



Modelo de negocio: granja vertical automatizada de hortalizas basada en IoT para monitoreo y control desde aplicativo web

Juan Camilo Torres Urrego
Pedro Alejandro González Carreño

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Electrónica, Biomédica y Mecatrónica
Programa de Ingeniería Electrónica
Bogotá, Colombia
2020

Modelo de negocio: granja vertical automatizada de hortalizas basada en IoT para monitoreo y control desde aplicativo web

Juan Camilo Torres Urrego
Pedro Alejandro González Carreño

Trabajo de emprendimiento presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniería Electrónica

Director:
Ing. Mario Enrique Duarte González PhD

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Electrónica, Biomédica y Mecatrónica
Programa de Ingeniería Electrónica
Bogotá, Colombia
2020

Nota de Aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado 1

Firma del Jurado 2

Bogotá D.C. _____

A mi Familia.

“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa”.

Mahatma Gandhi .

Agradecimientos

Agradezco a mi familia, amigos y docentes por el apoyo incondicional, por su ejemplo de honestidad, tenacidad y superación. Sin su colaboración y confianza habría sido difícil llevar a cabo un camino tan lleno de dificultades, como lo es terminar una carrera universitaria. A los directores del proyecto el ingeniero Mario y la Dra. Alejandra Cajavilca por creer en nuestra idea y aportar sus conocimientos en pro de mejorar. *Pedro Gonzalez*

El siguiente trabajo de grado marca la finalización de una de las más importantes etapas en mi vida, la cual abrirá nuevas puertas dando lugar así a nuevos retos y oportunidades. Quiero destacar el acompañamiento principalmente de mi familia quienes a lo largo de mi vida han sido mi pilar y me han impulsado a creer en mi para superar cada obstáculo. Hace falta incluir muchas personas que me acompañaron en el camino, profesores, amigos y compañeros que siempre me impulsaron a seguir. *Juan Camilo*

Resumen

Debido a las drásticas variaciones climatológicas que presenta la sabana de Bogotá, el incremento de la población en los últimos años, la construcción de urbanizaciones en zonas suburbanas, el bajo rendimiento productivo de las prácticas tradicionales empleadas en la agricultura y la necesidad de crear un modelo de negocio para los pequeños agricultores de hortalizas; se adoptó la metodología Design Thinking haciendo uso de la herramienta del lienzo de canvas para un modelo de negocio enfocado en el prototipo de una granja vertical automatizada que capta y monitorea remotamente las variables físicas y ambientales que influyen en el crecimiento de los cultivos, tales como la temperatura, humedad relativa, humedad del suelo, luminosidad y sistema de riego.

La implementación del proyecto constó de tres fases, teniendo en cuenta el modelado en 3D la primera fase fue la construcción física del prototipo donde se adaptó la estantería y se ubicaron los sensores y actuadores en las zonas estratégicas, posterior el control y monitoreo se procesó en el microcontrolador ESP32, encargado de enviar las señales sensadas al servidor Ubidots y finalmente los datos obtenidos se visualizaron gráficamente por la API del servidor en la página web. Para comprobar la funcionalidad del prototipo se realizaron pruebas unitarias y de integración, donde se evidenciaron resultados positivos en cuanto a la máquina de estados diseñada, además se observó que el control automatizado de la granja vertical fue óptimo en comparación con el método de agricultura convencional.

Palabras clave: Modelo de negocio, canvas, granja vertical, IoT (Internet de las cosas), microcontrolador, sensores, actuadores, monitoreo, control, automatización, máquina de estados, base de datos, temperatura, luminosidad, humedad relativa, humedad del suelo..

Abstract

Due to the drastic climatic variations that the Bogotá savannah presents, the increase in population in recent years, the construction of urbanizations in suburban areas, the low productive performance of traditional practices used in agriculture and the need to create a model business for small vegetable farmers; The Design Thinking methodology was adopted making use of the canvas tool for a business model focused on the prototype of an automated vertical that remotely captures and monitors the physical and environmental variables that influence crop growth, such as temperature, relative humidity, soil humidity, luminosity and irrigation system.

The implementation of the project consisted of three phases, taking into account the 3D modeling, the first phase was the physical construction of the prototype where the shelving was adapted and the sensors and actuators were located in the strategic areas, later the control and monitoring was processed in the ESP32 microcontroller, in charge of sending the sensed signals to the Ubidots server and finally the data obtained was graphically displayed by the server's API on the web page. To verify the functionality of the prototype, unit and integration tests were carried out, where positive results were evidenced in terms of the designed state machine, it was also observed that the automated control of the vertical farm was optimal compared to the conventional farming method.

Keywords: Business model, canvas, vertical farm, IoT (Internet of things), microcontroller, sensors, actuators, monitoring, control, automation, state machine, database, temperature, luminosity, relative humidity, soil humidity.

Tabla de Contenidos

Agradecimientos	IX
Resumen	XI
Abstract	XIII
Lista de Tablas	XV
Lista de Figuras	XV
1 Introducción	1
1.1 Estado del arte	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos	5
1.5 Alcance	5
1.6 Organización del documento	6
2 Marco teórico	7
2.1 Sensores	7
2.2 Actuadores	8
2.3 Microcontroladores	8
2.4 Internet de las cosas (IOT)	8
2.4.1 Página web	9
2.4.2 API	9
2.4.3 Ubidots	9
2.5 OnShape	10
2.6 Circuitmaker	10
2.7 Iluminación led	10
2.8 Agricultura Vertical	10
2.8.1 Factores ambientales de un cultivo	11
2.8.2 Temperatura	11

2.8.3	Riego	11
2.8.3.1	Tipos de riego	11
2.8.4	Humedad del suelo	12
2.8.5	Humedad relativa	12
2.9	Requerimientos edafoclimáticos	12
2.9.1	Lechuga	12
2.9.2	Rabano	13
2.10	Iluminación en las plantas	14
2.10.1	Espectro solar en las plantas	15
2.11	Modelo de negocios Canvas	16
2.11.1	Ventajas y desventajas del Modelo Canvas	16
2.11.2	Primer módulo: segmentación de mercado	17
2.11.3	Segundo módulo: propuesta de valor	17
2.11.4	Tercer módulo: canales de comercialización	18
2.11.5	Cuarto módulo: relaciones con los clientes	18
2.11.6	Quinto módulo: fuentes de ingresos	19
2.11.7	Sexto módulo: recursos clave	19
2.11.8	Séptimo módulo: actividades clave	19
2.11.9	Octavo módulo: asociaciones clave	20
2.11.10	Noveno módulo: estructura de costos	20
3	Diseño de propuesta de negocio	21
3.1	Deseabilidad	21
3.1.1	Segmentación de mercado	21
3.1.2	Propuesta de valor	22
3.1.3	Canales	23
3.1.4	Relación con el cliente	24
3.2	Factibilidad	26
3.2.1	Actividades clave	26
3.2.2	Recursos clave	28
3.2.3	Socios clave	29
3.3	Viabilidad	30
3.3.1	Fuente de ingresos	30
3.3.2	Estructura de costes	31
3.4	Modelo Canvas	33
4	Diseño de prototipo de granja vertical	35
4.1	Selección de materiales	35
4.1.1	Microcontrolador	35
4.1.1.1	Microcontrolador Atmel ATMEGA2560	35

4.1.1.2	Microcontrolador Atmel ATMEGA328	36
4.1.1.3	Microcontrolador NodeMCU ESP8266	36
4.1.1.4	Microcontrolador NodeMCU-32	37
4.1.1.5	Elección final del microcontrolador	38
4.1.2	Sensores	38
4.1.2.1	Sensor de humedad de suelo FC-28	38
4.1.2.2	Sensor de humedad de suelo Y-L69	39
4.1.2.3	Elección final del sensor de humedad de suelo	40
4.1.2.4	Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302)	40
4.1.2.5	Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11	41
4.1.2.6	Sensor de temperatura y humedad relativa HTU21D	41
4.1.2.7	Elección final del sensor de temperatura y humedad relativa	42
4.1.2.8	Sensor de luminosidad BH1750	43
4.1.2.9	Sensor de luminosidad TSL2561	44
4.1.2.10	Elección final del sensor de luminosidad	45
4.1.3	Actuadores	45
4.1.3.1	Iluminación LED	45
4.1.3.2	Electroválvula	47
4.1.3.3	Calefactor	48
4.1.3.4	Sistema de ventilación	49
4.2	Diseño 3D del prototipo de la granja vertical	50
4.3	Esquemático del circuito	52
4.4	Cerramiento de la granja vertical	53
4.5	Maquina de estados	53
5	Implementación de la granja vertical y pagina web	54
5.1	Construcción física de la Granja Vertical	54
5.1.1	Estantería	54
5.1.2	Sensores	54
5.1.3	Actuadores	55
5.2	Implementación del código en el microcontrolador	56
5.2.1	Implementación de la maquina de estados	59
5.2.2	Recepción de las señales de los sensores	59
5.2.3	Manejo de los datos de entrada	60
5.2.4	Selección de los estados	60
5.2.5	Ejecución de las salidas	60
5.2.6	Publicación de los datos al servidor	61
5.3	Implementación de la plataforma web	62
5.3.1	Landing Page	62

5.3.2	Dashboard	62
5.3.2.1	Backend	63
5.3.2.2	Frontend	65
6	Protocolos de pruebas y discusión de resultados	68
6.1	Protocolo de pruebas	68
6.1.1	Pruebas unitarias	68
6.1.1.1	Temperatura máxima	68
6.1.1.2	Temperatura mínima	70
6.1.1.3	Humedad relativa máxima	71
6.1.1.4	Humedad relativa mínima	73
6.1.1.5	Humedad del suelo máximo	73
6.1.1.6	Humedad del suelo mínimo	74
6.1.1.7	Luminosidad alta	74
6.1.1.8	Luminosidad mínima	75
6.1.2	Pruebas de integración y conjunto	75
6.1.2.1	Cambio de la humedad según la temperatura	75
6.2	Discusión de resultados	76
7	Conclusiones y trabajo futuro	78
7.1	Conclusiones	78
7.2	Trabajo futuro	79
7.2.1	Dispositivo	79
7.2.2	Programación del microcontrolador	79
7.2.3	Página web	79
7.2.4	Modelo de negocio	80
8	Anexos	81
8.1	Anexo A: Encuesta modelo de Negocio	82
8.2	Anexo B: Resultados de Encuesta modelo de negocio	89
8.3	Anexo C: Modelo de negocio	93
8.4	Anexo D: Esquemático del circuito Y Diseño PCB	94
8.5	Anexo E: Datos fotométricos	98
8.6	Anexo F: Gastos Granja vertical	99
8.7	Anexo G: Maquina de estados	100
	Bibliografía	102

Lista de Tablas

4-1	Tabla de comparación de especificaciones del microcontrolador	38
4-2	Tabla de comparación de especificaciones de humedad de suelo	40
4-3	Tabla de comparación de especificaciones de temperatura y humedad relativa	43
4-4	Tabla de comparación de especificaciones de luminosidad	45
4-5	Tabla de comparación de especificaciones de la Iluminación LED	46
4-6	Tabla de especificaciones Válvula solenoide 1/2"	47
4-7	Tabla de comparación de especificaciones del Calefactor	48

Lista de Figuras

2-1	Lechuga. Tomado de [1]	13
2-2	Requerimientos EDAFOCLIMATICOS LECHUGA	13
2-3	Rábano. Tomado de [2]	14
2-4	Requerimientos EDAFOCLIMATICOS RABANO	14
2-5	Espectro de radiación y longitudes de onda. Tomado de [3]	15
2-6	Rangos de absorción del espectro solar de la clorofila. Tomado de [4]	16
2-7	Lienzo propuesta de Valor	17
2-8	Lienzo de Customer Journey	18
3-1	Valores de los servicio y productos	31
3-2	Ganancia porcentual de los servicio y productos	31
3-3	Costos del servicio	31
3-4	Costos del mantenimiento	32
3-5	Costos del mantenimiento	32
3-6	Ganancia bruta	33
3-7	Modelo de negocio Canvas Parte 1	34
3-8	Modelo de negocio Canvas Parte 2	34
4-1	Microcontrolador ATMEGA2560. Tomado de [].	36
4-2	Microcontrolador ATMEGA328	36
4-3	Microcontrolador ESP8266	37
4-4	Microcontrolador ESP32	38
4-5	Sensor de humedad de suelo FC-28	39
4-6	Sensor de humedad de suelo Y-L69	39
4-7	Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22	41
4-8	Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11	41
4-9	Sensor de temperatura y humedad relativa HTU21D	42
4-10	Sensor de luminosidad BH1750	44
4-11	Sensor de luminosidad TSL2561	44
4-12	Electroválvula 1/2"	47
4-13	Resistencia de calefacción	49
4-14	Ventilador 12v	49
4-15	Componentes de la estructura 3D	50
4-16	Visualización de nivel 3D	51

4-17	Modelación de estructura front 3D	51
4-18	Modelación de estructura back 3D	52
4-19	Diagrama de bloques del circuito	52
5-1	Calefactor	55
5-2	Estructura de granja vertical	56
5-3	Código de los objetos de los sensores	57
5-4	Código de los objetos de las salidas	57
5-5	Diagrama de flujo del timer	58
5-6	Diccionario que relaciona las entradas con un estado	59
5-7	Diccionario que relaciona cada estado con un arreglo de salidas	59
5-8	Selección del estado	60
5-9	Funciones que reciben el vector de salidas	60
5-10	Asignación de lo valores de salida para los actuadores: Calefactor, Ventilador, LEDs	61
5-11	Publicación del mensaje en el servidor	61
5-12	Página web	62
5-13	Dashboard	63
5-14	Estructura de los archivos del Dashboard	63
5-15	Función que obtiene los valores la variable especificada	64
5-16	Obtención y envío de los valores	65
5-17	Petición GET al servidor local	65
5-18	Separación de los vectores de tiempo y magnitud	66
5-19	Objeto que genera el gráfico con los valores recibidos	66
6-1	Temperatura máxima natural	69
6-2	Temperatura máxima natural ventilador	69
6-3	Temperatura máxima controlada	70
6-4	Temperatura máxima controlada ventilador	70
6-5	Temperatura mínima controlada	71
6-6	Temperatura mínima controlada ventilador	71
6-7	Humedad máxima natural	72
6-8	Humedad máxima natural ventilador	72
6-9	Humedad máxima controlada	73
6-10	Humedad máxima controlada ventilador	73
6-11	Humedad del suelo	74
6-12	Riego	74
6-13	Estado de las luces en la noche	75
6-14	Valores de humedad	75
6-15	Valores de temperatura	76

8-1	Preguntas de la encuesta para el diseño del modelo de negocio sección 1 . . .	82
8-2	Preguntas de la encuesta para el diseño del modelo de negocio sección 1 . . .	83
8-3	Preguntas de la encuesta para el diseño del modelo de negocio sección 2 . . .	84
8-4	Preguntas de la encuesta para el diseño del modelo de negocio sección 2 . . .	85
8-5	Preguntas de la encuesta para el diseño del modelo de negocio sección 3 . . .	86
8-6	Preguntas de la encuesta para el diseño del modelo de negocio sección 3 . . .	87
8-7	Preguntas de la encuesta para el diseño del modelo de negocio sección 3 . . .	88
8-8	Ocupación del cliente	89
8-9	Respuesta enfocadas en Agricultura Urbana parte 1	90
8-10	Respuesta enfocadas en Agricultura Urbana parte 2	91
8-11	Respuesta enfocadas en Agricultura Vertical	92
8-12	Diseño propuesta de valor	93
8-13	Diseño del circuito Granja Vertical	94
8-14	Diseño PCB 3D	95
8-15	Diseño PCB TWO LAYERS	95
8-16	Diseño PCB view layer	96
8-17	Diseño PCB view top	96
8-18	Datos fotométricos de LED. Tomado de [5, 6, 7, 8, 9]	98

1 Introducción

La agricultura es fundamental en el desarrollo económico de un país y teniendo en cuenta que Colombia es un país agricultor, según muestran las estadísticas del Banco Mundial en donde la agricultura ha representado en los últimos 15 años entre el 6 % y el 8 % del PIB de Colombia (Banco Mundial, 2017) [10], se requieren productos de base tecnológica para el apoyo este sector.

Se estima que para el año 2050 la población alcanzará los 9.100 millones de personas, con más de un 80 % de la población viviendo en zonas urbanas sería necesario aumentar la producción de alimentos en un 70 % [11] y teniendo en cuenta que la agricultura convencional no es ambientalmente sostenible ya que alrededor de un un tercio de la tierra fértil se ha degradado en los últimos 40 años, la optimización de los recursos en los cultivos se hace inevitable para mantener la seguridad alimentaria [12].

La producción vertical es proyectada como una economía alternativa sustentable para garantizar la seguridad alimentaria de la población, reduciendo el uso de pesticidas y herbicidas y contribuyendo a la preservación de los ecosistemas[13].

Para optimizar la producción en las granjas verticales, se debe tener control de las variables físicas y ambientales que influyen en los cultivos, tales como la temperatura, luminosidad y humedad [14].

Teniendo en cuenta lo anterior este proyecto se basa en el diseño de un modelo de negocio y un producto mínimo viable de una granja vertical automatizada, diseñada para funcionar como un invernadero.

Se ideó un modelo de negocio usando la metodología Design Thinking aplicando las fases, deseabilidad, factibilidad y viabilidad de acuerdo al modelo Canvas, para identificar la segmentación del mercado, propuesta de valor, canales, relación con el cliente, socios claves, fuente de ingresos y estructura de costes, que llevó al diseño de un prototipo de granja vertical para hortalizas, específicamente de lechuga y rábano por el corto período de cosecha que ambas requieren y las similitudes que tienen en cuanto a las condiciones de suelo y ambiente en que crecen.

En el diseño del proyecto se realizó la comparación de las características y costos de microcontroladores, sensores, actuadores, sistema de riego, estantería y materiales complementarios eligiendo los más viables; se ilustró en diagramas de bloques la relación y funcionamiento de los sensores y actuadores con el microcontrolador y la fuente de alimentación; se realizó un modelado en 3D de la estructura de la granja con la herramienta OnShape donde se detalló la ubicación de los sensores, actuadores, sistema de riego, conexiones, entre otros. Posterior se procedió con el ensamble del prototipo de acuerdo al modelado, el diseño de la PCB se llevó a cabo con la herramienta Circuit Maker, mientras que el control y monitoreo de las variables del cultivo se procesó con el SOC ESP32 encargado de enviar las señales censadas al servidor Ubidots, para visualizar los datos obtenidos en la página web por la API del servidor.

Finalmente, se verificó la funcionalidad del prototipo realizando pruebas unitarias y de integración, que mostraron resultados positivos de la máquina de estados diseñada, observando un buen rendimiento gracias al control automatizado de la granja vertical.

1.1. Estado del arte

En los últimos años se han llevado a cabo múltiples investigaciones acerca de la agricultura en la edad moderna. La agricultura vertical aprovecha los espacios limitados en las ciudades, lo que permite crear un entorno que fomenta la vida urbana sostenible. Allí se controlan las variables que influyen en el crecimiento de los cultivos y se excluyen los factores ambientales externos [15].

En [16], se propuso un sistema de monitoreo y control remoto para los cultivos de un invernadero, basado en cuatro fases: mecanismo de control, fuente de poder, implementación de aplicación Android y almacenamiento de datos; en la primera fase se trabajó con un microcontrolador MEGA y sensores estableciendo una conexión remota mediante Bluetooth para el envío de datos, la fuente de alimentación se basó en la obtención de energía solar y rectificación de voltaje CA, la aplicación fue diseñada con Android Studio que se conectó a un sitio web llamado Thingspeak para finalmente almacenar y visualizar los datos en el sitio web indicado.

En [17], los autores desarrollaron un cultivo vertical hidropónico con tres niveles, el primero consta de una nube donde se implementa el servidor remoto; el segundo cuenta con una placa Raspberry Pi que funciona como un dispositivo de control local para los sensores y actuadores, que utilizan sensores para medir parámetros ambientales como: temperatura, presión, humedad, CO₂ y tasa de emisión del compuesto orgánico volátil total y el tercero se encarga del control intermedio y la adquisición de datos por medio de la plataforma Arrowhead.

En [18], se creó el prototipo de un invernadero automatizado que monitorea y controla los parámetros responsables del crecimiento de los cultivos, diseñando un algoritmo para cada

uno de ellos y manteniéndolos en un rango óptimo, para mejorar la calidad del suelo se diseñó un sistema de fertilizantes y los datos recopilados se analizan y visualizan a través de la herramienta ThingSpeak.

En [19], se elaboró un invernadero inteligente basado en IoT utilizando sensores de temperatura y humedad conectados a una Raspberry-Pi que actúa como puerta de enlace para transmitir los valores a la nube de Thingspeak, almacenando la información en la base de datos MySQL; finalmente los datos se redirigen desde la nube a la aplicación móvil desarrollada por MIT AppInventor 2 que brinda al usuario información relevante sobre el cultivo.

Debido a la demanda actual de la agricultura urbana, se han desarrollado estudios que evalúan una de las variables más relevantes en la horticultura “la iluminación” y conocer cuál es más eficiente, entre las lámparas de sodio y fuentes de luz LED las principales usadas. Tras una comparativa se concluye que la luz LED es la más apropiada debido a su mayor vida útil, menor exposición al calor intenso cerca de la planta y porque permite adaptar los espectros de luz de acuerdo al tipo de planta en las diferentes etapas del crecimiento

11.

1.2. Planteamiento del problema

La pérdida y desperdicios de alimentos en el sector agrícola Colombiano alcanza el 34% de la oferta nacional, de este total, el 40.4% corresponde a la pérdida directa en la etapa de la producción del alimento. El grupo que cuenta con mayor participación son las frutas y verduras con un 62% sobre el total de pérdidas. Algunas de las causas se relacionan con aspectos logísticos, condiciones climáticas y hábitos de consumo [20].

Las heladas por radiación, una de las condiciones climáticas importantes para los cultivos, ocurren con frecuencia en las regiones tropicales a un altura mayor a 2.500 msnm, como pasa en la Sabana de Bogotá [21] las temperaturas han logrado llegar hasta -3°C en enero del año 2020, afectando principalmente a los cultivos de papa y hortalizas que llegan a tener daños irremediables en cerca de un estimado de 17.900 agricultores[22], generando un impacto en la economía local [23].

Entre los cultivos afectados, las hortalizas tales como la lechuga y el rábano con producciones por año de 3'975.725 Toneladas y 18.590 Toneladas respectivamente en el departamento de cundinamarca son las más sensibles a temperaturas demasiado bajas [24], alimentos que tienen gran parte de mercado en el sector [25][26].

A lo anterior se suma las prácticas tradicionales de agricultura que no son las mejores en

términos de rendimiento de cultivos y optimización de recursos, tales como la tierra, el agua, los nutrientes y mano de obra. La falta de mediciones sobre la temperatura, la humedad, la luminosidad y los impedimentos para un monitoreo continuo de todos estos factores, dificultan el análisis y por consiguiente el mejoramiento de los mismos[27].

La agricultura urbana proporciona un enlace directo a los alimentos disminuyendo el uso de intermediarios y evitando el desconocimiento de la procedencia, sin embargo presenta un gran reto en cuanto al espacio disponible para la siembra, teniendo en cuenta que en la ciudad las zonas verdes son reducidas y algunas personas no cuentan con suelos, las granjas verticales podrían representar una oportunidad de negocio. Se imposibilita entonces obtener el máximo rendimiento que se podría aprovechar controlando las variables mencionadas con base a las mediciones, por lo tanto nace la pregunta: ¿Cómo construir un sistema que monitoree y controle remotamente tanto las variables ambientales como físicas de un cultivo y a su vez maximice la cantidad de plantas en un determinado espacio ?

1.3. Justificación

Para aumentar el rendimiento de una planta se debe ahondar en los factores principales que influyen en el crecimiento. Cada planta requiere de: una temperatura en específico, un rango de humedad en el ambiente circundante, una combinación de nutrientes en el suelo, una cantidad de agua y una iluminación determinada [28].

Se ha demostrado que el control de las variables mencionadas sumado a un sistema de granja vertical puede aumentar entre un 130 a 540 % el rendimiento de los cultivos por hectárea [29]. En contraste con la agricultura tradicional, este sistema requiere únicamente del 8 % de agua [30].

El control climático se aborda principalmente con invernaderos [31], sin embargo en Colombia los agricultores que poseen uno de estos tienen una participación del 0.79 %, muestra la falta de tecnificación del agro colombiano [32].

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Crear un modelo de negocio para cultivo de hortalizas en una granja vertical automatizada con monitoreo y control remoto de temperatura, humedad, riego y luminosidad en aplicativo

web.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Diseñar un modelo de negocio para contribuir al desarrollo de la agricultura urbana, mediante un prototipo de granja vertical.
2. Implementar un sistema de adquisición y control para las señales sensadas de temperatura, humedad y luminosidad, y un sistema de control para automatizar el riego con el uso del SoC ESP32.
3. Desarrollar una página web mediante la API del servidor IoT Ubidots, para visualizar el historial y en tiempo real las variables censadas, brindando información de los cultivos de lechuga y rábano.
4. Implementar la estructura de un prototipo de granja vertical para adecuar un ambiente controlado de las variables de temperatura, humedad y luminosidad.
5. Evaluar la exactitud de los sensores y el funcionamiento del sistema de control.

1.5. Alcance

Se pretende implementar un prototipo de granja vertical que simula las condiciones de un cultivo de lechuga y rábano en la ciudad de Bogotá, donde las variables ambientales pueden enfrentar un reto para los agricultores aficionados. Este prototipo tendrá la posibilidad de monitorear con sensores la temperatura, la humedad y la luminosidad para así controlarlas en su punto óptimo, además se implementará un sistema de riego automático que optimice el uso del agua. todo esto con el uso de un SoC ESP32.

Por otro lado se hará una conexión desde el microcontrolador mediante un módulo wi-fi a un servidor que ofrece la empresa Ubidots, esto servirá para almacenar los datos y visualizarlos en una página web junto con recomendaciones para utilizar la granja vertical. Este sistema tendrá la posibilidad de alertar por medio de una notificación o correo electrónico si las variables censadas salen del rango que acepta el cultivo, o si existe algún error.

La granja vertical se validará con el diseño de una base de datos que almacenará los datos obtenidos por los sensores.

El modelo de negocio se creará con la herramienta de lienzo canvas y con la metodología Design Thinking se llegará a la etapa de validación del prototipo.

1.6. Organización del documento

El presente trabajo de grado presentado bajo la modalidad emprendimiento, realizado en la ciudad de Bogotá, se divide en seis capítulos, el presente capítulo es introductorio y en él se realiza una contextualización de antecedentes y estudios realizados referentes a la evolución de la agricultura urbana, relacionando las tecnologías utilizadas para el desarrollo de los cultivos como los sistemas de control y automatización, la justificación y la problemática que será resuelta en el presente trabajo.

En el Capítulo 2, se presenta los conceptos más importantes para la comprensión del trabajo.

En el Capítulo 3, se presenta el modelo de negocio planteado, mostrando el diseño de cada fase según el modelo canvas para el futuro emprendimiento.

En el Capítulo 4, se presenta el diseño y selección de materiales para la construcción del prototipo de la granja vertical, junto con el esquemático del circuito a implementar y la maquina de estados diseñada para realizar el control del sistema.

En el Capítulo 5, se presenta el proceso de construcción del dispositivo, y elaboración de la pagina web para visualizar el control y monitoreo de las variables ambientales.

En el Capítulo 6, se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas para validar el funcionamiento del sistema.

Finalmente en el Capítulo 7 se presenta las conclusiones y trabajos futuros.

2 Marco teórico

En este capítulo se presenta la revisión bibliográfica de los conceptos relacionados con el desarrollo del proyecto para un mejor entendimiento del mismo y, de esta manera, comprender explícitamente todos los procesos que se llevarán a cabo para el modelo de negocio enfocado en el diseño y la construcción de una granja vertical automatizada.

2.1. Sensores

De acuerdo con la definición de la Real Academia Española, los sensores son equipos capaces de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables varían de acuerdo al tipo de sensor y pueden ser las siguientes por ejemplo: fuerza, fuerza, intensidad, torsión, lumínica, presión, humedad, pH, entre otras. A su vez las medidas pueden ser transformadas en una magnitud eléctrica, como por ejemplo una resistencia-eléctrica para una RTD, una tensión para un termopar, una capacidad eléctrica para un sensor de humedad, entre otras [33].

Las principales características técnicas estudiadas para definir la viabilidad de un sensor son las siguientes:

- Unidad de medida: magnitud en que el sensor expresa el valor.
- Precisión: error de medida máximo esperado.
- Linealidad: expresa lo constante que resulta la sensibilidad del sensor.
- Sensibilidad: capacidad para detectar la variable.
- Resolución: mínima variación de la magnitud de entrada que provoca una respuesta en la salida.
- Rapidez de la resultado de la salida.
- Repetitividad: error obtenido al repetir varias veces la misma medida.
- Exactitud: Diferencia entre la salida real y el valor teórico de dicha salida.

2.2. Actuadores

Son dispositivos que transforman energía en movimiento y/o la activación de un proceso, tras recibir la orden de un microcontrolador o un regulador y en función de ésta orden se activa un dispositivo final.

Los actuadores se conectan a las salidas del microcontrolador y se pueden categorizar de acuerdo a la fuente de energía recibida, tales como los actuadores neumáticos, que emplean aire comprimido, los hidráulicos, en función del agua, los eléctricos, que usan una fuente de energía externa, y los térmicos que funcionan a partir de la energía calorífica o magnética [34][35].

2.3. Microcontroladores

Los microcontroladores son circuitos integrados que pueden ser programados y operan de igual manera que un ordenador ejecutando las órdenes programadas en su memoria, poseen un microprocesador, memoria y unidades o también llamados periféricos de entrada y salida que interactúan con el exterior y a su vez disponen señales analógicas y salidas digitales.

Estos dispositivos son muy prácticos, asequibles y fáciles de programar, gracias a la variedad de librerías que se pueden utilizar para dicha tarea.

En el desarrollo de las redes de sensores inalámbricos (WSN) el microcontrolador influye en la velocidad en el procesamiento, el consumo de batería, el número de periféricos, entre otros[36].

2.4. Internet de las cosas (IOT)

El internet de las cosas hace referencia a la interconexión dada entre objetos tangibles de uso cotidiano y una conexión a internet, que capta, procesa y transfiere datos a través de redes inalámbricas sin intervención humana. Esta herramienta requiere una serie integral de tecnologías como lo son las Interfaces de Programación de Aplicaciones (API), la herramienta Big Data, las analíticas predictivas, el machine learning, una nube de almacenamiento e identificación por radiofrecuencia (RFID). Lo anterior dentro de los márgenes de seguridad y privacidad[37].

Para un funcionamiento óptimo de la aplicación de IOT, se requiere evaluar cada una de las capas que lo componen que son: hardware, infraestructura y software.

Las plataformas de IoT hacen posible la conexión entre las redes de datos, el hardware y los puntos de acceso que generalmente son las aplicaciones del usuario final.

Con características como el API, los canales, los plugins que permiten crear aplicaciones de forma nativa soportadas por lenguajes de programación como HTML, CSS y JavaScript y finalmente la interconexión de diferentes dispositivos de hardware y software[38].

2.4.1. Página web

La página web es un documento HTML que alberga información, accesible gracias al protocolo HTTP con conexión a internet y puede incluir texto, video, audio y sus diferentes combinaciones. Un conjunto de páginas web es lo que conocemos como sitio web que se encuentran alojados en un servicio hosting. La creación de este documento web implica un proceso complejo puesto que requiere conocimientos en lenguajes de programación tales como PHP, HTML, ASP, JAVASCRIPT, entre otros[39].

2.4.2. API

Una API abreviatura de Application Programming Interface, es un conjunto de comandos y protocolos informáticos que permite usar funciones predeterminadas existentes en otro software y a su vez contribuye a la simplificación de códigos en la interacción con diferentes sistemas operativos. Las API pueden ser privadas, públicas, locales cuando las aplicaciones se comunican dentro de un mismo ambiente y finalmente remotas. El auge de éstas se ha dado gracias a su contribución en el ahorro de tiempo y dinero [40].

2.4.3. Ubidots

Ubidots es firma que brinda servicios de ingeniería fundada en el año 2012, cuyo enfoque se basa en el desarrollo del hardware y software de proyectos que emplean la tecnología IoT, específicamente en áreas de salud, energía, servicios públicos, fabricación, transporte y venta minorista. Consiste en un servicio en línea, con almacenamiento en una nube que permite guardar datos de diferentes tipos de sensores con el fin recopilarlos, analizarlos y visualizarlos en forma de gráficos y estadísticas. Adicional alerta sobre el estado de los sensores por medio del email o SMS [41].

2.5. OnShape

OnShape es un software CAD (Diseño asistido por computadora) online fundado en el año 2012, que permite diseñar productos, piezas, equipos industriales, entre otros. Este software tiene múltiples características como permitir a los usuarios trabajar simultáneamente en un mismo proyecto gracias a que comparte los archivos mediante URLs, la gestión de datos, el flujo de trabajo, ensamblaje por partes, integraciones, listado de materiales y configuración analítica [42].

2.6. Circuitmaker

CircuitMaker es una herramienta de software gratuito EDA (Automatización de Diseño Electrónico) para diseñar placas de un circuito con código abierto. Emplea una captura esquemática, diseño de PCB que puede ser en 3D simple o en STEP-File y permite ubicar de todos los componentes del diseño. Los circuitos diseñados se cargan al servidor Altium y cualquier usuario de la herramienta puede acceder a este mediante conexión a internet, además posibilita la edición simultánea y cuenta con un sistema integrado para hacer anotaciones y comentarios [43].

2.7. Iluminación led

LED de las siglas en inglés (Light Emitting Diode) es un diodo semiconductor que emite luz monocromática, la cual varía dependiendo del material semiconductor utilizado. Ésta tecnología es muy empleada en la agricultura a nivel mundial gracias a que representa hasta un 70 % en ahorro de energía con lámparas LED de 120 vatios, en comparación con los focos incandescentes tradicionales que consumen 400 vatios[44].

Otras ventajas derivadas de la utilización de iluminación LED es que permite controlar la intensidad y el color de la luz dependiendo de la necesidad, la fácil instalación, la eficiencia energética, una mayor vida útil de hasta 45.000 horas de uso, luz ecológica porque no usa tungsteno, mercurio entre otros componentes tóxicos, la baja emisión de calor y el mantenimiento mínimo que requiere[45].

2.8. Agricultura Vertical

También denominada granja vertical, es un método para cultivar en superficies verticales con el fin de optimizar espacios y contribuir a un desarrollo sostenible en las ciudades, ésta

práctica impulsa al agricultor a emplear técnicas diferentes al método convencional, en donde la luz solar es reemplazada por la iluminación artificial, se aprovecha el agua lluvia para el riego de los cultivos y posibilita sensar y recolectar información referente al ambiente, ejecuta acciones de control y automatización, además representa una reducción en gastos de transporte de los alimentos[46].

Existen diferentes sistemas para granjas verticales como, los sistemas hidropónicos, aeropónicos y acuapónicos. Para el diseño y construcción de una granja vertical no existen parámetros de forma y dimensiones establecidos, pero se debe garantizar que el espacio destinado para esta finalidad brinde al cultivo un ambiente fresco y se implementen sistemas de riego e iluminación[47].

2.8.1. Factores ambientales de un cultivo

Los principales factores que operan para un óptimo cultivo y que permiten controlar un huerto vertical son; la humedad relativa, la temperatura, la luminosidad y la humedad del suelo[48].

2.8.2. Temperatura

Se define como la magnitud escalar que determina la cantidad de energía térmica que posee un cuerpo; manifestando el ambiente que se encuentra en el aire y en un cuerpo en forma de calor, teniendo en cuenta la sucesión de caliente y frío. La temperatura es fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas, también se conocen como temperaturas cardinales y se clasifican en: mínima (bajas temperaturas que detienen el crecimiento), óptima (crecimiento adecuado) y máxima (altas temperaturas que detienen el crecimiento). Adicionalmente un buen control de temperatura en un cultivo puede contrarrestar los efectos negativos[49][48].

2.8.3. Riego

El riego es la acción de distribuir agua de forma eficiente sobre la superficie del suelo, que compensa el déficit de precipitaciones y suministra el agua necesaria para el crecimiento de un cultivo[50][51].

2.8.3.1. Tipos de riego

- **Riego por goteo**

Suministro de agua de forma uniforme y pausada por medio de mangueras de riego haciendo que el agua llegue directamente al área requerida, se aplica a todos los tipos de

suelo y evita las fluctuaciones de humedad, su implementación mejora la eficiencia en el uso del agua disminuyendo el gasto y permite la aplicación de fertilizantes en el agua.

- **Riego por aspersión**

Consiste en atomizar el agua a través de aspersores humedeciendo el terreno en forma de lluvia uniformemente, existen sistemas de aspersión móviles, fijos y autopropulsados. Para el adecuado funcionamiento se requiere el control de variables como la presión del agua, una adecuada red de tuberías y tanques de almacenamiento, además aspersores con potencia suficiente para atomizar el agua.

2.8.4. Humedad del suelo

Se define como humedad del suelo a la relación existente entre la cantidad de agua por volumen de tierra; esta variable es indispensable en la agricultura porque determina el momento preciso de riego y la cantidad apropiada de agua para el óptimo crecimiento del cultivo.

Por tanto, la cantidad de agua debe estar en punto intermedio, si el terreno es muy seco será perjudicial para plantación, pero si la cantidad de agua se excede hundirá los nitratos que no serán alcanzados por las raíces y a su vez provocará escasez de oxígeno en las plantas[52].

2.8.5. Humedad relativa

Se define como la cantidad de vapor presente en el aire en un espacio determinado, además se da como la relación entre la humedad absoluta inicial y el valor más alto alcanzado que va relacionado con la temperatura; el valor se expresa en porcentaje variando en un rango de 0 % a 100 %, donde 0 hace referencia a un aire seco y 100 a un aire saturado[53][54].

2.9. Requerimientos edafoclimáticos

2.9.1. Lechuga

La lechuga se encuentra en la clasificación de hortalizas con hojas comestibles de acuerdo a la FAO, es una planta herbácea, con un tallo de cuatro a seis centímetros de altura y grandes hojas, algunas especies presentan pétalos y flores amarillas, es originaria de la India y se da en regiones semi templadas, en la actualidad se cultiva con frecuencia en invernaderos[1].

Es un alimento con bajo nivel de calorías, contenido de agua en un 95 por ciento y altos niveles de antioxidantes, fibra, sales minerales y vitaminas del grupo A, B1, B2, B6, C y E, adicional contiene minerales como el hierro y el potasio. Esta planta es depurativa, es decir

elimina las toxinas del organismo, diurética y contribuye a la función intestinal.

El proceso de germinación de la lechuga tarda tres días, a una temperatura entre 15 a 20°C con valor máximo permitido de 25°C, sus semillas tienen una latencia prolongada, el cogollo se desarrolla de forma adecuada con un balance entre la luminosidad y temperatura, generalmente se plantan entre 12 a 20 unidades por metro cuadrado y el ciclo de crecimiento oscila entre 60 a 80 días, la humedad relativa conveniente está entre el 60 y 80 % [55], en la figura (2-2) se ilustra más información.



Figura 2-1: Lechuga. Tomado de [1]

Lechuga					
Fase	Temperatura °C	Humedad relativa %	Riego	Humedad del suelo %	Suelo
Crecimiento	14-18 día	60 -70	Funciona muy bien con micro aspersión y el riego por goteo.	60 al 75	Suelos Ligeros arenosos - limosos
	5-8 noche				
Cogollo	10 -12 día				
	3-5 noche				

Figura 2-2: Requerimientos EDAFOCLIMATICOS LECHUGA

2.9.2. Rabano

Es rábano es una hortaliza perteneciente a la familia de las crucífera y se cultiva en climas templados. Su fruto es indehiscente, es decir que no se abre espontáneamente, seco, produce una raíz carnosa de forma esférica, cilíndricas y ovaladas y color blanquecino, violáceo, rojizo o amarillo y comestible con dos a seis centímetros de longitud, con hojas en forma de racimo y alargadas en la parte superior, además cada fruto contiene entre una a diez semillas en el tejido esponjoso[56].

Las propiedades nutricionales del rábano son limitadas, posee pequeñas cantidades de vitaminas C y B1.

El ciclo de cultivo varía entre 20 a 70 días dependiendo de las condiciones climáticas, su desarrollo vegetativo se da entre 18 a 22°C, no tolera la salinidad [2]. Su clasificación se da de acuerdo a su apariencia, tamaño, color, forma y la consistencia de la pulpa, en la figura (2-4) se ilustra mas información.



Figura 2-3: Rábano. Tomado de [2]

	Rabano				
Fase	Temperatura °C	Humedad relativa %	Riego	Humedad del suelo %	Suelo
Crecimiento	18-25	60 -80	Funciona muy bien con micro aspersión y el riego por goteo.	60 a 65	Suelos profundos, arcillosos y neutros
Cogollo					

Figura 2-4: Requerimientos EDAFOCLIMATICOS RABANO

2.10. Iluminación en las plantas

Toda planta requiere luz para su crecimiento, que a su vez potencia el proceso de la fotosíntesis y genera carbohidratos para la alimentación de la planta, la importancia de éste punto radica en que a mayor cantidad de luz recibida el proceso de fotosíntesis generado por la planta será mayor[57].

La calidad en la iluminación varía por dos factores muy importantes que son el color de la luz y la longitud de la onda.

2.10.1. Espectro solar en las plantas

La fuente de energía que genera el proceso de la fotosíntesis en las plantas es el espectro solar, su distribución e intensidad son variables que dependen de la distancia entre la fuente y el receptor, el espectro de luz que reciben las plantas se denomina región PAR (Radiación fotosintética activa) y varía entre 400 a 700 nanómetros, lo que se debe a la dispersión producida por el oxígeno y el agua. La radiación es absorbida por la clorofila un pigmento abundante en las plantas y que interactúa con la luz roja en un rango de (640-740 nm) que regula el florecimiento e incrementa la ramificación, el tallo y contribuye a la generación del fruto y con luz azul entre (425-490 nm) que incrementa el crecimiento de la planta, tal como se evidencia en la figura (2-5)[3].

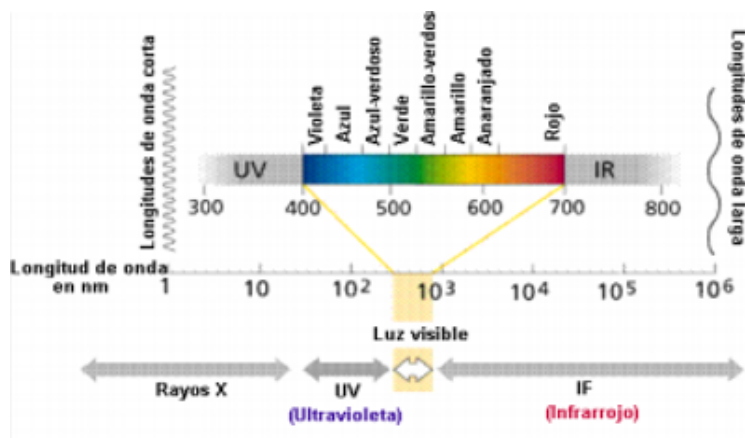


Figura 2-5: Espectro de radiación y longitudes de onda. Tomado de [3]

Los rangos de absorción del espectro solar por la clorofila son muy importantes en la fotosíntesis que es sensible a diferentes rangos del espectro PAR, entre 400 a 500 nm aumenta la capacidad de absorción de energía, seguido de 630-680 nm. La figura (2-6) muestra los rangos mencionados y para analizar más detalladamente se deben tener en cuenta la clorofila A y B. En la primera, se evidencian dos picos de absorción, uno en 660 nm (color rojo) y el otro entre 400-450 nm (color azul), mientras que los picos de la clorofila B se presentan en 640 nm (color rojo) y en 425-475 nm (color azul)[4].

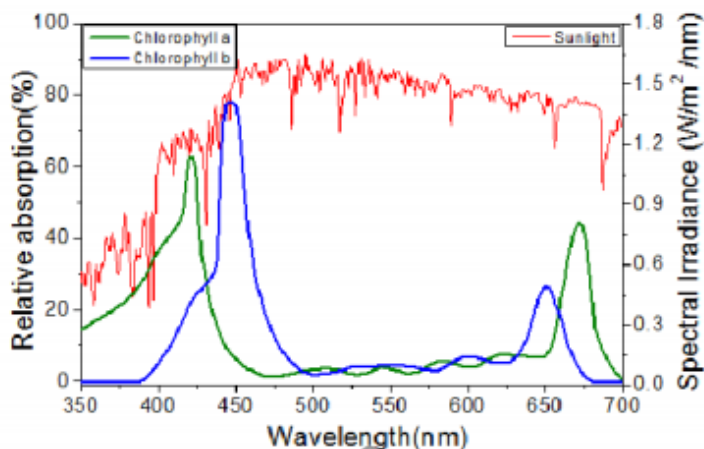


Figura 2-6: Rangos de absorción del espectro solar de la clorofila. Tomado de [4]

2.11. Modelo de negocios Canvas

Es una plantilla empleada para diseñar modelos de negocio, a partir de una propuesta de valor, enfocada en un grupo específico de clientes donde también deben identificarse los canales de comunicación, los recursos, procesos de producción y las líneas de ingreso[58, 59].

2.11.1. Ventajas y desventajas del Modelo Canvas

Ventajas

- Permite una sencilla y rápida interpretación gracias a su enfoque organizado compuesto de nueve elementos.
- Análisis de la viabilidad del negocio.
- Facilita la generación de ideas e incentiva la participación colectiva para el desarrollo de la propuesta.
- Brinda un análisis estratégico en su totalidad del modelo de negocio.

Desventajas

- Brinda una visión general sobre el modelo de negocio, pero no trata las minucias presentadas durante cada fase requerida en su desarrollo, por tanto, puede considerarse impreciso.
- Debido a su enfoque general requiere un mapa de procesos detallado.

Las nueve fases que conforman este modelo de negocio se exponen a continuación:

2.11.2. Primer módulo: segmentación de mercado

El cliente representa el punto central del análisis porque la finalidad del modelo es identificar el tipo de cliente junto con sus necesidades y requerimientos, de esta manera idear soluciones e implementarlas en el producto/servicio que se va a ofrecer. En este punto es importante formular dos preguntas para realizar una identificación idónea del cliente.

- ¿Para quién se está creando el valor?
- ¿Qué tipo de personas representan a nuestros clientes más importantes?

2.11.3. Segundo módulo: propuesta de valor

La propuesta de valor es indispensable para desarrollar el modelo de negocio, porque incluye la información que destaca a nuestro producto/servicio frente a la competencia en aspectos como la innovación, calidad, convenios empresariales, procesos de producción, métodos de pago, sistema de entrega, entre otros; además este valor representa la capacidad de cumplir con las necesidades del mercado y de esta manera brindar las soluciones requeridas. Al igual que en el punto anterior se plantean una serie de preguntas que ayudarán a diseñar esta propuesta; con la herramienta de la figura (2-7) facilitara encontrar las respuestas a las siguientes preguntas.

- ¿Cuál es el valor que se entrega a nuestros clientes?
- ¿Cuál es el problema al que se va a dar solución?
- ¿Qué necesidad se va a satisfacer?
- ¿Qué tipo de producto se está ofreciendo?

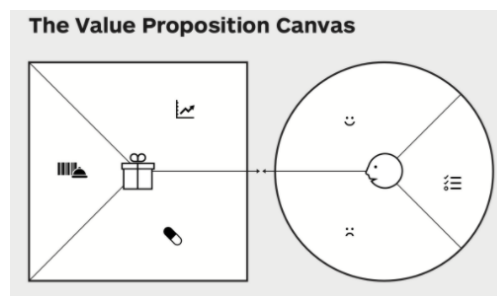


Figura 2-7: Lienzo propuesta de Valor

2.11.4. Tercer módulo: canales de comercialización

Tras identificar el cliente y formular la propuesta de valor, se deben definir los canales que se emplearán para la distribución del producto/servicio, evaluando aspectos como alcance, funcionalidad y rentabilidad. También es importante definir los canales de comunicación para difundir la estrategia publicitaria y garantizar que la propuesta de valor sea recibida por el cliente. Con la herramienta de ciclo de vida del cliente (Customer Journey) según la figura (2-8) simplificara dar solución a las siguientes preguntas.

- ¿Qué canales de comunicación podemos emplear para llegar al cliente?
- ¿Qué canal de comunicación es más viable?
- ¿Qué canal presenta una mejor rentabilidad?

		Antes	Durante			Después		
En una palabra, describe la expectativa del cliente, según la etapa del servicio.	Expectativas del cliente	WOW						
Califique el nivel de expectativa, 5 la mayor importancia y 1 insignificante.		5						
		4						
		3						
		2						
1								
En la siguiente fila, coloque 3 momentos de la verdad, de las 3 etapas de la adquisición de servicios o productos.	Momentos de la verdad							
En una palabra, describe la emoción de cada etapa del servicio.	Emociones							
Califique el nivel de frustración o momento de dolor, -3 relevantes y -1 insignificante.	Puntos de dolor	-1						
		-2						
		-3						
		-4						
		-5						
En una palabra, describe el momento de dolor del cliente, según la etapa del servicio.								
Identifica para cada etapa del servicio, el canal de comunicación con el cliente.	Canales							
Identifica cada recurso humano para ese contacto con el cliente.	Personal de contacto							
Proponga ideas para mitigar los momentos de dolor relevantes.	Oportunidad / ideas							

Figura 2-8: Lienzo de Customer Journey

2.11.5. Cuarto módulo: relaciones con los clientes

Para lograr tener éxito con el negocio y el cliente que va a adquirir el producto y/o servicio es de suma importancia establecer una buena comunicación y relación con el mismo, pensando desde su punto de vista y de esta manera brindar soluciones más acertadas y viables a los

requerimientos que tiene el cliente. Se formularon las siguientes preguntas para evaluar el cumplimiento de este punto en el modelo de negocio.

- ¿Cómo es la relación que se tiene con los clientes?
- ¿Qué tipo de relación se espera tener con el cliente?

2.11.6. Quinto módulo: fuentes de ingresos

Para tener un negocio consolidado y rentable, se debe identificar y establecer cómo se va a desarrollar la monetarización y los temas relacionados con la facturación, adicional se debe prever el desarrollo económico dando respuesta a las preguntas expuestas.

- ¿Cuáles son las fuentes de ingreso del negocio y cuál es la principal?
- ¿Cuál será el método y tiempo de pago de los clientes?
- ¿Por qué producto y/o servicio y bajo cuáles condiciones de calidad están dispuestos a pagar nuestros clientes?

2.11.7. Sexto módulo: recursos clave

Se deben identificar todos los recursos requeridos para la actividad del negocio y con cuáles recursos se cuenta, además se debe idear la forma de optimizarlos, es decir obtener la máxima productividad posible al menor coste posible. Con el lienzo del mapa de viaje del cliente según la figura (2-8), permite analizar y responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los recursos esenciales para nuestra propuesta de valor?
- ¿De cuáles recursos se va a disponer?
- ¿Qué recursos son claves para la producción del producto o servicio?

2.11.8. Séptimo módulo: actividades clave

Este punto requiere un enfoque en la propuesta de valor para desarrollar el producto y/o servicio, también se debe establecer un listado de las actividades paso a paso requeridas para alcanzar el fin propuesto y potenciarlo en la mayor medida. Por tanto la herramienta de la figura (2-8), suministra la información de las siguientes preguntas.

- ¿Cuál es la actividad básica más importante para formular y desarrollar la propuesta de valor?
- ¿Qué actividades vamos a desarrollar para potenciar y consolidar el producto y/o servicio en el mercado?

2.11.9. Octavo módulo: asociaciones clave

Para emprender un negocio es de gran valor contar con colaboradores, aliados, socios y proveedores que nos aporten conocimientos, ideas, recursos y nos ayuden a llegar de una forma más eficaz al cliente en cuestión, lo anterior teniendo en cuenta la experiencia que tienen en este nicho del mercado. La elección de estos grupos de personas debe ir enfocado en la similitud de los objetivos empresariales y sus ideales para el desarrollo y crecimiento del modelo de negocio.

2.11.10. Noveno módulo: estructura de costos

La infraestructura, recursos físicos, recursos humanos, insumos, entre otros, se deben tener en cuenta para desarrollar el modelo de negocio, para optimizar los costes que implica se deben establecer prioridades y el gasto económico requerido para cada actividad, además se deben evaluar los modelos de financiación. Lo anterior se debe plantear dando respuesta a:

- ¿Qué costes son los más importantes dentro del modelo de negocio?
- ¿Qué recursos claves, requieren un mayor gasto económico?
- ¿Cuáles actividades del proceso de producción implican un mayor costo?

3 Diseño de propuesta de negocio

En este capítulo se aborda todo el modelo de negocios proyectado, aplicando cada una de las siguientes fases: deseabilidad, factibilidad y viabilidad. Se relaciona cada uno de los módulos correspondientes de acuerdo al modelo Canvas.

3.1. Deseabilidad

En el siguiente apartado se busca obtener que la solución brinde una propuesta de valor relevante para el usuario final, buscado cual es el nicho del mercado más adecuado para el emprendimiento, con el objetivo que la propuesta de valor se cumpla efectivamente; la propuesta de valor debe ser lo suficientemente diferente a las de los competidores o soluciones sustitutas, de tal forma buscando si el usuario y/o cliente está dispuesto adquirir nuestra solución al problema indagado.

3.1.1. Segmentación de mercado

En esta sección se analiza el mercado objetivo al que se enfoca el modelo de negocios con el fin de obtener las necesidades de los futuros clientes en temas relacionados con la agricultura, los canales de acceso, la capacidad de pago, conocimientos y gustos; se realizó una encuesta que se divide en tres fases. La primera fase se enfoca en los datos del cliente como: correo, edad, ocupación y ciudad. La segunda fase se orienta en extraer los conocimientos de agricultura de los posibles clientes. Por último la tercera fase se basa en indagar sobre agricultura vertical para la construcción del prototipo. Para mayor información sobre el diseño de la encuesta realizada ver anexo (8.1).

La encuesta se desarrollo a un público de 110 personas de diferentes segmentos, finalmente se realizó un análisis a la información suministrada definiendo las características del cliente ideal, obteniendo los siguientes resultados.

Cliente

El cliente se encuentra en el rango de edad de 26 a 45 años, entre ellos hombres y mujeres con ingresos propios y empleados. Interesados en adquirir los servicios de cosecha y post cosecha

de las hortalizas, manejo de cultivo y adecuación del suelo para un cultivo.

Características del producto

Las características más relevantes que debe llevar el producto del prototipo se enfocaron en las siguientes:

- Automatización y monitoreo de la granja vertical.
- Visualización de las variables y control del tiempo desde una página WEB.
- Ajustar y personalizar el producto para adecuarse al sitio, ya sea apartamentos o casas con poco jardín.

Por otro lado, la venta del producto se encuentra en las ciudades capitales con poco espacio rural con las preferencias de consumo en la agricultura vertical; para mayor información relacionada con los resultados de la encuesta ver anexo (8.2).

3.1.2. Propuesta de valor

El siguiente modulo se encuentra diseñado para crear la propuesta de valor de los productos y servicios que se ofrecen, con el fin de llamar la atención del cliente hacia el emprendimiento, se propone darle a entender a los usuarios, la importancia de tener una granja vertical para una mejor calidad de vida, teniendo en cuenta los hábitos para los cultivos urbanos; la propuesta de valor se desarrolló con la herramienta (the value proposition canvas). Para mayor información ver anexo (8.3).

Si eres un agricultor urbano, pero no cuentas con el espacio ni el tiempo suficiente para tener un cultivo, la mejor opción es sembrar tu propio huerto vertical en casa o apartamento.

La granja vertical te permite tener una alimentación más saludable y fácil, con productos frescos y orgánicos, mediante un sistema de automatización de los servicios del riego del agua, control de temperatura, luminosidad, humedad relativa y del suelo; para obtener cultivos en un menor tiempo que los convencionales. También permitirá visualizar las variables y el control del tiempo desde una página WEB, de esta forma tendrás las indicaciones más adecuadas para tu cultivo.

Se tienen convenios con empresas de nutrición que brindan las mejores recetas para preparar una alimentación saludable que a su vez genera bienestar, y también se cuenta con aliados agrónomos que compartirán su experiencia en el campo y brindarán conocimientos de valor en caso que se requieran, lo que a su vez representa un mayor éxito en los cultivo que desees.

3.1.3. Canales

En este módulo se plantean los canales que utilizará nuestro modelo de negocio con el fin de hacer llegar la propuesta de valor hasta el segmento de mercado. Su desarrollo fue diseñado con la herramienta mapa de viaje del cliente con el objetivo de plasmar en varias etapas, emociones, canales y elementos por los que atraviesa un cliente durante el ciclo de compra. Para mayor información ver anexo (8.3).

Redes sociales: Se brindará información relacionada con los servicios y productos de la granja vertical, de igual forma generando confianza y empatía con el cliente.

Página web: Sitio web, donde se podrá observar el producto y los servicios ofrecidos, mediante vídeos y descripciones detalladas puede obtener asesorías en los servicios adquiridos o por adquirir, de tal forma para generar mayor seguridad al cliente. Adicional promocionar los servicios que ofrecen los convenios empresariales por medio de mensajes persuasivos para la venta del producto y/o servicios.

Medios de pago: Existirán diversas maneras para efectuar el pago del producto a la empresa, con la facilidad de generar abonos parciales, por medio de transferencias bancarias, pagos con tarjetas débito o crédito, giros por medio de convenios con empresas como Efecty, Servientrega, entre otros.

Base de datos de clientes: Se alimentará en una base de datos la información personal de los clientes que adquieran el producto y/o servicios para realizar un seguimiento constante con el fin de generar interés y difundir la publicidad voz a voz. También se podrán obtener beneficios y descuentos.

Tienda online en la página web: Se creará un catálogo para vender el producto y los servicios, relacionando las alianzas con las empresas de agricultura, nutrición y salud para el bienestar de las personas.

Comunicación por teléfono, correo y redes sociales: Se realizará seguimiento a los clientes para brindar información o soluciones efectivas sobre la instalación de la estructura o el proceso de cosecha del cultivo, de igual forma obtener las peticiones, quejas, reclamos, sugerencias y felicitaciones.

Tiendas de terceros: Brindar el catálogo de los servicios prestados a las empresas o negocios aliados.

3.1.4. Relación con el cliente

El objetivo es asegurar la fiabilidad con el cliente y en consecuencia generar un resultado de red en el mercado. De tal forma se formularon las estrategias más apropiadas para extender el ciclo de vida de los clientes.

Su desarrollo se basó en las siguientes etapas:

- Mantenerse siempre presente en la mente del cliente.
- Enfocarse más en vincularse que en vender.
- Desarrollar un sistema de fidelización.
- Promocionar las ventas cruzadas.
- Escuchar a los clientes.

A continuación, se muestra de forma más detallada según las estrategias diseñadas para la relación con los clientes.

Mantenerse siempre presente en la mente del cliente

Uno de los factores importantes del modelo de negocio es ser recordado como la primera y mejor opción, por tal motivo se propone:

- Generar códigos de descuentos para los clientes que compran los productos y/o servicios, permitiendo ser redimidos en la próxima compra.
- Generar una marca (Branding)
- Vídeos informativos compartidos en redes sociales.
- Concursos.

Enfocarse más en vincularse, que en vender

En esta estrategia se busca personalizar la comunicación con los clientes para demostrarles que son imprescindibles en el modelo de emprendimiento, por ende, se plantea:

- Felicitar los clientes en su cumpleaños.
- Encuentros virtuales y presenciales.

- Intercambio de experiencias.

Desarrollar un sistema de fidelización

Para garantizar la fidelización de los clientes y brindarles un incentivo, teniendo como objetivo obtener el sentimiento de lealtad hacia la empresa, se pretende desarrollar:

- Servicio de garantía ya sea hardware y/o software.
- Asociación con cocineros y restaurantes.
- Sistema de acumulación de puntos por compras realizadas ya sea productos y/o servicios.
- Asistencia a ferias o eventos relacionados con la agricultura o alimentos, acompañados de un folleto.

Promocionar las ventas cruzadas

En este punto de estrategia se busca generar más ingresos, por ende se desea vincular productos y/o servicios que permitan generar mayores probabilidades de realizar una compra, entre ellas encontramos:

- Desde la página web, relacionar los productos y servicios que se puedan incluir de forma personalizada.
- Innovación de nuevos productos y/o servicios, referentes a las necesidades que presenten los clientes.
- Generar una fuente de ingresos y de inversión, para el intercambio de productos o alimentos de nuestros clientes.
- Servicio opcional para ensamblaje de la granja.
- Ofrecer cursos relacionados con la agricultura urbana.
- Promover el consumo de alimentos orgánicos, recetas gastronómicas y actividades gastronómicas.
- Catalogo: Donde estará los alimentos que se encuentran disponibles para sembrar.

Escuchar a los clientes

La relación con el cliente es muy importante, por tal motivo se pretende como estrategia escuchar las problemáticas, dudas y reclamos referentes a la agricultura vertical y el modelo de negocio. Se propone entonces:

- Servicio de atención al cliente que sea eficiente y rápido para evitar descontentos.
- Realizar comunicación con los clientes que realizaron la compra, haciendo una breve encuesta de satisfacción y consultar sobre posibles mejoras del servicio.
- Buzón de sugerencias de PQR.

3.2. Factibilidad

En la siguiente sección se busca obtener si el emprendimiento que se está desarrollando es el más apropiado para desarrollar e implementar la solución, organizando de la forma más adecuada las capacidades y recursos estratégicos del modelo de negocio. Teniendo en cuenta que si falta algún recurso o actividad se puede corregir a corto o mediano plazo, para llevar a cabo el desarrollo e implementación de la solución.

3.2.1. Actividades clave

Las actividades claves son las acciones prioritarias que se necesitan para llevar el negocio al éxito; se diseñaron cuatro en conjunto de las tareas que se encuentran agrupadas y se deben afrontar de la siguiente forma:

- Producción.
- Tecnología.
- Compras.
- Recursos de personal.

Así pues, se muestra a continuación un análisis más detallado según las principales actividades diseñadas.

Producción

- Alianza con empresas que ofrecen soportes tecnológicos en seguridad y capacitación a personal.
- Contacto con representantes de empresas que proveen servicio de producción y diseño de la estructura. De igual forma para la producción de alimentos de alta calidad nutricional.
- Construcción del sistema de riego, preparación del suelo, diseño de plantación.

- Alianzas con proveedores que brinden los materiales más eficientes de buena calidad, brindando seguridad y confianza para la empresa y los clientes.
- Alianzas con empresas encargadas de envíos y personal encargado de la distribución.

Tecnología

- Contacto con empresas de agricultura, para suministra el conocimiento más apropiado para los cultivos según los avances tecnológicos.
- Configuración de una página web que integre diferentes módulos tales como, el ingreso para visualizar las variables del cultivo, productos y/o servicios, testimonios de clientes e información de interés en temas relacionados de agricultura y gastronomía.
- Personal encargado en el desarrollo del software.

Compras

- Ofrecer un sistema de venta ya sea página web, redes sociales, teléfono o correo electrónico donde se presenten los productos y/o servicios.
- Análisis de los clientes potenciales para la venta nuestros productos y/o servicios.
- Encontrar los mejores proveedores que brinden información para el consumo de alimentos orgánicos, recetas gastronómicas y actividades gastronómicas.
- Estructuración de los contratos y convenios respectivos según los aliados de agricultura y empresas gastronómicas.
- Servicio de mantenimiento.

Recursos de personal

- Contacto periódico con el cliente para realizar seguimientos generando confianza y verificando el estado del cultivo saber la conformidad del producto adquirido.
- Asesoramiento y capacitación al cliente sobre la granja vertical y uso de los equipos de instrumentación y control.
- Contacto con importadores.
- Realizar encuestas de satisfacción del cliente.
- Personal encargado de la publicidad y marketing.

3.2.2. Recursos clave

A continuación, se relaciona los recursos más importantes y necesarios para el funcionamiento del modelo de negocio.

Humanos

Son los recursos más importantes, puesto que son las personas que trabajan en la empresa y permiten que se avance en los resultados, entre ellas se encuentra: socios, personal administrativo, personal de ventas y de los proveedores pertenecientes a las empresas aliadas, personal encargado del marketing, ingenieros de sistemas y electrónicos afines, gerente, diseñadores y agrónomos.

Físicos

Son todos los activos físicos, entre ellos se encuentran: Oficina y bodega, equipos de instrumentación y control, materiales e insumos que conforman la granja vertical y componentes electrónicos.

Intelectuales

Son los recursos creados internamente por la empresa, entre ellos se encuentra: bases de datos de clientes de la empresa, derechos de autor, pagina web, servidor donde se encuentra la visualización de los datos del cultivo y demás factores que se encuentran relacionados.

Financieros

Son los medios que necesitamos para obtener el capital y llevar a cabo nuestro emprendimiento, entre ellos encontramos instrumentos financieros como: inversiones iniciales de los socios de la empresa (efectivo), líneas de crédito para el sector de agricultura con tal fin de recibir subsidios en la tasa de interés entre otras cosas y cuentas bancarias de la empresa, para ubicarnos en una posición más competitiva.

Informáticos

Son los recursos que incluyen medios para el procesamiento, producción, comunicación y almacenamiento, entre ellos se encuentran los programas de licenciamiento y herramientas como Thonny, Python, Javascript y el servidor Ubidots.

3.2.3. Socios clave

Los aliados corresponden a aquellas empresas directas o indirectas que pueden jugar un rol importante en el negocio, aumentando las probabilidades del éxito y generar mayores ingresos; estos se encuentran organizados en torno a tres sectores:

Asociaciones con proveedores

Considerando a los proveedores como socios estratégicos para la mejora continua en el compromiso, la colaboración y la confianza de ambas partes creando acuerdos a un plazo determinado encontramos los siguientes aliados:

- Empresas de transporte de logística y envíos.
- Empresas de agricultura, dedicados en la venta de fertilizantes, tierra abonada y semillas.
- Convenios con empresas dedicadas a la metalurgia para la construcción de la estantería.
- Empresas dedicadas a la venta de equipos electrónicos e instrumentos de ferretería.

Sociedades con empresas no rivales

Crear alianzas entre las empresas que no brindan competencia; con tal fin de hacer una alianza estratégica con el objetivo de ofrecer un servicio complementario y un producto novedoso, entre ellas se encuentran:

- Empresas agricultura
- Empresas de nutrición y comida saludable
- Generar alianzas con los proveedores de los materiales, brindando testimonio de la calidad de los productos y/o servicios.

Alianzas con el gobierno

Indagar sobre las convocatorias del ministerio de agricultura, para realizar convenios aplicando de tal forma generar mayor rentabilidad en el modelo de negocio.

3.3. Viabilidad

A continuación, se muestra cuál es la estructura de costos que requiere la solución para el modelo de emprendimiento, buscando analizar la idea a largo plazo, con la finalidad de validar si los objetivos de ventas y rentabilidad son los más apropiados, con tal fin de tener acotados los tiempos, siendo relevantes y realistas.

3.3.1. Fuente de ingresos

Los ingresos se discriminan en cuatro productos y/o servicios dirigidos a las necesidades que engloba una granja urbana:

Granja vertical Corresponde al dispositivo completo expuesto en este trabajo, incluye el traslado y la instalación en el lugar ordenado por el cliente, la visualización de los datos en internet y manuales y vídeos sobre el manejo de la granja, el cuidado de los cultivos e información de la cosecha.

Consumibles Entre estos se encuentra la tierra abonada con los nutrientes necesarios para cada tipo de planta y las semillas que en un inicio serán de lechuga y rábano.

Mantenimiento El dispositivo es entrega con un tiempo de garantía, una vez se cumpla se ofrecerá un servicio de mantenimiento preventivo y correctivo en caso de cualquier eventualidad

Granja vertical personalizada Es posible personas entusiastas de la agricultura urbana posean elementos que ya tiene la granja vertical y quieran prescindir de ellos, como materas, una estantería o posean suficiente luz, para estos casos se ofrece un producto a la medida del cliente los cuales pueden ser por individual o en conjunto:

- Sistema de riego.
- Sistema de luces.
- Ambiente controlado de temperatura o humedad
- Estantería

Cualquiera de las opciones anteriores se entrega con acceso a los datos en la página web. Teniendo en cuenta los servicio y/o producto mencionados la proyección de ganancia por cada uno se muestra en la figura (3-1).

Valor del servicio	
Servicios	Valor
Granja vertical	\$1.585.440
Semillas	\$2.600
Tierra	\$78.000
Mantenimiento	\$50.000

Figura 3-1: Valores de los servicio y productos

Los valores son tomados en base a los porcentajes de ganancia de la figura (3-2), para el dispositivo que es la fuente mayor de ingreso se escoge un bajo porcentaje con el objetivo de que sea mas accesible y sea posible implementar una estrategia de crecimiento acelerado.

Ganancia del servicio	
Servicios	Ganancia (%)
Granja vertical	20,00%
Semillas	30,00%
Tierra	30,00%
Mantenimiento	25,00%

Figura 3-2: Ganancia porcentual de los servicio y productos

3.3.2. Estructura de costes

Este último modulo es de gran importancia, porque nos va a indicar si la estructura que estamos diseñando tiene viabilidad, Por tal motivo se analizara en detalle los ingresos y costos. En primer lugar la figura 3-3 muestras el costo de cada uno de los productos y servicios.

Costos del servicio		
Servicios	Costo	
Granja vertical	\$1.321.200	c/u
Semillas	\$2.000	c/u
Tierra	\$60.000	c/u
Mantenimiento	\$40.000	c/u
Costos fijos	\$167.833	Mensuales

Figura 3-3: Costos del servicio

El costo de la Granja Vertical se basa en el costo de los elementos que la constituyen, del traslado y de las horas del técnico que la construya. Se encuentra una tabla detallada en el

anexo F.

El costo de las semillas y tierra corresponde al valor que se puede encontrar al por mayor en el mercado. El costo del mantenimiento se divide en dos como se muestra en la figura 3-4

Mantenimiento	
Técnico	\$20.000
Transporte	\$20.000
Total	\$40.000

Figura 3-4: Costos del mantenimiento

Por otro lado los costos fijos se desglosan en cinco ítems como lo muestra la figura 3-5

Costos fijos	Anual	Mensual
Hosting	\$150.000	\$12.500
Dominio	\$40.000	\$3.333
Wordpress	\$384.000	\$32.000
Electricidad	\$480.000	\$40.000
Internet	\$960.000	\$80.000
Total	\$2.014.000	\$167.833

Figura 3-5: Costos del mantenimiento

El Hosting y el dominio son necesarios para el mantenimiento de la página web y se considera la suscripción a Wordpress por el conjunto de herramientas enfocada en el marketing, monetización y analítica e usuarios. Al inicio del emprendimiento (y se estima que hasta sobrepasar el número de ventas en diez al mes) no es necesario alquilar un local por lo que no se valora el costo de arrendamiento, sin embargo si se tiene en cuenta la electricidad que se pueda consumir y el servicio de internet.

Se calcula entonces la viabilidad del proyecto situando como objetivo llegar a \$2.000.000 de ingresos netos, es decir, la ganancia después de los costos fijos y marginales. En la figura 3-6 se representa la ganancia neta al vender 8 dispositivos junto con los artículos consumibles correspondientes. Por otro lado para superar el punto de equilibrio y evitar entrar en pérdidas es necesario vender un solo dispositivo que genera \$264.240 de ganancia, lo que cubre los cobros fijos.

Servicios	Ganancia c/u	Cantidad	Ganancia total	Ventas
Granja vertical	\$264.240	8	\$2.113.920	\$12.683.520
Semillas	\$600	8	\$4.800	\$20.800
Tierra	\$18.000	8	\$144.000	\$624.000
Mantenimiento	\$10.000	0	\$0	\$0
		Ganancia bruta	\$2.262.720	\$13.328.320
		Ganancia neta	\$2.094.887	

Figura 3-6: Ganancia bruta

3.4. Modelo Canvas

Finalmente, en las figuras (3-7) (3-8) se observa la plantilla del Lienzo con todos los módulos referentes al modelo Canvas propuesto por Osterwalder y Pigneur [60], pero aplicado a la granja vertical.

MODELO DE NEGOCIO

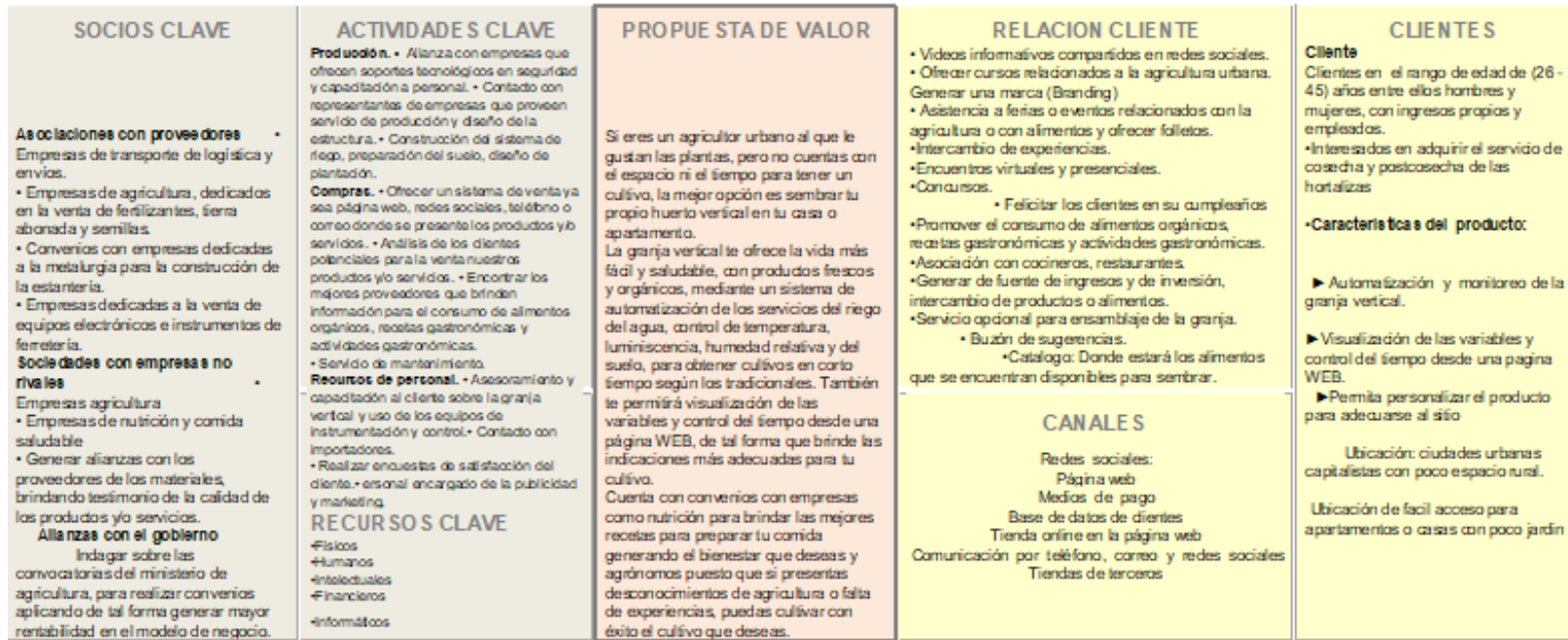


Figura 3-7: Modelo de negocio Canvas Parte 1

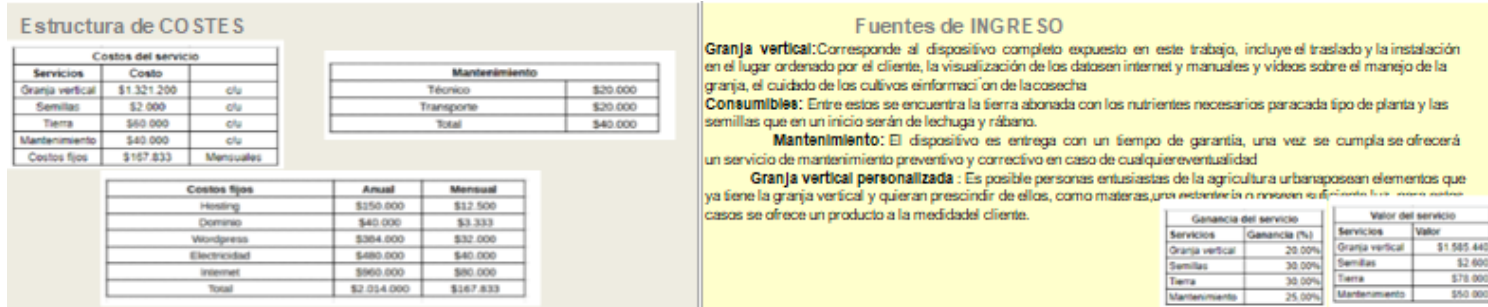


Figura 3-8: Modelo de negocio Canvas Parte 2

4 Diseño de prototipo de granja vertical

En este capítulo se abordan las actividades para llevar a cabo el diseño del prototipo de la granja vertical que consta inicialmente de la selección de los dispositivos sensores y actuadores teniendo en cuenta sus características y asequibilidad, posteriormente se realizó el modelado en tres dimensiones y un plano esquemático de las conexiones del circuito a implementar.

4.1. Selección de materiales

En la presente sección se muestra como se seleccionaron los materiales y dispositivos requeridos para el proyecto teniendo en cuenta las características que poseen.

4.1.1. Microcontrolador

4.1.1.1. Microcontrolador Atmel ATMEGA2560

Este microcontrolador se basa en AVR RISC de Microchip con 8 bits, presenta un alto rendimiento y una disminución en el consumo, porque combina la memoria flash ISP de 256 KB, SRAM de 8 KB, EEPROM de 4 KB, 86 líneas de E / S que tienen 32 registros enfocados en un propósito general, además tiene un dispositivo contador del tiempo real, con seis temporizadores de tipo flexible y contadores de comparación, PWM, 4 USART, una interfaz orientada a bytes, un convertidor con dieciséis canales, 10 bits e interfaz JTAG tipo A/D. El Atmel ATMEGA2560 alcanza altos índices de rendimiento representados en operaciones con 4.5-5.5 voltios y 16 MIPS a 16 MHz [61].



Figura 4-1: Microcontrolador ATMEGA2560. Tomado de [1].

4.1.1.2. Microcontrolador Atmel ATMEGA328

El microcontrolador Atmel ATmega328 de 8 bits se basa en la arquitectura mencionada y es de un alto rendimiento gracias a sus destacadas características tales como, la memoria 32KB ISP flash, USART programable de serie, 32 registros de propósito general; además contiene un núcleo AVR con frecuencia máxima de 20 MHz, memoria de 32Kb y RAM de 2 Kb, fuente de 1.8v-5.5v, convertidor de 10 bits Análogo/Digital. Estos microprocesadores se usan en la automatización industrial y residencial [62].

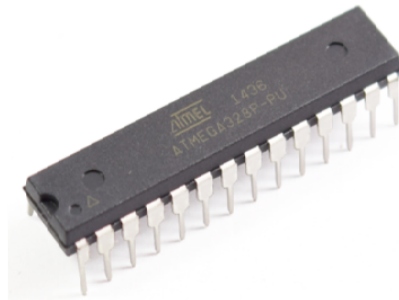


Figura 4-2: Microcontrolador ATMEGA328

4.1.1.3. Microcontrolador NodeMCU ESP8266

El microcontrolador NodeMCU ESP8266 está orientado al Internet de las cosas (IoT) con un desarrollo similar a Arduino. Tiene incorporados componentes que lo hacen destacar como un núcleo al SoM ESP-12E basado en el SoC Wi-Fi ESP8266, además integra el conversor USB-Serial TTL CP2102 y el conector micro-USB, trabaja con el lenguaje interpretado LUA y firmware que envía comandos por el puerto serial (CP2102).

Los pines de entradas/salidas (GPIO) trabajan a 3.3V por tanto para establecer una conexión a sistemas de 5V, es necesario utilizar convertores de nivel como: Conversor de nivel 3.3-5V 4CH o Conversor de nivel bidireccional 8CH - TXS0108E. Además de todas las características que posee, el microcontrolador ESP8266 desarrolla un sin número de aplicaciones empleando diferentes lenguajes como: Arduino, Lua, MicroPython, C/C++, Scratch[63].

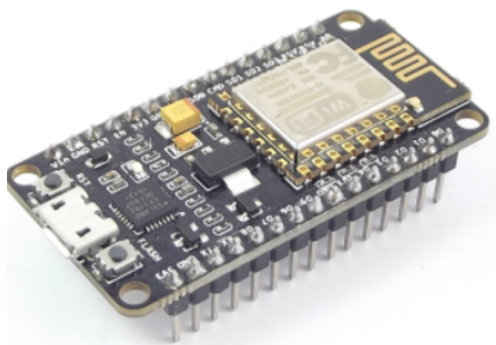


Figura 4-3: Microcontrolador ESP8266

4.1.1.4. Microcontrolador NodeMCU-32

La placa de desarrollo NodeMCU-32 representa una herramienta muy completa y potente para desarrollar el prototipado rápido de proyectos que empleen IoT (Internet de la cosas), la ESP32 evolucionó de la ESP8266 tras mejoras realizadas en algunos componentes de la plataforma relacionadas con el procesamiento computacional y el alcance de comunicación, su funcionamiento se basa en la integración de una placa SoM ESP-WROOM-32, un convertor USB-serial CP2102, dispositivos reguladores de voltaje, leds indicadores y gran variedad de periféricos para la conexión con sensores capacitivos táctiles, sensor con efecto Hall, amplificadores, una interfaz para tarjeta SD, Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I2S e I2C. Esta placa está diseñada para trabajar sobre una protoboard, con una fuente de alimentación directa del puerto micro-USB o utilizando una fuente externa de 3 a 5 voltios, gracias a que posee un regulador de voltaje y para tener un rendimiento más óptimo de la placa.

La ESP32 presenta grandes ventajas frente a los otros dispositivos como una mejor conectividad del dispositivo debido a que cuenta con diferentes protocolos de comunicación inalámbrica como lo son el WiFi, Bluetooth y BLE, además el sistema ESP-WROOM-32 integra en un módulo el SoC ESP32, la memoria del FLASH, el cristal oscilador y una antena WiFi en PCB, con procesamiento más óptimo de 32-bit, dos núcleos de hasta 240 Mhz que se controlan de forma independiente[64].



Figura 4-4: Microcontrolador ESP32

4.1.1.5. Elección final del microcontrolador

La elección del microcontrolador se basó en la información compilada en la tabla (4-1), donde se destacan las características más relevantes requeridas para el proyecto, por tanto el dispositivo elegido fue el ESP32 cuya principal característica es la incorporación del módulo wifi, además del número de pines de entrada y salida y la cantidad de ADC con los que cuenta.

Tabla 4-1: Tabla de comparación de especificaciones del microcontrolador

Especificaciones	ATMEGA328P	ATmega2560	ESP8266	ESP32
Fuente de alimentación [V DC]	3.3	3.3	3.3	3.3
Bajo Consumo	SI	SI	SI	SI
ADC [Bits]	6	16	1	18
Pines I/O	26	86	17	36
I2C	SI	SI	SI	SI
Wifi	NO	NO	SI	SI
Costo [\$]	11800	36600	20000	35000

4.1.2. Sensores

4.1.2.1. Sensor de humedad de suelo FC-28

Este dispositivo mide la humedad del suelo usando dos electrodos resistivos, es muy aplicado en la agricultura para monitorear el nivel de humedad de los cultivos y de esta manera prevenir cuando deben ser regados. Su funcionamiento se basa básicamente en medir la resistencia entre los dos electrodos cuando están insertados en el suelo estudiado, cuando éste es muy húmedo la resistencia es baja y se presentará un corto circuito, por el contrario cuando el

suelo es seco tendrá una alta resistencia y presentará un circuito abierto.

En cuanto a los componentes que lo conforman está una tarjeta de acondicionamiento (YL-38) que tiene la función de entregar a una salida digital y otra analógica, en la primera se activa cuando el nivel de la humedad es menor que el esperado y por otro lado la salida analógica entrega un voltaje analógico desde valor 0V para un suelo muy húmedo y de hasta 5V para un suelo muy seco [65].

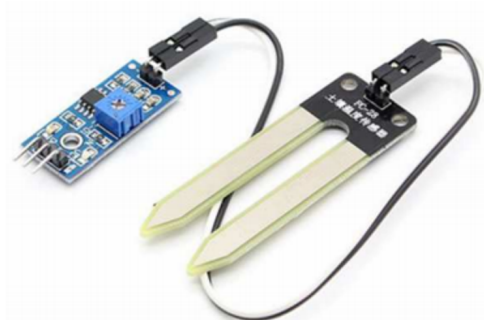


Figura 4-5: Sensor de humedad de suelo FC-28

4.1.2.2. Sensor de humedad de suelo Y-L69

Este sensor como su nombre lo indica tiene la capacidad de medir la humedad del suelo, está conformado por una sonda YL-69 con dos terminales separados, un módulo YL-38 con un circuito comparador LM393 SMD, un led de encendido y un activador de salida digital con cuatro pines, dos de conexión y dos de datos. Su funcionamiento consiste en aplicar tensión sobre el módulo YL-69 para hacer que pase corriente, que también depende de la resistencia del suelo y a su vez de la humedad, por tanto a mayor humedad presenta más corriente y viceversa[66].

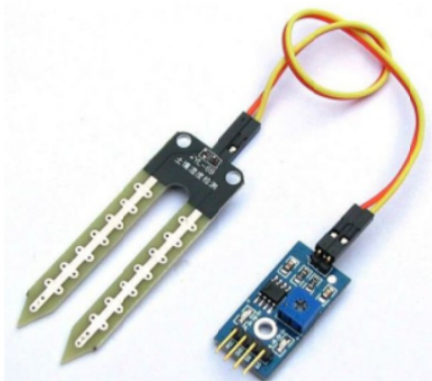


Figura 4-6: Sensor de humedad de suelo Y-L69

4.1.2.3. Elección final del sensor de humedad de suelo

Los sensores relacionados en la tabla (4-2), tienen una respuesta de salida analógica en función del voltaje que ocasiona la corriente al atravesar el medio. Este voltaje se relaciona con los niveles de humedad del suelo.

Tabla 4-2: Tabla de comparación de especificaciones de humedad de suelo

Especificaciones	YL-69	FC-28
Fuente de alimentación [V DC]	3.3 - 5	3.3 - 5
Protocolo de Comunicación	Analogica	Analogica
Corriente de suministro [mA]	35	35
Voltaje de salida [V]	0 - 4.2	3.3 - 5
Sensor en suelo seco	0 - 300	800-1023
Sensor en suelo húmedo	300 - 700	600 - 700
Sensor en agua	700 - 900	0
Costo [\$]	4500	6000

Según la tabla (4-2) de humedad del suelo, la opción a elegir no depende de las especificaciones requeridas según las tablas de los requerimientos edafoclimáticos ya que los dos sensores cumplen. En el caso específico del proyecto fue adquirido el sensor YL-69 por el precio económico y facilidad de compra.

4.1.2.4. Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302)

Este sensor para la temperatura y humedad relativa, presenta un alto rendimiento y en el mercado se consigue a bajo costo, esta compuesto por un transductor capacitivo de humedad y un termistor que mide el aire, los datos son mostrados mediante una señal digital en el pin de datos. Compatible con el lenguaje de programación Arduino, Raspberry Pi y Nodemcu, cabe resaltar que si desea conectar más de un sensor DHT22 al mismo Arduino, cada uno debe contar con su propio pin de datos.

Un punto desfavorable es que el dispositivo sensa cada dos segundos. Algunas recomendaciones para su uso son emplear un único hilo o cable para la conexión con el micro controlador y proteger el sensor de los rayos ultra violeta[67].



Figura 4-7: Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22

4.1.2.5. Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11

El DHT11 es un sensor digital para temperatura y humedad relativa, con precio asequible y de fácil uso. Cuenta con un pin de datos que muestra la señal digital, es muy empleado en proyectos académicos enfocados en el control y automatización; pero una sus desventajas es que sólo lee datos enteros y realiza lectura cada dos segundos.

El protocolo de comunicación que emplea el sensor es (Single wire bus) quiere decir que solo es un cable para realizar la conexión con el microcontrolador, la distancia máxima que recomienda el proveedor para realizar la conexión de longitud del cable es 20 metros[68].

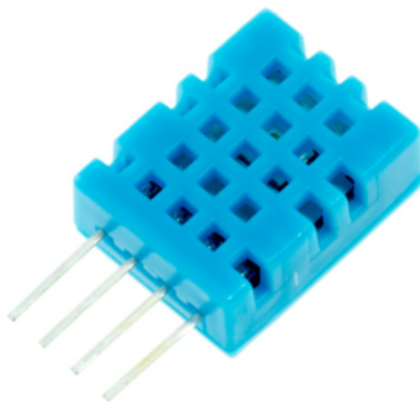


Figura 4-8: Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11

4.1.2.6. Sensor de temperatura y humedad relativa HTU21D

El HTU21D es un sensor digital de temperatura y humedad relativa. Utiliza el protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit), proporcionando señales calibradas y linealizadas. Adicionalmente,

su consumo de energía es bajo.

Una de las ventajas del sensor es que permite modificar la resolución. Adicional, su funcionamiento en el rango de temperatura es alto en comparación con otros sensores y tiene la capacidad de realizar las lecturas sin necesidad de calibrarse en condiciones estándar [69].

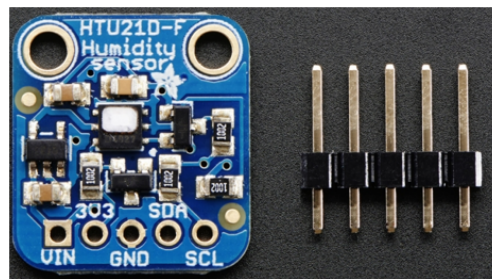


Figura 4-9: Sensor de temperatura y humedad relativa HTU21D

4.1.2.7. Elección final del sensor de temperatura y humedad relativa

En la tabla (4-3), se relacionan tres tipos de sensores para la temperatura-humedad donde se establecen las especificaciones más relevantes requeridas en este proyecto, como lo son la fuente de alimentación, corriente de suministro, rango de medición y precisión para la humedad y temperatura, periodo de muestreo, protocolo de comunicación y costo en el mercado; de esta manera elegir cuál es el más óptimo y apropiado para la granja vertical.

Tabla 4-3: Tabla de comparación de especificaciones de temperatura y humedad relativa

Especificaciones	DHT22	DHT11	HTU21D
Fuente de alimentación [V DC]	3.3 - 6	3.3 - 6	3.6
Corriente de suministro Activo [mA]	0.3	0.3	450
Corriente de suministro Sleep [μ A]	60	60	0.02
Rango de medición Humedad [%RH]	0-100	20 - 90	0 - 100
Rango de medición Temperatura [$^{\circ}$ C]	-40 - 80	0 - 50	-40 - 125
Precisión Humedad [%RH]	+/- 2 5	+/- 5	+/- 2
Precisión Temperatura [$^{\circ}$ C]	+/- 0.5	+/- 2	+/- 0.3
Periodo de muestreo [Seg]	2	1	10
Protocolo de Comunicación	Single wire bus	Single wire bus	I2C
Costo [\$]	16000	9996	19780

De acuerdo a los datos de la tabla (4-3) y teniendo en cuenta que el proyecto requiere de un rango de medición de temperatura que oscila entre los 14 a 25 $^{\circ}$ C según las tablas (??)(??) de los requerimientos edafoclimáticos, el sensor elegido fue el DHT22, por su costo asequible y protocolo de comunicación que solo requiere un cable de datos para la conexión con el microcontrolador, de igual forma tiene un periodo de muestreo adecuado para el proyecto y presenta un porcentaje de error mínimo.

4.1.2.8. Sensor de luminosidad BH1750

El sensor de luz ambiente BH1750 tiene salida digital, cuenta con un conversor de 16 bits, por lo que trabaja con el protocolo de comunicación I2C (Inter-Integrated Circuit), la salida de sus datos se visualiza en unidades de medida Lx (Lux); puesto que tiene las librerías que transforma los valores de lectura en una medida precisa, su rango de voltaje se encuentra entre tres a cinco voltios y trabaja en un amplio rango de medición de 1 a 65535 lux. Finalmente, su consumo de energía es bajo [70].

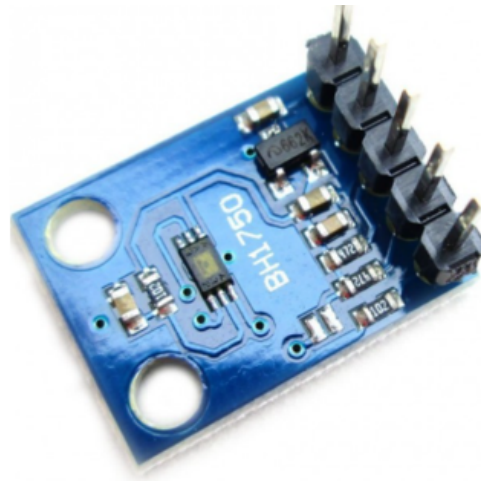


Figura 4-10: Sensor de luminosidad BH1750

4.1.2.9. Sensor de luminosidad TSL2561

El sensor de iluminación TSL2561, realiza las lecturas de la intensidad de forma digital, tiene la capacidad de trabajar en el rango dinámico de medición de 0.1 a los 40000 Lux; por tal motivo tiene la capacidad censar con bastante precisión, permitiendo realizar cálculos más exactos de los niveles de luz ambiente.

Es un sensor con capacidades más robustas, puesto que está diseñado con un diodo de infrarrojos y un diodo de espectro completo, permitiendo realizar lecturas por separado, de la luz visible y del espectro completo. Trabaja con el protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit), su voltaje de operación se encuentra en los de valores de 2.7 a 3.6V; finalmente el sensor permite realizar la configuración de los niveles de ganancia en relación al tiempo[71].



Figura 4-11: Sensor de luminosidad TSL2561

4.1.2.10. Elección final del sensor de luminosidad

En la tabla (4-4), se relacionan dos tipos de sensores para la luminosidad, teniendo en cuenta los parámetros de fuente de alimentación corriente de suministro, protocolo de comunicación, rango dinámico, rango de operación temperatura y costo.

Tabla 4-4: Tabla de comparación de especificaciones de luminosidad

Especificaciones	TSL2561	BH1750FVI
Fuente de alimentación [V DC]	2.7 - 3.6	3
Corriente de suministro Active [mA]	0.24	0.12
Corriente de suministro Sleep [μ A]	3.2	0.01
Protocolo de Comunicación	I2C	I2C
Rango dinámico (Lux)	0.1 - 40,000	1 - 65535
Rango de operación Temperatura [$^{\circ}$ C]	-30 - 70	-40 - 85
Rango de temperatura de almacenamiento [$^{\circ}$ C]	-40 - 85	-40 - 100
Costo [\$]	13485	9996

Conforme a los datos de la tabla (4-4), fue seleccionado el sensor TSL2561 puesto que presenta ventajas en el rango dinámico presentando más capacidad de lux por tal motivo es capaz de medir con mas intensidad los niveles de luz; de igual forma es un sensor con capacidades mas avanzadas, ya que tiene la capacidad de medir con mayor precisión.

4.1.3. Actuadores

4.1.3.1. Iluminación LED

Conociendo que la iluminación led es la más viable para el crecimiento de las plantas generando luz artificial, los datos fotométricos suministran la información del espectro de luz que emite cada led, en relación de la longitud de onda vs la intensidad de luz para mas información ver anexo (8.5), considerando que las plantas necesitan luz para realizar la fotosíntesis denominado PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa), en los rangos de frecuencia de 400 a 720 nm (nanómetros).

Teniendo en cuenta que la luz que más influye en el crecimiento de las plantas es de color rojo con los rangos de longitud onda (620 - 710), brindando clorofila A y B y el color azul se encuentra en los rangos de longitud onda (400 - 495) proporcionando clorofila A y B, criptocromos y fototropinas según la figura (2-6) . En la tabla (4-5) se realiza una comparación de

las especificaciones de los siguientes Leds 5050, 5630, 5730 y 2835; presentando diferencias en la temperatura de color, flujo luminoso y costo.

Tabla 4-5: Tabla de comparación de especificaciones de la Iluminación LED

Especificación	LED 5050	LED5630	LED 5730	LED 5730	LED 5730	LED 2835
Fuente [V]	12	12	12	12	12	12
Potencia [W]	14	14	14	14	14	-
IRC	80	80	80	80	80	80
Temp. color [k]	6000-6500	5700-6500	5000-6500	4000-5000	2500-3500	6500
Tamaño [mm]	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Vida útil promedio [hrs]	50000	50000	50000	50000	50000	50000
Flujo luminoso [lm]	20	29-44	35-55	35-55	35-55	22
Ángulo de haz [°nom.]	120	120	120	120	120	120
Color	BLANCO	BLANCO	BLANCO	AZUL	ROJA	BLANCO
Costo [\$]	5000	5000	7500	6600	6600	18500

En la tabla (4-5), se ilustran los rangos de la temperatura en °K (grados kelvin); considerando que los rangos (1500 – 3000) son de color rojo y estimulan la floración de las plantas y los rangos (4000 – 5000) °K provocan el crecimiento de las hojas y tallos. De igual forma los valores del flujo luminoso (lm) permite identificar la eficiencia en Lumens por cada vatio (W) consumido, Finalmente para el proyecto se utilizó los Leds 5730 de color azul y 5730 color rojo, por su fácil acceso en el mercado y su asequibilidad, adicional la longitud de onda según el anexo (8.5) son los más adecuados para el crecimiento de los cultivos y su eficiencia se encuentra en el rango de 35 a 55 lumens.

4.1.3.2. Electroválvula

Las electroválvulas son dispositivos que funcionan con pulsos eléctricos, compuesta por dos partes: el solenoide y el material de plástico.

El solenoide es un electroimán, que cuando se le suministra energía la corriente que circula a través del solenoide es posible abrir o cerrar la válvula permitiendo su control, por tanto, el flujo de fluidos. Cuando no está energizado el resorte se encarga de regresar la válvula a su posición inicial, el proceso también es llamado normalmente cerrada (NC).

Para realizar el control de la válvula se realiza con un driver de potencia, puesto que es necesario debido que la corriente y voltaje de la válvula son mayores que la de un microcontrolador[72].



Figura 4-12: Electroválvula 1/2"

Tabla 4-6: Tabla de especificaciones Válvula solenoide 1/2"

Especificaciones	Electrovalvula 1/2
Fuente de alimentación [V DC]	12
Corriente de operación [A]	0.6A
Potencia consumo [W]	8
Temperatura de funcionamiento [°C]	5 - 100
Presión de funcionamiento mínima [MPa]	0.02
Presión de funcionamiento máximo [MPa]	0.8
Tiempo de respuesta (apertura) [Seg]	0.15
Tiempo de respuesta (cerrado) [Seg]	0.3
Costo [\$]	23000

La electroválvula solenoide empleada para el riego del agua por goteo posee las características descritas en la tabla (4-6), con bajos niveles de presión requeridos ya que el sistema empleado funciona por gravedad con un tanque de agua ubicado en la parte superior del estante, adicional cabe destacar que la comercialización en el mercado de estos dispositivos con fines académicos es limitada, puesto que en su mayoría encontramos válvulas de tipo industrial.

Para realizar la conexión con el microcontrolador se efectuó la conexión con un transistor de media potencia, el transistor empleado fue el TIP31C; cumpliendo con las condiciones de funcionamiento de la electroválvula, permitiendo el control con el microcontrolador.

4.1.3.3. Calefactor

La selección del calefactor se llevo a cabo tras el diseño y análisis de la tabla (4-7) de comparación de las especificaciones mas relevantes de cada dispositivo.

Tabla 4-7: Tabla de comparación de especificaciones del Calefactor

Especificaciones	Calefactor Y Ventilador Kalley k-ca18	Handy Heather	Cable Térmico Neptune	Resistencia para encubadora
Fuente de alimentación [V DC]	110	110	110	12 DC
Potencia [W]	900 - 1500	350 - 400	30	50
Dimensiones [mm]	110x210x230	160x100x100	160x110x60	35x21x5
Rango de temperatura [° C]	-	16 - 32	18 - 21	220 ± 10
Costo [\$]	66900	49900	80000	21700

Tras el análisis de los cuatro calefactores expuestos en la tabla (4-7), se concluye que para el proyecto es más viable utilizar la resistencia para encubadora, por su fuente de alimentación teniendo en cuenta que se realiza la conexión con un transistor de potencia TIP122 que permite realizar el control con el microcontrolador, por tanto el TIP122 fue elegido porque soporta corrientes hasta 5A y la resistencia de la encubadora requiere una corriente de 4,16 A para su funcionamiento, por ende se necesita solo una fuente de alimentación para todo el sistema de calefacción, además las dimensiones según la figura (4-13) son apropiadas para construir un calefactor casero y de bajo costo, teniendo en cuenta que el total requerido son tres calefactores, uno en cada nivel del estante.



Figura 4-13: Resistencia de calefacción

En cuanto a los tres calefactores restantes expuestos en la (4-7), el primero con marca Kalley K-ca18 tiene un alto costo en el mercado y es muy robusto para las dimensiones de nuestro proyecto, el segundo y tercer calefactor llamados Handy Heather y cable térmico Neptune respectivamente, son dispositivos disponibles en otros países y su importación representa un costo no viable para el proyecto.

4.1.3.4. Sistema de ventilación

El sistema de ventilación del proyecto se llevó a cabo con la implementación de un ventilador de 12 voltios para una celda peltier o también llamada refrigeración termoeléctrica, modelo 3110 RL y dimensiones (largo 8cm- alto 8cm y ancho 2.5 cm), disponible en el mercado y con un precio asequible de \$6.000, como se puede ilustrar en la figura (4-14).



Figura 4-14: Ventilador 12v

Para el proyecto se requiere tres ventiladores, uno en cada nivel de la estantería con el fin de regular variables ambientales que influyen en el desarrollo de los cultivos y el funcionamiento de la granja vertical, tales como lo son, la temperatura, el calor y la humedad del ambiente, además permite el intercambio de CO₂ en el lugar. Este sistema de ventilación se activa

realizando la conexión con el transistor de media potencia TIP31C con el microcontrolador permitiendo su control.

4.2. Diseño 3D del prototipo de la granja vertical

La modelación en 3D se desarrolló con el software OnShape, esta herramienta de diseño permite elaborar una representación digital precisa para tener una visión del producto una vez sea llevado a la práctica, facilitando la detección de errores y corrigiéndolos de manera oportuna, además permite crear piezas complejas e integrarlas a nivel geométrico, espacial y de componentes.

Los componentes de la estructura se diseñaron de forma independiente, tales como recipientes, tornillos, columnas, soportes, sensores de (humedad del suelo, luminosidad, temperatura y humedad relativa), tanque de agua, luces led, ventilador, canaleta, manguera del riego, y tubería como ilustra en la figura (4-15).

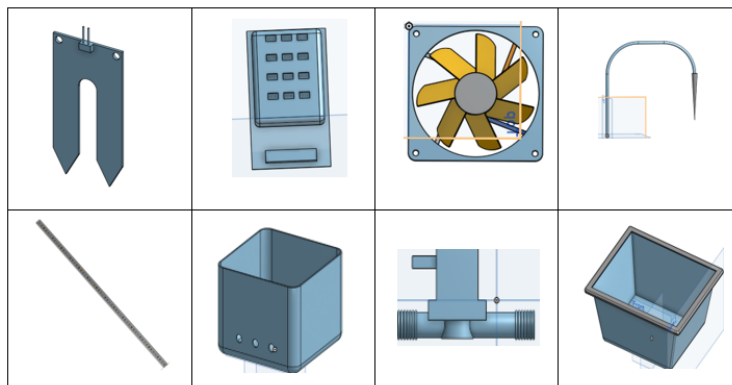


Figura 4-15: Componentes de la estructura 3D

Posterior, se ensamblan los componentes diseñados de forma independiente, con el objetivo de diseñar una estantería de cuatro niveles con dimensiones totales de (alto 200 cm, ancho 40 cm y largo 100 cm) y separación entre cada nivel de 42cm donde se situaron los recipientes para cultivar, en orden descendente, en el primer nivel se encuentra el tanque de agua conectado a las electroválvulas, junto con el circuito, en el segundo, tercer y cuarto nivel se encuentran en cada uno tres recipientes plásticos con dimensiones (alto 15 cm, ancho 40 cm y largo 33 cm), un sensor de temperatura y humedad relativa, tres sensores de humedad del suelo, un ventilador, un calefactor y cuatro tiras de luces led; lo anterior se ilustra en la figura (4-16)

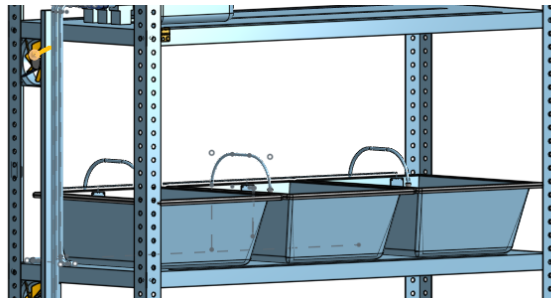


Figura 4-16: Visualización de nivel 3D

El sistema de riego se compone de tuberías que salen de las electroválvulas, que se distribuyen a lo largo de la estructura y se subdividen en tres ramificaciones para cada nivel junto con un sistema de goteo, para dar estética al cableado se instalaron canaletas, adicional se coloca un sensor de luz en la mitad de la estantería. Finalmente en las figuras (4-17)(4-18) se ilustra el modelamiento en 3D a implementar.

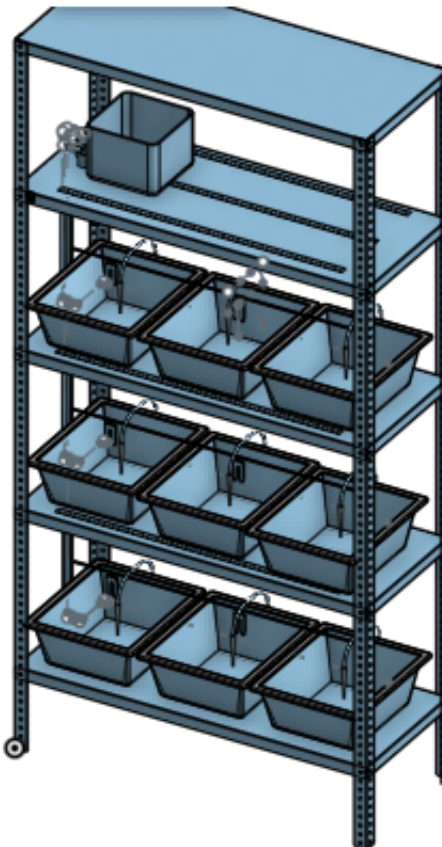


Figura 4-17: Modelación de estructura front 3D

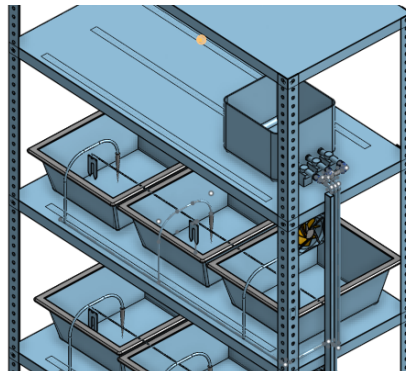


Figura 4-18: Modelación de estructura back 3D

4.3. Esquemático del circuito

En la figura (4-19) se presenta un diagrama de bloques que ilustra el funcionamiento y la interacción de los sensores y actuadores con el microcontrolador, teniendo en cuenta las fuentes de alimentación que éstos requieren para su funcionamiento, adicional los bloques que se encuentran afuera del recuadro muestran la comunicación establecida entre el modulo WiFi con el servidor de Ubidots, junto con la Api y la página web, que almacena la información en una base de datos.

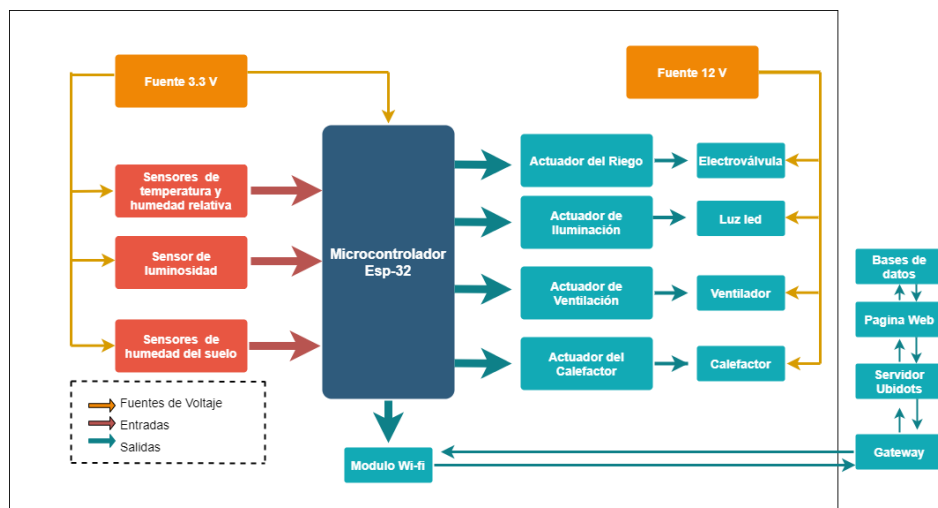


Figura 4-19: Diagrama de bloques del circuito

Por otra parte, con la herramienta Circuitmaker se diseñó el esquemático de todas las conexiones del circuito junto con la placa PCB. Para más información ver anexo (8.4).

4.4. Cerramiento de la granja vertical

Para controlar las variables ambientales que influyen en el crecimiento y desarrollo de un cultivo, se indaga sobre los materiales adecuados para la construcción de una granja vertical, teniendo en cuenta las propiedades físicas, térmicas y ópticas que requiere este espacio.

Los cultivos que se van sembrar requieren de un espacio cerrado y translúcido que permita la captación de radiación solar; los materiales encontrados en el mercado que cumplen con las especificaciones anteriores son, la lámina de acrílico transparente, el vidrio templado transparente y el plástico polietileno transparente; las propiedades físicas a tener en cuenta son: la capacidad de transmitir la intensidad de luz, el acrílico transmite el valor más alto de intensidad de luz en un 92 %, el vidrio templado permite valores entre 80 a 90 % [73], y el plástico polietileno permite la intensidad de luz en un 90 % [74], otra propiedad es la dureza del material donde el acrílico y el vidrio son materiales más resistentes que el plástico, adicional todos los materiales mencionados cumplen con la resistencia térmica requerida para la estructura de la granja vertical.

El factor determinante para la elección del material fue el precio que tiene en el mercado, se encontró que la lámina de acrílico con dimensiones (150 cm de alto – 100 cm de largo - 0.6 cm de espesor) cuesta \$ 538.000, el vidrio templado con dimensiones (200 cm de alto – 100 cm de largo - 0.6 cm de espesor) cuesta \$270.000, mientras que el plástico polietileno con dimensiones (300 cm de alto – 500 cm de largo y un espesor de 0.2 cm) cuesta \$23.000, por tanto este último es el material seleccionado.

4.5. Maquina de estados

La maquina de estados es la que recibe los datos de los sensores como una entrada y devuelve unas salidas que van dirigidas a los actuadores. Tanto las entradas como las salidas se dividieron en tres niveles que son alto, medio o bajo (o apagado en su defecto). Se dieron todas las posibilidades de entradas y su respectiva salida dando un total de 36 estados diferentes. Esta maquina de estado esta avala y de igual forma agradecemos al profesor de la Universidad Nacional Jesús Efrén Ospina Noreña quien cursó estudios postdoctorales en ciencias de la atmosfera. Para ver la maquina de estados completa acudir al ANEXO G

5 Implementación de la granja vertical y pagina web

La implementación del proyecto se divide en tres partes fundamentales: primero la construcción física del dispositivo donde se prepara la estantería y se ubican los sensores y actuadores. El control y monitoreo se procesa en el microcontrolador, se encarga de la señales entrantes y de enviarlas al servidor Ubidots, mientras que la pagina web se comunica con este servidor para mostrar los datos.

5.1. Construcción física de la Granja Vertical

5.1.1. Estantería

Se compró una estantería de cuatro niveles de acuerdo al diseño propuesto, cada uno de estos niveles está separado por 42cm, la altura ideal para el tipo de plantas que se van a sembrar. Los recipientes para la tierra se consiguieron de tal forma que además de económicos fueran de un tamaño tal que para cada nivel cupieran tres, esto con el fin de facilitar la siembra, el cambio de tierra o cualquier reparación.

Las puertas se hicieron con un marco en madera y un imán en los extremos centrales superior e inferior para asegurar que se mantengan cerradas.

5.1.2. Sensores

De humedad del suelo: Teniendo en cuenta que el riego por goteo se dará en el centro del recipiente, los sensores se colocaron en un extremo de forma diagonal, como se muestra en la figura.

De temperatura y humedad relativa: Se ubicaron al otro extremo del calefactor y separados del ventilador.

De Luminosidad: Únicamente hay un sensor de luminosidad que mide la cantidad de luz que emerge sobre el dispositivo, por lo que se ubicó en un extremo de la estructura como muestra la figura.

5.1.3. Actuadores

Luces LED: Como se trató anteriormente, el espectro de luz que mas influye en el crecimiento de las plantas es el azul y el rojo a una cantidad en proporciones iguales sumadas de $14\text{mol}/(\text{dia} * \text{m}^2)$. Se escogió una configuración de luces que se acercara a estas especificaciones a la vez que sea viable económicamente y se encuentren fácilmente en el mercado. Las tiras de LEDs con referencia SMD 5730 las cuales tienen una eficiencia es alrededor $80\text{lumens}/\text{W}$ y una luminiscencia de 35 Lumens por diodo, la tira LED se ajusta al largo de la granja y viene con 66 diodos lo que significa 2310 Lumens.

Para cada nivel se utilizó dos tiras de color azul y otras dos de color rojo intercaladas para un total de 9240 Lumens. Si bien, hacer la conversión a $\text{mol}/(\text{s} * \text{m}^2)$ es complejo y requiere de instrumentos especializados en medir el espectro de luz, la empresa waveformlighting.com ofrece una calculadora que da una medida aproximada. Los resultados obtenidos son:

$355\text{umol}/(\text{s} * \text{m}^2)$ Para las luces rojas

$533\text{umol}/(\text{s} * \text{m}^2)$ Para las luces azules

Estas luces encendidas por 16 horas dan un total de $51\text{mol}/(\text{dia} * \text{m}^2)$ lo que es muchas veces mas de lo que deben recibir las plantas, sin embargo se debe tener en cuenta que el espectro que ofrece puede no coincidir exactamente a longitudes de onda de 450 nm y 650 nm, las cuales corresponden al azul y al rojo. Además para que no haya posibilidad de que la intensidad de la luz genera un efecto negativo, esta se calibró con el sensor de luminosidad para los valores de alto y medio.

Ventilador: Los ventiladores se ubicaron al otro extremo del calefactor

Calefactor: Al no haberse encontrado un calefactor con las medidas y el precio necesario, se construyó uno usando una caja de madera triplex, la resistencia para incubadora y un ventilador. El contenedor tiene dos perforaciones de 3cm de diámetro, por un lado el ventilador extrae el aire y lo pasa a través de la resistencia que lo calienta antes de salir por el otro orificio, como se ilustra en la figura (5-1)

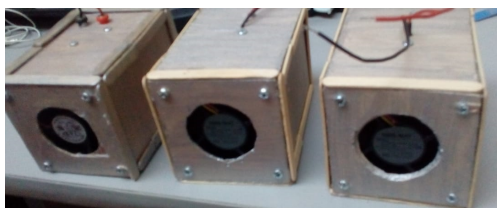


Figura 5-1: Calefactor

Sistema de riego: Se compró un sistema de riego por goteo especial para materas o plantas en casa, se ajusta a las necesidades de la granja por que tiene capacidad para diez recipientes y esta cuenta con nueve. Junto a este sistema se adapto un tanque que será la reserva del agua, de este salen tres mangueras, cada una de estas pasa por una válvula para controlar que el agua salga cuando sea necesario.



Figura 5-2: Estructura de granja vertical

5.2. Implementación del código en el microcontrolador

Para utilizar Micropython en el microcontrolador ESP32 es necesario borrar la memoria flash y grabar el firmware especial para este dispositivo, el cual se puede descargar de la página <https://micropython.org/download/esp32/>. Se utiliza el programa esptool.py de Espressif, la empresa dueña del microcontrolador, para comunicarse mediante interfaz de comunicación serial y enviar el firmware.

Por defecto se ejecuta el archivo boot.py para luego ejecutar el archivo main.py.

Al inicio del código se declaran las constantes, luego arreglos con los pines que se van a usar para leer los sensores. Se utilizaron diccionarios de python para guardar los pines de salida

que activan los actuadores, los valores de referencia de las variables ambientales expuestas en alto medio y bajo, los valores de referencia de salida para los PWM, los valores de referencia de salida para los timers de las válvulas y por ultimo la maquina de estados. A continuación se declaran los objetos asociados a los sensores, como muestra la figura 5-3.

```

280 #i2c para comunicarse con el sensor de luz
281 i2c = I2C(1, scl=Pin(22), sda=Pin(21), freq=40000)
282 #Se usa una libreria externa del sensor de luz TSL2561
283 tsl = TSL2561.TSL2561(i2c)
284 #Reloj en tiempo real
285 rtc = RTC()
286 #Declaración de los ADCs para los sensores de humedad del suelo
287 for i in range(len(adc_pins)):
288     adc = ADC(Pin(adc_pins[i])) #Crea un objeto ADC en el Pin adc_pins[i]
289     adc.atten(ADC.ATTN_11DB) #Cambia la referencia de 1v a 3,3v
290     adc.width(ADC.WIDTH_9BIT) #Define una precisión de 9bits
291     adc_obj.append(adc) #Agrega el objeto al array de objetos
292 #Declara los objetos de los sensores de Temperatura y humedad
293 for i in range(len(dht_pins)):
294     d = dht.DHT22(Pin(dht_pins[i])) #Se utiliza una libreria interna
295     dht_obj.append(d) #Agrega el objeto al array de objetos

```

Figura 5-3: Código de los objetos de los sensores

Luego se declaran los objetos asociados a las salidas que son por nivel dos PWM y un Pin tipo salida, en cuanto a las luces, todas en todos los niveles son controladas por un solo PWM. 5-4.

```

305 #Objeto tipo PWM para controlar el ventilador del nivel 1
306 out_ventilator_lvl1 = PWM(Pin(out_pins['level_1']['ventilator']), freq=20000, duty=0)
307 #Objeto tipo PWM para controlar el calefactor del nivel 1
308 out_heater_lvl1 = PWM(Pin(out_pins['level_1']['heater']), freq=20000, duty=0)
309 #Objeto tipo Pin (Salida) para controlar las valvulas del nivel 1
310 out_valve_lvl1 = Pin(out_pins['level_1']['valve'],Pin.OUT)
311
312 #Objetos del nivel 2
313 out_ventilator_lvl2 = PWM(Pin(out_pins['level_2']['ventilator']), freq=20000, duty=0)
314 out_heater_lvl2 = PWM(Pin(out_pins['level_2']['heater']), freq=20000, duty=0)
315 out_valve_lvl2 = Pin(out_pins['level_2']['valve'],Pin.OUT)
316
317 #Objetos del nivel 3
318 out_ventilator_lvl3 = PWM(Pin(out_pins['level_3']['ventilator']), freq=20000, duty=0)
319 out_heater_lvl3 = PWM(Pin(out_pins['level_3']['heater']), freq=20000, duty=0)
320 out_valve_lvl3 = Pin(out_pins['level_3']['valve'],Pin.OUT)
321
322 #Objeto tipo PWM para controlar las luces LED de todos los niveles
323 out_led = PWM(Pin(out_pins['light']), freq=20000, duty=0)

```

Figura 5-4: Código de los objetos de las salidas

Luego de los objetos, se declaran todas las funciones.

Al encenderse la granja, el programa dentro del microcontrolador ejecuta primeramente la conexión con el WiFi con unas credenciales que se deben grabar antes de utilizarla, el código para esta tarea lo ofrece la documentación oficial de Micropython. A continuación se hace la conexión con el servidor Ubidots mediante el protocolo MQTT, Las librerías usadas mqtt-simple y mqtt-robust están disponibles en el repositorio de Micropython micropython-lib. A continuación se usa la librería ntpime para obtener de internet la hora en tiempo real y se guarda en el reloj en tiempo real (RTC) interno del microcontrolador.

Luego de haber declarado todos los objetos, constantes y arreglos se ejecuta el Timer con un intervalo de 60 segundos siguiendo la secuencia del diagrama de flujo de la figura 5-5.



Figura 5-5: Diagrama de flujo del timer

5.2.1. Implementación de la maquina de estados

Para la maquina de estados se declaró dos diccionarios, uno donde se relaciona cada una de las entradas con un estado en particular nombrado `inputs`; cabe resaltar que muchas combinaciones de entradas pueden dar lugar a un mismo estado, la figura 5-6 muestra una parte de este diccionario.

```
118 inputs = {
119     12211:1,
120     12202:1,
121     12201:1,
122     12111:1,
123     00211:1,
124     00202:1,
125     00201:1,
126     00111:1,
127     11211:2,
128     11202:2,
129     11201:2,
130     11111:2,
131     10211:3,
132     10202:3
```

Figura 5-6: Diccionario que relaciona las entradas con un estado

El segundo diccionario nombrado `outputs` relaciona cada uno de los estados con una salida diferente como lo muestra la figura, la cantidad de estados son 16. 5-7.

```
230 outputs = {
231     1:[0,0,0,0], #State 1
232     2:[0,0,0,1], #State 2
233     3:[0,0,0,2], #State 3
234     4:[0,0,1,0], #State 4
235     5:[0,0,1,1], #State 5
236     6:[0,0,1,2], #State 6
237     7:[0,0,2,0], #State 7
238     8:[0,0,2,1], #State 8
239     9:[0,0,2,2], #State 9
240     10:[0,1,0,0], #State 10
241     11:[0,1,0,1], #State 11
242     12:[0,1,0,2], #State 12
243     13:[0,1,1,0], #State 13
```

Figura 5-7: Diccionario que relaciona cada estado con un arreglo de salidas

5.2.2. Recepción de las señales de los sensores

En cuanto a los sensores de humedad del suelo se debe tener en cuenta que solo hay una válvula por cada nivel, sin embargo hay un sensor por cada recipiente, por lo que sumaria tres sensores por cada nivel y solo una fuente de agua. Para evitar que la humedad en un recipiente se sobrepase, se toma en cuenta únicamente el máximo valor de esos tres sensores.

Los valores de los sensores de temperatura y humedad relativa se almacenan en un arreglo de arreglos, empezando desde el nivel uno hasta el nivel tres, cada elemento contiene entonces otro arreglo con los valores de la temperatura y humedad respectivamente, un ejemplo de esto sería: `[[25, 60], [18, 80], [10, 40]]`.

5.2.3. Manejo de los datos de entrada

Una vez están hechas las mediciones de los sensores, estas se guardan con un valor análogo, sin embargo, para que tenga sentido al tratar de buscar esa combinación de entradas en la maquina de estados se debe convertir esos valores a la forma de tres valores posibles que son alto medio o bajo o en número 0,1 o 2 correspondientemente. Una vez los valores de los sensores estén normalizados, la función retorna un string con 5 valores concatenados para cada nivel correspondiendo en orden a Dia/noche, luminosidad, humedad del suelo, humedad relativa y temperatura, este string representa la entrada a la maquina de estados.

5.2.4. Selección de los estados

Para encontrar el estado al que debe ir la maquina según las entradas que tenga, se pasa como argumento esta entrada al diccionario `inputs` como se muestra en la figura 5-8 este estado se pasa al diccionario `outputs` para encontrar el arreglo de salidas correspondiente, este mismo procedimiento se hace para los tres niveles.

```
582     for i in range(3):
583         state[i] = inputs[int(input_val[i])]
584         output[i] = outputs[state[i]]
585
```

Figura 5-8: Selección del estado

5.2.5. Ejecución de las salidas

Teniendo el vector de salidas por nivel, se llama una función por cada actuador y se pasan estas salidas discriminando por cada función igualmente como se muestra en la figura 5-10 para agrupar los actuadores de un solo tipo.

```
578     #Salidas (Nivel 1, Nivel 2, Nivel 3)
579
580     output_ventilator([output[0][0],output[1][0],output[2][0]])
581     output_heater([output[0][1],output[1][1],output[2][1]])
582     output_valve([output[0][2],output[1][2],output[2][2]])
583     output_led(output[0][3])
584
```

Figura 5-9: Funciones que reciben el vector de salidas

Las funciones de los actuadores reciben los valores correspondientes de cada uno de los niveles en conjunto, así pues, para el ventilador se utiliza el diccionario de valores de referencia de salidas para pasar los valores leídos normalizados y tener de vuelta el valor con el que se ajusta el PWM. De igual forma pasa con la función del calefactor y de los LEDs.

```

505 def output_ventilator(out_vent):
506     out_ventilator_lvl1.duty(int(out_ref['ventilator'][out_vent[0]]*10.23))
507     out_ventilator_lvl2.duty(int(out_ref['ventilator'][out_vent[1]]*10.23))
508     out_ventilator_lvl3.duty(int(out_ref['ventilator'][out_vent[2]]*10.23))
509     print('Valores pwm ventilador nivel 1, nivel 2, nivel 3')
510     print(out_ventilator_lvl1.duty(),out_ventilator_lvl2.duty(),out_ventilator_lvl3.duty(),'\n')
511
512 def output_heater(out_heater):
513     out_heater_lvl1.duty(int(out_ref['heater'][out_heater[0]]*10.23))
514     out_heater_lvl2.duty(int(out_ref['heater'][out_heater[1]]*10.23))
515     out_heater_lvl3.duty(int(out_ref['heater'][out_heater[2]]*10.23))
516     print('Valores pwm calefactor nivel 1, nivel 2, nivel 3')
517     print(out_heater_lvl1.duty(),out_heater_lvl2.duty(),out_heater_lvl3.duty(),'\n')
518
519 def output_led(out_light):
520     out_led.duty(int(out_ref['light'][out_light]*10.23))
521     print('Valores pwm leds')
522     print(out_led.duty(),'\n')
523

```

Figura 5-10: Asignación de los valores de salida para los actuadores: Calefactor, Ventilador, LEDs

5.2.6. Publicación de los datos al servidor

En esta función lo primero que se hace es verificar si el microcontrolador está conectado a internet, si no es así intenta conectarse, luego de esto se arma el mensaje que se va a enviar, en este caso el servicio que ofrece Ubidots gratis solo tiene capacidad para diez variables por lo que para las pruebas se enviaron los datos de un solo nivel correspondientes a: temperatura, humedad relativa, humedad del suelo de cada uno de los tres recipientes, luminosidad, estado del calefactor, del ventilador, de las luces y de las válvulas. La figura 5-11 muestra la forma en que se realiza, luego de armado el mensaje se envía con la función `publish()` al tópico `esp32`:

```

350 def publish(moisture, hum_temp, lum, out,state):
351     checkwifi()
352     msg = b'{"hum_suelo_nivel3_rec1":%s,"hum_suelo_nivel3_rec2":%s,"hum_suelo_nivel3_rec3":%s,' % (int(moisture[0][0]),int(moisture[0][1]),int(moisture[0][2]))
353     msg = msg + b'"ventilator_lvl3":%s,"calefactor_lvl3":%s,"valve_lvl3":%s,"LED5":%s,' % (int(out[2][0]),int(out[2][1]),int(out[0][2]),int(out[2][3]))
354     msg = msg + b'"hum_rel_nivel3":%s,"temp_nivel3":%s,"luminescence":%s,"state":%s}' % (hum_temp[2][1],hum_temp[2][0],lum,state[2])
355     print('Mensaje 1 que se envia:')
356     print(msg, '\n')
357
358     client.publish("/v1.6/devices/esp32", msg)
359     time.sleep_ms(10000)
360

```

Figura 5-11: Publicación del mensaje en el servidor

5.3. Implementación de la plataforma web

5.3.1. Landing Page

La pagina web principal contiene la información general del producto así como de la empresa, como es meramente informativa está hecha en HTML y CSS.



Figura 5-12: Página web

5.3.2. Dashboard

El Dashboard visualiza toda la información de los sensores que recoge del servidor de Ubidots, la programación para esta sección se divide en dos, lo que se considera el "Frontend" donde se encuentra la interfaz de usuario y se ilustran los datos, por otro lado está el "Backend" que se encarga de la petición a la API y de la manipulación de los datos. En la figura 5-13 se puede observar el Dashboard, mientras que en la figura 5-14 muestra como se encuentran organizados los archivos.

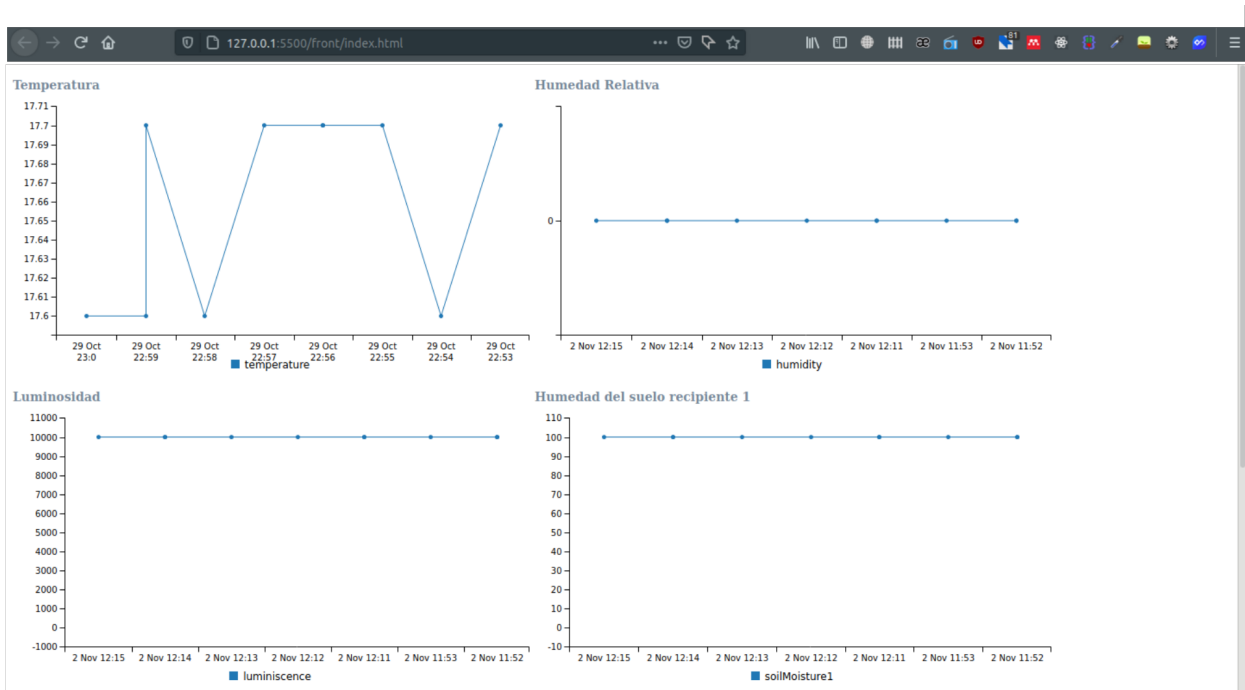


Figura 5-13: Dashboard

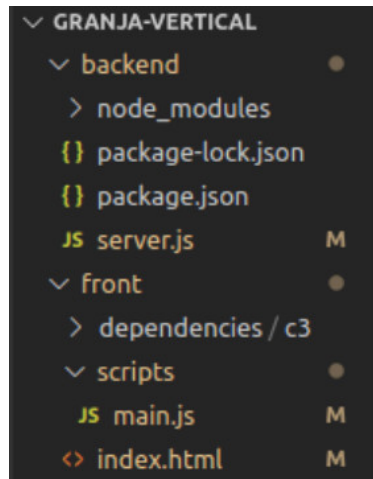


Figura 5-14: Estructura de los archivos del Dashboard

5.3.2.1. Backend

Para la capa del servidor se usó NodeJS con express, un entorno que ejecuta el lenguaje de programación Javascript fuera del navegador. Para la conexión con la API de Ubidots ofrece una librería dedicada para NodeJs, se crea el objeto cliente pasándole la API-KEY, la llave que autoriza a la petición el envío de los datos.

Como la petición puede tardar mas de lo que se demora el interprete en ejecutar la siguiente linea se debe utilizar el concepto de promesa ya que ejecuta el código que contiene y solo si se hace con éxito devuelve ya sea el dato o la función que se requiere, esta función se describe en la figura 5-15. Mientras la función que contiene esta promesa sea asíncrona se genera un bloqueo mientras se espera que se solucione la petición, así se puede solicitar cada una de las seis variables que se muestran en la figura 5-16.

```
76 function getValuesFromVariable(variableId) {
77   return new Promise(function (resolve, reject) { //Se crea la promesa
78     client.auth(function () { //Metodo del cliente Ubidots, se le pasa una
79       //función anonima con l o que se quiera obtener de la API
80       //Se declara una solicitud de la variable
81       const variable = this.getVariable(variableId);
82       //Este metodo de la variable devuelve los datos con el resolve
83       variable.getValues(function (err, data) {
84         if (err) {
85           reject(err);
86         }
87         resolve(data.results);
88       });
89     });
90   }).then((value) => {
91     //Solamente se cogen los ultimos 10 mdatos y se eliminan los elementos
92     //context y created_at que no son necesarios, ademas se convierte el
93     //timestamp a una fecha legible
94     let values = value.slice(0, 10);
95     values.map((x) => {
96       x.timestamp = timeConverter(x.timestamp);
97       delete x.context;
98       delete x.created_at;
99     });
100    return values;
101  });
102 }
```

Figura 5-15: Función que obtiene los valores la variable especificada


```
34 async function f1(res) {
35     temperatura = await getValuesFromVariable(temperaturaId);
36     humedadRelativa = await getValuesFromVariable(humedadRelativaId);
37     luminiscencia = await getValuesFromVariable(luminiscenciaId);
38     humedadSuelo1 = await getValuesFromVariable(humedadSuelo1Id);
39     humedadSuelo2 = await getValuesFromVariable(humedadSuelo2Id);
40     humedadSuelo3 = await getValuesFromVariable(humedadSuelo3Id);
41     res.send([
42         temperatura,
43         humedadRelativa,
44         luminiscencia,
45         humedadSuelo1,
46         humedadSuelo2,
47         humedadSuelo3,
48     ]);
49 }
```

Figura 5-16: Obtención y envío de los valores

5.3.2.2. Frontend

La petición de datos al servidor local se hizo con Ajax, un método útil para aplicaciones asíncronas como se muestra en la figura 5-17

```
1 var settings = {
2     url: "http://localhost:3000/",
3     method: "GET",
4     timeout: 0,
5 };
6
```

Figura 5-17: Petición GET al servidor local

Una vez se reciben los datos con éxito se toma los valores de cada variable y se separan en dos vector, el primero corresponde a la fecha de cada valor y el segundo a la magnitud.

```
20 //Función de ajax que ejecuta el metodo get para obtener los datos que se envian desde
21 //el backend
22 $.ajax(settings).done(function (response) {
23     //Se hace un mapeo por cada una de las variables para
24     //separar los vectores de tiempo y de valores
25     response[0].forEach(function setValues(item) {
26         timeTemp.push(item.timestamp);
27         temperature.push(item.value);
28     });
29     response[1].forEach(function setValues(item) {
30         timeHumR.push(item.timestamp);
31         humidity.push(item.value);
32     });
33     response[2].forEach(function setValues(item) {
34         timeLumi.push(item.timestamp);
35         luminiscence.push(item.value);
36     });
37     response[3].forEach(function setValues(item) {
```

Figura 5-18: Separación de los vectores de tiempo y magnitud

Para la representación gráfica de estos datos se utilizó la librería c3.js, una versión mas simple basada en la librería d3.js una de las más completas en el lenguaje Javascript. Se debe asignarle los datos a graficar, en este caso son los valores del tiempo y magnitud de la variable, pero antes se declara el eje x. Como se muestra en la figura 5-19

```
50 //Se crea el objeto que genera el gráfico en base a los datos
51 //de cada variable
52 var chart1 = c3.generate({
53     //Identificador de la etiqueta html en index.html
54     //Que va a contener el gráfico de esta variable
55     bindto: "#chart1",
56     data: {
57         //Se declara el eje x
58         x: "timeTemp",
59         //Se le asignan los valores de tiempo y magnitud
60         columns: [timeTemp, temperature],
61     },
62     axis: {
63         x: {
64             type: "category",
65         },
66     },
67 });
```

Figura 5-19: Objeto que genera el gráfico con los valores recibidos

El código tanto de la pagina web como del microcontrolador se encuentra alojado en :

<https://github.com/JuanTorresU/Granja-Vertical>

Para ver mas recursos visuales de la granja vertical, acudir a:

<https://bit.ly/3mKRfZi>

6 Protocolos de pruebas y discusión de resultados

6.1. Protocolo de pruebas

Se hicieron dos tipos de pruebas para garantizar el buen funcionamiento de la granja vertical: pruebas unitarias y pruebas de integración. Además existen dos tipos de variables en las que influye el dispositivo que son independientes y dependientes de otras variables. Para este caso las independientes corresponden a la luminosidad y la humedad del suelo, en cambio las dependientes son la temperatura y la humedad relativa. Por lo tanto las pruebas unitarias se hacen para cada una de las variables, mientras que las de integración son necesarias también para la humedad relativa y temperatura en conjunto.

6.1.1. Pruebas unitarias

6.1.1.1. Temperatura máxima

Para llevar la temperatura arriba del valor de referencia máximo se utilizó un secador de cabello, al momento de que la temperatura interna de la granja llegó a 38°C se desconectó la fuente de calor y se midió el tiempo de bajada hasta los 25°C tanto de forma natural como con los actuadores encendidos.

Descenso natural Se encendió la fuente de calor hasta llegar alrededor de los 39 °C lo que tardo 7 minutos, luego se desconectó y hasta llegar a los 25°C se demoró 14 minutos.

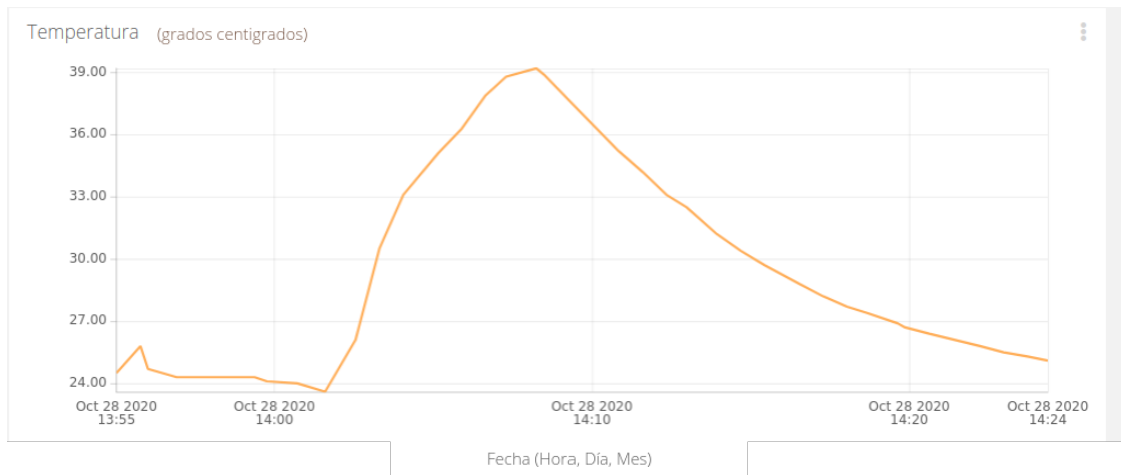


Figura 6-1: Temperatura máxima natural

En la gráfica se demuestra el estado del ventilador en ese tiempo.

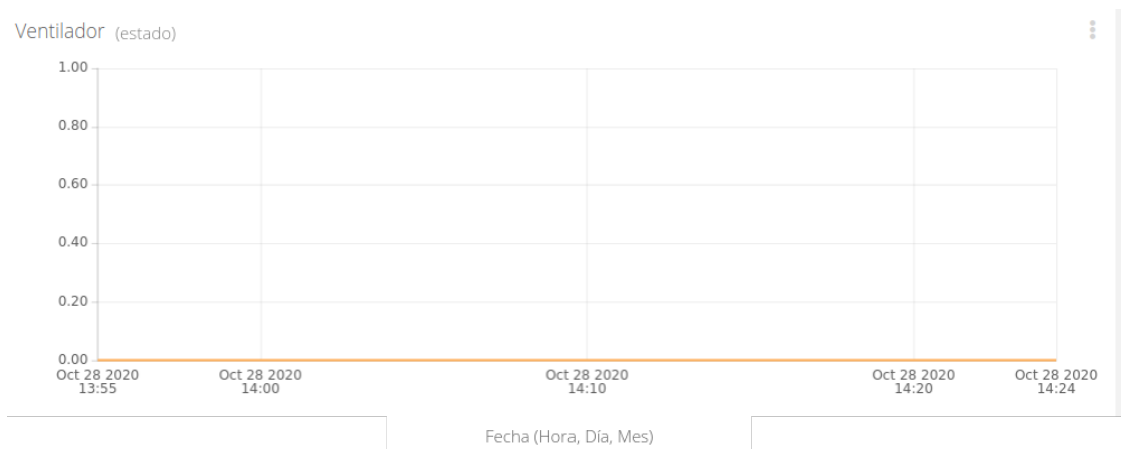


Figura 6-2: Temperatura máxima natural ventilador

Descenso controlado Esta vez desde que la temperatura sobrepasó los 25°C se encendió el ventilador, el tiempo de subida fue aproximadamente el mismo que sin ventilador, 7 minutos, sin embargo el tiempo que se demoró en enfriar fue de 10 minutos.

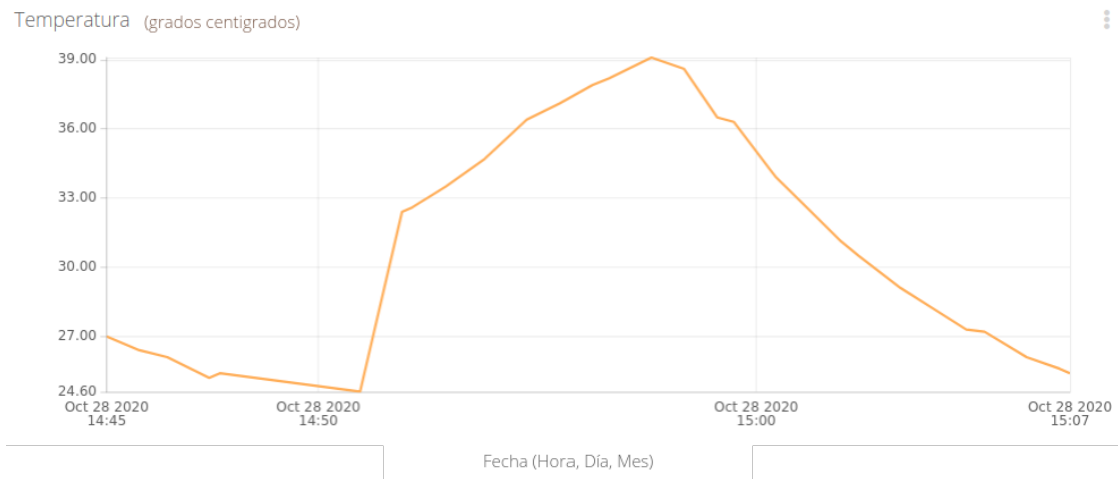


Figura 6-3: Temperatura máxima controlada

En la gráfica se puede observar el cambio de estado del ventilador.

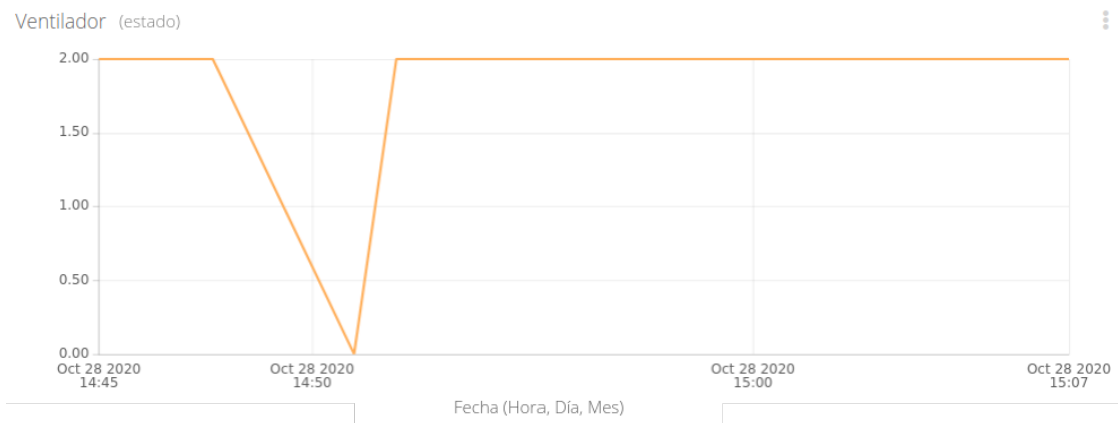


Figura 6-4: Temperatura máxima controlada ventilador

6.1.1.2. Temperatura mínima

Debido a que es difícil bajar la temperatura, se determinó el límite mínimo como 21°C cuando la temperatura ambiente estaba en 19°C, esto hizo que se cambiara a un estado donde el calefactor se encendió para tratar de lograr esta temperatura. **Ascenso controlado**

El calefactor se encendió y logró llegar hasta 20.7°C, lo que equivale a una diferencia de 1.8°C



Figura 6-5: Temperatura mínima controlada

Al momento de apagar el calefactor, la temperatura bajó mas allá de los 18.5°C

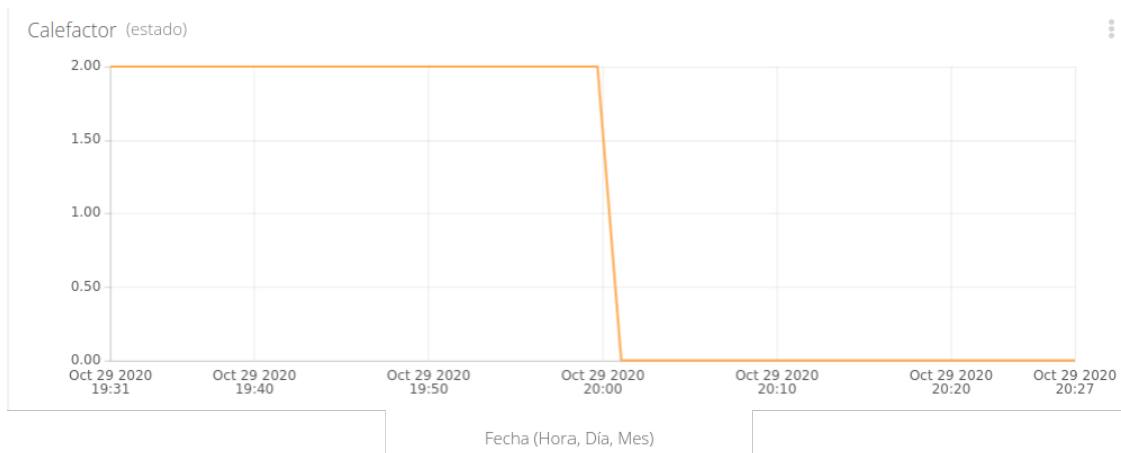


Figura 6-6: Temperatura mínima controlada ventilador

6.1.1.3. Humedad relativa máxima

Para elevar la humedad relativa se introdujo agua hirviendo de tal modo que llegara a un nivel máximo, se midió el tiempo en subir y el tiempo en bajar con el control activado y desactivado.

Descenso natural

En ausencia del ventilador el humidificador aumentó la humedad relativa hasta 89%, se quedó estable en ese valor hasta que se encendió el ventilador y enseguida empezó a bajar

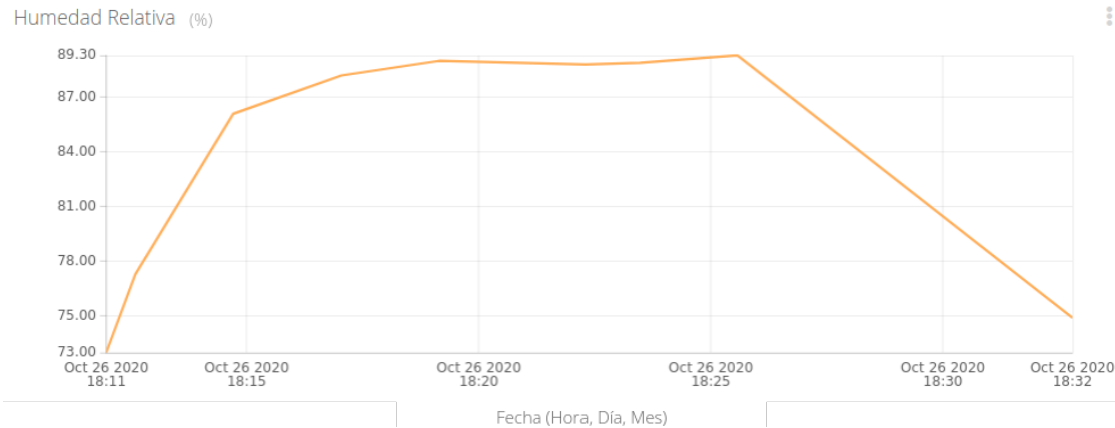


Figura 6-7: Humedad máxima natural

Demostración del momento en que se encendió el ventilador

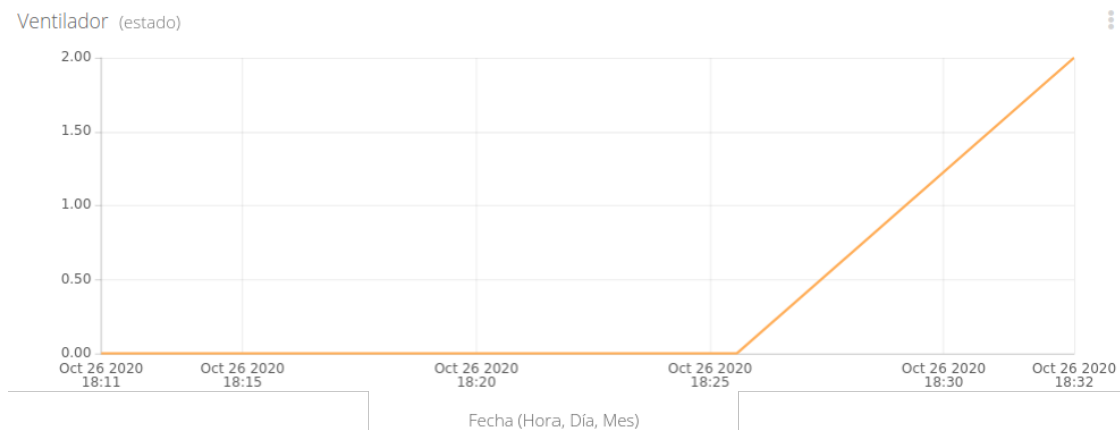


Figura 6-8: Humedad máxima natural ventilador

Descenso controlado

En la figura se muestra el comportamiento de la humedad relativa cuando el ventilador solo se enciende luego del 80 %, la humedad permanece oscilando alrededor de 75 % y 85 %.

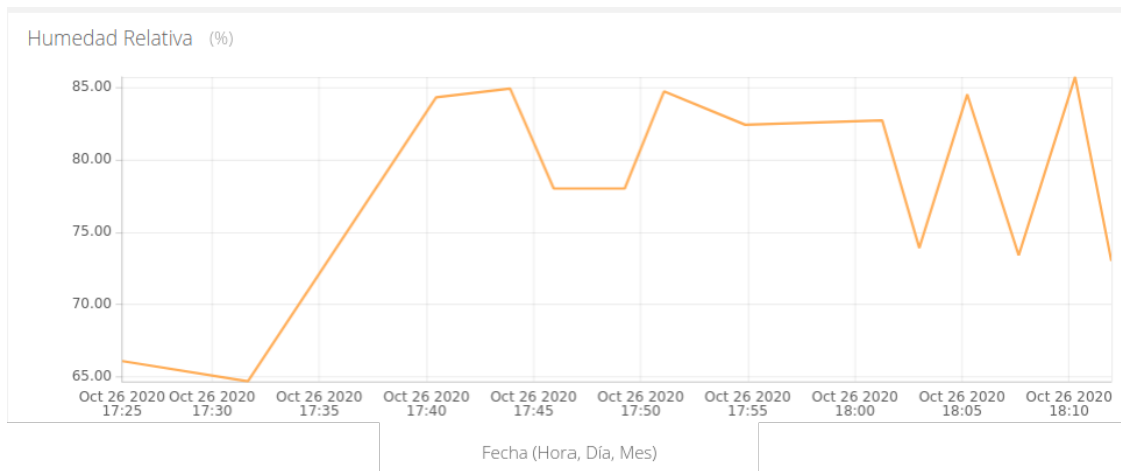


Figura 6-9: Humedad máxima controlada

En la figura se demuestra el cambio de estados del ventilador en el mismo tiempo.

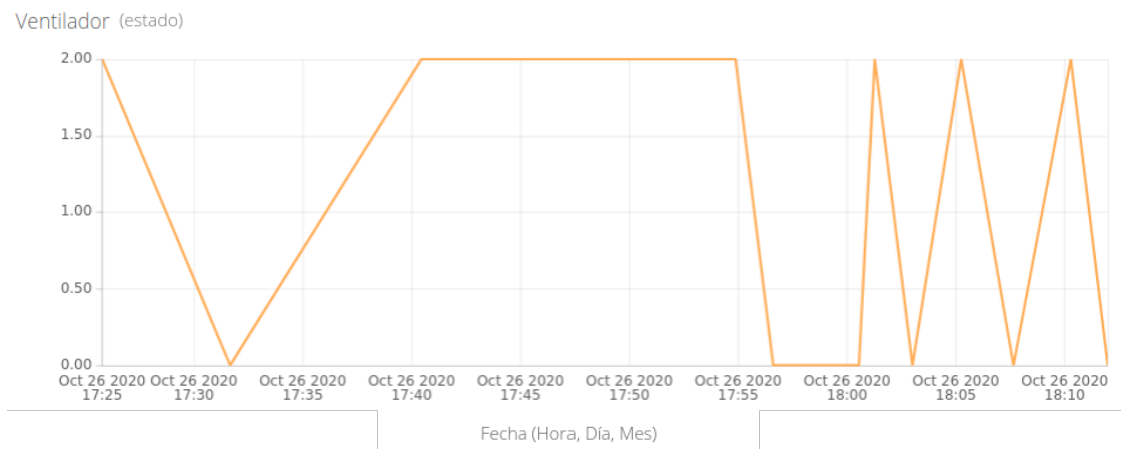


Figura 6-10: Humedad máxima controlada ventilador

6.1.1.4. Humedad relativa mínima

No se encontró forma para disminuir la humedad por debajo del mínimo aceptado por las plantas.

6.1.1.5. Humedad del suelo máximo

En este caso al momento de que la humedad llegó al valor adecuado o máximo, el riego se detuvo según lo indica la tabla de estados.

6.1.1.6. Humedad del suelo mínimo

Para esta prueba se dispuso de tierra muy seca por debajo de 40 %, el sistema en seguida encendió en riego hasta llegar a un nivel aceptable.

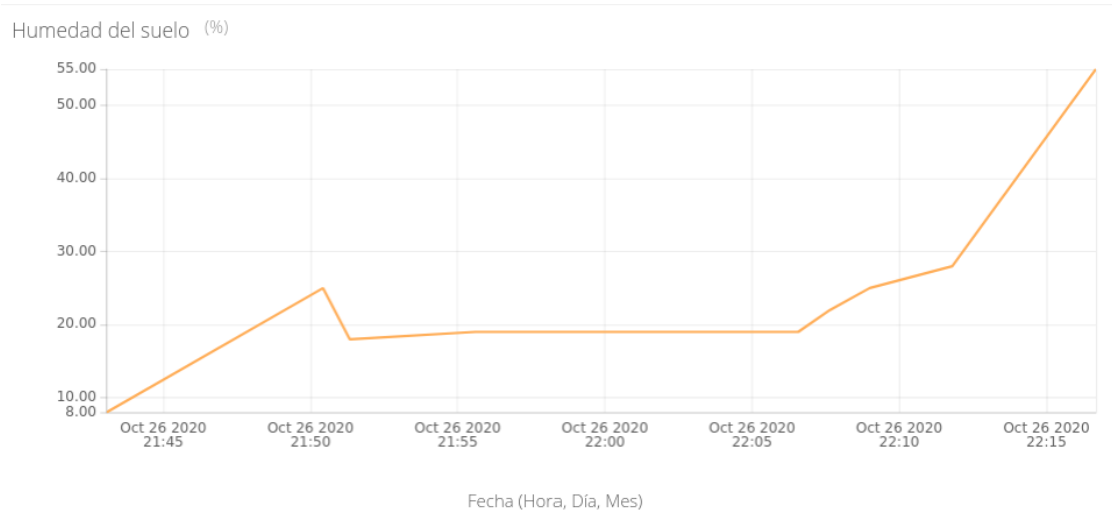


Figura 6-11: Humedad del suelo

En la figura el sistema de riego se queda encendido hasta que la humedad del suelo sobrepasa el valor mínimo de referencia.

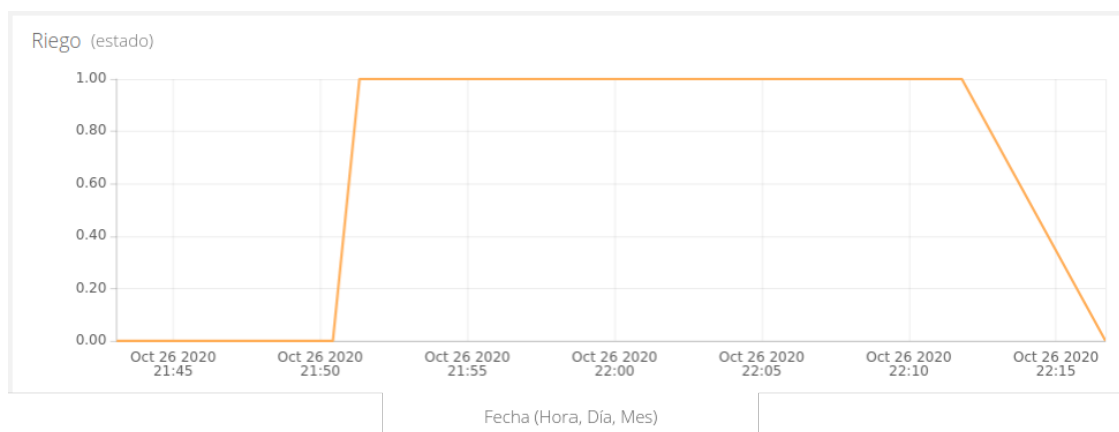


Figura 6-12: Riego

6.1.1.7. Luminosidad alta

En luminosidad alta o superior las luces deben estar apagadas

6.1.1.8. Luminosidad mínima

En luminosidad baja o mínima las luces deben encenderse con una intensidad relacionada a dos valores que son 6000 lumens y 4000 lumens. A las 10 de la noche las luces deben estar totalmente apagadas.

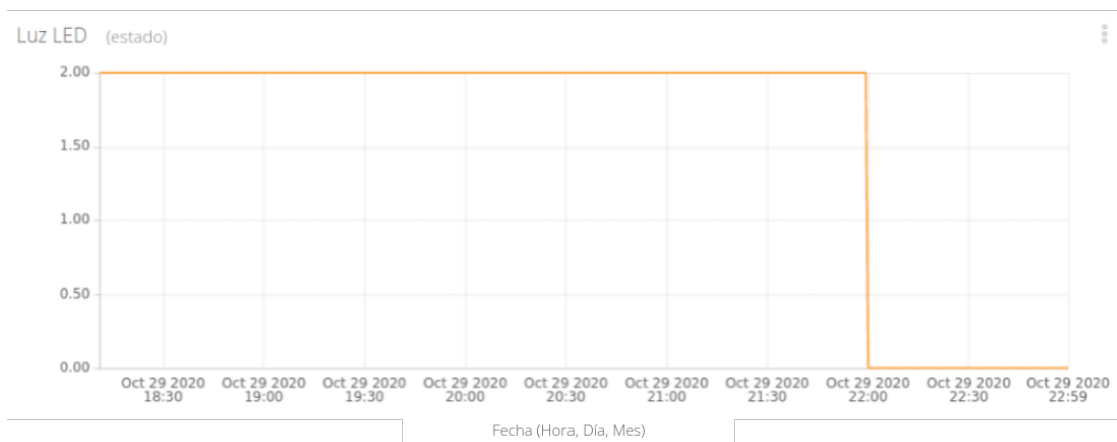


Figura 6-13: Estado de las luces en la noche

6.1.2. Pruebas de integración y conjunto

Se observa el comportamiento de la granja de acuerdo a varias variables a la vez, en este caso las dependientes como la humedad relativa y la temperatura, de igual forma se realizó las pruebas en conjunto de todas las variables en un estado natural.

6.1.2.1. Cambio de la humedad según la temperatura

Luego de que la temperatura se eleva y empieza a disminuir, la humedad relativa sube su valor, sin embargo con el ventilador encendido, esta humedad vuelve a bajar.

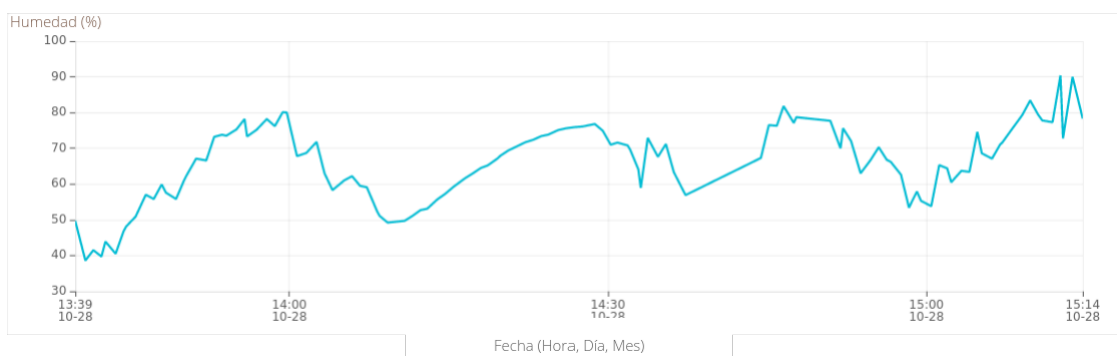


Figura 6-14: Valores de humedad

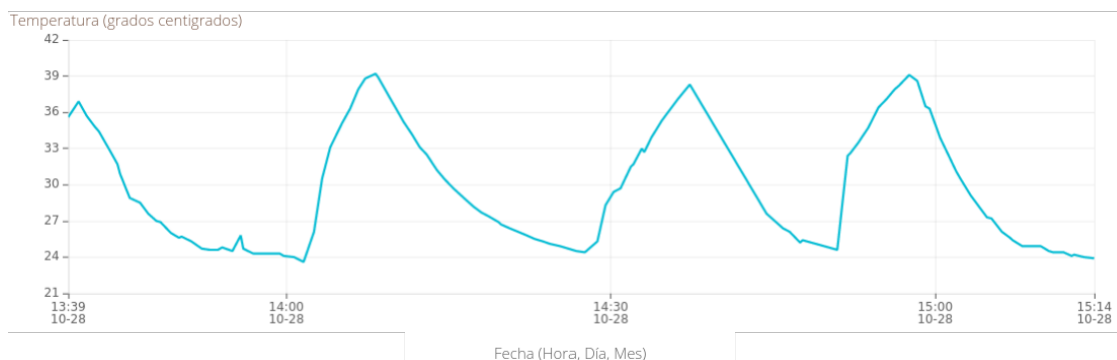


Figura 6-15: Valores de temperatura

6.2. Discusión de resultados

En el estado de disminuir la temperatura el sistema lo hizo 4 minutos antes que de forma natural, lo que significa un 30% más rápido, para la Sabana de Bogotá es poco probable que se superen los 25°C por lo que cuando ocurra, el sistema puede mantener frescas las plantas con un flujo constante de aire. Si se cambian las condiciones ambientales, como por ejemplo una ciudad a poca altura sobre el nivel del mar, es necesario implementar un sistema frigorífico.

El calefactor logró aumentar la temperatura 1.8°C con una temperatura ambiente de 19°C, en el lugar donde se tenía la granja la veces que se hizo la prueba, la temperatura no bajó de los 12°C que es la temperatura mínima de la plantas, por lo que no fue posible evidenciar el comportamiento de la granja en estas condiciones. Sin embargo, en el caso de que la temperatura baje de los 10°C se espera que no se logre superar la temperatura mínima y sería necesario un calefactor que pueda generar mas calor.

La prueba mas efectiva fue la de controlar la humedad relativa, puesto que se evidenció el control que logra hacer teniendo un humidificador activo dentro de la granja, manteniendo valores alrededor de 75% a 85%. Aumentar la humedad del suelo se logró con éxito en alrededor de 10 minutos hasta un valor encima del mínimo, se espera que nunca pase del valor máximo puesto que las válvulas solo se activan cuando esta humedad baje a valores inferiores del mínimo.

Controlar la luminosidad también se logró, a las 6 de la mañana se prendieron las luces LED y a las 10 de la noche se apagaron. Además también se encendieron en alto o medio según la cantidad de luz que incidió sobre en sensor de luz.

En cuanto las pruebas de temperatura y humedad relativa en conjunto se evidenció que

la humedad igual se controla, en varias ocasiones llegó a alrededor de 80 % y una sola vez alcanzó el 90 %.

Por ultimo la plataforma web recibió y represento gráficamente los datos almacenados en Ubidots por medio de su API.

7 Conclusiones y trabajo futuro

7.1. Conclusiones

- En el presente trabajo se creó un modelo de negocio para cultivos de hortalizas como la lechuga y el rábano en una granja vertical automatizada con monitoreo remoto en aplicativo web y control de temperatura, humedad, riego y luminosidad. Lo más importante fue el uso del lienzo Canvas siguiendo los lineamientos establecidos en cada una de sus fases lo que permitió mostrar la idea de una forma global, clara y concisa.
- Con el uso del microcontrolador ESP32 se adquirieron los valores sensados de las variables físicas y ambientales influyentes en el desarrollo del cultivo, junto con la máquina de estados que fue diseñada en compañía del ingeniero Jesús Ospina con doctorado en ciencias de la atmósfera de la Universidad Autónoma de México y validada realizando las pruebas correspondiente para el funcionamiento, adicional se realizó el control de las variables en relación con las entradas obteniendo la salida de los actuadores, de igual forma el sistema de riego se realizó con éxito permitiendo que las plantas obtuvieran la humedad del suelo necesaria en la tierra, de acuerdo a los parámetros suministrados de los requerimientos edafoclimáticos de cada planta.
- Para llevar a cabo la construcción del prototipo de la granja vertical se modeló en un software de diseño CAD obteniendo una visión global de la estructura y todos sus componentes, en cuanto a la selección de materiales y el ensamble de los mismos se realizó de tal forma que permitiera crear un ambiente cerrado para controlar las variables ambientales y físicas requeridas en los cultivos, mediante un sistema de automatización.
- Finalmente, para el sensor de luz la exactitud se verificó con la aplicación móvil Lux Light Meter teniendo en cuenta el sensor de luz ambiental que emplea el celular, mostrando los valores en lux obteniendo resultados similares, mientras que la confiabilidad de los sensores empleados para medir la temperatura y humedad se da gracias a la calibración realizada en laboratorio a manos del fabricante, lo que a su vez brinda certeza en cuanto a la precisión en la lectura de sus datos, por último para el sensor de humedad del suelo se realizó su calibración de acuerdo con los valores que suministra el datasheet.
- La validación del sistema se realizó mediante pruebas simulando diferentes ambientes con el objetivo de obtener la salida deseada de acuerdo a la máquina de estados y

realizar el control ajustando el ambiente a las condiciones edafoclimáticas del cultivo; el análisis de los resultados obtenidos según los actuadores fueron los más óptimos para el cultivo de la granja vertical, se evidenciaron algunos aspectos a mejorar con el sistema de calefacción debido a que presenta un límite de 1.8°C para aumentar la temperatura.

- Se implementó el aplicativo web, con una página principal que ofrece la información del dispositivo y el modelo de negocio y otra sección donde se puede visualizar los últimos datos que se reciben del servidor de Ubidots, que a su vez recibe los datos directamente del microcontrolador. Con el uso de NodeJS del lado del servidor, express para enviar los datos a la página y Ajax para recibirlos. Para la representación gráfica se utilizó la librería c3.js, mostrando los últimos diez datos enviado por el microcontrolador

7.2. Trabajo futuro

Como continuación de este trabajo y modelo de negocio se pueden abarcar varios aspectos que pueden mejorar tanto el dispositivo y la página web como el modelo de negocio.

7.2.1. Dispositivo

Aunque se pudo controlar las variables ambientales indicada, aún es posible mejorar implementando control difuso y siguiendo más allá una futura línea de investigación con inteligencia artificial. El calefactor se podría mejorar escogiendo una resistencia térmica más grande o de una forma diferente.

Los actuadores se diseñaron específicamente para la Sabana de Bogotá, si se requiere una granja vertical para otros climas y alturas sobre el nivel del mar se debería escoger o diseñar otros actuadores.

7.2.2. Programación del microcontrolador

El microcontrolador se programó con Micropython, aunque es versátil y rápido para prototipo, presenta un defecto de bajo rendimiento, como primera medida se podría optimizar el código realizado. Como segunda medida se podría programar directamente en C,

7.2.3. Página web

La página web es funcional, sin embargo se deberá implementar la autenticación de usuario y mejorar la interfaz de usuario del dashboard.

7.2.4. Modelo de negocio

Para reducir los costos de los elementos que conforman la granja vertical se podría buscar proveedores que los ofrezcan mas económicos en comercios nacionales o internacionales.

Para abarcar la mayor cantidad de clientes es necesario deducir los costos y los valores de un servicio personalizado que no requiera de la venta completa del dispositivo si no de partes individuales como el riego, como las luces o el ambiente controlado.

8 Anexos

8.1. Anexo A: Encuesta modelo de Negocio

1/11/2020 Encuesta sobre Agricultura Urbana



Encuesta sobre Agricultura Urbana

Esta encuesta se ha diseñado para conocer la viabilidad de nuestra idea de modelo de negocio, enfocada en la agricultura urbana.

De antemano agradecemos el tiempo que está dedicando a responder la encuesta. Se garantiza anonimato y confidencialidad.

***Obligatorio**

Dirección de correo electrónico *

Tu dirección de correo electrónico

Edad *

Hasta 18 años

19 a 25 años

26 a 35 años

35 a 45 años

De 45 a 55 años

Mas de 56 años

Estrato socioeconomico *

1 2 3 4 5 6

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfdUEof7idOypZW6549OCjZMcFVJQW_A74Vm6XSjTw4efDlqg/viewform

1/2

Figura 8-1: Preguntas de la encuesta para el diseño del modelo de negocio sección 1

1/11/2020 Encuesta sobre Agricultura Urbana

Ciudad *

Bogotá

Otro: _____

Localidad (Si vive en Bogotá)

Tu respuesta _____

Ocupación

Estudiante

Empleado

Independiente

Otro: _____

Página 1 de 3

Siguiente

Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google.

Este formulario se creó en Universidad Antonio Nariño. [Notificar uso inadecuado](#)

Google Formularios

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfdUEof7idOypZW6549OCjZMcFVJQW_A74Vm6XSjTw4efDlqg/viewform 2/2

Figura 8-2: Preguntas de la encuesta para el diseño del modelo de negocio sección 1

1/11/2020

Encuesta sobre Agricultura Urbana



Encuesta sobre Agricultura Urbana

*Obligatorio

Conocimientos e interés sobre la agricultura urbana

La agricultura urbana, es la práctica de tener cultivos en las ciudades y sus periferias. Aproximadamente en Bogotá 8.500 hogares producen alimentos para el consumo doméstico, algunos de sus múltiples beneficios son:

- Proveer alimentos frescos y orgánicos.
- Requiere de un pequeño espacio para implementarla.
- Puede garantizar el abastecimiento básico del hogar.
- Representa un ahorro en la economía familiar.

¿Ha tenido alguna experiencia en la agricultura? *

- Sí
- No

¿Ha practicado o tiene interés en la agricultura urbana? *

- Sí
- No

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfdUEof7idOypZW6549OCjZMcFVJQW_A74Vm6XSjTw4efDIqg/formResponse

1/3

Figura 8-3: Preguntas de la encuesta para el diseño del modelo de negocio sección 2

1/11/2020 Encuesta sobre Agricultura Urbana

¿Cuál o cuáles cree que son los mayores problemas que enfrenta la agricultura urbana? *

- Poca o nula automatización o monitoreo solo los cultivos.
- Falta de espacio.
- Poca luz.
- Falta de tiempo.
- Conflicto con las mascotas.
- Desconocimiento.

En caso de requerir asesoría sobre agricultura. ¿En que temas le gustaría?. *

- Adecuación del suelo.
- Fertilización.
- Siembra y transplante.
- Manejo del cultivo.
- Cosecha y postcosecha.
- Uso de plaguicidas.
- Ninguna.
- Otro: _____

Si tuviera la oportunidad de practicar la agricultura urbana ¿Que alimentos le gustaría producir?.*

Tu respuesta

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfdUEof7idOypZW6549OCjZMcFVJQW_A74Vm6XSjTw4efDIqg/formResponse 2/3

Figura 8-4: Preguntas de la encuesta para el diseño del modelo de negocio sección 2

1/11/2020

Encuesta sobre Agricultura Urbana



Encuesta sobre Agricultura Urbana

*Obligatorio

Agricultura vertical

Uno de los mayores problemas de la agricultura urbana es la falta de espacio para practicarla, las granjas verticales intentan resolverlo optimizando el espacio haciendo cultivos tanto de forma horizontal como vertical o en capas.

Por otro lado un invernadero se enfoca en controlar las variables ambientales para que los altos valores de estas no afecten las plantas. Los beneficios de estas dos tecnologías son varios:

- Reduce el espacio de producción.
- Ahorra agua, hasta en un 95%.
- Produce todo el año, independientemente del clima.
- Logra una mayor producción en menos tiempo.
- Reduce el gasto en transporte.
- Reduce las emisiones de CO2.
- Acerca la agricultura a las ciudades.

Granja vertical




https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfdUEof7idOypZW6549OCjZMcFVJQW_A74Vm6XSjTw4efDIqg/formResponse

1/3

Figura 8-5: Preguntas de la encuesta para el diseño del modelo de negocio sección 3

1/11/2020 Encuesta sobre Agricultura Urbana




¿Que características le gustaría que tuviera esta granja vertical?

- Monitorear la temperatura la humedad y el riego desde el teléfono o el computador.
- Poder controlar la temperatura o la humedad del cultivo.
- Que tengan un tamaño pequeño para poder ubicarla en cualquier sitio.
- Que no consuma mucha energía.
- Que tenga iluminación artificial para los lugares que no cuentan con mucha luz solar.
- Que sea cerrada y esté protegida de niños o mascotas.

Si tuviera la oportunidad de implementar una granja vertical ¿cuanto estaría dispuesto a pagar por ella? *

- \$0 - \$200.000
- \$200.000 - \$500.000
- \$500.000 - \$1.000.000
- \$1.000.000 - \$2.000.000
- \$2.000.000 - \$5.000.000
- Mas de \$5.000.000

¿Opina que la agricultura vertical podría ser el futuro de la agricultura urbana y una nueva costumbre para un bienestar alimenticio y económico de las familias cotidianas? ¿Por qué?

Tu respuesta 

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfdUEof7idOypZW6549OCjZMcFVJQW_A74Vm6XSjTw4efDlqg/formResponse 2/3

Figura 8-6: Preguntas de la encuesta para el diseño del modelo de negocio sección 3

1/11/2020 Encuesta sobre Agricultura Urbana

Agradecemos que haya respondido a las preguntas.
Nuestra misión es acercar los hogares colombianos al campo y concebir una nueva vía para la seguridad alimentaria.



Página 3 de 3

[Atrás](#) [Enviar](#)

Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google.

Este formulario se creó en Universidad Antonio Nariño. [Notificar uso inadecuado](#)

Google Formularios

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfdUEof7idOypZW6549OCjZMcFVJQW_A74Vm6XSjTw4efDIqg/formResponse 3/3

Figura 8-7: Preguntas de la encuesta para el diseño del modelo de negocio sección 3

8.2. Anexo B: Resultados de Encuesta modelo de negocio

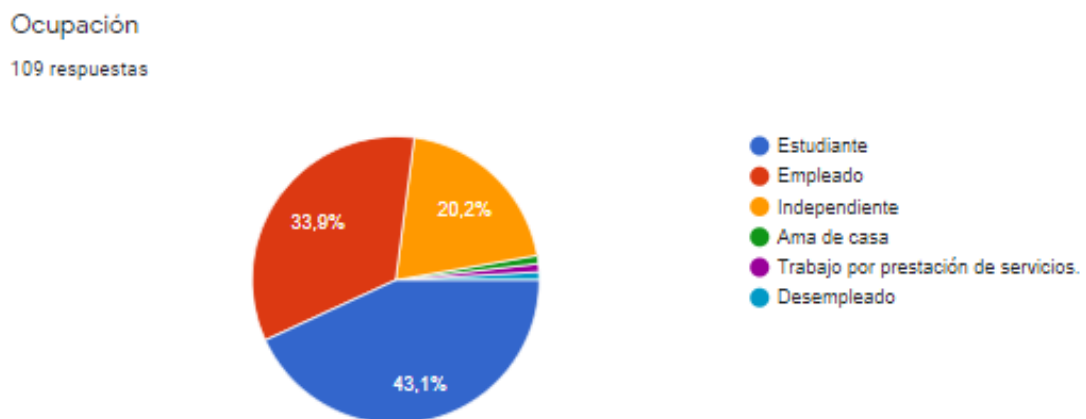
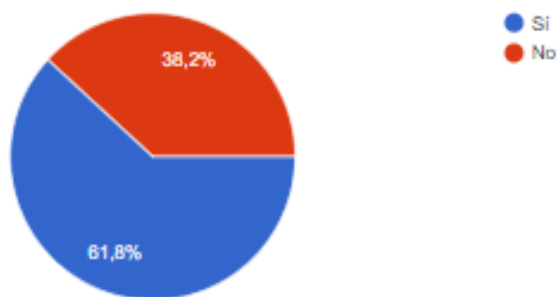


Figura 8-8: Ocupación del cliente

Conocimientos e interés sobre la agricultura urbana

¿Ha tenido alguna experiencia en la agricultura?

110 respuestas



¿Ha practicado o tiene interés en la agricultura urbana?

110 respuestas

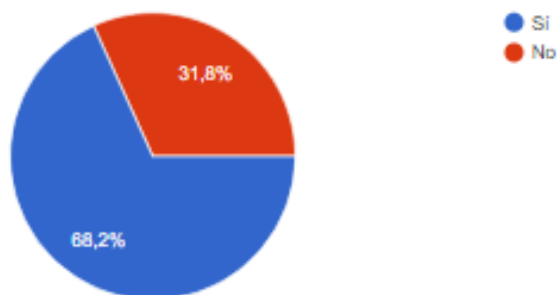
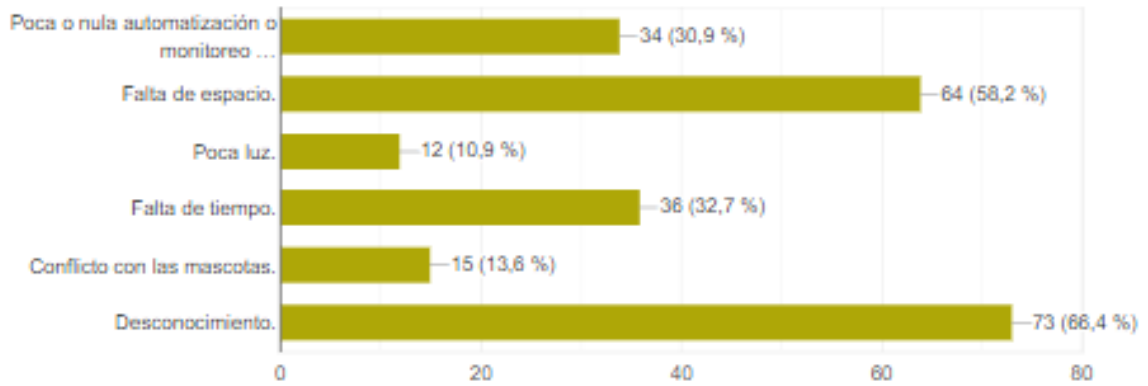


Figura 8-9: Respuesta enfocadas en Agricultura Urbana parte 1

¿Cuál o cuáles cree que son los mayores problemas que enfrenta la agricultura urbana?

110 respuestas



En caso de requerir asesoría sobre agricultura. ¿En que temas le gustaría?.

110 respuestas

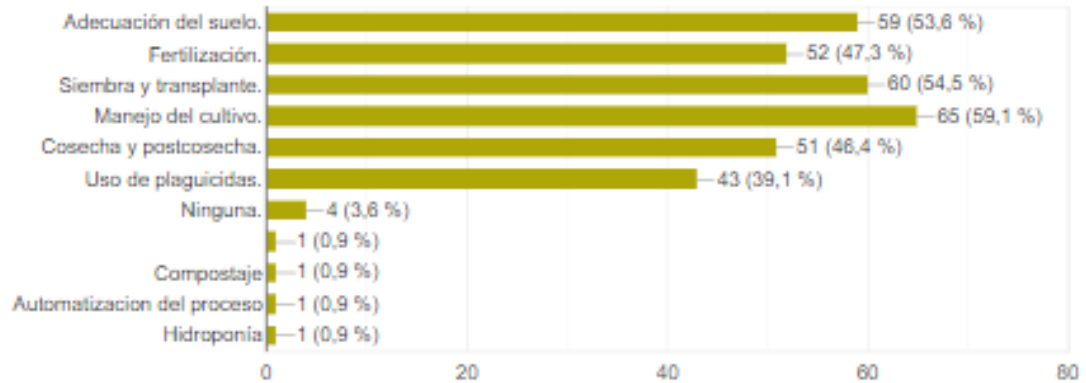
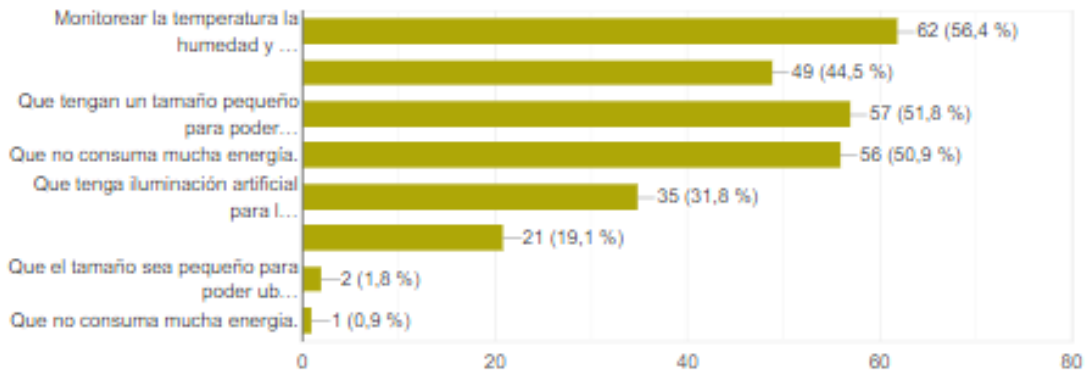


Figura 8-10: Respuesta enfocadas en Agricultura Urbana parte 2

Agricultura vertical

¿Que características le gustaría que tuviera esta granja vertical?

110 respuestas



Si tuviera la oportunidad de implementar una granja vertical ¿cuanto estaria dispuesto a pagar por ella?

110 respuestas

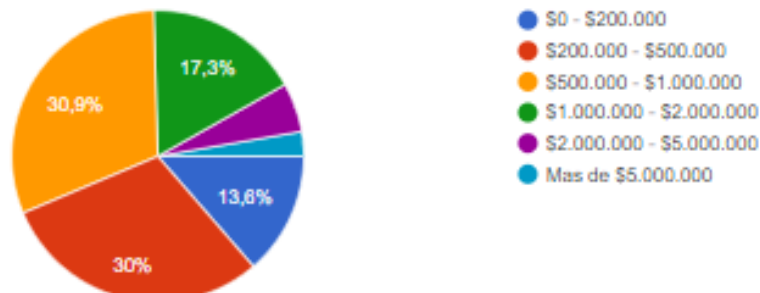


Figura 8-11: Respuesta enfocadas en Agricultura Vertical

8.3. Anexo C: Modelo de negocio

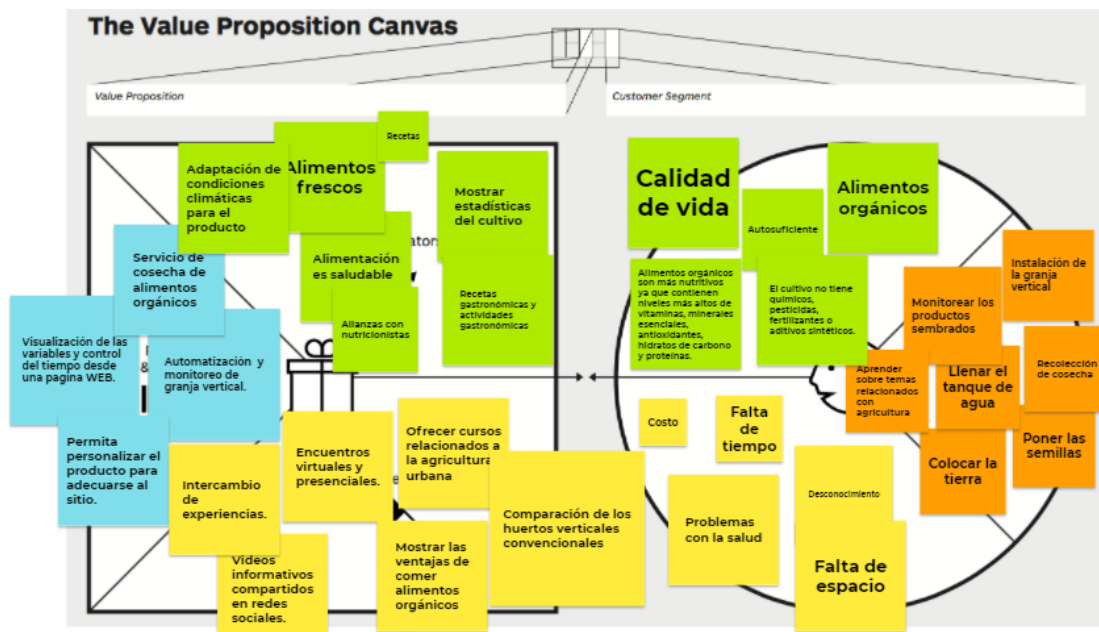


Figura 8-12: Diseño propuesta de valor

8.4. Anexo D: Esquemático del circuito Y Diseño PCB

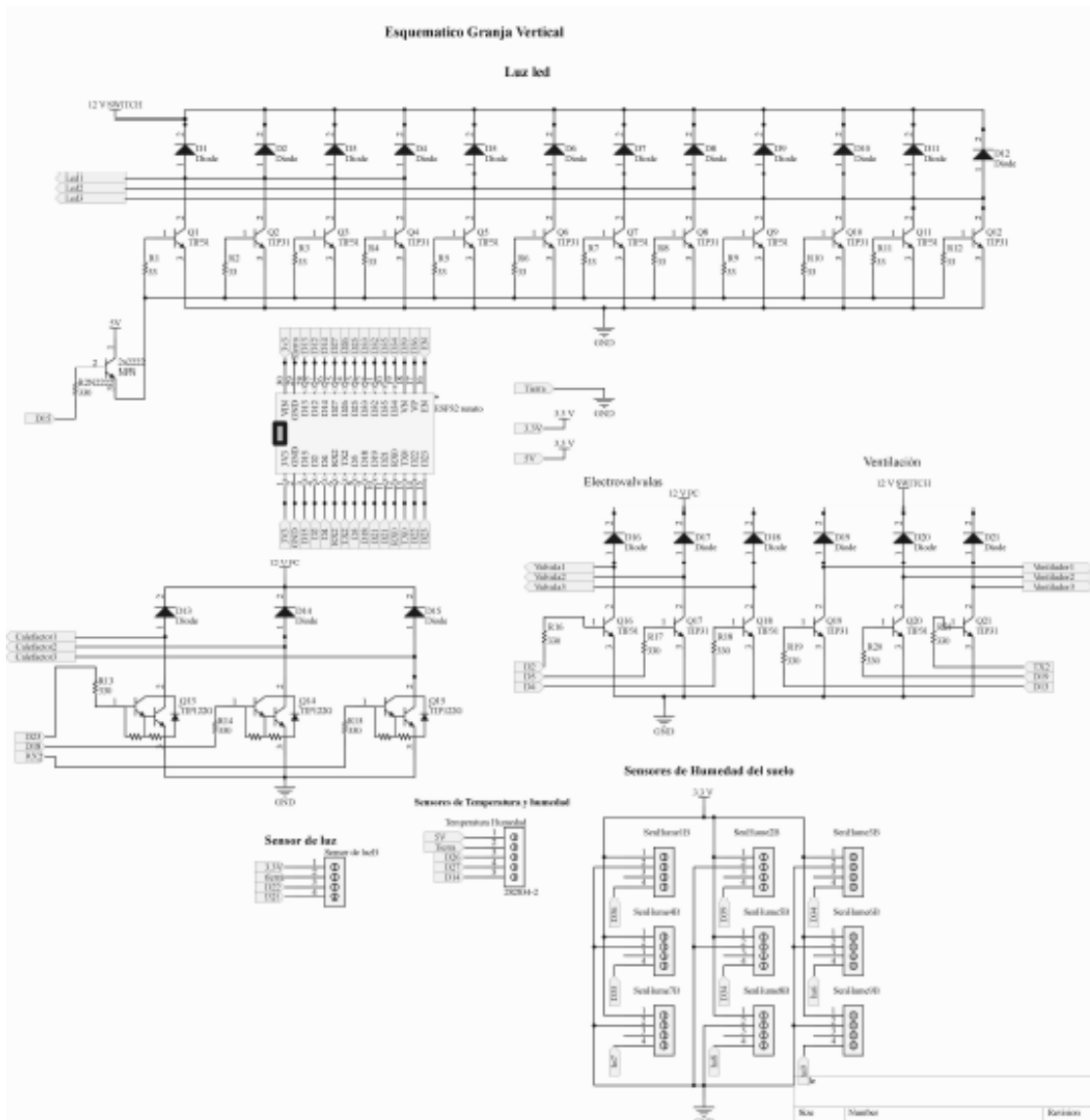


Figura 8-13: Diseño del circuito Granja Vertical

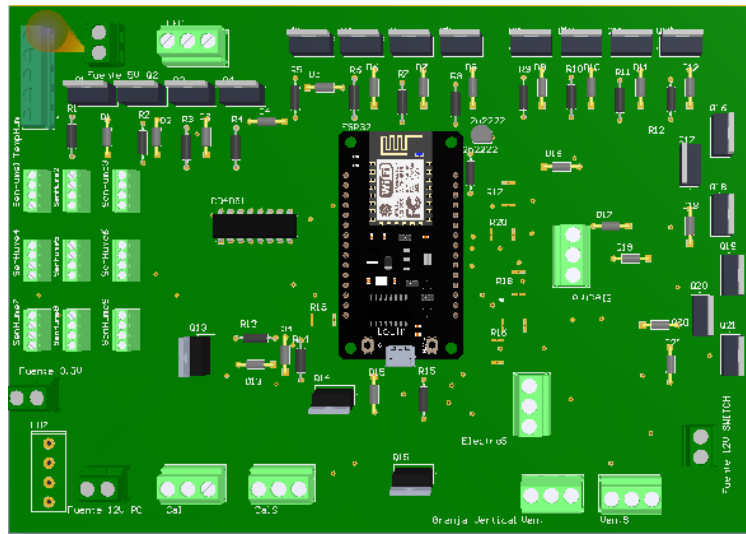


Figura 8-14: Diseño PCB 3D

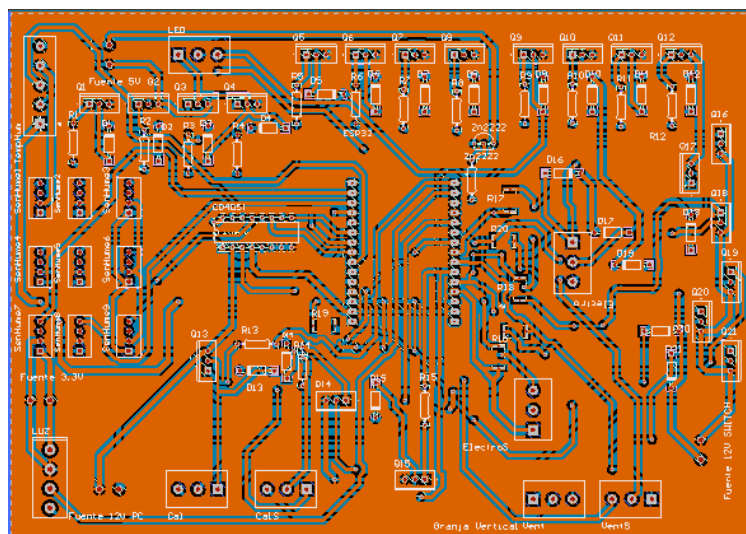


Figura 8-15: Diseño PCB TWO LAYERS

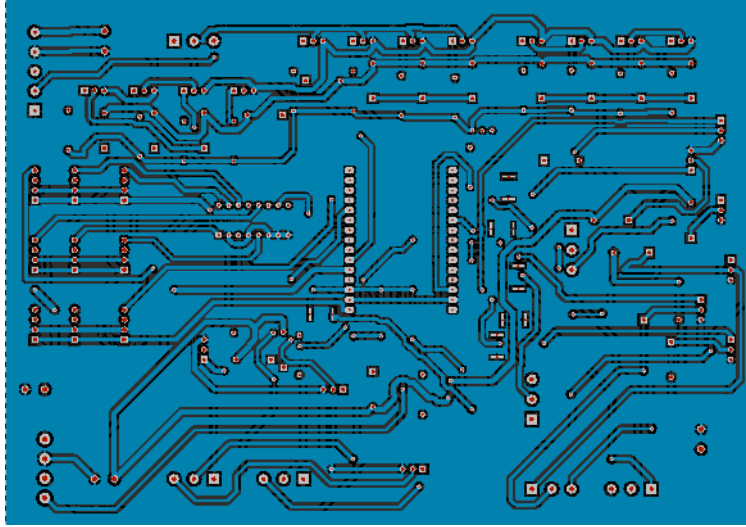


Figura 8-16: Diseño PCB view layer

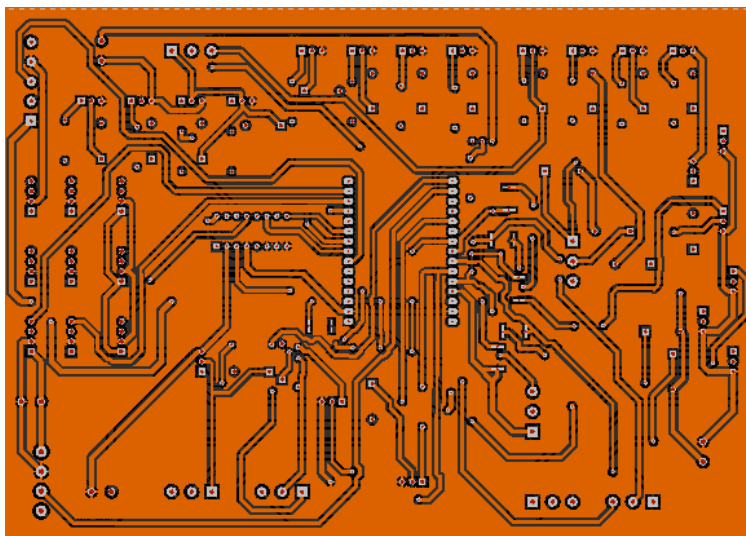


Figura 8-17: Diseño PCB view top

8.5. Anexo E: Datos fotométricos

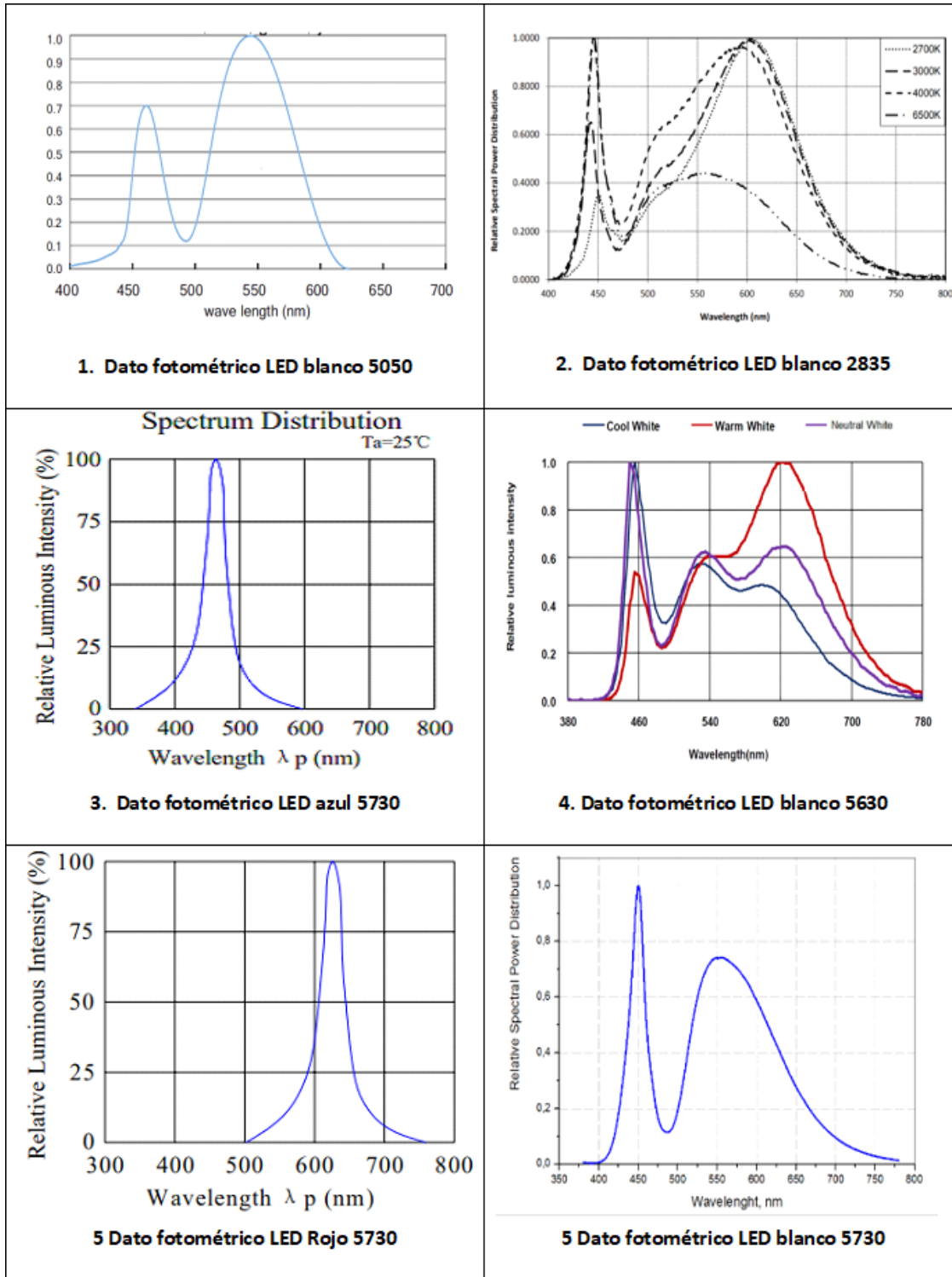


Figura 8-18: Datos fotométricos de LED. Tomado de [5, 6, 7, 8, 9]

8.6. Anexo F: Gastos Granja vertical

Cantidad	Material	Costo individual	Total
1	Estanteria de metal 200x100x40cm 5n	\$189.800	\$189.800
1	Tubería agua	\$30.000	\$30.000
1	Fuente 12V 30 A	\$35.000	\$35.000
12	Luces led	\$6.500	\$78.000
9	Sensor humedad suelo	\$4.500	\$40.500
3	Sensor de temperatura y humedad relativa	\$6.000	\$18.000
1	sensor de luz	\$8.000	\$8.000
6	Ventilador	\$5.000	\$30.000
1	Esp32	\$25.000	\$25.000
2	Pintura laca gris	\$7.500	\$15.000
3	Valvula	\$24.000	\$72.000
18	Transistores	\$1.000	\$18.000
1	Sistema de riego	\$25.600	\$25.600
18	Diodos	\$100	\$1.800
30	Resistencias	\$50	\$1.500
30	Alambre(metros)	\$250	\$7.500
20	Cable calibre 6 (metros)	\$500	\$10.000
3	Termoencogible	\$500	\$1.500
9	Recipientes	\$9.400	\$84.600
1	Multiplexor	\$2.000	\$2.000
1	Estaño	\$5.000	\$5.000
2	Canaleta grande con division	\$7.000	\$14.000
4	Canaleta mediana con division	\$4.500	\$18.000
2	Canaleta pequeña	\$3.000	\$6.000
3	Disipadores	\$3.000	\$9.000
3	Resistencia calefactora	\$21.700	\$65.100
1	Transistor 2N2222	\$300	\$300
1	Manguera espiral	\$5.000	\$5.000
1	Servidor ubidots	\$8.000	\$8.000
5	Barra de silicona	\$400	\$2.000
1	triplex	\$5.000	\$5.000
48 horas laborales	Desarrollo de dispositivo	9375	\$450.000
1	Distribucion	40000	\$40.000
Total			\$1.321.200

8.7. Anexo G: Maquina de estados

Dia/noche	Luminosidad	Humedad Suelo	Humedad Rel	Temperatura	Ventilador	Caletfactor	Riego	Luces
Dia	Lu(adec)	HS(Alta)	HR(alta)	T(alta)	2	0	0	0
Dia	Lu(adec)	HS(Alta)	HR(alta)	T(adec)	2	0	0	0
Dia	Lu(adec)	HS(Alta)	HR(alta)	T(baja)	1	2	0	0
Dia	Lu(adec)	HS(Alta)	HR(adec)	T(alta)	2	0	0	0
Dia	Lu(adec)	HS(Alta)	HR(adec)	T(adec)	0	0	0	0
Dia	Lu(adec)	HS(Alta)	HR(adec)	T(baja)	1	0	0	0
Dia	Lu(adec)	HS(Alta)	HR(baja)	T(alta)	0	0	0	0
Dia	Lu(adec)	HS(Alta)	HR(baja)	T(adec)	0	0	0	0
Dia	Lu(adec)	HS(Alta)	HR(baja)	T(baja)	0	2	0	0
Dia	Lu(adec)	HS(Adec)	HR(alta)	T(alta)	2	0	0	0
Dia	Lu(adec)	HS(Adec)	HR(alta)	T(adec)	2	0	0	0
Dia	Lu(adec)	HS(Adec)	HR(alta)	T(baja)	1	2	0	0
Dia	Lu(adec)	HS(Adec)	HR(adec)	T(alta)	2	0	0	0
Dia	Lu(adec)	HS(Adec)	HR(adec)	T(adec)	0	0	0	0
Dia	Lu(adec)	HS(Adec)	HR(adec)	T(baja)	0	1	0	0
Dia	Lu(adec)	HS(Adec)	HR(baja)	T(alta)	0	0	1	0
Dia	Lu(adec)	HS(Adec)	HR(baja)	T(adec)	0	0	1	0
Dia	Lu(adec)	HS(Adec)	HR(baja)	T(baja)	0	2	1	0
Dia	Lu(adec)	HS(Baja)	HR(alta)	T(alta)	2	0	1	0
Dia	Lu(adec)	HS(Baja)	HR(alta)	T(adec)	2	0	1	0
Dia	Lu(adec)	HS(Baja)	HR(alta)	T(baja)	0	2	1	0
Dia	Lu(adec)	HS(Baja)	HR(adec)	T(alta)	2	0	1	0
Dia	Lu(adec)	HS(Baja)	HR(adec)	T(adec)	0	0	1	0
Dia	Lu(adec)	HS(Baja)	HR(adec)	T(baja)	0	1	1	0
Dia	Lu(adec)	HS(Baja)	HR(baja)	T(alta)	0	0	2	0
Dia	Lu(adec)	HS(Baja)	HR(baja)	T(adec)	0	0	2	0
Dia	Lu(adec)	HS(Baja)	HR(baja)	T(baja)	0	2	2	0
Dia	Lu(media)	HS(Alta)	HR(alta)	T(alta)	2	0	0	1
Dia	Lu(media)	HS(Alta)	HR(alta)	T(adec)	2	0	0	1
Dia	Lu(media)	HS(Alta)	HR(alta)	T(baja)	1	2	0	1
Dia	Lu(media)	HS(Alta)	HR(adec)	T(alta)	2	0	0	1
Dia	Lu(media)	HS(Alta)	HR(adec)	T(adec)	0	0	0	1
Dia	Lu(media)	HS(Alta)	HR(adec)	T(baja)	1	0	0	1
Dia	Lu(media)	HS(Alta)	HR(baja)	T(alta)	0	0	0	1
Dia	Lu(media)	HS(Alta)	HR(baja)	T(adec)	0	0	0	1
Dia	Lu(media)	HS(Alta)	HR(baja)	T(baja)	0	2	0	1
Dia	Lu(media)	HS(Adec)	HR(alta)	T(alta)	2	0	0	1
Dia	Lu(media)	HS(Adec)	HR(alta)	T(adec)	2	0	0	1
Dia	Lu(media)	HS(Adec)	HR(alta)	T(baja)	1	2	0	1
Dia	Lu(media)	HS(Adec)	HR(adec)	T(alta)	2	0	0	1
Dia	Lu(media)	HS(Adec)	HR(adec)	T(adec)	0	0	0	1
Dia	Lu(media)	HS(Adec)	HR(adec)	T(baja)	0	1	0	1
Dia	Lu(media)	HS(Adec)	HR(baja)	T(alta)	0	0	1	1
Dia	Lu(media)	HS(Adec)	HR(baja)	T(adec)	0	0	1	1
Dia	Lu(media)	HS(Adec)	HR(baja)	T(baja)	0	2	1	1
Dia	Lu(media)	HS(Baja)	HR(alta)	T(alta)	2	0	1	1
Dia	Lu(media)	HS(Baja)	HR(alta)	T(adec)	2	0	1	1
Dia	Lu(media)	HS(Baja)	HR(alta)	T(baja)	0	2	1	1
Dia	Lu(media)	HS(Baja)	HR(adec)	T(alta)	2	0	1	1
Dia	Lu(media)	HS(Baja)	HR(adec)	T(adec)	0	0	1	1
Dia	Lu(media)	HS(Baja)	HR(adec)	T(baja)	0	1	1	1
Dia	Lu(media)	HS(Baja)	HR(baja)	T(alta)	0	0	2	1
Dia	Lu(media)	HS(Baja)	HR(baja)	T(adec)	0	0	2	1
Dia	Lu(media)	HS(Baja)	HR(baja)	T(baja)	0	0	2	1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
15	Dia	Lu(media)	HS(Baja)	HR(baja)	T(baja)	0	2	2	1	0221
16	Dia	Lu(baja)	HS(Alta)	HR(alta)	T(alta)	2	0	0	2	2002
17	Dia	Lu(baja)	HS(Alta)	HR(alta)	T(adec)	2	0	0	2	2002
18	Dia	Lu(baja)	HS(Alta)	HR(alta)	T(baja)	1	2	0	2	1202
19	Dia	Lu(baja)	HS(Alta)	HR(adec)	T(alta)	2	0	0	2	2002
20	Dia	Lu(baja)	HS(Alta)	HR(adec)	T(adec)	0	0	0	2	0002
21	Dia	Lu(baja)	HS(Alta)	HR(adec)	T(baja)	1	0	0	2	1002
22	Dia	Lu(baja)	HS(Alta)	HR(baja)	T(alta)	0	0	0	2	0002
23	Dia	Lu(baja)	HS(Alta)	HR(baja)	T(adec)	0	0	0	2	0002
24	Dia	Lu(baja)	HS(Alta)	HR(baja)	T(baja)	0	2	0	2	0202
25	Dia	Lu(baja)	HS(Adec)	HR(alta)	T(alta)	2	0	0	2	2002
26	Dia	Lu(baja)	HS(Adec)	HR(alta)	T(adec)	2	0	0	2	2002
27	Dia	Lu(baja)	HS(Adec)	HR(alta)	T(baja)	1	2	0	2	1202
28	Dia	Lu(baja)	HS(Adec)	HR(adec)	T(alta)	2	0	0	2	2002
29	Dia	Lu(baja)	HS(Adec)	HR(adec)	T(adec)	0	0	0	2	0002
30	Dia	Lu(baja)	HS(Adec)	HR(adec)	T(baja)	0	1	0	2	0102
31	Dia	Lu(baja)	HS(Adec)	HR(baja)	T(alta)	0	0	1	2	0012
32	Dia	Lu(baja)	HS(Adec)	HR(baja)	T(adec)	0	0	1	2	0012
33	Dia	Lu(baja)	HS(Adec)	HR(baja)	T(baja)	0	2	1	2	0212
34	Dia	Lu(baja)	HS(Baja)	HR(alta)	T(alta)	2	0	1	2	2012
35	Dia	Lu(baja)	HS(Baja)	HR(alta)	T(adec)	2	0	1	2	2012
36	Dia	Lu(baja)	HS(Baja)	HR(alta)	T(baja)	0	2	1	2	0212
37	Dia	Lu(baja)	HS(Baja)	HR(adec)	T(alta)	2	0	1	2	2012
38	Dia	Lu(baja)	HS(Baja)	HR(adec)	T(adec)	0	0	1	2	0012
39	Dia	Lu(baja)	HS(Baja)	HR(adec)	T(baja)	0	1	1	2	0112
40	Dia	Lu(baja)	HS(Baja)	HR(baja)	T(alta)	0	0	2	2	0022
41	Dia	Lu(baja)	HS(Baja)	HR(baja)	T(adec)	0	0	2	2	0022
42	Dia	Lu(baja)	HS(Baja)	HR(baja)	T(baja)	0	2	2	2	0222
43	Noche	-	HS(Alta)	HR(alta)	T(alta)	2	0	0	0	2000
44	Noche	-	HS(Alta)	HR(alta)	T(adec)	2	0	0	0	2000
45	Noche	-	HS(Alta)	HR(alta)	T(baja)	1	2	0	0	1200
46	Noche	-	HS(Alta)	HR(adec)	T(alta)	2	0	0	0	2000
47	Noche	-	HS(Alta)	HR(adec)	T(adec)	0	0	0	0	0000
48	Noche	-	HS(Alta)	HR(adec)	T(baja)	1	0	0	0	1000
49	Noche	-	HS(Alta)	HR(baja)	T(alta)	0	0	0	0	0000
50	Noche	-	HS(Alta)	HR(baja)	T(adec)	0	0	0	0	0000
51	Noche	-	HS(Alta)	HR(baja)	T(baja)	0	2	0	0	0200
52	Noche	-	HS(Adec)	HR(alta)	T(alta)	2	0	0	0	2000
53	Noche	-	HS(Adec)	HR(alta)	T(adec)	2	0	0	0	2000
54	Noche	-	HS(Adec)	HR(alta)	T(baja)	1	2	0	0	1200
55	Noche	-	HS(Adec)	HR(adec)	T(alta)	2	0	0	0	2000
56	Noche	-	HS(Adec)	HR(adec)	T(adec)	0	0	0	0	0000
57	Noche	-	HS(Adec)	HR(adec)	T(baja)	0	1	0	0	0100
58	Noche	-	HS(Adec)	HR(baja)	T(alta)	0	0	1	0	0010
59	Noche	-	HS(Adec)	HR(baja)	T(adec)	0	0	1	0	0010
60	Noche	-	HS(Adec)	HR(baja)	T(baja)	0	2	1	0	0210
61	Noche	-	HS(Baja)	HR(alta)	T(alta)	2	0	1	0	2010
62	Noche	-	HS(Baja)	HR(alta)	T(adec)	2	0	1	0	2010
63	Noche	-	HS(Baja)	HR(alta)	T(baja)	0	2	1	0	0210
64	Noche	-	HS(Baja)	HR(adec)	T(alta)	2	0	1	0	2010
65	Noche	-	HS(Baja)	HR(adec)	T(adec)	0	0	1	0	0010
66	Noche	-	HS(Baja)	HR(adec)	T(baja)	0	1	1	0	0110
67	Noche	-	HS(Baja)	HR(baja)	T(alta)	0	0	2	0	0020
68	Noche	-	HS(Baja)	HR(baja)	T(adec)	0	0	2	0	0020

Bibliografía

- [1] Producción de hortalizas MDRyT re, [M M At A Viceministerio de Medio Ambient. Biodiversidad y Camb. ClimSellom. Technical report, 2011.
- [2] Agricultura. El cultivo del rábano.
- [3] Nieves Abril Díaz, Járcena Ruiz@, Emilio Fernández Reyes, Aurora Galván Cejudo, Jesús Jorrín Novo, José Peinado Peinado, Fermín Toribio Meléndez-Valdés, and Isaac Túnez Fiñana. Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Technical report.
- [4] *BIPV design using the Si nanostructures for greenhouse applications*. PhD thesis, 2014.
- [5] Octa. OCTA LIGHT BULGARIA Plc 5730. Technical report, 2015.
- [6] Mouser. 5630 LED PLW5630CB Series Product Datasheet. Technical report, jun 2016.
- [7] Sklep. Part No: R5730BC-B4H-Q5. Technical report, 2010.
- [8] Bridgelux. Bridgelux ® SMD 2835 0.2W 3V. Technical report.
- [9] Iled. 5050 SMD 60 LED/m. Technical report, 2014.
- [10] María Vernaza. ¿Qué implicaciones tendrían las granjas verticales en Colombia? - ANEIA - Universidad de Los Andes.
- [11] FAO - Noticias: Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse.
- [12] Dirección General, Simón Gaviria Subdirector, Sectorial Luis, Fernando Mejía, Manuel Fernando, Castro Secretario, Antonio Gómez, Juan David Martínez, and Nadia Puerta. PÉRDIDA Y DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN COLOMBIA. Technical report.
- [13] La optimización de recursos en el Agro a través de la tecnología — Camponectado.com — Del Campo a la Nube, may 2019.
- [14] Edison Mogollón and Yeimi Diaz. LA AGRICULTURA VERTICAL COMO ESTRATEGÍA PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN TERMINOS DE ABASTECIMIENTO Y CALIDAD DE PRODUCTOS EN EL MUNICIPIO DE GACHETÁ CUNDINAMARCA. MONOGRAFIA DE INVESTIGACIÓN. Technical report, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Cundinamarca, jun 2019.

-
- [15] Dickson. Despommier. La granja vertical que alimenta al mundo en el siglo XXI.
- [16] Susan Nnedimpka Nnadi and Francis E. Idachaba. Design and Implementation of a Sustainable IOT Enabled Greenhouse Prototype. *IEEE 5G World Forum, 5GWF 2018 - Conference Proceedings*, pages 457–461, 2018.
- [17] Isakovic Haris, Alexander Fasching, Lukas Punzenberger, and Radu Grosu. CPS/IoT Ecosystem: Indoor Vertical Farming System. *2019 IEEE 23rd International Symposium on Consumer Technologies, ISCT 2019*, pages 47–52, 2019.
- [18] Himanshu Jaiswal, P. Karmali Radha, Ram Singuluri, and S. Abraham Sampson. IoT and Machine Learning based approach for Fully Automated Greenhouse. *2019 IEEE Bombay Section Signature Conference, IBSSC 2019*, 2019Januar, 2019.
- [19] P. Dedeepya, U. S.A. Srinija, M. Gowtham Krishna, G. Sindhusha, and T. Gnanes. Smart Greenhouse Farming based on IOT. *Proceedings of the 2nd International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology, ICECA 2018*, (Iceca):1890–1893, 2018.
- [20] Dirección General, Simón Gaviria Subdirector, Sectorial Luis, Fernando Mejía, Manuel Fernando, Castro Secretario, Antonio Gómez, Juan David Martínez, and Nadia Puerta. PÉRDIDA Y DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN COLOMBIA. Technical report.
- [21] Heladas de 2020, las más intensas de los últimos años — CAR.
- [22] El rostro de las fuertes heladas en la sabana de Bogotá - Bogotá - ELTIEMPO.COM.
- [23] Heladas de 2020, las más intensas de los últimos años — CAR.
- [24] Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía.
- [25] MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL SECTOR HORTÍCOLA COLOMBIANO-2015 CONTENIDO. Technical report.
- [26] Estadísticas Agronet.
- [27] W. S. Lee, V. Alchanatis, C. Yang, M. Hirafuji, D. Moshou, and C. Li. Sensing technologies for precision specialty crop production, oct 2010.
- [28] Boletín mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA. Technical report.
- [29] Chirantan Banerjee and Lucie Adenaeuer. Up, Up and Away! The Economics of Vertical Farming. *Journal of Agricultural Studies*, 2(1):40, jan 2014.

-
- [30] Kurt Benke and Bruce Tomkins. Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1):13–26, jan 2017.
- [31] N. Bennis, J. Duplaix, G. Enéa, M. Haloua, and H. Youlal. Greenhouse climate modeling and robust control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(2):96–107, may 2008.
- [32] Grupo Banco De Patentes, Luis Antonio Silva Rubio -Coordinador Andrea, and Bermúdez Huertas. SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. Technical report.
- [33] Tipos de sensores y sus características - Ingeniería Mecafenix.
- [34] Todo sobre los actuadores.
- [35] Actuadores eléctricos y sus funciones principales - Instrumentación Digital.
- [36] Microcontrolador - qué es y para que sirve - HETPRO/TUTORIALES.
- [37] ¿Qué es Internet de las cosas y cómo mejora la tecnología? — SAP.
- [38] ¿Qué es el Internet de las cosas?
- [39] ¿Qué es un sitio web y una página web? // SoftwareLab.
- [40] API: qué es y para qué sirve.
- [41] IoT platform — Internet of Things — Ubidots.
- [42] Onshape — Product Development Platform.
- [43] About CircuitMaker — CircuitMaker.
- [44] ¿Qué es la iluminación LED? Especial: Iluminación LED.
- [45] Portilla Guzmán and Pablo Javier. *Diseño y construcción de un sistema de automatización para huerto doméstico con tecnología aeropónica*. PhD thesis, mar 2016.
- [46] La agricultura vertical, el futuro de la producción de alimentos - Diario Responsable.
- [47] El futuro de la alimentación se llama agricultura vertical — Compromiso Empresarial.
- [48] Factores ambientales.
- [49] Temperatura.

-
- [50] Los Tipos de Riego y sus ventajas: ¿Cuál es el adecuado? — ERP Agrícola - Software ERP Agrícola: Gestión integral de Ranchos Agrícolas.
- [51] SISTEMAS DE RIEGO AGRICOLAS: CONOCE LOS TIPOS Y SU FUNCIONALIDAD. jul 2018.
- [52] Humedad del suelo – InfoAgro.
- [53] Relative Humidity.
- [54] Gabriela Briceño. Humedad relativa — Qué es, definición, cómo se mide, para qué sirve, unidades.
- [55] *CAPÍTULO 6: PRODUCCIÓN VEGETAL.*
- [56] Productos frescos de verduras Fichas técnicas. Technical report.
- [57] Yesid Ramos Gonzalías and Eduardo Ramírez Lasso. Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores - Vertical Farming (VF). *Informador Técnico*, 80(2):111, dec 2016.
- [58] ¿Qué es el modelo Canvas? - Rankia.
- [59] Modelo Canvas - Qué es, definición y significado — Economipedia.
- [60] Alexander Osterwalder, Yves Pigneur, Gregory Bernarda, and Alan Smith. *Value proposition design: How to create products and services customers want*. John Wiley & Sons, 2014.
- [61] Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560. Technical report.
- [62] ATmega328P 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash DATASHEET. Technical report.
- [63] ESPRESSIF SMART CONNECTIVITY PLATFORM: ESP8266. Technical report, 2013.
- [64] ESP32 Series Datasheet Including. Technical report, 2020.
- [65] FC-28. Technical report.
- [66] Y-L69. Technical report.
- [67] DHT22 (AM2302). Technical report.
- [68] Digital-output relative humidity & temperature sensor/module – DHT11. Technical report.

- [69] HTU21D Digital High Accuracy RH/T Sensor.
- [70] Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC BH1721FVC. Technical report, 2011.
- [71] TSL2560, TSL2561 LIGHT-TO-DIGITAL . Technical report, 2009.
- [72] Válvula solenoide 1/2"12VDC - Naylamp Mechatronics - Perú.
- [73] Diferencia entre el Acrílico y el Vidrio.
- [74] Plásticos de Invernaderos - Plástico tipo PE, PVC, EVA, PC.