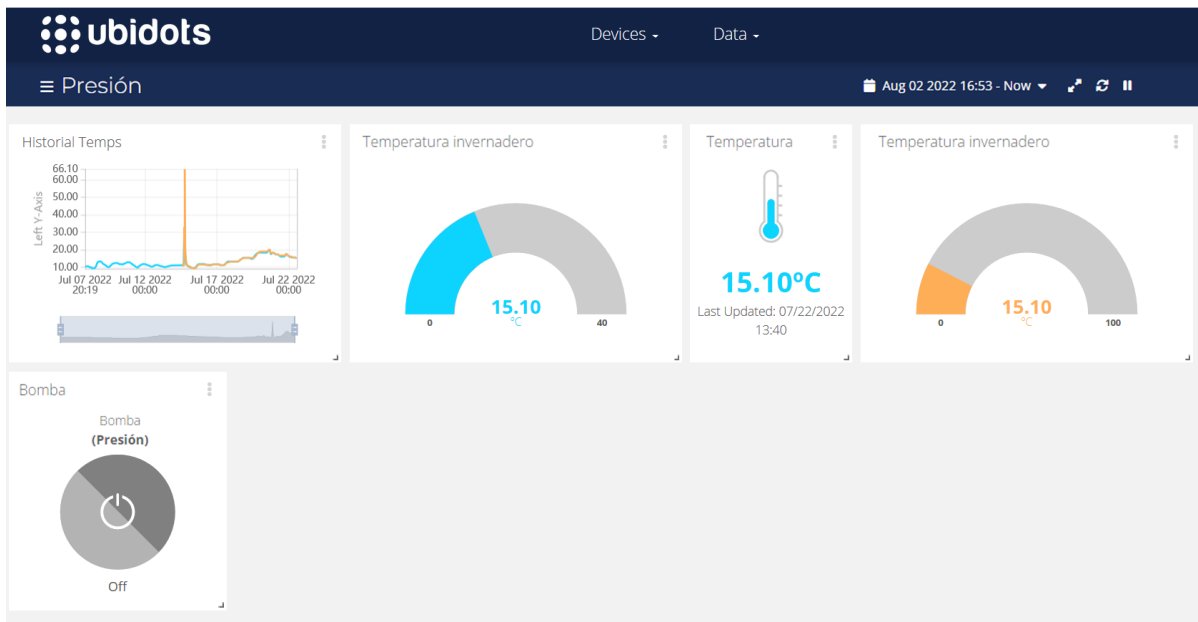


Figura 22. Dashboard de la plataforma Ubidots. Se muestran algunos de los gadgets que se pueden crear para la visualización de variables.

En la imagen anterior se muestra una visualización de las mediciones de temperatura hechas con sensores DHT en la plataforma de Ubidots. La plataforma permite crear gadgets para visualizar cada variable de distintas formas y así facilitar la interpretación de la información por parte del usuario. Se pueden agregar cambios de color en los gadgets para advertir cuando una variable sobrepasó un límite (ej. Termómetro cambia de color azul a rojo cuando la temperatura llega a 30°C) o interruptores para activar alguna función a distancia.

Capítulo 3

Diseño

3.1. Atributos de diseño

La primera etapa de este trabajo fue el diseño, que comenzó con definir algunos objetivos que se quería cumplir con el sistema aeropónico y compararlos entre sí para determinar cuáles eran los más importantes. Los objetivos generales de este trabajo están considerados dentro de los objetivos del diseño y sumados a estos se incluyen otras características que permiten que la huerta pueda ser implementada en una amplia variedad de ambientes y para distintos perfiles de usuarios.

Tabla 2. Lista de objetivos

Objetivos	
Económico	Bajo costo de adquisición Modular Duradero Capacidad de expandir No dañar las raíces de las plantas Vendible
Social	Fácil de montar Espacio-eficiente Interfaz amigable Instalable en el hogar Uso universal Transportable Fácil mantenimiento Conexión a PC y/o Smartphone
Medioambiental	Uso eficiente del agua Alternativa a cultivo urbano Variedad de cultivo Materiales reutilizables

Se agruparon los objetivos en 3 categorías y luego se compararon entre ellos utilizando el método de pesos ponderados para acordar cual era la categoría de mayor relevancia para el diseño. Luego se hizo lo mismo para los atributos dentro de cada categoría y así determinar cuáles eran los más importantes dentro de cada grupo.

Los pesos de las categorías corresponden a la importancia que se le da al elemento de la columna 1 al enfrentarlo al elemento de la fila 1. Por ejemplo, la categoría Económico (columna 1) tiene nota 3 si se compara con la categoría Social (fila 1), por lo tanto Económico tiene más peso o importancia que Social.

Tabla 3. Puntajes ponderados entre los tres subgrupos de objetivos.

Categorías	1	2	3	Total	Peso
1	1.00	3.00	0.33	4.33	0.36
2	0.33	1.00	0.50	1.83	0.15
3	3.00	2.00	1.00	6.00	0.49
Total				12.17	1.00

Escala:
1 = igual importancia
5 = más importante
10 = mucho más importante
1/5 = menos importante
1/10 = mucho menos importante

Claves:
1 Económico
2 Social
3 Medioambiental

La categoría más importante resultó ser la medioambiental, por lo que más adelante se pondrá especial énfasis en este aspecto para diseñar.

Tabla 4. Puntajes ponderados entre objetivos dentro del subgrupo de requerimientos económicos.

Económico									0.36
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	Total	Peso relativo	Peso absoluto
1.1	1.00	2.00	3.00	2.00	0.20	0.25	8.450	0.120	0.043
1.2	0.50	1.00	2.00	1.00	0.13	0.20	4.825	0.069	0.025
1.3	0.33	0.50	1.00	2.00	0.20	0.33	4.367	0.062	0.022
1.4	0.50	1.00	0.50	1.00	0.13	0.25	3.375	0.048	0.017
1.5	5.00	8.00	5.00	8.00	1.00	5.00	32.000	0.456	0.164
1.6	4.00	5.00	3.00	4.00	0.20	1.00	17.200	0.245	0.088
Total							70.217	1.000	0.360

<p>Claves: 1 Bajo costo de adquisición 2 Modular 3 Duradero 4 Capacidad de expandir 5 No dañar las raíces de las plantas 6 Vendible</p>

Dentro de la categoría “Económico” el atributo de mayor peso es que el sistema no dañe las raíces.

Tabla 5. Puntajes ponderados entre requerimientos dentro del subgrupo de requerimientos sociales.

Social											0.15
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	Total	Peso relativo	Peso absoluto
2.1	1.00	0.50	0.50	2.00	0.50	5.00	1.00	0.20	10.700	0.113	0.017
2.2	2.00	1.00	4.00	2.00	3.00	5.00	3.00	3.00	23.000	0.243	0.037
2.3	2.00	0.25	1.00	2.00	0.50	0.50	0.20	1.00	7.450	0.079	0.012
2.4	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	0.33	0.50	5.333	0.056	0.008
2.5	2.00	0.33	2.00	1.00	1.00	2.00	0.50	0.50	9.333	0.099	0.015
2.6	0.20	0.20	2.00	1.00	0.50	1.00	0.25	0.33	5.483	0.058	0.009
2.7	1.00	0.33	5.00	3.00	2.00	4.00	1.00	2.00	18.333	0.194	0.029
2.8	5.00	0.33	1.00	2.00	2.00	3.00	0.50	1.00	14.833	0.157	0.024
Total									94.467	1.000	0.150

Claves:

- 1 Fácil de montar
- 2 Espacio-eficiente
- 3 Interfaz amigable
- 4 Instalar en el hogar
- 5 Uso universal
- 6 Transportable
- 7 Fácil mantenimiento
- 8 Conectividad a PC y/o Smartphone

Dentro de la categoría “Social” el atributo de mayor peso es el uso eficiente del espacio.

Tabla 6. Puntajes ponderados entre requerimientos dentro del subgrupo de requerimientos medioambientales.

Medioambiental							0.49
	3.1	3.2	3.3	3.4	Total	Peso relativo	Peso absoluto
3.1	1.00	5.00	0.50	2.00	8.500	0.362	0.178
3.2	0.20	1.00	0.25	0.50	1.950	0.083	0.041
3.3	2.00	4.00	1.00	2.00	9.000	0.384	0.188
3.4	0.50	2.00	0.50	1.00	4.000	0.171	0.084
Total					23.450	1.000	0.490

Claves:

- 1 Uso eficiente del agua
- 2 Alternativa a cultivo urbano
- 3 Variedad de cultivo
- 4 Materiales reutilizables

Dentro de la categoría “Medioambiental” el atributo de mayor peso es que el sistema sea capaz de cultivar una amplia variedad de vegetales u hortalizas.

3.2. Diseños conceptuales

A continuación se muestran los cuatro diseños conceptuales creados para este trabajo, los cuáles serán evaluados más tarde según los atributos mostrados anteriormente.

3.2.1. Concepto 1: Torre de piezas acoplables

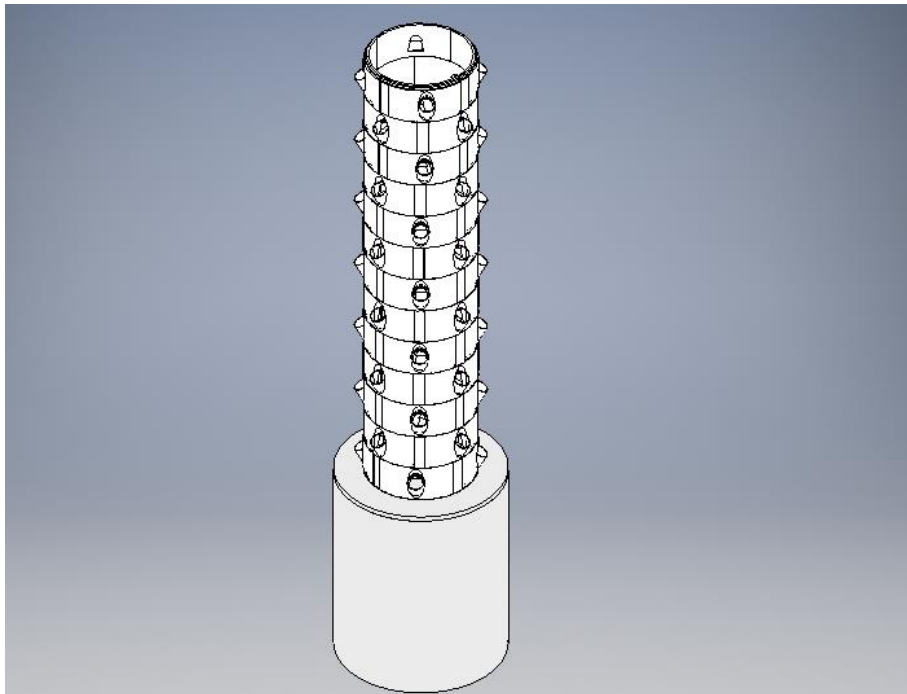


Figura 23. Vista isométrica concepto torre de piezas acoplables.

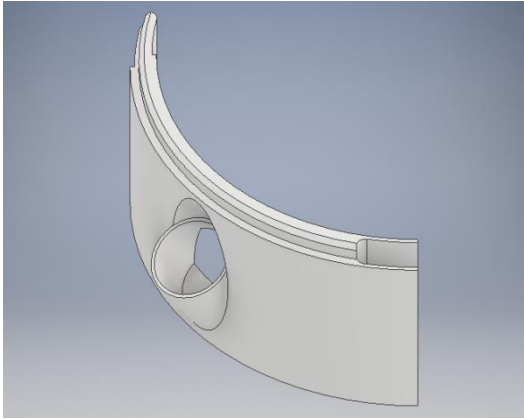


Figura 25. Vista frontal pieza acoplable.

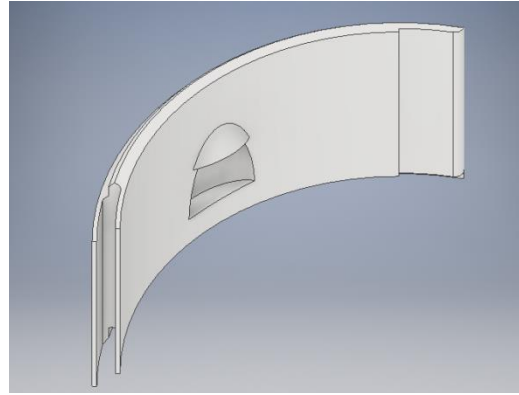


Figura 24. Vista trasera pieza acoplable.

Este diseño conceptual trata de satisfacer el requerimiento de modularidad del sistema, teniendo como elemento principal una pieza que al ensamblarse con 3 piezas idénticas a ella forma un piso de la torre de cultivo. Esto permite crear torres de tamaños personalizados para cada usuario. Además, es de fácil armado ya que toda la torre se puede armar con una única pieza replicada varias veces.

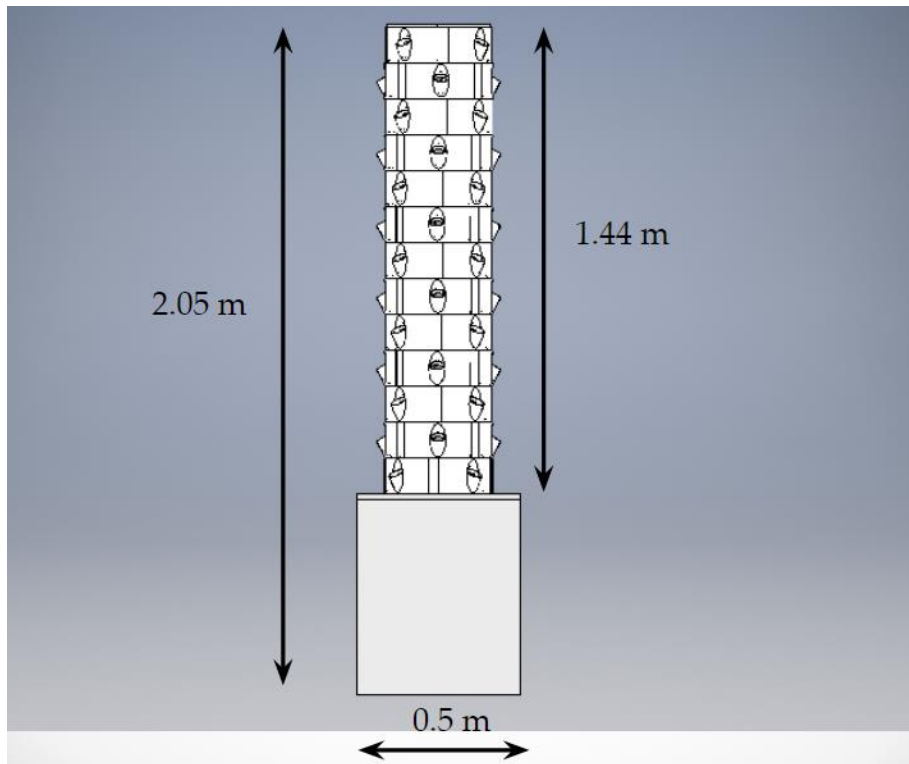


Figura 26. Vista frontal torre de piezas acoplables con medidas.

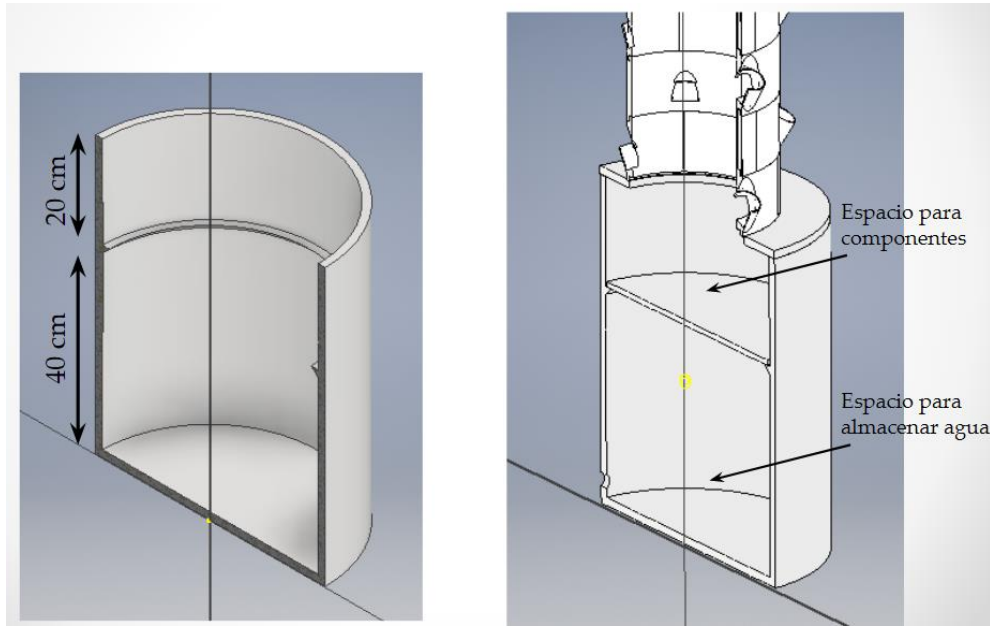


Figura 27. Vista en corte de la base de la torre de piezas acoplables.

Este diseño contempla un tambor como base de la torre, en el cuál se encuentra un espacio destinado para los componentes hidráulicos de la huerta y un espacio para el estanque de agua.

El riego está pensado para realizarse con una manguera ubicada al centro de la torre, como si fuera una columna vertebral, y ésta a su vez tenga aspersores separados por una distancia X entre ellos y apuntando hacia afuera del cilindro, en dirección radial.

3.2.2. Concepto 2: Pared acoplable

Este concepto es similar al de la torre acoplable, pero cambia la distribución de las piezas. La idea es tener varias piezas idénticas entre sí, que puedan ser acopladas para formar una pared. El estanque de agua y los componentes electrónicos e hidráulicos tienen destinado un espacio detrás de la pared.

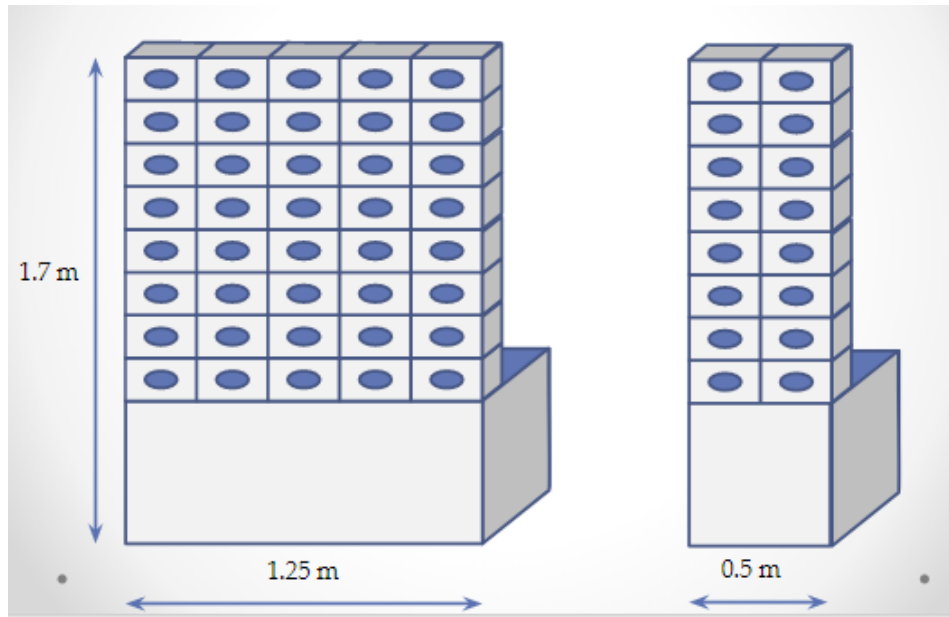


Figura 28. Vista frontal a concepto de pared acoplable.

Los nebulizadores se encontrarían en la parte trasera de la pared, mismo lugar por donde caerían las raíces de las plantas. La línea de agua podría estar compuesta por tuberías rígidas para que se puedan elevar a la altura requerida sin la necesidad de agregar una estructura adicional para sostenerla.

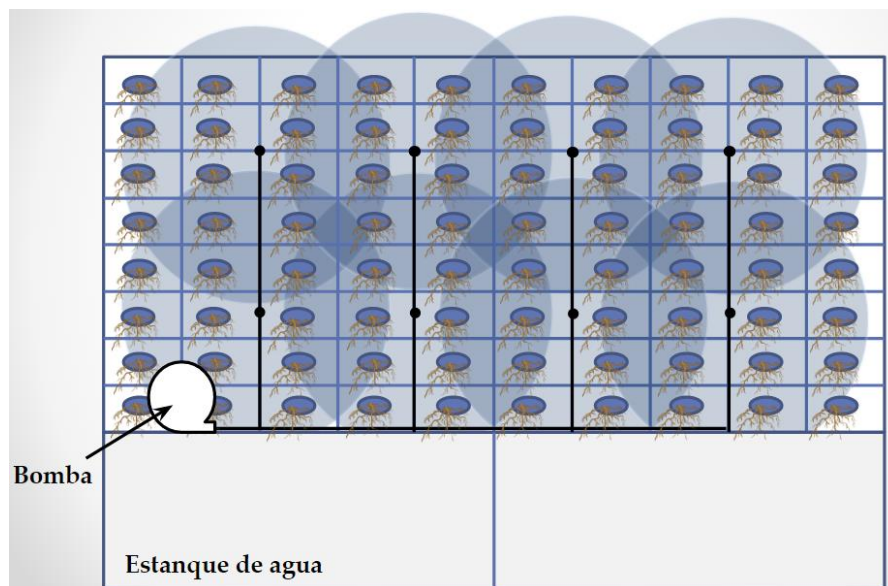


Figura 29. Vista trasera concepto de pared acoplable.

El exceso de agua de riego cae devuelta al estanque de agua para ser recirculada al sistema.

3.2.3. Concepto 3: Pirámide

La forma piramidal tiene la ventaja de poder plantar más que una superficie plana de misma área.

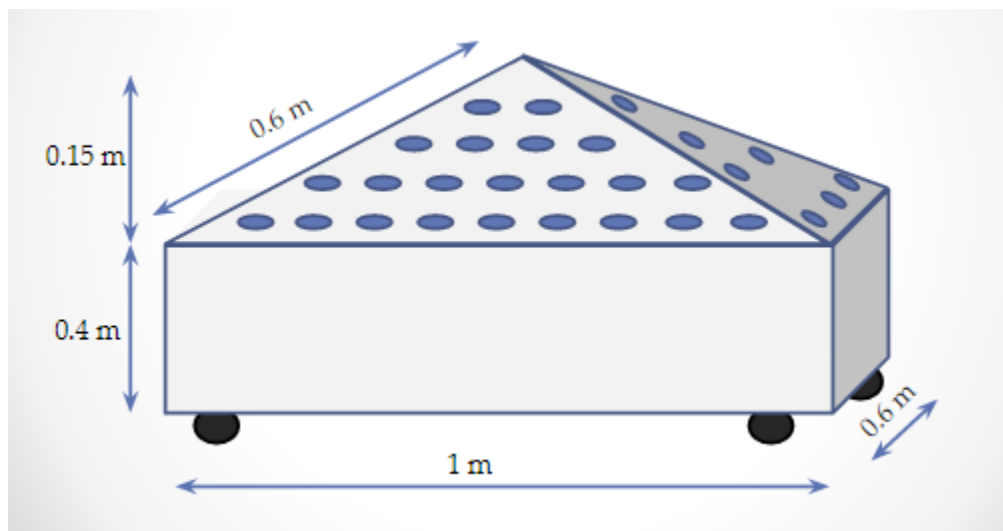


Figura 30. Vista frontal concepto pirámide.

Los componentes electrónicos, hidráulicos y el estanque de agua se encontrarían al interior de la pirámide.

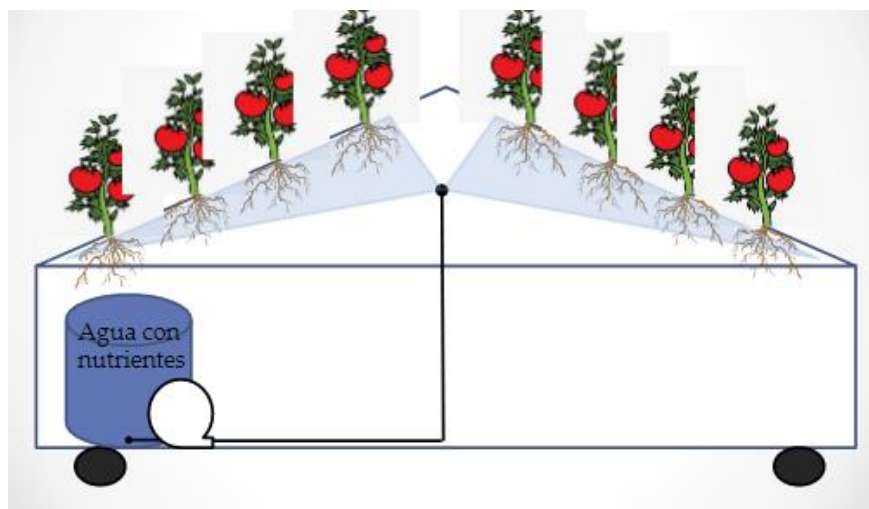


Figura 31. Vista frontal con detalle al interior del concepto pirámide.

Para este sistema hay que contemplar una vía de retorno al tanque principal de agua o tener un estanque que abarque más superficie que el de la imagen para que el agua caiga directamente a él sin hacer una vía para el retorno.

3.2.4. Concepto 4: Torre cuadrada

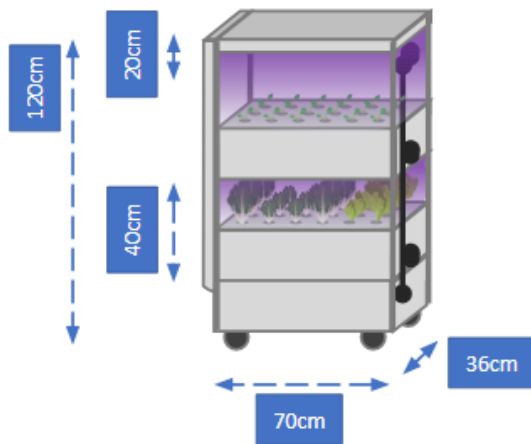


Figura 33. Vista frontal concepto torre cuadrada.

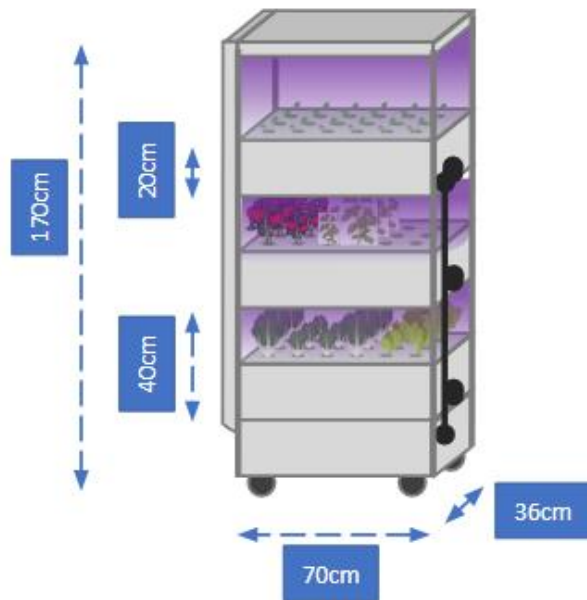


Figura 32. Vista frontal torre cuadrada.

La torre cuadrada consiste en varias bandejas ensambladas en pisos de cultivo. La idea es que la cantidad de pisos pueda variar dependiendo del lugar donde se quiera poner la torre o dependiendo de cuanto se quiera cultivar en ella. El primer piso de la torre está destinado para los equipos electrónicos, hidráulicos y estanque de agua.

Este es el único diseño conceptual que incluye la incorporación de luces LED. Esta característica permite que la torre pueda ser instalada en interiores a diferencia de los otros conceptos presentados anteriormente.

3.3. Selección de conceptos

A partir de la lista de objetivos y sus pesos, se evalúa como responde cada diseño conceptual al cumplimiento de estos atributos. Según la importancia absoluta de cada objetivo y asignándole una nota de satisfacción a cada concepto, se logra generar una tabla que muestra que concepto se adapta de mejor forma a la solución final.

La escala de evaluación de los criterios es de 1 a 3, siendo 1 insatisfactorio y 3 muy satisfactorio.

Tabla 7. Puntajes de respuesta de los conceptos a cada objetivo y puntajes totales.

Criterio de selección	Peso	Conceptos							
		Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3		Concepto 4	
		Rate	Puntaje	Rate	Puntaje	Rate	Puntaje	Rate	Puntaje
Económico	36%								
Bajo costo de adquisición	4.3	1	4.3	1	4.3	3	12.9	1	4.3
Modular	2.5	1	2.5	2	5	1	2.5	1	2.5
Duradero	2.2	3	6.6	3	6.6	2	4.4	2	4.4
Capacidad de expandir	1.7	1	1.7	2	3.4	2	3.4	2	3.4
Productividad	16.4	1	16.4	2	32.8	1	16.4	3	49.2
Vendible	8.8	2	17.6	3	26.4	1	8.8	3	26.4
Social	15%								
Fácil de montar	1.7	2	3.4	3	5.1	1	1.7	3	5.1
Espacio eficiente	3.7	3	11.1	2	7.4	2	7.4	3	11.1
Interfaz amigable	1.2	1	1.2	1	1.2	1	1.2	1	1.2
Instalar en hogar	0.8	2	1.6	2	1.6	1	0.8	3	2.4
Uso universal	1.5	1	1.5	1	1.5	1	1.5	1	1.5
Transportable	0.9	3	2.7	1	0.9	2	1.8	2	1.8
Fácil mantención	2.9	3	8.7	1	2.9	3	8.7	3	8.7
Conectado a PC y/o Smartphone	2.4	1	2.4	1	2.4	1	2.4	1	2.4
Medioambiental	49%								
Uso eficiente de agua	17.8	3	53.4	1	17.8	1	17.8	1	17.8
Alternativa de cultivo urbano	4.1	1	4.1	1	4.1	1	4.1	1	4.1
Variedad de cultivo	18.8	1	18.8	1	18.8	1	18.8	1	18.8
Materiales reutilizables	8.4	1	8.4	1	8.4	1	8.4	1	8.4
Total			162.3		146.5		118.9		169.4
Ranking			2		3		4		1

Al sumar los puntajes se determina que el concepto que mejor se acomoda a los objetivos propuestos es el número 4, el diseño de torre cuadrada.

3.4. Sistema hidráulico

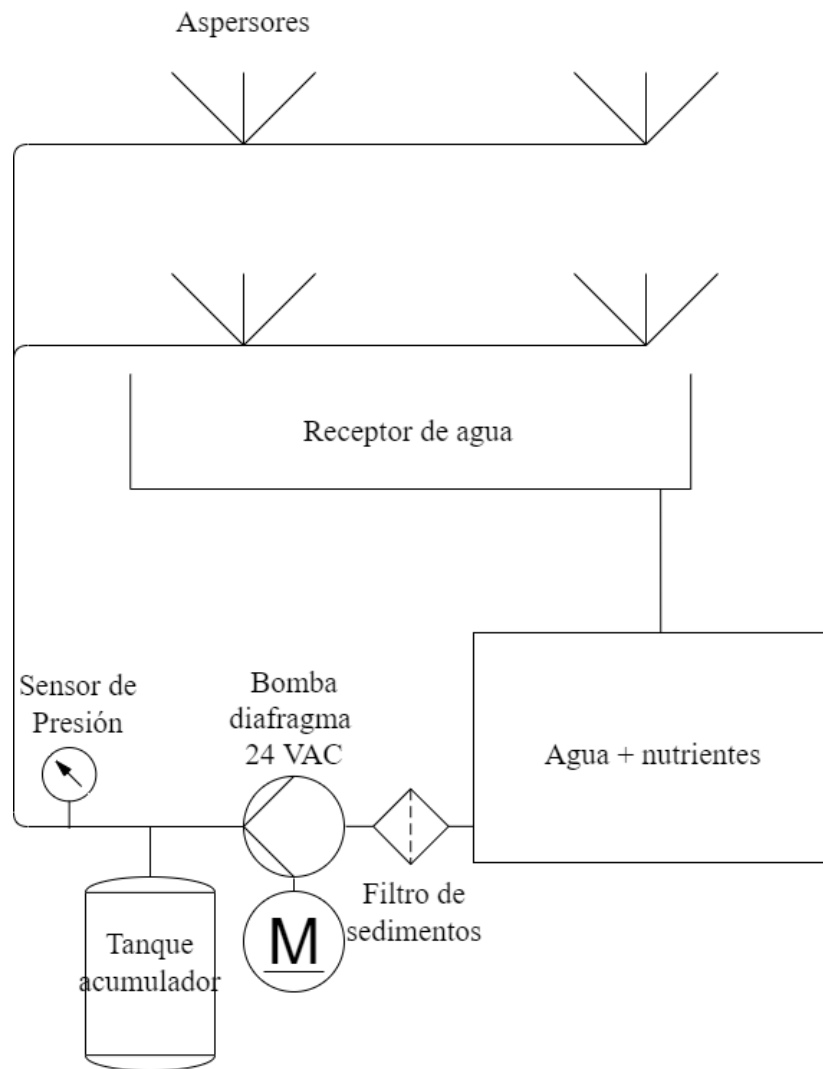


Figura 34. Diagrama sistema hidráulico.

El sistema hidráulico consiste en los aspersores, la línea de agua, el estanque de agua, un filtro de sedimentos, la bomba, un tanque acumulador y un sensor de presión. El filtro de sedimentos se incorpora justo antes de la bomba para protegerla de elementos que puedan entrar al estanque de agua. La bomba es el componente más caro, por lo que protegerla de sedimentos es de vital importancia. El tanque acumulador se incluye para homogeneizar la

presión en la línea. Mantener una presión más estable durante el funcionamiento se traducirá en menos ruidos por golpeteos de las mangueras, además de que asegura que los aspersores regarán con un tamaño de gota estable mientras se mantengan encendidos. Y finalmente el sensor de presión servirá para monitorear la presión que entrega la bomba durante su funcionamiento y por lo tanto podrá ser útil para la detección de fugas de presión en la línea.

Como se vio anteriormente, para que un sistema aeropónico de alta presión funcione como es esperado se tiene que alcanzar un tamaño de gota entre $30\ \mu\text{m}$ y $100\ \mu\text{m}$. Por lo tanto los componentes del sistema hidráulico se diseñaron en base a esta característica.

En primer lugar fue necesario escoger un aspersor que cumpliera con este requerimiento. De varias opciones vistas en el mercado el aspersor elegido fue el que se muestra en la imagen a continuación.



Figura 35. Aspersor tipo nebulizador.

Se decidió usar este aspersor frente a otros por su bajo costo, facilidad de conectar y porque se encuentran ampliamente difundidos en el mercado, lo que facilita la compra de repuestos en el futuro. La ficha del aspersor indica que para un caudal de $0.4081\ \text{L/min}$ la

presión del de funcionamiento debería ser 100 psi. Según el vendedor, a esa presión el aspersor debería crear gotas de 50 μm . No hay un dato confiable que asegure que esto sea así, por lo que se decide comprar el aspersor de todas maneras por las razones descritas anteriormente y más adelante se corroborarán con pruebas experimentales que el tamaño de las gotas sea el correcto o al menos se encuentre dentro de los rangos óptimos para un sistema aeropónico.

Una vez elegidos los aspersores se seleccionaron las mangueras, fittings y la bomba para el sistema. Los cálculos para la selección de la bomba se pueden encontrar en los anexos de este trabajo (Anexo 8.1). Se decidió por una bomba de diafragma Aquatec 8852, que cumple con los requerimientos del sistema y además emite muy poco ruido comparado con otras opciones disponibles en el país. Este tipo de bombas están pensadas para ser utilizadas en sistemas de purificación de agua en el hogar, específicamente para sistemas de osmosis inversa. El tipo de ambiente en que instalan los sistemas de osmosis inversa hogareño es similar al ambiente en que se planea tener el sistema aeropónico, por lo que se confirma aún más la selección de la bomba desde este punto de vista.



Figura 36. Bomba Aquatec modelo 8852.



Figura 37. Transductor de presión.

El sensor de presión seleccionado es un transductor de presión de 150 psi genérico. Este mide la presión de forma indirecta como una diferencia de voltaje, la que luego debe ser interpretada en el código para ser leída de forma correcta. Basta con hacer un ajuste lineal entre el voltaje y la presión para hacer la conversión.



Figura 38. Tanque acumulador de presión.

El tanque acumulador seleccionado tiene capacidad de 0.75L y es de la marca Shurflo. Puede contener una presión máxima de 125 psi, por lo que es compatible con los 100 psi calculados para el funcionamiento de la huerta.



Figura 39. Filtro de sedimentos.

El filtro de sedimentos también es de la marca Shurflo. Fue elegido por su bajo costo y porque era recomendado por el fabricante para la utilización en sistemas de desalinización de osmosis inversa caseros que utilizan bombas de diafragma.



Figura 40. Conectores tipo push-fit marca John Guest.

La línea de agua y los fittings se seleccionaron de forma que fueran compatibles con los aspersores elegidos. Son de la marca John Guest y cuentan con un sistema de fácil conexión llamado “*push-fit*”. No requieren ningún tipo de pegamento o sellado especial. El sistema “*push-fit*” presiona la manguera para evitar fugas. Para desconectar la manguera del fitting solo basta con presionar el seguro y tirar de la manguera.

3.5. Estructura

En base al diseño conceptual de torre cuadrada se diseñó en detalle lo que será el diseño definitivo de huerta aeropónica.

Se tiene una estructura metálica de dimensiones (460 X 730 X 2000 cm) y ésta estará cubierta por planchas de plexiglass para generar un efecto invernadero. La idea es que pueda entrar luz natural al equipo en caso de habilitar el sistema en exterior. Luego, cada piso de la torre está formada por una cámara inferior en la que crecerán las raíces y se hará el riego y otra cámara superior donde crecerán las plantas y se dispondrán las luces artificiales. La cámara inferior tiene una pequeña inclinación en su base para direccionar el excedente de agua hacia un lado y llevarla de vuelta al estanque de agua.

En la parte inferior de la torre estará el estanque de agua, la bomba, el tanque acumulador, el sensor de presión y el microcontrolador.

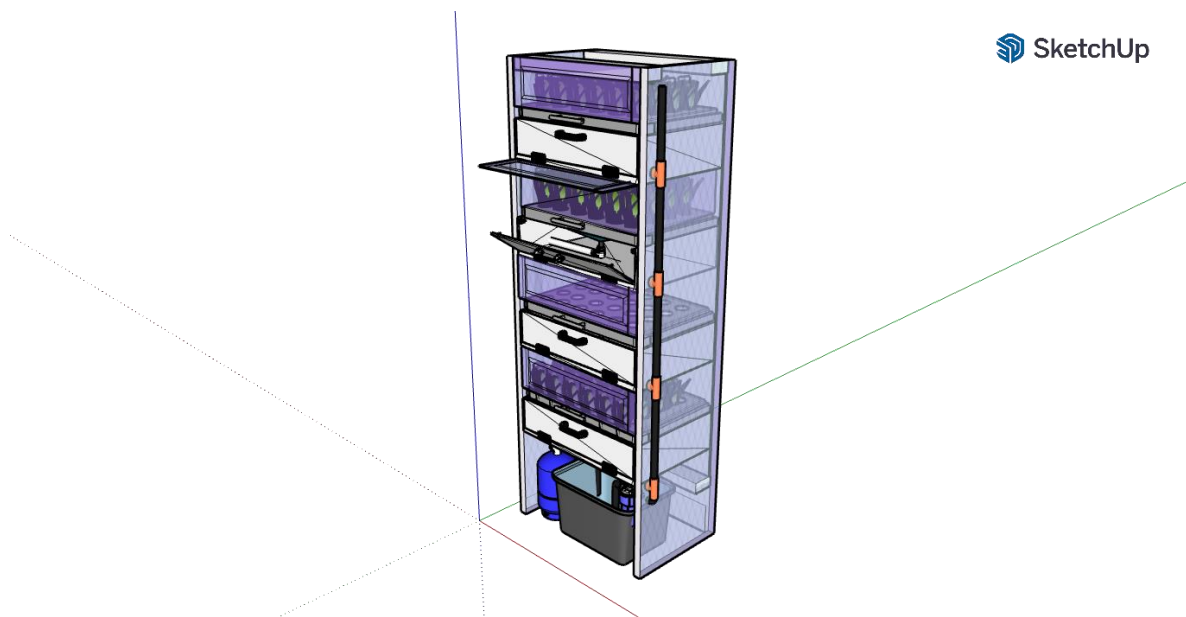


Figura 41. Vista isométrica del diseño de la huera.

Como se ve en la Figura 41, la cámara inferior tiene una puerta para facilitar el acceso a ella en el caso en que un aspersor se tape y requiera ser reemplazado o para facilitar el acceso ante cualquier tipo de desperfecto que necesite asistencia del usuario en este lugar.

La bandeja en la que crecerán las plantas cuenta con rieles para extenderla hacia afuera del equipo. De esta forma ninguna planta quedará fuera del alcance del usuario.

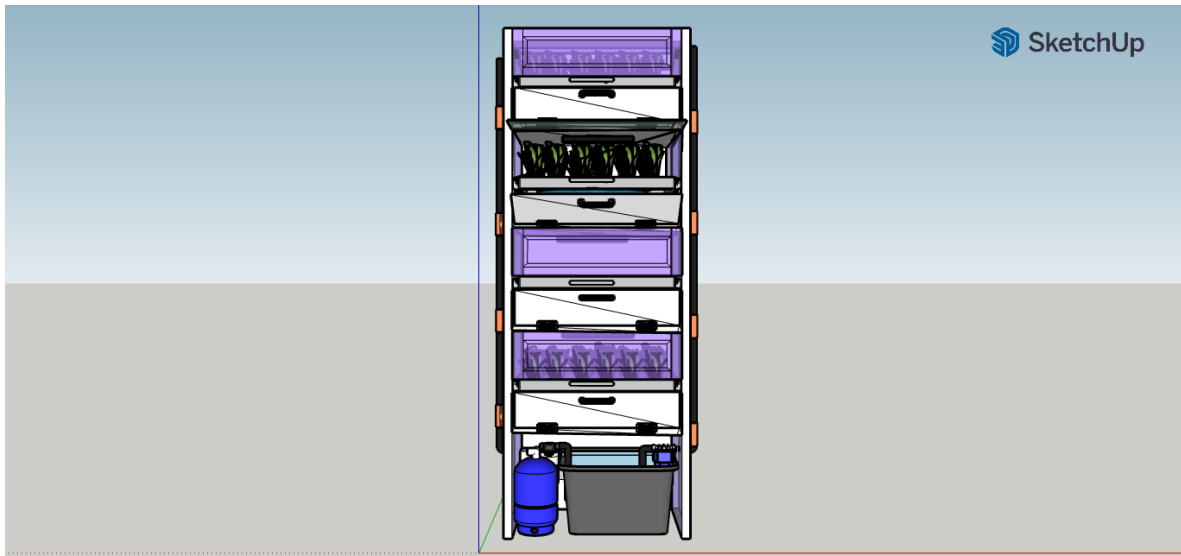


Figura 42. Vista frontal del diseño de la huerta.

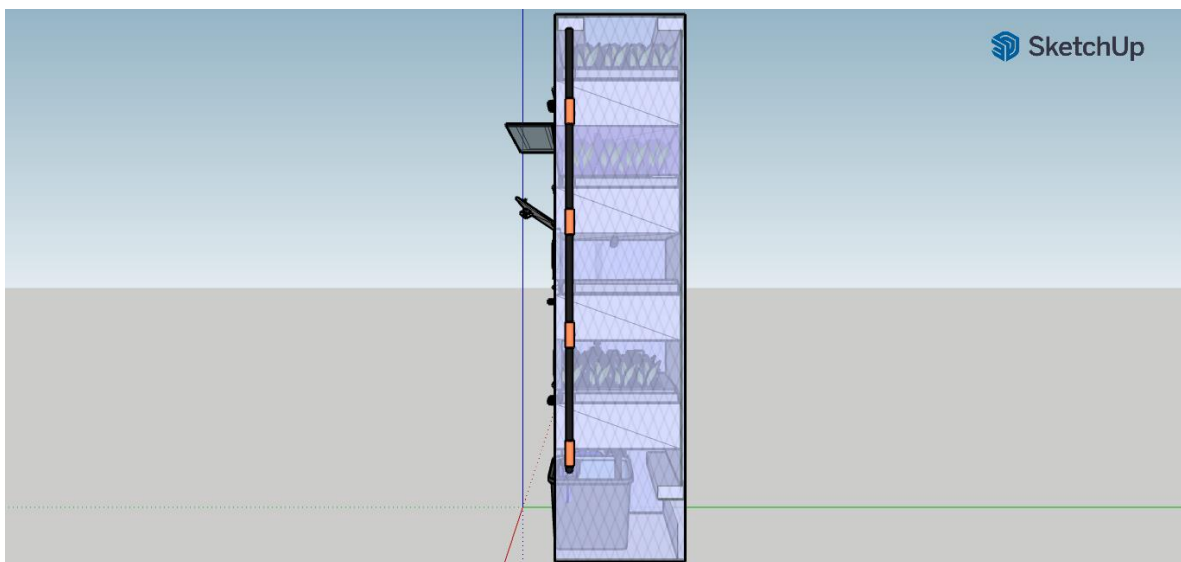


Figura 43. Vista lateral del diseño de la huerta.

Capítulo 4

Sistema de Control

4.1. Componentes

El sistema de monitoreo y control es realizado con el software Arduino IDE, una placa NodeMCU V3, luces led y sensores de temperatura, humedad y presión.

Listado de componentes:

- Placa NodeMCU V3 (x1)
- Sensor DHT11 (x1)
- Sensor DHT22 (x1)
- Sensor de presión 150 psi (x1)
- Relé 5VDC (x2)
- Relé 10VDC – 220VDC (x1)
- String Luz Led violeta (x1)
- String Luz Led azul (x1)

4.2. Lógica de funcionamiento

A continuación se muestra el diagrama de flujo que describe el funcionamiento del sistema.

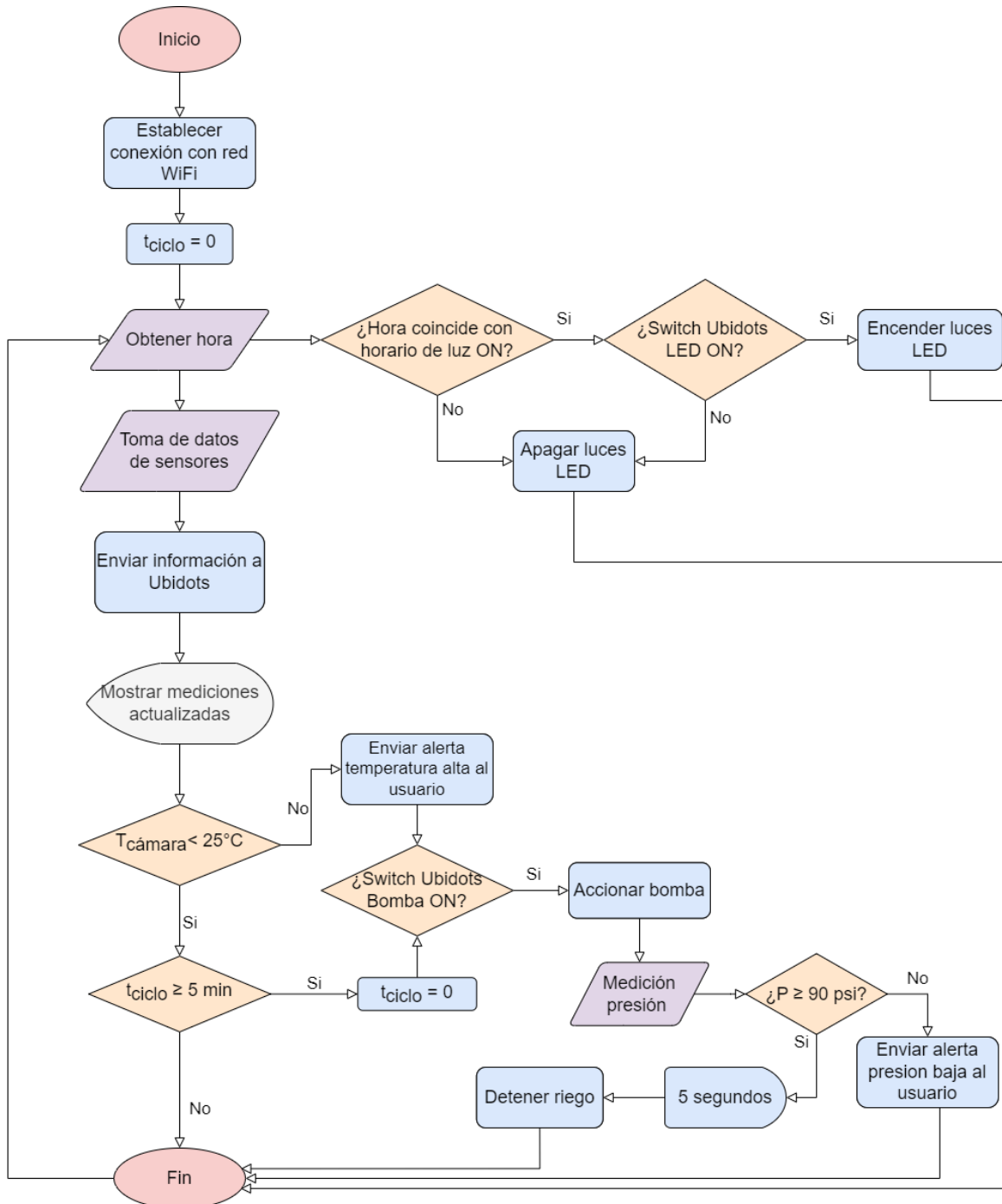


Figura 44. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema.

El inicio del funcionamiento empieza estableciendo una conexión a una red wifi. El nombre de la red y la clave deben ser proporcionadas en el código del programa. El programa no avanzará mientras no se logre establecer la conexión, ya que sin acceso a internet no se podrá hacer el seguimiento de las variables. Luego se crea una variable de tiempo para accionar el riego en el ciclo n , configurado en el código.

Después se obtiene la hora local desde el sitio de “NTP Pool Project” (<https://www.pool.ntp.org/zone/cl>) y entregando la zona horaria dentro del código. La hora servirá para hacer la programación de las luces y facilitar esta parte del código Arduino. En el código se especifica la hora de encendido y apagado de las luces, teniendo como referencia las horas de luz necesarias para el crecimiento de las plantas puestas en la huerta. Se decidió ocupar distintos métodos para medir el tiempo de riego y de iluminación porque para el riego era importante saber los intervalos entre cada aspersion, por lo que era más fácil ocupar un contador. En cambio para activar la iluminación era más importante decirle al programa a qué hora se quería prender o apagar las luces, por lo que saber la hora del día era lo más acorde para esta función.

Ubidots tiene la función de crear botones de encendido y apagado, ideal para implementar en el funcionamiento de las luces y bomba de este trabajo. Se crearon interruptores para cada luz y la bomba de modo que el programa cambiaría su estado al coincidir el código con el estado de cada interruptor. En la Figura 42 se puede apreciar fácilmente la lógica que se utilizó en esta parte del sistema.

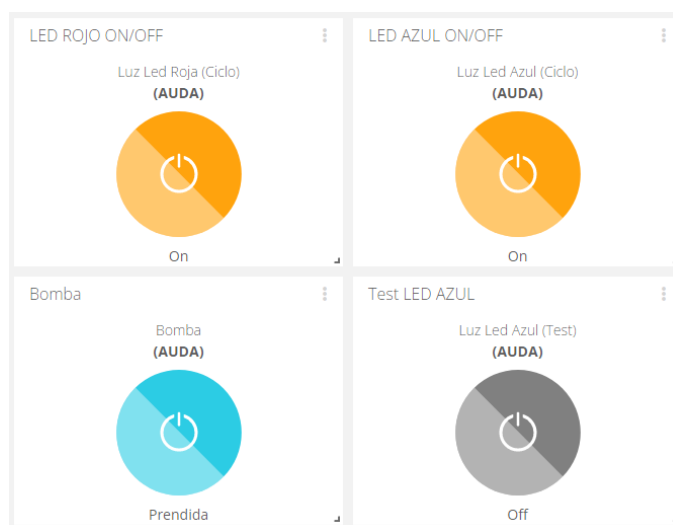


Figura 45. Interruptores digitales para las luces y bomba en Ubidots.

Luego se mide temperatura y humedad con los sensores y la información es enviada a la plataforma de monitoreo para ser mostrada al usuario. Adicionalmente, dependiendo de la temperatura dentro de la cámara y del estado del interruptor de la bomba se accionará el

riego según la programación establecida o se obviará dicha programación cualquiera sea el caso. Para el caso en que la temperatura sea mayor a 25°C, lo que desfavorece al crecimiento de las plantas, el sistema riega para enfriar el ambiente. Ésta forma de enfriamiento es efectiva cuando el agua del estanque se mantiene a una baja temperatura, idealmente cercana a los 15°C. En el caso de que la temperatura se mantenga dentro de los márgenes normales el sistema riega cuando se alcanza el número de ciclos configurado por el usuario, idealmente el equivalente para que el sistema riegue cada 5 minutos. El riego se detiene luego de 5 segundos, aunque este valor se puede cambiar dependiendo de qué tanta agua le haga falta o le sobre a las plantas.

Cuando el interruptor de la bomba en Ubidots está encendido y el ciclo de riego indica que hay que regar, el sistema enciende la bomba. Mientras se mantiene encendida la bomba el sensor de presión realiza una medición, la cual será enviada a la plataforma junto con los otros valores medidos. De esta forma se puede comprobar la presión efectiva que está entregando la bomba al sistema y se podría detectar si hay una fuga que haga que reduzca la presión normal de funcionamiento. Además permite corroborar que los aspersores estén funcionando a la presión requerida para que creen el tamaño de gota esperado según los datos entregados por el fabricante. En caso de que la presión baje de la presión habitual de trabajo la plataforma envía una señal al usuario para que haga una revisión del equipo.

En la pestaña **Data > Events** de Ubidots se pueden crear, eliminar o modificar eventos del dispositivo monitoreado. Aquí es donde se puede elegir una forma de avisar al usuario cuando una variable alcanza un valor que amerita un chequeo a la huerta.

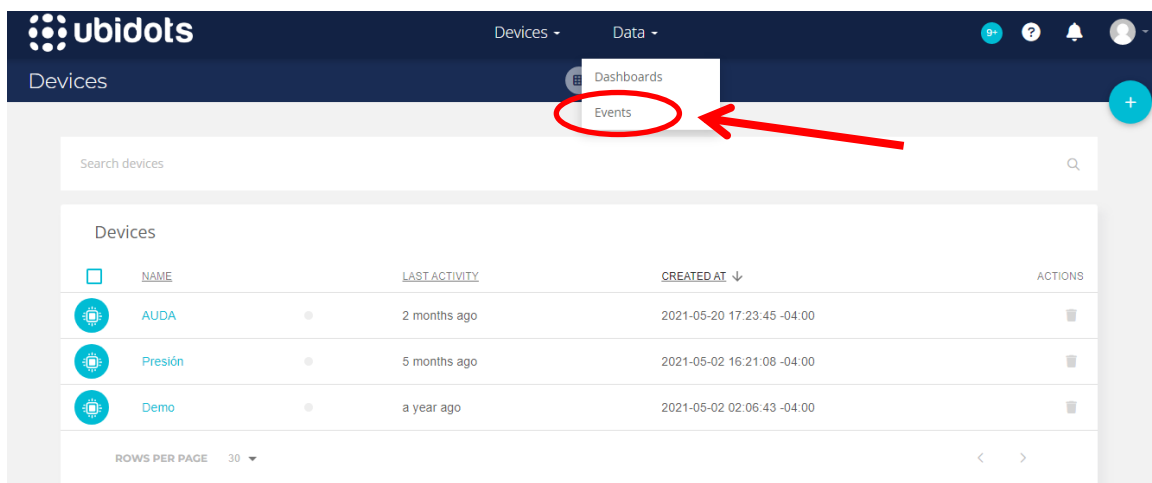


Figura 46. Página de dispositivos en Ubidots.

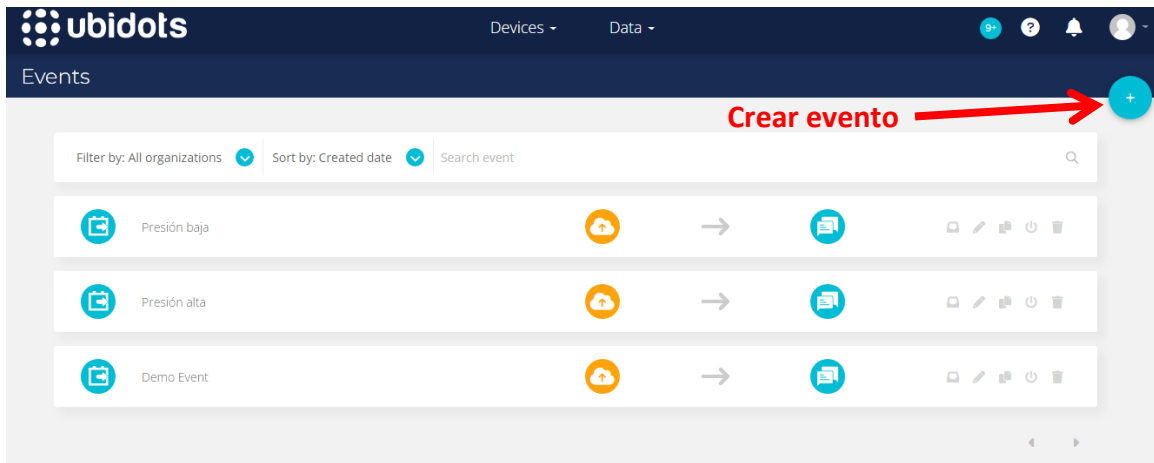


Figura 47. Eventos Ubidots.

La forma de dar conocimiento al usuario del evento puede ser mediante un email, mensaje de texto, llamada telefónica u otro medio. El mensaje se puede personalizar para indicar al usuario lo que debe hacer en caso de recibir la alerta o le puede dar alguna pista de a qué debería prestar atención al hacer una revisión de los componentes de la huerta.

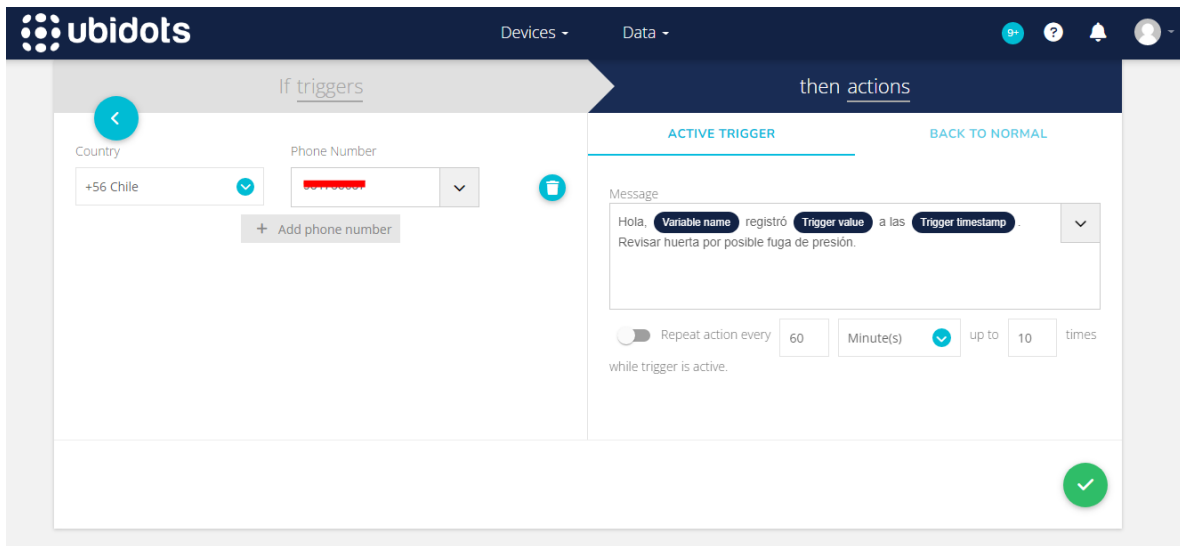


Figura 48. Creación de evento “Presión baja” que alerta al usuario via SMS.

Capítulo 6

Construcción y Resultados

5.1. Construcción

La etapa de construcción inició con una fase de cotización de todos los componentes que se querían comprar, al igual que algunas cotizaciones para la fabricación de la estructura metálica y la cámara de crecimiento. Algunos elementos ya se disponían con anterioridad, como la placa NodeMCU V3, los sensores DHT y el cableado. Desde el comienzo se le dio prioridad a la compra de los componentes del sistema hidráulico para no afectar el funcionamiento del sistema aeropónico. Estos no se vieron afectados respecto al diseño.

El primer problema al que se enfrentó fue el alto costo que conllevaba comprar los componentes tal cual estaban diseñados. Para la fabricación de una cámara de cultivo había que mandar a hacer varias piezas al por mayor para que el fabricante las hiciera. Se descartó mandar a hacer la cámara de cultivo y se optó por comprar cajas plásticas en el retail como reemplazo. Esto trajo como consecuencias la eliminación de las planchas de plexiglass como cubierta de la huerta y cambiar un poco las medidas de la estructura metálica. Las nuevas medidas son (62 X 62 X 173 cm). La forma general de la huerta se mantuvo, pero solo se armó un nivel para cultivos.



Figura 49. Resultado final huerta aeropónica construida. La imagen de la izquierda muestra la sección de soporte de plantas tapada y la de la derecha expuesta al ambiente.



Figura 50. Bomba, tanque acumulador de presión, estanque de agua y transductor de presión. En el estanque de agua se ve la manguera azul que va hacia la bomba, la cual tiene un filtro en ella, y una manguera negra que es el retorno que viene desde la cámara de cultivo.

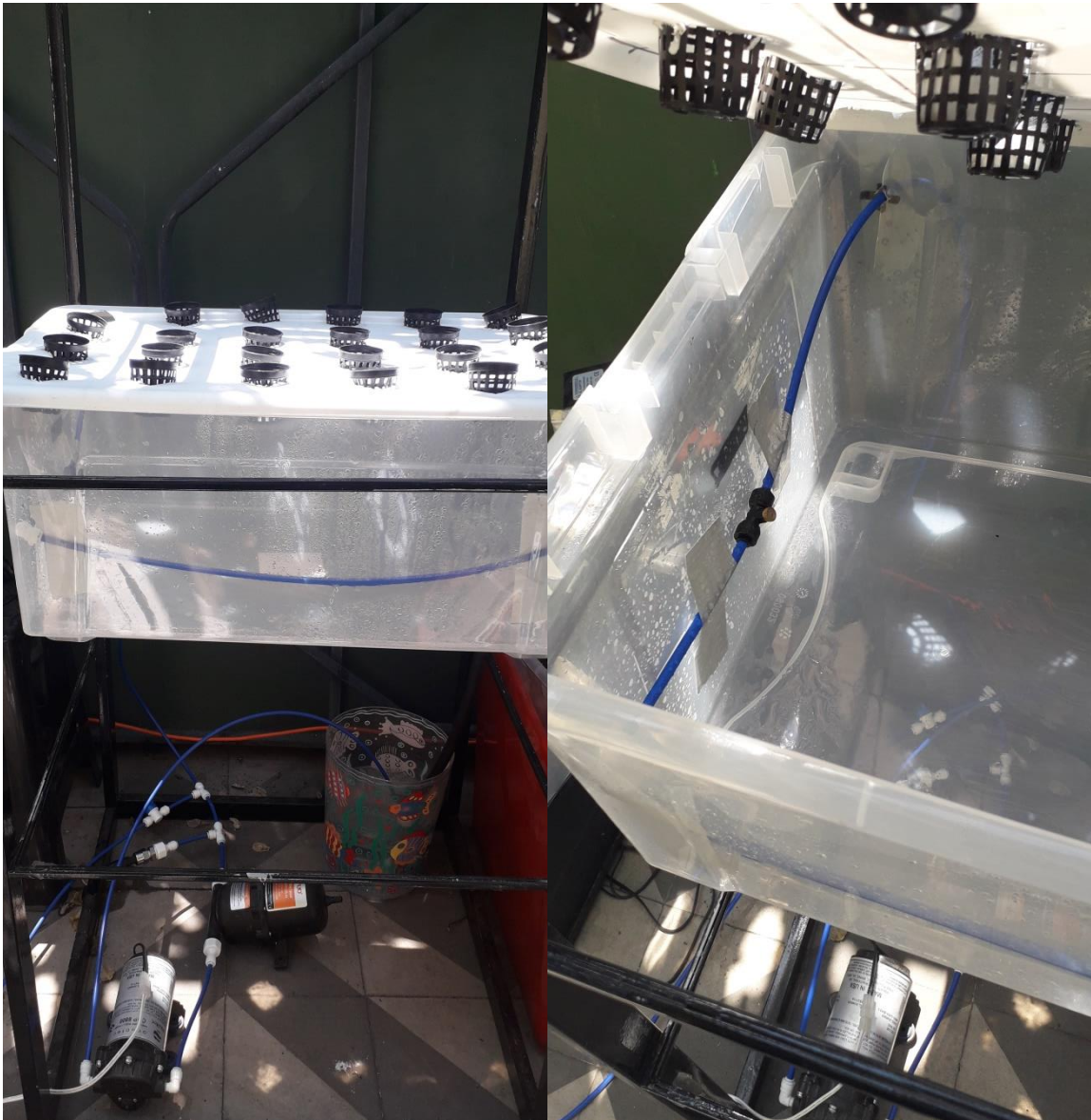


Figura 51. Cámara de crecimiento por fuera y por dentro. Se aprecia la posición de uno de los aspersores.



Figura 52. Aspersor.

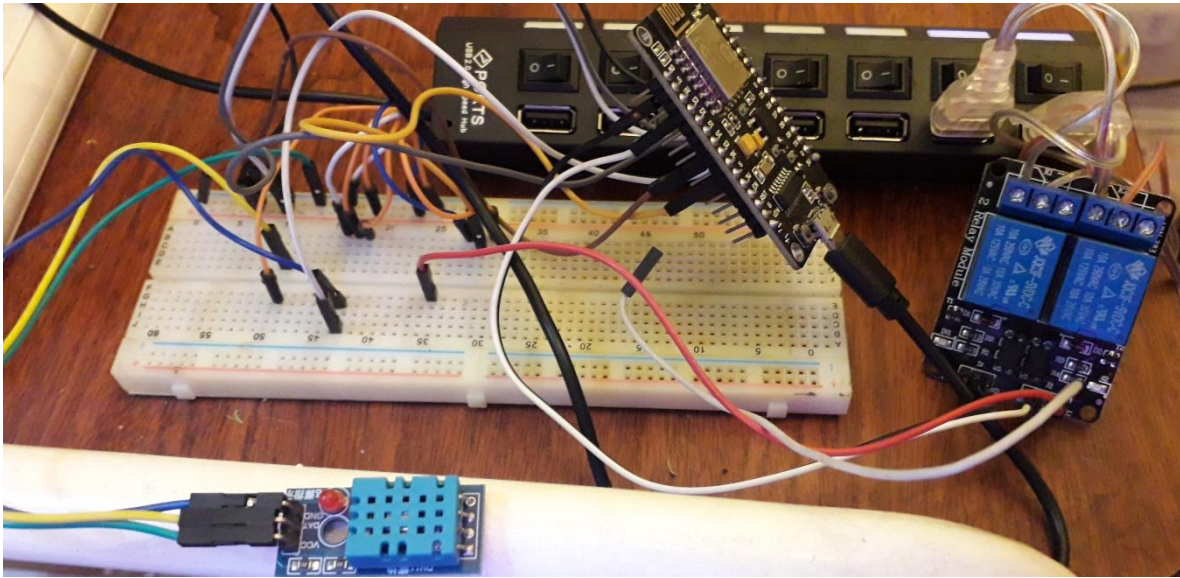


Figura 53. Componentes electrónicos. En la foto se ve una protoboard, un NodeMCU V3, un relé, un sensor DHT11 y un alargador múltiple para conexiones USB.

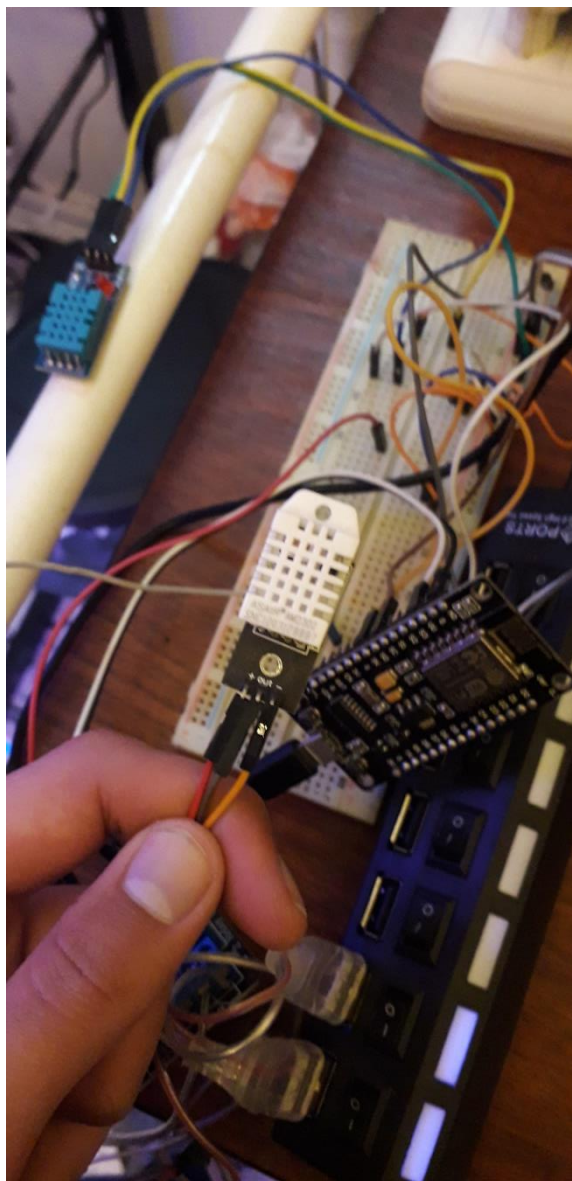


Figura 54. Sensor DHT22 que para registrar temperatura y humedad dentro de la cámara de cultivo.

5.2. Mediciones tamaño de gota

Como forma de corroborar que el riego de los aspersores cumple los requerimientos establecidos al inicio del trabajo, se realizaron algunas pruebas experimentales. Estas pruebas consistieron en medir el tamaño de gota que entregaban los aspersores. Primero se armó una tabla para recibir las gotas de agua (ver Figura 54). Sobre la tabla se posicionó una regla metálica y sobre ésta una lámina plástica transparente que inmovilizaba la regla y recibía las gotas de agua. Además facilitaba la limpieza y disposición para las siguientes pruebas. Luego se armó un espacio aislado del viento y del entorno (ver Figura 50). Este espacio fue pensado para evitar que el viento hiciera que el agua cayera fuera de la tabla de

mediciones, además para evitar que cayeran objetos sobre la tabla que pudiera afectar las pruebas. Se utilizó un skateboard como medida para mantener siempre la misma distancia entre el aspersor y la tabla de medición en todas las pruebas (ver Figura 53).

El procedimiento consistió en regar la tabla durante 2 segundos para no sobre saturar de agua la tabla y poder visualizar lo mejor posible las gotas individuales. Luego, se retiraba la tabla con cuidado y con ayuda de un microscopio casero con un aumento de 30X (ver Figura 55) se tomaba una foto de las gotas que caían sobre la regla metálica. Después, utilizando Photoshop y su herramienta para regla, se midió el tamaño de las gotas en cada foto usando la regla metálica como medida de referencia. Se hizo la conversión entre pixeles y milímetros para obtener el tamaño de las gotas.



Figura 55. Vista frontal del set-up para medir el tamaño de gota.



Figura 56. Vista de la tabla de medición dentro del espacio aislado.



Figura 57. Tabla de medición recibiendo riego del aspersor.



Figura 58. Aspersores regando la tabla de medición (Se muestran dos aspersores regando a modo de ilustración, el experimento se hizo con un solo aspersor apuntando a la tabla de medición). El Skateboard es usado como patrón para mantener una distancia similar entre las mediciones.



Figura 59. Tabla de medición.



Figura 60. Microscopio casero listo para visualizar las gotas.

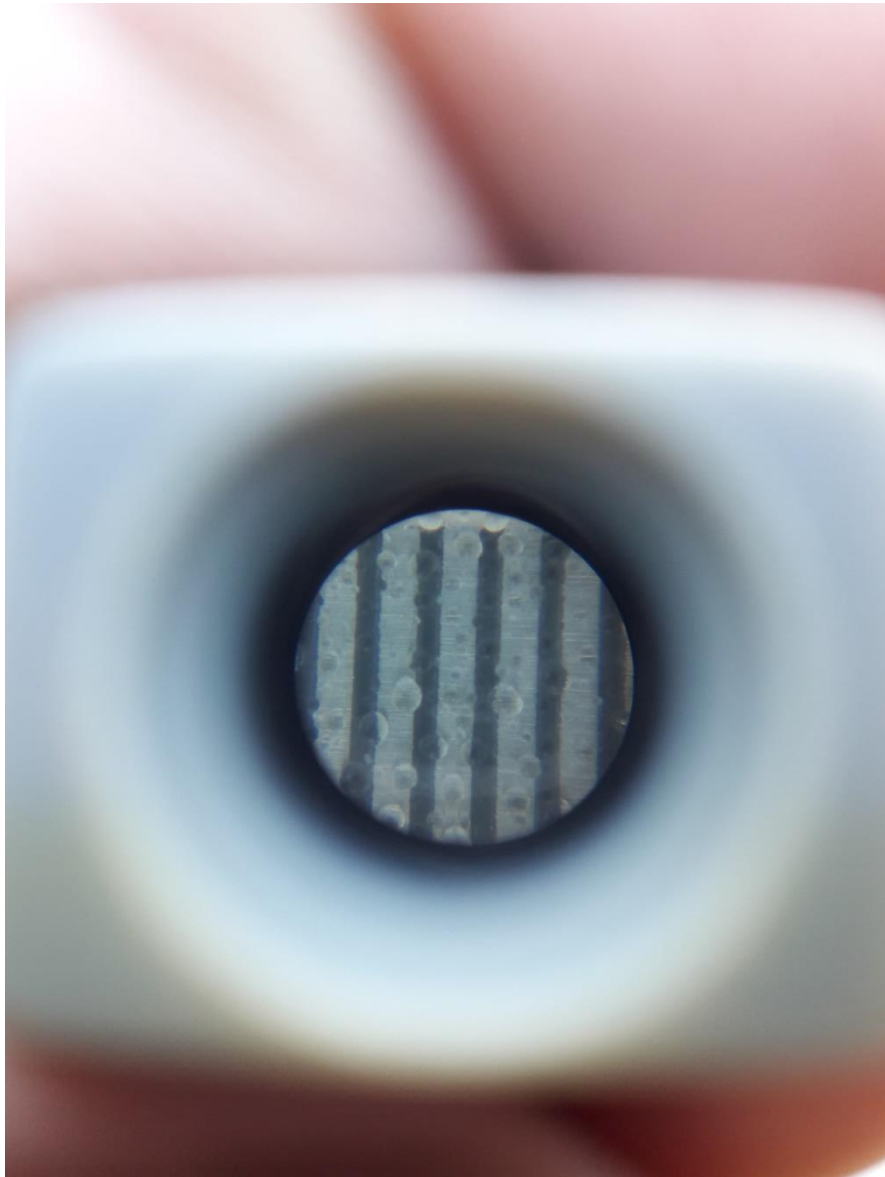


Figura 61. Vista desde el microscopio casero.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de las pruebas.

Tabla 8. Imagen 1 y tamaños de gota.

Imagen 1	Gota	Diámetro pixeles ± 0.01	Diámetro ± 1.75 μm
	1	1.04	206.35
	2	0.92	182.54
	3	0.89	176.59
	4	0.80	158.73
	5	0.86	170.63
	6	0.77	152.78
	7	0.51	101.19
	8	1.26	250.00
	9	0.90	178.57
	10	0.52	103.17
	11	0.83	164.68
	12	0.52	103.17
	Promedio	0.82	168.06

Tabla 9. Imagen 2 y tamaños de gota.

Imagen 2	Gota	Diámetro pixeles ± 0.01	Diámetro ± 1.75 μm
	1	0.79	168.08
	2	0.95	202.12
	3	0.82	174.46
	4	0.71	151.06
	Promedio	0.81	173.93

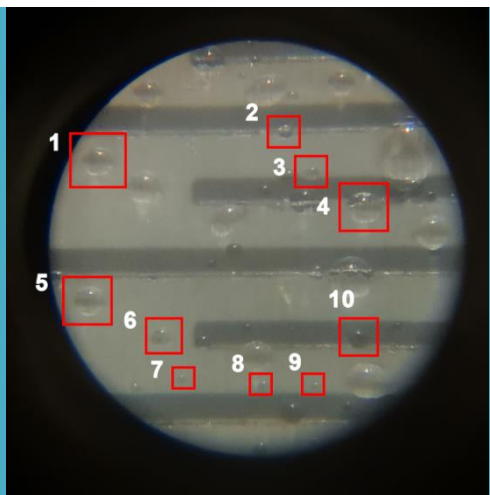
Tabla 10. Imagen 3 y tamaños de gota.

Imagen 3	Gota	Diámetro pixeles ± 0.01	Diámetro ± 1.75 μm
	1	0.61	106.27
	2	0.53	92.33
	3	0.76	132.40
	4	0.72	125.43
	5	0.53	92.33
	6	0.54	94.07
	Promedio	0.615	107.14

Tabla 11. Imagen 4 y tamaños de gota.

Imagen 4	Gota	Diámetro pixeles ± 0.01	Diámetro ± 1.75 μm
	1	2.48	168.24
	2	2.95	200.13
	3	2.6	176.39
	4	0.81	54.95
	5	2.16	146.54
	6	1.95	132.29
	7	2.88	195.38
Promedio	2.26	153.42	

Tabla 12. Imagen 5 y tamaños de gota.

Imagen 5	Gota	Diámetro píxeles \pm 0.01	Diámetro \pm 1.75 μm
	1	5.67	224.47
	2	2.18	86.30
	3	2.09	82.74
	4	5.76	228.03
	5	5.06	200.32
	6	2.88	114.01
	7	1.48	58.59
	8	1.66	65.72
	9	1.57	62.15
	10	3.4	134.60
	Promedio	3.18	125.69

El tamaño de gota promedio de las 5 imágenes es de **145.65 \pm 3.51 μm** . Este valor no representa el tamaño real de las gotas que salen del aspersor. Son dos los motivos principales que llevan a afirmar esto. En primer lugar, la diferencia de tamaño producto de la evaporación de agua en la superficie de las gotas no queda representada en ninguna parte. Se intentó tomar las fotos lo más rápido posible luego de regar la tabla de medición, pero esto no asegura que el tamaño de las gotas no se haya visto afectado durante ese breve lapso.

El segundo motivo que hace pensar en la real representatividad de los valores medidos en la forma que tienen las gotas. Cuando se ha hablado de tamaño de gota anteriormente siempre se hacía considerando que la forma de las gotas era esférica, porque es la forma que éstas adquieren naturalmente cuando están suspendidas en el aire. En cambio las gotas medidas tienen una forma más achatada (ver Figura 59)[30].

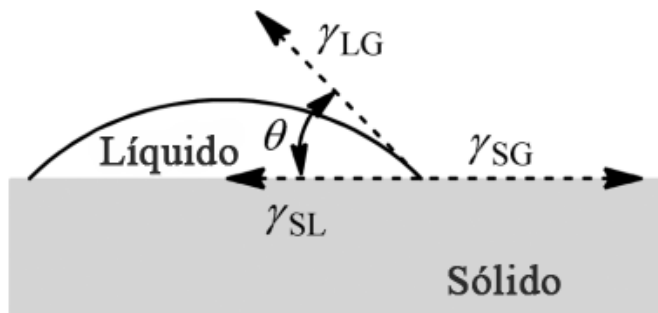


Figura 62. Esquema de la gota de un líquido y sus los tensores dentro de la ecuación de Young. La energía de superficie del sólido (γ_{SG}) es igual a la suma de la tensión de interfase líquido-sólido (γ_{SL}) y la componente horizontal de la tensión superficial del líquido ($\gamma_{LG} \cos \theta$).

El último paso para verificar que el tamaño de las gotas se encuentre dentro de los márgenes definidos por la teoría de aeroponía es aproximar el valor medido a un valor que pueda ser comparado con los valores teóricos.

El ángulo que forma la gota de agua con la superficie se denomina ángulo de contacto. Su valor depende de las fuerzas adhesivas entre el agua y la superficie y de las fuerzas cohesivas del mismo fluido.

En el experimento se utilizó una superficie plástica, muy probablemente de polipropileno para recoger las gotas de agua. El ángulo de contacto para esta superficie corresponde a $\theta_s = 82^\circ$ [30]. Teniendo este valor en consideración se realizaron algunos cálculos geométricos para obtener una expresión que relacione el diámetro de las gotas sobre la superficie y el diámetro de las gotas libres (forma esférica). El supuesto definido para llegar a esta expresión es que el volumen de la gota se mantiene constante antes y después de tocar la superficie.

$$V_{gota\ superficie} = V_{gota\ esfera}$$

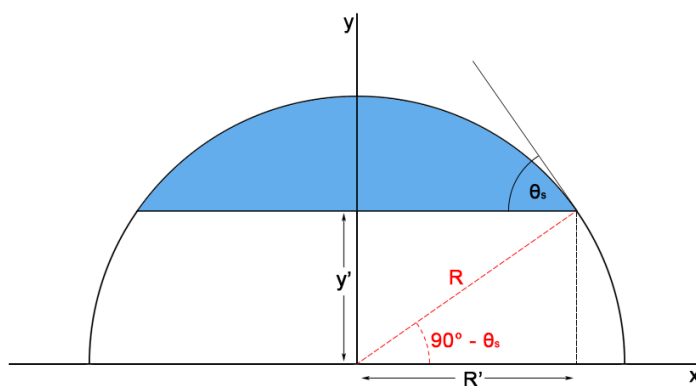


Figura 63. Esquema utilizado para obtener la relación entre el radio real (R') y teórico de las gotas de agua.

La expresión que relaciona los radios de la esfera con el de la gota sobre la superficie es:

$$R_{esfera} = 0.9883R'^{2/3}$$

Al reemplazar el valor medido (R') se obtiene que el diámetro teórico promedio que tienen las gotas al salir de los aspersores.

$$D_{gota\ esfera} = 34.46 \pm 0.55 \mu m$$

Si bien este valor está corregido, sigue siendo poco preciso para aproximar el tamaño de las gotas al no considerar la evaporación de agua antes de tomar las fotos. Es lo mejor que se pudo hacer con los recursos que se tenía. En teoría el tamaño de gota obtenido se encuentra dentro de los rangos esperados para el buen funcionamiento de un sistema aeropónico.

5.3. Cultivos

Fueron varios los intentos de plantar verduras dentro de la huerta construida sin éxito alguno. Entre las plantas que se quiso plantar habían: Acelgas, lechugas, cebollines, espinacas y albahacas.

El procedimiento para plantar fue hacer germinar las semillas en una gasa húmeda fuera del sistema aeropónico. Esto requería entre 3 y 6 días. La idea era que la raíz creciera lo suficiente como para que traspasara la gasa y creciera a través de ella (ver Figura 62). Luego la semilla junto con la gasa donde estaba germinando se traslada a un canastillo para ser instaladas en el sistema aeropónico.



Figura 64. Semilla germinada dentro del canastillo donde crecerá hasta llegar a adulta. Se aprecian dos raíces atravesando la gasa y quedando al descubierto por debajo del canastillo.

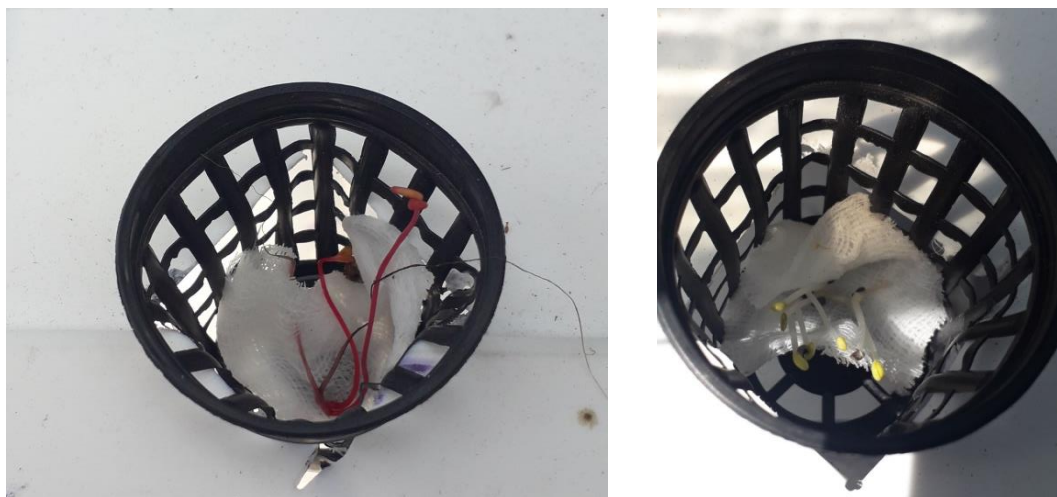


Figura 65. Semillas germinadas dentro del sistema aeropónico.

Una vez en el sistema aeropónico se chequeaba su estado periódicamente y se monitoreaban las variables medidas. Los tiempos de los riegos se cambiaron un par de

veces pero siempre fueron cercanos a los 5 minutos entre cada uno. La temperatura dentro de la cámara de cultivo solía llegar a los 25°C fácilmente, mientras que la humedad se mantenía en valores altos. Bajo estas condiciones ningún cultivo logró crecer estando una semana en el sistema.



Figura 66. Semillas quemadas luego de 1 día en la huerta

Capítulo 7

Conclusiones

6.1. Conclusiones principales

La principal conclusión de este trabajo es que se diseñó y construyó el sistema aeropónico, pero hubo algunos cambios entre el prototipo construido y el diseñado. Estas diferencias se debieron a complejidades que se encontraron para fabricar o encontrar algunas piezas o por el elevado costo que conllevaba adquirir los elementos deseados. Finalmente se optó por adaptar el diseño a uno que fuera más fácil, barato y rápido de construir. El funcionamiento de los componentes hidráulicos electrónicos no se vieron afectados por los cambios realizados, ya que se priorizaron estos dos sistemas por sobre la parte estética.

En cuanto al estudio del estado del arte, este sirvió como pilar fundamental para guiar el trabajo realizado. Los elementos claves para construir un sistema aeropónico y hacer las pruebas al sistema fueron obtenidos gracias al estudio de la teoría. El tamaño de gota, intervalos de riego y tipos de aspersores son ejemplos de aquello.

El diseño se realizó teniendo como base varios conceptos que fueron evaluados en términos de satisfacción de una serie de atributos con una matriz de pesos ponderados. De esta forma se seleccionó un diseño utilizando una metodología ingenieril para luego poder hacer un diseño más en detalle.

Los sistemas de control y monitoreo se realizaron utilizando un microcontrolador con conexión WiFi, llamado NodeMCU v3, al cual se le cargó un código utilizando Arduino IDE para que realizara las mediciones necesarias en el sistema y que enviara la información a la plataforma de monitoreo. La plataforma de monitoreo que se usó fue Ubidots, la cual tenía la ventaja de crear visualizaciones de fácil lectura y la creación de distintos perfiles de usuario que podían acceder a estas visualizaciones.

Por último, se verificó que el sistema construido funcionara correctamente al realizar mediciones al tamaño de gota y comprobar que el resto de componentes no tuviesen fallas. Hay que mencionar que las mediciones realizadas son una aproximación del tamaño de gota real y fueron hechas con instrumentos caseros de la forma más rigurosa posible. Dicho esto, se cree que en la realidad las gotas que salen de los aspersores son de mayor tamaño debido a la evaporación de agua en la superficie de las gotas mientras estas viajan por el aire y mientras están en la tabla de medición. Este factor no fue considerado en la aproximación, por lo que más estudios y ensayos son necesarios para llegar a un modelo que pueda aproximar de mejor manera estas mediciones.

No hubo éxito con respecto al crecimiento de plantas dentro del sistema aeropónico. Se cree que la principal razón de que no hayan crecido fue la alta temperatura que alcanzaba la huerta en el lugar donde estaba ubicada. Si bien no le llegaba sol directo todo el día, las horas en que le llegaba era un factor importante para la supervivencia de las plantas. Además la cámara de cultivo no tenía buena ventilación ni una buena forma de regular la temperatura. Los riegos como medida de reducción de temperatura no eran efectivos en la práctica. Durante las noches si se lograba mantener la temperatura de unos 10°C superior a la exterior, por lo que el frío no fue un factor durante el tiempo en que se realizaron las pruebas. Es necesario encontrar mejores formas de regular la temperatura al igual como es necesario hacer más pruebas para tener una cosecha exitosa.

6.2. Recomendaciones futuras

Hay varios puntos que se pueden mejorar de este trabajo para obtener mejores resultados.

En primer lugar hay que indagar mucho más dentro del área biológica de las plantas o realizar más pruebas tipo ensayo y error para lograr cosechas exitosas. Durante el tiempo en que se realizó este trabajo se hicieron varios intentos de hacer crecer plantas (Acelgas, lechugas, espinacas, albahaca y cebollín). Se cree que el mayor problema era la elevada temperatura dentro de la cámara de cultivo. Todos los intentos de hacer crecer plantas fueron con la huerta aeropónica instalada en exterior y la cantidad de sol que llegaba a la huerta era un factor clave en la temperatura que esta alcanzaba.

Además se recomienda invertir más dinero en la parte estructural para cumplir con algunas de las características que se quería dar al sistema (ej: bandejas retráctiles), además de hacerlo más bonito a la vista. También se requiere de un sistema más efectivo para el control de la temperatura dentro de la cámara la igual que dentro del estanque de agua.

Con respecto a las mediciones de las gotas se recomienda encontrar o crear un modelo que pueda aproximar más fielmente el tamaño real de las gotas que salen de los aspersores.

Este modelo debe considerar la forma de las gotas y la tasa de difusión de vapor al ambiente. Si se quiere perfeccionar el método utilizado en este trabajo, se puede comenzar con utilizar un método para ver las gotas en mejor calidad. Una cámara de mejor calidad y con un aumento suficiente como para prescindir del microscopio utilizado en este trabajo. Existen otros métodos más complejos, como el método de imágenes láser interferométricas [31] para medir el tamaño de gota. Este consiste en calcular de forma indirecta el tamaño de las gotas al medir la intensidad de la luz reflejada por las gotas cuando son iluminadas con luz láser. Tiene en cuenta la geometría esférica de las gotas de agua y si se realiza dentro de un ambiente controlado se puede disminuir el efecto de la evaporación de vapor.

Referencias

- [1] *The State of Food and Agriculture 2020*. FAO, 2020. doi: 10.4060/cb1447en.
- [2] I. A. Lakhari, J. Gao, T. N. Syed, F. A. Chandio, y N. A. Buttar, “Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics”, *J. Plant Interact.*, vol. 13, n° 1, pp. 338–352, ene. 2018, doi: 10.1080/17429145.2018.1472308.
- [3] N. Spinoff, “Progressive plant growing has business blooming”, *Environ. Agric. Resour. N. Y. NASA Spinoff*, pp. 64–77, 2006.
- [4] I. A. Lakhari *et al.*, “Overview of the aeroponic agriculture—An emerging technology for global food security”, *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 13, n° 1, pp. 1–10, 2020, doi: 10.25165/j.ijabe.20201301.5156.
- [5] A. Rezaei Nejad y A. Ismaili, “Changes in growth, essential oil yield and composition of geranium (*Pelargonium graveolens* L.) as affected by growing media: Geranium oil production under different growing media”, *J. Sci. Food Agric.*, vol. 94, n° 5, pp. 905–910, mar. 2014, doi: 10.1002/jsfa.6334.
- [6] T. E. Bilderback, S. L. Warren, J. S. Owen, y J. P. Albano, “Healthy Substrates Need Physicals Too!”, *HortTechnology*, vol. 15, n° 4, pp. 747–751, ene. 2005, doi: 10.21273/HORTTECH.15.4.0747.
- [7] M. Asaduzzaman, M. Saifullah, A. S. R. Mollick, M. M. Hossain, G. M. A. Halim, y T. Asao, *Influence of Soilless Culture Substrate on Improvement of Yield and Produce Quality of Horticultural Crops*. IntechOpen, 2015. doi: 10.5772/59708.
- [8] V. Sreekumar, “DROPLET SIZE ANALYSIS OF HIGH PRESSURE AEROPONIC SYSTEM”, *Massey Univ.*, ene. 2020, Accedido: 11 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en:
https://www.academia.edu/45660017/DROPLET_SIZE_ANALYSIS_OF_HIGH_PRESSURE_AEROPONIC_SYSTEM
- [9] “6 Types of Hydroponic Systems & Choosing The Right One | HydroPros.com — HP”, 12 de agosto de 2022.
<https://web.archive.org/web/20220812021724/https://hydropros.com/blogs/growers-corner/6-types-hydroponic-systems> (accedido 11 de agosto de 2022).
- [10] “Tipos de sistemas hidropónicos para cultivar – Generación Verde”.
<https://web.archive.org/web/20220812021309/https://generacionverde.com/blog/hidroponia/tipos-de-sistemas-hidroponicos/> (accedido 11 de agosto de 2022).
- [11] “Hydroponic Drip System Explained | Trees.com”, 12 de agosto de 2022.
<https://web.archive.org/web/20220812023048/https://www.trees.com/gardening-and-landscaping/hydroponic-drip-system> (accedido 11 de agosto de 2022).
- [12] I. Nir, “GROWING PLANTS IN AEROPONICS GROWTH SYSTEM”, *Acta Hortic.*, n° 126, pp. 435–448, may 1982, doi: 10.17660/ActaHortic.1982.126.49.
- [13] E. Ritter, B. Angulo, P. Riga, C. Herrán, J. Relloso, y M. San Jose, “Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers”, *Potato Res.*, vol. 44, n° 2, pp. 127–135, jun. 2001, doi: 10.1007/BF02410099.
- [14] I. A. Lakhari *et al.*, “EFFECTS OF VARIOUS AEROPONIC ATOMIZERS (DROPLET SIZES) ON THE GROWTH, TOTAL POLYPHENOL CONTENT AND

- ANTIOXIDANT ACTIVITY OF LEAFY LETTUCE (*LACTUCA SATIVA L.*)”, *Trans. ASABE*, vol. 62, n° 6, pp. 1475–1487, 2019, doi: 10.13031/trans.13168.
- [15] M. H. Tunio *et al.*, “Effects of droplet size and spray interval on root-to-shoot ratio, photosynthesis efficiency, and nutritional quality of aeroponically grown butterhead lettuce”, *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 15, n° 1, Art. n° 1, feb. 2022, doi: 10.25165/ijabe.v15i1.6725.
- [16] I. A. Lakhiar, G. Jianmin, T. N. Syed, F. A. Chandio, N. A. Buttar, y W. A. Qureshi, “Monitoring and Control Systems in Agriculture Using Intelligent Sensor Techniques: A Review of the Aeroponic System”, *J. Sens.*, vol. 2018, p. e8672769, dic. 2018, doi: 10.1155/2018/8672769.
- [17] E. C. Wassink y J. A. J. Stolwijk, “Effects of Light Quality on Plant Growth”, *Annu. Rev. Plant Physiol.*, vol. 7, n° 1, pp. 373–400, 1956, doi: 10.1146/annurev.pp.07.060156.002105.
- [18] M. W. Parker y H. A. Borthwick, “Influence of Light on Plant Growth”, *Annu. Rev. Plant Physiol.*, vol. 1, n° 1, pp. 43–58, jun. 1950, doi: 10.1146/annurev.pp.01.060150.000355.
- [19] D. Gonyer y S. Jones, “Modular automated growing system”, US10555466B2, 11 de febrero de 2020 Accedido: 11 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US10555466B2/en?inventor=Daegan+Gonyer>
- [20] E. Darko, P. Heydarizadeh, B. Schoefs, y M. R. Sabzalian, “Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism”, *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 369, n° 1640, p. 20130243, abr. 2014, doi: 10.1098/rstb.2013.0243.
- [21] X. Zhang, D. He, G. Niu, Z. Yan, y J. Song, “Effects of environment lighting on the growth, photosynthesis, and quality of hydroponic lettuce in a plant factory”, *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 11, n° 2, Art. n° 2, mar. 2018, doi: 10.25165/ijabe.v11i2.3420.
- [22] D. Brown, “Microgreen ‘farm’ is pleasing chefs, teasing palates.”, *The Denver Post*, 4 de marzo de 2009. [En línea]. Disponible en: <https://www.agrihouse.com/references/Air-Foods%20Denver%20Post%20March%202009.pdf>
- [23] “AeroFarms home • The Vertical Farming, Elevated Flavor company”, 12 de agosto de 2022. <https://web.archive.org/web/20220812053613/https://www.aerofarms.com/> (accedido 12 de agosto de 2022).
- [24] M. E. Wood, “The O’Hare Urban Garden: A Sustainable Airport Food & Beverage Supply Chain Initiative”, *Environ. Manage.*, 2011.
- [25] “Modulo Rele Opto aislado, Como conectarlo?. - #2 by system - Hardware - Arduino Forum”. <https://web.archive.org/web/20220812185841/https://forum.arduino.cc/t/modulo-rele-opto-aislado-como-conectarlo/163722/2> (accedido 12 de agosto de 2022).
- [26] “DHT11 & DHT22 Sensors Temperature using Arduino - Arduino Project Hub”. <https://web.archive.org/web/20220812190056/https://create.arduino.cc/projecthub/MinukaThesathYapa/dht11-dht22-sensors-temperature-using-arduino-b7a8d6> (accedido 12 de agosto de 2022).
- [27] “DHT11 Sensor Pinout, Features, Equivalent & Datasheet”, 12 de agosto de 2022. <https://web.archive.org/web/20220812190601/https://components101.com/sensors/dht11-temperature-sensor> (accedido 12 de agosto de 2022).

- [28] “Getting Started with Arduino products | Arduino”, 12 de agosto de 2022. <https://web.archive.org/web/20220812193915/https://www.arduino.cc/en/Guide> (accedido 12 de agosto de 2022).
- [29] “¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)? | TIBCO Software”. <https://web.archive.org/web/20220321212319/https://www.tibco.com/es/reference-center/what-is-the-internet-of-things-iot> (accedido 11 de agosto de 2022).
- [30] S.-R. Cho y H.-G. Cho, “Determination of Surface Energy by Means of Home-Made Goniometer and Image Analyzing Software for Contact Angle Measurement”, *J. Korean Chem. Soc.*, vol. 57, n^o 4, pp. 432–438, 2013, doi: 10.5012/jkcs.2013.57.4.432.
- [31] A. R. Glover, S. M. Skippon, y R. D. Boyle, “Interferometric laser imaging for droplet sizing: a method for droplet-size measurement in sparse spray systems”, *Appl. Opt.*, vol. 34, n^o 36, p. 8409, dic. 1995, doi: 10.1364/AO.34.008409.

Anexos

8.1. Cálculos para selección de bomba

Datos de funcionamiento:

Flowing Rate: 0.03-2L/Min

Working pressure: 3-20 Bar

Se puede crear una curva aproximada de funcionamiento del aspersor:

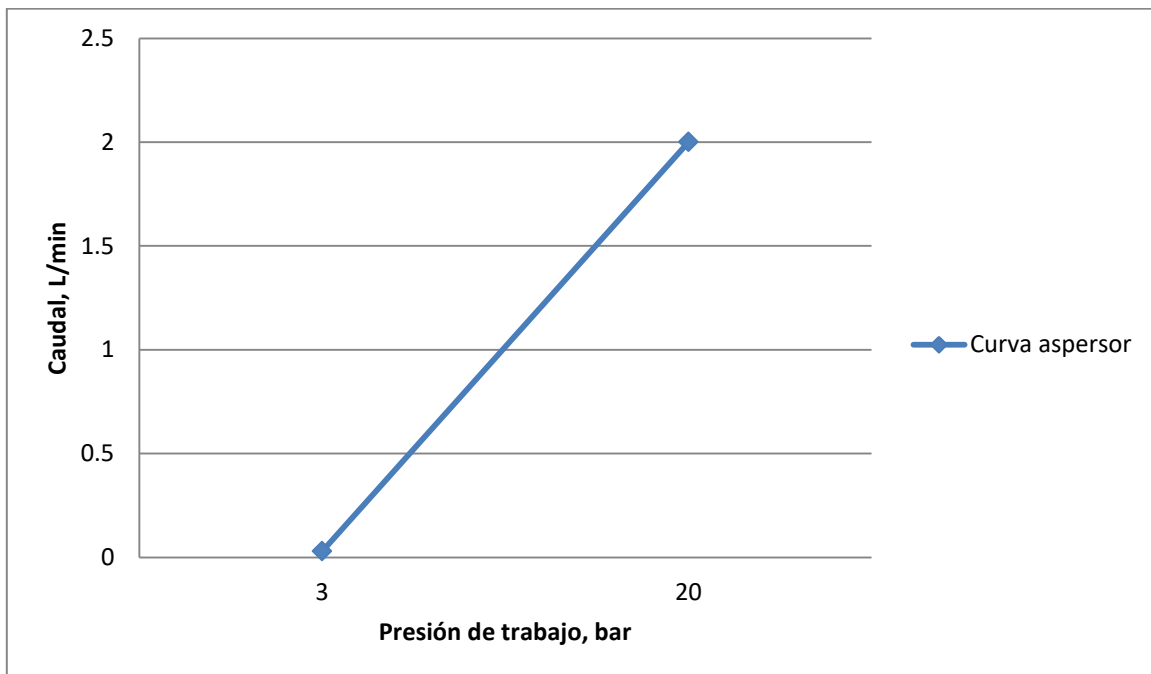


Gráfico 1. Presión vs caudal de trabajo de aspersores.

Recordar que según el vendedor a 100 psi las gotas saldrán con un tamaño aproximado de 50 μm .

Para la presión de funcionamiento requerida (100 psi o 6.89 bar) se tiene que el caudal por aspersor es:

$$Q_{aspersor} = 0.4807 \text{ L/min}$$

En total se usarán 4 aspersores, por lo tanto el caudal del sistema es:

$$Q_{sis} = 4 * Q_{aspersor} = 1.923 \text{ L/min}$$

Luego, la presión de la bomba se calcula como:

$$P_{pump} = P_{nozzle} + P_{pipe losses} + P_{fittings} + P_{altura}$$

Valores de pérdida de carga para distintos tipos de conectores o fittings para tubería:

$$h_{codos} = 0.43 \text{ m}$$

$$h_T = 0.82 \text{ m}$$

Pérdida de carga a lo largo de la tubería:

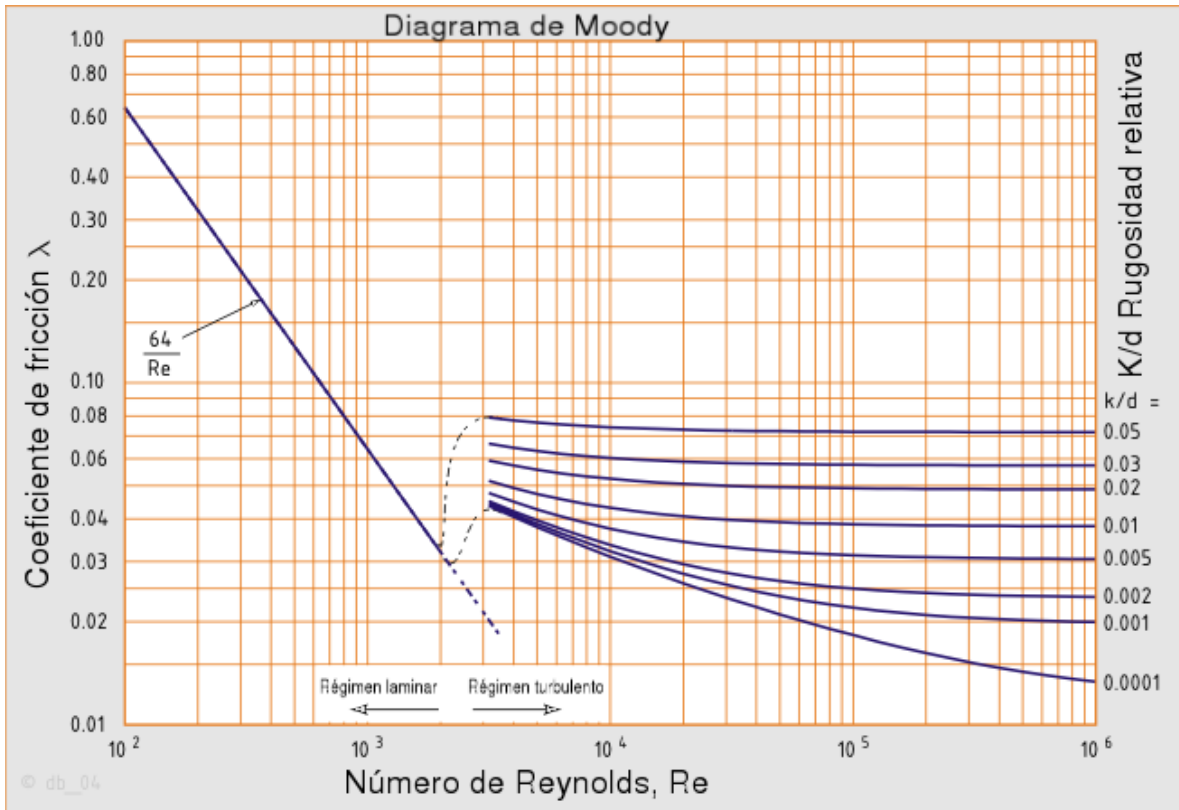
$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu}$$

Conociendo el caudal y el diámetro de la tubería se puede saber la velocidad del agua dentro de la línea.

$$v = 0.4498 \frac{m}{s}$$

$$Re = 3764 -$$

Luego, según el diagrama de Moody se obtiene el factor de pérdida de carga de Darcy según el Reynold para el flujo.



Se asume una rugosidad relativa de 0.01 mm correspondiente a una tubería de hule o alisada, similar a la cotizada actualmente.

Material	Rugosidad,	
	ft	mm
Vidrio, plástico	0	0
Concreto	0.003–0.03	0.9–9
Duela de madera	0.0016	0.5
Hule, alisado	0.000033	0.01
Tubería de cobre o latón	0.000005	0.0015
Hierro fundido	0.00085	0.26
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro pudelado	0.00015	0.046
Acero inoxidable	0.000007	0.002
Acero comercial	0.00015	0.045

Por lo tanto el factor f para pérdida de carga es:

$$f = 0.04252 -$$

La pérdida de carga en la línea se calcula como:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} [m]$$

$$h_f = 0.09297 m$$

La pérdida total del sistema es:

$$\Delta P_{pérdidas} = \rho g (h_f + h_{codos} + 5 * h_T)$$

$$\Delta P_{pérdidas} = 8.277 psi$$

La presión requerida por la bomba es:

$$P_{bomba} = P_{aspersor} + \Delta P_{pérdidas}$$

$$P_{bomba} = 100 psi + 8.277 psi$$

$$P_{bomba} = 108.3 psi$$

Tabla 13. Valores de funcionamiento bombas Aquatec serie 8800

PERFORMANCE DATA								
DISCHARGE PRESSURE	PUMPHEAD MODEL						RECOMMENDED BY-PASS PRESSURE	
	88X0		88X1		88X2		PSI	CODE
(PSI)	FLOW (LPM)	CURRENT (AMPS)	FLOW (LPM)	CURRENT (AMPS)	FLOW (LPM)	CURRENT (AMPS)		
80	1.00	1.20	1.20	1.40	1.40	1.65	110	J
70	1.10	1.14	1.30	1.29	1.50	1.55	100	I
60	1.20	1.06	1.40	1.19	1.60	1.43	90	H
50	1.30	0.98	1.50	1.10	1.80	1.29	80	G
40	1.40	0.90	1.55	0.99	1.90	1.17	70	F
30	1.50	0.82	1.70	0.89	2.00	1.02	60	E
20	1.55	0.72	1.86	0.77	2.20	0.91	50	D
10	1.80	0.60	2.00	0.64	2.50	0.75	40	B
OPEN	1.90	0.53	2.10	0.58	2.60	0.70	30	A

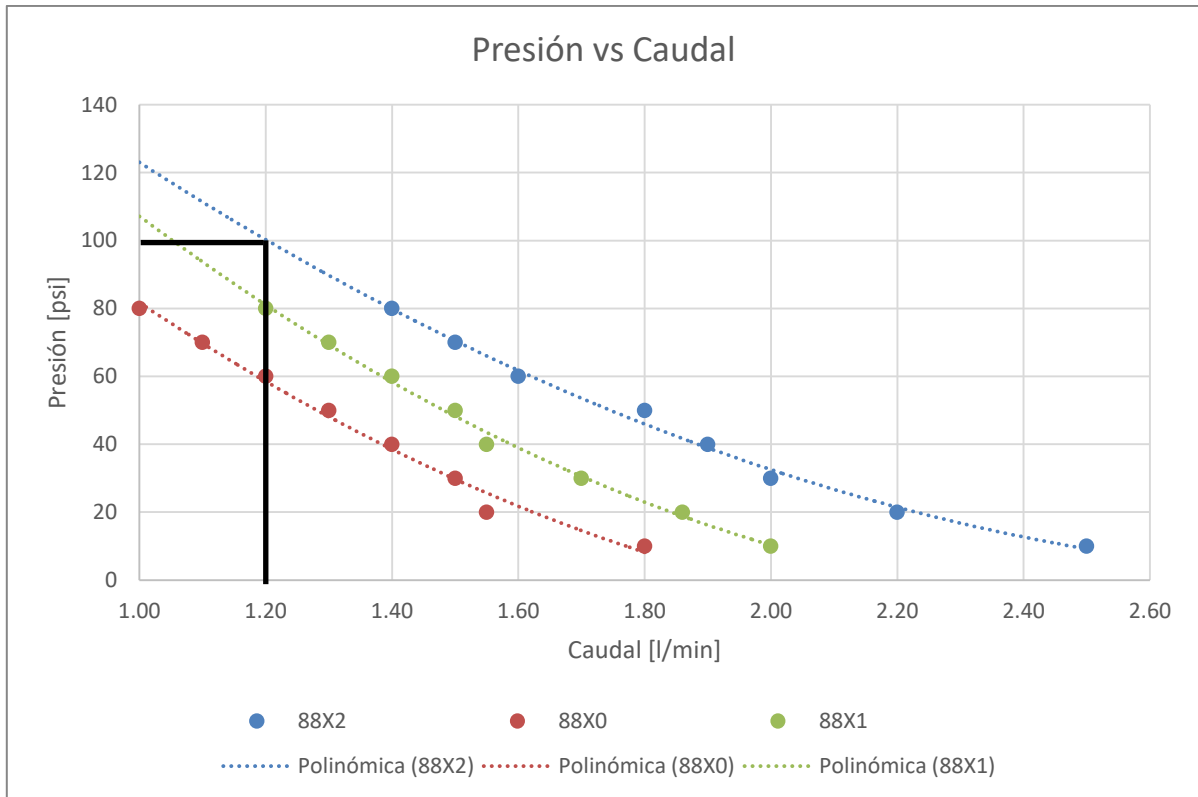


Gráfico 2. Curva presión vs caudal bombas Aquatec serie 8800

Para la presión requerida (108 psi), la bomba 88X2 entrega un caudal aproximado de 1.2 l/min. Es menos del caudal necesario para hacer funcionar 4 aspersores a la presión establecida, pero al ajustar la cantidad de aspersores a 3 se puede mantener la presión de trabajo del sistema.

8.2. Cálculo tamaño de gota teórico

En primer lugar es necesario saber el ángulo que forma la gota de agua con la superficie. Un estudio realizado por la Universidad Nacional de Incheon (Corea del Sur) muestra valores experimentales del ángulo que forma una gota de agua sobre distintas superficies [30]. Se destaca el polipropileno porque es el material más similar de la tabla al que se usó en este trabajo.

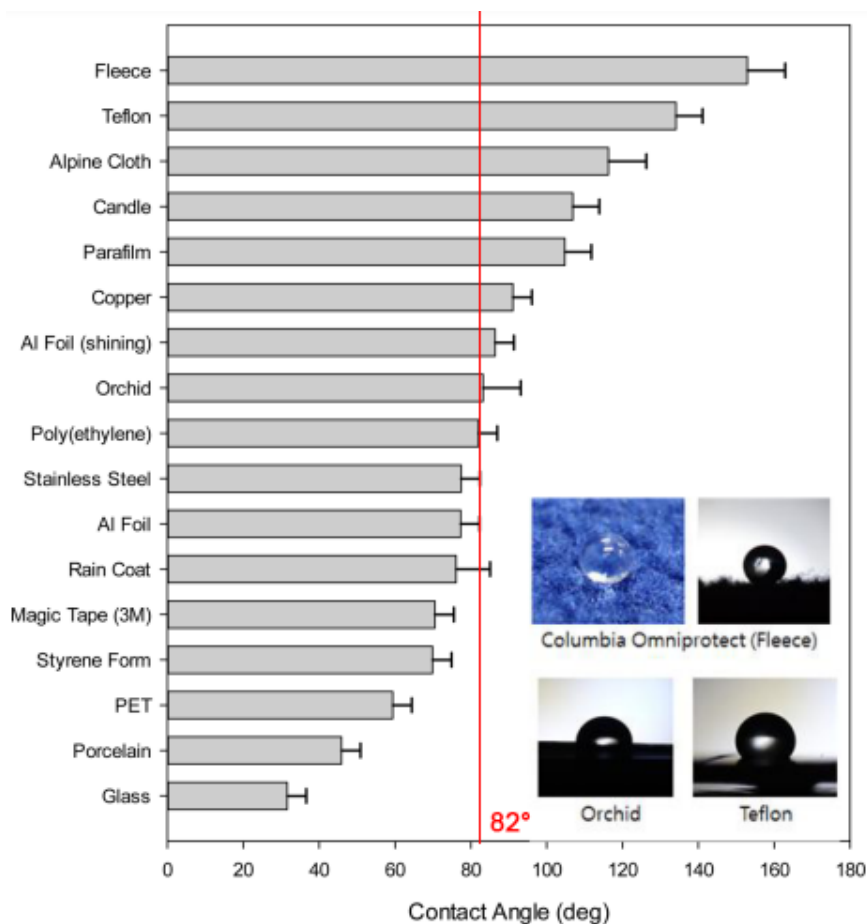
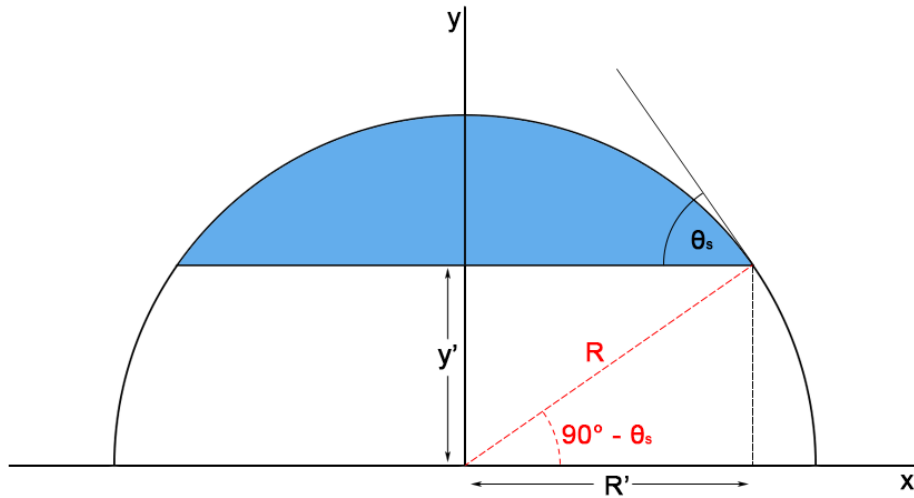


Figura 67. Ángulo de contacto entre gotas de agua y distintas superficies [30].

El supuesto que se hace para poder relacionar el diámetro de una esfera con la forma real de la gota sobre la superficie es que el volumen de ambos cuerpos es equivalente. Por lo tanto:

$$V_{gota\ superficie} = V_{gota\ esfera}$$

Ahora se realizan algunos cálculos geométricos para obtener una expresión que relacione los diámetros de ambos cuerpos. Recordar que en el experimento para medir el tamaño de gota se midió el diámetro de la superficie de cada gota.



Del diagrama anterior se puede extraer que

$$R = \frac{R'}{\cos(90^\circ - \theta_s)} \quad y' = R' \tan(90^\circ - \theta_s)$$

Donde, $\theta_s = 82^\circ$

Luego para calcular el volumen de la gota sobre la superficie, se calcula el lado derecho del área bajo la curva descrita por la circunferencia de radio R y que está sobre la recta $y = y'$. Ésta superficie se revoluciona en torno al eje y para obtener el volumen.

$$V_{gota\ superficie} = 2\pi \int_0^R \int_{y'}^{\sqrt{R^2 - x^2}} dy dx$$

$$V_{gota\ superficie} = 2\pi \int_0^R (\sqrt{R^2 - x^2} - y') dx$$

$$V_{gota\ superficie} = 2\pi \left(\frac{1}{2} x \sqrt{R^2 - x^2} - \frac{1}{2} R^2 \tan^{-1} \left(\frac{x \sqrt{R^2 - x^2}}{x^2 - R^2} \right) - xy' \right)_0^R$$

$$V_{gota\ superficie} = 2\pi \left(\frac{1}{4} R (\pi R - 4y') \right)$$

$$V_{gota\ superficie} = 2\pi \left(\frac{1}{4} \pi R^2 - Ry' \right)$$

$$V_{gota\ superficie} = 2\pi \left(\frac{1}{4} \pi \left(\frac{R'}{\cos(90^\circ - \theta_s)} \right)^2 - \frac{R'^2 \tan(90^\circ - \theta_s)}{\cos(90^\circ - \theta_s)} \right)$$

$$V_{gota\ superficie} = 0.5098\pi^2 R'^2 - 0.2838\pi R'^2$$

$$V_{gota\ superficie} = 4.1399R'^2$$

Finalmente se hace la equivalencia entre los volúmenes, resultando:

$$V_{gota\ superficie} = V_{gota\ esfera} = \frac{4}{3}\pi R_{esfera}^3$$

$$R_{esfera} = 0.9883R'^{2/3}$$

Al reemplazar el valor promedio del radio de las gotas de este trabajo se obtiene el diámetro teórico de las gotas que salen de los aspersores.

$$R' = 72.82 \mu m$$

$$R_{esfera} = 17.23 \mu m$$

$$\mathbf{D_{gota\ esfera} = 34.46 \mu m}$$

8.3. Propagación de errores

8.3.1. Error diámetro al realizar la conversión de pixeles de cada imagen

p_{r_1} : pixeles de referencia equivalentes a 0.5mm en la imagen 1.

p_1 : promedio pixeles imagen 1.

d_1 : diámetro promedio imagen 1.

$$p_{r_1} = 2.52 \text{ pixeles}$$

$$\left(\frac{\Delta d_1}{d_1}\right)^2 = \left(\frac{\Delta p_{r_1}}{p_{r_1}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p_1}{p_1}\right)^2$$

$$\Delta d_1 = 1.74 \mu m$$

8.3.2. Error diámetro promedio 5 imágenes

$$\left(\frac{\Delta \bar{d}}{\bar{d}}\right)^2 = \left(\frac{\Delta d_1}{d_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d_2}{d_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d_3}{d_3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d_4}{d_4}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d_5}{d_5}\right)^2$$

$$\Delta \bar{d} = 3.51 \mu m$$

8.3.3. Error diámetro gota esférica

$$\left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 = \left(\frac{2 \Delta \bar{d}}{3 \bar{d}}\right)^2$$

$$\Delta D = 0.55 \mu m$$

8.4. Código ArduinoIDE

```
/*
 * Include Libraries
 */

#include "Ubidots.h"
#include "DHT.h"
#include <TimeLib.h>
#include <WiFiUdp.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <NTPClient.h>

/*
 * Define Instances and Constants
 */

WiFiUDP ntpUDP;

const char* UBIDOTS_TOKEN = "BBFF-
I8WWEf302cjpgkJ7Ghi8DFpaTyHY3LeGcchLVUpCQwUdbJ0tg3GccefE"; //
Put here your Ubidots TOKEN

const char* WIFI_SSID = "tealoca living"; // Put here
your Wi-Fi SSID

const char* WIFI_PASS = "0066013413"; // Put here your
Wi-Fi password
```

```

const char* DEVICE = "d8f15b10bd3c";          // Nombre del
dispositivo en Ubidots (AUDA)

const char* VARIABLE_B = "Luz Led Azul (Ciclo)"; // Switch
para prender ciclo luz led azul

const char* VARIABLE_R = "Luz Led Roja (Ciclo)"; // Switch
para prender ciclo luz led roja

const char* TEST_B = "Luz Led Azul (Test)";    // Switch
para prender de forma instantánea la luz del azul

const char* TEST_R = "Luz Led Roja (Test)";    // Switch
para prender de forma instantánea la luz del roja

const char* BOMBA = "Bomba";                  // Switch para
prender ciclo bomba

//const char* ZONA_HORARIA = "Zona horaria"; // Zona horaria
ingresada en la app

```

```

Ubidots client(UBIDOTS_TOKEN);

```

```

int dataRate = 9600; //Velocidad de traspaso de información.
Para NodeMCU usar 9600

int pinDHT11 = 2;    //Sensor DHT11 (Azul) conectado a D4
int pinDHT22 = 14;   //Sensor DHT22 (Blanco) conectado a D5
int pinDHT22_2 = 12; //Sensor DHT22 (Blanco) conectado a D6
int pinDHT22_3 = 13; //Sensor DHT22 (Blanco) conectado a D7
int pinLED_B = 4;    //Luz LED azul en D2
int pinLED_R = 0;    //Luz LED roja en D3
int pinPSI = A0;     //Transductor de presión en A0
int pinBomba = 5;    //Bomba en D1

```

```

//int Zona = client.get(DEVICE,ZONA_HORARIA);
char Time[ ] = "TIME:00:00:00";
char Date[ ] = "DATE:00/00/2000";
byte last_second, second_, minute_, hour_, day_, month_;
int year_;

int presionMin = 102.3;
int presionMax = 920.7;
int presionMaxPSI = 100;
float valorPresion = 0;
int i = 0; // Contador ciclos bomba. Cada 10
ciclos riega.

NTPClient timeClient(ntpUDP, "1.cl.pool.ntp.org", -3*3600,
60000);

//Ubidots client (UBIDOTS_TOKEN);

/*****
* Auxiliar Functions
*****/

// Put here your auxiliar functions
#define DHTTYPE22 DHT22 //Blanco (DHT22)
#define DHTTYPE11 DHT11 //Azul (DHT11)

```

```

//DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
DHT dht11(pinDHT11, DHTTYPE11);
DHT dht22(pinDHT22, DHTTYPE22);

/*****

* Setup
*****/

void setup() {

  Serial.begin(dataRate);

  client.wifiConnect(WIFI_SSID, WIFI_PASS);

  // ubidots.setDebug(true); // Uncomment this line for
printing debug messages

  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
  Serial.print("Connecting.");

  while ( WiFi.status() != WL_CONNECTED ) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }

  Serial.println("connected");

```

```

timeClient.begin();

pinMode(pinLED_B, OUTPUT); //Define la señal para el LED
azul como una salida
digitalWrite(pinLED_B,HIGH);

pinMode(pinLED_R, OUTPUT); //Define la señal para el LED
rojo como una salida
digitalWrite(pinLED_R,HIGH);

pinMode(pinBomba, OUTPUT);
digitalWrite(pinBomba,LOW);

pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
digitalWrite(LED_BUILTIN, 1);
}

/*****
* Main Functions
*****/

void loop() {

timeClient.update();

unsigned long unix_epoch = timeClient.getEpochTime(); //
Obtiene Unix epoch time del servidor NTP

```

```

second_ = second(unix_epoch);
if (last_second != second_) {

    minute_ = minute(unix_epoch);
    hour_    = hour(unix_epoch);
    day_     = day(unix_epoch);
    month_   = month(unix_epoch);
    year_    = year(unix_epoch);

    Time[12] = second_ % 10 + 48;
    Time[11] = second_ / 10 + 48;
    Time[9]  = minute_ % 10 + 48;
    Time[8]  = minute_ / 10 + 48;
    Time[6]  = hour_   % 10 + 48;
    Time[5]  = hour_   / 10 + 48;

    Date[5]  = day_    / 10 + 48;
    Date[6]  = day_    % 10 + 48;
    Date[8]  = month_  / 10 + 48;
    Date[9]  = month_  % 10 + 48;
    Date[13] = (year_  / 10) % 10 + 48;
    Date[14] = year_   % 10 % 10 + 48;

```

```

Serial.println(Time);
Serial.println(Date);

last_second = second_;

    dht11.begin();          // Inicia sensores de temperatura y
humedad DHT
    dht22.begin();
    delay(10);

    float hum_11 = dht11.readHumidity();          //Humedad
relativa DHT11
    float temp_11 = dht11.readTemperature();
//Temperatura DHT11 en °C
    float fah_11 = dht11.readTemperature(true);
//Temperatura DHT11 en °F

    float hum_22 = dht22.readHumidity();          //Humedad
relativa DHT22
    float temp_22 = dht22.readTemperature();
//Temperatura DHT22 en °C
    float fah_22 = dht22.readTemperature(true);
//Temperatura DHT22 en °F

//    if (isnan(hum_11) || isnan(temp_11) || isnan(fah_11)) {
//        Serial.println("Failed to read from DHT11 sensor!");
//        return;
//    }

```

```

//    if (isnan(hum_22) || isnan(temp_22) || isnan(fah_22)) {
//        Serial.println("Failed to read from DHT22 sensor!");
//        return;
//    }

    valorPresion = analogRead(pinPSI);           // Lee valor de
presion de agua en la linea

    valorPresion = -((presionMaxPSI*(presionMax -
valorPresion)/(presionMax - presionMin)) - 100);

    client.add("Humedad DHT11", hum_11);        // Agrega los
valores medidos por los sensores a la plataforma Ubidots

    client.add("Temperatura DHT11", temp_11);
    client.add("Humedad DHT22", hum_22);
    client.add("Temperatura DHT22", temp_22);
    client.add("Presion", valorPresion);

// ***** LUCES LED *****

    float Valor_Led_B = client.get(DEVICE, VARIABLE_B);
// Obtiene el token de ubidots del switch del led AZUL y lee
el valor.

    if (Valor_Led_B != ERROR_VALUE){
// El valor de la variable puede ser 1 o 0 dependiendo si el
switch está encendido o apagado.

        Serial.print(F(">>>>>>>>> VALOR OBTENIDO POR EL LED:
"));

```

```

        Serial.println(Valor_Led_B);
    }else{
        Serial.println(F("Error getting Valor_Led_B"));
    }

    if (hour_>8 and hour_<21 and Valor_Led_B == 1){
// Si el valor del Switch es 1 y la hora corresponde al
// horario de encendido, se enciende la luz.
        digitalWrite(pinLED_B,HIGH);
        Serial.print("LED AZUL ON \n");
    }

    else if (hour_<8 or hour_>21){
// Si la hora no corresponde a la hora de encendido del led,
// entonces la luz se apaga.
        digitalWrite(pinLED_B,LOW);
        Serial.print("LED AZUL OFF \n");
    }

    float Test_Led_B = client.get(DEVICE, TEST_B);
// Obtiene el token de ubidots del switch del led AZUL (TEST)
// y lee el valor.

    if (Test_Led_B != ERROR_VALUE){
// El valor de la variable puede ser 1 o 0 dependiendo si el
// switch está encendido o apagado.
        Serial.print(F(">>>>>>>> VALOR OBTENIDO POR EL LED:
"));
        Serial.println(Test_Led_B);
    }else{

```

```

        Serial.println(F("Error getting Valor_Led_B"));
    }

    if (Test_Led_B == 1){ //
Enciende el Led de forma inmediata sin importar el estado del
ciclo.

        digitalWrite(pinLED_B,HIGH);

        Serial.print("LED AZUL ON \n");

    }

    else if (Test_Led_B == 0){ //
Apaga el Led de forma inmediata sin importar el estado del
ciclo.

        digitalWrite(pinLED_B,LOW);

        Serial.print("LED AZUL OFF \n");

    }

    float Valor_Led_R = client.get(DEVICE, VARIABLE_R);
// Obtiene el token de ubidots del switch del led ROJO y lee
el valor.

    if (Valor_Led_R != ERROR_VALUE){
// El valor de la variable puede ser 1 o 0 dependiendo si el
switch está encendido o apagado.

        Serial.print(F(">>>>>>> VALOR OBTENIDO POR EL LED:
"));

        Serial.println(Valor_Led_R);

    }else{

        Serial.println(F("Error getting Valor_Led_R"));

    }

```

```

if (hour_>8 and hour_<21 and Valor_Led_R == 1){
    digitalWrite(pinLED_R,HIGH);
    Serial.print("LED ROJO ON \n");
}
else if (hour_<8 or hour_>21){
    digitalWrite(pinLED_R,LOW);
    Serial.print("LED ROJO OFF \n");
}

float Test_Led_R = client.get(DEVICE, TEST_R);
// Obtiene el token de ubidots del switch del led ROJO (TEST)
y lee el valor.

if (Test_Led_R != ERROR_VALUE){
// El valor de la variable puede ser 1 o 0 dependiendo si el
switch está encendido o apagado.

    Serial.print(F(">>>>>>>> VALOR OBTENIDO POR EL LED:
"));
    Serial.println(Test_Led_R);
}else{
    Serial.println(F("Error getting Valor_Led_R"));
}

if (Test_Led_R == 1){ //
Enciende el Led de forma inmediata sin importar el estado del
ciclo.

    digitalWrite(pinLED_R,HIGH);
    Serial.print("LED ROJO ON \n");
}

```

```

        else if (Test_Led_R == 0){ //
Apaga el Led de forma inmediata sin importar el estado del
ciclo.

        digitalWrite(pinLED_R,LOW);

        Serial.print("LED ROJO OFF \n");

    }

//***** BOMBA *****/

        float Valor_bomba = client.get(DEVICE,BOMBA); //
Obtiene el token de ubidots del switch de la BOMBA y lee el
valor.

        if (i<10){ //
Se agrega un contador para que la bomba riego cada 10 ciclos
que corra el programa.

            i = i+1;

        }

        else if(i==10 and Valor_bomba == 1){ //
La bomba solo se enciende cuando se llega a 10 en el contador
y el switch en ubidots está encendido.

            i = 0;

            digitalWrite(pinBomba,HIGH);

            delay(5000);

            digitalWrite(pinBomba,LOW);

        }

//*****

```

```

    bool bufferSent = false;

    bufferSent = client.send(); // Will send data to a device
label that matches the device Id

    if (bufferSent) {
        // Do something if values were sent properly
        Serial.println("Values sent by the device");
    }

    float hif11 = dht11.computeHeatIndex(fah_11, hum_11);
    float hic11 = dht11.computeHeatIndex(temp_11, hum_11,
false);
    float hif22 = dht22.computeHeatIndex(fah_22, hum_22);
    float hic22 = dht22.computeHeatIndex(temp_22, hum_22,
false);

    Serial.print("Valores DHT11");
    Serial.print("\n Humidity: ");
    Serial.print(hum_11);
    Serial.print(" %\t");
    Serial.print("\n Temperature: ");
    Serial.print(temp_11);
    Serial.print(" °C ");
//    Serial.print(fah_11);
//    Serial.print(" *F\t");
    Serial.print("\n Heat index: ");

```

```

    Serial.print(hic11);
    Serial.print(" °C ");
//    Serial.print(hif);
//    Serial.println(" *F");

    Serial.print("\n\n Valores DHT22");
    Serial.print("\n Humidity: ");
    Serial.print(hum_22);
    Serial.print(" %\t");
    Serial.print("\n Temperature: ");
    Serial.print(temp_22);
    Serial.print(" °C ");
//    Serial.print(fah_11);
//    Serial.print(" *F\t");
    Serial.print("\n Heat index: ");
    Serial.print(hic22);
    Serial.print(" °C \n");
//    Serial.print(hif);
//    Serial.println(" *F");

    Serial.print("\n Presion: ");
    Serial.print(valorPresion);
    Serial.print(" psi \n \n");
}

```

```
delay(60000);
```

```
}
```