

**IMPLEMENTACION DE UN PROTOTIPO DE GRANJA VERTICAL PARA EL CONTROL Y MONITOREO DEL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS, HACIENDO ANALISIS DE IMÁGENES, FORMA, TAMAÑO Y COLOR UTILIZANDO INTERNET DE LAS COSAS – IBAGUE (TOLIMA)**



**DANIEL FERNANDO GARCIA BARRAGAN  
FRANCINED JUNIOR PEREZ RAMIREZ**

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECANICA, ELECTRONICA Y BIOMEDICA  
TRABAJO DE GRADO  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
IBAGUE (TOLIMA)  
2021**

**IMPLEMENTACION DE UN PROTOTIPO DE GRANJA VERTICAL PARA EL CONTROL Y MONITOREO DEL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS, HACIENDO ANALISIS DE IMÁGENES, FORMA, TAMAÑO Y COLOR UTILIZANDO INTERNET DE LAS COSAS – IBAGUE (TOLIMA)**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial  
para optar al título de: Ingeniero Electrónico**

**DANIEL FERNANDO GARCIA BARRAGAN  
FRANCINED JUNIOR PEREZ RAMIREZ**

**Director:**

**ING. JULIAN OSPINA VIÑA.  
Ing. Electrónico, MSc. Maestría en Electrónica.**

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECANICA, ELECTRONICA Y BIOMEDICA  
TRABAJO DE GRADO  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
IBAGUE (TOLIMA)  
2021**

## DEDICATORIA

*A Dios por habernos permitido llegar a este punto y habernos dado salud para lograr los objetivos que nos propusimos desde un principio durante nuestra carrera, así como también la sabiduría otorgada y la bondad infinita.*

*A nuestros padres por apoyarnos en todo momento, por sus consejos, sus valores, por su motivación constante que nos permiten ser unas personas de bien, pero más que nada por su gran amor y compromiso para con nosotros.*

*A nuestros amigos los cuales nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que, hasta ahora, seguimos siendo amigos.*

*Finalmente, a nuestros maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestros caminos universitarios, y que nos ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de nuestro trabajo y de muchas materias impartidas por ellos.*

(FRACINED JUNIOR PEREZ RAMIREZ- DANIEL FERNANDO GARCIA BARRAGAN)

## AGRADECIMIENTOS

*Inicialmente agradecemos a Dios y a todas las personas que de una u otra forma, nos han acompañado en este camino de aprendizaje, afortunadamente han sido numerosas. De igual manera queremos agradecer al ingeniero Julián Ospina Viña que en su función de director nos ha acompañado y orientado en este trabajo que para muchos tenía un enfoque diferente a la electrónica pero que con su confianza y sus conocimientos lo hemos podido sacar adelante.*

*A nuestros padres por habernos apoyado y dado su comprensión durante todos estos años y los diferentes profesores que nos condujeron es este proceso abriéndonos los ojos al mar de conocimientos que nos presenta la vida.*

(FRACINED JUNIOR PEREZ RAMIREZ- DANIEL FERNANDO GARCIA BARRAGAN)

## TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO .....	8
SIGLAS.....	9
RESUMEN.....	10
1. INTRODUCCIÓN .....	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
3. OBJETIVOS .....	13
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	13
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
4. MARCO TEORICO .....	14
4.1. AGRICULTURA .....	14
4.2. GRANJAS VERTICALES.....	14
4.3. HIDROPONIA .....	15
4.3.2. Ventajas.....	18
4.3.3. Desventajas .....	18
4.3.4. Solución nutritiva.....	18
4.4. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL .....	19
Raspberry pi.....	19
4.5. TRANSFORMACIÓN FOTOQUIMICA.....	20
4.5.1. Fase lumínica.....	20
4.5.2. Fase oscura .....	21
4.5.3. Colores en las plantas.....	22
5. JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES.....	23
6. METODOLOGIA .....	26
6.1. UBICACIÓN.....	26
6.2. ESQUEMA METODOLOGICO - ETAPAS DEL TRABAJO.....	27
6.3. ETAPA 1. CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA HIDROPÓNICA.....	28
6.4. ETAPA 2. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO .....	31
7. RESULTADOS Y ANALISIS .....	35
7.1. ETAPA 1. CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA HIDROPÓNICA.....	35
7.2. ETAPA 2. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO .....	39
7.3. ETAPA 3. PUESTA EN MARCHA DEL PROTOTIPO DE GRANJA VERTICAL.....	43

8.	CONCLUSIONES .....	50
9.	RECOMENDACIONES .....	51
10.	BIBLIOGRAFIA .....	52
11.	ANEXOS .....	56

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de una granja Vertical y logo informativo de la empresa (En un futuro no muy lejano se espera que el consumidor se convierta entonces en el productor).....	15
<b>Figura 2.</b> Esquema de la técnica de Film Nutritivo (NFT).....	16
<b>Figura 3.</b> Esquema de cultivo de aguas profundas (DWC) .....	17
<b>Figura 4.</b> Esquema de cultivo de lechos de sustrato.....	17
<b>Figura 5.</b> Esquema de cultivo de Aeropónica.....	18
<b>Figura 6.</b> Ilustraciones de la Raspberry Pi.....	19
<b>Figura 7.</b> Ilustraciones de la Fotosíntesis.....	20
<b>Figura 8.</b> Ilustraciones de la Fase Luminosa de la hoja .....	21
<b>Figura 9.</b> Ilustraciones de la Fase Oscura de la hoja .....	21
<b>Figura 10.</b> Ilustraciones de Iluminación con colores.....	22
<b>Figura 11.</b> Ubicación. ....	26
<b>Figura 12.</b> Esquema metodológico.....	27
<b>Figura 13.</b> Flujo de agua en el montaje hidropónico. ....	30
<b>Figura 14.</b> Sustrato utilizado.....	35
<b>Figura 15.</b> Germinación de semillas.....	35
<b>Figura 16.</b> Diseño en AutoCAD de la granja vertical.....	36
<b>Figura 17.</b> Estructura del NFT desarrollado. ....	36
<b>Figura 18.</b> Bomba sumergible utilizada.....	37
<b>Figura 19.</b> Trasplante de germinador a canastillas para cultivos NFT. ....	38
<b>Figura 20.</b> Trasplante de plántulas a montaje hidropónico NFT.....	38
<b>Figura 21.</b> Estructura del cultivo hidropónico. ....	38
<b>Figura 22.</b> Diseño de tarjeta principal.....	39
<b>Figura 23.</b> Conexión electrónica sistema de control y monitoreo. ....	40
<b>Figura 24.</b> Sensor DTH22. ....	40
<b>Figura 25.</b> Raspberry pi.....	40
<b>Figura 26.</b> Módulo RTC I2C DS1307. ....	40
<b>Figura 27.</b> Evidencia de aplicación con lecturas de Temperatura y humedad en tiempo real. ....	41
<b>Figura 28.</b> Led reflector Jeta RGB 30W. ....	41
<b>Figura 29.</b> Diodo Led Emisor.....	40
<b>Figura 30.</b> Evidencia de aplicación con la configuración para el cambio de colores. ....	42
<b>Figura 31.</b> Cámara QCAM 6000 WEBCAM FULL HD 1080P. ....	43
<b>Figura 32.</b> Módulo RELE de 2 canales.....	43
<b>Figura 33.</b> Intento fallido de montaje hidropónico.....	44
<b>Figura 34.</b> Evidencia de montaje hidropónico con luz artificial de colores programados.....	45
<b>Figura 35.</b> Monitoreo fotográfico morfológico y radio. ....	45
<b>Figura 36.</b> Monitoreo fotográfico valores RGB. ....	46
<b>Figura 37.</b> Temperatura máxima y mínima por días de la puesta en marcha del sistema .....	47
<b>Figura 38.</b> Registro de Temperatura máxima y mínima por días de la puesta en marcha del sistema (Sensores propios de Evaluación) .....	47
<b>Figura 39.</b> Humedad máxima, media y mínima por semana durante la etapa productiva.....	48
<b>Figura 40.</b> Humedad máxima, media y mínima por semana durante la etapa productiva.....	48

**Figura 41.** Lecturas de radio e identificación morfológica de monitoreo fotográfico. ....66

### LISTADO DE TABLAS

**Tabla 1:** Tabla de Antecedentes, Estudios base para tomar decisiones. ....24

**Tabla 2.** Horario de programación iluminación artificial .....32

## GLOSARIO

<b>ACTUADOR</b>	<p>Un dispositivo inherentemente mecánico proporciona fuerza para mover otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de la Presión neumática, la presión hidráulica, y la fuerza motriz eléctrica, de acuerdo, al origen de la fuerza el actuador se denomina como “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”(Vildósola C, 2017).</p>
<b>NodeMCU</b>	<p>Es un kit de desarrollo de código abierto basado en el popular chip ESP8266 que utiliza el lenguaje de programación LUA para crear un ambiente de desarrollo propicio, para aplicaciones que requiera conectividad Wifi de manera rápida (Robótica, 2020).</p>
<b>ESP8266</b>	<p>Es un chip altamente integrado que ofrece una solución completa y autónoma de redes Wifi lo que permite alojar la aplicación o servir como puente entre internet y un microcontrolador (Robótica, 2020).</p>
<b>Raspberry</b>	<p>La Raspberry Pi es una computadora de bajo costo y con un tamaño compacto, del porte de una tarjeta de crédito, puede ser conectada a un monitor de computador o un TV, y usarse con un mouse y teclado estándar (Robótica, 2020)..</p>



## SIGLAS

---

CPU	Unidad Central de Procesamiento.
-----	----------------------------------

---

RAM	Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio).
-----	---

---

EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (ROM programable borrable).
--------	---

---

IOT	Internet Of Things
-----	--------------------

---

NFT	Nutrient Film Technique
-----	-------------------------

---

NAPD	Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato
------	---

---

## RESUMEN

El aumento de población en el mundo afecta diferentes áreas como la seguridad alimentaria, la ocupación de territorio, y por tanto hace obligatorio modificar las dinámicas de comportamiento en los seres humanos, el problema se puede observar desde dos puntos de vista, el primero corresponde a la unión de la seguridad alimentaria y los espacios urbanos reducidos y el segundo desde la implementación e integración tecnológica.

El objetivo de esta investigación fue programar un sistema de monitoreo, las variables de temperatura ambiente y humedad relativa almacenadas en una plataforma web abierta y se registró de manera fotográfica el crecimiento de una planta sometida a unas horas de luz de color específico con cantidades predeterminadas en un prototipo construido por el método hidropónico NFT (Nutrient Film Technic) y con un cultivo de lechugas Simpson. Todo esto con el fin de realizar una implementación de la electrónica buscando la tecnificación de manera sencilla y asequible. Se obtuvieron resultados favorables en cuanto al manejo del sistema implementado, pero se requiere estudios más profundos para pensar que un agricultor lo puede tener a su servicio pues es amigable con el medio ambiente porque al aumentar el control existe ahorro de agua, progreso de la planta y a su vez control sobre el uso excesivo de agro-insumos.

**Palabras clave:** NFT, Sensores, automatizado, control, crecimiento, plantas, beneficios

## ABSTRACT

The increase in population in the world affects different areas such as food security, occupation of territory, and food security, therefore it makes it mandatory to modify the dynamics of behavior in human beings, the problem can be observed from two points of view, the first corresponds to the union of food security and reduced urban spaces and the second from the implementation and technological integration.

The objective of this research was to program a monitoring system for the variables of ambient temperature and relative humidity stored in an open web platform and the growth of a plant subjected to a few hours of light of specific color with predetermined amounts in a photographic manner was recorded. prototype built by the hydroponic method NFT (Nutrient Film Technic) and with a culture of Sampson lettuces. All this in order to carry out an implementation of electronics looking for technification in a simple and affordable way. Favorable results were obtained regarding the management of the implemented system but more in-depth studies are required to think that a farmer can have it at his service since it is friendly to the environment because by increasing the control there is savings in water, progress of the plant and in turn, control over the excessive use of agro-inputs.

**Keywords:** NFT, Sensors, automated, control, growth, plants, benefits

## 1. INTRODUCCIÓN

El desafío que tiene la sociedad moderna es el vivir y mantener un mundo sostenible para las generaciones futuras; dicho de otro modo, como sociedad tenemos que procurar un balance entre nuestras necesidades económicas, sociales y energéticas con respecto a los recursos que tiene nuestro planeta. En este aspecto es muy importante el efecto de la colonización humana, que, aunque comenzó hace 50 mil años, siempre nos hemos caracterizado como proceso de urbanización rápida teniendo en cuenta que hay una pérdida de tierra útil para la siembra. Se estima que en la zona urbana en países que se encuentran en vía de desarrollo, crecerá de 300 mil km<sup>2</sup> en el año 2000 a 1'200 mil km<sup>2</sup> en el año 2050 (Gonzalez, 2017)

*“A mediados de la década pasada se comenzó a hablar de las granjas verticales como una innovación tecnológica potencial que tendría la capacidad de aumentar exponencialmente la producción de alimentos por hectárea de tierra. Hasta ese momento los principales caminos para aumentar la producción eran la ingeniería genética y el procesamiento industrial con aditivos y químicos. El aumento en la producción prometido por las granjas verticales implicaría poder brindarle seguridad alimenticia a la creciente población mundial que se espera que para el año 2050 alcance por lo menos 9 mil millones de personas. El impacto positivo de las granjas verticales no sería únicamente en la seguridad alimentaria, sino que también son una fuente de esperanza para las pretensiones ambientales y de freno al cambio climático. Quizás sean la mayor fuente de esperanza para la preservación de muchos ecosistemas. Esto porque las granjas verticales consumen mucho menos agua y fertilizantes por kg de producto que las granjas actuales; porque podrían estar localizadas cerca de las ciudades, lo que reduciría la contaminación asociada al transporte; y porque al proveer opciones para detener la expansión de la frontera agrícola se podría preservar los bosques y selvas de nuestro planeta (Adenaeuer, 2016) (The Vertical Farm, 2014)”*

Actualmente los agricultores de todo tipo de cultivos cuentan con muy poca tecnificación; esto se puede verificar con visitas en campo y claramente se evidencia que no cuentan con sistemas tecnológicos desde algo básico como una conexión a internet. Se identifica, en la mayoría de los casos, los encargados de tomar las decisiones son personas sin alguna experiencia en estadística, que dicen que los ajustes se deben realizar todo con base a su percepción. Para los productores de plantas específicamente como las hortalizas cada vez es más difícil hacerle frente a las adversidades para sacar sus cultivos adelante, por los costos como por ejemplo el del sistema de riego tradicional, el uso desmedido de pesticidas para controlar plagas y enfermedades, gasto elevado de fertilizantes y escaso crecimiento óptimo de las plantas lo cual no nos hace competitivos en el mercado, lo que afecta directamente en la disminución de sus ingresos y oportunidades (CARDONA & LOZANO, 2017).

En el presente trabajo se presenta la programación y codificación de un sistema para el monitoreo las variables como temperatura ambiente y humedad relativa almacenadas en una plataforma web abierta y se registró de manera fotográfica el crecimiento de una planta sometida a unas horas de luz de color específico con cantidades predeterminadas en un prototipo construido por el método hidropónico NFT (Nutrient Film Technic) y con un cultivo de lechugas Sampson. Todo esto con el fin de realizar una implementación de la electrónica buscando la tecnificación de manera sencilla y asequible. Se obtuvieron resultados favorables en cuanto al manejo del sistema implementado, pero se requiere estudios más profundos para pensar que un agricultor lo puede tener a su servicio, y pueda ser de ayuda con el medio ambiente porque al aumentar el control existe una reducción de consumo de agua, progreso de la planta y a su vez control sobre el uso excesivo de agro-insumos.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

LA FAO en los últimos años, ha señalado que las pautas de aumento de la producción agrícola en el mundo y los rendimientos de los cultivos han sido decadentes. Esto ha generado temores de que a nivel mundial no se va a incrementar lo suficiente la producción de alimentos y otros productos para asegurar una alimentación adecuada de la población futura. El desarrollo agrícola es uno de los medios más importantes para poner fin a la pobreza extrema, por eso la agricultura marca un aspecto primordial en la historia del ser humano dando paso a la revolución del individuo y cambiando su instinto por un método eficiente de producir alimentos (Guillermo, Díaz, & Vargas, 2004). Según Velasco Cruz (2017) a través de los últimos años, en los métodos productivos en la mecanización agrícola se han substituido por las máquinas las tareas que se hacían con individuos. Sin embargo, en la actualidad se requiere optimizar los recursos agua, suelo y clima los cuales día tras día se ven más deteriorados por ello, para el año 2050 Banco Mundial obliga al sistema agrícola a producir un 50 % más de alimentos para abastecer a los 9.000 millones de personas que habitarán el planeta tierra, por eso se buscan alternativas que utilicen eficientemente los recursos y cuiden el medioambiente.

La actividad agrícola tradicional en Colombia ha surgido de manera notable tanto que se podría pensar como un agente influyente, Colombia ha sido un país históricamente reconocido de economía agrícola, su extensión de suelo, sus diferentes pisos térmicos y la facilitación de condiciones climáticas, le han permitido obtener dicha condecoración. (Castro, 2017). Por esto Colombia ha venido trabajando mucho en el tema de automatización. Todavía, el país no consigue el nivel de los países de primer mundo, pero ha ido avanzando a pasos pequeños sobre todo en sectores como el petrolero y el minero. También la industria de alimentos y bebidas, más sin embargo, existen sectores relegados como el sector agrícola, ya que este tiene mucho camino por recorrer, investigar e implementar (Solano, 2013).

Actualmente los agricultores cuentan con muy poca tecnificación; esto se comprueba mediante visitas de campo y claramente se percatan que no cuentan con sistemas electrónicos de supervisión y control. Se comprueba que, en la mayoría de los casos, los encargados de tomar las decisiones son personas con experiencia que dicen que ajustes se deben realizar todo con base a su percepción. Para los productores de plantas específicamente las hortalizas cada vez es más difícil hacerle frente a las adversidades para sacar sus cultivos adelante, por los gastos del sistema de riego tradicional, el uso de pesticidas para controlar plagas y enfermedades, gasto elevado de fertilizantes y crecimiento escaso de las plantas lo cual no los hace competitivos en el mercado, lo que deriva en disminución de sus ingresos y oportunidades (CARDONA & LOZANO, 2017). Claramente se tienen problemas por exceso *“Los cultivadores de cereales, agremiados en Fenalce, dijeron que hay retrasos en la siembra por exceso de aguas en los lotes impidiendo las labores de preparación y fertilización de los suelos. Las afectaciones se reportan en los departamentos del Tolima, Huila y valle del cauca”* (El Tiempo, 2017) y por defecto *“De acuerdo con la asociación de hortofrutícola de Colombia, Asohofrucol, se estima que en siete departamentos del país hay afectaciones en los diferentes cultivos de frutas, hortalizas y aromáticas, como consecuencia del verano.”* (Asociaci, 2013).

El presente proyecto plantea una alternativa de solución a esta problemática mediante la elaboración de un sistema automatizado basado en medición de Temperatura y Humedad relativa

del ambiente y con ayuda de una Raspberry pi, se realiza la toma fotos las cuales se envían a una base de datos de manera diaria para tener mayor control del desarrollo de la planta y así mismo, dar soluciones oportunas que lleven al agricultor colombiano a ser competitivo.

La elección de la variedad de lechuga Simpson, se ha hecho teniendo en cuenta que se adapta más fácil a los climas de nuestro país, se puede cultivar todo el año, así mismo es una variedad muy conocida y por lo tanto es mas comercial y de fácil aceptación por la gente del común.

Se escoge la técnica de NFT por que se adapta lo que quiere hacer y es recircular una solución nutritiva en la que el uso del agua va ser menor que en un cultivo convencional, a demás con este tipo de cultivo se puede realizar una siembra o desarrollo del cultivo vertical, ya que a futuro o en el mismo presente el área de cultivos cada vez se reduce más.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Implementar un prototipo de granja vertical automatizado mediante hardware y software libre, usando tecnología IoT con la plataforma Blynk y la placa embebida RaspberryPi, haciendo uso de una cámara HD para la recolección y análisis de imágenes, formas y colores, para el control de variables como humedad, temperatura e iluminación con diferentes espectros de luz para mejorar los tiempos de crecimientos de las plantas cultivadas, todo esto es posible mediante el uso de un aplicativo móvil.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Diseñar la estructura de granja vertical empleando herramienta de software CAD “Diseño Asistido Computadora”.
- Generar el algoritmo y código fuente para los sistemas electrónicos embebidos Raspberry pi y NodeMcu.
- Calibrar y puesta en funcionamiento del prototipo de granja vertical.
- Analizar y evaluar las diferentes variables como son las imágenes, lectura de sensores, almacenados en Firebase.

## 4. MARCO TEORICO

### 4.1. AGRICULTURA

Según Leiva (2014) la Agricultura nos acompaña desde el período neolítico, creando así el desarrollo de las grandes o prácticamente todas culturas de la antigüedad. De hecho, no se puede separar el origen de las civilizaciones del inicio de la Agricultura, la cual busca crear mejores técnicas al pasar de los tiempos. La Agricultura participo en el desarrollo de reconocidos imperios de la antigüedad en el sentido político, también hizo parte importante del desarrollo de la religiosidad. Por la historia se conocieron que los mitos religiosos están estrechamente ligados a los ciclos de los cultivos, de aquí se dio lugar a deidades famosas como Osiris y Ceres. También asimismo dio lugar a ceremonias en las que se convocaban a toda la comunidad como lo son las ceremonias que se desarrollaban en los solsticios y equinoccios y que en muchos casos estamos repitiendo hoy, inconscientes de sus sentidos originales y con un sabor más comercial (Sajuria, 2014).

Durante los últimos 20 años se han modificado cuantiosamente las perspectivas de análisis con las que se examinaban las relaciones entre la agricultura y el desarrollo económico. De hecho, la opinión dominante en los años 50 y 60 descansaba sobre la proposición (BEJARANO, 1998) por ende La agricultura es una de las principales fuentes de ingresos económicos de algunos países ya que impulsa el consumo interno de un país, el desarrollo económico del mismo por ende es una actividad económica que se encuentra dentro del sector primario, y en ella se encierran los actos tendientes a modificar el medio ambiente, generando una mayor productividad del suelo y obteniendo alimentos tanto para el consumo directo o para su posterior transformación industrial generando valor agregado (Mena, 2017).

### 4.2. GRANJAS VERTICALES

Las granjas verticales son las granjas modernas las cuales han tenido mucho reconocimiento en ámbitos de sostenibilidad por lo general se ubican en edificios o rascacielos los cuales se acondicionan y se desarrolla el establecimiento de los cultivos, ya sea como agricultura o acuicultura dentro de estos lugares. El concepto de granjas verticales se ha investigado por décadas, estos últimos años se han mostrado de una manera viable (Adenaeuer, 2016). Este término se ha vuelto atractivo a los ojos empresariales ya que están germinando cosechas de productos en menor tiempo por ejemplo lo que normalmente toman 30 días en el campo en esta técnica se elaboran en 16 días, utilizando 95% menos agua, 50% menos fertilizante, cero pesticidas, herbicidas y fungicidas o de hacerlo se hace controlado y orgánico (Gonzalez, 2017).

Según González (2017) empresas en los Estados Unidos, están optando por la agricultura en granjas verticales por ejemplo empresas como **AeroFarms y FarmedHere** en Illinois, **Vertical Harvest en Wyoming, Green Spirit Farms** en Michigan y **Alegria Fresh** en California son ejemplo de esto. Ya que el cambio de estaciones no afecta el producto esto lo hace una ventaja frente a la agricultura convencional.

En la **Figura 1** se enseña un esquema en el cual se pueden ver los elementos necesarios para una granja vertical. Estos son: energías renovables. Teniendo granjas verticales estas contribuyen a que la población supla todas sus necesidades alimenticias pues el consumo responsable, las infraestructuras acondicionadas con tecnología de punta; utilizan luz artificial, control climatológico y redes sensoriales.



**Figura 1.** Esquema de una granja Vertical y logo informativo de la empresa (En un futuro no muy lejano se espera que el consumidor se convierta entonces en el productor).

*Fuente: Agrotendencia (2012)*

### **Agricultura vertical**

La agricultura vertical está directamente relacionada con las granjas verticales, ya que en estas es donde se plasma el concepto de agricultura. Este modelo se desarrolla en un entorno totalmente urbano, en algunos casos invernaderos de alta tecnología. La agricultura vertical hasta el momento es una forma efectiva de poder llevar la actividad agrícola al máximo porque aquí se usaría el mínimo consumo de agua, lo que llevaría a disminuir las explotaciones indiscriminadas del suelo y se utilizaría luz artificial por lo que, se podrá tener productos: frescos, libres de pesticidas, fungicidas o herbicidas, y también en comparación con la agricultura convencional, en estos sistemas se reducen las pérdidas de alimento y altos costos al consumidor ya que se reduce la distancia entre el vendedor y el consumidor (Gonzalez, 2017). A continuación, se presentan la de técnica de cultivo considerada dentro del esquema de agricultura vertical: **LA HIDROPONÍA**

### **4.3. HIDROPONIA**

Es una modalidad de cultivo que no es moderna, desde la antigüedad hubo civilizaciones en las que la usaron como medio de subsistencias según Barbados en el (2005) no obstante se ha presentado como un desarrollo científico y tecnológico en el campo agrícola durante los últimos 200 años (Somerville, Cohen, Pantanella, Stankus, & Lovatelli, 2014).

La palabra hidroponía se deriva del griego HIDRO (agua) y PONOS (labor o trabajo) lo que significa trabajo en agua. Sin embargo, en la actualidad se ha utilizado para referirse al cultivo sin suelo (Esteban, 2018), ya que puede proveerse con algún tipo de material inerte, que permitirá alojar las raíces, brindar soporte y almacenar humedad en la que se aplica diferentes técnicas de fijación para que las raíces se encuentren en contacto con una solución nutritiva que provea los nutrientes los cuales son necesarios para el crecimiento de la planta.

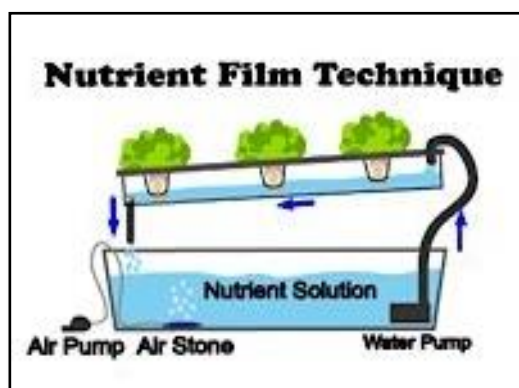
Según Lara (1999) una solución nutritiva contiene agua con oxígeno y los nutrimentos esenciales en forma iónica, la influencia que tiene la solución nutritiva en la producción se da gracias a relación que tienen los aniones y los cationes. No existe una solución nutritiva que sea apropiada para cualquier circunstancia, ya que las condiciones del ambiente, las características genéticas y la etapa de desarrollo de la planta son decisorias.

#### 4.3.1. Tipos de sistemas hidropónicos

En los cultivos hidropónicos se emplean diferentes técnicas para la fijación de las plantas, las más utilizadas son Técnica de Películas Nutrientes ( NFT), Cultivo de Aguas Profundas ( DWC), Cultivo de Lechos de Sustratos y Cultivos aeropónicos.

- Técnica de Películas Nutrientes (NFT):

Los cultivos NFT (Figura 2) son un método hidropónico horizontales y verticales, consiste en tubos atravesados por una corriente poco profunda de agua rica en nutrientes, las cual se mantiene siempre en contacto directo con las raíces de las plantas (Carrasco & Izquiero, 1996; Zárate Aquino, 2014).



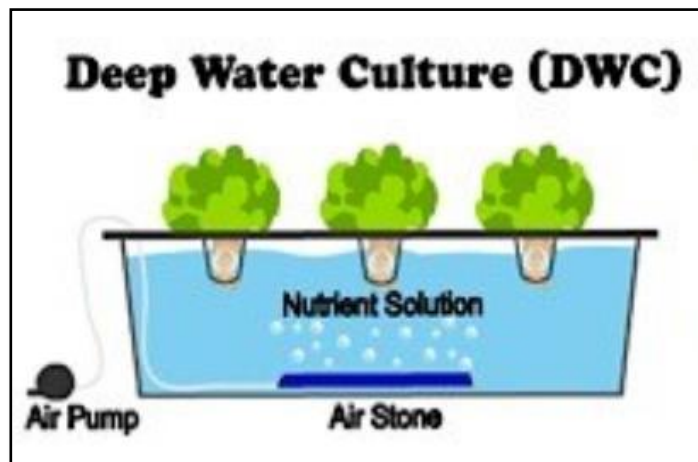
**Figura 2.** Esquema de la técnica de Film Nutritivo (NFT)

*Fuente: Marques (2020)*

- Cultivo de Aguas Profundas (por sus siglas en ingles DWC)

Los cultivos de aguas profundas o también llamados de “camas flotantes” (Figura 3), se basa en balsas flotantes de polietileno o pvc con perforaciones en las que se ubican plantas y sus raíces todo el tiempo están colgando en el agua nutritiva de manera libre. Lo cual oxigena el agua, se utiliza una bomba la cual bombea burbujas en la solución nutritiva. Las plantas se plantan generalmente en semilleros o macetas perforadas con algunos medios para acomodar las plantas, por lo general de arcilla, espuma fenólica o cáscara de coco (Castañeda, 1997; Resh, 2001; Zárate Aquino, 2014)

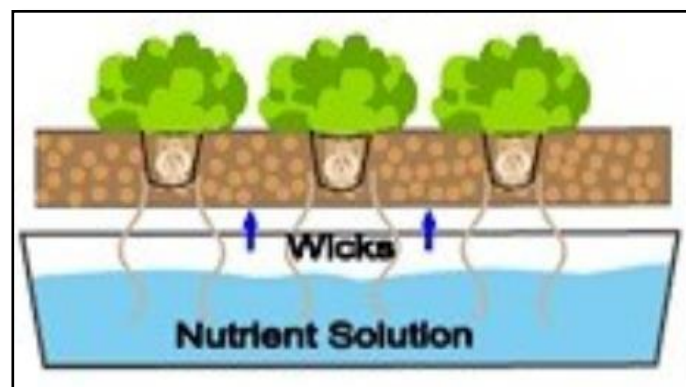




**Figura 3.** Esquema de cultivo de aguas profundas (DWC)  
Fuente: Marques (2020)

- Cultivo de Lechos de Sustratos

Este modelo tiene similitudes con el cultivo de aguas profundas en las estructuras, excepto que aquí los lechos aparecen enteramente llenos de algún tipo de material inerte en los cuales se sostiene la planta Figura 4, elemento que brindará una serie de beneficios al sistema los cultivos se desarrollan en un ambiente óptimo donde reciben agua, oxígeno y todos los nutrientes que necesitan. En esta parte un sustrato en el que están sumergidas las raíces, en ocasiones sirve como espacio para desarrollar comunidades bacterianas benéficas para el cultivo; pero su elevado costo y accesibilidad hace que se deje de considerar en diferentes estudios (Barbado, 2005; Huerta et al., 2018).

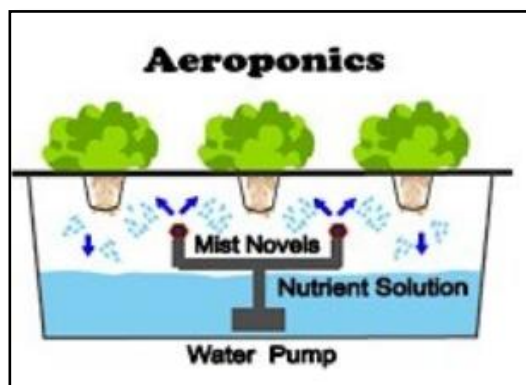


**Figura 4.** Esquema de cultivo de lechos de sustrato  
Fuente: Marques (2020)

- Cultivo Aeropónicos

La aeroponía es una técnica de cultivo para el cual las raíces de las plantas se encuentran suspendidas en el aire a las que se le administra nutrientes (Gonzalez, 2017). Es el proceso de Cultivar plantas en entorno de niebla sin hacer uso de suelo o sumergiendo la raíz de manera parcial o total en alguna solución nutritiva, Sino que en un ambiente cerrado o semicerrado se crea un espacio con alta humedad relativa y con ayuda de nebulizadores o micro aspersores sobre las

raíces de las plantas creando rendimientos asombrosos pues una planta de lechuga en hidroponía crece en 40 días y en esta técnica lo hará en 28 días. (Martinez, 2013).



**Figura 5.** Esquema de cultivo de Aeropónica  
*Fuente: Marques (2020)*

#### 4.3.2. Ventajas

Los sistemas hidropónicos poseen una eficiencia en el uso del agua y requieren de poco espacio para el crecimiento de las raíces (Regalado Arreola, 2013). Existen muchas ventajas en este campo de la producción vegetal; esta técnica logra rendimientos valiosos por unidad de área cultivada y elevada producción por planta, lográndose mejores y más cosechas por año (Resh, 2001). Además, Zárate Aquino (2014) destaca que no depende de fenómenos meteorológicos, permite cultivar la misma especie de planta ciclo tras ciclo, presenta un drenaje controlado en el sistema asimismo se mantiene la humedad de forma uniforme y evita el uso de maquinaria agrícola, se crea la posibilidad de automatizar y en efecto logra productos de mayor calidad, celeridad en los tiempos de cosecha, control en la limpieza e higiene de las instalaciones por tanto no requiere mano de obra calificada sino una capacitación oportuna.

#### 4.3.3. Desventajas

En las desventajas las cuales afectan a este sistema de producción son la inversión inicial, se necesita de conocimientos especializados para poder poner en marcha el proyecto, las enfermedades y plagas pueden ser rápidamente esparcidas por todo el cultivo por medio de la solución nutritiva y requiere de mantenimientos continuos y cuidado en las instalaciones; usualmente se tiene descargas de aguas residuales cargadas con sales a suelos externos. Además, no está disponible para todas las plantas (Huerta et al., 2018; Zárate Aquino, 2014).

#### 4.3.4. Solución nutritiva

La solución nutritiva se compone de agua con oxígeno y los macros o micronutrientes esenciales en forma iónica. Algunos compuestos orgánicos como los quelatos de hierro forman parte de la solución por ello se recomienda el análisis químico del agua como segmento fundamental para la formulación de soluciones nutritivas. El análisis químico del agua permite identificar diferentes aspectos como la concentración de nutrientes, presencia de iones específicos tóxicos, dureza, temperatura pH y Conductividad Eléctrica del agua, entre otros. En cultivos caseros, es necesario que por lo menos se realice el análisis de pH. Estos factores permiten ajustar las soluciones nutritivas según sea necesario (Zárate Aquino, 2014).

#### 4.4. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

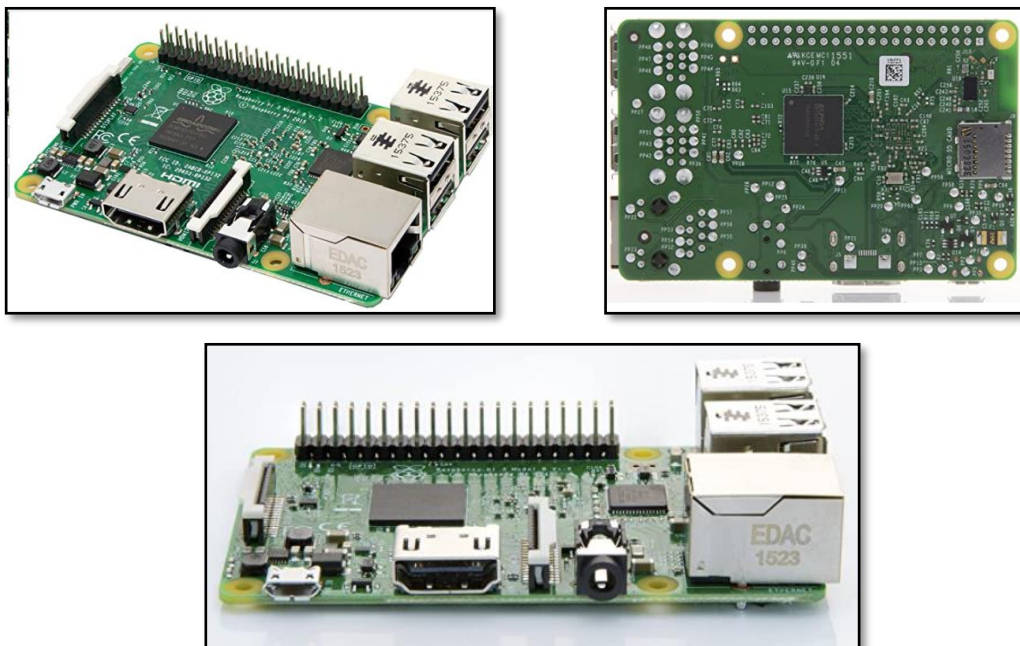
La automatización nos permite realizar tareas de forma programada o como su nombre lo indica automática, puede ser producción, vigilancia o ejecución, las cuales son realizadas habitualmente por operadores humanos. Lo que genera mayor rapidez en la ejecución de muchas tareas y nos permite tener un control a distancia.

##### Raspberry pi

Es un computador muy pequeño casi del tamaño de una billetera de bajo costo, desarrollado en Inglaterra. Raspberry Pi en 2006 y Ramón Santamaria "RAYSAN" con el objetivo de estimular la enseñanza de la computación en los niños a temprana edad.

Radica en una placa base en la que están instalados el procesador, el chip gráfico y la RAM. Es capaz de realizar cosas extraordinarias, pueden ser usados por electrónicos, procesos de textos y juegos. La frecuencia de funcionamiento del procesador central es de 700 MHz, un procesador (GPU) videoCore IV. El diseño hasta el momento no incluye disco duro ni unidad de estado sólido, en este caso trabaja con una tarjeta SD.

Además, los más famosos Raspberry Pi trabajan con un sistema Android, Firefox OS, Raspbian, OpenWebOS o Unix. Además se le puede cargar una interfaz gráfica similar a Windows, por lo que la curva de aprendizaje del sistema no será demasiado difícil (Ayala, Humberto, Mendoza, & Loberty, 2015).



**Figura 6.** Ilustraciones de la Raspberry Pi  
*Fuente: Pagina web Amazon (2021)*

## 4.5. TRANSFORMACIÓN FOTOQUÍMICA

La fotosíntesis es el proceso físico - químico por el cual las plantas, algas y bacterias fotosintéticas manipulan energía lumínica para transportar la síntesis de compuestos orgánicos. La fotosíntesis consta de dos o fases:

- Una primera fase dependiente de la luz y conocida como “fotoquímica” o “reacción de Hill”. Es esencial ya que en esta fase la planta absorbe la energía lumínica de las longitudes de onda del espectro visible.
- La segunda fase consiste en reacciones oscuras o si bien en la fijación del dióxido de carbono o Ciclo de Calvin. Aquí será donde en el estroma convierte el  $\text{CO}_2$  en hidratos de carbono.

Dentro de estas dos fases se despliegan cuatro etapas claves: absorción de la luz, separación de carga eléctrica, fijación de carbono y evolución del oxígeno, observar la Figura 7. También cabe destacar que la llamada función clorofílica, constituye la correlación base del anabolismo autótrofo, mediante el cual los organismos vivos transforman la energía del sol en energía química que almacenan en forma de adenosín trifosfato, ATP (Adenosine triphosphate) (RAMOS GONZALIAS, 2015).

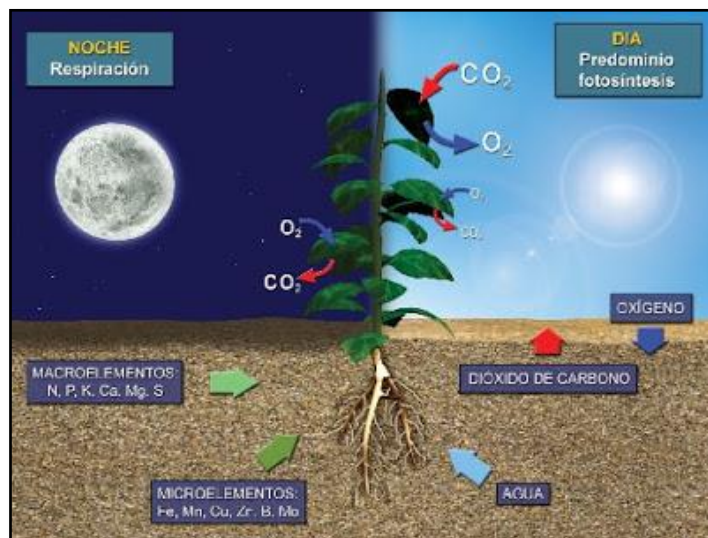
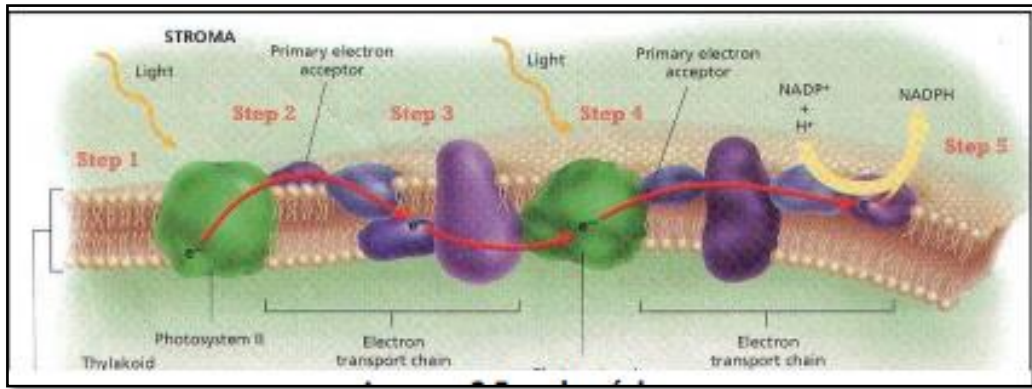


Figura 7. Ilustraciones de la Fotosíntesis

Fuente: (Biología, 2016)

### 4.5.1. Fase lumínica

Fosforilación o bien conocida como fase luminosa, se presenta con un efecto fotoeléctrico en donde la luz que incide (fotones) es impregnada por la clorofila a la que se excita, provocando que está libere electrones cargándose de manera positiva (Etapa absorción). Cabe aclarar que por cada fotón de luz se libera un electrón. Paralelamente los fotones provocan el rompimiento de la molécula de agua (proceso conocido como fotólisis) en dos subproductos, oxígeno que se libera al medio, y protones ( $\text{H}^+$ ) Ver la Figura 8 donde encontramos la fase de manera gráfica (RAMOS GONZALIAS, 2015).



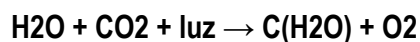
**Figura 8.** Ilustraciones de la Fase Luminosa de la hoja  
*Fuente:* (Benítez, 2015)

Los electrones liberados por la clorofila activada son atraídos por los protones a través de unos transportadores de manera que se forma hidrogeno molecular que se utiliza para que la molécula de Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato molécula (NADP)se reduzca a nicotinamida adenina dinucleiótido fosfato dihidrogenado, NADPH2 del (Etapa separación de carga eléctrica la cual es en la que se centra nuestro interés).

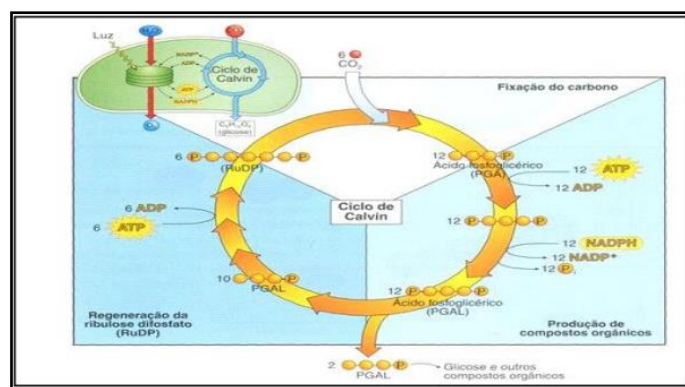
#### 4.5.2. Fase oscura

La fase oscura (Ver **Figura 10**) tiene como finalidad producir las moléculas energéticas como la glucosa. Este proceso inicia con de una molécula de CO<sub>2</sub> que se adquiere a través de las estomas, existe una molécula llamada rubisco (molécula más abundante de la tierra), la cual captura el CO<sub>2</sub> que ingresa a los cloroplastos y permite que se trasforme después de diversos ciclos en moléculas orgánicas importantes biológicamente hablando. El ATP formado en la fase lumínica es utilizado en la transformación de moléculas simples a complejas dentro de las membranas de los tilacoides (Benítez, 2015).

En la Ecuación 1 se puede interpretar de la siguiente manera; Mediante la reacción de la luz más la participación de agua y dióxido de carbono se produce carbohidrato y oxígeno, lo que reduce finalmente al proceso de la fotosíntesis(RAMOS GONZALIAS, 2015).



**Ecuación (1)**



**Figura 9.** Ilustraciones de la Fase Oscura de la hoja  
*Fuente:* (Benítez, 2015).

### 4.5.3. Colores en las plantas

Según Basterrechea (2017) la suma de colores que compone la luz que tocan a la planta nos hace pensar en calidad. La luz visible es radiación electromagnética que podemos ver. El color de la luz depende de su longitud de onda, medida en nanómetros (nm, una millonésima de un metro). A continuación, se muestra el color de luz y el beneficio que tiene sobre los cultivos:

**Blanco:** Las plantas necesitan de luz para hacer la fotosíntesis y así alimentarse, crecer y desarrollarse. Emplean la luz solar para elaborar azúcares que se convierten en los químicos que usan para alimentarse. Mientras más rápida sea el proceso de la fotosíntesis en las plantas estas crecerán más.

**Azul (entre 400 y 500 nm):** Es responsable principalmente del crecimiento vegetativo (el que se da tras germinar y hasta la floración). Cuando le damos a una planta únicamente luz azul, crecen dando una estatura baja y tienen un color más oscuro.

**Rojo/Rojo lejano (600-700 nm):** Las plantas interpretan estos colores como la proporción de uno con respecto a otro. Esta relación influencia la elongación del tallo, especialmente en cultivos de luz directa. Además, la proporción rojo/rojo lejano determina la floración en plantas sensibles a la duración de los días. Estas plantas más sensibles son además las que crecen mejor en luz directa, las que prefieren la sombra son menos sensibles a esta proporción.

**Verde:** La luz verde estimula la germinación de manera efectiva a través del fitocromo A y B, también establece un grupo activo de fitocromos que pueden ser activados por las bombillas verdes que son usadas para trabajar cuando las luces están apagadas.

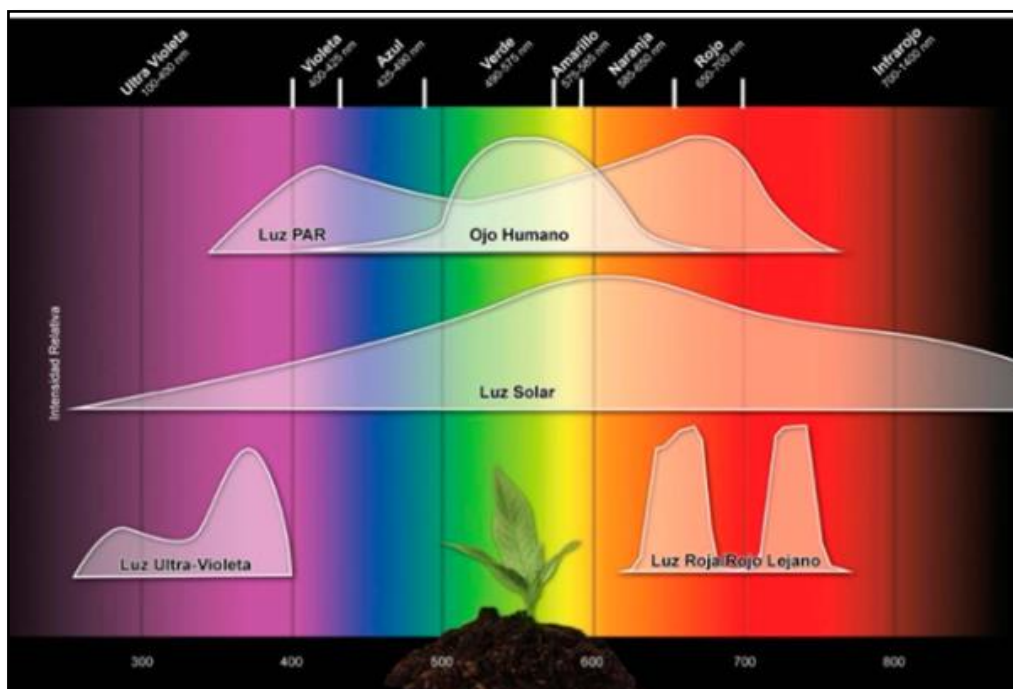


Figura 10. Ilustraciones de Iluminación con colores

Fuente: (Plantas, 2018).

## 5. JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES

A través del tiempo la disponibilidad suficiente y constante de alimentos se ha visto afectada por el rápido crecimiento de la población y la degradación de los recursos a escala masiva (FAO - J.L. Albert, 1991). Es por esto que existe una necesidad creciente en trabajar sobre la seguridad alimentaria intensificando la producción agrícola por unidad de superficie, no obstante, en las últimas décadas se han ido desarrollando diversos avances científicos y tecnológicos que han contribuido en la revolución de las ramas de la agricultura practicadas en una amplia variedad de ambientes modificados, como es el caso de invernaderos en los cuales los cultivos en sistemas hidropónicos y control ambiental que han ayudado a impulsar el desarrollo agrícola mundial y el aumento en los rendimientos de los cultivos todo con ayuda de las herramientas tecnológicas creadas hasta el momento (ACEA, 2015).

En el marco de las consideraciones anteriores, al incorporar iluminación inteligente estudiada en el siglo XX y comienzos del XXI época de intensa centrada en la fotosíntesis (Ramos Gonzalías & Ramírez Lasso, 2016) en el cual se acelera el crecimiento de las plantas en el cultivo hidropónico controlado en entornos de interior sin luz solar y análogamente monitoreando los patrones de crecimiento ajustando de manera continua factores ambientales como la humedad y la temperatura; se logra por una parte, compensar las amenazas que el clima inusual y la escasez de tierras y recursos naturales traen al suministro de alimentos, y por otra parte garantizar una producción más eficiente y económica (Michiko, 2015).

Cabe agregar que, en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la FAO enfocados en erradicar la pobreza y el hambre para el año 2030 de manera sostenible con el medio, indican que “La creciente población mundial, con la urbanización que se acelera cada día y los recursos naturales que se deterioran significa más personas que alimentar con menos agua, tierras de cultivo y mano de obra rural. Cubrir los aumentos previstos en las necesidades de agua, energía y alimentos requiere cambiar a enfoques de consumo y producción más sostenibles, con sistemas agrícolas y alimentarios más eficientes e igualmente sostenibles” (ONU, 2019), por lo tanto, el monitoreo del desarrollo de los cultivos en ambientes controlados es una iniciativa en la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible, pues es una inversión que evita costos innecesarios, tanto económicos como ambientales.

Además, permite la producción local de alimentos durante todo el año, minimizando factores de riesgo para el cultivo como cantidad de horas de luz y colabora en la organización del trabajo dentro del espacio controlado, haciendo previsible las fechas de siembra y cosecha. Con base en lo anterior, se presentan algunos de los estudios desarrollados alrededor de Latinoamérica sobre monitoreo de cultivos hidropónicos con iluminación artificial. En ellos se describen los parámetros medidos, el tipo de cultivo, el lugar de estudio y las conclusiones obtenidas (Ver **Tabla 1**).

**Tabla 1:** Tabla de Antecedentes, Estudios base para tomar decisiones.

TITULO	PARAMETROS	CULTIVOS	CONCLUSIONES	AÑO	PAIS
<b>CRECIMIENTO Y EFICIENCIA FOTOSINTÉTICA DE LUDWIGIA DECURRENS WALTER BAJO DIFERENTES CONCENTRACIONES DE NITRÓGENO</b>	Parámetros De Crecimiento Se Utilizaron La Longitud Total Del Tallo Y El Área Foliar	LUDWIGIA DECURRENS WALTER (ONAGRACEAE)	Los resultados del comportamiento de la eficiencia fotosintética (Fv/Fm) y el crecimiento de las plantas tratadas con diferentes concentraciones de nitrógeno, demuestran que la macrófita Ludwigia decurrens crece en ambientes relativamente altos de nitrógeno	2008 (Sanclemente & Peña Javier, 2008)	CALI COLOMBIA /2008
<b>DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL LED PARA CULTIVOS EN INTERIORES VERTICAL FARMING (VF)</b>	Cantidad De Luz, Intensidad De Luz Y Duración De Luz	LEGUMBRE SIN ESPECIFICACIÓN	Este funcionó de manera ininterrumpida durante 15 días con ciclos de 6 horas de luz efecto solar y 2 horas de descanso, este ciclo se repite 3 veces en el día para completar 18 horas de luz artificial y 6 horas de oscuridad. Con este desarrollo fue posible determinar la importancia que tienen los 3 parámetros de luces de crecimiento, ya que se pudo evidenciar que una baja intensidad de luz o corto fotoperiodo pueden afectar de manera considerable el desarrollo temprano de la planta	2016 (Ramos Gonzalías & Ramírez Lasso, 2016)	CALI COLOMBIA /2016
<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INTELIGENTE PARA UN EDIFICIO MEDIANTE IOT UTILIZANDO EL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN LORAWAN</b>	Desarrollar Una Aplicación Para Smartphone Que Permita Monitorear Los Parámetros Eléctricos (Voltaje, Corriente Y Potencia) Dentro De Un Edificio	SIN CULTIVO	La computación en la nube es un concepto que poco a poco ha ido tomando más fuerza en el mercado, y en este proyecto se pueden evidenciar las virtudes que ofrece dentro del desarrollo de aplicaciones, ya que facilita el almacenamiento de datos y el acceso a ellos sin necesidad de costosos centros de cómputo, tan solo es necesario una conexión a internet.	2017 (Edwar & Victor, 2017)	BOGOTA-COLOMBIA



TITULO	PARAMETROS	CULTIVOS	CONCLUSIONES	AÑO	PAIS
<b>ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN AGRICULTURA</b>	Los Parámetros Para Considerar En La Iluminación Artificial Son El Espectro De La Luz, Su Intensidad Y El Fotoperiodo.	LECHUGA, TOMATES, PIMIENTOS	La luz entre 400 y 700 nm se denomina radiación PAR o radiación fotosintéticamente activa. La luz solar tiene un espectro aproximadamente continuo dentro de las longitudes de onda visibles.	2018 (Bures, Gavilán, & Kotiranta, 2018)	VALENCIA - ESPAÑA / 2018
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA IRRIGACIÓN DE UN SISTEMA HIDROPONICO NFT</b>	Control De pH Y Conductividad Eléctrica	LECHUGA	Las bombas de consumo eléctrico son la mejor opción para los sistemas NFT, los parámetros medidos resultaron en unas graficas con indicadores importante que al cursarlos con los crecimientos dieron favorables.	2018 (Esteban, 2018)	ZACATECAS - MEXICO
<b>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE UN MODELO HIDROPÓNICO DEL TIPO NUTRIENT FILM TECHNIC NFT, PARA LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN AMBIENTES CONTROLADOS</b>	Monitorear Y Controlar El Sistema De Riego De Un Cultivo Por NFT (Nutrient Film Technic)	HORTALIZAS	El monitoreo de las variables físicas en los cultivos, permite en gran medida sortear los posibles impases que repercuten en la producción de hortalizas, lo anterior mediante la toma de decisiones soportada en los datos monitoreados y cargados en la web	2019 (Buenaventura, Sanchez, Castro, & Carvajal, 2019)	COLOMBIA
<b>EFFECTO DE LAS MALLAS SOMBRA DE DIFERENTES COLORES Y UNA CUBIERTA PLASTICA SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CULTIVO DE TOMATE.</b>	Revisión literatura del cultivo de Banano, Caña de Azúcar, Vainilla y Stevia.	TOMATE	Las luces LEDs con respecto a luces convencionales presentan múltiples ventajas como emisión de longitudes especificas deseadas, larga vida útil, bajo consumo de energía y mínima emisión de calor. • Las luces fluorescentes, aunque son las más usadas presentan múltiples desventajas, como alto consumo de energía, emisión de longitudes de onda indeseadas y una corta vida útil.	2020 (Stefano Vittorio, 2020)	HONDURAS

Fuente: Elaboración Propia 2021

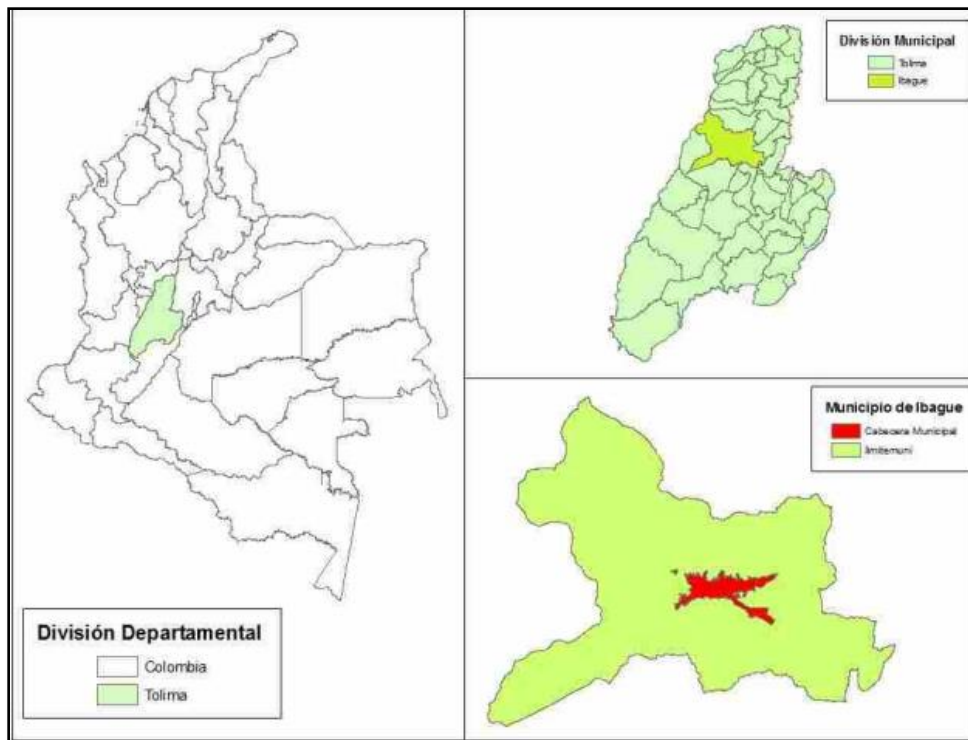
## 6. METODOLOGIA

### 6.1. UBICACIÓN

El presente estudio se llevó a cabo en la capital del departamento del Tolima, Ibagué. Localizado ubicado en el centro-occidente colombiano, sobre la Cordillera Central de los Andes entre el Cañón del Combeima y el Valle del Magdalena. Se encuentra a una altitud promedio de 1285 msnm.

Ya que este situado en la región del ecuador terrestre, en su área rural se disfruta de todos los niveles térmicos de montaña, que alcanzan alturas desde 5300 msnm (Nevado del Tolima) hasta amplios valles por debajo de los 800 msnm en cercanías del río Magdalena que alcanzan rangos de temperatura desde los 0° hasta valores térmicos superiores a los 30 °C.

Ibagué se escogió pensando en las condiciones que le podría brindar dentro del proyecto, pero es importante destacar que esta dentro de las 10 verduras más consumidas en el Tolima con un 5% según la base de datos de ENSIN 2005



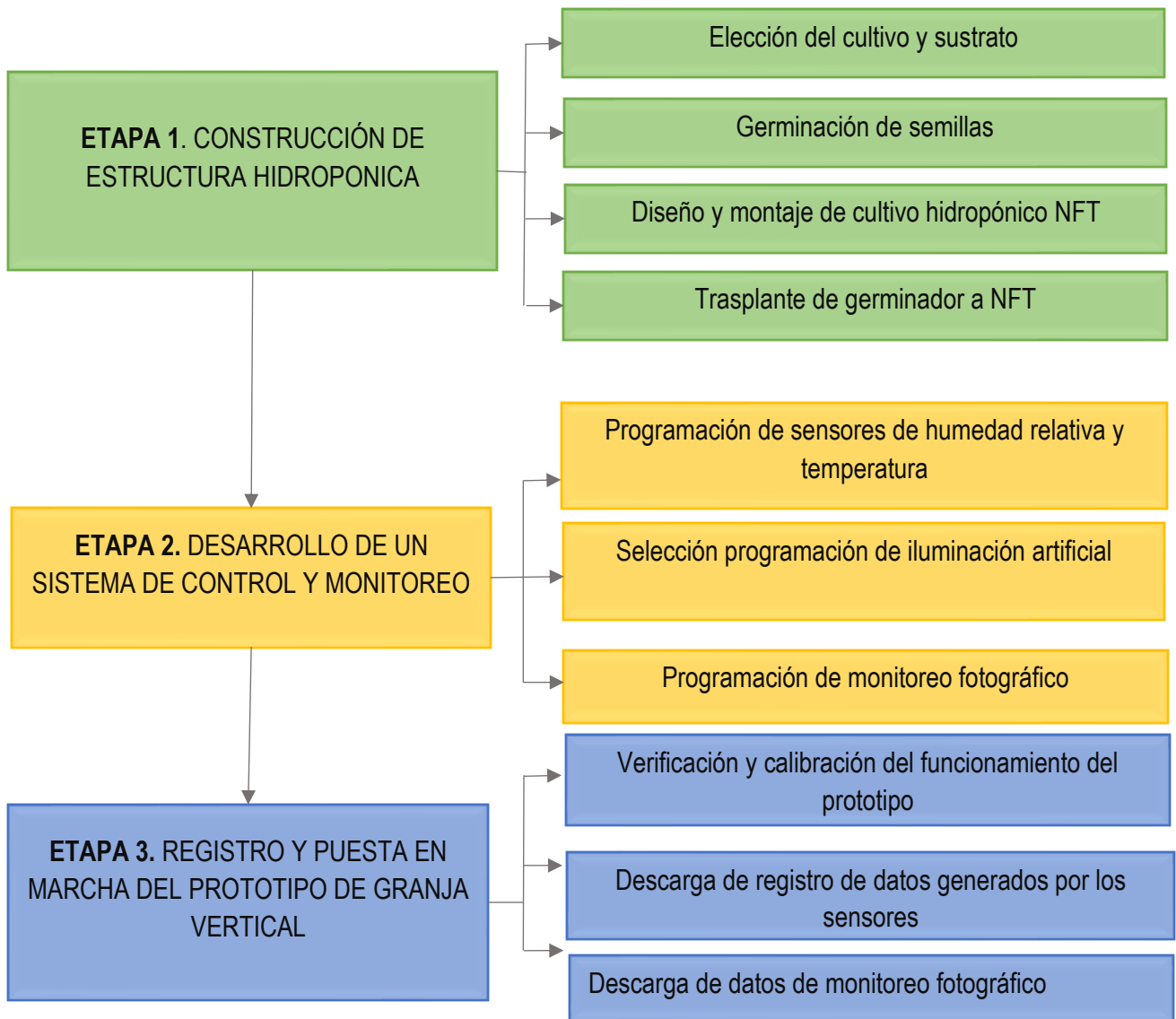
**Figura 11.** Ubicación.

Fuente: (Bonilla Alvis, Reyes palma, Linares Triviño, & Peláez Martínez, 2017)

## 6.2. ESQUEMA METODOLOGICO - ETAPAS DEL TRABAJO

La metodología está compuesta por tres etapas principales que permitirán cumplir con cada uno de los objetivos planteados. La primera etapa está basada en la construcción de la estructura del hidropónico, la segunda etapa se basa en el desarrollo de un sistema de monitoreo y control, la tercera registro y puesta en marcha del prototipo de granja vertical. Esta metodología se representa esquemáticamente mediante el árbol metodológico en la

Figura 12.



**Figura 12.** Esquema metodológico.

*Fuente: Elaboración propia (2021).*

Es preciso destacar que cada etapa está ligada a un conjunto de actividades, las cuales permiten el cumplimiento de los cuatro objetivos específicos que a su vez posibilitan el alcance del objetivo general el cual es Implementar un prototipo de granja vertical automatizado para el control de diversas variables. En este sentido la primera etapa permite cumplir el objetivo uno, la segunda etapa permite cumplir el objetivo dos y finalmente la tercera etapa permite cumplir con los objetivos tres y cuatro.

### 6.3. ETAPA 1. CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA HIDROPÓNICA

#### **Objetivo 1. Diseñar la estructura de granja vertical empleando herramienta de software CAD “Diseño Asistido Computadora”**

Para la construcción de la estructura hidropónica, se determinó implementar la técnica de películas nutrientes (NFT) el cual es el sistema hidropónico recirculante más popular para la producción de cultivos en el mundo y se lleva a cabo implementando la siguiente metodología:

#### **6.3.1. Elección del cultivo y sustrato**

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica previamente realizada y el objetivo del estudio, se procedió a elegir el cultivo de lechuga, debido a que ésta se produce y consume todo el año, tiene más de 100 variedades pertenecientes a una única especie (*Lactuca Sativa*), de las cuales las más comunes para cultivar en un sistema hidropónico con la técnica de películas nutrientes (NFT) son las lechugas de hoja suelta (HydroEnvironmet, 2020). En este caso se seleccionó específicamente la **Lechuga Simpson Var**, la cual alcanza su madurez en tan solo 45 días con un crecimiento rápido luego de la siembra de las semillas y puede llegar cosecharse desde la semana número tres.

Respecto al sustrato, se utilizó un acondicionador de suelos 100% natural que tiene entre sus usos la propagación de plantas contribuyendo al desarrollo de raíces de la marca *Anasac Ambiental*.

Este sustrato es necesario porque no ofrece beneficio alguno a la planta, solo la sostiene, ya que esta se va a nutrir de la solución que se pone en el sistema, Anasac se especifica para ser puntuales de donde se escogió y también es una de las más comerciales.

La importancia de encontrar más de 100 variedades hace parte de un resultado de investigación, además la lechuga Simpson es una de las más usadas en cultivos hidropónicos, puede haber otros cultivos con un ciclo o periodo de cultivo más largo.

La importancia de desarrollar este cultivo en la ciudad de Ibagué, lo determinan los microclimas o diferentes pisos térmicos que tiene la ciudad aptos para diferentes tipos de cultivo como lo es la lechuga.

### **6.3.2. Germinación de semillas**

Una vez escogido el cultivo y el sustrato para implementar en el prototipo, se procedió a germinar las semillas con ayuda de un semillero o germinador. El germinador fue llenado con el sustrato elegido y con la intención de aprovechar por completo el montaje hidropónico el cual tendría una capacidad de 12 plantas y considerando que cada semilla corresponde a una planta, se sembraron un total de 100 semillas en un germinador con 100 cavidades. Lo anterior con la finalidad de seleccionar las plantas germinadas con mejores características, es decir, las más saludables que tuvieran un mayor follaje, con hojas verdes y brillantes y una mayor altura y extensión radicular. El semillero se regó un día de por medio y se mantuvo en un lugar iluminado.

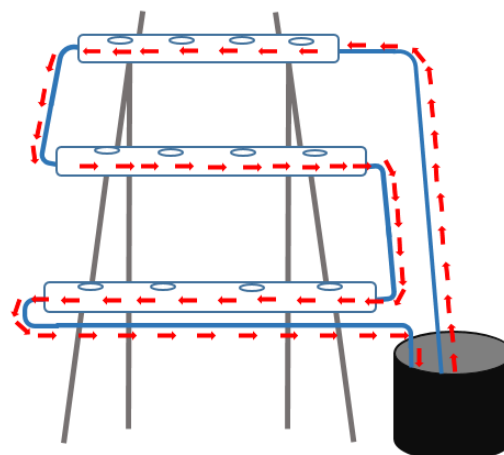
### **6.3.3. Diseño y montaje de cultivo hidropónico**

Como se mencionó anteriormente se desarrolló el montaje de un cultivo hidropónico implementando la técnica de película nutriente con sus siglas en inglés NFT (Nutrient Film Technique) a pequeña escala, que consiste en la recirculación de la solución nutritiva a través de varios canales de tubos de PVC y permite una fácil instalación y manipulación, además de los bajos costos de mantenimiento.

El montaje hidropónico se compone de una estructura de canales de tubos de PVC (estructura del NFT), una bomba y un tanque o contenedor. La estructura de canales de tubos de PVC tiene como finalidad recircular el agua o solución nutritiva (agua con fertilizantes) y contener el cultivo de lechuga, donde las raíces de las plantas deben estar expuestas al agua, así que estuvo conformada por tres tubos de PVC de 4" de diámetro, aproximadamente 10 centímetros 1 m de largo que fueron colocados de forma escalonada sobre una base de tubos de PVC de 1" de diámetro que tuvieron como función ser el soporte de los tres tubos anteriores. En cada uno de los tubos de 4" de diámetro se hicieron agujeros de 2" espaciados cada 0.15 m donde se colocaron las plantas, es preciso mencionar que cada tubo contó con un total de cuatro plantas.

Para trabajar adecuadamente se requerían de 21 L de agua recirculante entre los tubos de PVC o la tubería del NFT y el contenedor, por lo cual se utilizó un cuñete plástico con dimensiones de diámetro superior 0.292 m, diámetro inferior 0.273 m y altura 0.345m dando una capacidad en volumen de 21 L con el fin de almacenar y recolectar el agua. En este contenedor se instaló una bomba sumergible plástica de 4.2 W la cual se encargó de vencer la carga total y abastecer la estructura del NFT. Es preciso mencionar que la finalidad de que el tanque almacene un porcentaje del agua es que la bomba siempre debe estar completamente sumergida para su correcto funcionamiento.

Luego de que se conectaran todas las partes; la estructura del NFT con los tubos de PVC, la bomba y el contenedor o tanque, se verificó que todo el montaje estuviera bien conectado y no tuviera goteras ni fugas, en este sentido, el contenedor fue llenado con agua y la bomba conectada a la corriente eléctrica. El agua era entregada desde el contenedor hacia el tubo superior por medio de la impulsión de la bomba y retornaba desde el tubo inferior al contenedor para mantener el flujo en recirculación, lo que permite a su vez mantener una oxigenación adecuada. El flujo de agua en el montaje hidropónico se muestra en la **Figura 13**.



**Figura 13.** Flujo de agua en el montaje hidropónico.

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 6.3.4. Trasplante de germinador a NFT

Para la vida de las plantas y su buen desarrollo dentro de un montaje hidropónico el trasplante es un proceso crucial, es por esto por lo que se realizó con cuidado para que las plantas no se lastimaran. El equipo de trasplante constó de vasos plásticos desechables de 7 onzas con orificios en la parte inferior (uno por cada planta), algodón y sustrato.

Cuando las plántulas tenían aproximadamente 5 cm de alto y alrededor de 4 hojas se procedió hacer el trasplante. Para esto, se requirió tener listos los vasos plásticos con una capa de algodón húmedo y luego las plántulas más grandes fueron extraídas del germinador de manera cuidadosa. Sujetando solo el tallo fueron colocadas en los vasos asegurándose que la raíz tocara el algodón al mismo tiempo que se añadía una pequeña capa de sustrato alrededor de la planta y se complementaba el vaso. Finalmente, se añadió una última capa de algodón alrededor de la planta para que al momento de hacer el monitoreo radial, morfológico, fotográfico y colorímetro en la Etapa II el registro permita apreciar el crecimiento de la planta. Lo anterior con el propósito de formar el fenómeno de capilaridad a través del cual el agua o solución nutritiva tendrá la capacidad de subir por medio del algodón hasta el sustrato que contiene la planta y mantener la humedad requerida por la misma para su óptimo desarrollo y, asimismo, el algodón actuaría como una capa retenedora del sustrato.

Luego de colocar las plántulas en el montaje se vertió la solución nutritiva para lechugas hidropónicas y se puso a funcionar.

## 6.4. ETAPA 2. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO

### 6.4.0 Definición y argumentación de requerimientos.

El principal requerimiento es que se le identifique un radio de la imagen tomada por la cámara, de esta manera se puede relacionar con la planta, sin los sensores usados cuentan con una precisión de  $\pm 0.5$  °C, esta temperatura y humedad relativa es ambiente, se usaron por la experiencia obtenida en proyectos anteriores, bajo precio, dentro de las principales características esta que su periodo de muestreo es >2 segundos, resolución de 16 Bits.

Existen otro tipo de tecnologías y de sensores, se escogieron estos por su familiaridad y funcionalidad.

#### ***Objetivo 2. Generar el algoritmo y código fuente para los sistemas electrónicos embebidos Raspberry pi y NodeMcu.***

Para el desarrollo del sistema de monitoreo y control se utilizó una board NodeMcu basada en un WEMOS D1 MINI ESP8266 como cerebro del proyecto debido a su versatilidad, ya que brinda conectividad a Wifi el cual es necesario para conectarse con la App desarrollada por medio de Blynk y a su vez con la base de datos. Es preciso mencionar que se utilizó Blynk debido a que es una plataforma de IoT muy practica con aplicaciones móviles, nubes privadas, administración de dispositivos, análisis de datos y aprendizaje automático que permite realizar proyectos del internet de las cosas de una manera sencilla y práctica, además que la App desarrollada por Blynk tuvo como objeto ejecutar el sistema de monitoreo y control del prototipo. La WEMOS D1 MINI ESP8266 fue programada por el lenguaje C++ en un entorno de programación (IDE) de Arduino implementando la siguiente metodología:

La programación de la bomba la realizamos en lenguaje C++ se programaron tres temporizares por software de tipo ON-DELAY, la duración es entre 15 y 60 minutos al día, se realiza para recircular el agua lo cual garantiza que se oxigena el agua ya que por su diseño del sistema el agua va teniendo un recorrido de arriba abajo, y la bomba vuelve y pone el agua en el canal superior

#### **6.4.1. Programación de sensores de humedad relativa y temperatura**

Teniendo en cuenta que se requiere medir tanto la humedad relativa como la temperatura, el sensor seleccionado para ser utilizado fue el DHT22 el cual permite monitorear ambas variables de manera precisa y sencilla con una salida de datos de tipo digital Single-bus (bidireccional) sin requerimiento de entradas y/o salidas analógicas. Lo anterior es posible debido a que integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante. El rango de medición de humedad del sensor es de 0 a 100% RH con precisión de 2% RH, mientras que el rango de medición de temperatura

es de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$  con precisión de  $\leq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  y el tiempo entre lecturas es de 2 segundos (Mechatronic, 2020b).

Para la programación de los sensores se requirió de un microcontrolador, que en este caso fue el Raspberry pi, el cual al haber sido diseñado como un computador en sí, tiene más potencia de cálculo que otros microcontroladores como es el caso de las placas Arduino, además de contar con conectividad Wifi e internet integradas directamente en la placa (Raspberry Pi Foundation, 2019). Este microcontrolador a su vez se conectó a la WEMOS D1 MINI ESP8266 que mediante una librería en un entorno de programación permite realizar fácilmente las lecturas de los sensores y enviarlos a la base de datos. Se programó para que los datos fueran almacenados cada hora durante las 24 horas del día.

De manera análoga se conectó un modulo RTC I2C DS1307 de forma serial a la WEMOS D1 MINI ESP8266 que genera información en tiempo real sobre el año, mes, días, horas, minutos y segundos e incluyen correcciones para año bisiesto. Lo anterior con el fin de registrar la hora y fecha en tiempo real de la temperatura y humedad relativa que lee el sensor, para realizar ajustes necesarios mediante una librería que compara la hora con el servidor de Google en caso de que se presenten atrasos en el tiempo entre lecturas.

#### 6.4.2. Selección y programación de iluminación artificial

Debido a la revisión bibliográfica realizada se tomó la decisión de utilizar un led reflector Jeta RGB de 30W para generar los colores de luz artificial rojo, verde, azul y blanco para iluminar las plantas. Este reflector responde al cambio de colores mediante un control remoto, el cual fue conectado a la WEMOS D1 MINI ESP8266 a la que a su vez se le conectó un diodo infrarrojo emisor que recibía la señal del control y que mediante una librería en un entorno de programación se especificaban unos códigos hexadecimales específicos para cada color identificado. Es preciso mencionar que por medio de la WEMOS D1 MINI ESP8266 y mediante el led emisor se envía la señal para cambio de colores en el reflector RGB y que los colores necesarios para el proyecto que permiten diferentes desarrollos de la planta son rojo, verde, azul y blanco.

La programación de iluminación artificial (**Tabla 2**) durante las 24 horas del día se realizó de la siguiente manera:

**Tabla 2.** Horario de programación iluminación artificial

Horario diario (horas)	Programación iluminación artificial
00:01 – 06:00	Iluminación apagada
06:01 – 12:00	Luz roja encendida
12:01 – 12:05	Luz blanca encendida (monitoreo fotográfico)
12:06 – 18:00	Luz verde encendida
18:01 – 00:00	Luz azul encendida

Fuente: *Elaboración propia.*



### 6.4.3. Programación de monitoreo fotográfico

El monitoreo fotográfico está basado en un registro de datos de píxel, de radio y del color de la planta mediante valores RGB obtenido de una fotografía, además del registro de imágenes donde se muestra la morfología, el radio y el estado actual de la planta. Es preciso mencionar que RGB es un término que se compone por las siglas de las palabras “red”, “green” y “blue”, es decir, rojo, verde y azul, que está relacionado con la representación de colores, el cual mediante un convertidor de color online indica el color de la planta. Para la toma de fotografías se utilizó

Para la toma de fotografías se utilizó la cámara **FULL HD1080p** con una Unidad de sensor CMOS de píxeles de alta definición 720p, un tipo de lente de foco fijo, Ángulo de visión Arriba y abajo de 90 ° / 360 ° de rotación y Micrófono incorporado además cuenta con una Resolución (DPI) 2MP- 1920 x 1080- 1280 x 720- 640 x 480 píxeles. La cámara se usó para tomar y llevar registro fotográfico todos los días, es con la cual hacemos el monitoreo de la planta, funciona con una librería y mediante un script que se ejecuta automáticamente, además guarda en una carpeta y envía a la base de datos de Firebase.

El módulo relé de dos canales se usa para el control de cargas de potencia en nuestro caso se utilizó para encender la Raspberry que tiene alimentación a 110 voltios la cual enciende todos los días a medio día, 5 minutos para la toma de la foto de la planta y la bomba que es a 110 Voltios y se enciende varias veces al día para el sistema de riego.

Respecto al monitoreo fotográfico se tiene que cuando se hace el registro de imágenes que se realizó desde las 12:01 a las 12:05 y datos se obtienen el píxel, el radio de la planta y unos valores RGB que permitirá llevar un registro automático de control de crecimiento y así convertirse en una herramienta importante para los interesados en tener control sobre sus huertas, prototipos, experimentos, granjas, entre otros.

La elección de la cámara se en cuenta por que en un proyecto anterior se usó esta serie y su desempeño fue optimo teniendo en cuenta calidad/precio.

## 6.5. ETAPA 3. PUESTA EN MARCHA DEL PROTOTIPO DE GRANJA VERTICAL

***Objetivo 3. Calibrar y puesta en funcionamiento del prototipo de granja vertical.***

***Objetivo 4. Analizar y evaluar las diferentes variables como son las imágenes, lectura de sensores, almacenados en Firebase.***

La puesta en marcha del prototipo de granja vertical se lleva a cabo implementando la siguiente metodología:

### 6.5.1. Verificación y calibración del funcionamiento del prototipo.

- Montaje hidropónico.

Para verificar y calibrar el funcionamiento del montaje hidropónico se trabajó de una manera horizontal siguiendo unas guías FAO inicialmente para ver el comportamiento de la automatización siendo un caso fallido del prototipo, además por compromisos ya establecidos en este trabajo de grado se le cambió el sentido y por ende se construyó de manera vertical, logrando tener una necesidad menor de capacidad en la bomba y además de llegar a una recirculación adecuada en el que el almacenamiento no es mayor de 25L .

Después de organizar el sistema se evaluó el montaje eléctrico con diferentes plantas de diferentes tamaños, buscando así un funcionamiento adecuado de la programación establecida en Luces y toma de fotografía.

- Sistema de control y monitoreo

Para la verificación y calibración de las lecturas de temperatura y humedad relativa realizadas por el sensor DTH22 se expuso de diferentes maneras. Asimismo, para verificar y calibrar la iluminación artificial se confirmó el color de luz reflejado por el Led reflector Jeta RGB 30W de acuerdo a los horarios programados mostrados en la Tabla 2.

Finalmente, la verificación y calibración del monitoreo fotográfico se llevó a cabo mediante la identificación morfológica, el radio y los valores RGB relacionados con la representación de colores con diferentes plantas.

#### **6.5.2. Registro de datos generados por el sensor DTH22.**

El registro de las lecturas de temperatura y humedad relativa generadas por el sensor DTH22 fueron almacenadas en la Firebase y para hacer un respectivo análisis y evaluación se compararon con el registro de datos de la estación la Esperanza de Ibagué (Tolima); específicamente de AGROCLIMA CENICAFE (2021) durante todo el mes de marzo del años 2021.

#### **6.5.3. Registro de datos de monitoreo fotográfico**

El registro de datos del monitoreo fotográfico se realiza mediante una cámara Genius Qcam 6000 full hd conectada por USB a la Raspberry, la cual por medio de librerías y un código desarrollado en el propio IDE de la Raspberry, ejecuta un Scrip (Terminal) reboot, importa 3 librerías y ejecuta el comando de la cámara llamando la librería "fswebcam" de inicio el cual cada que se enciende la Raspberry Toma una foto al día de la cual salen tres archivos, uno es la imagen, el otro la imagen con el radio de cada una de las lechugas, y la otra es una imagen a blanco y negro que nos indica la forma

de las plantas, en la media del tiempo en la cual va creciendo la planta así mismo lo hace el radio el cual genera un valor en pixeles.

## 7. RESULTADOS Y ANALISIS

### 7.1. ETAPA 1. CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA HIDROPÓNICA

**Objetivo 1. Diseñar la estructura de granja vertical empleando herramienta de software CAD “Diseño Asistido Computadora”**

#### 7.1.1. Germinación de semillas en sustrato

El sustrato utilizado para la germinación de semillas fue el acondicionador de suelos de marca *Anasac Ambiental* que se muestra en la Figura 14. En la Figura 15 se muestra el germinador de 100 cavidades con las semillas sembradas, de las cuales solo el 50% germinaron de manera exitosa.



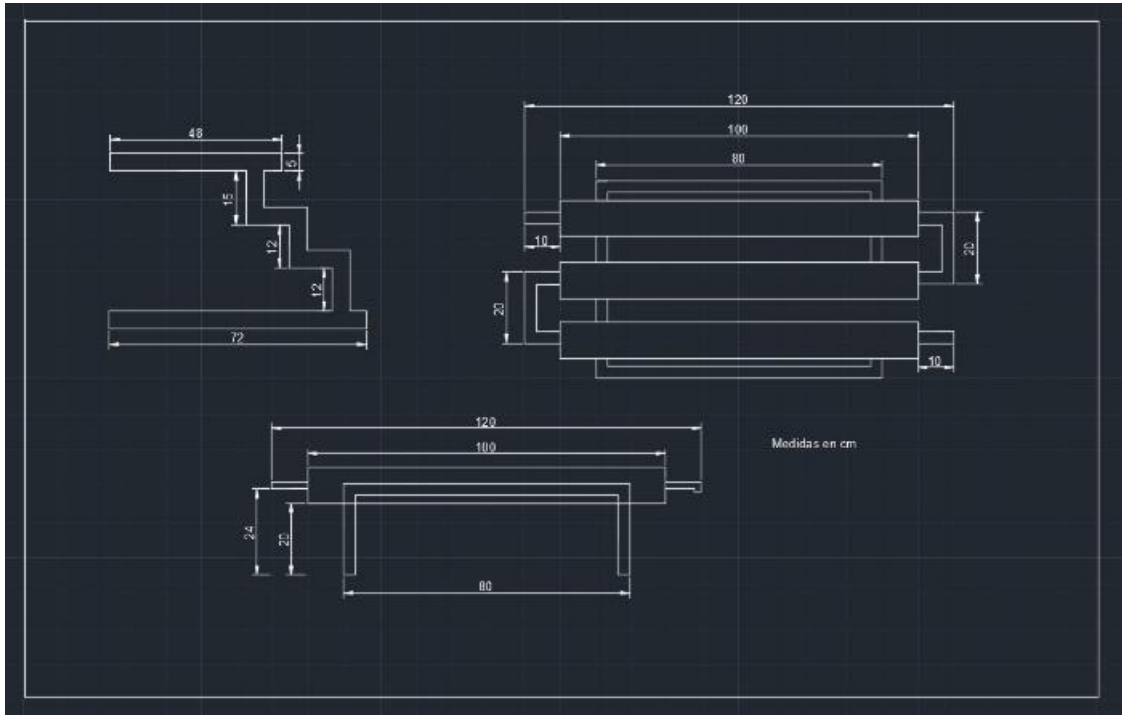
**Figura 14.** Sustrato utilizado.  
*Fuente: Fotografía propia.*



**Figura 15.** Germinación de semillas.  
*Fuente: Fotografía propia.*

### 7.1.2. Diseño y montaje de cultivo hidropónico

El diseño de la estructura de granja vertical desarrollado se muestra en la Figura 16. Con sus respectivas medidas en centímetros.



**Figura 16.** Diseño en AutoCAD de la granja vertical.

*Fuente: Fotografía propia.*

El montaje de cultivo hidropónico se compone de una estructura con la técnica de película nutriente (NFT), un contenedor y una bomba sumergible. La estructura del NFT desarrollado a pequeña escala implementando la técnica de película nutriente NFT se muestra en la Figura 17.



**Figura 17.** Estructura del NFT desarrollado.

*Fuente: Fotografía propia.*

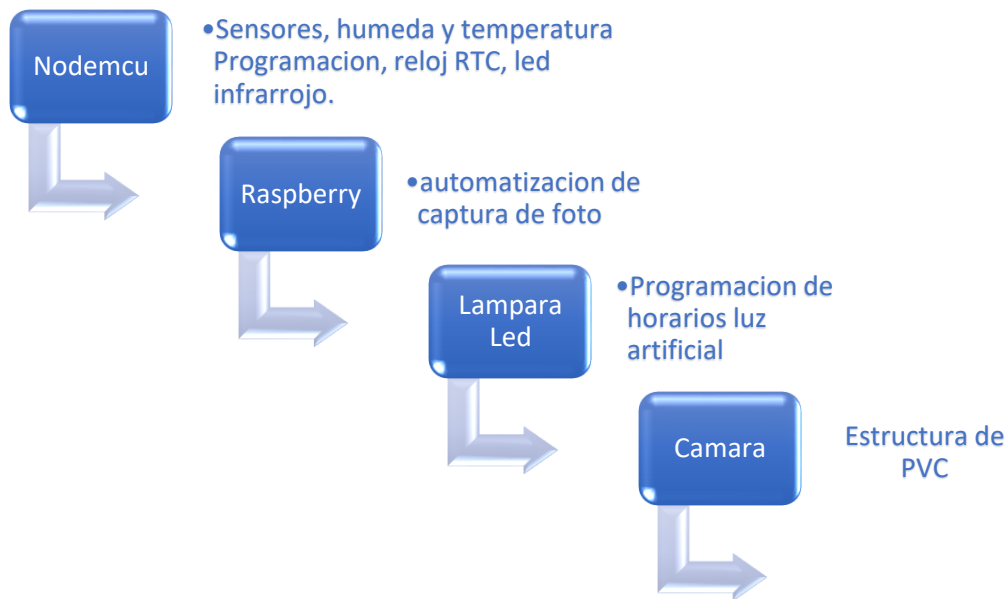
La bomba usada para recircular y oxigenar el agua del sistema presentado se muestra en la Figura 18 . Es una bomba sumergible de pequeño caudal. rotor magnético sin escobillas, con una vida útil de más de 20000 horas, con consumo bajo y de poco ruido. Las características de la bomba son las siguientes:

- |                             |                            |                                  |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| - Tamaño: 54 x 37 x 42 mm   | - Material: Plástico       | - A prueba de agua: IP68         |
| - Tensión nominal: DC 12V   | - Diámetro de entrada: 8mm | - Resistencia al calor: 0 -100°C |
| - Corriente nominal: 375 mA | - Diámetro de salida: 8mm  | - Longitud del Cable: 45 cm      |
| - Potencia: 4,2 W           | - Vida útil: 20000 horas   | - Color: Negro                   |
| - Caudal: 240 L/h           | - Ruido: 40 DB             | - Altura máxima de elevación: 3m |



**Figura 18.** Bomba sumergible utilizada.  
Fuente: Mercado Libre (2021)

### 3.1.1. Diagrama de bloques de componentes



### 3.1.2. Trasplante de germinador a NFT

Para realizar el trasplante desde el germinador hasta el montaje NFT, primeramente, las plántulas más grandes fueron depositadas en unas canastillas para cultivos NFT, sin embargo, en este caso se utilizaron vasos plásticos con orificios en la parte inferior para que la planta tenga contacto con el agua por medio de la capilaridad producida por una capa de algodón anterior a la planta tal como se muestra en la **Figura 19**. Finalmente, los vasos con las plántulas fueron colocados en el montaje hidropónico de NFT (Ver **Figura 20**)



**Figura 19.** Trasplante de germinador a canastillas para cultivos NFT.

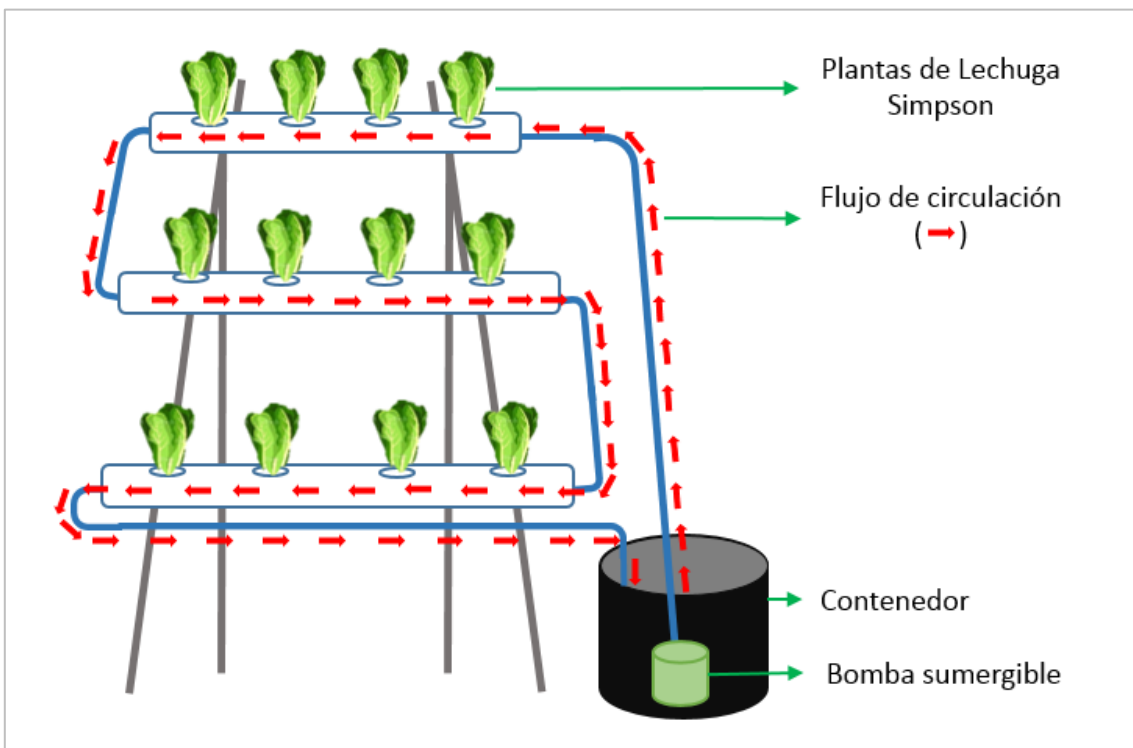
*Fuente: Fotografía propia.*



**Figura 20.** Trasplante de plántulas a montaje hidropónico NFT.

*Fuente: Fotografía propia.*

En la Figura 21 se muestra el esquema de la estructura del cultivo hidropónico, compuesta tanto por el montaje NFT como por las plántulas.



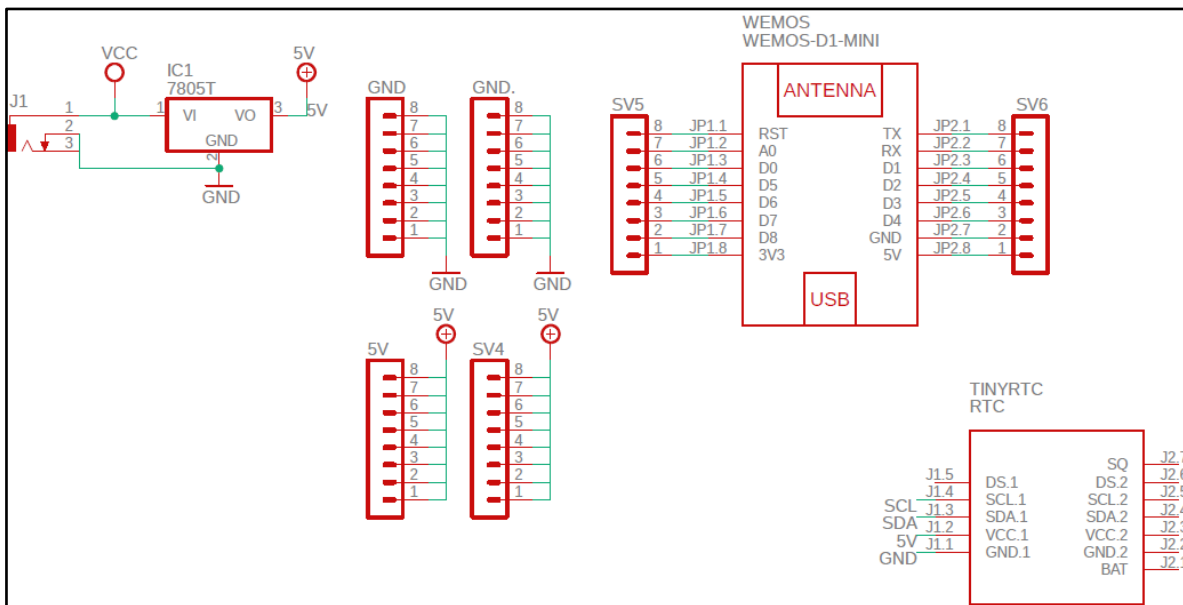
**Figura 21.** Estructura del cultivo hidropónico.

*Fuente: Elaboración propia.*

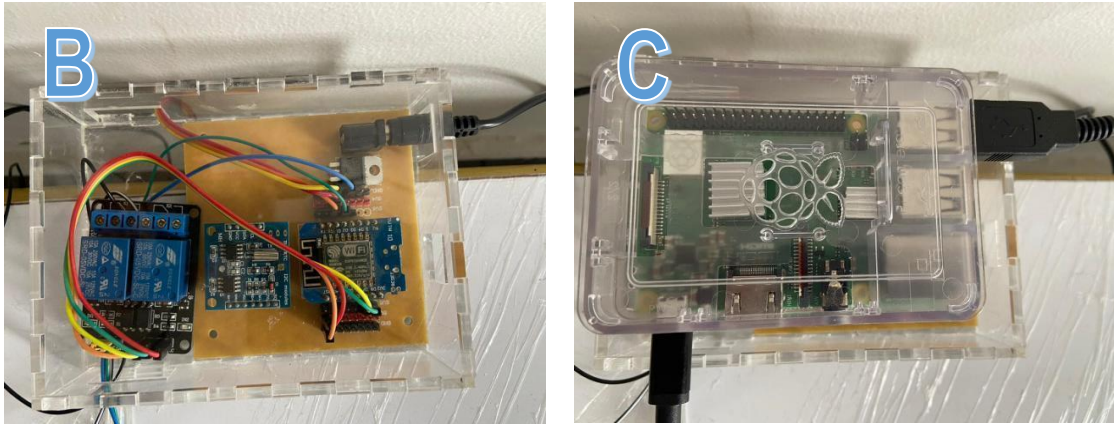
### 3.2. ETAPA 2. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO

**Objetivo 2. Generar el algoritmo y código fuente para los sistemas electrónicos embebidos Raspberry pi y NodeMcu.**

El desarrollo del sistema de monitoreo y control se llevó a cabo mediante la instalación de los sistemas electrónicos Raspberry pi 3 B+y WeMos D1 el cual se puede apreciar en la Figura inciso A. En la Figura inciso B se muestra la conexión de izquierda a derecha del módulo RELÉ de dos canales, el módulo RTC I2C DS1307 y la WEMOS D1 MINI ESP8266, además de un regulador de voltaje para la entrada de alimentación a la WEMOS D1 MINI, y el sensor DTH22 ubicados frente a la WEMOS D1 MINI. El sensor tiene conexión a la WeMos muestra en la Figura inciso B. la cámara se conecta mediante un cable a un puerto USB de la Raspberry y mediante un scrip que se ejecuta automáticamente, hace el llamado de librerías toma la foto y si cumple algunas condiciones la sube a la base de datos. En la Figura 22 (Ver Anexo 2) se evidencia el diseño de tarjeta principal y posterior se relaciona el CODIGO EN CC+ DE PLACA WEMOS.



**Figura 22.** Diseño de tarjeta principal.  
Fuente: Elaboración propia (2021).



**Figura 23.** Conexión electrónica sistema de control y monitoreo.  
*Fuente: Fotografías propias.*

### 3.2.1. Programación de sensores de humedad relativa y temperatura

EL sensor DTH22 que mide la temperatura y la humedad relativa, el microcontrolador Raspberry pi y el módulo RTC I2C DS1307 usados se muestran en la Figura , Figura y Figura respectivamente.



**Figura 24.** Sensor DTH22.  
*Fuente: (Mechatronic, 2020b)*



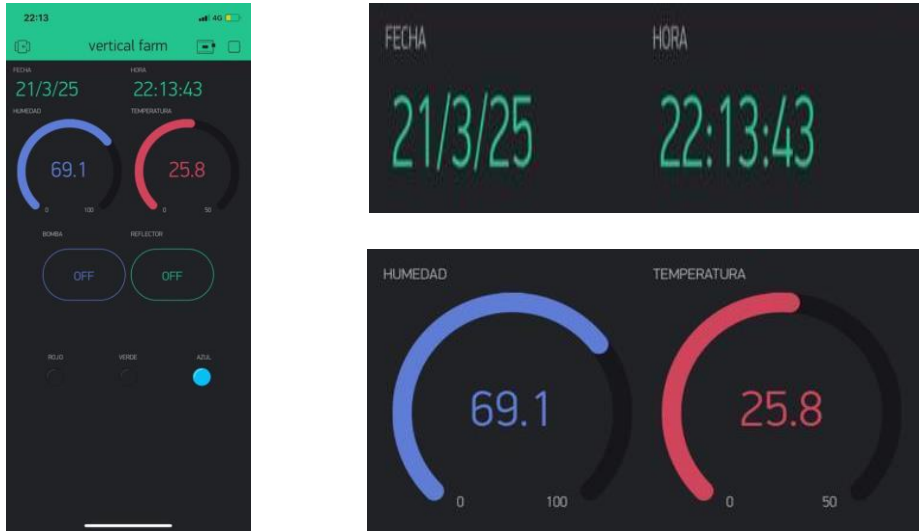
**Figura 25.** Raspberry pi  
*Fuente: Pagina web Amazon (2021)*



**Figura 26.** Módulo RTC I2C DS1307.  
*Fuente: (Mechatronic, 2020a)*

Se muestra la pantalla de la aplicación desarrollada mediante Blync con las lecturas temperatura y humedad relativa y la respectiva hora y fecha en tiempo real.





**Figura 27.** Evidencia de aplicación con lecturas de Temperatura y humedad en tiempo real.  
*Fuente:* Pantallazo propio.

### 3.2.2. Selección y programación de iluminación artificial

En la Figura se muestra el Led reflector Jeta RGB 30W y en la Figura se muestra el diodo led emisor usados para proveer de luz artificial a las plantas.



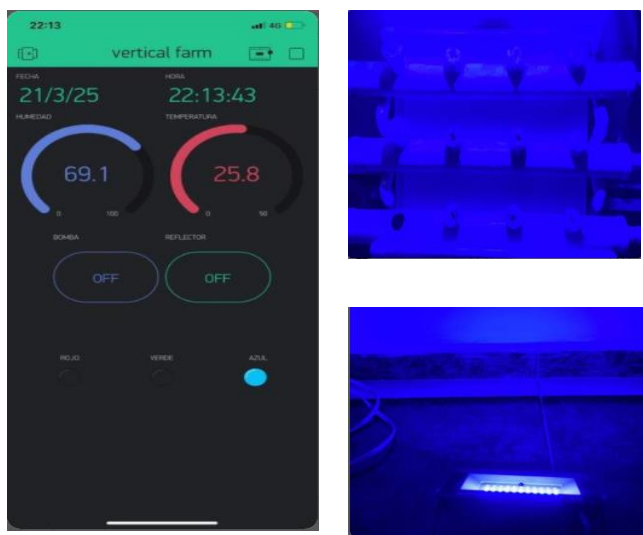
**Figura 28.** Led reflector Jeta RGB 30W.  
*Fuente:* (SYLVANIA, 2019)



**Figura 29.** Diodo Led Emisor.  
*Fuente:* (SYLVANIA, 2019)

En la figura 30 se muestra un diodo led infrarrojo emisor en cual se utiliza en el proyecto para hacer automáticos los cambios de color, este envía los códigos a la lampara RGB y esta a su vez hace los cambios en la iluminación.

Se muestra la pantalla de la aplicación con la configuración para el cambio de colores en el reflector con las lecturas de hora y fecha en tiempo real, además de coincidir con la programación para reflejar la luz de color azul.



**Figura 30.** Evidencia de aplicación con la configuración para el cambio de colores.

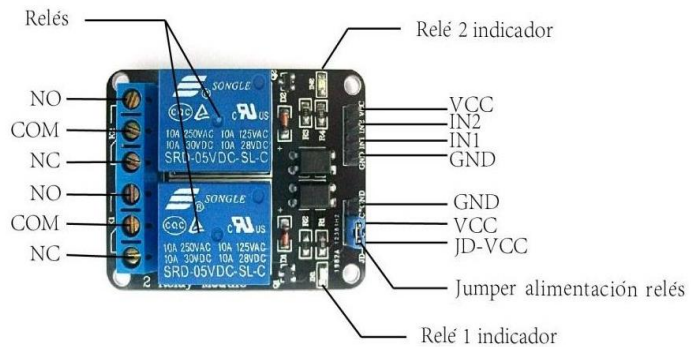
*Fuente: Elaboración propia (Pantallazo 2021).*

### 3.1.1. Programación de Monitoreo fotográfico

La cámara utilizada para el monitoreo fotográfico se puede ver en la figura 35 mientras que el módulo RELE de dos canales utilizado para el control de cargas de potencia se muestra en la figura 31



**Figura 31.** Cámara QCAM 6000  
 WEBCAM FULL HD 1080P.  
*Fuente: Elaboración Propia*



**Figura 32.** Módulo RELE de 2 canales  
*Fuente: (VISTRONICA, 2019)*

### 3.2. ETAPA 3. PUESTA EN MARCHA DEL PROTOTIPO DE GRANJA VERTICAL

**Objetivo 3.** *Calibrar y puesta en funcionamiento del prototipo de granja vertical.*

**Objetivo 4.** *Analizar y evaluar las diferentes variables como son las imágenes, lectura de sensores, almacenados en Firebase.*

#### 3.2.1. Verificación y calibración del funcionamiento del prototipo.

- Montaje hidropónico.

La verificación del montaje hidropónico se llevó a cabo mediante diferentes pruebas de carga y descarga de agua, pues era mas complejo manejarlo un sistema horizontal tanto para recolector donde estaba el agua, como para la bomba, por ello y por el compromiso que se tuvo en el trabajo de grado se realizó vertical encontrando que es mucho más fácil el manejo y el posicionamiento de la bomba y el tanque recolector de solución nutritiva.

Es válido mencionar que se tuvieron varios intentos fallidos hasta llegar al montaje hidropónico utilizado en el prototipo final con el cual se desarrolló el experimento de granja vertical con lechuga Simpson. Es por esto que se recalca la importancia de la planeación y diseño de cada una de las etapas de diseño. En la Figura se muestra uno de los montajes hidropónicos fallidos.



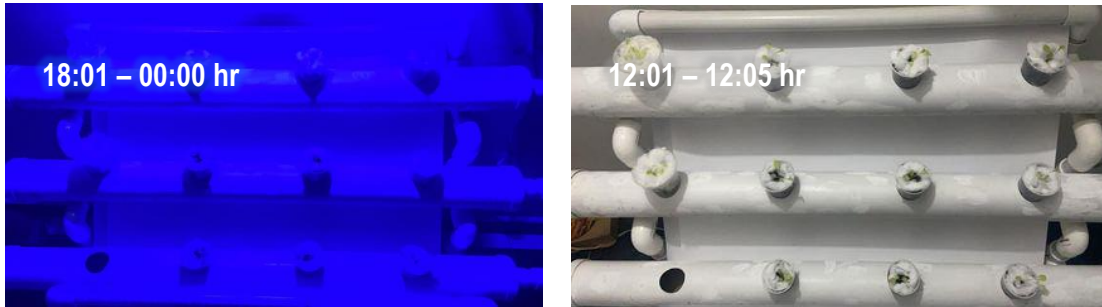
Figura 33. Intento fallido de montaje hidropónico.  
Fuente: Fotografía propia.

- Sistema de control y monitoreo

La verificación y calibración de las lecturas de temperatura ambiente y la humedad relativa mediante el sensor se llevó a cabo mediante una toma de datos aleatoria de verificación y comparación directa.

La verificación y calibración de la iluminación artificial se llevó a cabo mediante la confirmación del color de luz reflejado por el Led reflector Jeta RGB 30W de acuerdo a los horarios programados (ver Tabla 2), tal como se muestra en la Figura donde se aprecia el montaje hidropónico iluminado por medio de luz led artificial a través del Led reflector Jeta RGB 30W con los distintos colores programados (rojo, verde, azul y blanco).





**Figura 34** Evidencia de montaje hidropónico con luz artificial de colores programados.

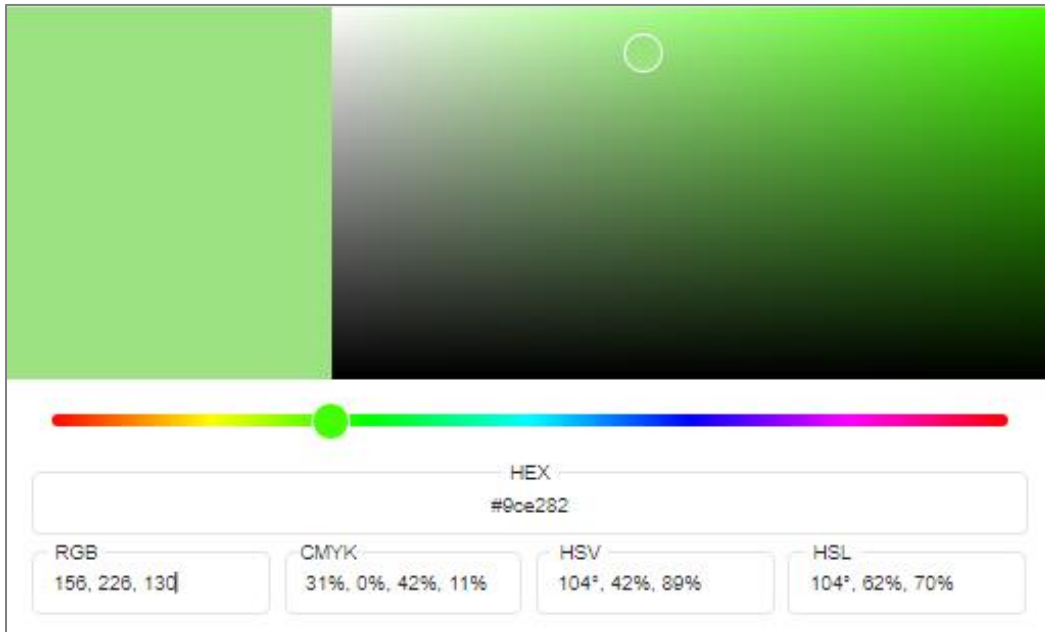
*Fuente: Fotografías propias.*

Finalmente, se verificó y calibró el monitoreo fotográfico identificando la veracidad de los datos e imágenes registradas donde se aprecia la morfología, el radio y los valores RGB relacionados con la representación de colores en diferentes plantas. Es así como, en la Figura se muestra que al calibrar el monitoreo fotográfico con diferentes plantas se puede apreciar la identificación de la planta morfológicamente y el valor del radio total de la planta. Asimismo, en la Figura se muestra que al calibrar el monitoreo fotográfico con una planta de sábila se obtuvo un código RGB 156, 226, 130 que al hacer la conversión en un convertidor online señaló un color verde, lo que indicaba que efectivamente el monitoreo fotográfico estaba identificando bien los colores.



**Figura 35.** Monitoreo fotográfico morfológico y radio.

*Fuente: Fotografías propias.*



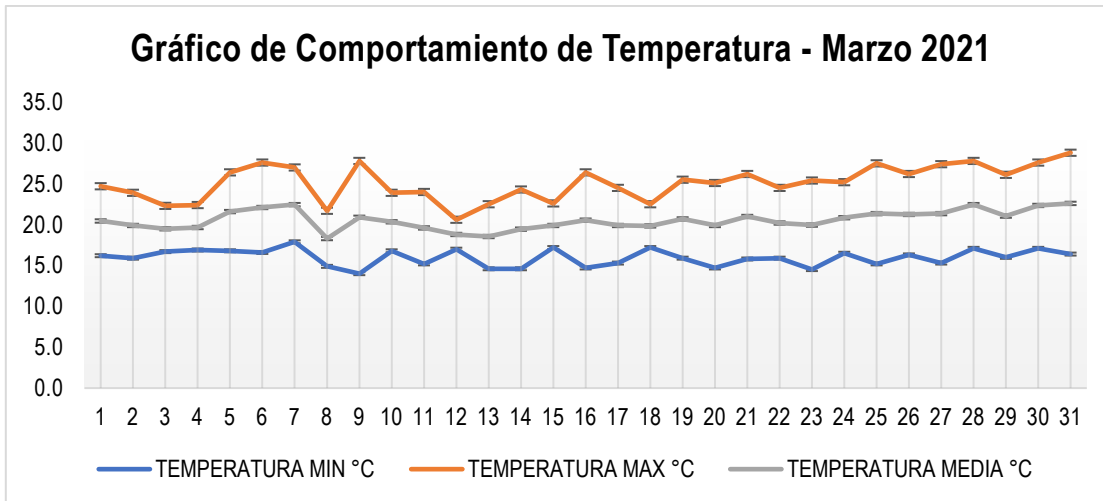
**Figura 36.** Monitoreo fotográfico valores RGB.

*Fuente: Fotografías propias.*

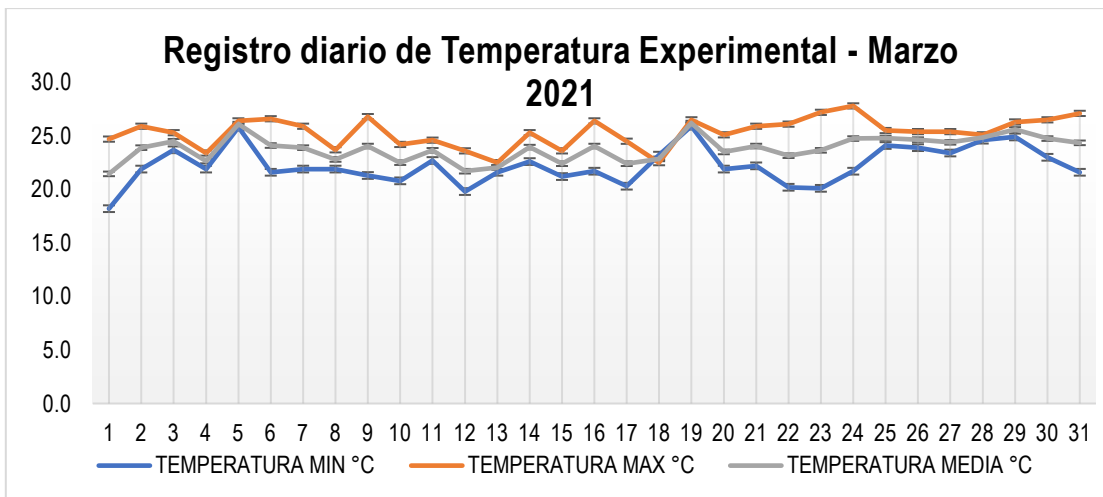
### 3.2.2. Registro de los datos generados por los sensores.

El registro de los datos generados por estos sensores y almacenados en la Firebase tanto de las lecturas de temperatura y humedad relativa se muestran en los anexos. Sin embargo para analizar y evaluar las dos variables se hizo una comparación con datos registrados por la estación la Esperanza de Ibagué (Tolima); específicamente AGROCLIMA CENICAFE (2021).

Por consiguiente, en la Figura se logra apreciar de manera gráfica el comportamiento de la Temperatura máxima y mínima de la ciudad de acuerdo a la información proporcionada por la estación la Esperanza de Ibagué (Tolima); específicamente AGROCLIMA CENICAFE (2021). Por otra parte, en la Figura 23 se aprecia el comportamiento de la temperatura registrada en el prototipo donde se puede observar un comportamiento similar mas no igual, pues se debe tener en cuenta que el sitio de posicionamiento del prototipo afecta, pues estuvo expuesto a temperaturas mayores y de un rango menor entre los datos de temperaturas máxima y mínima. De aquí lo importante de contar con estos sensores pues brindan unos datos reales de la exposición a cambios de temperaturas en los experimentos.

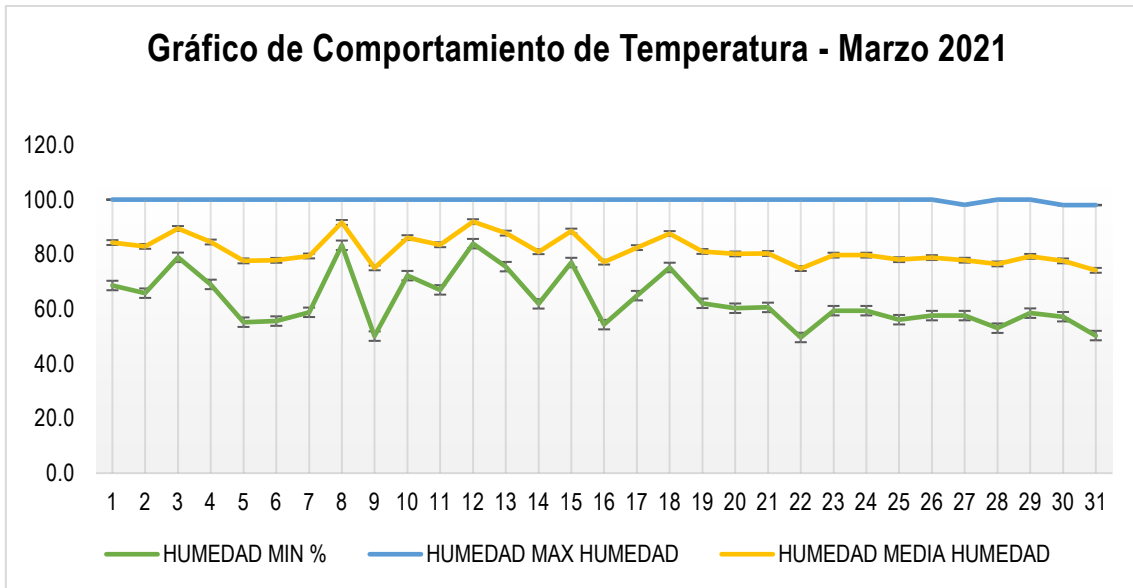


**Figura 37.** Temperatura máxima y mínima por días de la puesta en marcha del sistema  
*Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por AGROCLIMA CENICAFE (2021)*

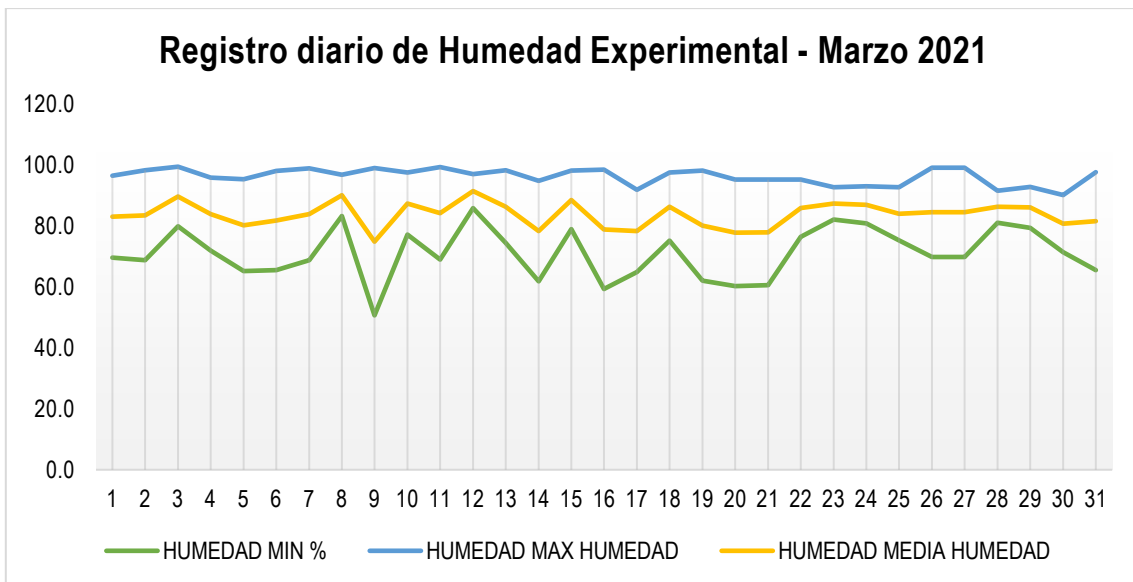


**Figura 238.** Registro de Temperatura máxima y mínima por días de la puesta en marcha del sistema (Sensores propios de Evaluación)  
*Fuente: Elaboración propia (2021).*

De manera análoga en la Figura se logra apreciar de manera gráfica de la Humedad relativa de la ciudad de acuerdo con esta información proporcionada por la estación la Esperanza de Ibagué (Tolima); específicamente AGROCLIMA CENICAFE (2021). Por otra parte, en la Figura se aprecia el comportamiento de la humedad registrada en el prototipo donde se puede evidenciar un comportamiento similar, pues se debe tener en cuenta que el sitio de posicionamiento del prototipo afecta, pues en un lugar no expuesto a condiciones normales y es por esto el rango menor de diferencia entre la humedad máxima y mínima con respecto a los datos teóricos registrados. De aquí lo importante de contar con estos sensores pues brindan unos datos reales de la exposición a cambios de temperaturas en los experimentos.



**Figura 39.** Humedad máxima, media y mínima por semana durante la etapa productiva.  
*Fuente: Elaboración propia con datos suministrados AGROCLIMA CENICAFE (2021).*



**Figura 40.** Humedad máxima, media y mínima por semana durante la etapa productiva.  
*Fuente: Elaboración propia con datos suministrados AGROCLIMA CENICAFE (2021).*

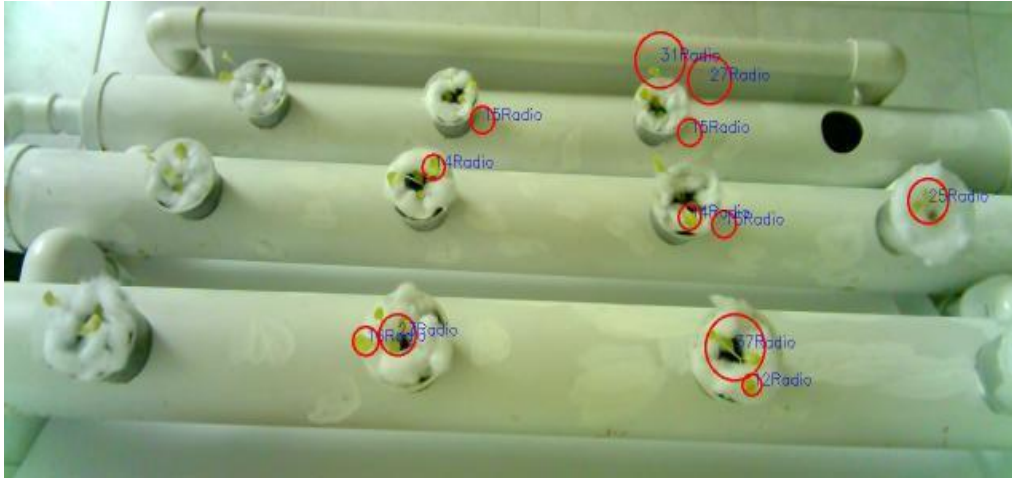
Los sensores se hacen necesarios en los experimentos pues nos dan un acercamiento de la exposición real en la que se encuentra y es así donde se pueden tomar decisiones de manera oportuna.



### 3.2.3. Registro de datos de monitoreo fotográfico

El registro de datos del monitoreo fotográfico (el píxel, radio de la planta y valores RGB) generados por la cámara y almacenados en la Firebase se muestran en los anexos. No obstante, en

En la Figura se muestra la imagen de uno de los registros fotográficos donde se aprecia la identificación morfológica y el radio de la planta por parte del monitoreo fotográfico.



**Figura 41.** Lecturas de radio e identificación morfológica de monitoreo fotográfico.

*Fuente: Fotografías propias.*

## 4. CONCLUSIONES

La planeación y diseño en un prototipo debe realizarse de manera precisa y teniendo en cuenta diferentes criterios e imprevistos, se presentaron pérdidas económicas y de tiempo.

La programación del sistema no es compleja y es lo que hace que esta herramienta sea de gran valor para cada uno de los agricultores que quieran acceder a esta información y quieran innovar con el control de diferentes variables en sus cultivos. Aunque la inversión se vea se vea alta en un principio este tipo de control ayudará a evitar pérdidas de cosechas o abordar problemas a tiempo, ya que al no presentar un crecimiento normal de la planta se podrán plantear soluciones oportunas.

Las granjas verticales nos conceden un sistema sustentable por el uso del agua a través de recirculación nos ayuda a mejorar el cultivo de vegetales y plantas, frutas etc. Pero automatizar no solo nos ayuda en lo ambiental sino en los rendimientos, control y economía del recurso hídrico

En el procesamiento de imagen, hemos usado tres tipos de imágenes y conversiones dentro de los cuales están, imagen de intensidad, imagen binaria e imagen en color, trabajamos un tema conocido como cambio de espacio y color con OpenCV con Python, así como de la conversión de una imagen RGB a HSV.

En todos los códigos de programación se usaron librerías para facilitar la programación y así mismo ahorrar líneas de código las cuales ayudan a optimizar el programa.

El desarrollo de este proyecto nos ha ayudado a realizar un seguimiento al cultivo desde una APP en tiempo real la temperatura y humedad relativa del ambiente, así mismo se ha podido identificar el color y el radio de la planta ayudándonos lo anterior el en desarrollo.

## 5. RECOMENDACIONES

- Profundizar en el prototipo ya propuesto con un manejo completo de variables.
- Realizar el montaje con la programación ya establecida con piezas más económicas, buscando llegar a disminuir costos y a futuro poder replicar este modelo automatizado, o automatizar los modelos existentes, buscando un fácil acceso de estos sistemas tecnológicos a la población rural que cuente con internet.
- El muestreo o monitoreo de la temperatura permito identificar los horarios de los mínimos y máximos de temperatura y esto a su vez sirvió para identificar horarios de recirculación del agua en el sistema.
- Realizar una investigación de un sistema a escala real, que presentaría los beneficios de desde una mirada productiva y económica, así mismo controlar los parámetros correspondientes, también calcular los beneficios ambientales, cuantificar la disminución de uso del agua y calcular a largo plazo el deterioro del suelo.
- Con el uso de este sistema los productor reducirán tiempos de cosecha, pérdidas de plantas y tiempo, se dará cuenta de a diario del avance de las plantas, ya que va a tener una foto diaria en el servidor.
- Adicionar una alerta que se active cuando el radio de la planta es óptimo y a su vez en esa alarma se visualice color de la planta.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- ACEA. (2015). PRODUCCIÓN DE PLANTAS EN AMBIENTES CONTROLADOS. Bruselas , Bélgica. Retrieved from <https://acea.com.mx/articulos-tecnicos/alex-j-pacheco/40-i-introduccion-11-produccion-de-plantas-en-ambiente-controlado>
- Adenaueer, L. (2016). Up , Up and Away ! The Economics of Vertical Farming. *Estudios Agrícolas*, 1(November), 40–60. <https://doi.org/10.5296/jas.v2i1.4526>
- Agrotendencia. (2012). El increíble futuro de la producción de alimentos-Granjas Verticales. Retrieved from <https://agrotendencia.tv/agropedia/granja-vertical-fabrica-de-plantas/>
- Amazon. (2021). Melopero Raspberry Pi. Retrieved from <https://www.amazon.es/Raspberry-Pi-Modelo-Quad-Core-Cortex-A53/dp/B01CD5VC92>
- Asociaci, R. D. E. L. A. (2013). Crecen oportunidades para los hortifruticultores colombianos. Retrieved from <http://www.asohofrucol.com/archivos/Revista/Revista32.pdf>
- Ayala, M., Humberto, D., Mendoza, Z., & Loberty, E. (2015). CARÁTULA SEDE GUAYAQUIL. UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11409/1/UPS-GT001580.pdf>
- Barbado, J. L. (2005). *HIDROPONIA SU EMPRESA DE CULTIVOS EN AGUA*. (E. ALBATROS, Ed.) (PRIMERA). BUENOS AIRES, ARGENTINA. Retrieved from <https://www.bajalibros.com/CO/Hidroponia-EBOOK-Jose-Luis-Barbado-eBook-1488441?frstPGI3R=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlMnNvbS8=>
- BASTERRECHEA, M. (2017). Cuál es la mejor luz artificial para plantas? Retrieved from <https://www.hidroponiacasera.net/luz-artificial-para-plantas/>
- BEJARANO, J. A. (1998). ECONOMIA DE LA AGRICULTURA. In TERCER MUNDO S.A. (Ed.), *ECONOMIA DE LA AGRICULTURA* (1st ed., pp. 1–366). Bogotá, Colombia. Retrieved from [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=nj2cTTLNqscC&oi=fnd&pg=PA1&dq=AGRICULTURA&ots=Pvtns8Da\\_u&sig=nws03Cixltidijwof7A2NlnZ-a8#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=nj2cTTLNqscC&oi=fnd&pg=PA1&dq=AGRICULTURA&ots=Pvtns8Da_u&sig=nws03Cixltidijwof7A2NlnZ-a8#v=onepage&q&f=false)
- Benítez, J. C. (2015). *De Enseñanza Basada En Una Metodología De Investigación Científica Escolar, Para Lograr Un Aprendizaje Significativo Del Proceso De Fotosíntesis De Los Estudiantes .... Bdigital.Unal.Edu.Co*. Universidad Nacional de Medellín. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/50935/>
- Biología. FOTOSÍNTESIS Y RESPIRACIÓN CELULAR (2016). Retrieved from <http://fotosintesisfbiologia.blogspot.com/2016/01/fotosintesis-y-respiracion-celular.html>
- Bonilla Alvis, A., Reyes palma, J. C., Linares Triviño, O. G., & Peláez Martínez, O. E. (2017). *Estructura Ecológica Principal Municipal - ENERO 2013* (1 No. 1). Ibagué. Retrieved from [http://cimpp.ibague.gov.co/wp-content/uploads/2019/11/DOCUMENTO-ESTRUCTURA-ECOLOGICA-PRINCIPAL-IBAGUE\\_reduce.pdf](http://cimpp.ibague.gov.co/wp-content/uploads/2019/11/DOCUMENTO-ESTRUCTURA-ECOLOGICA-PRINCIPAL-IBAGUE_reduce.pdf)
- Buenaventura, E. A. A., Sanchez, O. A. G., Castro, D. A. V., & Carvajal, J. J. M. (2019). Sistema de monitoreo y control de un modelo hidropónico del tipo Nutrient Film Technic NFT, para la producción de hortalizas en ambientes controlados. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 6(1), 29–40.

- Bures, S., Gavilán, M. U., & Kotiranta, S. (2018). Iluminación artificial en agricultura Enero 2018 Artículo técnico. *ResearchGate*, 1(January), 3–45. Retrieved from <http://www.bibliotecahorticultura.com>
- CARDONA, O. R., & LOZANO, J. Z. V. L. Y. A. V. (2017). *Manual de usuario para el sistema automatizado de invernadero hidropónico*. UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD). Retrieved from <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13093/1022343620.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carrasco, G., & Izquiero, J. (1996). Empresa Hidroponica a mediana escala: Tecnica de la solución nutritiva recirculante NFT. Retrieved from [http://www.fao.org/tempref/gi/reserved/ftp\\_faorc/old/docrep/rlc1050s.pdf](http://www.fao.org/tempref/gi/reserved/ftp_faorc/old/docrep/rlc1050s.pdf)
- Castañeda, F. Manual Técnico de Hidroponía Popular (cultivos sin tierra), 1 INCAP OPS MDE 104 (1997). Retrieved from <http://bvssan.incap.org.gt/local/file/MDE104.pdf>
- Castro, D. (2017). Agricultura colombiana 2000-2013: Estudio de cultivos de alimentación básica y de agroindustria, 44. Retrieved from <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/17911/CastroCifuentes-DiegoAlejandro-2018.pdf;jsessionid=C70D2D8AAAFCC1D25ADEBE70568D189F?sequence=1>
- CENICAFE, A. (2021). *DATOS CLIMATOLÓGICOS*. CHINCHINÁ- MANIZALEZ COLOMBIA. Retrieved from [https://agroclima.cenicafe.org/boletin\\_diario](https://agroclima.cenicafe.org/boletin_diario)
- Edwar, R. M., & Victor, L. O. (2017). *Diseño e implementación de un sistema inteligente para un edificio mediante IOT utilizando el protocolo de comunicación lorawan*. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas. Retrieved from <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7394/RodriguezMorenoEdwardStiven2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0A>
- El Tiempo. (2017). Temporada invernal pone en alerta a los cultivadores. Bogotá, Colombia: Eltiempo.com.co. Retrieved from <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/afectacion-de-temporada-invernal-en-colombia-70028>
- Esteban, G. de la R. (2018). *Instituto politécnico nacional*. INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL. Retrieved from [https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/27235/Guerrero\\_de\\_la\\_Rosa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/27235/Guerrero_de_la_Rosa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- FAO - J.L. Albert. (1991). *Food, Nutrition and Agriculture - 1 - Food for the Future*. (Comité de redacción/Comité asesor Editorial, P. L. (Chairman/Président/Presidente), M. P. K. Richmond, J. Lupien, & B. T. F. Simmersbach, Eds.) (Editorial). Retrieved from <http://www.fao.org/3/u3550t/u3550t00.htm#Contents>
- Gonzalez, G. G. (2017). Tecnología y Sociedad Granjas verticales : una respuesta sostenible al crecimiento urbano. *Prima Tecnológico*, 7(January 2016), 3–6. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/315381437\\_Tecnologia\\_y\\_Sociedad\\_Granjas\\_verticales\\_una\\_respuesta\\_sostenible\\_al\\_crecimiento\\_urbano](https://www.researchgate.net/publication/315381437_Tecnologia_y_Sociedad_Granjas_verticales_una_respuesta_sostenible_al_crecimiento_urbano)
- Guillermo, I., Díaz, G., & Vargas, O. C. (2004). *Sistema Unificado de Información Institucional*. Costa Rica. Retrieved from <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/Hidroponia.pdf>
- Huerta, S. A. S. F. D. E., En, H., Ciudad, L. A., Alrededores, B. Y. S. U. S., Para, P., Al, O., & Ingeniero,

- G. D. E. (2018). Plan de negocios para la creación de la empresa verde arte s.a.s. fabricante de huerta hidropónicas en la ciudad de bogota y sus alrededores. Retrieved from [https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/5991/TIND\\_BarahonaEspinelAmado\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/5991/TIND_BarahonaEspinelAmado_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- HydroEnvironmet. (2020). CARACTERISTICAS Y VARIEDADES DE LAS LECHUGAS HIDROPÓNICAS. Retrieved from [https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=293](https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=293)
- Lara Herrera, A. (1999). Nutrient Solution Management in the Hydroponic Production of Tomato. *Terra*, 17(2395–8030), 221–229. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/573/57317306.pdf>
- MARQUES FERNANDES, H. (2020). ¿Qué es la hidroponía y cómo funciona la hidroponía? – Plantaciones hidropónicas. Retrieved from <https://marquesfernandes.com/es/tecnologia-es/o-que-e-e-e-como-works-a-hydroponics-hydrops-hydroponicas/>
- Martinez, P. A. (2013). *Aeroponia como metodo de cultivo sostenible, rentable e incluyente en Bogota*. Universidad Piloto de Colombia. Retrieved from <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00000864.pdf>
- Mechatronic, N. (2020a). Módulo RTC I2C DS1307. Retrieved from <https://naylampmechatronics.com/sensores-varios/30-modulo-rtc-ds1307-eprom-at24c32-i2c.html>
- Mechatronic, N. (2020b). Sensores. Retrieved from <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>
- Mena, R. (2017). *Automatización de un cultivo NFT para el control de Temperatura, riesgo y mezcla de solución nutritiva ubicado en Quito*. Polictenica Salesiana sede Quito.
- MercadoLibre. (2021). Mini Bomba De Agua Sumergible 240 Litros/hora 12v Dc Ip68. Retrieved from [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-581256954-mini-bomba-de-agua-sumergible-240-litroshora-12v-dc-ip68-\\_JM?matt\\_tool=99279475&matt\\_source=google&matt\\_campaign\\_id=11584883659&matt\\_ad\\_group\\_id=115595145969&matt\\_network=g&matt\\_device=c&matt\\_creative=478](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-581256954-mini-bomba-de-agua-sumergible-240-litroshora-12v-dc-ip68-_JM?matt_tool=99279475&matt_source=google&matt_campaign_id=11584883659&matt_ad_group_id=115595145969&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=478)
- Michiko, T. T. K. G. N. (2015). *PLANT FACTORY*. Elsevier. <https://doi.org/9780128018484>
- ONU. (2019). *Informe de los objetivos del desarrollo sostenible 2019. Informe de los objetivos del desarrollo sostenible 2019*. Nueva York. Retrieved from [https://ods.org.mx/docs/doctos/SDG\\_Report2019\\_es.pdf](https://ods.org.mx/docs/doctos/SDG_Report2019_es.pdf)
- Plantas, A. (2018). ILUMINACION. Retrieved from <https://www.acuaflora.com/iluminacion>
- RAMOS GONZALIAS, Y. F. (2015). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA MAXIMIZAR LA CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LAS PLANTAS EN GRANJAS VERTICALES POR MEDIO DE LUZ ARTIFICIAL*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE. Retrieved from <http://weekly.cnbnews.com/news/article.html?no=124000>
- Ramos Gonzalías, Y., & Ramírez Lasso, E. (2016). Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores - Vertical Farming (VF). *Informador Técnico*, 80(2), 111. <https://doi.org/10.23850/22565035.480>
- Raspberry Pi Foundation. (2019). web Raspberry Pi Pico. Retrieved from

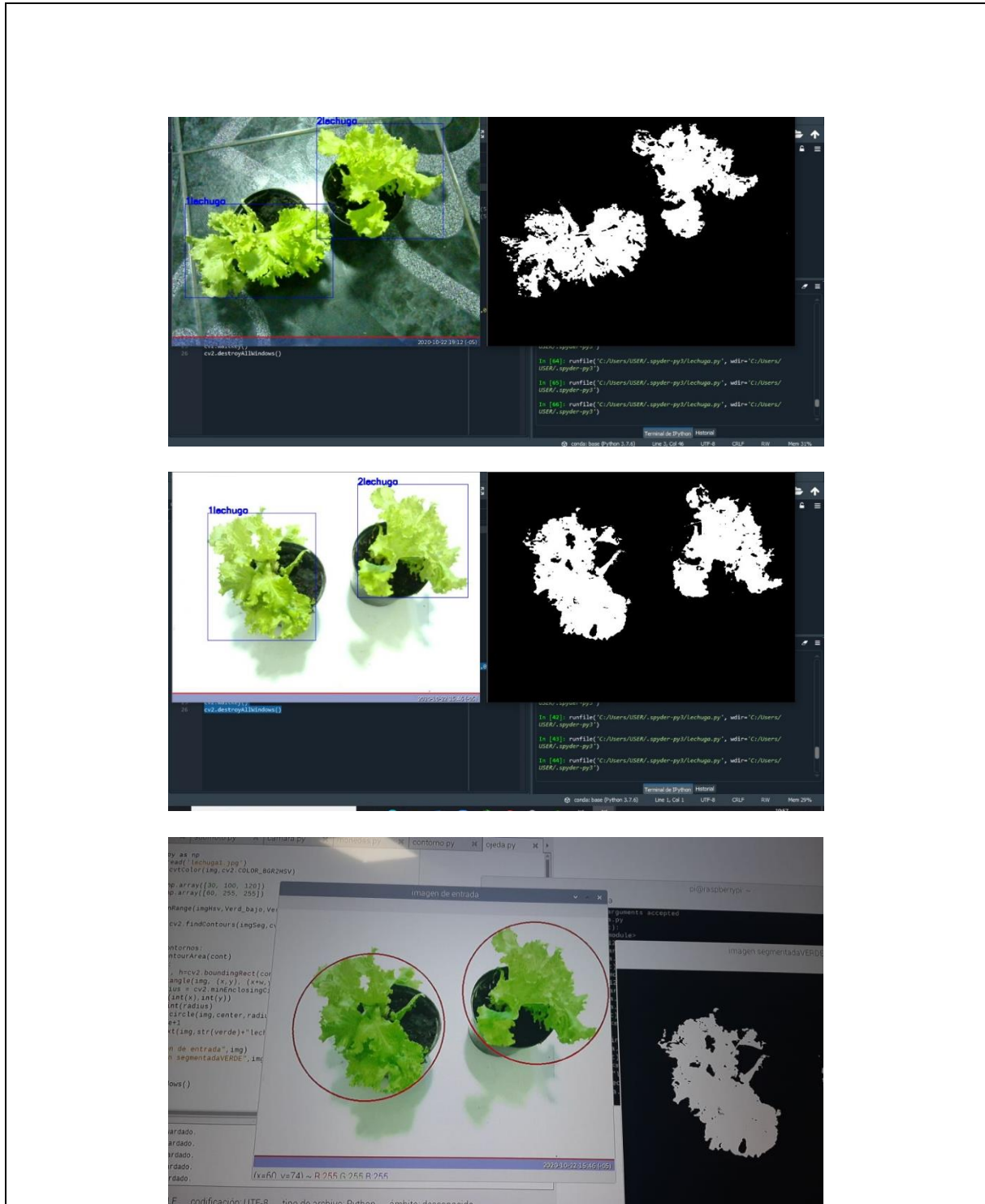
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-pico/>

- Regalado Arreola, J. R. (2013). *Diseño y Evaluación de un Sistema Acuapónico para la Producción de Animales Acuáticos y Plantas para Consumo Humano* (No. Tesis de Maestría en ciencias del agua). Universidad de Guanajuato, Guanajuato. Retrieved from [https://www.academia.edu/7882396/Tesis\\_Regalado\\_Arreola\\_2013\\_Diseño\\_y\\_Evaluación\\_Sistema\\_Acuaponia](https://www.academia.edu/7882396/Tesis_Regalado_Arreola_2013_Diseño_y_Evaluación_Sistema_Acuaponia)
- Resh, H. (2001). *Cultivos hidropónicos*. (Quinta, Ed.) (Ediciones). Madrid. Retrieved from <https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484760054/cultivos-hidroponicos>
- Robótica, A. (2020). NodeMCU – Board de desarrollo con módulo ESP8266 WiFi y Lua. Retrieved from <https://www.ardobot.co/nodemcu-board-de-desarrollo-con-modulo-esp8266-wifi-y-lua.html>
- Sajuria, C. L. (2014). La Agricultura y la Ciencia Agriculture and Science, 3–5.
- Sancllemente, M. A., & Peña Javier, E. (2008). CRECIMIENTO Y EFICIENCIA FOTOSINTÉTICA DE *Ludwigia decurrens* Walter ( ONAGRACEAE ) BAJO DIFERENTES CONCENTRACIONES DE NITRÓGENO Growth and Photosynthetic Efficiency of *Ludwigia decurrens* Walter ( Onagraceae ) Under Different Concentrations of Nitrogen. *Acta. Biol. Colomb.*, 13(1), 175–186.
- Solano, M. (2013). En procesos de automatización, el agro es el sector más rezagado. *La Republica*, pp. 1–2. Retrieved from <https://www.larepublica.co/archivo/en-procesos-de-automatizacion-el-agro-es-el-sector-mas-rezagado-2033777>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). *Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. ROMA. <https://doi.org/10.1002/pssb.201300062>
- Stefano Vittorio, R. Z. (2020). *de plantas in vitro : Revisión de Literatura Efecto de diferentes tipos de luz en el crecimiento de plantas in vitro : Revisión de Literatura*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras. Retrieved from <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6812/1/CPA-2020-T094.pdf>
- SYLVANIA. (2019). lampara RGB. Retrieved from <https://sylvania-colombia.com/product/led-reflector-jeta-rgb/>
- Velasco Cruz, J. (2017). El avance de la automatización en la agricultura. Retrieved from <https://www.redagricola.com/cl/el-avance-de-la-automatizacion-en-la-agricultura/>
- Vildósola C, E. (2017). *Actuadores*. Chile. Retrieved from <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>
- VISTRONICA, S. A. . (2019). Rele. Retrieved from <https://www.vistronica.com/potencia/modulo-rele-de-2-canales-detail.html>
- Zárate Aquino, M. A. (2014). *Manual de hidroponia* (Instituto de Biología www.ibiología.unam.mx No. 1). Mexico. Retrieved from [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual\\_de\\_hidroponia.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponia.pdf)

# ANEXOS

## Anexo 1

Resultados Capturas pruebas de foto de puesta en marcha del algoritmo planteado.





## Anexo 2

### CODIGO EN CC+ DE PLACA WEMOS.

```
//Es obligatorio seguir el orden indicado en la inclusión de las librerías..
#include "FirebaseESP8266.h"
#define BLYNK_PRINT Serial
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>

//..Leer la Hora desde Internet
#include "NTPClient.h"
#include "WiFiUdp.h"
const long utcOffsetInSeconds = -18000; // Diferencia de horas en colombia -5
WiFiUDP ntpUDP;
NTPClient timeClient(ntpUDP, "pool.ntp.org", utcOffsetInSeconds);

// Configuración de la conexión a internet y la App
char auth[] = "Vs0IIJDtbQB1VWKe347LyWWyXvyKfFWM";
char ssid[] = "Movistar_3098";
char pass[] = "16356366rz*";

#define FIREBASE_HOST "granjavertical-2020.firebaseio.com" //Sin http:// o https://
#define FIREBASE_AUTH "st6gqNtmwEThkJO55dX0UpE2vFrOOnLmuzdaLA6G"

// Creo el objeto de FirebaseESP32
FirebaseData firebaseData;
FirebaseJson json;

// Declaro las variables para almacenar datos
String Fecha, Tiempo;
int Hora, Min, Seg; // variable para almacenar la horas del RTC
int Hint, Mint, Sint; // variable para almacenar la hora del servidor de internet
String path ;
float Temp, Humd;

int Raspi = 13; //pin D7
int Bomba = 15; //pin D8
int EstBom;

// Librerias del sensor de temperatura
#include <DHT.h>
#define DHTPIN 5 // D1
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// Libreria para el Modulo Infrarrojo
#include <IRsend.h>
IRsend irsend(4); //Recommended: 4 (D2)
int Off = 0xFFFF807;
int On = 0xFFB04F;
```

```

int Red = 0xFF9867;
int Blue = 0xFF8877;
int Green = 0xFFD827;
int White = 0xFFA857;

// librerías para el módulo de RTC
#include "Arduino.h"
#include "uRTCLib.h"
uRTCLib rtc(0x68);

BlynkTimer timer;
WidgetLED LEDR(V7), LEDG (V8), LEDB(V9), LEDW(V11), BOMBA(V10);

void ProgramaHoras() {

if ( ((Hora > -1) and (Min > 0)) and ((Hora < 6) and (Min < 60)) ) { // 00:01 a 06:00
  Serial.println(" Iluminacion apagada de 00:01 a 06:00 ");
  irsend.sendNEC(Off, 32);
  LEDR.off();
  LEDG.off();
  LEDB.off();
  LEDW.off();
}

if ( ((Hora > 5) and (Min > 0)) and ((Hora < 12) and (Min < 59)) ) { // 06:01 a 12:00
  Serial.println(" Iluminacion Roja de 06:01 a 11:59 ");
  irsend.sendNEC(On, 32);
  irsend.sendNEC(Red, 32);
  LEDR.on();
  LEDG.off();
  LEDB.off();
  LEDW.off();

if ( ((Hora == 7) and (Min > -1)) and ((Hora == 7) and (Min < 16)) ) {
  digitalWrite(Bomba, LOW);
}
else {
  digitalWrite(Bomba, HIGH);
}

}

if ( ((Hora > 11) and (Min > -1)) and ((Hora < 18) and (Min < 60)) ) { // 12:01 a 18:00

if ( ((Hora == 12) and (Min > 0)) and ((Hora == 12) and (Min < 6)) ) { // Encender la camara y tomar la foto
  Serial.println(" Encender Lamapara a blanco y Tomar la Foto ");
  irsend.sendNEC(On, 32);
  irsend.sendNEC(White, 32);
  digitalWrite(Raspi, LOW); // LOGICA INVERSA (En este caso enciende la raspberry)
  LEDR.off();
  LEDG.off();
  LEDB.off();
}
}
}

```

```

    LEDW.off();
  }
  else {
    Serial.println(" Iluminacion Verde de 12:01 a 18:00 ");
    digitalWrite(Raspi, HIGH);
    irsend.sendNEC(On, 32);
    irsend.sendNEC(Green, 32);
    LEDR.off();
    LEDG.on();
    LEDB.off();
    LEDW.off();
  }
}

if ( ((Hora > 17) and (Min > 0)) and ((Hora < 24) and (Min < 60)) ) { // 18:01 a 00:00

  Serial.println(" Iluminacion Azul de 18:01 a 23:59 ");
  // digitalWrite(Raspi, HIGH);
  irsend.sendNEC(On, 32);
  irsend.sendNEC(Blue, 32);
  digitalWrite(Raspi, HIGH);
  LEDR.off();
  LEDG.off();
  LEDB.on();

  if ( ((Hora == 18) and (Min > 0)) and ((Hora == 18) and (Min < 20)) ) {
    digitalWrite(Bomba, LOW);
  }
  else {
    digitalWrite(Bomba, HIGH);
  }
}
}

void myTimerEvent() {

  rtc.refresh();
  timeClient.update();
  //Serial.println(Fecha);
  Fecha = (String(rtc.year()) + "/" + String(rtc.month()) + "/" + String(rtc.day())); //Serial.println(Fecha); //
  YY/MM/DD
  Tiempo = (String(timeClient.getHours()) + ":" + String(timeClient.getMinutes()) + ":" +
  String(timeClient.getSeconds())); //Serial.println(Hora); // Hh:mm:ss
  path = Fecha + "/" + Tiempo ; //Serial.println(path);

  Hora = (timeClient.getHours()); Serial.print("Hora= "); Serial.print(Hora);
  Min = (timeClient.getMinutes()); Serial.print(" Min= "); Serial.print(Min);
  Seg = (timeClient.getSeconds()); Serial.print(" Seg= "); Serial.println(Seg);

  Blynk.virtualWrite(V3, Fecha);
  Blynk.virtualWrite(V4, Tiempo);
}

```

```

Sensores(); // aqui hago lectura de los sensores
ProgramaHoras(); // aqui verifico el programa de horas para la iluminación

if ((Min == 0) and (Seg == 0)) {
  Serial.println("Subiendo Datos al Servidor cada hora");
  SubirDatos();
}
}

void Sensores() {

float h = dht.readHumidity(); Humd = h;
float t = dht.readTemperature(); Temp = t;

if (isnan(h) || isnan(t)) {
  Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
  return;
}

Blynk.virtualWrite(V5, h);
Blynk.virtualWrite(V6, t);
EstBom = digitalRead(Bomba);

}

void SubirDatos() {

Firebase.setFloat(firebaseData, path + "/Sensores/Humedad", Humd);
Firebase.setFloat(firebaseData, path + "/Sensores/Temperatura", Temp);
Firebase.setInt(firebaseData, path + "/Sensores/Estado Bomba", EstBom);

}

void setup() {

#ifdef ARDUINO_ARCH_ESP8266
  URTCLIB_WIRE.begin(2, 0); // D4 = SCL y D3 = SDA en ESP8266
#else
  URTCLIB_WIRE.begin();
#endif

dht.begin();
irsend.begin();
Serial.begin(9600);
Blynk.begin(auth, ssid, pass);
timer.setInterval(1000L, myTimerEvent);
timeClient.begin();

Firebase.begin(FIREBASE_HOST, FIREBASE_AUTH);
Firebase.reconnectWiFi(true);
Firebase.setReadTimeout(firebaseData, 1000 * 60);

```

```
    Firebase.setwriteSizeLimit(firebaseData, "tiny");

    irsend.sendNEC(Off, 32); // Apago Lampara LED
    pinMode(Bomba, OUTPUT);
    digitalWrite(Bomba, HIGH);
    pinMode(Raspi, OUTPUT);
    digitalWrite(Raspi, HIGH);
}

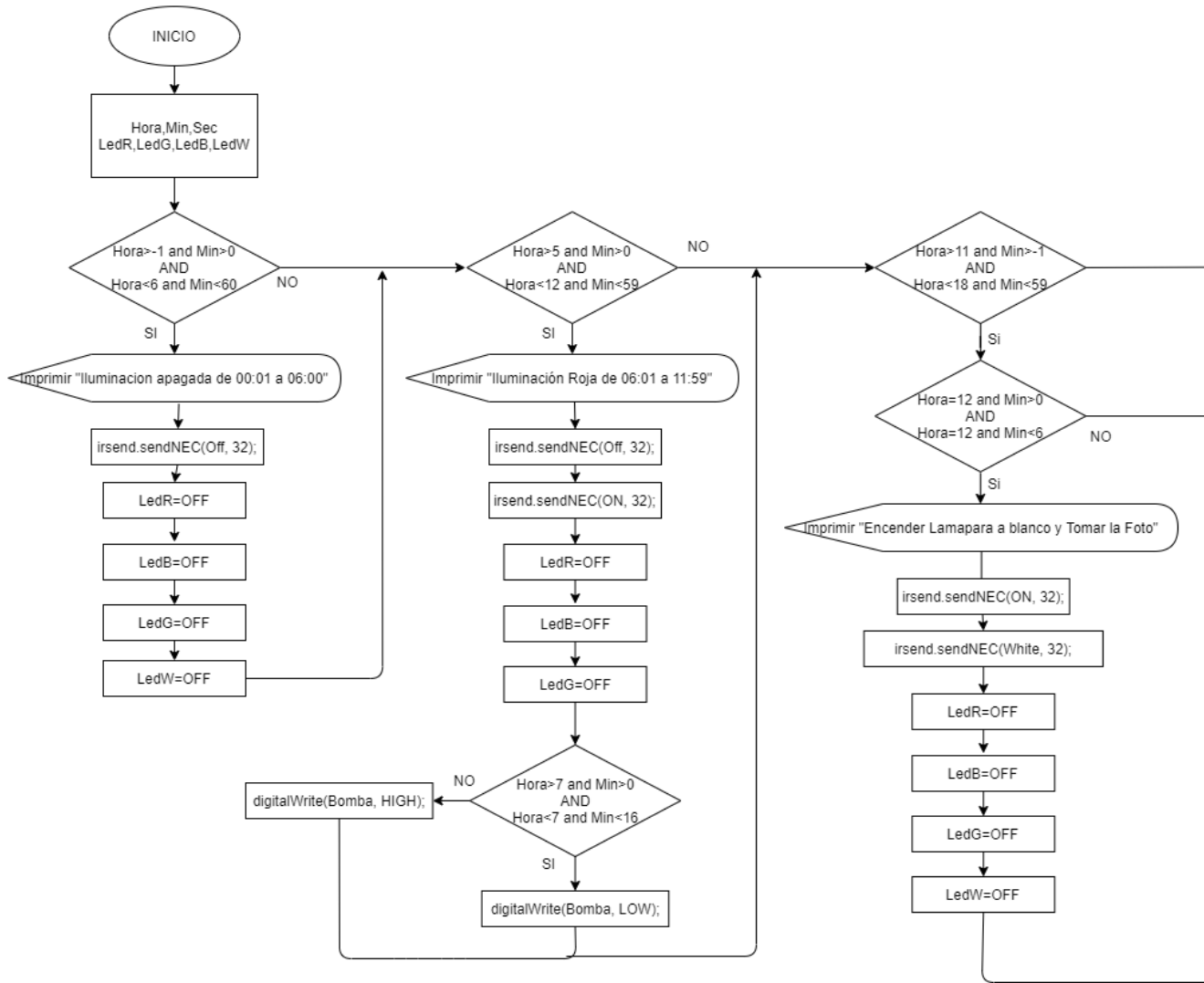
void loop() {

    Blynk.run();
    timer.run(); // Initiates BlynkTimer
}

BLYNK_WRITE(V1) {
    long startTimelnSecs = param[0].asLong();
    Serial.println(startTimelnSecs);
    Serial.println();
}
```

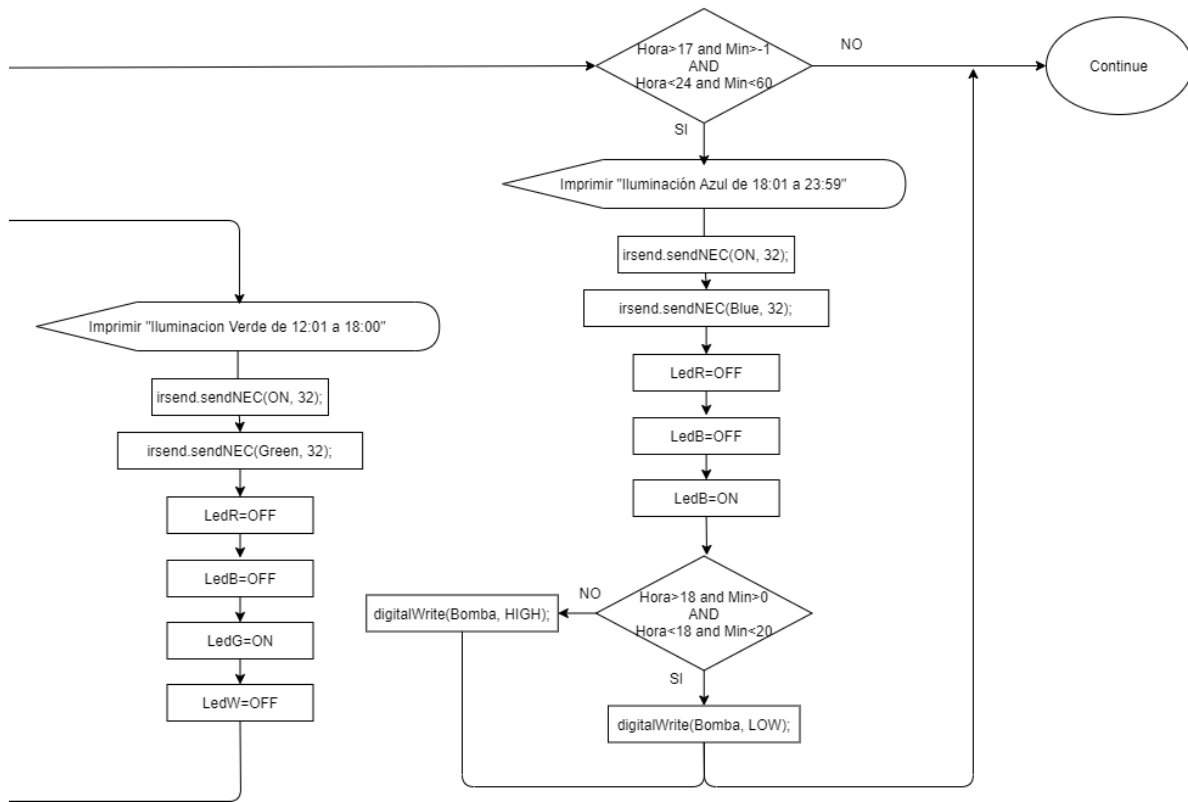
*Fuente: Elaboración propia (2021).*

### Anexo 3



**DIAGRAMA DE FLUJO CODIGO EN CC+ DE PLACA WEMOS (1)**

*Fuente: Elaboración propia (2021).*



**DIAGRAMA DE FLUJO CODIGO EN CC+ DE PLACA WEMOS (2)**

*Fuente: Elaboración propia (2021).*

## Anexo 4

### CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE TOMA DE FOTOGRÁFICA

```
import cv2
import numpy as np
from math import pi

import datetime
import time
import os
import pyrebase

#Sacar la fecha Actual y Guardar la foto en la Raspi resolucion 12080x720
Ahora = datetime.date.today()
Fecha = time.strftime("%y/%m/%d")
Directorio = "/home/pi/Tesis/"
Cadena = Directorio + Fecha + "/"
os.makedirs(Cadena,exist_ok=True)
os.system("sudo fswebcam -r 1280x720 "+ Cadena + "Foto.jpg")
time.sleep(1)

#-----

# Analizar la foto tomada
img=cv2.imread(Cadena + "Foto.jpg")
# convertir la imagen de BGR A HSV
imgHsv=cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV)

Verd_bajo= np.array([30, 100, 120])
Verd_alto= np.array([60, 255, 255])

# mascara para comparar el umbral
mask =cv2.inRange(imgHsv,Verd_bajo,Verd_alto)

contornos,_= cv2.findContours(mask,cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

Lechuga=0
for cont in contornos:
    area=cv2.contourArea(cont)
    if area>5000:

        (x,y),radius = cv2.minEnclosingCircle(cont)
        center = (int(x),int(y))
        radius = int(radius)
        img = cv2.circle(img,center,radius,(0,0,255),2)

    Lechuga=Lechuga+1
# print("Lechuga" + str(Lechuga) + "=" + str(radius) )
```



```

cv2.putText(img,str(radius)+"Radio",(int(x),int(y)),cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,0.6,(255,0,0),1)

os.makedirs(Cadena,exist_ok=True)
#cv2.imshow("imagen de entrada",img)
#cv2.imshow("imagen segmentadaVERDE",mask)
cv2.imwrite(Cadena + "Radio.jpg",img)
cv2.imwrite(Cadena + "Forma.jpg",mask)

#-----
#Sacar el color del pixel
pixel=cv2.imread(Cadena + "Foto.jpg",1)
B,G,R = (pixel[(int(y),int(x))])
#-----

#Subir las Fotos a Storage
config ={
    "apiKey": "AlzaSyAPjkoCXtIL_KEnHj56xT2bX_i_iHr2EPg",
    "authDomain": "granjaverical-2020.firebaseio.com",
    "databaseURL": "https://granjaverical-2020.firebaseio.com",
    "projectId": "granjaverical-2020",
    "storageBucket": "granjaverical-2020.appspot.com",
    "messagingSenderId": "67502256436",
    "appId": "1:67502256436: web:9ee97bca2381d36904f561",
    "measurementId": "G-E0GQS0QHDC"
}
firebase = pyrebase.initialize_app(config)
storage = firebase.storage()
db=firebase.database()
#-----

#Create your own key
data={"Radio":radius, "Pixel": "B" + str(B) + ",G" + str(G) + ",R" + str(R)}
db.child(Fecha +"/Foto").set(data)

path_on_cloud = "Fotos/" + Fecha +"/Foto.jpg"
path_local = Cadena + "Foto.jpg"
storage.child(path_on_cloud).put(path_local)

path_on_cloud = "Fotos/" + Fecha +"/Radio.jpg"
path_local = Cadena + "Radio.jpg"
storage.child(path_on_cloud).put(path_local)

path_on_cloud = "Fotos/" + Fecha +"/Forma.jpg"
path_local = Cadena + "Forma.jpg"
storage.child(path_on_cloud).put(path_local)

cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()
os.system('exit')

```

Anexo 5

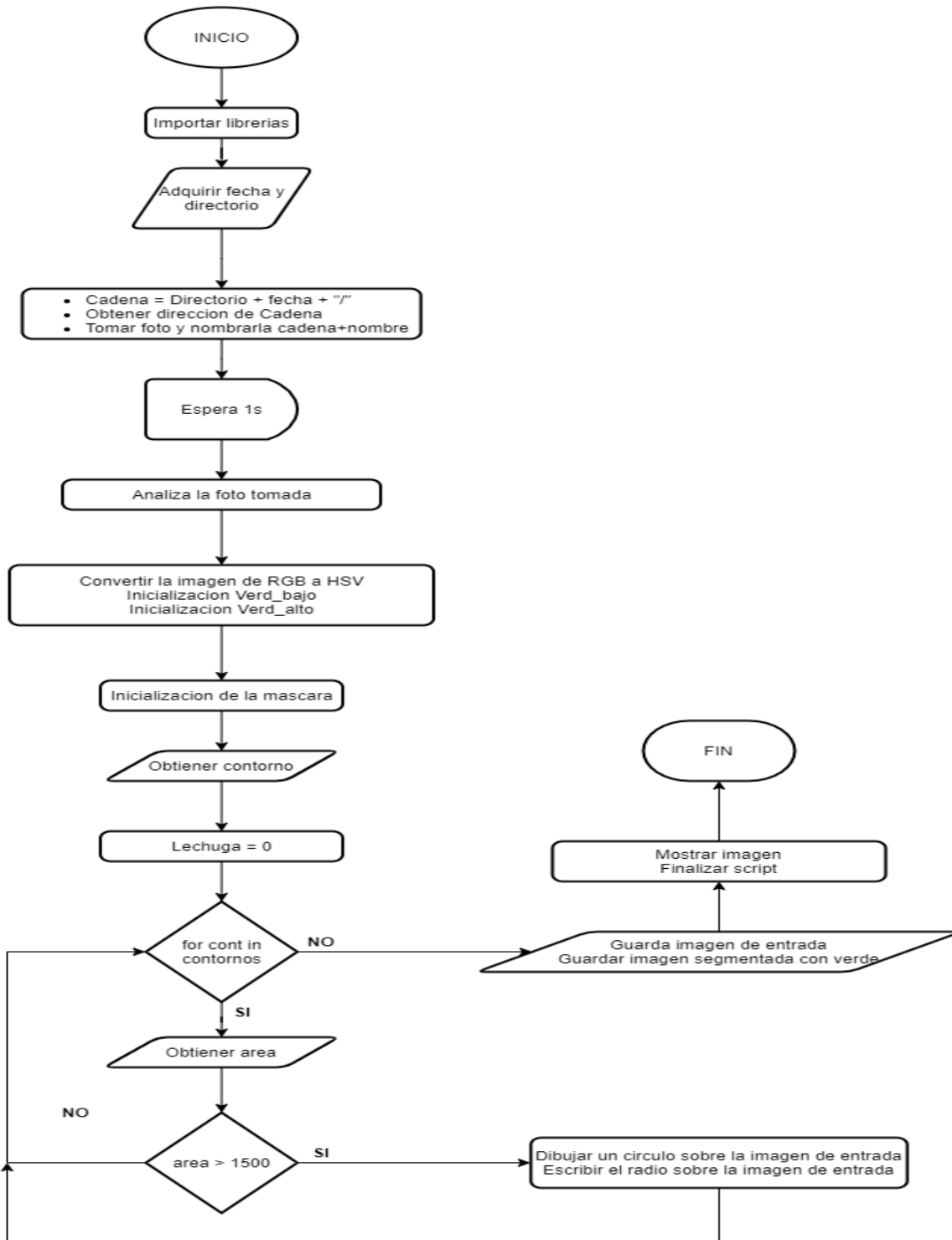


DIAGRAMA DE FLUJO CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE TOMA DE FOTOGRAFÍA

## Anexo 6

### CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE COLORES

```
void ProgramaHoras() {  
  
  if ( ((Hora > -1) and (Min > 0)) and ((Hora < 6) and (Min < 60)) ) { // 00:01 a 06:00  
    Serial.println(" Iluminacion apagada de 00:01 a 06:00 ");  
    irsend.sendNEC(Off, 32);  
    LEDR.off();  
    LEDG.off();  
    LEDB.off();  
    LEDW.off();  
  }  
  
  if ( ((Hora > 5) and (Min > 0)) and ((Hora < 12) and (Min < 59)) ) { // 06:01 a 12:00  
    Serial.println(" Iluminacion Roja de 06:01 a 11:59 ");  
    irsend.sendNEC(On, 32);  
    irsend.sendNEC(Red, 32);  
    LEDR.on();  
    LEDG.off();  
    LEDB.off();  
    LEDW.off();  
  
    if ( ((Hora == 7) and (Min > -1)) and ((Hora == 7) and (Min < 16)) ) {  
      digitalWrite(Bomba, LOW);  
    }  
    else {  
      digitalWrite(Bomba, HIGH);  
    }  
  }  
  
  if ( ((Hora > 11) and (Min > -1)) and ((Hora < 18) and (Min < 60)) ) { // 12:01 a 18:00  
  
    if ( ((Hora == 12) and (Min > 0)) and ((Hora == 12) and (Min < 6)) ) { // Encender la camara y tomar la  
foto  
      Serial.println(" Encender Lamapara a blanco y Tomar la Foto ");  
      irsend.sendNEC(On, 32);  
      irsend.sendNEC(White, 32);  
      digitalWrite(Raspi, LOW); // LOGICA INVERSA (En este caso enciende la raspberry)  
      LEDR.off();  
      LEDG.off();  
      LEDB.off();  
      LEDW.off();  
    }  
    else {  
      Serial.println(" Iluminacion Verde de 12:01 a 18:00 ");  
      digitalWrite(Raspi, HIGH);  
      irsend.sendNEC(On, 32);  
    }  
  }  
}
```

```

    irsend.sendNEC(Green, 32);
    LEDR.off();
    LEDG.on();
    LEDB.off();
    LEDW.off();
  }
}

if ( ((Hora > 17) and (Min > 0)) and ((Hora < 24) and (Min < 60)) ) { // 18:01 a 00:00}

  Serial.println(" Iluminacion Azul de 18:01 a 23:59 ");
  // digitalWrite(Raspi, HIGH);
  irsend.sendNEC(On, 32);
  irsend.sendNEC(Blue, 32);
  digitalWrite(Raspi, HIGH);
  LEDR.off();
  LEDG.off();
  LEDB.on();

  if ( ((Hora == 18) and (Min > 0)) and ((Hora == 18) and (Min < 20)) ) {
    digitalWrite(Bomba, LOW);
  }
  else {
    digitalWrite(Bomba, HIGH);
  }
}
}
}

```

Fuente: Elaboración propia (2021).

## Anexo 6

### CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN TEMPERATURA

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("DHTxx test!");

  dht.begin();
}

void loop() {
  // Wait a few seconds between measurements.
  delay(2000);
}

```

```
// Reading temperature or humidity takes about 250 milliseconds!  
float h = dht.readHumidity();  
float t = dht.readTemperature();  
  
if (isnan(h) || isnan(t)) {  
    Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");  
    return;  
}  
  
Serial.print("Humidity: ");  
Serial.print(h);  
Serial.print(" %\t");  
Serial.print("Temperature: ");  
Serial.print(t);  
Serial.print(" *C ");  
}
```

*Fuente: Elaboración propia (2021).*

## Anexo 7

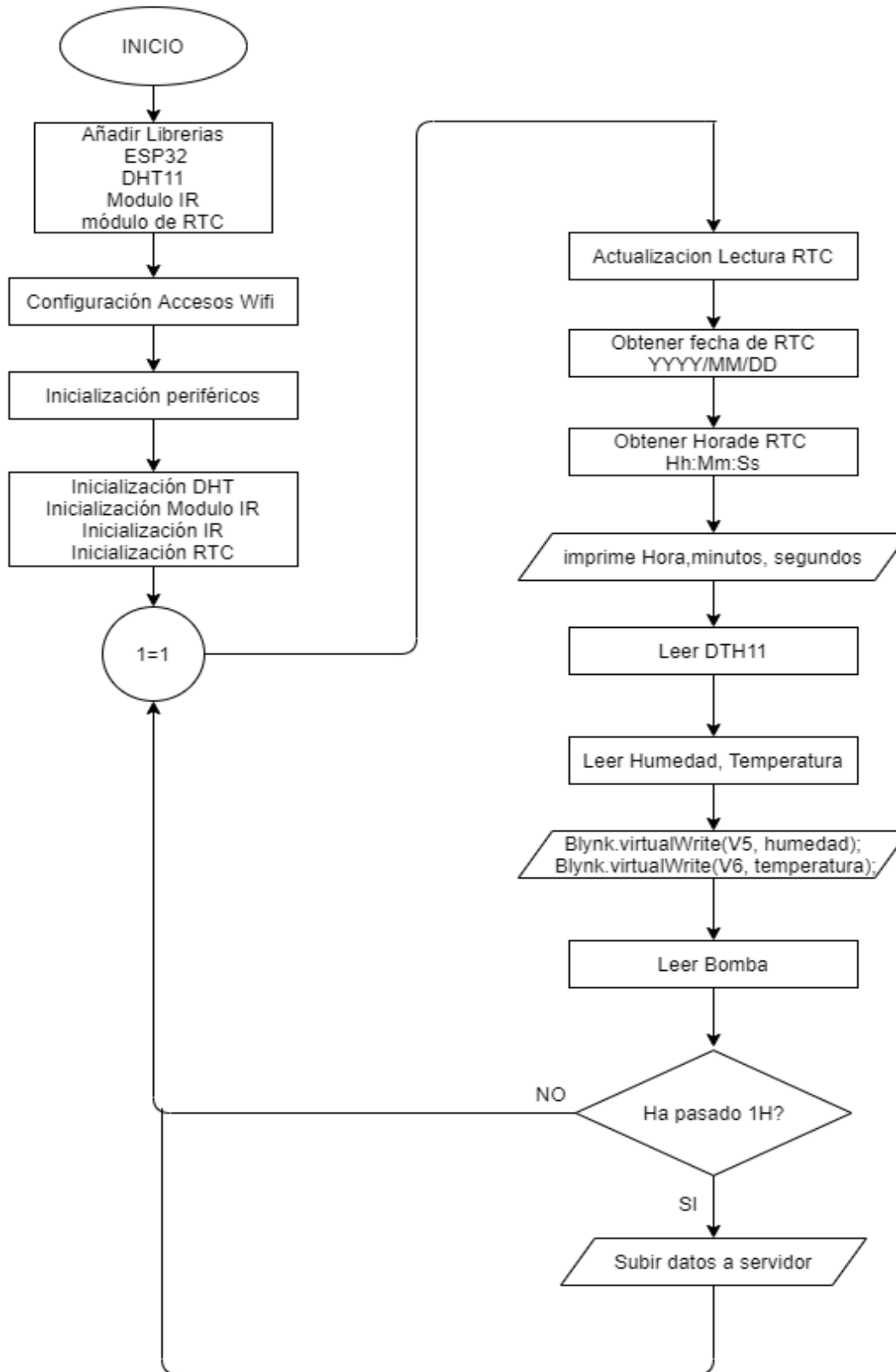


DIAGRAMA DE FLUJO CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN TEMPERATURA PARA SUBIR A LA APP

Fuente: Elaboración propia (2021).

## Anexo 8

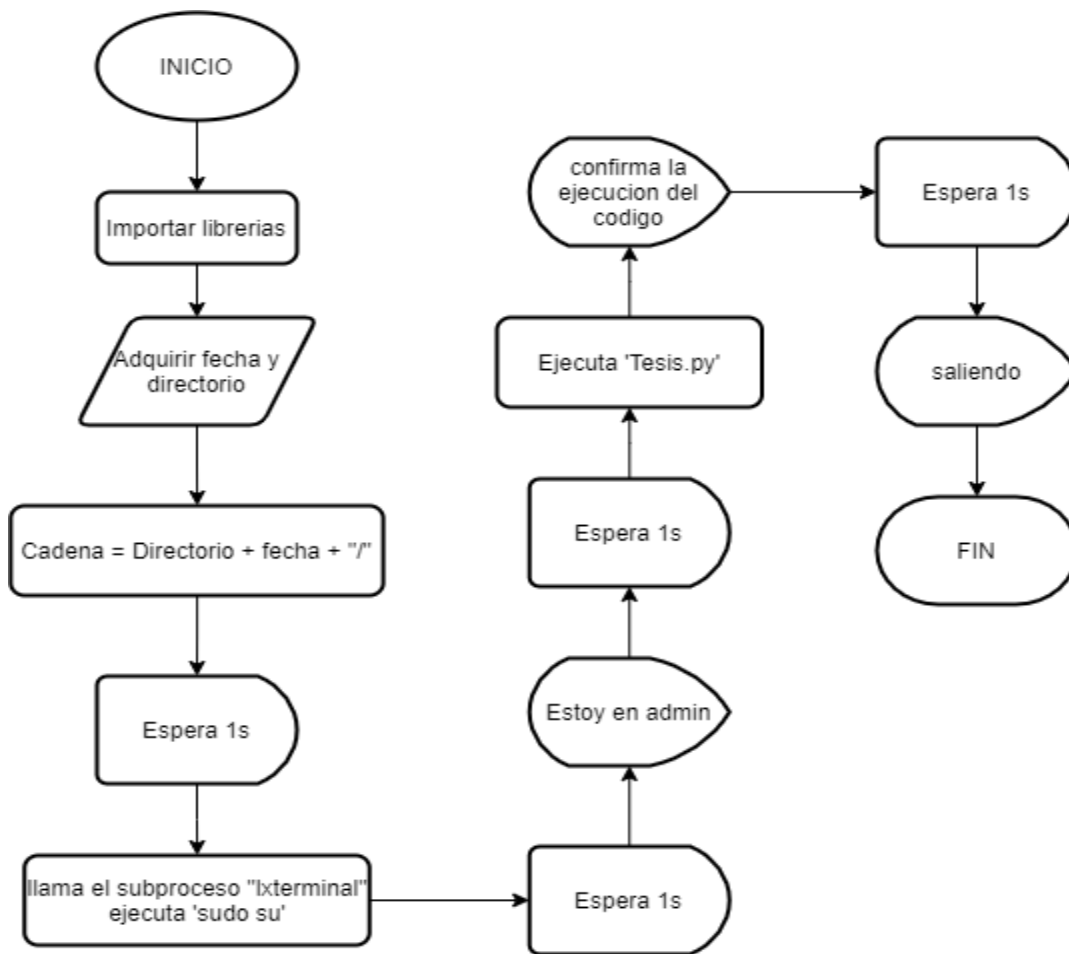
### CODIGO O SCRIP DE INICIO RASPBERRY PI

```
#!/usr/bin/python3
import subprocess
import time
import os

subprocess.call("lxterminal")
os.system('sudo su')
time.sleep(1)
print("estoy admin")
time.sleep(1)
os.system('sudo python3 /home/pi/Camara.py')
print("ejecuto script")
time.sleep(1)
print("saliendo")
os.system('exit')
```

*Fuente: Elaboración propia (2021).*

## Anexo 9



**DIAGRAMA DE FLUJO CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE INICIO RASPBERRY**

*Fuente: Elaboración propia (2021).*