

**CENTRO UNIVERSITARIO TECNOLÓGICO
CEUTEC**

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**DISEÑO DE SISTEMAS PARA MONITOREO Y CONTROL DE CULTIVOS
VERTICALES**

**SUSTENTADO POR
DIEGO BLADIMIR CASTELLANOS VILLALOBOS, 61811517**

PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA

SAN PEDRO SULA

ENERO, 2021

HONDURAS, C.A.

**CENTRO UNIVERSITARIO TECNOLÓGICO
CEUTEC**

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

MARLON ANTONIO BREVÉ REYES

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

VICERRECTORA ACADÉMICA CEUTEC

DINA ELIZABETH VENTURA DÍAZ

DIRECTORA ACADÉMICA CEUTEC

IRIS GABRIELA GONZALES ORTEGA

SAN PEDRO SULA

HONDURAS, C.A.

ENERO, 2021

**DISEÑO DE SISTEMAS PARA MONITOREO Y CONTROL DE
CULTIVOS VERTICALES**

**TRABAJO PRESENTADO EN EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS
EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

ASESOR:

RAMÓN DAGOBERTO BAIDE PEREZ

TERNA EXAMINADORA:

CARLOS HUMBERTO CORDON

BENJAMIN ELISEO VASQUEZ

RICARDO ADONIS CARACCIOLI

SAN PEDRO SULA

HONDURAS, C.A.

ENERO, 2021

DEDICATORIA

Le dedico este proyecto a mi madre, por haberme apoyado en todo momento a lo largo de estos años de estudio universitario, por demostrarme el camino de que con paciencia y perseverancia se pueden lograr las metas, a trabajar duro por mis sueños y alentarme a seguir adelante en los momentos más difíciles de este proceso académico, así como también a aceptar las derrotas y disfrutar las victorias.

Diego Bladimir Castellanos Villalobos

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por siempre dirigirme en el camino correcto y ayudarme a cumplir mis metas, a mi papá, quien ha sido una fuente de apoyo constante en toda mi vida, a mis hermanas quienes me han apoyado y alentado para seguir adelante. A mi tía Isolina, por siempre enseñarme a luchar para ser alguien en la vida y a mis amistades, Valeria, Alexa y Carlos, por siempre creer en mí y no dejarme que me dé por vencido.

Diego Bladimir Castellanos Villalobos

RESUMEN EJECUTIVO

Una de las actividades económicas más importantes en Honduras es la agricultura, muchas personas a lo largo del país dependen y se dedican al cultivo de frutas y verduras para venta, así como también para consumo propio. La agricultura actualmente se enfrenta con muchos problemas para continuar con un desarrollo sostenible a largo plazo, entre ellos están la reducción de tierras “arables” para cultivo, el uso extensivo de pesticidas, el consumo excesivo de agua dulce para riego, emisiones de CO₂ entre otros. La agricultura debe de prepararse para la demanda de comida que existirá según pronósticos para 2050 cuando la población mundial alcance los 9.700 millones de personas. Para ello se están ofreciendo muchas alternativas entre las cuales existen los cultivos verticales. Este moderno concepto de “granjas verticales” nace a partir de los años 90, acuñado por el Dr. Dickson Despommier, quien establece la idea de cultivar las plantas comestibles en bases de forma vertical con sistemas de hidroponía para ahorrar agua y espacios de tierra. En este proyecto se busca contestar una de las interrogantes que se basa en que, si cultivar una planta de forma vertical se obtienen resultados iguales o mejores que de manera internacional ya que en un huerto urbano vertical, se manipulan o controlan los factores de temperatura, pH, humedad relativa y cantidad de luz que intervienen en el crecimiento de una planta comestible. Se propone un diseño electrónico de una estructura automatizada que monitoree de forma constante y controle estos parámetros para que la planta crezca y se desarrolle de manera integral. Se dispone de un sistema de sensores y actuadores, un código basado en Arduino, un sistema de riego y un sistema de luces, todo para que la planta a cultivar crezca entre los rangos y parámetros aceptables establecidos en el programa. Este concepto novedoso es una alternativa bastante prometedora ya que se puede reproducir completamente en cualquier tipo de ambiente o lugar, sin importar las condiciones del clima, extensión del terreno y sin mucha intervención humana, se puede cultivar todo el año y es muy útil en grandes ciudades y metrópolis ya que, al no requerir mucho espacio ni cantidad de agua, se pueden conseguir grandes resultados.

Palabras claves: Agricultura, cultivo, vertical, huerto, granja, actuadores, sensores, LED, humedad, temperatura, pH, iluminación, Arduino, código, agua.

ABSTRACT

One of the main economic activities in Honduras is agriculture. Many people through the country depends on and work to cultivate fruits and vegetables for sale as well for own consumption. Currently, agriculture is facing a lot of issues to continue with a sustainable development in long-term. A few of them are the reduction or “arable” land, the extensive use of pesticides, the excessive consumption of fresh water for irrigation, CO₂ emissions, among others. Th agriculture must be ready for the high demand of food that will exist according of the forecast for 2050 when world population hits the 9.700 million of people. To overcome this, a lot of alternatives are being offered, among them is vertical crops. This modern concept of “vertical farms” was born through the 90’s and it is attributed by Dr. Dickson Despommier, who establish the idea to cultivate eatable plants, one above the other in a vertical shape with hydroponic systems to save water y field space. This project seeks to answer one of the questions that is based on the fact that if growing a plant vertically, the results will be equal or better than traditionally, since, in a vertical urban garden, the factors that are involved in the growing of a plant are manipulated or controlled, temperature, pH, relative humidity and amount of light. An electronic design of an automated structure is proposed that constantly monitors and controls these parameters so the plant can grow and develop in an integral way. There is a system of sensors and actuators, a code based on Arduino, an irrigation system, and a lighting system, all these so that the plant to be cultivated and grows between the ranges and acceptable parameters established in the program. This new concept is a very promising alternative since it can be fully reproduced in any type of environment or place, regardless of weather conditions, land area and without a lot of human intervention, it can be grown all year round and is very useful in large cities and metropolises since, by not requiring much space or amount of water, great results can be achieved.

Keywords: Agriculture, crops, vertical, orchard, farm, actuators, sensors, LED, humidity, temperature, pH, lightning, Arduino, code, water.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	2
2.1 Antecedentes del Problema	2
2.2.1 Enunciado del Problema	5
2.2.2 Formulación del problema	6
2.3 Preguntas de Investigación.....	7
2.3.1 Pregunta Principal	7
2.3.2 Preguntas Especificas.....	7
2.4 Hipótesis y Variables de Investigación	7
2.5 Justificación.....	8
CAPÍTULO III: OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	9
3.1 Objetivo General	9
3.2 Objetivos Específicos	9
CAPÍTULO IV: MARCO TEÓRICO	10
4.1 Análisis de la Situación Actual	10
4.1.1 Análisis del Macroentorno	10
4.1.1 Análisis del Microentorno.....	14
4.1.2.1 Marco Legal.	16
4.1.3 Análisis Interno	16
4.2 Teorías	17
4.2.1 Teorías de Sustento	17
4.2.1.1 Cultivos Hidropónicos y Aeropónicos	18
4.2.1.2 El Futuro de los Huertos Verticales Urbanos.....	18
4.2.2 Conceptualizaciones.....	19
4.2.2.1 Agricultura Urbana	19
4.2.2.2 Granjas Verticales	20
4.2.2.3 Cultivo Vertical.....	22
4.2.2.4 Técnicas para el Crecimiento de plantas en un cultivo vertical: Hidroponía.....	23
4.2.2.4.1 Métodos Hidropónicos.	24

4.2.2.4.2 Ventajas de la hidroponía.....	26
4.2.2.5 Variables y Parámetros que intervienen en el crecimiento de las Plantas.	26
4.2.2.5.1 Nivel de PH.....	27
4.2.2.5.2 Temperatura	28
4.2.2.5.3 Humedad.	31
4.2.2.5.4 Luz.....	32
4.2.2.5.4.1 Relación entre la luz y el crecimiento de las plantas.	33
4.2.2.5.4.1.1 Cantidad de luz.....	33
4.2.2.5.4.1.2 Intensidad de luz	34
4.2.2.5.4.1.3 Calidad de luz.....	34
4.2.2.5.4.2 Características esenciales del sistema de iluminación	35
4.2.2.6 Características de la lechuga y la acelga.	36
4.2.2.6.1 La lechuga	36
4.2.2.6.1.1 Origen.....	36
4.2.2.6.1.2 Taxonomía y morfología.....	36
4.2.2.6.1.3 Características de variables para su cultivo.....	37
4.2.2.6.1.3.1 Temperatura.	37
4.2.2.6.1.3.2 Humedad relativa.	37
4.2.2.6.1.3.3 Suelo.....	37
4.2.2.6.2 La acelga	38
4.2.2.6.2.1 Origen.....	38
4.2.2.6.2.2 Taxonomía y morfología.....	38
4.2.2.6.2.3 Características de variables para su cultivo	39
4.2.2.6.2.3.1 Temperatura.....	39
4.2.2.6.2.3.2 Luminosidad.....	39
4.2.2.6.2.3.3 Suelo.....	39
4.2.2.7 Microcontrolador	40
4.2.2.7.1 PIC de Microchip Technologies Inc	41
4.2.2.7.1 Freescale Semiconductor Inc.	43
4.2.2.7.2.1 Kinetis	43
4.2.2.7.3 Atmel Corp.....	44
4.2.2.8 Sensores usados en agricultura urbana.....	45

4.2.2.8.1 Redes de sensores.....	46
4.2.2.8.2 Sensores de precisión:	47
4.2.2.8.2.1 Sensores de Humedad	47
4.2.2.8.2.2 Sensores de Conductividad:	48
4.2.2.8.2.3 Sensores de Temperatura:	48
4.2.2.8.2.3 Sensores de PH:	49
4.2.2.8.2.4 Sensores de Iluminación	50
CAPÍTULO V: METODOLOGÍA.....	51
5.1 Congruencia Metodológica	51
5.1.1 Matriz Metodológica.....	51
5.1.2 Operacionalización de las variables	54
5.1.2.1 Variables Independientes	54
5.1.3 Hipótesis.....	55
5.2 Enfoque y métodos.....	55
5.3 Diseño de la investigación	56
5.4 Técnicas e instrumentos aplicados	56
5.4.1 Técnicas aplicadas.....	56
5.4.2 Instrumentos aplicados.....	56
5.5 Fuentes de información	57
5.5.1 Fuentes primarias	57
5.5.2 Fuentes secundarias.....	57
5.6 Limitantes del Proyecto.....	57
5.7 Cronología de Trabajo.....	58
CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y ANÁLISIS	61
6.1 Análisis del diseño y generalidades del sistema.....	61
6.2 Elección de los componentes	62
6.2.1 Microcontrolador	62
6.2.2 Sensores de Temperatura y Humedad Relativa	64
6.2.3 Sensor de Humedad del Suelo	64
6.2.4 Sensor de pH	65
6.2.5 Sensor de Luz.....	66
6.2.6 Otros elementos.....	66

6.3 Funcionamiento.....	69
6.7 Resultados y Observaciones:.....	71
CAPÍTULO 7: VIABILIDAD.....	73
7.1 Viabilidad Operacional	73
7.1.1 Diagrama operacional del sistema de iluminación	74
7.1.2 Diagrama operacional del higrómetro FC-28	75
7.1.3 Diagrama operacional del sensor de nivel de agua	76
7.1.4 Diagrama operacional del sensor DTH11	77
7.2 Viabilidad Económica.....	78
7.3 Viabilidad de Mercado	79
CAPÍTULO 8: APLICABILIDAD.....	80
8.1 Análisis de Mercado.....	81
8.1.1 Análisis de la Demanda.....	81
8.1.2 Análisis de la Oferta.....	85
8.1.3 Análisis de Precios	86
8.1.4 Análisis de la Comercialización.....	87
8.1.4.1 Canales de distribución	87
8.2 Estudio Técnico.....	88
8.2.1 Análisis y determinación de la localización óptima del proyecto.....	88
8.2.2 Tamaño optimo del proyecto	90
8.2.3 Suministros.....	91
8.2.4 Identificación y descripción del proceso.....	92
8.2.4 Determinación de la organización humana y jurídica.....	93
8.3 Estudio Económico	93
8.3.1 Costos de Producción y Operación	93
8.3.2 Inversión total inicial	93
8.3.3 Punto de equilibrio	94
8.3.4 TIR (Tasa Interna de retorno)	95
8.4 Creación de prototipo.....	97
8.4.2 Estructura Externa.....	97
8.4.3 Control y monitoreo.....	99
8.4.5 Iluminación	101

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES	103
CAPÍTULO 10: RECOMENDACIONES	105
BIBLIOGRAFIA.....	107
ANEXOS:.....	113
<i>Anexo 1.</i> Encuesta realizada	113
<i>Anexo 2.</i> Especificaciones técnicas del sensor DTH11	115
<i>Anexo 3.</i> Aplicación típica del sensor DTH11	116
<i>Anexo 4.</i> Especificaciones del Arduino Mega 2560.....	116
<i>Anexo 5.</i> Diagrama del Arduino Mega 2560.....	117
<i>Anexo 6.</i> Especificaciones y parámetros eléctricos del sensor FC28	118
<i>Anexo 7.</i> Parámetros del sensor de nivel SW03	118

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 4.1 Instalaciones de Urban Crops Solutions.....	11
Figura 4.2. Instalaciones de AereoFarms.....	12
Figura 4.3 Producto de NeoFarms.	12
Figura 4.4 Torre Plantagon.	13
Figura 4.5. Instalaciones de CropOne.....	13
Figura 4.6. Instalaciones de Urban Farms Panamá.....	14
Figura 4.7 Agricultura Peri Urbana.....	20
Figura 4.8 Ejemplo de Granja Vertical.....	21
Figura 4.9 Comparación entre cultivo tradicional y cultivo vertical.	22
Figura 4.10 Huerto Interior.	23
Figura 4,11 Fuente Hidropónica.	24
Figura 4.12 Sistemas Hidropónicos: a) NFT; b) Raíz Flotante y c) NGS.	25
Figura 4.13 Cultivo Aeropónico.	26
Figura 4.14 Escala pH.....	28
Figura 4.15 Saturación de presión de vapor relativa a la temperatura del aire mostrando el incremento exponencial en la saturación de presión de vapor con temperatura.....	30
Figura 4.16 Humedad relativa en los cultivos en un invernadero.....	32
Figura 4.17 Fotosíntesis y longitudes de ondas efectivas.	35
Figura 4.18 Lechuga.	36
Figura 4.19 Acelga.....	38
Figura 4.20 Diagrama de un microcontrolador.....	40
Figura 4.21 PIC16F84 de MicroChip.....	42
Figura 4.22 Microprocesador Atmega.....	45

Figura 4.23 Ejemplo de Redes de Sensores	46
Figura 4.24 Sensor de Humedad	47
Figura 4.25 Sensor de Conductividad Eléctrica.....	48
Figura 4.26 Sonda para medir temperatura.....	49
Figura 4.27 Sensor de Ph.	49
Figura 4.28 LDR	50
Figura 5.1 Diagrama de Gantt.....	56
Diagrama 6.1 Diagrama de Lazo cerrado para un cultivo vertical.....	58
Figura 6.1 Estructura del ATmega 2560.....	59
Figura 6.2 Tarjeta Arduino Mega 2560.....	59
Figura 6.3 Sensor DTH11	60
Figura 6.4 Higrómetro FC-28.....	61
Figura 6.5 Sensor de pH.....	61
Figura 6.6 Sensor LDR.....	62
Figura 6.7 Estructura del cultivo vertical.....	63
Figura 6.8 Ventilador Axial.....	63
Figura 6.10 Luces LED.....	64
Figura 6.9 Bomba de Agua con Arduino.....	64
Diagrama 6.2 Funcionamiento del ATmega 2560.....	65
Figura 6.11 Diagrama del circuito del cultivo vertical automatizado.....	66
Figura 6.12 Código Arduino para el Cultivo Vertical.....	67
Figura 7.1 Diagrama de flujo del sistema general de control automático.....	69
Figura 7.2 Diagrama operacional del sistema de iluminación.....	70
Figura 7.3 Diagrama operacional del higrómetro FC-28.....	71
Figura 7.4 Diagrama operacional del sistema de nivel de agua.....	72

Figura 7.5 Diagrama operacional del sensor DTH11.....	73
Figura 8.1 Porcentajes de género según encuesta.....	83
Figura 8.2 Frecuencia de rangos de edades de los encuestados.....	83
Figura 8.3 Lugar de residencia de los encuestados.....	84
Figura 8.4 Frecuencia con la que consumen verduras.....	84
Figura 8.5 Porcentaje de interés en adquirir un equipo de monitoreo y control.....	85
Figura 8.6 Frecuencia del lugar donde se compran las verduras.....	86
Figura 8.7 Porcentaje de interés de precio en pagar un equipo de estos.....	87
Figura 8.8 Macro localización del proyecto.....	89
Figura 8.9 Micro localización del proyecto.....	90
Figura 8.10 Proceso Productivo.....	92
Figura 8.11 Tiempo de retorno de la inversión.....	96
Figura 8.12 Prototipo finalizado.....	97
Figura 8.13 Armazón externo.....	98
Figura 8.14 Corte y cruce de manguera por recipiente plástico.....	98
Figura 8.15 Compra de componentes.....	99
Figura 8.16 Ventilador y sensor DTH11 en estructura.....	99
Figura 8.17 Conexión de los componentes.....	100
Figura 8.18 Pantalla LCD mostrando niveles de humedad y temperatura.....	100
Figura 8.19 Cableado.....	101
Figura 8.20 Conexión en serie de los diodos LED.....	102
Figura 8.21 Iluminación LED verde y roja.....	102

INDÍCE DE TABLAS

Tabla 4.1 Absorción de longitudes de onda para los pigmentos foto sensitivos.....	35
Tabla 5.1 Matriz metodológica	51
Tabla 5.2 Operacionalización de las variables	54
Tabla 5.3 Cronología del proyecto	58
Tabla 7.1 Presupuesto del proyecto	78
Tabla 8.1 División de la aplicabilidad de un proyecto..	80
Tabla 8.2 Mobiliario y equipo	91
Tabla 8.3 Factura de compra de componentes.....	92
Tabla 8.4 Gastos operativos en un año.....	93
Tabla 8.5 Inversión total inicial	94
Tabla 8.6 Punto de equilibrio	94
Tabla 8.7 TIR.....	95
Tabla 8.8 Periodo de recuperación.....	96
Tabla 8.9 Conexión de los sensores a los pines de Arduino.....	101

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Los cultivos verticales son una de las soluciones innovadoras que se plantean para solucionar el problema del déficit alimentario y de las altas emisiones de gases de efecto invernadero causadas por la producción no sostenible de alimentos en nuestra época. Estos funcionan de manera vertical, lo que permite que se encuentren en lugares urbanizados y no ocupen el mismo espacio que un cultivo tradicional. Actualmente en un mundo globalizado, la agricultura juega un factor fundamental en la producción de alimentos y granos básicos, sin embargo, es uno de los mayores contaminantes del medio ambiente.

Algunas estimaciones señalan que la combustión de energía fósil y la deforestación incrementaron 30% la concentración de CO₂ atmosférico en los últimos 300 años, y que más de la mitad de este aumento tuvo lugar en los últimos 40 años, potenciado por la agricultura. (Chapín et al. 2000). Además de que el 70% del consumo de agua potable mundial se dedica al uso de riego de los cultivos. El proyecto propuesto de diseñar sistemas para el monitoreo y control de estos cultivos verticales es de un interés académico porque busca poder desarrollar estos sistemas por medio de circuitos electrónicos los cuales puedan ser aplicables a nuestro entorno y poder ejecutarlos en la ciudad de San Pedro Sula y en las distintas ciudades del país.

El interés de desarrollar este proyecto tiene resultados muy beneficiosos ya que busca poder reducir el consumo de agua, de tierra y espacio físico cultivable, así como también de realizar un sistema de desarrollo sostenible además de que permitirá desarrollar cultivos más orgánicos sin necesidad de uso de pesticidas ya que estos se desarrollan en ambientes controlados. Por medio de un sistema electrónico se podrán controlar la cantidad de agua, la temperatura, la humedad, así como también la cantidad de luz que reciban las plantas para un crecimiento sano y óptimo.

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Los cultivos verticales hoy en día son una combinación de técnicas para cultivar y ahorrar agua potenciado por medio de sistemas de automatización para brindar una optimización al proceso de cultivo, controlar todas las variables que intervienen en el crecimiento sano de plantas comestibles y así cultivar legumbres, verduras y frutas más rápido, más puras y sanas. Para comprender el porqué de la investigación, se brindan los antecedentes del problema y la definición de la misma.

2.1 Antecedentes del Problema

El diseño de los cultivos verticales es una idea completamente reciente e innovadora, el cual ha sido de bastante interés para los investigadores. Desde entonces se ha conocido dicho termino como granjas o cultivos verticales.

Este tipo de cultivo está en constante evolución y estudio, ya que en ello se podría encontrar la respuesta a los desafíos de producir alimentos a grande escala para la creciente demanda que existirá en los próximos años.

El origen de la agricultura vertical se sitúa a finales del siglo XX, cuando el profesor Dickson Despommier, de la Universidad de Columbia, acuñó este término. A él se refería para describir el concepto de cultivar alimentos en zonas urbanas, especialmente en edificio. (Peña, 2017)

Despommier (2010) habla sobre:

El termino de “vertical farming” que ha estado desarrollando, el cual consiste en apilar invernaderos uno sobre otros y ahí localizar estas granjas de interiores en zonas urbanizadas. En su libro nos relata que al momento no existen ejemplos de granjas verticales a gran escala, se sabe que se pueden aplicar la metodología de cultivación con hidroponía y la aeroponía en edificios de varios pisos y así crearse las primeras granjas verticales.

A nivel internacional existen modernas compañías, las cuales están invirtiendo y apostando su producción de alimentos en cultivos verticales, y a menor escala también se han hecho estudios e intentos de reproducir las situaciones “ideales” para que la planta que se esté cultivando crezca de manera plena. Para ello se valen de sistemas electrónicos para monitorear y controlar dichos factores.

En California, se encuentra la compañía Urban Crop Solutions donde se ha realizado la creación de sistemas agrícolas urbanos, conocidos como “indoor”, debido a que mantienen una estructura de granja vertical totalmente automatizada utilizando luces violáceas de lámparas compuestas por Diodos de Emisión de Luz (LED), trabajando en un hábitat controlada siendo alimentada a base de hidroponía, buscando así el crecimiento de rúculas y lechugas (citado en Garcés Moreira, 2019).

Otra compañía que trabaja en estos entornos controlados es AeroFarms quien decide nominarse como el líder comercial en agricultura vertical de interior totalmente controlado con 390 veces mayor productividad por pie cuadrado al año en comparación con la agricultura de campo tradicional mientras utiliza un 95% menos de agua y cero pesticidas. Utilizan las últimas tecnologías de detección y ciencia de datos, así como herramientas como la visión y la inteligencia artificiales para cumplir con su misión: cultivar las mejores plantas posibles para el mejoramiento de la humanidad (AeroFarms, 2020).

En Alemania e Italia se implementó un prototipo de huerto vertical por parte de NeoFarms con similares medidas a las de un armario de cocina, con la finalidad de que pueda utilizarse en espacios como supermercados, restaurantes y cocinas en general puedan contar con pequeñas granjas en su interior buscando mejorar la seguridad alimentaria a un menor costo (citado en Garcés Moreira, 2019).

Garcés Moreira (2019) afirma:

En otros estudios realizados de manera independiente también se han logrado encontrar resultados para manipular estos elementos de manera exitosa como un ejemplo se puede nombrar el estudio: “Desarrollo de un sistema de control para el riego y la iluminación en una granja vertical” en ello se emplea un sistema de iluminación artificial que ayuda al desarrollo de las plantas, el objetivo es generar el espectro de luz apropiado para que se realice la fotosíntesis. La metodología utilizada fue mediante la selección del LED donde el criterio importante era definir el ángulo de irradiación, color, luminosidad y longitud de la onda; siendo características necesarias para producir la pigmentación en la planta. Todo esto parece confirmar que el sistema de iluminación fue el apropiado, ya que la planta obtuvo la altura deseable en el tiempo asignado según datos relacionados con los obtenidos en un cultivo tradicional. (p. 28).

Garcés Moreira (2019) afirma:

En el trabajo “Diseño e implementación de un sistema de control para maximizar la capacidad productiva de las plantas en granjas verticales por medio de luz artificial” implementa un sistema micro controlado, adaptado a un prototipo de granja vertical elaborado por el autor en su domicilio, permitiendo el monitoreo y efectuando acciones que produzcan una apropiada conducta de las variables que participan en el crecimiento de las plantas, con lo cual, se obtuvo un microclima que esté completamente adaptado a la granja el cual maximice el proceso de fotosíntesis y el crecimiento de las plantas. Además, elabora un prototipo de iluminación artificial con el fin de emular la luz solar utilizando paneles LED y una fuente elevadora de tensión conocida como circuito boost como un convertidor de Corriente Continua (DC), planteando un sistema que produzca una forma de onda semejante a las ondas solares con la ayuda de un controlador que aumente la capacidad de producción vegetativa con menos recursos. Se concluyó que el sistema boost como elevador de tensión no es la mejor estrategia debido a que el consumo de energía eléctrica es muy elevado. (Ramos, 2015). (p. 29).

Garcés Moreira (2019) dice:

En la tesis “Automatización de los procesos de un huerto hidropónico para el control de variables, utilizando sistemas basados en microcontroladores” se implementó un sistema que cuenta con actuadores, el cual, realiza un control automatizado de la circulación del agua, también ejecuta la medición de las variables que afectan directamente al sistema mediante un software de monitorización remota que fue diseñado mediante un software grafico denominado Banco de Trabajo de Ingeniería de Instrumentos Virtuales de Laboratorio (LabVIEW), utilizando herramientas de metodología como la experimental y la bibliográfica, importantes para conocer técnicas hidropónicas de la actualidad y dispositivos electrónicos que se implementen en procesos de automatización. Se obtuvo que la implementación realizada presenta una solución para mejorar y optimizar el tratamiento de las plantas dentro de cultivos hidropónicos mediante un control de riego recircular y el monitoreo de variables, lo que permite disminuir el recurso humano, por lo que, concluyeron que la adaptación de microcontroladores es óptima para los sistemas de automatizados gracias a su eficiencia, bajo costo y fiabilidad. (Chacón & Tigse, 2017). (p. 30).

Ya en un nivel nacional, en Honduras no se han realizado experimentos o investigaciones para el desarrollo de cultivos verticales y como automatizarlos por medio de la electrónica, sin embargo, si existe un hondureño que realiza un emprendimiento de cultivo verticales para la lechuga escarola en un invernadero vertical diseñado por su cuenta y tiene una extensión de 100 metros cuadrados, que tiene capacidad de insertar 56 unidades por columna de las cuales obtiene 8,000 hortalizas mensuales (La Tribuna, 2017).

2.2 Definición del Problema

En búsqueda de dar una respuesta a la futura crisis alimentaria prevista por el cambio climático y la alta demanda de alimentos o producción en masa por el aumento de la población mundial en el 2050, ha surgido la idea de cultivar alimentos de manera vertical para suplir tales necesidades en los años venideros sin embargo existen muchas limitantes para llevarlo a cabo como una realidad.

2.2.1 Enunciado del Problema

Vivimos en un mundo de constante cambio y un problema emergente global es la reducción de tierra cultivable a largo plazo. De acuerdo con estadísticas del crecimiento a futuro de la población mundial de la FAO, revela que la tierra arable por persona está proyectada a decrecer para el 2050 en un tercio de la cantidad disponible en 1970 (FAO, 2016).

De manera global se entiende que la tierra cultivable sigue disminuyendo, esto se debe porque se estima que la población mundial para el 2050 está pronosticado a incrementar a 9.3 billones de personas, los cuales el 70% de ellos vivirán en zonas urbanas y estas requerirán 70% más comida que la población del 2009. (Kozai et al. 2019, p. 7)

Actualmente a nivel mundial, el cultivo de alimentos está enfrentando muchos problemas como ser el uso de pesticidas, consumo excesivo de agua ya que el 70% del agua dulce consumida se usa para la agricultura (Khokhar, 2017). Esto continua en aumento, aparte de esto se suma el constante cambio de clima por parte de los gases de efecto invernadero y el calentamiento global hacen que muchos de los cultivos se echen a perder.

Para poder evitar todos estos problemas y tratar de hallarles una solución se ha hablado de huertos urbanos, ya que estos pueden ser una opción para acabar con estos mismos, pero en la actualidad los cultivos urbanos también están pasando por dificultades, (Perilla y Trujillo, 2017).

El exceso de radiación solar, las altas y bajas temperaturas, los cambios climáticos, la variación de las estaciones del año y la contaminación urbana, provocan estrés en las plantas causando un desequilibrio vegetativo y teniendo como resultado un crecimiento descontrolado, ya que el cultivo no se mantiene en el rango de temperatura adecuado para su desarrollo. La humedad del suelo también se ve perjudicada por estos cambios bruscos de temperatura, por lo que, se retiene agua en un solo sector, creando áreas con mayor densidad que obstaculizan el paso de las raíces de la planta, evitando su crecimiento. (citado en Garcés Moreira, 2019).

A nivel de país de acuerdo con una noticia del SICA (2013) el 70% de las áreas sembradas están se dañaron por la sequía y que, a partir de los niveles actuales, diversos escenarios climáticos proyectan para Honduras aumentos en la temperatura entre 2 °C y cerca de 5 °C hacia el año 2100, mientras la precipitación podría reducirse entre 15 y 50%. Esto se habla a nivel de campo como se cultiva todo alimento en el país, no existe una división o una compañía emergente que realice cultivos verticales en las áreas urbanas de San Pedro Sula o Tegucigalpa.

En este sentido se debe de buscar una respuesta para poder enfrentar esta problemática actual y futura, los cultivos verticales representan una buena opción para alimentar a la población creciente y suplir la demanda de alimentos tanto a nivel mundial como nacional y es por ello que es importante desarrollar un sistema electrónico eficiente capaz de llevar a cabo la producción y crecimiento de hortalizas pudiéndose ejecutar en una zona urbana sin tanto espacio.

2.2.2 Formulación del problema

En virtud de lo anterior, el presente proyecto busca poder encontrar una solución ante tantas interrogantes y busca responder entre ellas:

1. ¿Cómo poder cumplir con la demanda de alimentación en la creciente población?
2. ¿Cómo reducir el consumo de agua para riego de cultivos?
3. ¿Cómo dejar de usar pesticidas y hacer que los alimentos sean más orgánicos?
4. ¿Cómo poder desarrollar un sistema de cultivo en un área urbana como San Pedro Sula?
5. ¿Cómo utilizar menos tierra para cultivo?
6. ¿Cómo se puede evitar que los cambios bruscos climatológicos no afecten los cultivos para las generaciones futuras?

2.3 Preguntas de Investigación

La pregunta general y las preguntas específicas para este proyecto se detallan a continuación:

2.3.1 Pregunta Principal

¿Cómo diseñar un sistema de monitoreo y control para el cultivo de lechuga y acelga por medio de una tarjeta electrónica que controle y monitoree los niveles de humedad, temperatura, iluminación y riego en una estructura vertical cuya funcionalidad se puedan desarrollar en el área urbana de San Pedro Sula?

2.3.2 Preguntas Especificas

1. ¿Cuáles son las variables y parámetros que intervienen en el proceso de crecimiento de plantas comestibles en un cultivo vertical?
2. ¿Qué tipo de sensores y de actuadores se podrán emplear para el riego e iluminación en el cultivo vertical?
3. ¿La luz artificial LED permitirá que un cultivo de lechuga y acelga tenga un buen desarrollo versus la luz solar?
4. ¿Qué tipo de colores LED responden más las plantas para su proceso de fotosíntesis?
5. ¿Qué porcentaje de agua se podrá ahorrar usando un sistema hidropónico controlado por una tarjeta electrónica en comparación al consumo de agua en sistemas de riego tradicionales?
6. ¿Se podrán controlar de manera estable los factores externos como humedad y temperatura para que la lechuga y la acelga crezca y se desarrolle como en campo abierto?

2.4 Hipótesis y Variables de Investigación

A través de un sistema para monitoreo y control de cultivos verticales se puede desarrollar y ejecutar un modelo de huerto urbano cuyo hábito se adapta a las condiciones necesarias para un desarrollo óptimo de la lechuga y acelga, buscando así tener un ambiente controlado en el cual se pueda aumentar o disminuir la intensidad de luz, ventilación, riego y mantener valores estables de humedad y temperatura, que ofrezcan al cultivo un entorno conforme a su crecimiento.

Ya que es un sistema controlado en un espacio urbano y cerrado, demuestra notoriamente una reducción de tierra para siembra, espacio para cultivar, reducción en el consumo de agua y al ser automatizado también reduce la asistencia humana para el crecimiento de la lechuga y acelga.

Las variables de investigación en este proyecto son: la humedad, temperatura, luz y nutrientes, ya que son los que nos ayudan a realizar el desarrollo integral de una planta.

2.5 Justificación

Actualmente en un mundo globalizado, la agricultura juega un factor fundamental en la producción de alimentos y granos básicos, sin embargo, es uno de los mayores contaminantes del medio ambiente. Algunas estimaciones señalan que la combustión de energía fósil y la deforestación incrementaron 30% la concentración de CO₂ atmosférico en los últimos 300 años, y que más de la mitad de este aumento tuvo lugar en los últimos 40 años, potenciado por la agricultura (Chapín et al. 2000).

Hoy en día la automatización también juega un papel importante en el desarrollo y control de muchos procesos modernos. Existen varias industrias a nivel mundial que desarrollan y cultivan huertos verticales con tecnología avanzada buscando siempre la calidad de los alimentos cultivados y ahorrando agua y terreno para los mismos. Al ser un medio alternativo con las variables que intervienen en el desarrollo de la planta, el costo de producción suele ser elevado y por lo tanto no ha tenido mucha popularidad.

Es por ello que por medio de este proyecto de investigación se podrá aplicar un sistema de cultivo innovador basado en la tecnología para un desarrollo sostenible que se pueda ampliar en un futuro para la cosecha de otros alimentos, utilizando elementos de bajo costo, capaz de controlar y monitorear los procesos de la lechuga y la acelga en un huerto vertical, disminuyendo el espacio físico, limitando el consumo de agua al mínimo y busca facilitar la instalación de estos en zonas urbanas como San Pedro Sula.

CAPÍTULO III: OBJETIVOS DEL PROYECTO

En este capítulo se presentan los objetivos tanto general como específicos que se buscan alcanzar con el desarrollo de este proyecto de manera integral.

3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de monitoreo y control para el cultivo de lechuga y acelga por medio de una tarjeta electrónica que controle y monitoree los niveles de humedad, temperatura, iluminación y riego en una estructura vertical cuya funcionalidad se puedan desarrollar en el área urbana de San Pedro Sula.

3.2 Objetivos Específicos

1. Determinar cuáles factores son los influyentes para un desarrollo óptimo de la lechuga y la acelga.
2. Identificar los sensores y actuadores que se pueden utilizar en la creación de un sistema autónomo de monitoreo y control de cultivos verticales.
3. Elaborar un sistema de riego hidropónico que mantenga hidratado el cultivo y a su vez sea automático.
4. Investigar a qué tipo de colores LED responden más las plantas para su proceso de fotosíntesis.
5. Determinar si la luz artificial LED permitirá que un cultivo de lechuga y acelga tenga un buen desarrollo en lugar de la luz natural.
6. Describir si al controlar de manera estable los factores externos como humedad y temperatura, la lechuga y la acelga crece y se desarrolla igual que en un campo abierto.

CAPÍTULO IV: MARCO TEÓRICO

Para comprender que es un cultivo vertical automatizado debemos entender que factores claves intervienen en el crecimiento de una planta comestible, así como entender en que punto en la actualidad se encuentran estos proyectos en el mundo, en este marco teórico se expondrá toda la información necesaria sobre un cultivo vertical.

4.1 Análisis de la Situación Actual

Como se dijo anteriormente, la agricultura vertical puede ser la posible solución a largo plazo para muchos problemas en la producción de alimentos, sin embargo, es algo que todavía sigue en proceso y en estudio, aunque a nivel mundial varias compañías están optando por este tipo de cultivos a manera industrial.

4.1.1 Análisis del Macroentorno

El desarrollo agrícola constituye uno de los medios más importantes para poner fin a la pobreza extrema, impulsar la prosperidad compartida y alimentar a una población que se espera llegue a 9700 millones de habitantes en 2050. El crecimiento de la agricultura puede resultar hasta cuatro veces más eficaz que el de otros sectores para elevar los ingresos de los más pobres. Según análisis realizados en 2016, el 65 % de los adultos pobres que trabajan vive de las actividades agrícolas. (Banco Mundial, 2019)

La agricultura también es crucial para el crecimiento económico: en 2014, el sector agrícola representaba un tercio del producto interno bruto (PIB) mundial. (Banco Mundial, 2019)

Sin embargo, el crecimiento económico impulsado por la agricultura, la reducción de la pobreza y la seguridad alimentaria se encuentran en riesgo, ya que el cambio climático podría disminuir los rendimientos de los cultivos, especialmente en las regiones con mayor inseguridad alimentaria. Además, las actividades agrícolas y forestales y los cambios en el uso de la tierra son responsables del 25 % de las emisiones de gases de efecto invernadero. Las medidas de mitigación en el sector de la agricultura son parte de la solución en la lucha contra el cambio climático. (Banco Mundial, 2019)

El actual sistema alimentario también amenaza la salud de las personas y del planeta: en la agricultura se utiliza el 70 % del agua que se extrae y se generan niveles insostenibles de contaminación y desechos. (Banco Mundial, 2019)

Alrededor del mundo la forma de cultivar alimentos ha cambiado en gran manera a través de los años. Siendo la tecnología el principal aliado de la agricultura para su elaboración, producción y distribución. En los países desarrollados, la automatización ha permitido acelerar la producción y cultivo de alimentos.

Globalmente el desarrollo de cultivos verticales está ya en funcionamiento por un gran número de compañías en varias partes del mundo y existen algunos proyectos actualmente en construcción. Siendo estas respaldadas ya sea por organizaciones sin fines de lucro promoviendo causas ambientales o algunas otras con fines de lucro destinadas a satisfacer la demanda de frutos locales. Un ejemplo de esto es Corea del Sur, financiada por el gobierno coreano en busca de aumentar la seguridad alimentaria de dicho país (Fletcher, 2012)

Estas grandes compañías emplean la automatización para poder llevar a cabo sus procesos. Una de las compañías que cultiva de manera vertical es Urban Crops Solutions ubicado en California, Estados Unidos. Esta compañía realiza la creación de sistemas agrícolas urbanos a los que ellos llaman como “indoors” debido a que mantienen una estructura de granja vertical completamente automatizada y usan una base de hidroponía para riego de las rúculas y lechugas. (Urban Crops Solutions, s. f.)

En la Figura 4.1 se puede notar las instalaciones de la compañía.



Figura 4.1 Instalaciones de Urban Crops Solutions (Urban Crop Solutions, s. f.)

Otra compañía innovadora en la automatización de cultivos verticales es AereoFarms (Figura 4.2) localizada en New Jersey, Estados Unidos, esta compañía basa su sistema de huerto vertical en un sistema de riego aeropónico para hidratar las raíces de las plantas con nutrientes, agua y oxígeno en un ciclo constante permitiéndoles usar 95% menos agua que en un sistema de riego tradicional y 40% menos que en un sistema hidropónico (AereoFarms, 2020).



Figura 4.2. Instalaciones de AereoFarms. (AeroFarms, 2020)

En Europa también se encuentra esta tendencia con países como Alemania e Italia, en ellos se encuentra NeoFarms (Figura 4.3), ellos se encargan de producir y vender minihuertos verticales automáticos al tamaño de un armario de cocina para utilizarse en lugares como supermercados, restaurantes y cocinas en general.



Figura 4.3 Producto de NeoFarms. (neoFarms, 2020)

En Suecia en el 2012, por medio de la constructora Plantagon, se pensaba construir un edificio con una granja triangular en la ciudad de Linköping, donde las plantas viajarían desde el

último piso hasta el primero facilitando la recolección, la idea estaba para vender los alimentos cultivados en la ciudad, sino que también alquilaría espacios para oficina. El proyecto no se lleva a cabo aún y está en espera de ser construido (Fletcher, 2012).



Figura 4.4 Torre Plantagon. (Dazne, 2012)

Hablando de proyectos en construcción, de acuerdo con CNN (2018) dice que, en Emiratos Árabes Unidos en el 2018, estaban por iniciar una planta de cultivos verticales de 130 mil pies cuadrados con la compañía CropOne, esperando utilizar 99% menos agua que en los campos de agricultura y producir más de 6000 libras de legumbres al día.



Figura 4.5. Instalaciones de CropOne. (Maniar, 2018)

Ya en un plano más cercano en Latinoamérica también existen proyectos de granjas verticales, un ejemplo de ellos está en Rio Hato, Panamá con Urban Farms para el cultivo de lechuga, aplicando la tecnología en respuesta a la afectación de la producción agrícola por el cambio climático. (Godoy, 2015)



Figura 4.6. Instalaciones de Urban Farms Panamá. (Garcinuño, 2016)

En cuanto a desarrollo sostenible, según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), entre las opciones que se deberá de tomar para la erradicación de la hambruna en el mundo es pasar de un modelo de agricultura industrial a un crecimiento urbano ecológico; siendo considerada hoy en día como una alternativa fiable para la producción de alimentos. (citado en Garcés Moreira, 2019).

4.1.1 Análisis del Microentorno

Honduras es un país bien dotado de tierras agrícolas, bosques y recursos marinos. Su territorio, de alrededor de 11,2 millones de hectáreas, está cubierto en su mayor parte por montañas boscosas. La tierra cultivable se estima en 1,8 millones de hectáreas, y los pastizales en más de 2,5 millones de hectáreas (Banco Mundial, 2001). Los sistemas de riego están relativamente poco desarrollados, y se estima que solamente el 15 por ciento de las tierras regables cuenta con riego. Honduras es el segundo país de la región en cuanto a la relación entre tierras cultivables y población (alrededor de 0,28 hectáreas por habitante). (Paz Cafferata, 2004)

La agricultura representó al año 2014, el 13.8% del PIB a precios constantes del año 2000. Ha reducido su participación entre el año 2000 al 2014 en 0.57%, asimismo, la participación relativa de otros sectores productivos se ha venido a la baja, es el caso de la industria y comercio que para este mismo período su reducción ha sido de 1.26% y 2.49%, respectivamente. El crecimiento del sector agrícola fue en el 2014 del 2.7%. En el decenio 2005 -2014 creció el sector a una tasa anual promedio de 1.35%, la cual es inferior al crecimiento promedio del PIB que fue de 3.8%. En el decenio hubo alzas y contracciones muy importantes; las primeras debidas a precios internacionales favorables, y las segundas, a las vulnerabilidades a que está expuesta la actividad, y, por último, la crisis política interna del año 2009. (FAO, 2016)

Honduras es un país donde una gran parte de la población se dedica a la agricultura y muchas veces de ella de manera informal, en la actualidad Honduras cuenta con 300 mil familias campesinas, por lo que en Honduras hay capacidad para que cada familia pueda cultivar 13 manzanas de tierra. Sin embargo, 100 mil familias (180 mil trabajadores) o el 33% de la población campesina no tiene acceso a la tierra mientras que solo se utiliza un 50 % de ellas.

La agricultura en Honduras está siendo afectada por el cambio climático, este representa una seria amenaza para las sociedades centroamericanas por sus múltiples impactos previstos en la población y en los sectores productivos. En términos fiscales constituye un pasivo público contingente que afectará las finanzas públicas de los gobiernos por varias generaciones. Se estima que para 2030 Centroamérica aún producirá menos de 0,5% de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) del planeta, pero al mismo tiempo ya es una de las regiones más vulnerables ante los embates del cambio climático. El incremento de la temperatura atmosférica y del mar, la reducción y la inestabilidad del régimen de lluvias y el aumento del nivel del mar, aunado a la intensificación de los fenómenos meteorológicos extremos como las sequías, los huracanes y las inundaciones impactarán en la producción, la infraestructura, los medios de vida, la salud y la seguridad de la población, además de que debilitarán la capacidad del ambiente para proveer recursos y servicios vitales. (Ordaz et al. 2010, p. 5)

En la actualidad en Honduras, la agricultura actualmente enfrenta muchas dificultades y uno de esos motivos es la poca modernización de la agricultura (Ortega Souza, s.f.), aplicando la tecnología en el sector agrícola ayudara a solventar muchos problemas. En algunas regiones del

país se han llevado innovaciones usando sistemas tecnológicos ayudando a mejorar la producción.

4.1.2.1 Marco Legal.

Este proyecto se ampara en la Ley para la Modernización y Desarrollo del Sector Agrícola de la fecha de marzo 19, de 1992 con decreto número 31-92, en los cuales uno de los objetivos es fortalecer los servicios de generación y transferencia de tecnología a los productores y productoras, y promover la constitución y desarrollo de centros privados con esos propósitos.

En el artículo 15 establece que toda persona natural o jurídica podrá realizar actividades de investigación, producción, procesamiento o comercialización de semillas, con sujeción a las disposiciones legales vigentes. La Secretaría de Recursos Naturales establecerá y aplicará normas de calidad de las semillas producidas y comercializadas, también en el capítulo V, Generación y Transferencia de Energía, artículo 34, donde establece que la Secretaria de Recursos Naturales tendrá a cargo las actividades y servicios del Sector Público Agrícola, sobre generación y transferencia de tecnología a los productores y productoras, con el fin de lograr el desarrollo del agro y la seguridad.

También está el Artículo 347 de la Constitución de la República manda que “La producción agropecuaria debe orientarse preferentemente a la satisfacción de las necesidades alimentarias de la población hondureña, dentro de una política de abastecimiento adecuado y precios justos para el productor y el consumidor”.

Por otra parte, Honduras forma parte del Acuerdo de París Acuerdo de París [De la Convención Marco sobre el Cambio Climático] que pretenderá mantener el aumento de la temperatura global muy por debajo de los 2°C, aumentando la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promoviendo la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de carbono desde el 21/09/16.

4.1.3 Análisis Interno

Debido a que a través de los años la población de las zonas rurales se está trasladando a las zonas urbanas como San Pedro Sula, un desarrollo de cultivos verticales en las principales ciudades ayudará en gran manera a solventar problemas como el acceso a alimentos, por ello

existe una gran oportunidad ya que es un área muy poco explorada ya que no se encuentra proyectos de este tipo para producir alimentos a gran escala.

Solamente se conoce el caso de un hondureño que realiza un emprendimiento de cultivo verticales para la lechuga escarola en un invernadero vertical diseñado por su cuenta y tiene una extensión de 100 metros cuadrados, que tiene capacidad de insertar 56 unidades por columna de las cuales obtiene 8,000 hortalizas mensuales (La Tribuna, 2017).

4.2 Teorías

La teoría de sustento para este proyecto se basa en los beneficios demostrados que se obtienen con los cultivos verticales y a través de estos potenciarlos al utilizar la electrónica para obtener mejores resultados.

4.2.1 Teorías de Sustento

Radstad (2018) afirma:

Se estima que para el año 2050 la población mundial alcance los 10.000 millones de personas y un 70% viva en entornos urbanos. Estos datos cobran mayor importancia si tenemos en cuenta que según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), muchos hogares destinan entre un 60 y un 80% de los recursos económicos a los alimentos. Esta realidad abre un debate que gira en torno a buscar alternativas sostenibles que sean capaces de alimentar a toda la población.

La opción que más resuena entre los medios de comunicación, gracias en parte por el interés que ha mostrado Silicon Valley a la hora de desarrollar tecnologías de precisión agrícola, es la agricultura vertical, un término acuñado por Gilbert Ellis Bailey en 1915 en un libro donde definió los primeros métodos de este innovador sistema, y lo es por diversos motivos:

1. La superficie de terreno cultivable ha ido disminuyendo en favor de terrenos urbanos. La granja vertical economiza el espacio.
2. Las ciudades pueden servir para cultivar gracias al uso de tecnologías como la hidroponía o aeroponía para cultivar las plantas.
3. La producción se encuentra más cercana al punto de consumo.
4. Se maximiza la capacidad de crecimiento por volumen cúbico.
5. Se puede cultivar durante todo el año.

6. Existe una mejor eficiencia del uso del agua.
7. Hay una unión entre beneficio ecológico y un diseño atractivo.
8. Los huertos verticales presentan otros beneficios adicionales en el uso urbano cotidiano:
9. Disminuye la temperatura ambiente.
10. Aísla la contaminación acústica.
11. Mejora la calidad del aire gracias al proceso de la fotosíntesis y el aroma que desprenden los distintos tipos de cultivos.
12. Es de fácil mantenimiento.

4.2.1.1 Cultivos Hidropónicos y Aeropónicos

Radstad (2018) afirma:

Ambos tipos de cultivos encuentran su origen etimológico en el griego y el método que las unifica es la no utilización del sustrato, es decir, las raíces quedan suspendidas en el agua con la finalidad de reducir considerablemente la contaminación que produce en el medio ambiente la producción agropecuaria que, según la FAO, es una de las principales fuentes de contaminación del agua por el uso de nitratos, fosfatos y plaguicidas, además de contribuir en la emisión de gases responsables del efecto invernadero.

Los cultivos hidropónicos y aeropónicos se han visto potenciados para contrarrestar los efectos de los métodos tradicionales en agricultura sobre el planeta. Algunos de los beneficios se pueden resumir en que:

1. Su actividad no está sujeta a la meteorología, se puede cultivar en zonas cerradas con la temperatura adecuada
2. Permite obtener cosechas fuera de la estación correspondiente
3. No se necesita maquinaria agrícola
4. Permite una reducción considerable del gasto de agua
5. Son técnicas adaptables al espacio y los recursos.

4.2.1.2 El Futuro de los Huertos Verticales Urbanos

Los edificios de oficinas, centros comerciales o viviendas son los escenarios que albergarán las futuras granjas urbanas. Los patios comunales, azoteas e incluso plantas enteras servirán de invernaderos verticales automatizados para cultivar todo tipo de hortalizas, plantas o frutas. De esta forma, se pueden obtener los óptimos beneficios para el medio ambiente y la salud.

Además, los múltiples avances tecnológicos que se desarrollan son debido a la necesidad de encontrar el aspecto sostenible en todos los procesos que conlleva llevar a cabo un huerto vertical. Un primer paso se centra en reducir la energía utilizada en estos cultivos. Por ejemplo, Los sistemas OLED pueden aumentar hasta un 20% la eficiencia energética en comparación con los LED, el sistema más generalizado en estos proyectos. (Radstad, 2018)

Si el Big Data ya cobra especial protagonismo en las tendencias del futuro, la agricultura “indoor” tampoco escapa a sus beneficios. La automatización completa de estos cultivos facilita que las cosechas sean más homogéneas, que disminuya el desperdicio alimentario y permite que no se dependa de las condiciones externas: clima y temperatura, principalmente. (Radstad, 2018)

Y por último, un paso más hacia la automatización total, la introducción de los robots, la inteligencia artificial y realidad aumentada permitirán ofrecer una mejor asistencia a los productores. (Radstad, 2018)

En definitiva, la demanda de alimentos, la escasez de tierra cultivable y el cambio climático obligan al sector a adaptarse a un futuro más sostenible y la agricultura vertical es una de las opciones que resuena con más fuerza. (Radstad, 2018)

4.2.2 Conceptualizaciones

Por medio de estas conceptualizaciones se busca tener una idea clara de cada uno de los conceptos que intervienen en la formación del concepto general de un cultivo vertical automatizado.

4.2.2.1 Agricultura Urbana

De acuerdo con Ruaf Foundation (s.f.) dice que el término de agricultura urbana puede ser definido como el crecimiento de plantas y animales alrededor de la ciudad. Se distingue de la agricultura rural porque está integrada a la economía urbana y al sistema ecológico, está incrustada e interactúa con el ecosistema urbano. Sus lazos incluyen el uso de los residentes urbanos como trabajadores, el uso de recursos urbanos (como desperdicio orgánico como fertilizante y agua recolectada para riego), contacto directo con consumidores urbanos que impactan de gran manera a la ecología urbana, ser parte del sistema de comida urbana, competir por tierras de cultivo con otras funciones urbanas o ser influenciado por las políticas y planes urbanos, etc.

En cada ciudad, es posible dar una especificación más a fondo sobre agricultura urbana viendo las siguientes dimensiones:

1. Tipos de actores envueltos
2. Tipo de Locación
3. Tipos de productos producidos
4. Tipo de actividades económicas

En su estudio, Rodríguez Castillo (2012) dice que existen dos tipologías de Agricultura Urbana: La Peri Urbana y la Intra-Urbana, ambas compiten por recursos de tierra, agua, energía, mano de obra que podrían destinarse a otros fines para satisfacer las necesidades de su población.

- Peri Urbana: Estas están ubicadas en la periferia de la ciudad donde se cultiva, procesa y distribuye una diversidad de productos alimenticios.
- Intra-Urbana: Se designa a la agricultura realizada dentro de los límites de la ciudad.



Figura 4.7 Agricultura Peri Urbana. (Fernandez, 2014)

4.2.2.2 Granjas Verticales

“Dickson Despommier, profesor de microbiología en la Universidad de Columbia, desarrolló la idea de las granjas vertical en 1999. Estas básicamente consisten en edificios cuyo propósito es ser fábricas de alimentos” (Lainco, 2016).

Las granjas verticales son granjas pensadas para funcionar dentro de la ciudad, en edificios y terrazas preparados especialmente para soportar el cultivo (edificios inteligentes). No son más que un nuevo método para llevar a cabo el cultivo de vegetales de diversa índole en los que supondría, entre otras cosas, ahorrar el coste de dinero y combustible del transporte de dichos

alimentos del campo a las poblaciones urbanas. esta iniciativa plantea el llevar a cabo cultivos llamados hidropónicos (fuera del suelo natural), en áreas habilitadas para ello, dentro de edificios, donde, por ejemplo, se realizaría todo un amplio conjunto de actuaciones para favorecer la fotosíntesis. De esta forma, mediante luz artificial, basada en sistemas ecológicos como placas solares, se lograría que los mencionados productos crecieran sin ningún tipo de problema, permitiendo además buenas cosechas y gran productividad, además de poseer autoabastecimiento sobre los recursos energéticos e hidráulicos. (Lino Cortes et al. 2012).



Figura 4.8 Ejemplo de Granja Vertical. (IQ Latino, 2015)

Ramos Gonazalias (2015) afirma;

Una introducción a gran escala de esta tecnología permitiría multiplicar la superficie cultivable prácticamente sin gasto de superficie, lo que ocasionaría revertir varios campos a su estado natural. Además, los defensores del concepto argumentan que se reducirían de manera considerable los costos de transporte y logística por el hecho de que las granjas verticales estarían emplazadas en la cercanía directa de los consumidores.

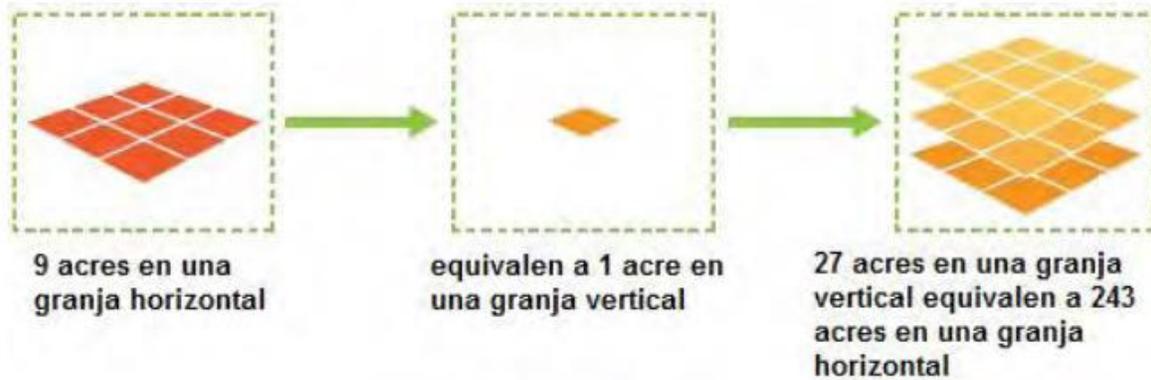


Figura 4.9 Comparación entre cultivo tradicional y cultivo vertical. (The theory behind the concept of vertical farming, 2014)

4.2.2.3 Cultivo Vertical.

Un cultivo vertical es una instalación vertical cubierta de plantas de diversas especies que son sembradas en una estructura especial dando la apariencia de ser un jardín. Las especies enraízan en compartimientos entre láminas de material fibroso anclado a la pared, el suministro de agua se provee entre las láminas, las bacterias en las raíces metabolizan las impurezas del aire tales como los compuestos orgánicos volátiles. (Laclette Cabañuelas, 2012)

“Facilita el cultivo de alimentos gracias al uso de tecnologías como la hidroponía o la aeroponía al tiempo que supone una ventaja a la hora de la organización, ya que la producción se encontraría más cercana al punto de consumo” (Futuro a Fondo, 2018).

Los edificios de oficinas, centros comerciales o viviendas son los escenarios que sirven de invernaderos verticales automatizados para cultivar todo tipo de hortalizas, plantas o frutas. Los cultivos verticales modernos están basados en la automatización y un ambiente controlado, incluyen uso de luces Leds, sensores de temperatura, sensores de humedad, una tarjeta electrónica, un sistema de enfriamiento, actuadores para riego, sensor de pH entre otros. (Futuro a Fondo, 2018)



Figura 4.10 Huerto Interior. (ABC, 2014)

4.2.2.4 Técnicas para el Crecimiento de plantas en un cultivo vertical: Hidroponía.

La hidroponía es una técnica para cultivar plantas sin tierra, al suministrar con el agua la cantidad mínima de alimento necesario para desarrollar cultivos sanos y altamente productivos en menores espacios. En este sistema el agua acarrea los nutrientes hasta la raíz de la planta, esto hace que las raíces no tengan que desarrollarse tanto puesto que no tienen que recorrer espacios en busca de alimento como sucede con los cultivos en tierra (Alpízar Antillón, 2004).

La hidroponía, ha sido muy usada para la investigación en el campo de la nutrición mineral de las plantas, además de ser hoy en día el método de producción hortícola más intensivo.

Generalmente este sistema de producción es de alta tecnología, con una fuerte inversión de capital, por lo cual es aplicada exitosamente en países desarrollados. Entre los sistemas existentes que destacan en la hidroponía están los sistemas de recirculación NFT (Técnica de la Película de Nutriente) y NGS (Nuevo Sistema de Crecimiento) y los sistemas donde el medio de cultivo es un sustrato. Los cultivos hidropónicos más rentables bajo estos sistemas hidropónicos son tomate, pepino, pimiento, lechuga, fresa y flores de corte. (Intagri, s.f.)

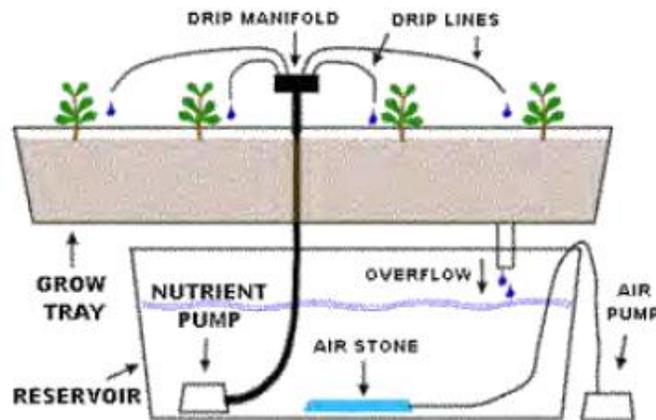


Figura 4,11 Fuente Hidropónica. (MIT, 2015)

4.2.2.4.1 Métodos Hidropónicos.

Intagri (s.f.) dice que el cultivo en agua por definición es el auténtico cultivo hidropónico, aunque bajo el concepto descrito para hidroponía se contemplan otros sistemas. Dependiendo del medio utilizado para el desarrollo de las raíces, los sistemas de cultivo sin suelo se pueden clasificar en tres grupos: 1) cultivos en agua (con solución nutritiva); 2) cultivos en aire (aeropónicos) y 3) cultivos en sustrato con solución nutritiva.

En este sistema se sumerge el sistema radical de las plantas en una solución nutritiva, la cual contiene los elementos nutritivos necesarios para su crecimiento. Dentro de los cultivos en solución nutritiva, se tienen distintos sistemas como se describen a continuación:

- Sistema NFT. Esta técnica consiste en crear una película recirculante de solución nutritiva dentro de tubos de PVC, lo cuales en sus extremos tienen tapas con pequeñas conexiones al final y al inicio para hacer recorrer el agua en todo el conjunto de tuberías que componen al sistema mediante una bomba, que se encuentra en el depósito donde se almacena la solución nutritiva. Los tubos de PVC tienen orificios en la parte superior, donde se colocan las plantas en cilindros de foami agrícola para NFT de tal manera que las raíces están en contacto con la película recirculante de la solución nutritiva.
- Raíz flotante. Este método utiliza un medio líquido para el crecimiento de los cultivos. En este sistema las raíces flotan dentro una solución nutritiva, pero las plantas están sostenidas

sobre una lámina ligera (la cual generalmente es de unicel), que se sostiene sobre la superficie del medio líquido.

- Sistema NGS. En este sistema las raíces se desarrollan en una solución nutritiva recirculante, distribuyendo agua, nutrientes y oxígeno de manera eficiente. Dicho sistema cuenta con distintas capas de polietileno en su interior, dispuestas de manera tal que la solución se va distribuyendo en ellas en forma de cascada. Dentro de estas mismas capas, las raíces van explorando sin restricción alguna hasta un agujero que les permite descender a las capas inferiores de la bolsa de polietileno, esto permite que el sistema se adapte a distintos cultivos.



Figura 4.12 Sistemas Hidropónicos: a) NFT; b) Raíz Flotante y c) NGS. (Intagri, 2017)

Cultivos aeropónicos. Este sistema consiste en colocar un cilindro de PVC u otros materiales en posición vertical, con perforaciones en las paredes laterales por donde se introducen las plantas al momento de realizar el trasplante. Las raíces crecen en la oscuridad y pasan la mayor parte del tiempo expuestas al aire. Por el interior del cilindro, una tubería distribuye de manera periódica la solución nutritiva a las raíces mediante pulverización a mediana o baja presión. Las plantas crecen bien en aeroponía debido a la excelente aireación de las raíces, dado que la concentración de oxígeno en el aire es 20 veces más elevada en relación a la concentración que existe disuelto en el agua. (Intagri, s.f.)



Figura 4.13 Cultivo Aeropónico. (Intagri, 2017)

4.2.2.4.2 Ventajas de la hidroponía

Ahorro de agua. A pesar de que el agua es la base para los cultivos, ella se utiliza de manera eficiente en la hidroponía. Esto ayuda a que no se desperdicie y a que incluso se pueda recircular. En el caso de la agricultura tradicional, el agua que se usa para el riego de las plantas no se utiliza al cien por ciento.

Hace posible producir en condiciones ambientales limitantes. La hidroponía permite cultivar en lugares donde hay condiciones ambientales limitantes tales como escasez de agua o falta de suelos aptos para cultivos.

No se usan herbicidas. En la hidroponía se elimina la necesidad de utilizar herbicidas ya que no hay tierra donde puedan crecer hierbas intrusas y con ello se ahorra dinero, tiempo y esfuerzo.

Cultivos de alta calidad. Puesto que la hidroponía te permite controlar con mayor precisión la cantidad de agua y nutrientes que se utilizan en los cultivos, esto redundará en productos de mayor calidad en comparación con aquellos cultivados en campo abierto.

Ahorro en abonos y fertilizantes. La hidroponía permite que ahorres en abonos y fertilizantes pues su tecnología está diseñada para distribuirlos de manera precisa. (Prfarmcredit, s.f.)

4.2.2.5 Variables y Parámetros que intervienen en el crecimiento de las Plantas.

Para el crecimiento integral de una planta incluyen muchos factores esenciales, entre ellos están el nivel de pH, agua, temperatura, humedad, la cantidad de luz recibida. Desarrollaré una

descripción de cada una de estas variables en general y cómo influyen en el crecimiento de las plantas.

4.2.2.5.1 Nivel de PH

La solución de nutrientes para hidroponía es el medio por el cual se nutre a las plantas. Pero a veces, a pesar de esto su crecimiento es deficiente o presenta indicios de estrés. Los motivos de que una planta no se desarrolle satisfactoriamente son muchos, pero uno de los principales es el pH de la solución. Las plantas absorben de manera natural los nutrientes a través de la raíz que está en contacto con la solución de hidroponía, sin embargo, si el pH de la solución no es el adecuado las raíces serán incapaces de adsorber los nutrientes requeridos.

(«Regulación pH», s. f.)

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. La escala de pH es logarítmica. El pH tiene una escala definida que va de 0 a 14 siendo las soluciones ácidas menor a un pH de 7 y las soluciones básicas las que tienen un pH mayor a 7. Por lo tanto, el valor intermedio de 7.0 sería para un pH neutro. (Shopkit, s. f.)

Las raíces pueden absorber determinados iones más fácilmente a determinados rangos de pH, unos mejor a rangos más básicos y otros más ácidos. Las plantas tienden a preferir pH ligeramente ácidos, aunque puede variar dependiendo de la planta.

Las plantas cultivadas en hidroponía tienen un nivel de pH óptimo diferente que las cultivadas en el suelo; por lo tanto, los agricultores sin tierra deben tener cuidado de no aplicar las recomendaciones de pH para los cultivos en el suelo a los que se cultivan en cultivos hidropónicos.

Para los cultivos hidropónicos más comúnmente cultivados, un rango de pH ideal es entre 5.5 y 6.5. Los productores comerciales a menudo usan un rango más estrecho de 5.8 a 6 para la mayoría de los cultivos cuando usan controladores automáticos que dosifican regularmente ácido en los sistemas de recirculación para mantener ese nivel preciso. (CultivoHidroponico, 2020)

El rango de pH ácido ideal para cultivos hidropónicos es importante, ya que afecta la solubilidad, disponibilidad y absorción de varios nutrientes esenciales para las plantas.

Como regla general, el pH de la solución de nutrientes debe ser monitoreado diariamente y la solución debe ser ajustada si es necesario usando tampones ácidos o alcalinos. Siempre es recomendado efectuar esta actividad a la misma hora del día y si es posible a la misma temperatura, ya que el pH de la solución puede fluctuar dramáticamente con luz o con variaciones de temperatura durante el transcurso del día. Una intensa fotosintética actividad durante las horas de luz causa incremento del pH y al anochecer, cuando el proceso de fotosíntesis cesa, una intensa respiración de la planta causa que el pH caiga. (Ramos Gonzalias, 2015).



Figura 4.14 Escala pH. (EPA.gov, s. f.)

4.2.2.5.2 Temperatura

La temperatura es una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general, medida por un termómetro. Dicha energía interna se expresa en términos de calor y frío, siendo el primero asociado con una temperatura más alta, mientras que el frío se asocia con una temperatura más baja. Las unidades de medida de temperatura son los grados Celsius (°C), los grados Fahrenheit (°F) y los grados Kelvin (K). El cero absoluto (0 K) corresponde a -273,15 °C. (*Significado de Temperatura*, s. f.)

La temperatura es un elemento esencial en el cultivo y desarrollo de las plantas, influye en el crecimiento de la planta y la productividad de las cosechas, también afecta a la planta tanto a corto como a largo plazo.

La temperatura de la planta y la del ambiente no son iguales porque las plantas son capaces de enfriarse por evaporación y de calentarse por irradiación. Las plantas buscan alcanzar su temperatura óptima, para lo que es muy importante que exista un equilibrio entre la temperatura ambiental, la humedad relativa y la luz. Si los niveles de luz son altos la planta se calentará demasiado, produciéndose una diferencia entre la temperatura ambiental y la de la planta. Para enfriarse, el índice de transpiración de la planta deberá aumentar. Al igual que ocurre con la temperatura, el índice de transpiración depende de condiciones medioambientales como la luz, el nivel de CO₂ en la atmósfera y la humedad relativa, pero también de la especie de la planta. (CANNA, s. f.)

Al incrementarse la temperatura en el ambiente, aumenta el metabolismo de las plantas de manera significativa. Debido a esto, se requiere un mayor suministro de insumos para la planta: más agua de riego y nutrientes minerales (nitrógeno, fósforo, potasio, etcétera). Si las temperaturas son excesivamente cálidas, la formación y llenado de frutos se acelerará demasiado y podrá afectar los rendimientos. (Seminis, 2017)

La exposición de las plantas a temperaturas extremas limitará la habilidad de la planta de producir frutos debido a la interrupción del proceso de polinización. La magnitud de este impacto varía entre especies, sin embargo, hay un impacto negativo consistente en ellas. Un aspecto de las temperaturas altas, muchas veces pasadas por alto, es el efecto de eventos extremos en la demanda de vapor de agua de la atmósfera. Al graficar la saturación de presión de vapor (e^*) relativo a la temperatura se puede notar un incremento exponencial de e^* con la temperatura.

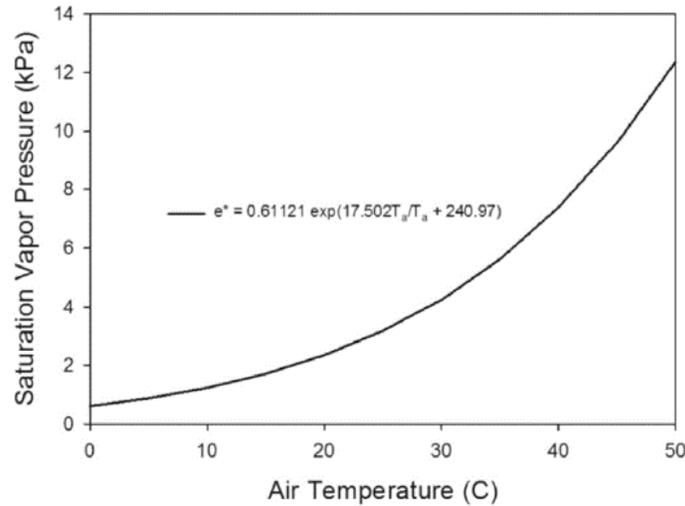


Figura 4.15 Saturación de presión de vapor relativa a la temperatura del aire mostrando el incremento exponencial en la saturación de presión de vapor con temperatura. (Hartfield et al, 2014)

La ecuación siguiente representa el balance de energía de una hoja:

$$S_t(1 - \alpha_l) + L_d - \varepsilon\sigma T_l^4 = \frac{pC_p(T_l - T_a)}{r_a} + \frac{pC_p(e^* - e_a)}{r(r_s + r_a)} \quad (1)$$

Donde:

S_t = radiación solar entrante (W m^{-2})

α_l = albedo de la hoja

L_d = longitud de onda de radiación entrante (W m^{-2})

ε = emisividad de la hoja o pabellón

σ = constante de Stefan-Boltzmann

T_l = temperatura de la hoja o pabellón

r_a = conductancia aerodinámica (m s^{-1})

r_s = conductancia del pabellón

Entonces se puede ver como al cambiar e^* podría afectar el balance de energía. (Hartfield et al, 2014).

“La acelga necesita una temperatura templada para su desarrollo (mínimo de 6° C – media de 15° – 25° C – máximo de 27° a 33° C) y es susceptible a cambios bruscos de temperatura, se debe sembrar desde principios hasta mediados de la primavera” (ecohortum, 2013).

4.2.2.5.3 Humedad.

Es la cantidad de vapor de agua en el aire, en su estado gaseoso, esta es invisible e indica, la probabilidad de precipitación, niebla o rocío. Existen tres principales mediciones de humedad, estas son: absoluta, relativa y específica. Para el desarrollo del sistema para control y control con el correcto funcionamiento fisiológico del cultivo, se usará la humedad relativa.

Gutierrez (2019) dice:

Humedad Relativa (RH). Se conoce a la relación porcentual entre la verdadera cantidad de vapor de agua que hay en el aire y la que se necesitaría para que se sature a igual temperatura. Para la mayoría de los cultivos de la gama aceptable de humedad relativa está entre el 50% - 80%. Sin embargo, para el trabajo de propagación de plantas, humedades relativas hasta 90% pueden ser deseable.

La humedad es importante para que la fotosíntesis sea posible. La temperatura de una planta en un día soleado se regula principalmente mediante la refrigeración a través de la evaporación de agua. La evaporación de agua puede evacuar gran parte del calor de la planta. Unos estomas abiertos garantizan la evacuación de una gran parte del calor. Si los estomas se cierran, la temperatura de la planta subirá rápidamente.

Para que la fotosíntesis sea posible, los estomas deben estar abiertos y permitir la absorción de CO₂. Si puede mantener los estomas abiertos, la fotosíntesis podrá llevarse a cabo con poca intensidad de luz. Si los estomas están cerrados debido a que la intensidad de luz es alta, no se producirá la fotosíntesis. Evidentemente, si se mantienen los estomas abiertos con la intensidad de luz óptima, la fotosíntesis se llevará a cabo al máximo. (Anthura, 2016).



Figura 4.16 Humedad relativa en los cultivos en un invernadero. (Fabricantes de Invernaderos y Sistemas de Riego, s. f.)

4.2.2.5.4 Luz.

La energía lumínica es un factor importante para el crecimiento de las plantas. En regiones donde la fuente de luz natural (radiación solar) no es suficiente para optimizar el crecimiento, se están utilizando fuentes de luz adicionales. Las fuentes de luz tradicionales, como las lámparas de sodio de alta presión y otras lámparas de halogenuros metálicos, no son muy eficientes y generan un calor radiante elevado. (Singh et al, s.f.)

Winter Green Research, (2014) menciona que en la actualidad la tecnología de los dispositivos LED ha avanzado rápidamente en diferentes campos de las ciencias aplicadas ya que permiten la producción de luz brillante y de larga duración. Para los cultivos en interiores emiten sólo las longitudes de onda de luz correspondientes a valores propios y cercanos a los picos de absorción de los procesos fotoquímicos típicos de una planta que están entre 400 y 500 nanómetros (nm) y entre 600 y 700 nm, longitudes de onda que estimulan la germinación, crecimiento vegetativo, desarrollo y floración de las plantas por medio de sus pigmentos foto sensitivos.

“En comparación con otros tipos de luces de crecimiento, estos dispositivos para los cultivos en interiores son atractivos debido a que no requieren balastos y emiten mucho menos calor que cualquier sistema de iluminación”. (citado en Ramos Gonzalias et al, 2016).

La iluminación artificial para el crecimiento de las plantas funciona de tres maneras diferentes:

- Proporcionan toda la luz que la planta necesita para crecer.
- Complementan la luz natural, sobre todo en los meses de invierno, donde las horas de luz día son cortas.

- Aumentan el periodo de la luz día con el fin de disparar el crecimiento y la floración.

4.2.2.5.4.1 Relación entre la luz y el crecimiento de las plantas.

Las plantas requieren luz a través de toda su vida útil, desde la germinación hasta la floración y la producción de frutos y/o semillas. Así la luz es una onda electromagnética que viaja a través del espacio y existe como paquetes de energía discreta, llamada fotones. Esta puede ser medida de distintas formas, cada fotón tiene una longitud de onda específica y un nivel de energía como se describe a continuación. Tales variables que describen una medición de luz son: Foot-candles, lux, watts, $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ y $\text{mol}/\text{m}^2/\text{day}$.

$$E = (h * c) / \lambda \quad (2)$$

Donde:

E= Energía de cada fotón expresada en J (Julio)

h = Constante de plank: $6,63 \times 10^{-34}$ J·s

c = Velocidad de la luz: $3,0 \times 10^8$ m/s

λ = longitud de onda, expresada en metros.

Así, la energía que es suministrada por cada fotón desde un sistema de iluminación artificial LED particular a las plantas es de:

Longitud de onda – Color Azul 458: $434,279 \times 10^{-21}$ J

Longitud de onda – Color Rojo 656: $303,201 \times 10^{-21}$ J

Lo que indica que el dispositivo LED de 458 nm (color azul), es mucho más energético que el de 656 nm (color rojo). Por este y otros motivos, las fuentes de iluminación LED para cultivos en interiores implementan menos dispositivos de este tipo en sus sistemas.

“Existen 3 parámetros de luz de crecimiento comúnmente usados: calidad, cantidad y duración. Todos estos parámetros tienen diferentes efectos sobre el desarrollo de las plantas y se presentan a continuación” (Singh et al. 2014).

4.2.2.5.4.1.1 Cantidad de luz

Es el número de partículas llamadas fotones y principal parámetro que afecta la fotosíntesis, una reacción fotoquímica dentro de los cloroplastos de las células de las plantas en el que la

energía lumínica se utiliza para convertir el CO₂ atmosférico en carbohidratos, de aquí se desprenden dos variables, la intensidad de luz y la luz total diaria, comúnmente conocida como Daily light integral o (DLI). (Singh et al. 2014)

4.2.2.5.4.1.2 Intensidad de luz

Es la cantidad de luz instantánea que reciben las plantas, expresada comúnmente en foot-candles, watts y lux. Luz total diaria. Es una medición de la cantidad de luz recibida por las plantas durante un día en un área particular, expresada comúnmente por los investigadores en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ o $\text{mol/m}^2/\text{día}$.

4.2.2.5.4.1.3 Calidad de luz

Se refiere a la distribución espectral de la radiación, donde la porción de emisión está en azul, verde, rojo, y otra región visible e invisible de longitud de onda. Para la fotosíntesis, las plantas responden más fuerte a la luz roja y azul. La distribución espectral de la luz también afecta la forma, desarrollo y floración (foto morfogénesis). (Singh et al. 2014)

Entre 400 y 520 nm, rango de longitud de onda correspondiente al espectro visible, comprendido por luz violeta, azul y verde. Tiene una fuerte influencia sobre el crecimiento vegetativo y la fotosíntesis.

Entre 520 y 610 nm, rango de longitud de onda correspondiente al espectro visible, comprendido por luz verde, amarilla y naranja. Tiene una poca influencia sobre el crecimiento vegetativo y la fotosíntesis. Es por este motivo que las plantas son verdes, ya que estas reflejan este rango de luz y no son absorbidas.

Entre 610 y 720 nm, rango de longitud de onda correspondiente al espectro visible, comprendido por luz roja. Tiene una fuerte influencia sobre el crecimiento vegetativo, la fotosíntesis, la floración y la germinación.

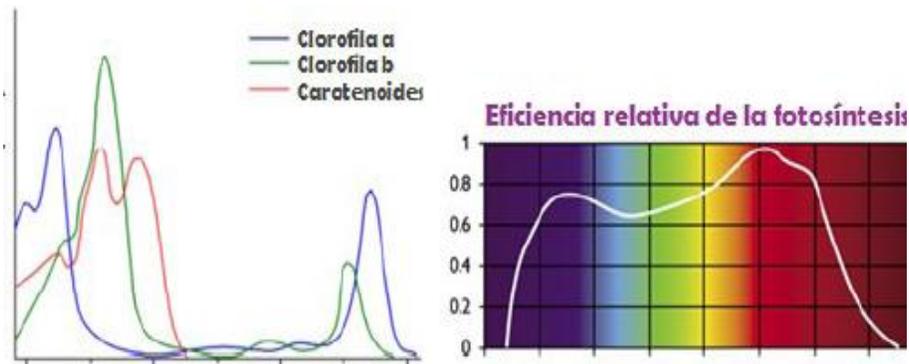


Figura 4.17 Fotosíntesis y longitudes de ondas efectivas. (MIT Technologies Reviews 2014).

4.2.2.5.4.2 Características esenciales del sistema de iluminación

Una de las características con que debe contar la fuente de luz es la longitud de onda adecuada. Como se mencionó anteriormente, las longitudes de onda efectivas para el proceso de la fotosíntesis están entre 400 y 500 nm y entre 600 y 700 nm, longitudes de onda que estimulan varias etapas del desarrollo de la planta por medio de sus pigmentos foto sensitivos, como se observa en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1

Absorción de longitudes de onda para los pigmentos foto sensitivos. (Ramos Gonzalias, 2015).

Longitudes de ondas absorbidas por los pigmentos foto sensitivos de las plantas							
Pigmentos de las plantas	UV	Azul	Verde	Amarillo	Naranja	Rojo	Rojo Profundo
Longitud de onda (nm)	200-400	400-495	495-570	570-590	590-620	620-710	710-850
Clorofila A		X				X	
Clorofila B		X				X	
Carotenoides		X					
Criptocromos	X	X					
Fototropinas	X	X					
Fitocromo rojo						X	
Fitocromo rojo profundo							X
Todos los pigmentos	X	X				X	X

4.2.2.6 Características de la lechuga y la acelga.

En este apartado se dará una pequeña introducción a las características de la lechuga y la acelga que serán los alimentos que se cultivarán en mi proyecto de cultivo vertical.

4.2.2.6.1 La lechuga



Figura 4.18 Lechuga (Infoagro Systems, s.f)

Las características de la lechuga son las siguientes:

4.2.2.6.1.1 Origen

El cultivo de esta planta está dado hace 2500 años por medio de los griegos y romanos, cuyos tipos eran las lechugas de hojas sueltas y las acogolladas en Europa.

4.2.2.6.1.2 Taxonomía y morfología

La lechuga es una planta anual y autógena, perteneciente a la familia Compositae y cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa* L.

1. Raíz: No sobrepasa los 25 cm de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones.
2. Hojas: Están colocadas en roseta, desplegadas al principio. El borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado.
3. Tallo: Es cilíndrico y ramificado.
4. Inflorescencia: Son capítulos florales amarillos dispuestos en racimos o corimbos.
5. Semillas: Están provistas de un vilano plumoso.

4.2.2.6.1.3 Características de variables para su cultivo

Las variables de temperatura, humedad y suelo son:

4.2.2.6.1.3.1 Temperatura.

La temperatura óptima de germinación oscila entre 18-20°C. Durante la fase de crecimiento del cultivo se requieren temperaturas entre 14-18°C por el día y 5-8°C por la noche, pues la lechuga exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche. Durante el acogollado se requieren temperaturas en torno a los 12°C por el día y 3-5°C por la noche.

(Infoagro, s. f.)

“Este cultivo soporta peor las temperaturas elevadas que las bajas, ya que como temperatura máxima puede soportar hasta los 30 °C y como mínima temperaturas de hasta –6 °C” (Infoagro, s. f.).

“Cuando la lechuga soporta temperaturas bajas durante algún tiempo, sus hojas toman una coloración rojiza, que se puede confundir con alguna carencia” (Infoagro, s. f.).

4.2.2.6.1.3.2 Humedad relativa.

El sistema radicular de la lechuga es muy reducido en comparación con la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad y soporta mal un periodo de sequía, aunque éste sea muy breve.

La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80%, aunque en determinados momentos agradece menos del 60%. Los problemas que presenta este cultivo en invernadero es que se incrementa la humedad ambiental, por lo que se recomienda su cultivo al aire libre, cuando las condiciones climatológicas lo permitan. (Infoagro, s. f.)

4.2.2.6.1.3.3 Suelo

“Los suelos preferidos por la lechuga son los ligeros, arenoso-limosos, con buen drenaje, situando el pH óptimo entre 6,7 y 7,4. En los suelos humíferos, la lechuga vegeta bien, pero si son excesivamente ácidos será necesario encalar” (Infoagro, s. f.).

“Este cultivo, en ningún caso admite la sequía, aunque la superficie del suelo es conveniente que esté seca para evitar en todo lo posible la aparición de podredumbres de cuello” (Infoagro, s. f.).

4.2.2.6.2 *La acelga*



Figura 4.19 Acelga. (Infoagro Systems, s. f.)

Las características de la acelga son las siguientes:

4.2.2.6.2.1 *Origen*

Los primeros informes que se tienen de esta hortaliza la ubican en la región del Mediterráneo y en las Islas Canarias (Vavilov, 1951). Aristóteles hace mención de la acelga en el siglo IV a.C.

La acelga ha sido considerada como alimento básico de la nutrición humana durante mucho tiempo.

4.2.2.6.2.2 *Taxonomía y morfología*

1. Familia: Quenopodiaceae.
2. Especie: *Beta vulgaris* L. var. *cicla* (L.).
3. Planta: la acelga es una planta bianual y de ciclo largo que no forma raíz o fruto comestible.
4. Sistema radicular: raíz bastante profunda y fibrosa.
5. Hojas: constituyen la parte comestible y son grandes de forma oval tirando hacia acorazonada; tiene un pecíolo o penca ancho y largo, que se prolonga en el limbo; el color varía, según variedades, entre verde oscuro fuerte y verde claro. Los pecíolos pueden ser de color crema o blancos.
6. Flores: para que se presente la floración necesita pasar por un período de temperaturas bajas. El vástago floral alcanza una altura promedio de 1.20 m. La inflorescencia está compuesta por una larga panícula. Las flores son sésiles y hermafroditas pudiendo aparecer solas o en grupos de dos o tres. El cáliz es de color verdoso y está compuesto por 5 sépalos y 5 pétalos.

7. Fruto: las semillas son muy pequeñas y están encerradas en un pequeño fruto al que comúnmente se le llama semilla (realmente es un fruto), el que contiene de 3 a 4 semillas.

4.2.2.6.2.3 Características de variables para su cultivo

Las variables de temperatura, luminosidad y suelo son:

4.2.2.6.1.3.1 Temperatura.

La acelga es una planta de clima templado, que vegeta bien con temperaturas medias; le perjudica bastante los cambios bruscos de temperatura. Las variaciones bruscas de temperatura, cuando las bajas siguen a las elevadas, pueden hacer que se inicie el segundo periodo de desarrollo, subiéndose a flor la planta. (Infoagro, s. f.)

La planta se hiela cuando las temperaturas son menores de -5°C y detiene su desarrollo cuando las temperaturas bajan de 5°C . En el desarrollo vegetativo las temperaturas están comprendidas entre un mínimo de 6°C y un máximo de 27 a 33°C , con un medio óptimo entre 15 y 25°C . Las temperaturas de germinación están entre 5°C de mínima y 30 a 35°C de máxima, con un óptimo entre 18 y 22°C . (Infoagro, s. f.)

4.2.2.6.1.3.2 Luminosidad

“No requiere excesiva luz, perjudicándole cuando ésta es elevada, si va acompañada de un aumento de la temperatura. La humedad relativa está comprendida entre el 60 y 90% en cultivos en invernadero” (Infoagro, s. f.).

“En algunas regiones tropicales y subtropicales se desarrolla bien, siempre y cuando esté en zonas altas y puede comportarse como perenne debido a la ausencia de invierno marcado en estas regiones” (Infoagro, s. f.).

4.2.2.6.1.3.3 Suelo

“La acelga necesita suelos de consistencia media; vegeta mejor cuando la textura tiende a arcillosa que cuando es arenosa. Requiere suelos profundos, permeables, con gran poder de absorción y ricos en materia orgánica en estado de humificación” (Infoagro, s. f.).

“Es un cultivo que soporta muy bien la salinidad del suelo, resistiendo bien a cloruros y sulfatos, pero no tanto al carbonato sódico. Requiere suelos algo alcalinos, con un pH óptimo de

7,2; vegetando en buenas condiciones en los comprendidos entre 5,5 y 8; no tolerando los suelos ácidos” (Infoagro, s. f.).

4.2.2.7 Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado que en su interior contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), puertos de entrada y salida y periféricos. Estas partes están interconectadas dentro del microcontrolador, y en conjunto forman lo que se le conoce como microcomputadora. Se puede decir con toda propiedad que un microcontrolador es una microcomputadora completa encapsulada en un circuito integrado. (Talavera, s. f.)

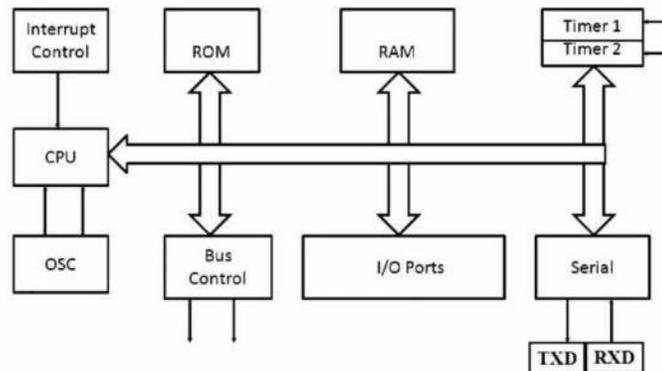


Figura 4.20 Diagrama de un microcontrolador. (Descubrearduino, 2019)

Un microcontrolador consiste en una serie de módulos fijos que son comunes a todos los modelos, mientras que algunos son extensiones que cubren un determinado rango de precios o aplicación.

A continuación, se enumeran los componentes más comunes:

1. Unidad de proceso: CPU
2. Memoria de datos: RAM y EEPROM
3. Memoria de programas: ROM, EPROM, FLASH
4. Oscilador interno o externo
5. Puertos de E/S y GPIO configurables
6. Controlador DMA
7. Contadores y temporizadores
8. Gestión de interrupciones

9. Módulos de comunicación: USART, I2C, SPI, USB, Ethernet, IrDA, CAN, Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth.
10. Interfaces de tecnología analógica o mixta Interfaces de visualización y control (LCD, sensor táctil).

Gracias a las funciones de control y a la amplia gama de controles disponibles, tanto a nivel analógico como digital, es posible utilizar MCUs en lugar de las tradicionales tarjetas electrónicas cableadas, que son más caras y complejas. La CPU es el cerebro de cualquier dispositivo de procesamiento.

El bloque Interrupción es una subrutina que interrumpe la operación principal del microcontrolador para ejecutar algún otro programa. El Bus es un conjunto de cables que funcionan como un canal de comunicación o medio para transferir datos y señales de control. Los temporizadores, por otro lado, se utilizan para medir los intervalos de tiempo utilizados en la sincronización de los dispositivos. Como todos los circuitos digitales, el microcontrolador es un dispositivo que requiere el reloj (OSC) para su funcionamiento. (Descubrearduino, 2019)

Existen tres grandes marcas de microcontroladores los cuales son: PIC de Microchip Technologies Inc, Freescale, Atmel entre otros.

4.2.2.7.1 PIC de Microchip Technologies Inc

Un PIC es un circuito integrado programable (Programmable Integrated Circuited), el cual contiene todos los componentes para poder realizar y controlar una tarea, por lo que se denomina como un microcontrolador. Los PIC son una familia de microcontroladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument.

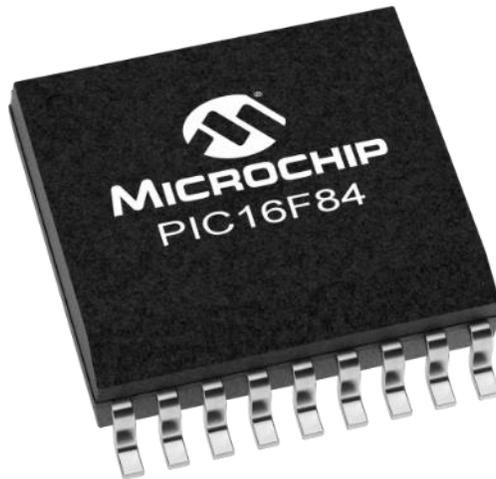


Figura 4.21 PIC16F84 de MicroChip (Microchip, s. f.)

La arquitectura del PIC es sumamente minimalista. Está caracterizada por un área de código y de datos separadas (Arquitectura Harvard) y un reducido número de instrucciones de longitud fija.

Todas las posiciones de la RAM funcionan como registros de origen y/o de destino de operaciones matemáticas y otras funciones. Una pila de hardware para almacenar instrucciones de regreso de funciones. Una relativamente pequeña cantidad de espacio de datos direccionable (típicamente, 256 bytes), extensible a través de manipulación de bancos de memoria.

El espacio de datos está relacionado con el CPU, puertos, y los registros de los periféricos. El contador de programa está también relacionado dentro del espacio de datos, y es posible escribir en él (permitiendo saltos indirectos). No hay distinción entre los espacios de memoria y los espacios de registros, ya que la RAM cumple ambas funciones, y esta es normalmente referida como "archivo de registros" o simplemente, registros. (Sphinx, 2015)

El tamaño de palabra de los microcontroladores PIC es fuente de muchas confusiones. Todos los PIC manejan datos en trozos de 8 bits, con lo que se deberían llamar microcontroladores de 8 bits. Pero a diferencia de la mayoría de las CPU, el PIC usa arquitectura Harvard, por lo que el tamaño de las instrucciones puede ser distinto del de la palabra de datos.

De hecho, las diferentes familias de PIC usan tamaños de instrucción distintos, lo que hace difícil comparar el tamaño del código del PIC con el de otros microcontroladores. Por ejemplo, un microcontrolador tiene 6144 bytes de memoria de programa: para un PIC de 12 bits esto significa 4096 palabras y para uno de 16 bits, 3072 palabras. (Sphinx, 2015)

4.2.2.7.1 Freescale Semiconductor Inc.

Es un fabricante estadounidense de semiconductores. Fue creado a partir de la división de semiconductores de Motorola en 2004. Su negocio se centraba en el mercado de los sistemas integrados y las comunicaciones. En 2015 Freescale fue adquirida por NXP Semiconductors.

Inicialmente en los años setenta Motorola lanzo al mercado el microprocesador de 8 bits 6800 con una arquitectura Von Neumann que intentaba competir con la arquitectura del microprocesador 8080 de Intel.

“Se dice que el nombre 6800 proviene de la cantidad aproximada de transistores usada para su fabricación. Podía correr a una velocidad máxima de 2MHz y tenía una capacidad de direccionamiento de memoria de hasta 64KB de RAM” (NR2 System, 2014).

“A partir de este diseño se crearon una serie de nuevos microprocesadores, la familia 680x que fueron utilizados en aplicaciones de control y de entretenimiento tales como las consolas de juegos de 8 bits” (NR2 System, 2014).

La evolución de esta familia de microprocesadores fue utilizada posteriormente como núcleo para los microcontroladores de 8 bits que se fabrican actualmente. Dado el enorme campo de aplicaciones de los dispositivos embebidos Freescale® ha lanzado varias líneas de productos cada una de ellas orientada a una aplicación en particular. (NR2 System, 2014)

4.2.2.7.2.1 Kinetis

El 26 de febrero de 2013, Freescale Semiconductor anunció la creación de un microcontrolador ARM denominado "Kinetis", contribuyendo a la iniciativa de chips en el Internet de las Cosas. El Kinetis KL02 mide 1.9 por 2 milímetros siendo una completa Unidad microcontroladora (MCU).

El procesador fue publicitado como ingerible; Freescale trabaja con clientes en salud y bienestar para ver si el chip puede controlar la salud interna o liberar fármacos y la medicina desde el interior del cuerpo; en la actualidad tanto la bomba de insulina OmniPod y Fitbit usan chips de Freescale.

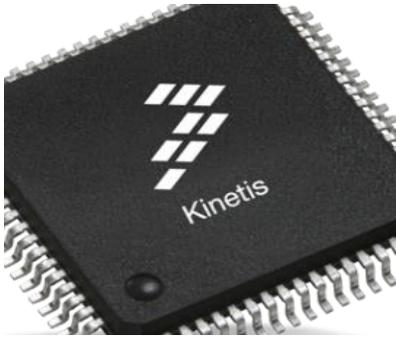


Figura 4.22 Microcontrolador Kinetis. (Mouser, 2020)

4.2.2.7.3 Atmel Corp.

Atmel Corp. era una compañía de semiconductores, antes de ser adquirida por Microchip Technology Inc. en 2016. Fue fundada en 1984. Su línea de productos incluye microcontroladores (incluyendo derivados del 8051, el AT91SAM basados en ARM, y sus arquitecturas propias AVR y AVR32), dispositivos de radiofrecuencia, memorias EEPROM y Flash, ASICs, WiMAX, y muchas otras. También tiene capacidad de ofrecer soluciones del tipo system on chip (SoC).

4.2.2.7.3.1 AVR

Los AVR son una familia de microcontroladores RISC del fabricante estadounidense Atmel, compañía adquirida por Microchip Technology en 2016. La arquitectura de los AVR fue concebida por dos estudiantes en el Norwegian Institute of Technology, y posteriormente refinada y desarrollada en Atmel Norway, la empresa subsidiaria de Atmel, fundada por los dos arquitectos del chip. («AVR», 2020)

Cuenta con bastantes aficionados debido a su diseño simple y la facilidad de programación. Se pueden dividir en los siguientes grupos:

“ATxmega: procesadores muy potentes con 16 a 384 kB de memoria flash programable, encapsulados de 44, 64 y 100 pines (A4, A3, A1), capacidad de DMA, eventos, criptografía y amplio conjunto de periféricos con DACs” («AVR», 2020).

“ATmega: microcontroladores AVR grandes con 4 a 256 kB de memoria flash programable, encapsulados de 28 a 100 pines, conjunto de instrucciones extendido (multiplicación y direccionamiento de programas mayores) y amplio conjunto de periféricos” («AVR», 2020).

“ATtiny: pequeños microcontroladores AVR con 0,5 a 8 kB de memoria flash programable, encapsulados de 6 a 20 pines y un limitado conjunto de periféricos” («AVR», 2020).

“Bajo el nombre AVR32, Atmel tiene una arquitectura RISC de 32 bits con soporte de DSP y SIMD. A pesar de la similitud de sus nombres y logotipos, las dos arquitecturas tienen poco en común” («AVR», 2020).

El AVR es una CPU de arquitectura Harvard. Tiene 32 registros de 8 bits. Algunas instrucciones sólo operan en un subconjunto de estos registros. La concatenación de los 32 registros, los registros de entrada/salida y la memoria de datos conforman un espacio de direcciones unificado, al cual se accede a través de operaciones de carga/almacenamiento. A diferencia de los microcontroladores PIC, el stack se ubica en este espacio de memoria unificado, y no está limitado a un tamaño fijo. («AVR», 2020)

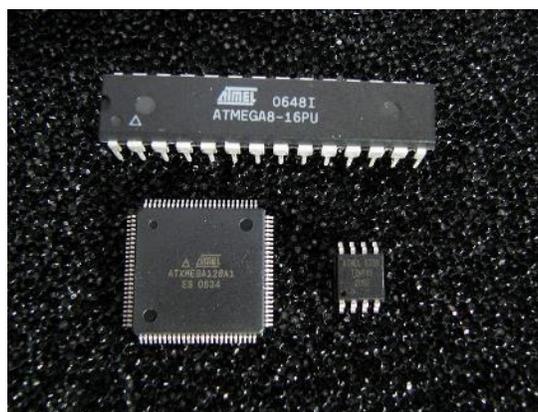


Figura 4.23 Microprocesador Atmega (Wiki, 2019)

Atmel sirve a los mercados de la electrónica de consumo, comunicaciones, computadores, redes, electrónica industrial, equipos médicos, automotriz, aeroespacial y militar. Es una industria líder en sistemas seguros, especialmente en el mercado de las tarjetas seguras.

4.2.2.8 Sensores usados en agricultura urbana

La medición de la humedad del suelo y la intensidad de luz son parámetros empleados en la gestión de los cultivos. Para determinar estos parámetros, se emplean muchos tipos de sensores.

El uso de sensores en procesos agrícolas ha tenido un gran crecimiento, la tecnología día a día desarrolla sistemas de censado capaces de conocer cada milímetro del cultivo, a su vez, dar a conocer a los agricultores datos fiables que pueden ser de gran ayuda para la toma de

decisiones; para aquello, existen sensores que son colocados dentro de la tierra, agua e incluso el aire, con la ayuda de drones. (Bongiovanni et al. 2006)

“Estas nuevas herramientas facilitan la toma de decisiones a los agricultores, mejoran el rendimiento, la eficiencia de los cultivos y aumentan el margen económico de los mismos al reducir costes innecesarios ligados a la ausencia de información agronómica de calidad” (PRISMAB, s. f.).

4.2.2.8.1 Redes de sensores

Se trata de una complementación de distintos tipos de sensores que dan al productor un análisis más completo de la situación de sus campos, resultando en, por ejemplo, un análisis de la calidad de la biomasa presente en los sembradíos, incluyendo sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Esta combinación de sensores puede obtener diferentes datos, desde lo básico como temperatura y humedad, hasta variables menos analizadas, pero igual de valiosas, como el nivel de dióxido de carbono y la presión barométrica.

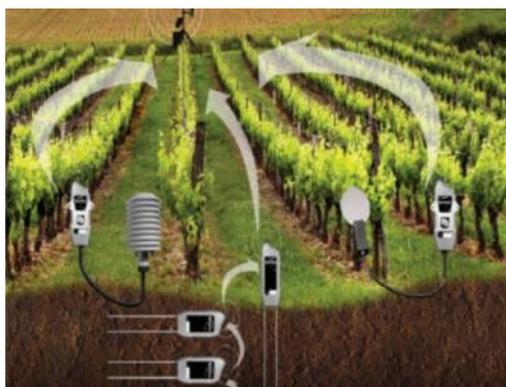


Figura 4.24 Ejemplo de Redes de Sensores. (iAgua, 2015)

Complementando las redes con un control automático de las diversas funciones en un campo, los sensores usados pueden manipular, entre muchas otras tareas, la presión del agua en los sistemas de riego, la dispersión de fertilizantes o pesticidas, el control de la temperatura, e incluso el nivel de luz de sol captada si es que se usa un método de cultivo protegido.

(Seminis, 2018)

Las Redes de Sensores están formadas por:

Un equipo remoto que consta de un circuito analógico y un sistema de comunicación, con alimentación autónoma (batería y placa solar) y al que se le acoplan diferentes sensores en función de las necesidades.

Los sensores, captan la información del entorno (temperatura, humedad ambiente, humedad suelo, radiación solar, pluviometría) y la transfieren al equipo remoto, el cual la envía a través de comunicación inalámbrica a un centro de control, que puede ser un ordenador u otro punto de comunicación, bien de forma directa o a través del resto de los equipos remotos distribuidos por la explotación.

“Con estas estructura podemos realizar un control remoto de determinados elementos de la explotación (apertura/cierre electroválvulas, riego...)” (iAgua, 2015).

4.2.2.8.2 Sensores de precisión:

4.2.2.8.2.1 Sensores de Humedad

Existen varios tipos de sensores de humedad en suelos agrícolas como los detectores del frente de humectación, los sensores de matriz granular, las sondas de neutrones o el radar de penetración en suelo, por su accesibilidad nos vamos a centrar en los dos tipos más comunes: Los sensores de contenido volumétrico de agua en el suelo (VWC) y los sensores de tensión matricial (Tensiómetros). (PRISMAB, s. f.)

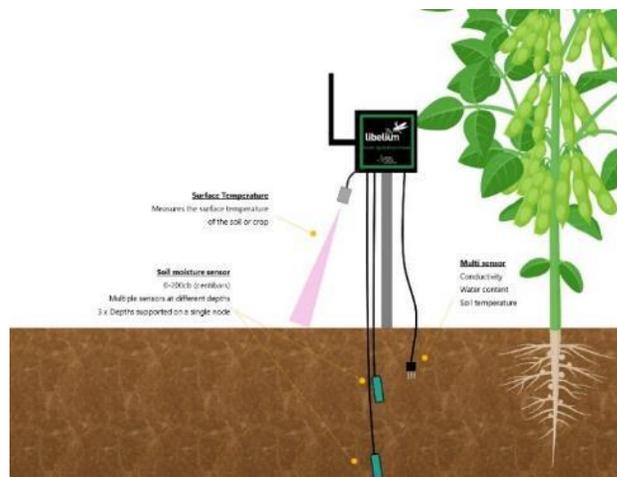


Figura 4.25 Sensor de Humedad (Manxtechgroup, 2019)

4.2.2.8.2.2 Sensores de Conductividad:

Estos sensores que habitualmente suelen ir ligados a los VWC por ser una información complementaria a los niveles de nutrientes disueltos en el agua y presentes en el suelo de cultivo. Existen dos tipos: los de conductividad en agua que suelen ir montados sobre las acometidas de riego y aportan información sobre la calidad y salinidad del agua de regadío y los de conductividad en suelo que suelen ir acoplados a los VWC y aportan información sobre la salinidad del suelo durante el riego y en sus fases posteriores sin aportación de agua.

La gran diferencia es que los sensores de conductividad en suelo indican el nivel de sales en el suelo independientemente de la salinidad del agua de regadío, mostrando un parámetro más fiable del comportamiento de las sales en el bulbo de raíz. Además, indica al agricultor la necesidad o no de hacer lavados del suelo por colmatación de sales que son perjudiciales para el rendimiento de la planta (generalmente) (PRISMAB, s. f.).



Figura 4.26 Sensor de Conductividad Eléctrica (Made-in-China, 2020)

4.2.2.8.2.3 Sensores de Temperatura:

Este tipo de sensores pueden ser de dos tipos, de ambiente o de suelo. Aportan una información relevante ya que muestran las condiciones de actividad del ciclo de la planta. La temperatura ambiente nos ayuda a obtener el nivel de evapotranspiración del cultivo mientras que la temperatura del suelo nos aporta datos sobre la temperatura del bulbo de raíz y su mayor o menor nivel de actividad productiva.

“Asociados a otros parámetros como la humedad relativa (de suelo o ambiente) nos aporta también información sobre apertura de ventanas que favorecen la aparición de plagas o enfermedades en los cultivos” (PRISMAB, s. f.).



Figura 4.27 Sonda para medir temperatura (AgriExpo, s. f.)

4.2.2.8.2.3 Sensores de PH:

“Instalados en profundidad, indican el nivel de acidez de los suelos de cultivo, permitiendo un mayor control sobre la capacidad de disolución de nutrientes en el suelo y la capacidad de absorción de las plantas” (PRISMAB, s. f.).



Figura 4.28 Sensor de Ph. (Amazon, 2020)

4.2.2.8.2.4 Sensores de Iluminación

Este tipo de sensores responden a los cambios de iluminación y al recibir luz producen señales de salida con respecto a la cantidad detectada, además con la ayuda de un transductor fotoeléctrico convierten la luz en una señal eléctrica. Uno de los elementos más usados son las fotorresistencias o también denominados Resistencia Dependiente de la Luz (LDR), son instrumentos que presentan una resistencia interna la cual varía dependiendo a la cantidad de luz que recibe, mientras más alta es la luz que incide sobre esta menor es la resistencia que presenta, y cuando la luz empieza a decrecer, su resistencia aumenta. En la figura número 14 se puede observar que la resistencia interna varía entre 50Ω y $1M\Omega$, si está se encuentra debajo de una luz muy brillante su valor es de 50Ω , y si está en total oscuridad, su valor es de $1 M\Omega$. (comofunciona, 2017)



Figura 4.29 LDR (Embajadores, s. f.)

CAPÍTULO V: METODOLOGÍA

La metodología de acuerdo con EcuRed (s.f.) es una parte del proceso investigativo que nos permite sistematizar los métodos y técnicas necesarias para poder completarlas. Según el método que escojamos, estos nos facilitan el descubrimientos de conocimientos seguros y confiables que nos puedan llevar a la solución de nuestros problemas planteados.

5.1 Congruencia Metodológica

La congruencia metodológica de esta investigación estará plasmada en la siguiente matriz metodológica, en la operacionalización de las variables y en la hipótesis.

5.1.1 Matriz Metodológica

La matriz metodológica que se va a emplear para este proyecto de investigación incluye:

Tabla 5.1

Matriz metodológica. (Elaboración Propia, 2020).

Preguntas	Objetivo	Hipótesis	Contenido	Instrumentos
¿Cómo diseñar un sistema de monitoreo y control para el cultivo de lechuga y acelga por medio de una tarjeta electrónica que controle y monitoree los niveles de humedad, temperatura, iluminación y riego en una estructura vertical cuya funcionalidad se	Diseñar un sistema de monitoreo y control para el cultivo de lechuga y acelga por medio de una tarjeta electrónica que controle y monitoree los niveles de humedad, temperatura, iluminación y riego en una estructura vertical cuya funcionalidad se puedan desarrollar en el	A través de este diseño se pueden controlar los parámetros necesarios para que el cultivo de hortalizas como la lechuga y la acelga puedan crecer en un ambiente controlado.	Estudio del cultivo de hortalizas, estudio de los parámetros que influyen más en sus cultivos y el rango ideal para que estos crezcan de manera íntegra.	Documentos, manuales, artículos web e investigaciones anteriores.

puedan desarrollar en el área urbana de San Pedro Sula?	área urbana de San Pedro Sula.			
¿Cuáles son las variables y parámetros que intervienen en el proceso de crecimiento de plantas comestibles en un cultivo vertical?	Determinar cuáles factores son los influyentes para un desarrollo óptimo de la lechuga y la acelga.	Al controlar estos parámetros influyentes una planta puede crecer en buen estado y en tiempo sin que sea afectada por factores externos y estos son temperatura, humedad, pH y luz.	Las variables por controlar para el óptimo desarrollo de hortalizas.	Información sobre los parámetros, investigaciones anteriores, artículos y blogs web.
¿Qué tipo de sensores y actuadores se podrán emplear para el riego e iluminación en el cultivo vertical?	Identificar los sensores y actuadores que se pueden utilizar en la creación de un sistema autónomo de monitoreo y control de cultivos verticales.	Los sensores por utilizar me permitirán obtener datos reales	El nivel y la precisión de sensado por parte de los sensores y la eficiencia de los actuadores.	Manuales de proveedores, hojas de especificaciones, estudio de consumos y ejemplos de aplicaciones.
¿La luz artificial LED permitirá que un cultivo de lechuga y acelga tenga un buen desarrollo versus la luz solar?	Determinar si la luz artificial LED permitirá que un cultivo de lechuga y acelga tenga un buen desarrollo en lugar de la luz natural.	Al utilizar luces led se pueden estimular el proceso de fotosíntesis y maximizar el crecimiento de las plantas.	Utilizaciones de luces led adecuadas en posiciones precisas para una iluminación de calidad.	Libros, manuales de proveedores, fichas técnicas.

¿Qué tipo de colores LED responden más las plantas para su proceso de fotosíntesis?	Investigar a qué tipo de colores LED responden más las plantas para su proceso de fotosíntesis.	Los colores rojo y azul brindan la longitud de onda adecuada que necesitan las plantas para la producción de clorofila.	Alternación de luces rojas y azules.	Investigaciones anteriores, publicaciones científicas, revistas.
¿Qué porcentaje de agua se podrá ahorrar usando un sistema hidropónico controlado por una tarjeta electrónica en comparación al consumo de agua en sistemas de riego tradicionales?	Elaborar un sistema de riego hidropónico que mantenga hidratado el cultivo y a su vez sea automático.	Al utilizar un sistema hidropónico se puede reducir de gran manera el consumo de agua en lugar de un sistema de riego tradicional.	La reducción del consumo de agua.	Manuales y artículos web.
¿Se podrán controlar de manera estable los factores externos como humedad y temperatura para que la lechuga y la acelga crezca y se desarrolle como en campo abierto?	Describir si al controlar de manera estable los factores externos como humedad y temperatura, la lechuga y la acelga crece y se desarrolla igual que en un campo abierto.	Al controlar estos factores, la lechuga y la acelga se reprodujo de mejor manera en un campo abierto.	Manuales de cultivo de la lechuga, libros, artículos y documentos.	A través del microcontrolador y los parámetros establecidos por el código de software.

5.1.2 Operacionalización de las variables

Las variables identificadas permitirán a controlar en un cultivo vertical nos permitirán una óptima producción alimentaria.

5.1.2.1 Variables Independientes

Las variables independientes son las mostradas en la siguiente tabla las cuales buscara el microcontrolador de controlar mediante un código.

Tabla 5.2

Operacionalización de las variables. (Elaboración Propia, 2020).

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Instrumento
Temperatura	Magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general, medida por un termómetro.	Se requieren temperaturas entre 14-18°C por el día y 5-8°C por la noche para la lechuga. Para la acelga, está comprendida en un mínimo de 6°C y un máximo de 27 a 33° C.	Cantidad de veces y el tiempo de encendido de los actuadores (ventiladoras) para disminuir la temperatura.	Sensor de temperatura DTH11.
Humedad	Es la cantidad de vapor de agua en el aire, en su estado gaseoso, esta es invisible e indica, la probabilidad de precipitación, niebla o rocío	La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80%. Para la acelga está comprendida entre el 60 y 90%	Número de veces que se riega la tierra para mantenerse hidratada y una humedad relativa aceptable.	Sensor de Humedad DTH11. Higrómetro FC-28.
Intensidad de luz	Es una medición de la cantidad de luz recibida por las plantas durante un día en un área particular.	Rango de longitud de onda 400-495 para el led azul y de 620-710 para el led rojo.	Tiempo de encendido de los leds para mantener un nivel de iluminación estable.	Sensor LDR.

pH	Es la medida de la acidez o alcalinidad de la solución de sustrato que contiene los nutrientes para el cultivo.	El pH óptimo entre 6,7 y 7,4 para la lechuga. El pH óptimo de 7,2; vegetando en buenas condiciones en los comprendidos entre 5,5 y 8 para el cultivo de acelga.	Detección de nivel de pH por medio del sensor y la acción ejecutada por el microcontrolador para restablecer el nivel aceptable.	Sensor de pH.
----	---	--	--	---------------

5.1.2.2 Variables Dependientes

La variable dependiente en este proyecto se podrá medir a través de qué tan eficiente y funcional es el sistema de automatización.

5.1.3 Hipótesis

A través de un sistema para monitoreo y control de cultivos verticales se puede desarrollar y ejecutar un modelo de huerto urbano cuyo habito se adapta a las condiciones necesarias para un desarrollo óptimo de la lechuga y acelga, buscando así tener un ambiente controlado en el cual se pueda aumentar o disminuir la intensidad de luz, ventilación, riego y mantener valores estables de humedad y temperatura, que ofrezcan al cultivo un entorno conforme a su crecimiento.

Ya que es un sistema controlado en un espacio urbano y cerrado, demuestra notoriamente una reducción de tierra para siembra, espacio para cultivar, reducción en el consumo de agua y al ser automatizado también reduce la asistencia humana para el crecimiento de la lechuga y acelga.

5.2 Enfoque y métodos

Para realizar este proyecto de investigación se decidió utilizar un enfoque mixto que según Chen (2006) los define como la integración sistemática de los métodos cuantitativo y cualitativo en un solo estudio con el fin de obtener un panorama completo del fenómeno en estudio, y señala que éstos pueden ser conjuntados de tal manera que las aproximaciones cuantitativa y cualitativa conserven sus estructuras y procedimientos originales.

Al utilizar ambos enfoques podemos tener un sentido más amplio y al usar evidencia numérica entre otros se pueden responder las preguntas investigativas y al estudiar las variables de los fenómenos la investigación se hace descriptiva.

5.3 Diseño de la investigación

Para la presente investigación no se tomará una población de análisis por lo tanto no se podrá tener una muestra para el estudio.

5.4 Técnicas e instrumentos aplicados

“Una técnica es un conjunto de instrumentos y medios a través de los cuales se efectúa el método”. (Pereda, 2017)

En este apartado se definirán el concepto de las técnicas e instrumentos aplicados para el desarrollo del proyecto.

5.4.1 Técnicas aplicadas

Las técnicas aplicadas en este proyecto son el análisis de datos, la estimación mediante software y la revisión de investigaciones de estudios previos.

5.4.2 Instrumentos aplicados

“Un instrumento de medición es un recuso que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que tiene en mente”. (Hernández Sampieri & Fernández Coallo, 2014, pág. 199)

Los instrumentos aplicados para en este proyecto es el uso de software como ser Arduino y Proteus para realizar el código que utilizara el microcontrolador y también el diseño y conexión del circuito principal.

También tenemos los sensores que se conectaran al programa principal para realizar la lectura de las variables a controlar y así activara los distintos actuadores para mantener el sistema automatizado activo y andante.

5.5 Fuentes de información

Las fuentes de información de acuerdo con EcuRed (s.f.) son los “diversos tipos de documentos que contienen datos útiles para satisfacer una demanda de información o conocimiento”. Para esta proyecto de investigación tenemos dos tipos de fuentes las cuales son las siguientes:

5.5.1 Fuentes primarias

“Las fuentes primarias proporcionan datos de primera mano, pues se trata de documentos que incluyen los resultados de los estudios correspondientes” (Sampieri et al, 2014, p 61).

La fuente primaria utilizado para realizar este proyecto es el libro publicado por los autores Toyoki Kozai, Genhua Niu, Michiko Takagaki titulado “Plant Factory: an Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production”.

Así como también el libro “The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century” por el Dr. Dickson Despommier publicado el año 2010.

5.5.2 Fuentes secundarias

Según UAH (s.f.) las fuentes secundarias “contienen información organizada, elaborada, producto de análisis, extracción o reorganización que refiere a documentos primarios originales”.

Las fuentes secundarias utilizadas en esta investigación para concretar la información fueron otros libros, artículos científicos, páginas de internet, foros, blogs e investigaciones anteriores.

5.6 Limitantes del Proyecto

Las limitantes al hacer el proyecto durante este periodo universitario fueron las siguientes:

- La pandemia mundial del SARS-CoV-2 (COVID-19) que comenzó desde principios del mes de marzo y nos ha conllevado a la cuarentena desde entonces.
- No encontrar datos en Honduras, de proyectos de cultivo vertical llevados a cabo
- Tiempo limitado para una búsqueda a profundidad debido a que también trabajo.
- La duración del periodo universitario ya que se debe concluir una investigación en un periodo delimitado de 10 semanas.

5.7 Cronología de Trabajo

La investigación se realizó a través de diferentes actividades, las cuales se verán detalladas en la siguiente tabla y representadas posteriormente en un diagrama de Gantt.

Tabla 5.3

Cronología del proyecto. (Elaboración Propia, 2020).

#	Actividad	Tiempo	Comienzo	Fin	P
1	Primera reunión.	1 días	25/07/20	25/07/20	
2	Elección del tema de investigación. Búsqueda de 3 propuestas.	5 días	25/07/20	29/07/20	1
3	Entrega de propuestas de proyectos.	1 día	30/07/20	30/07/20	2
4	Segunda reunión.	1 día	01/08/20	01/08/20	1
5	Realización de portadas, dedicatoria y agradecimientos.	2 días	03/08/20	04/08/20	4
6	Elección del tema final.	1 día	06/08/20	06/08/20	3
7	Tercera reunión.	1 día	08/08/20	08/08/20	4
8	Realización de la introducción.	3 días	07/08/20	09/08/20	5
9	Lectura sobre proyectos anteriores.	5 días	10/08/20	14/08/20	6
10	Cuarta reunión.	1 día	15/08/20	15/08/20	7
11	Entrega de la primera entrega corregida.	2 días	15/08/20	16/08/20	8
12	Comienzo capítulo dos. Realización de los antecedentes del problema.	1 día	17/08/20	17/08/20	10
13	Realización de la definición del problema.	1 día	18/08/20	18/08/20	12
14	Completar las preguntas de investigación.	1 día	19/08/20	19/08/20	13
15	Realización de la hipótesis y la justificación del proyecto.	1 día	20/08/20	20/08/20	14
16	Hechura del capítulo 3, objetivo general y específicos.	1 día	21/08/20	21/08/20	15
17	Reunión 5.	1 día	22/08/20	22/08/20	10
18	Realización del capítulo 4, marco teórico.	3 días	23/08/20	25/08/20	16
19	Pasar los 3 capítulos a formato APA y entregar segundo avance.	1 día	25/08/20	25/08/20	18

20	Trabajar en la corrección del segundo avance.	4 días	27/08/20	30/08/20	19
21	Reunión 6.	1 día	29/08/20	29/08/20	17
22	Entrega de correcciones.	1 día	30/08/20	30/08/20	20
23	Realización del capítulo 5, metodología.	5 días	01/09/20	05/09/20	19
24	Reunión 7.	1 día	06/09/20	06/09/20	21
25	Realización del capítulo 6, análisis y resultados.	2 día	06/09/20	07/09/20	23
26	Entrega del tercer avance.	1 día	08/09/20	08/09/20	25
27	Corrección del tercer avance.	2 días	09/09/20	10/09/20	26
28	Reunión 8.	1 día	12/09/20	12/09/20	24
29	Realización capítulo 7, viabilidad.	4 días	10/09/20	13/09/20	27
30	Entrega del cuarto avance.	1 día	13/09/20	13/09/20	29
31	Reunión 9.	1 día	20/09/20	20/09/20	28
32	Entrega final del informe del proyecto.	1 día.	26/09/20	26/09/20	30

CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este capítulo será dividido en cuatro secciones en las cuales se va a explicar cómo de la funcionalidad del sistema y como por qué se eligieron cada uno de los componentes.

6.1 Análisis del diseño y generalidades del sistema

El diseño de un sistema para monitoreo y control de cultivos verticales se basa en que el usuario pueda monitorear los diferentes factores o variables ambientales que influyen en el desarrollo de las plantas comestibles a través de sensores de temperatura, humedad, ph y luz que a su vez a través de sus mediciones se podrá decidir qué acciones tomar para que la planta se mantenga dentro de estos parámetros establecidos. El sistema se podrá accionar a través de los botones de inicio y paro, para que el mismo sistema electrónico comience a realizar una medición y mostrar su información en una pequeña pantalla para que el usuario pueda verla.

Toda la recolección de datos e instrucciones se ejecutarán mediante un microcontrolador las cuales estarán cargadas mediante un código informático en el mismo. Y este dará el mando a los actuadores a activarse o desactivarse. Todo mediante un sistema de control de lazo cerrado.

El sistema contará con un conjunto de luces led de color roja y azules intercaladas entre sí para poder brindar la iluminación necesaria que las plantas necesitan para su crecimiento.

Para el sistema de riego, se contará con unas bombas de agua, accionadas con el microcontrolador la cuales transportará el agua desde un recipiente o “tanque” hasta las raíces de cada una de las plantas desarrollando la “hidroponía” en ellas, la decisión sobre llevar el agua o la cantidad de veces necesaria será controlada por medio del sensor de humedad de la tierra asegurándose que la planta siempre se mantenga hidratada.

Para el control de temperatura, el mismo sistema contará con dos ventiladoras que se encenderán y permanecerán encendidas el tiempo que sea necesario hasta bajar la temperatura a los niveles aceptables establecidos por el microcontrolador.

En la elección de la planta a cultivar se ha elegido la lechuga y la acelga debido a su corto tiempo de crecimiento y porque son plantas las cuales accesibles para su cultivo y trasplante.

Y como es entendido que las plantas necesitan cierto nivel de pH, también el sistema contará con un sensor de pH que active una bomba con agua con sustrato necesario para mantener los niveles de pH necesarios para que la planta siga creciendo.

Todo este conjunto al cual denominamos el sistema completo estará soportado en una base de dos niveles donde estarán los cultivos, la reserva de agua, la combinación con sustrato, los ventiladores y la placa con el microcontrolador.

Diagrama de lazo cerrado:

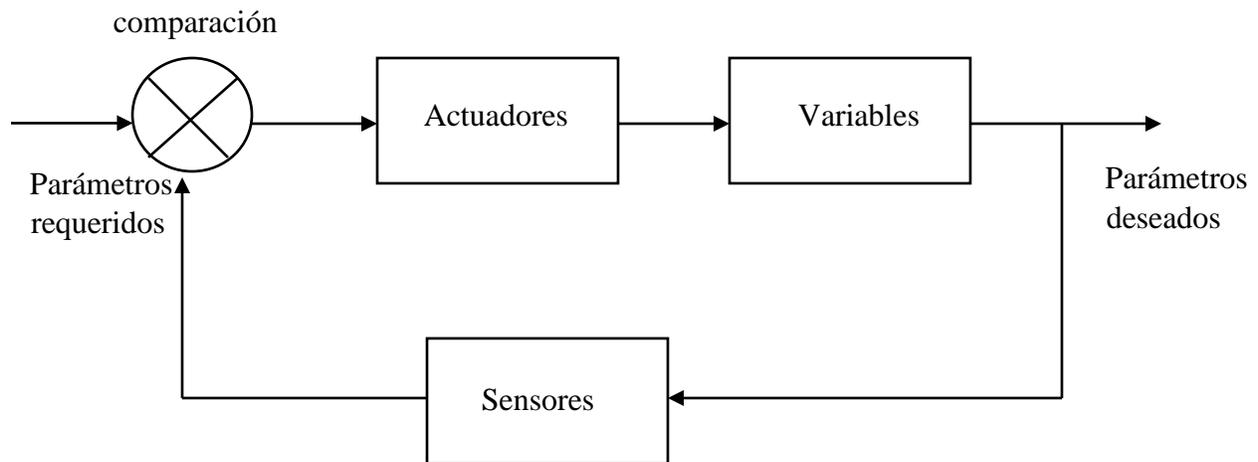


Diagrama 6.1 Diagrama de Lazo cerrado para un cultivo vertical (Elaboración propia, 2020).

6.2 Elección de los componentes

En este apartado se desplegará como se eligieron los componentes para el circuito.

6.2.1 Microcontrolador

Para el microcontrolador y la armazón de la tarjeta, opté por elegir Arduino, por su versatilidad y que es una herramienta open-source a código abierto y en esta rama opté por la serie Arduino MEGA2560 ya que es una tarjeta de 8 bits con 54 pines de entrada/salida digitales (de los cuales 15 pueden ser usados como salida PWM), 16 entradas analógicas y 4 puertos seriales. Posee un voltaje operativo de 5V, un voltaje de entrada 7-12V. Una corriente DC por cada entrada/salida de 40 mA y en el pin 3.3V de 50 mA. El microcontrolador que viene incluido es el ATmega2560 el cual está fabricado con tecnología CMOS de 8 bits y baja potencia. Ejecuta las instrucciones en un solo ciclo de reloj consiguiendo rendimientos aproximados a 1 MIPS por MHz optimizando el consumo de energía.

La tarjeta Arduino se puede alimentar a través de conexión USB o una fuente de alimentación alterna. La memoria del Arduino Mega 2560 tiene una capacidad de 256 KB de memoria FLASH de los cuales 8 KB son usados para el bootloader (gestor de arranque), 8 KB para SRAM y 4 KB de EEPROM. (ProyectoArduino, 2018)

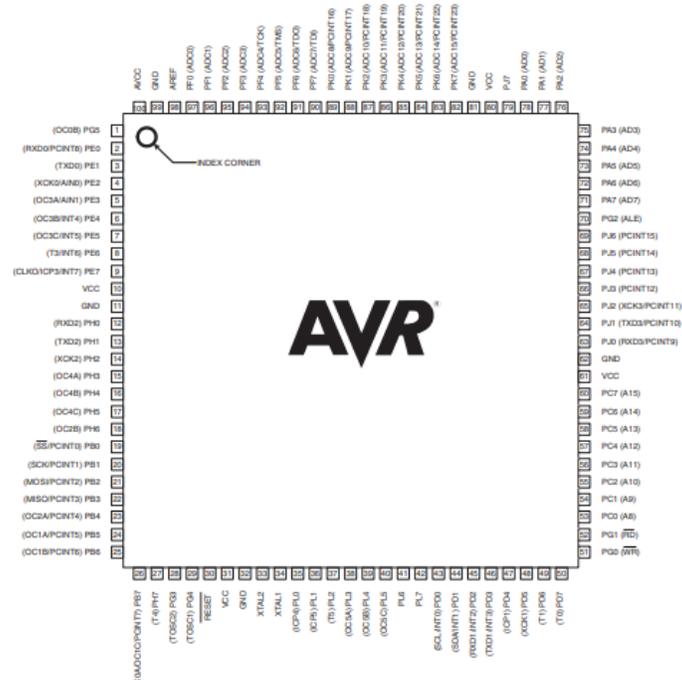


Figura 6.1 Estructura del ATmega 2560 (Microchip, 2017)



Figura 6.2 Tarjeta Arduino Mega 2560 (ProyectoArduino, 2018)

6.2.2 Sensores de Temperatura y Humedad Relativa

Para el sensor de temperatura y Humedad relativa, opté por usar un sensor DTH11, esta elección fue por el hecho de que nos permite medir estos parámetros usando Arduino y es digital con señal calibrada. Usando una versión con PCB aporta una resistencia pull-up de $5k\Omega$ y un led que nos avisa cuando está funcionando. Se alimenta con un voltaje de entrada de 3.5 V a 5V, un consumo promedio de 2.5 mA. En cuanto a la temperatura de medición posee un rango de lectura de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ con una precisión a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ de $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una resolución de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (8-bit). Para la medición de humedad tiene un rango de 20% de RH a 90% RH, con una precisión de entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ de $\pm 5\%$ RH y una resolución de 1% RH.

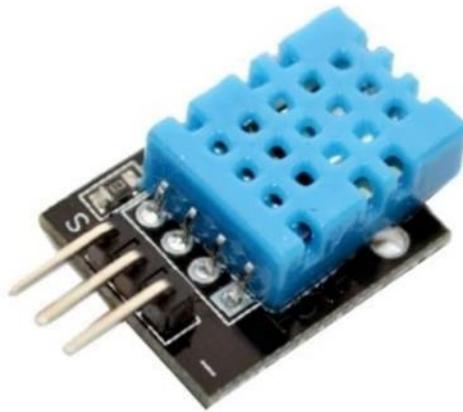


Figura 6.3 Sensor DTH11. (Isaac, 2019)

6.2.3 Sensor de Humedad del Suelo

Para el sistema de riego necesitaba utilizar un sensor que me permitiera medir la humedad del suelo y así elegir una decisión de cuando enviar a regar agua para mantener el crecimiento de las plantas. Para ello utilicé un higrómetro de suelo FC-28 el cual consta de un sensor que mide la humedad del suelo y se han usado con frecuencia en el riego de cultivos.

Permite obtener una medición como valor analógico o como salida digital, que se activa cuando la humedad supera cierto umbral. Los valores de lectura van desde 0 sumergido en agua a 1023 en el aire. Un suelo ligeramente húmedo marca valores de 600-700. Un suelo seco tendrá valores de 800-1023. Para su salida digital se obtendrá una señal de LOW cuando el suelo no esté húmedo y HIGH cuando se supera el valor de consigna.

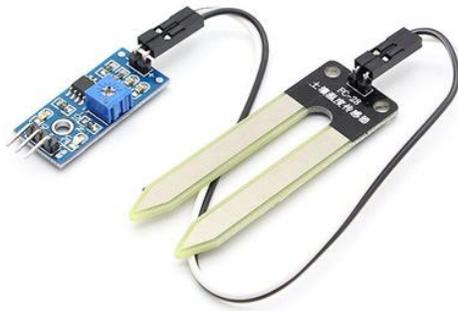


Figura 6.4 Higrómetro FC-28 (Llamas, s. f.)

6.2.4 Sensor de pH

Para el sensor de pH en este sistema se utilizará un módulo PH-4502C que utiliza un electrodo E201-BNC, con una alimentación de 5V y es compatible con Arduino. Conectándolo a un pin analógico no requiere de una librería especial, entre sus especificaciones están: un voltaje de calentamiento: 5-0,2 V (Ca-CC), una corriente de funcionamiento: 5-10 mA, un rango de concentración de detección: PH0-14, rango de temperatura de detección: 0-80, tiempo de respuesta: =5S, tiempo estable: = 60 S, consumo de energía del componente: = 0,5 W, temperatura de funcionamiento: -10-50 °C (temperatura nominal 20 °C), humedad de funcionamiento: 95% RH (humedad nominal 65% RH), vida útil: 3 años, tamaño: 32mm x 42mm x 20mm, peso: 25g y un modo de Salida: salida de señal de tensión analógica.



Figura 6.5 Sensor de pH (cdmxelectronica, s.f.)

6.2.5 Sensor de Luz

La luz será detectada mediante un sensor con fotorresistencia LDR que varía su resistencia dependiendo de la cantidad de luz perciba en su entorno, tiene un voltaje de operación de 5V, conexión a 4 cables, salida analógica y digital que tiene dos estados encendido y apagado, un amplificador operacional en modo comparador LM393 y un potenciómetro de ajuste para la sensibilidad.

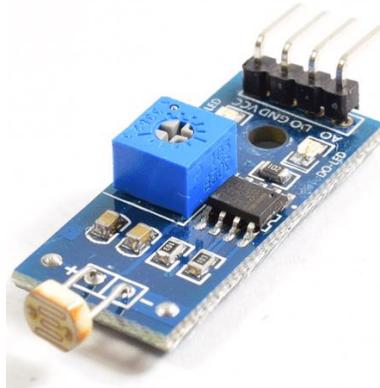


Figura 6.6 Sensor LDR (MakerElectronico, s. f.)

6.2.6 Otros elementos

La estructura donde estará montado el sistema está hecho a base de madera, con una altura de 100 m x 100 m x 50 cm, dos niveles de los cuales tendrán una distancia de 30 cm de diferencia entre sí, con un espacio entre nivel del suelo y el primer nivel de 40 cm, esto con el fin de colocar los dos contenedores de agua con una altura aproximada 35 cm por 40 de ancho y 60 de largo el cual el agua se mantendrá a un nivel de 30 cm aproximadamente dando un total de 72,000 cm cúbicos para riego del sistema, además contara con un segundo contenedor de agua acida (con un pH acido más elevado) que se usará para el riego cuando el medidor de pH encuentre una diferencia en tierra y necesite elevarse.

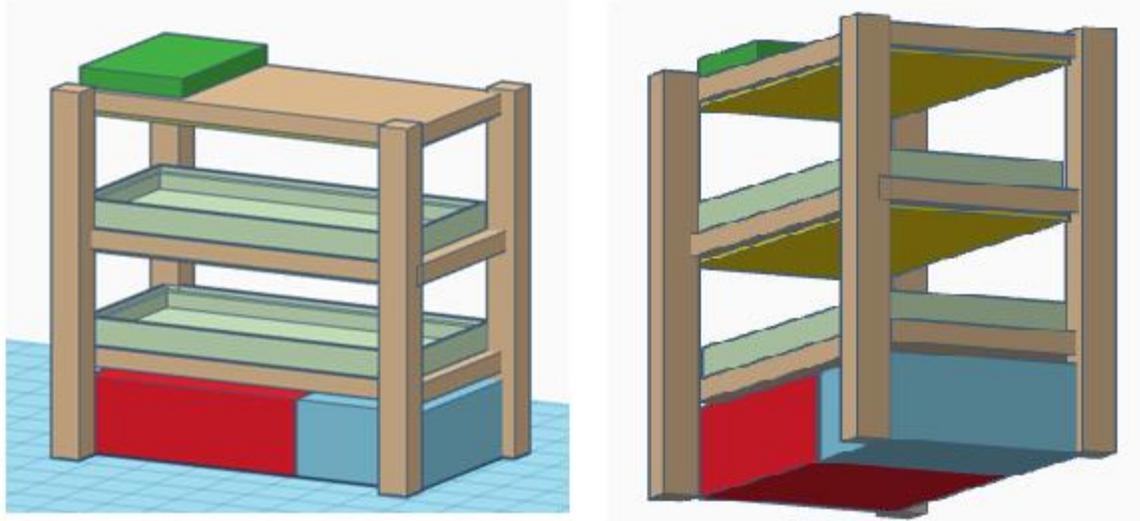


Figura 6.7 Estructura del cultivo vertical (Elaboración propia, 2020).

Los actuadores en este sistema serán dos ventiladores colocados en ambos niveles, estos son ventiladores axiales de 140 mm de diámetro que funcionan con 12 VDC para lo cual contará con una fuente alterna para ello.



Figura 6.8 Ventilador Axial (ProfesionalReview, s. f.)

Para las bombas de agua, opté por usar dos bombas de agua con un motor tipo brushless que utiliza un voltaje de 12 VDC marca Kongnijiwa el cual puede transportar 240 litros por hora con una larga vida útil y es compatible con Arduino.



Figura 6.9 Bomba de Agua con Arduino (Isaac, 2020)

Para mantener el circuito de fuerza aislado de la placa Arduino se utilizarán dos módulos de relé de 4 canales independientes que trabajan con 5 v cada uno.

Para los leds se utilizarán dos cintas de LED RGB ya que tienen un ángulo mayor de emisión de luz, manejo más versátil y 3 colores en un solo diodo que funcionan a 12VDC, una tira de 5 metros que posee 150 diodos LED. Los focos poseen una temperatura de funcionamiento -20°F a 120°F , su consumo es de 5.85 W/m, corriente máxima de 2438mA por los 5m y tienen varios colores, con longitudes de ondas necesarias para el crecimiento de las plantas, tales como Rojo: 625nm, Verde: 524nm, Azul: 471nm. Los 5 metros tienen una intensidad total de aproximadamente de 2010 lúmenes, el ángulo de haz de luz es de 120° , su vida útil es de 50,000 - 75,000 horas, llegando a perder el 50% del brillo y la distancia entre los LED del centro es de 33.30 mm, entre borde a borde es de 100 mm y entre LED a LED es de 28.20mm.

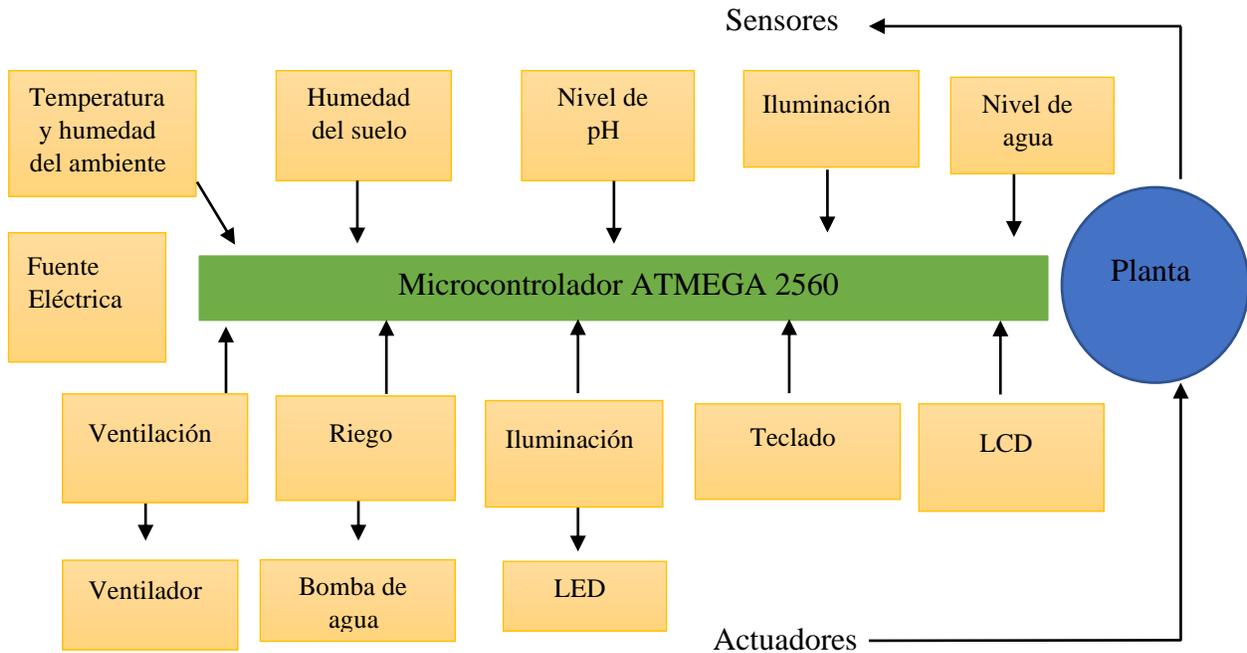


Figura 6.10 Luces LED (All-spare, s.f.)

6.3 Funcionamiento

La ejecución de ordenes en el microcontrolador corresponden al siguiente diagrama basado en el diagrama original de Gonzales et al. (2018):

Diagrama 6.2 Funcionamiento del ATmega 2560 (Elaboración propia, 2020)



A través de este sistema el microcontrolador ATMEGA 2560 es quien realiza todas las funciones de control y de monitoreo.

El circuito en Proteus 8.6 quedó de la siguiente manera:

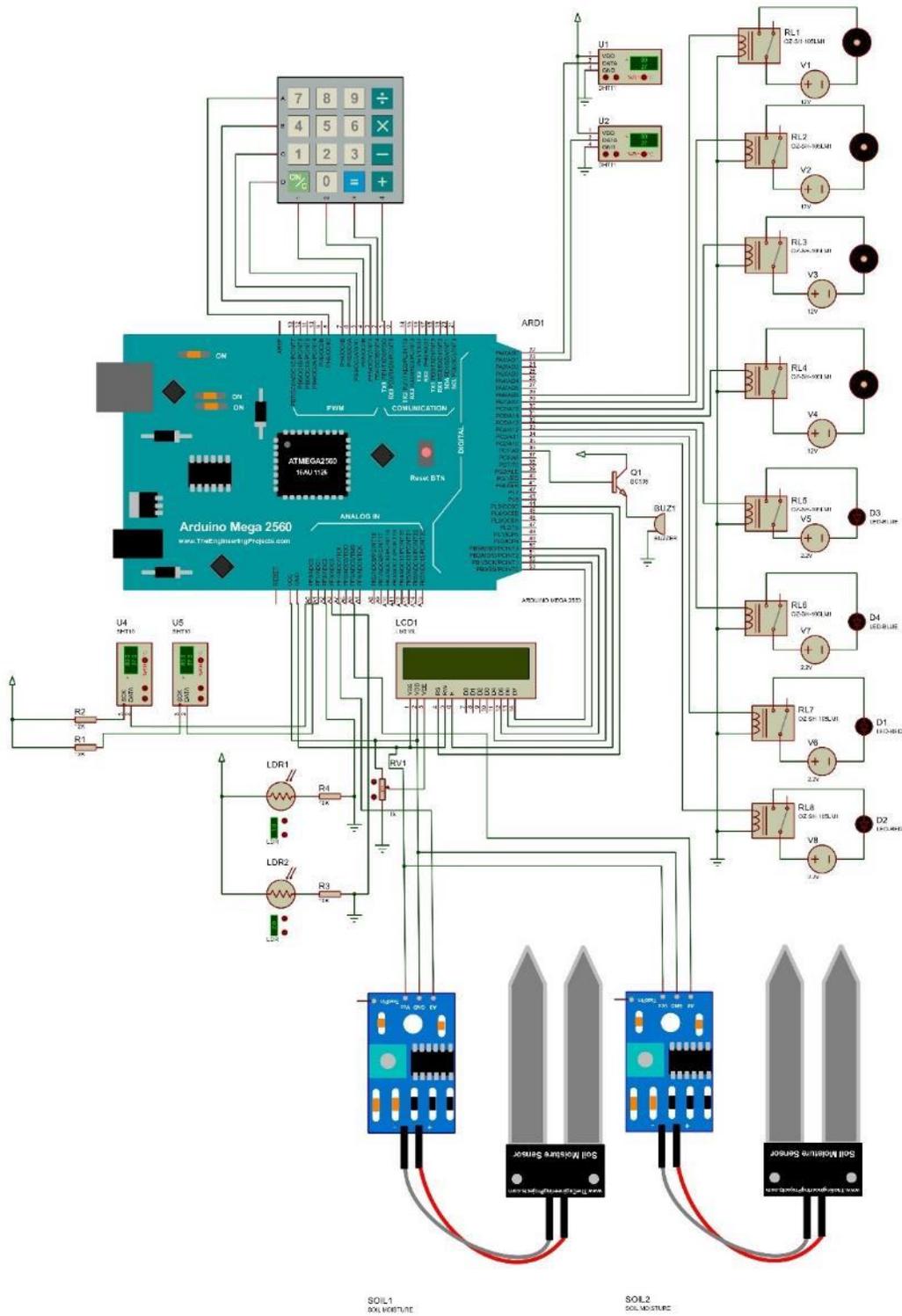


Figura 6.11 Diagrama del circuito del cultivo vertical automatizado (Elaboración propia, 2020)

Programación Arduino:

```

CultivoVertical
digitalWrite (28, LOW);
delay (2000);

int aguanivel = analogRead(A1);
Serial.print ("Sensor de Nivel de Agua: ");
Serial.println(aguanivel, DEC);

if (aguanivel >= 100) {

    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("Acqua: OK");
}
else
{
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("Nivel de Agua: Bajo");
    alarm();
    flash();
}

```

Figura 6.12 Código Arduino para el Cultivo Vertical (Elaboración propia, 2020)

6.7 Resultados y Observaciones:

La búsqueda de este proyecto es obtener una respuesta a la problemática actual que existe en la ineficiencia del actual sistema de cultivo agrícola y poder hacerle frente a la demanda de alimentos. Esto todo es posible por medio de un sistema automatizado de cultivo vertical.

Por medio de este circuito y el código cargándolo en Arduino se puede encontrar lo siguiente: Al darle set a los valores de las variables a medir, los módulos DHT11 se activarán cuando encuentra en un rango mayor de los 25°C, este activará la bobina del relé permitiendo el paso de voltaje y se enciende el ventilador enfriando el sistema hasta que baje a un nivel normalizado. Para la humedad de la tierra, se encontró que al superar un valor de los 700, el sensor activara el sistema de riego por medio de la bomba de agua.

El sistema de iluminación se mantendrá encendido y será regulado por medio de la LDR. La parte del sensor de pH no se pudo probar en el programa debido que no se encontró algún sensor aparente para realizar las pruebas. El sensor de humedad relativa también puede trabajar dentro

de un rango aceptable. El sensor de nivel de agua se activará cuando el agua del contenedor se encuentre a la mitad y emitirá un sonido.

Todo esto comenzará presionando el botón de arranque en el teclado matricial y la pantalla LCD mostrará los datos de control a través de la librería de LiquidCrystal. Es difícil tratar de hacer pruebas en Proteus debido a las restricciones, que el programa ofrece. Y también el hecho de tener que instalar librerías adicionales a Arduino para poder realizar todo el control de los microcontroladores. Sin embargo se podrá responder a los objetivos específicos.

1. Los factores influyentes para el desarrollo óptimo de la lechuga y la acelga son la temperatura y humedad del ambiente, la humedad del suelo, el nivel de pH, una buena iluminación y un riego constante.
2. Los sensores utilizados para este proyecto fueron el DTH11 para la temperatura y humedad del ambiente, un higrómetro FC-28 para la humedad de la tierra, un sensor pH y un sensor LDR para medir la cantidad de luz, para los actuadores se necesitan ventiladores con motor brushless de 12VDC y una bomba de agua.
3. Se pudo lograr mediante un circuito electrónico, un conjunto de relés, programación Arduino con sensores y actuadores.
4. Los LED que más responden al crecimiento de planta son los LED color rojo y azul debido a su longitud de onda (400-495 el LED azul y 620 – 710 nm el LED rojo).
5. En la teoría si se puede demostrar que si la luz LED permite que un cultivo de lechuga y acelga pueda tener un buen desarrollo sin embargo no se pudo demostrar a nivel práctico.
6. Al controlarlos por simulador si se puede decir que si, sin embargo, la mejor observación que se puede hacer es que es necesario realizar un prototipo para poder comprobarlo.

CAPÍTULO 7: VIABILIDAD

La viabilidad de una investigación consiste en los recursos disponibles para poder implementar un proyecto en una institución o sobre un área específica, para resolver un problema dado.

7.1 Viabilidad Operacional

La viabilidad operacional consiste en saber o comprobar si los problemas dados pueden solventarse a través de la solución propuesta del proyecto.

En el siguiente diagrama se muestra la operación general del proyecto, sus partes y funcionamiento general del proyecto.

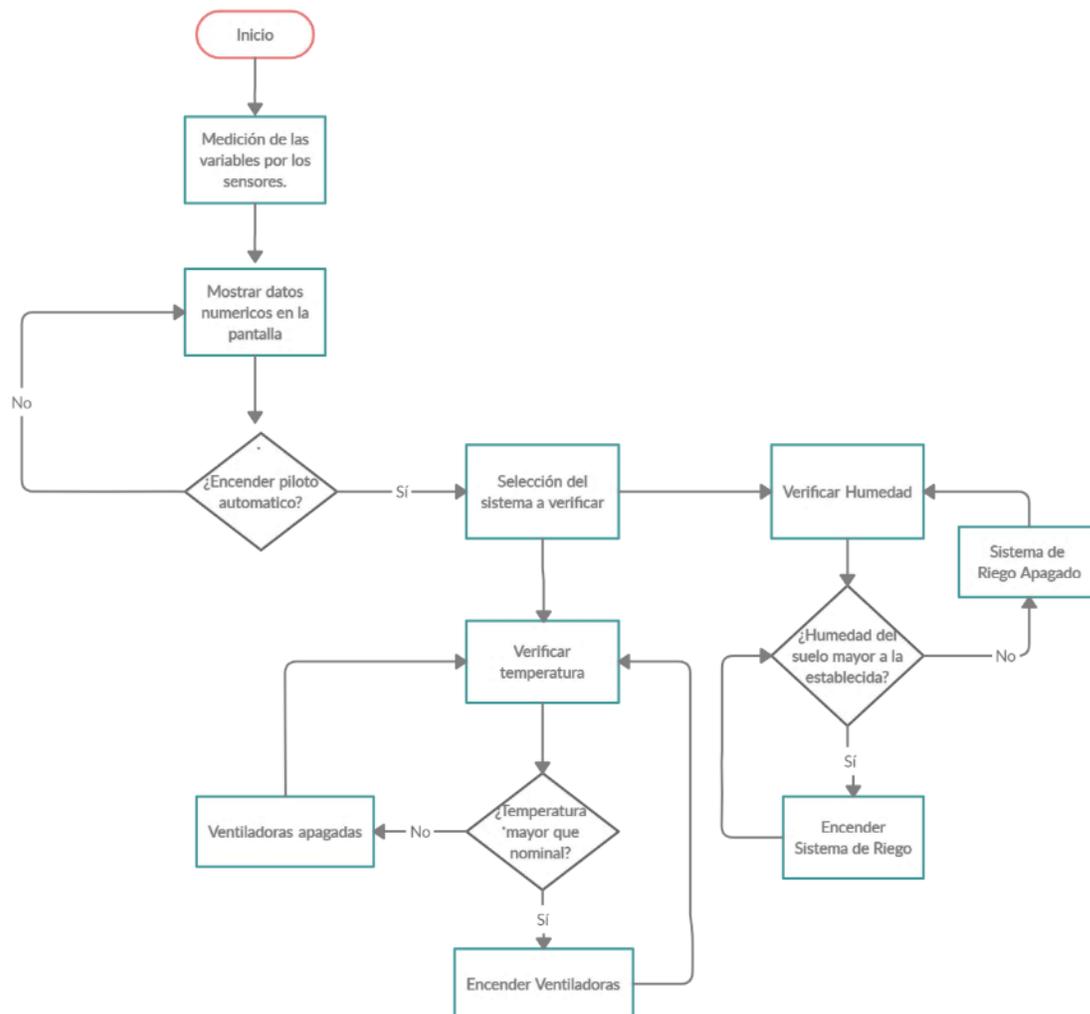


Figura 7.1 Diagrama de flujo del sistema general de control automático (Elaboración propia, 2020)

En el diagrama anterior se muestra el funcionamiento general del sistema para monitoreo y control de cultivos verticales. Cada uno de ellos lleva un proceso aparte que se detallara en otros diagramas posteriores.

Todo comienza cuando se enciende la pantalla y antes de arrancar, el usuario puede ver el estado actual del cultivo y decidir si lo pondrá a trabajar o no en sistema de modo automático, al seleccionarlo es en ese momento cuando el sistema según vaya teniendo lectura de los sensores, activará los actuadores y así mantendrá el sistema en trabajo continuo hasta que el operador decida pararlo.

7.1.1 Diagrama operacional del sistema de iluminación

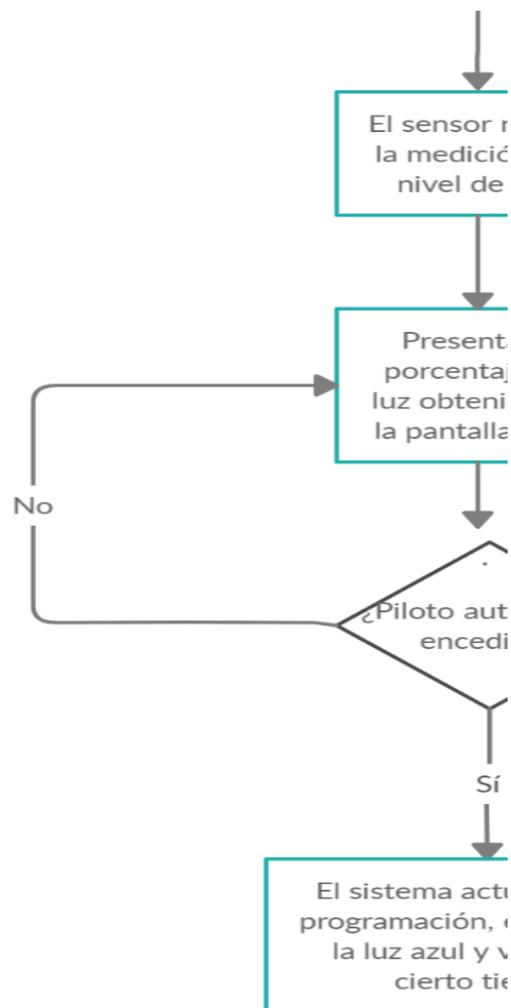


Figura 7.2 Diagrama operacional del sistema de iluminación (Elaboración propia, 2020)

Por medio del diagrama descrito en la parte de arriba, el sistema de luz funciona por medio del sensor LDR, lo que hace es medir la cantidad de luz disponible, mostrar el valor en la pantalla y de acuerdo con su nivel, activa y desactiva el sistema de luces led, alternando entre luz verde y luz azul cada cierto tiempo según esté configurado en el sistema automático.

7.1.2 Diagrama operacional del higrómetro FC-28

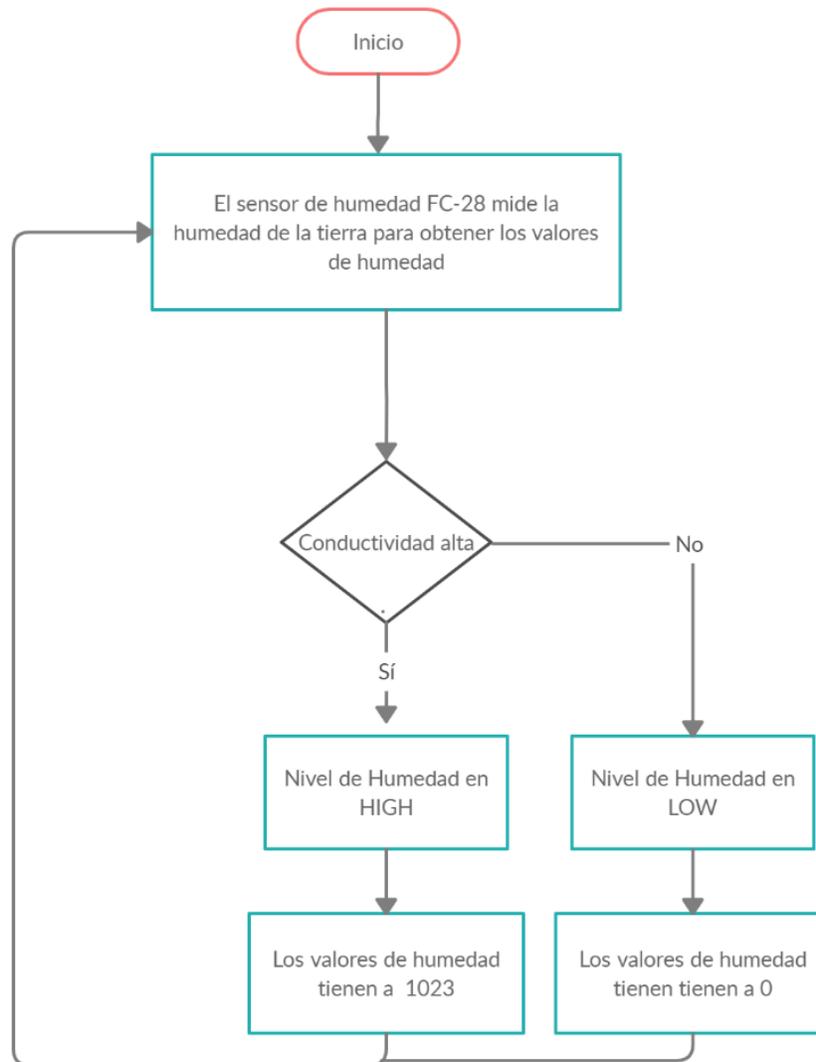


Figura 7.3 Diagrama operacional del higrómetro FC-28 (Garcés Moreira, 2019)

En este diagrama se puede ver el funcionamiento que tendría el higrómetro de humedad de tierra, al detectar poca conductividad en la tierra, enviará una señal de activación al actuador para que comience el riego en la planta y se mantenga hidratada.

Cuando el sistema detecta que hay una humedad aceptable dentro del rango configurado, solamente se mantendrá activo, monitoreando cada cierto tiempo hasta encontrar un valor que active una señal baja y actuar. Este sensor tendrá dos unidades, una para cada nivel de cultivo.

7.1.3 Diagrama operacional del sensor de nivel de agua

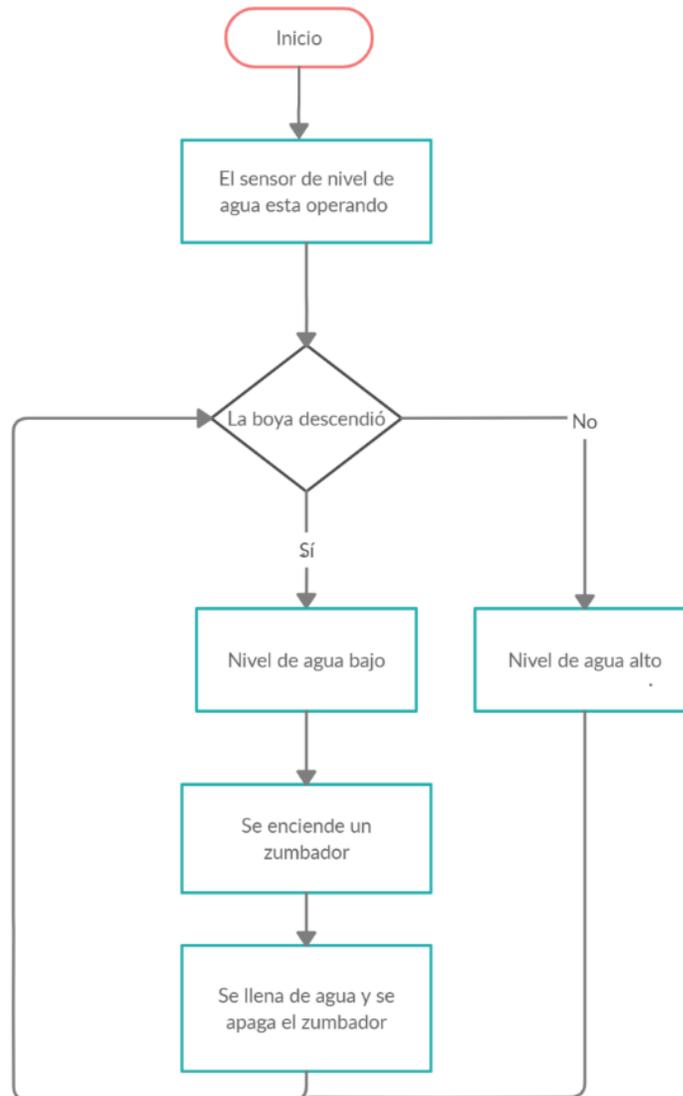


Figura 7.4 Diagrama operacional del sistema de nivel de agua (Elaboración propia, 2020)

Para poder mantener agua constante en el sistema de riego, es necesario que los depósitos de agua se mantengan en un nivel de agua aceptable.

Y para asegurarme de ello, cuento con un sensor de nivel que al detectar un nivel de agua bajo activará una bocina para alertar al operador que es necesario llenar el recipiente de agua.

Una vez este se llene, el sensor de nivel se encontrará fuera de su rango de activación y la alarma por lo tanto se apagará.

7.1.4 Diagrama operacional del sensor DTH11

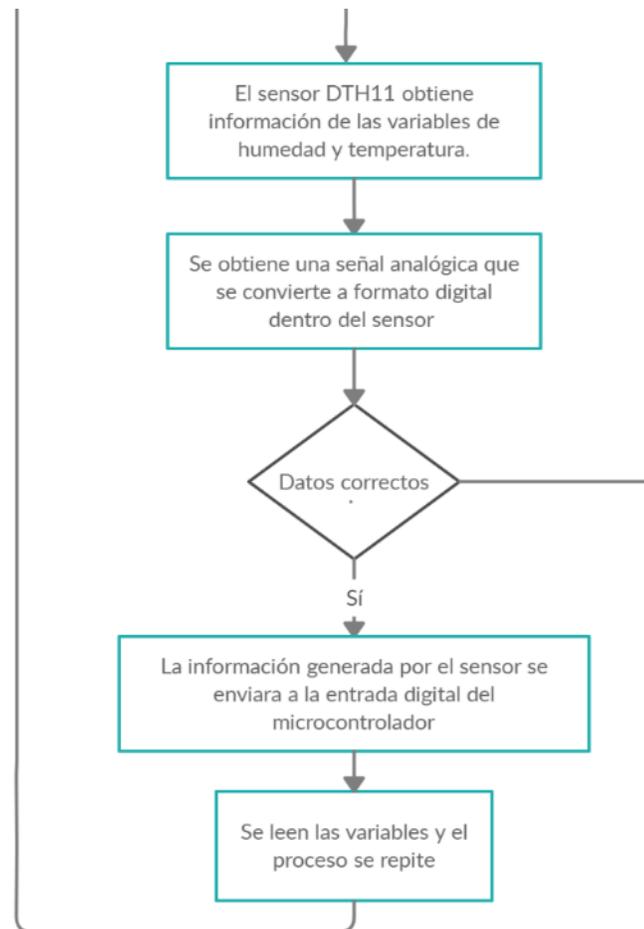


Figura 7.5 Diagrama operacional del sensor DTH11 (Garcés Moreira, 2019)

En el diagrama descrito en la parte de arriba lo que hace es leer los niveles de temperatura y humedad del aire y los compara con los valores configurados en el sistema de Arduino. Lo hace enviando los datos recolectados en la entrada digital del microcontrolador.

Si el valor está más elevado que con los valores configurados, este envía una señal a activar las ventiladoras axiales para que estos refresquen el área y así baje el nivel de temperatura al deseado.

Por medio de estos diagramas se pueden indicar el modo de operación del sistema automatizado para el control de cultivos verticales.

7.2 Viabilidad Económica

La viabilidad económica comprende el análisis de costo y beneficios asociados con cada alternativa del proyecto. Con este estudio se pueden hacer comparaciones para seleccionar la mejor opción costo beneficio.

Tabla 7.1

Presupuesto del proyecto. (Elaboración Propia, 2020)

Componente	Precio Unitario	Cantidad Por Comprar	Total
Arduino Mega 2560	L 397.99	1	L 397.99
Teclado Matricial 4x4	L 173.98	1	L 173.98
Pantalla LCD 2x16"	L 158.80	1	L 158.80
Higrómetro FC-28	L 242.78	2	L 485.55
Sensor DHT11	L 198.87	2	L 397.74
Sensor LDR	L 181.45	2	L 362.90
Sensor pH	L 439.31	2	L 878.62
Bomba de Agua 12 VDC	L 185.54	2	L 371.08
Ventilador Axial 12 VDC	L 696.67	2	L 1,393.34
Modulo Relé 4 canales	L 450.00	1	L 450.00
Estructura	L 3,500.00	1	L 3,500.00
Juego de cables	L 173.73	1	L 173.73

L 8,743.73

En la tabla anterior se puede desplegar el costo que tendría construir la estructura y el realizar el proyecto. Para realizar este proyecto se requiere de una inversión inicial para obtener los materiales y montar su estructura. Con los beneficios y ventajas que trae la implementación de un cultivo vertical automatizado se puede recuperar su inversión en el corto plazo.

Uno de los mayores beneficios es que se puede cultivar todo el año sin importar la época ya que se cultiva en un ambiente controlado, así se podría asegurar el retorno de inversión. Este presupuesto está destinado a dos niveles, si se desea aumentar la producción y cultivar, el presupuesto aumentará debido a que se deberá de adquirir más sensores y más luces LED para controlar los niveles posteriores.

A largo plazo, este tipo de proyectos es bastante atractivo porque son duraderos, confiables y se garantiza producción en cualquier época del año.

7.3 Viabilidad de Mercado

Un estudio de viabilidad del mercado nos ayuda a determinar el espacio que un producto o servicio ocupará en el mercado, analizando factores como los clientes actuales, potenciales, y la competencia para determinar la viabilidad y éxito de cualquier producto o servicio. ((Figuera, 2019).

Y es que este tipo de proyecto tiene grandes ventajas competitivas en el mercado porque puede ser adquirido por personas particulares que quieran cultivar sus propios alimentos, así como también personas que se dediquen al cultivo extensivo para vender.

Las ventajas de la agricultura vertical son muy grandes y se puede trasladar a cualquier parte del país o región ya que no depende de un clima o zona en específico, puede usarse en zonas con poca agua ya que ahorra bastante y reduce tanto el espacio de cultivo, emisiones de dióxido de carbono, se puede producir todo el año, se puede cultivar en zonas urbanas, complejos de apartamentos entre otros.

CAPÍTULO 8: APLICABILIDAD

En este capítulo se estudiará que tan aplicable es el proyecto de sistemas de monitoreo y control para cultivos verticales, ver si el proyecto como tal puede satisfacer completamente las necesidades y los problemas definidos que buscaba resolver, desde un estudio de mercado, técnico y financiero.

Examina la medida en que los resultados del proyecto son útiles para resolver los problemas definidos y satisfacen las necesidades de la población beneficiaria. Verifica si el proyecto sigue teniendo vigencia y detecta todo cambio de prioridades que pueda haber ocurrido en este contexto durante la etapa de ejecución. La aplicabilidad determina si los objetivos siguen siendo válidos o deberán ser reformados. Los problemas y necesidades definidos en un comienzo pueden haber desaparecido, pueden haber surgido nuevos problemas y necesidades como consecuencia de factores sociales, económicos o políticos o incluso a raíz de las actividades del proyecto. (Gutiérrez Agudelo & Gallego De Pardo, 2005)

Tabla 8.1

División de la aplicabilidad de un proyecto. (Méndez Cruz & Castro Molina, 2020)

VARIABLES INDEPENDIENTES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Estudio de Mercado	“Consiste en la descripción del producto, sus características y sus usos, determinación y cuantificación de la demanda y la oferta, el análisis de los precios y el estudio de la comercialización” (Baca Urbina, 2010, pág. 7).	Determinar la demanda, aceptación, precio, plaza y promoción del servicio de mandados.	Competencia, Clientes, Precio fijado por el Mercado y Publicidad.	Oferta, Demanda, Promoción
Estudio Técnico	“Estudio técnico es la una investigación que consta de determinación de la manera óptima de la planta, determinación de la localización óptima de la planta, ingeniería del proyecto y análisis organizativo, administrativo legal” (Baca Urbina, 2010).	Determinar los recursos de logística, técnicos y legales que se requieren para la ejecución del proyecto.	Accesibilidad, Área de Distribución, Eficiencia, Rendimiento, Recurso Humano	Localización, Tamaño del Proyecto, Vehículos, Mobiliario, Organización Humana.
Estudio Financiero	Evaluación económica con métodos de evaluación que toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo, anota sus limitaciones de aplicación y los compara con métodos contables de evaluación que no toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo, y muestra la aplicación práctica de ambos. (Baca Urbina, 2010)	Conocer la rentabilidad de la empresa de servicios de mandados.	Ingresos, Costos Administrativos, Gastos Financieros, Utilidades, Rentabilidad.	Tasa Interna de Retorno (TIR), Estado de Perdidas y Ganacias, Balance General

8.1 Análisis de Mercado

El análisis de mercado tiene como objetivo ver que tan aplicable es el producto o servicio a nivel comercial, si tendrá una posibilidad para salir al mercado y ser rentable, así como busca definir los clientes potenciales, estudiar sus posibles competidores, establecer relaciones de precio y beneficio y desarrollar una estrategia de comercialización.

“Consiste en la descripción del producto, sus características y sus usos, determinación y cuantificación de la demanda y la oferta, el análisis de los precios y el estudio de la comercialización” (Baca Urbina, 2010, pág. 7).

8.1.1 Análisis de la Demanda

La demanda es la cantidad de bienes y servicios que el mercado requiere o solicita para buscar la satisfacción de una necesidad específica a un precio determinado.

El principal propósito que se persigue con el análisis de la demanda es determinar y medir cuáles son las fuerzas que afectan los requerimientos del mercado respecto a un bien o servicio, así como establecer la posibilidad de participación del producto del proyecto en la satisfacción de dicha demanda. (Martinez, 2016)

Para poder establecer los niveles de demanda que mi producto, se realizó una encuesta, la cual estaba dividida en varias secciones para cada tipo de análisis. Primeramente, es importante conocer el tipo de cliente, donde estará localizado, entre otros factores.

La hipótesis para el perfil de cliente es una persona sexo masculino o femenino, de unos 30 a 40 años, de una ciudad urbana tomando de base a San Pedro Sula.

Para ello se realizó una muestra. “La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Lucio, 2014). Para los efectos que se persiguen en esta investigación, la muestra que se toma es probabilística.

Para este estudio se hace de la muestra probabilística con el método aleatorio simple, depende de causas relacionadas con las características de la investigación, en este la ubicación donde ellos estén al momento de realizar la encuesta.

La fórmula es la siguiente:

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2 \times (N-1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q} \quad (3)$$

Donde:

N= tamaño de la población

Z= nivel de confianza

P= probabilidad de éxito

Q= probabilidad de fracaso

D= precisión

Al aplicar la formula los datos fueron los siguientes:

N = 187608.8 (Tomando como dato la población de SPS de 469,022 personas mayores de 18 años, según proyección del INE en el 2018).

Z = 95%

E = 5%

P = 0.5

Q = 0.5

Muestra = 383 encuestas a aplicar.

Los resultados de la encuesta demostraron lo siguiente:

Seleccione su género:

383 respuestas

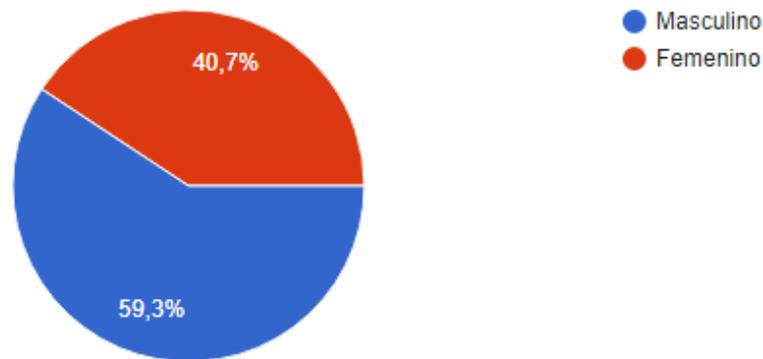


Figura 8.1 Porcentajes de género según encuesta (Elaboración propia, 2021)

La mayoría de las personas encuestadas con un 59.3% son del género femenino y el 40.7 % son del género masculino. Esto nos puede ayudar a orientar una campaña publicitaria a un solo género (femenino), pero también se puede obtener atención por parte del género masculino.

Para el rango de edades, los resultados fueron los siguientes:

Seleccione su rango de edad:

383 respuestas

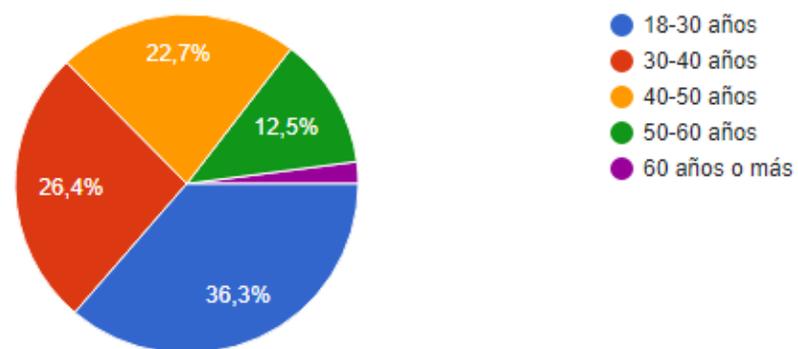


Figura 8.2 Frecuencia de rangos de edades de los encuestados (Elaboración propia, 2021)

Esto nos demuestra que la mayor parte de la población encuestada (36.3%) tiene un rango de edad de 18 a 30 años, lo cual fue sorprendente ya que se tenía pensado que el sector de la población interesada sería personas adultas de 30-40 años (26.4%) pero aun así es una buena

parte del sector y en tercer lugar están las personas de 40-50 años representando un 22.7% de los encuestados.

La siguiente pregunta realizada fue para buscar el lugar de residencia, ya que una de las finalidades del proyecto es desarrollarse en lugares urbanos.

Seleccione su lugar de residencia:

382 respuestas

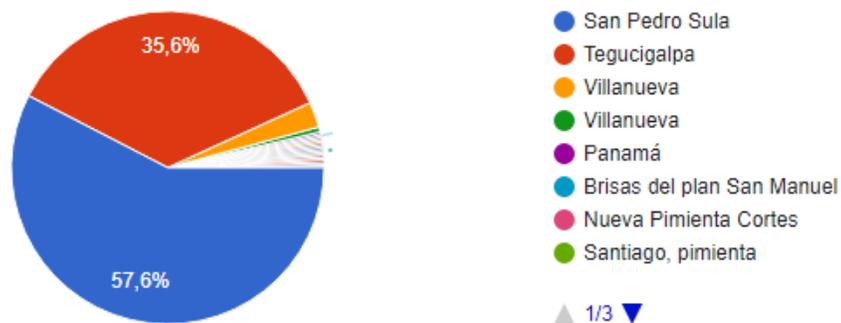


Figura 8.3 Lugar de residencia de los encuestados (Elaboración propia, 2021)

La respuesta fue que la mayor parte de las personas encuestadas (57.6%) pertenecían a San Pedro Sula, un 35.6 % pertenecían a Tegucigalpa y una minoría provenían de Villanueva o de la zona Sur de Cortés, esto quiere decir que si se puede desarrollar el producto en una ciudad o zona urbana.

Y la última pregunta realizada fue de cuál era la frecuencia con la que se consumen verduras a la semana y la respuesta fue la siguiente:

¿Con qué frecuencia consume verduras a la semana?

383 respuestas

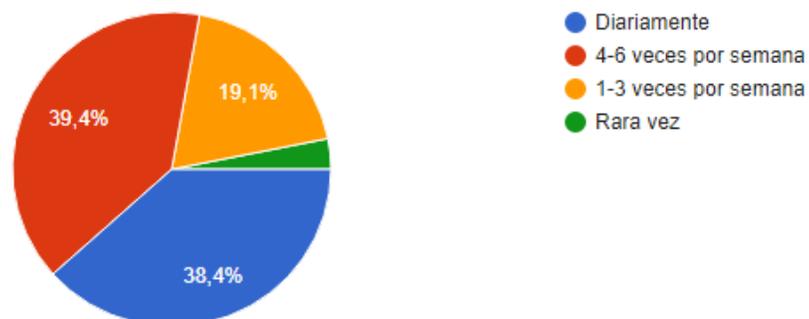


Figura 8.4 Frecuencia con la que consumen verduras (Elaboración propia, 2021)

El 39.4% consume verduras de 4-6 veces por semana, un 38.4% lo consume diariamente y un 19.1% lo consume al menos de 1 a 3 veces por semana.

Después de realizar estos análisis puedo encontrar que el tipo de cliente que puede comprar este proyecto, son mayormente una persona de género femenino, de 18 a 30 años, de SPS que consume verduras de 4 a 6 veces por semana, pero también se da la apertura al género masculino, un rango de edad más amplia y puede ser de la ciudad de San Pedro Sula o de Tegucigalpa.

Por último, de las 383 personas encuestadas, un 71.3% dijeron que si estaban interesados en adquirir un equipo de este tipo para cultivar sus propias verduras.

¿Estaría interesado a adquirir uno de estos equipos para cultivar sus propias verduras?

383 respuestas

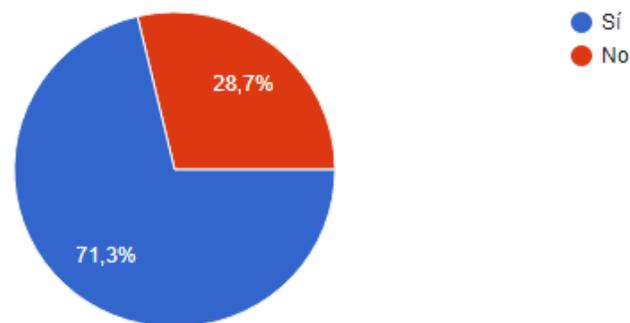


Figura 8.5 Porcentaje de interés en adquirir un equipo de monitoreo y control (Elaboración propia, 2021)

Con este estudio, puedo concluir que, sí existe demanda para el proyecto a realizar, se podría vender ya que existe el interés por parte de las personas de adquirir un equipo de este tipo.

8.1.2 Análisis de la Oferta

“El análisis de la oferta tiene como finalidad establecer las condiciones y cantidades de un bien o servicio que se pretenden vender en el mercado. La oferta es la cantidad de productos que se colocan a disposición del público consumidor (mercado) en determinadas cantidades, precios, tiempos y lugares”. (Corvo, 2018)

En Honduras, el joven Johan Martel, tiene un proyecto similar de cultivo vertical hidropónico, pero él se dedica a la venta del producto final que es la lechuga, no del equipo de cosecha. Se puede afirmar que en el país no existe competencia de empresas que se dediquen a las ventas de

estos equipos, sin embargo, en línea se pueden adquirir equipos similares, ya sea en Amazon o Ebay, sus precios rondan de 99\$ a 200\$ pero son por separado, o solo sistemas de hidroponía o paneles de luz led para cultivo pero no vienen juntos, por lo que adquirir o armar un equipo completo rondaría alrededor de 350\$ a 400\$ más el costo de mandarlo a traer del exterior.

Se podría decir que la competencia de manera directa sería la venta de vegetales como tal, ya el producto final que el sistema de monitoreo y control para cultivos verticales dará. Así que otra de las preguntas que se realizó en la encuesta para determinar la demanda, era buscar saber de dónde obtenían las personas sus verduras y los resultados fueron los siguientes:

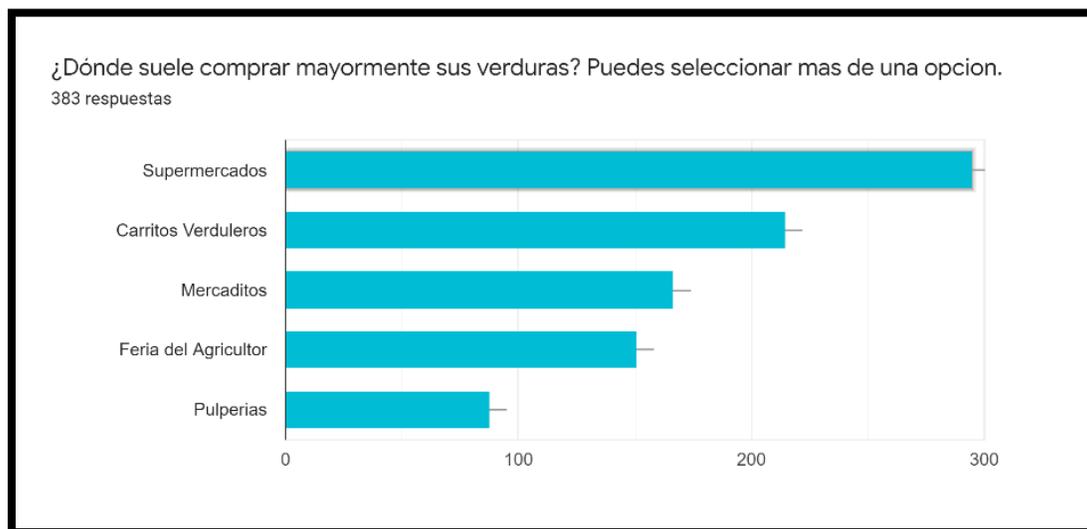


Figura 8.6 Frecuencia del lugar donde se compran las verduras (Elaboración propia, 2021)

Los resultados demostraron que un 77% de los encuestados obtienen sus verduras en los supermercados, también un 56.1% lo obtienen de carritos verduleros, un 43.6% lo obtienen de mercaditos, un 39.4% de ferias de agricultor y un 23% de las pulperías.

Como en la encuesta anterior, un 71.3% de los encuestados dijeron que, si estaban interesados en adquirir un equipo de monitoreo, se debe de buscar la forma de llamar la atención y que pasen a ser de clientes potenciales a clientes reales.

8.1.3 Análisis de Precios

“El análisis de precios es el estudio de la respuesta del consumidor a precios hipotéticos en investigaciones de encuestas. Básicamente se está evaluando de forma anticipada un precio, sin evaluar por separado sus componentes de costos y las ganancias propuestas”. (Corvo, 2020)

Para poder buscar un precio adecuado, primeramente, se consultó a los clientes potenciales que precio darían a una unidad de estas, ellos respondieron con lo siguiente:

¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por un equipo de estos?

383 respuestas

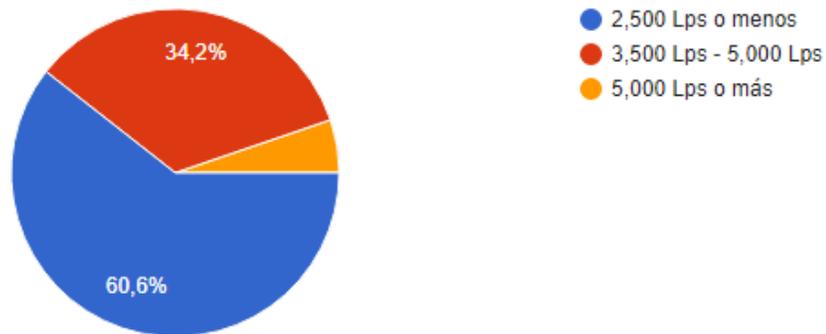


Figura 8. 1 Porcentaje de interés de precio en pagar un equipo de estos (Elaboración propia, 2021)

El 60.6% de los encuestados respondió que estarían dispuestos a pagar 2,500.00 L por un equipo de monitoreo versus un 34.2% que dijo que podría comprarlo con un precio que ronda de 3,500 a 5,000.00 L. Esto representa un inconveniente ya que solo el costo de construcción es alrededor de 8,000.00 L. A través de esto se puede concluir que este tipo de proyectos no es para uso o venta comercial.

8.1.4 Análisis de la Comercialización

“La comercialización es la actividad que permite al productor hacer llegar un bien o servicio al consumidor con los beneficios de tiempo y lugar.” (Baca Urbina, 2013)

En este tipo de análisis se explicará cómo se piensa distribuir o que canal de distribución se utilizará para la venta del equipo de monitoreo.

8.1.4.1 Canales de distribución

“Es la ruta que toma un producto para pasar del productor a los consumidores finales, aunque se detiene en varios puntos de esa trayectoria. En cada intermediario o punto en el que se detenga esa trayectoria existe un pago o transacción, además de un intercambio de información”.

El canal de distribución para este proyecto es el de tipo 1A que pasa del productor al consumidor, debido a que el proyecto viene comenzando y se deben de economizar los costos al máximo y luego cuando ya se esté estable comenzar con un distribuidor.

Se usarán plataformas como Facebook, Twitter e Instagram para hacer publicidad del producto, usar Google Ads también y email marketing. (Baca Urbina, 2013)

8.2 Estudio Técnico

En este apartado se explicará en que se basa la parte técnica del proyecto para responder las preguntas referentes al dónde, cuánto, cuándo, cómo y con qué producir lo que se requiere. Se evaluarán los lugares ideales donde se llevará a cabo el proyecto y su proceso productivo.

El estudio técnico, también denominado estudio de producción, consiste en ubicar, analizar, definir, diseñar el tamaño y localización óptima, así como la investigación de necesidades de infraestructura, proceso de producción, activo fijo y micro y macro localización del plan estratégico de negocios. (González, 2016, p. 132)

8.2.1 Análisis y determinación de la localización óptima del proyecto.

Es la ubicación más conveniente para realizar nuestro proyecto, el cual nos genere un mayor beneficio tanto para los usuarios y para la comunidad misma, con el menor costo.

8.2.1.1 Macro localización

El proyecto se realizará y tendrá base en el sector suroeste de San Pedro Sula, Honduras, debido a que es la capital industrial lo que permite que la obtención de las partes o componentes que necesita el proyecto se pueda encontrar con mayor facilidad. Las ventajas que esto conlleva son, además del fácil acceso a la materia prima, es que es centro importante para el movimiento de las mercancías. El clima también es el idóneo para el desarrollo del mismo ya que se prueba la eficacia del proyecto. La infraestructura de una ciudad principal permite que se pueda montar el proyecto y los clientes tengan fácil acceso a ellos, ya que cumple específicamente los requisitos para que se instale y utilice en la ciudad misma. Esto permitirá que crezca el desarrollo, más y más personas podrán tener el acceso de cultivar sus verduras en su propio hogar en una zona rural.

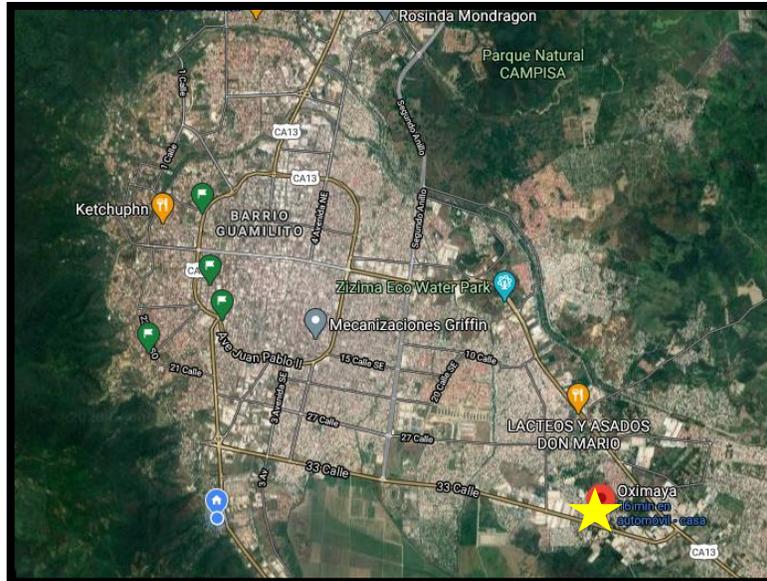


Figura 8.8 Macro localización del proyecto (Elaboración propia, 2021)

8.2.1.2 Micro localización

El proyecto se llevará a cabo en una oficina rentada en la empresa Oximaya, en un área de 36 metros cuadrados, debido a que no requiere un espacio grande, esta una de las entradas de la ciudad por lo cual se puede comunicar con todo el occidente, sur y la zona norte, ya que San Pedro Sula es una ciudad transitada se tiene fácil acceso a otras ciudades importantes.

Para iniciar operaciones se asignará el equipo necesario, para el funcionamiento de la empresa, el cual constará de un escritorio y una silla, una Laptop. Dicho mobiliario y equipo estará bajo el uso y responsabilidad del asistente administrativo.

Tabla 8. 2

Mobiliario y equipo. (Elaboración Propia, 2020)

Mobiliario y equipo de administración					L	14,435.00
Escritorio ejecutivo	1	Administración	L3,000.0	5	L	3,000.00
Silla ejecutiva	1	Administración	L1,750.00	5	L	1,750.00
Impresora	1	Administración	L4,000.00	5	L	4,000.00
Computadora portátil	1	Administración	L5,685.00	5	L	5,685.00

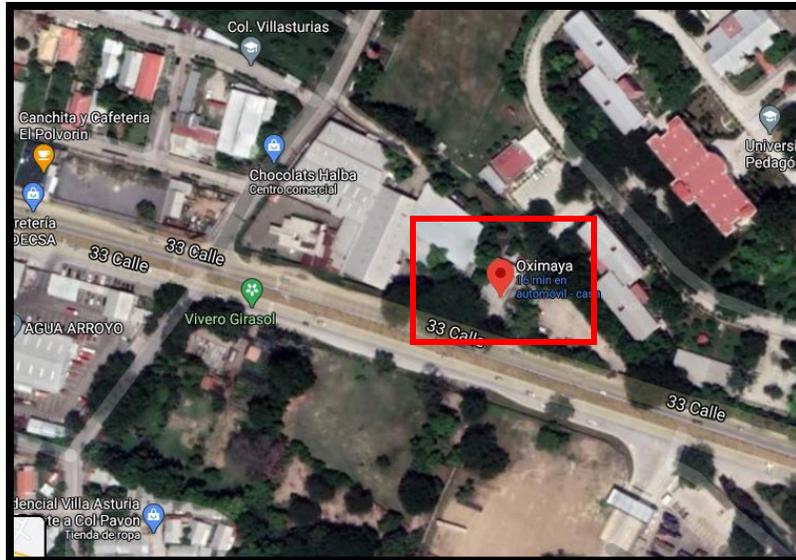


Figura 8.9 Micro localización del proyecto (Elaboración propia, 2021)

8.2.2 Tamaño óptimo del proyecto

La idea de este proyecto es que en casa cada persona que lo adquiera pueda cultivar sus propias verduras, en el montaje inicial los parámetros están dados para el cultivo de lechuga. La estructura montada es de 100 cm de largo por 50 cm de ancho, una altura de 100 cm, el tamaño promedio de cada lechuga es de 20 cm, por tanto, se podrán cultivar y monitorear una cantidad de 20 lechugas por el proyecto. Si se desea o se requiere aumentar el tamaño del cultivo y monitoreo, los costos también se elevan ya que son proporcionales al mismo, el tamaño y la cantidad están estrechamente ligados.

Este tipo de proyectos no es rentable para venta sino para creación y consumo propio, o consumo familiar, la adquisición de la materia prima o componentes electrónicos para llevarlo a cabo es elevada y su inversión es a largo plazo. La inversión inicial solo de materia prima en compra de componentes oscila alrededor de 3500.00 lempiras, eso sin contar los costos del montaje de la estructura como tal.

8.2.3 Suministros

Los suministros necesarios para la elaboración del proyecto, se necesitan poder obtener de una fuente necesaria cercana para poder realizarlo de forma más rápida, al principio se pensó en comprarlo por internet, sin embargo, los componentes se habrían tardado en recibirse por la situación actual del aeropuerto de San Pedro Sula, así que se opta por comprar de manera local, la obtención de los componentes se realizan por medio de la empresa C&D Technologies y se obtuvo una entrega del mismo al día siguiente.

Tabla 8. 3

Factura de compra de componentes. (C&D Technologies, 2020).

Referencia	Producto	Tasa de impuesto	Precio base (Impuestos excl.)	Precio unitario (Impuestos excl.)	Cant.	Total (Impuestos excl.)
E1L1C2 / BE1L1C3	Arduino Mega 2560		--	569 HNL	1	569 HNL
E3L5C4	Detector de nivel de agua sin contacto WS-03		--	280 HNL	1	280 HNL
E2L6	Mini bomba de agua sumergible 240L/H 12V		--	282 HNL	2	563 HNL
E1L2C4 / BE1L4C2	Modulo sensor de humedad del suelo HL-69		--	130 HNL	2	260 HNL
E3L5C4 / BE1L1C2	Modulo sensor de Luz LDR		150 HNL	120 HNL	2	240 HNL
E1L3C1 / BE2L3C2	Relé 4 canales 5V 10A para arduino		352 HNL	250 HNL	1	250 HNL
E1L2C4 / BE1L4C2	Sensor de Temperatura y humedad DHT11		179 HNL	130 HNL	2	260 HNL
E1L5C1 / BE2L1	Set de jumpers de conexion 3 tipos HH - MM - MH 120 hilos 20cm		--	286 HNL	1	286 HNL
E1L3C4	Teclado matricial con membrana 4x4 de 16 teclas		--	154 HNL	1	154 HNL
E3L4C3 / BE1L2C6	Ventilador plástico de 12V 80x15mm		--	190 HNL	2	380 HNL

Desglose impuestos	Tasa de impuesto	Precio base	Total impuesto
Sin impuestos			
Método de pago		Pagos por transferencia bancaria	3,340 HNL
Transportista		Envios Nacionales	

Total Productos	3,241 HNL
Gastos de envío	100 HNL
Total (Imp. excl.)	3,340 HNL
Total	3,340 HNL

El cuadro anterior solo demuestra los costos en la adquisición de los componentes principales, a esto falta aún los costos de la estructura como tal.

El costo del flete por traer los componentes de Tegucigalpa a San Pedro Sula, fueron de L 100.00.

Los costos de instalación, puesta en marcha, mano de obra y mantenimiento serán nulos ya que yo mismo me encargare de montar la estructura y darle el mantenimiento apropiado de limpieza entre otros.

8.2.4 Identificación y descripción del proceso

Haciendo referencia al diagrama expuesto en la sección 7.1, el proceso comienza con la obtención de la materia prima, empezando con los componentes, estos se conectarán a la placa electrónica donde está localizado el Arduino con el circuito de mando y por medio del cableado estos se conectarán a los actuadores que, al recibir las instrucciones del Arduino, actuarán de acuerdo con su configuración. El diseño del proyecto permite que se puedan cultivar unas 20 lechugas en su espacios, estas serán monitoreadas, irrigadas automáticamente e iluminadas de manera necesaria para que puedan crecer sanas y fuertes. El producto terminado será la lechuga como tal para comer y los beneficios son que no requieren de mucha intervención humana en el proceso, se pueden cultivar en cualquier estación del año y se ahorra mucho espacio al ser vertical.

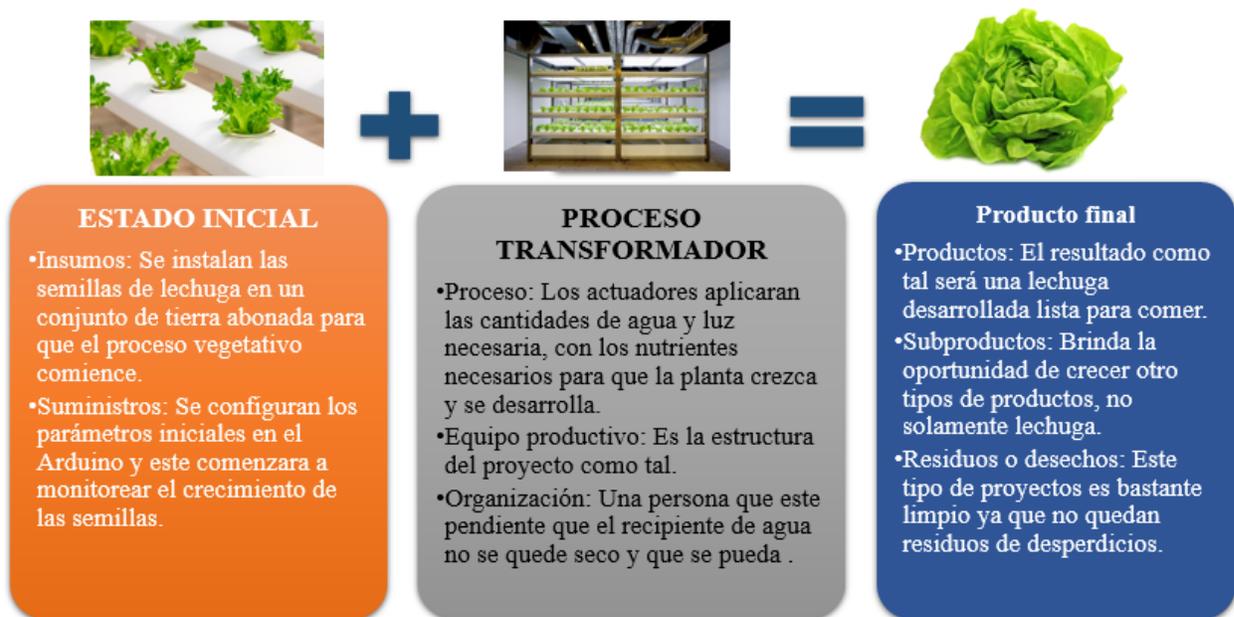


Figura 8.10 Proceso Productivo (Elaboración propia, 2021)

8.2.4 Determinación de la organización humana y jurídica

En este caso por la naturaleza del proyecto, no se requiere de una estructura legal como tal, ya que no se trata de una compañía o de venta de un producto para consumo, sino un proyecto para beneficio propio que se puede reproducir en otras localidades para el mismo fin. Solo se requiere de una persona encargada de darle el mantenimiento adecuado al sistema de monitoreo.

8.3 Estudio Económico

A través de un estudio económico podemos determinar cuál es el monto de dichos recursos necesarios para la realización de nuestro proyecto, sus costos, entre otros.

8.3.1 Costos de Producción y Operación

Los costos de producción y operación en mi proyecto estarán descritos en lo siguiente.

Tabla 8. 4

Gastos operativos en un año. (Elaboración propia, 2020).

CONCEPTO	COSTOS TOTALES	PRODUCCION EQUIVALENTE	COSTO UNITARIO EQUIVALENTE
MATERIAS PRIMAS	L3,320.00	120 unidades	L56.83
MANO DE OBRA DIRECTA	L0.00		
GASTOS INDIRECTOS	L3,500.00		

En el cuadro anterior se puede apreciar que los gastos operativos para cultivar las cabezas de lechuga son muy elevados en comparación de la ganancia que se puede obtener de la misma. Es por ello por lo que mejor se dedique al consumo propio.

8.3.2 Inversión total inicial

Para la toma de decisiones es muy importante conocer cuál es la inversión inicial, ya que, se debe revisar si se cuentan con el capital suficiente o se debe buscar financiamiento con bancos o cooperativas.

Tabla 8. 5

Inversión total inicial. (Elaboración propia, 2020).

Inversión total inicial		
Equipo de operación	40%	L 3,500.00
Mobiliario y componentes	60%	L 5,243.73
Total, Activos Fijos	85%	L 8,743.73
Gastos de construcción	15%	L. 1,500.00
Total, Inversión	100%	L 10,243.73

Esto nos brinda un panorama de la inversión inicial necesaria requerida para poder montar el prototipo del sistema de monitoreo para cultivos verticales. La inversión inicial se proyecta en 10,243.74 lempiras.

8.3.3 Punto de equilibrio

El punto de equilibrio según Baca Urbina (2013) es “El nivel de operación en el que los ingresos por ventas son exactamente iguales a la suma de los costos fijos y los variables” (p. 148). Para esto se han tomado todos los costos fijos y variables y el precio de venta de los productos, para que de esta manera los socios puedan tomar una decisión oportuna. A continuación, el punto de equilibrio en volumen de ventas para los años del uno al cinco.

La fórmula para el punto de equilibrio es la siguiente:

$$\text{punto de equilibrio} = \frac{\text{Costos fijos totales}}{\left(1 - \frac{\text{Costos variables totales}}{\text{Volumen total de ventas}}\right)} \quad (3)$$

Luego de sustituir los valores en la ecuación anterior, el resultado es el siguiente:

Tabla 8. 6

Punto de equilibrio. (Elaboración propia, 2020)

Descripción	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas	L6,820.00	L7,102.35	L7,702.59	L8,699.41	L10,231.98
Costos Variables	L3,500.00	L3,644.90	L3,795.80	L3,952.94	L4,116.60
Costos Fijos	L3,320.00	L3,457.45	L3,600.59	L3,749.65	L3,904.89
Punto de Equilibrio (Volumen de Ventas)	L6,820.00	L7,102.35	L7,098.89	L6,872.42	L6,533.49

El resultado de este punto de equilibrio da a entender que para poder ver ganancias en ventas de lechuga se debe de incrementar el doble de la cantidad de lechugas producidas por el sistema de monitoreo.

8.3.4 TIR (Tasa Interna de retorno)

Con ello podemos saber si es viable invertir en un determinado negocio, considerando otras opciones de inversión de menor riesgo.

Después de realizar los cálculos necesarios la TIR para el proyecto de sistemas para monitoreo y control de cultivos verticales queda de la siguiente manera:

Tabla 8.7

TIR. (Elaboración propia, 2020).

INVERSION	10,243.73
RETORNO ANUAL	3000.00
INFLACION	0.06

AÑO	USD\$
0	-10243.73
1	-7063.73
2	-3883.73
3	-703.73
4	2476.27
5	5656.27
6	8836.27
7	12016.27
8	15196.27
9	18376.27
10	21556.27

La tabla anterior y el gráfico posterior nos indica que nuestra inversión se podrá regresar hasta después del tercer año. Ya en el cuarto año se empezará a obtener resultados positivos. Esto quiere indicar que la inversión se retorna, pero no se obtendrán ganancias durante este periodo.

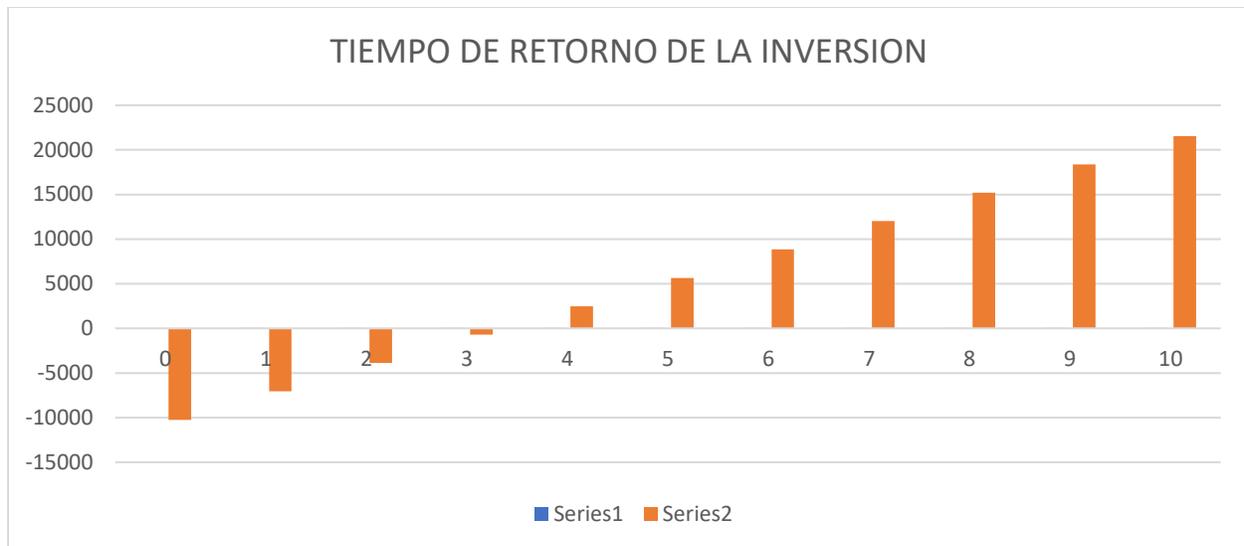


Figura 8.11 Tiempo de retorno de la inversión (Elaboración propia, 2021)

El periodo de recuperación en años para recuperar la inversión inicial emitida, por medio de los flujos de efectivos futuros que generará el proyecto es la siguiente:

Tabla 8.8

Periodo de Recuperación. (Elaboración propia, 2020)

AÑO	0	1	2	3	4	5
USD\$	-10243.73	3180	3180	3180	3180	3180
CUMULATIVE	-10243.73	-7063.73	-3883.73	-703.73	2476.27	5656.27
	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADERO	FALSO
	0	0	0	0	3.221298742	0

Se concuerda que a través del cuarto año se recuperará el dinero invertido, esto nos quiere indicar que si usamos este proyecto para consumo propio si alcanzaremos viendo resultados positivos.

8.4 Creación de prototipo

En esta sección se describirá el paso a paso de cada una de las etapas tomadas para la creación del prototipo. Este se realizó en un transcurso de 3 semanas desde que se adquirió el material a empezar a armarlo.



Figura 8.12 Prototipo finalizado (Elaboración propia, 2021)

En la figura de arriba se puede mostrar el prototipo del sistema vertical automatizado finalizado para la presentación del proyecto, este consta de dos niveles, tres secciones por nivel los cuales tienen 4 cavidades para la colocación de las semillas, dos sistemas de irrigación individuales, iluminación led roja y verde para la noche y el día, y dos ventiladoras para el control de temperatura.

8.4.2 Estructura Externa

Para la estructura externa, decidí ir con tubería PVC, esta porque es muy flexible, fácil de encontrar, precio accesible y duradero. Se utilizaron 2 lances (12 metros) de tubería de 1 1/4 pulgadas para el armazón, 16 codos de la misma medida y 12 triple uniones. Se cortaron 8 tubos de 20 cm y 4 tubos de 40 cm para la altura y dos tubos horizontales de 100 cm para unir la estructura. Ya para la parte de la planta se utilizó un lance (6 metros) de tubería PVC de 4 pulgadas que se cortó en 6 piezas de 80 cm. A estas piezas se le abrieron agujeros por

medio de taladro y broca extensiva de 2 pulgadas de diámetro. Se abrieron 4 agujeros con 10 cm de separación entre cada uno. Se utilizaron 12 reductores de 4 pulgadas a 2 pulgadas y 12 uniones de 2 pulgadas a 1 ¼ pulgadas. También se colocó un recipiente plástico en la parte de abajo donde se almacenará el agua para riego.



Figura 8.13 Armazón externo (Elaboración propia, 2021)

La tubería de 4 pulgadas se unió con el armazón por medio de tornillos, y se colocaron vasos plásticos alineados en cada uno de los agujeros donde se concentraría la tierra para cultivo y dentro de ellos pasa una manguera de ½ pulgada perforada para el riego de la planta.



Figura 8.14 Corte y cruce de manguera por recipiente plástico (Elaboración propia, 2021)

8.4.3 Control y monitoreo

Para la parte de control y monitoreo se decidió utilizar Arduino, por su fácil manejo y conexión. Se compraron los componentes en C&D Technologies y se trajeron de Tegucigalpa y el sistema comprendía de una placa Arduino, un módulo de 4 relés, dos higrómetros FC-28, un sensor DTH para temperatura, 2 ventiladores de 12V, 2 bombas de agua de 12V, una pantalla LCD 16x2, una protoboard para conexiones y dos fuentes de voltaje de 12V y de 5V para alimentación.



Figura 8.15 Compra de componentes (Elaboración propia, 2021)

Se instalaron los ventiladores en ambos niveles y las bombas de agua se unieron a las mangueras que terminaban dentro del recipiente plástico para el agua de riego.



Figura 8.16 Ventilador y sensor DTH11 en estructura (Elaboración propia, 2021)

Se colocaron los higrómetros dentro de la tierra para que pudieran dar su lectura, y el sensor de temperatura se colocó en el centro de la estructura para medir la temperatura ambiente.

Se cargo el código realizado en la aplicación de Arduino y se conectó de la siguiente forma descrita en la parte de abajo y se acomodó en una bandeja que permitía que el LCD 16x2 sobresaliera y se pudiera tener su lectura.

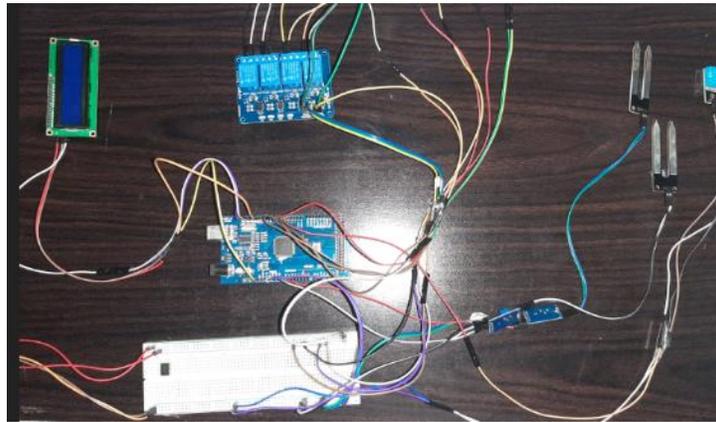


Figura 8.17 Conexión de los componentes (Elaboración propia, 2021)



Figura 8.18 Pantalla LCD mostrando niveles de humedad y temperatura (Elaboración propia, 2021)

Para el cableado se utilizó cable de red por su flexibilidad y se logró ingresar por la parte interior de la tubería realizando perforaciones.



Figura 8.19 Cableado (Elaboración propia, 2021)

Para la conexión de los elementos se utilizó de guía la siguiente tabla.

Tabla 8. 9

Conexión de los sensores a los pines de Arduino. (Elaboración propia, 2021).

Sensor/Dispositivo	Pin Sensor	Pin Arduino
LDR1	D0	A2
LDR2	D0	A3
Higrometro1	A0	A0
Higrometro2	A0	A1
DISPLAY	SDA	SDA
DISPLAY	SCL	SCL
DHT11	OUT	D5
Rele Bomba 1	IN1	D6
Rele Bomba 2	IN2	D7
Rele Nivel	IN3	D8
Rele Ventiladora	IN4	D9

8.4.5 Iluminación

El prototipo cuenta con una un sistema de iluminación con luces LED de color rojo y de color verde que se mantienen encendidas a distintas horas del día de acuerdo con la programación en Arduino. Para ello se utilizaron 50 diodos led, 25 de cada color conectados en serie y cada uno conectado con su respectiva resistencia de 220 ohmios.



Figura 8.20 Conexión en serie de los diodos LED (Elaboración propia, 2021)

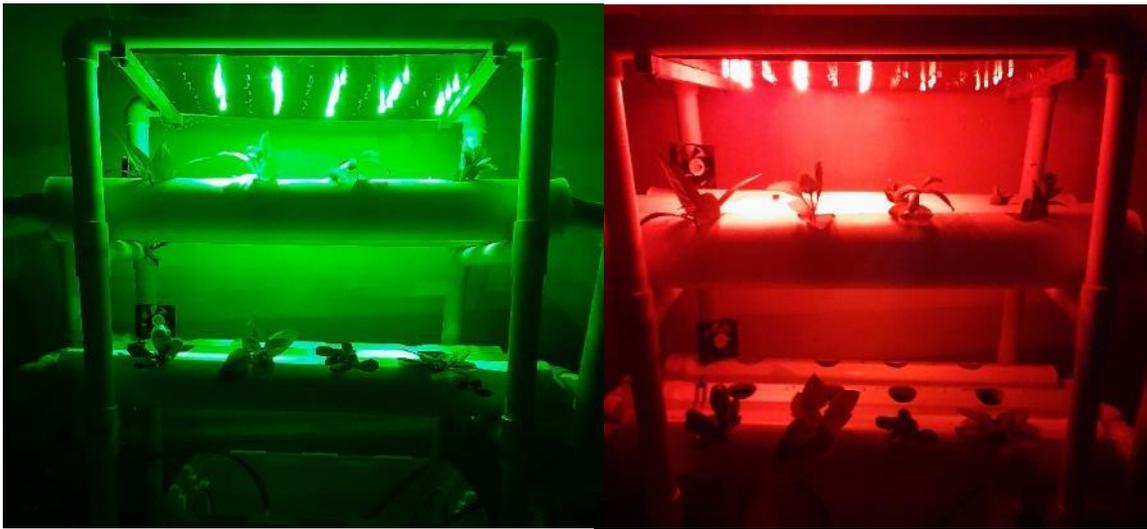


Figura 8.12 Iluminación LED verde y roja (Elaboración propia, 2021)

En las pruebas realizadas, los sensores realizaron las lecturas adecuadas y al encontrarse fuera del rango de aceptación, estas mandaban a activar los actuadores de manera correcta.

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES

En el presente capítulo se detallarán las conclusiones expuestas a partir del análisis y resultados obtenidos.

- La investigación realizada hace determinar que los factores como la luz, humedad, temperatura, y pH afectan directamente el crecimiento integral de una planta comestible. Al controlarlos y brindarlos de manera artificial se pueden conseguir los mismos resultados o incluso mejores. Una planta comestible puede desarrollarse en un menor tiempo si se le provee de la luz, cantidad de agua, nutrientes y temperatura necesaria.
- Para crear un sistema autónomo de monitoreo y control de cultivos verticales se pueden usar los sensores como el DTH11, el higrómetro FC-28, sensor LDR y los actuadores como ventiladores axiales, bombas de agua y luces LED, estos nos ayudan a controlar los valores deseables para que nuestra planta en cuestión pueda crecer. Los LEDs color verde y azul proveen la longitud de onda primordiales para que las hojas de las plantas produzcan clorofila aumentando su desarrollo, al exponerlas a estas luces por intervalos determinados de tiempo, se puede aumentar su desarrollo.
- Por consiguiente, se puede afirmar la hipótesis de esta investigación ya que si se puede desarrollar y ejecutar un modelo de huerto urbano cuyo habito es adaptable a las condiciones necesarias para un desarrollo óptimo de la lechuga y acelga, buscando así tener un ambiente controlado en el cual se pueda aumentar o disminuir la intensidad de luz, ventilación, riego y mantener valores estables de humedad y temperatura, que ofrezcan al cultivo un entorno conforme a su crecimiento. El proyecto se puede llevar a cabo en zonas residenciales y urbanas ya que presenta una facilidad de instalación y no demanda mucho espacio. Es perfecto para mercados urbanos o personas que quieran vender legumbres lo pueden utilizar, no depende de zonas agriculturas o zonas con climas especiales para su producción. La inversión inicial si se puede recuperar en un corto plazo y aumentar su producción de cultivo.
- Gracias a la versatilidad de Arduino es posible diseñar un sistema de monitoreo y control para el cultivo de lechuga y acelga por medio de su potente microcontrolador, al cual a través

de su código se puede ajustar los parámetros deseados para que estos pasen activos monitoreando que se cumplan y así obtengan su fin.

- Realizar un estudio de mercado nos ayuda a prever con tiempo anticipado que tan rentable nos puede ser un proyecto, al realizar la encuesta, se encontró que aunque la mayoría de la población encuestada estaba interesada en adquirir el equipo de monitoreo, solo un porcentaje pequeño estaba dispuesto a pagar un precio justo por ello, porque es atractivo a la vista y novedoso de poder cultivar sus propias verduras y ver el crecimiento, al mismo tiempo no creen que sea algo indispensable para pagar esa cantidad, por lo tanto el proyecto no es para venta de consumo.
- El estudio técnico permite ver donde, cuando, como podremos realizar nuestro proyecto, se encontró una micro localización muy atractiva para la construcción del mismo ya que está localizada en un punto estratégico en la ciudad industrial del país. Los suministros se pueden concentrar con accesibilidad dentro del mismo país sin necesidad de importarlos. Así como también el tamaño del proyecto es equivalente a la cantidad de componentes a adquirir, si se quiere un tamaño más grande se deben de comprar más componentes por lo tanto el costo aumenta.

CAPÍTULO 10: RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se describirán las recomendaciones de mejora para el proyecto de monitoreo y control de cultivos verticales.

- Utilizar técnicas de cableado y canaletas para que las conexiones eléctricas entre los actuadores y el Arduino estén completamente aisladas debido a que el sistema se encontrará en constante interacción con el agua.
- Para un control más personalizado se puede añadir un control manual adicional a la activación automática, de esta forma el usuario podrá decidir qué variables quiere monitorear o darles prioridad.
- Se podría implementar un sistema de comunicación IC2 para una transmisión de datos de la pantalla de Arduino a una aplicación móvil o a una página web con una nube para llevar un control y monitoreo más accesible desde cualquier ubicación.
- Se puede implementar más niveles a la estructura para aumentar la producción de comestibles y también un sistema de drenado para evitar exceso de agua acumulada.
- Para evitar el incremento de consumo eléctrico se podría anexar un sistema fotovoltaico para que sistema sea completamente autónomo y no dependa de la red eléctrica local para su funcionamiento.
- Continuar con estudios continuos y profundos sobre el crecimiento de las plantas y sus variables influyentes con el fin de añadir más sensores y actuadores acordes para mejorar su funcionamiento.
- Establecer una programación de mantenimiento con el fin de revisar los estados de los relés, conexiones, funcionamientos de los sensores entre otros con el fin de evitar cualquier tipo de interrupción en el crecimiento de la planta por un ente externo.

- Si se busca que el proyecto sea para venta de consumo se debe de comprar componentes en masa para poder así bajar un poco su costo, ya que comprarlos individualmente el precio sale elevado.
- Para realizar un tamaño más grande del proyecto se deben de comprar más componentes por lo tanto se recomienda realizar un estudio de cuantos componentes son necesarios para así dimensionarlo apropiadamente y realizar una cotización antes de comprarlo.

BIBLIOGRAFIA

- ABC. (2014, julio 12). *Un japonés crea el huerto de interior más grande del mundo iluminado por LEDs*. abc. <https://www.abc.es/sociedad/20140713/abci-japones-crea-huerto-interior-201407122116.html>
- AeroFarms is on a mission to transform agriculture*. (2020). AeroFarms. <https://aerofarms.com/>
- AgriExpo. (s. f.). *Sonda de temperatura para invernadero—Todos los fabricantes de la agricultura*. Recuperado 15 de septiembre de 2020, de <https://www.agriexpo.online/es/fabricante-agricola/sonda-temperatura-invernadero-1901.html>
- Anthura. (2016). *La importancia de la humedad en el crecimiento de las plantas*. Anthura. <https://www.anthura.nl/growing-advice/la-importancia-la-humedad-en-el-crecimiento-las-plantas/?lang=es>
- AVR. (2020). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=AVR&oldid=128403607>
- CANNA. (s. f.). *Influencia de la temperatura ambiental en las plantas / CANNA España*. Recuperado 25 de agosto de 2020, de http://www.canna.es/influencia_temperatura_ambiental_en_las_plantas
- Corvo, H. S. (2018, abril 6). Análisis de la Oferta: En Qué Consiste y Cómo Se Hace. *Lifeder*. <https://www.lifeder.com/analisis-oferta/>
- Corvo, H. S. (2020, mayo 4). Análisis de precios: Cómo hacer un análisis de precios, ejemplos. *Lifeder*. <https://www.lifeder.com/analisis-de-precios/>
- CultivoHidroponico.info. (2020, abril 11).  Perfeccionando el pH de su Solución de Nutrientes Hidropónicos. *Cultivo Hidropónico*. <https://cultivohidroponico.info/perfeccionando-el-ph-de-su-solucion-de-nutrientes-hidroponicos/>

- Dazne, P. por: A. (2012, febrero 27). Plantascraper: Primera granja vertical del mundo (Linkoping, Suecia). *IS-ARQuitectura | Prefab*. <https://blog.is-arquitectura.es/2012/02/27/la-primera-granja-vertical-se-ha-empezado-a-construir-en-suecia/>
- Descubrearduino. (2019, junio 19). *¿Qué es un microcontrolador? Introducción para principiantes*. Descubrearduino.com. <https://descubrearduino.com/microcontrolador/>
- ecohortum. (2013, marzo 6). *Cómo cultivar acelgas*. <https://ecohortum.com/como-cultivar-acelgas/>
- Embajadores, E. (s. f.). *Resistencia LDR 5 x 4 mm—Sensor de Luz*. Electrónica Embajadores. Recuperado 15 de septiembre de 2020, de <https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/SSLDR34/sensores/sensores-de-luminosidad-color/resistencia-ldr-5-x-4-mm-sensor-de-luz>
- EPA.gov. (s. f.). *Sitio para estudiantes acerca de la lluvia ácida: La escala del pH*. Recuperado 15 de septiembre de 2020, de https://www3.epa.gov/acidrain/education/site_students_spanish/phscale.html
- Fabricantes de Invernaderos y Sistemas de Riego*. (s. f.). Recuperado 15 de septiembre de 2020, de <https://www.novagric.com/es/>
- Fernandez, K. (2014, mayo 10). *Agricultura urbana | Otro Mundo Es Posible*. <https://www.otromundoesposible.net/agricultura-urbana/>
- Figuera, P. K. (2019, abril 11). *Estudio de viabilidad del mercado | encuesta.com*. <https://blog.encuesta.com/estudio-de-viabilidad-del-mercado/>
- Fletcher. (2012, octubre 19). *La «agricultura vertical», de la ciudad a la ciudad—ProQuest*. <https://search.proquest.com/docview/1113039088?accountid=35325>
- Garcés Moreira, J. F. (2019). *Diseño e implementación de un sistema automatizado de monitoreo de variables, control de riego e iluminación RGB, aplicado a huertos urbanos verticales para la producción del rábano*.
- Garcinuño, P. (2016, octubre 17). *David Proenza, CEO de Urban Farms y Premio #IdeA16—Innovación en español*. <https://www.innovaspain.com/david-proenza-ceo-urban-farms-premio-ideal16/>

- Godoy, E. (2015, noviembre 27). *Fincas verticales, una forma de la agricultura del futuro— ProQuest*. <https://search.proquest.com/docview/1763001765?accountid=35325>
- Gutiérrez Agudelo, M. D. C., & Gallego De Pardo, P. (2005). EVALUACIÓN DE LOS PROGRAMAS Y PROYECTOS DESARROLLADOS EN LA PRÁCTICA DE LA ASIGNATURA DE DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE MODALIDADES DE ATENCION DE ENFERMERÍA: DESIGN AND PROGRAMMING OF NURSING CARE MODALITIES. *Ciencia y enfermería*, *11*(2), 71-83. <https://doi.org/10.4067/S0717-95532005000200009>
- Gutierrez, M. (2019, 04). *Humedad: ¿Qué es? Origen, tipos y como se mide la humedad*. <https://www.ecologiahoy.com/humedad>
- iAguá. (2015, septiembre 21). *Uso de sensores en agricultura* [Text]. iAguá; iAguá. <https://www.iagua.es/blogs/iriego/uso-sensores-agricultura>
- Infoagro. (s. f.). *Agricultura. El cultivo de la lechuga*. Recuperado 31 de agosto de 2020, de <https://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga.htm>
- Infoagro Systems. (s. f.-a). *Agricultura. El cultivo de la acelga*. Recuperado 31 de agosto de 2020, de <https://www.infoagro.com/hortalizas/acelga.htm>
- Infoagro Systems. (s. f.-b). *Agricultura. El cultivo de la lechuga*. Recuperado 15 de septiembre de 2020, de <https://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga.htm>
- Intagri. (2017, febrero 26). *La Hidroponía: Cultivos sin Suelo | Intagri S.C.* <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>
- IQ Latino. (2015, julio 15). Granja vertical para alimentar a Wyoming. *IQ Latino*. <https://iqlatino.org/2015/granja-vertical-wyoming/>
- Isaac. (2019, agosto 15). DHT11: Todo sobre el sensor para medir temperatura y humedad. *Hardware libre*. <https://www.hwlibre.com/dht11/>
- Isaac. (2020, agosto 7). Bomba de agua para Arduino: Todo lo que debes saber. *Hardware libre*. <https://www.hwlibre.com/bomba-de-agua-arduino/>
- Khokhar, T. (2017, marzo 22). *Gráfico: A nivel mundial, el 70 % del agua dulce es utilizada para la agricultura* [Blog]. Gráfico: A nivel mundial, el 70 % del agua dulce es utilizada para

la agricultura. <https://blogs.worldbank.org/es/opendata/el-70-del-agua-dulce-es-utilizada-para-la-agricultura>

Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (2019). *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. Academic Press.

Llamas. (s. f.). Medir la humedad del suelo con Arduino e higrómetro FC-28. *Luis Llamas*. Recuperado 9 de septiembre de 2020, de <https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/>

MakerElectronico. (s. f.). Sensor de luz con fotoresistencia LDR. *MakerElectronico*. Recuperado 15 de septiembre de 2020, de <https://www.makerelectronico.com/producto/sensor-luz-fotoresistencia-ldr/>

Maniar, D. (2018, julio 16). *Emirates Flight Catering and Crop One Set To Build 12 Vertical Farms In Dubai | Curly Tales*. <https://curlytales.com/emirates-flight-catering-and-crop-one-set-to-build-12-vertical-farms-in-dubai/>

Manxtechgroup. (2019, septiembre 24). *Soil Monitoring with IoT - Smart Agriculture: Manx Technology Group*. <https://www.manxtechgroup.com/soil-monitoring-with-iot-smart-agriculture/>

Martinez, H. (2016, noviembre 1). *Estudio de Mercado y Análisis de la Demanda | Consultoría Estratégica Directiva, S.C.* <http://cedconsultoria.net/2016/11/01/estudio-mercado-y-analisis-demanda/>

Microchip. (s. f.). *Smart | Connected | Secure | Microchip Technology*. Recuperado 15 de septiembre de 2020, de <https://www.microchip.com/>

NeoFarms | Automatic Aeroponic Indoor Garden. (2020). neofarms. <https://www.neofarms.com>

NR2 System. (2014, abril 8). *Orígenes de los microcontroladores Freescale*. Página web de marinasystem. <http://www.nr2system.com/2014/03/25/freescale/>

Paz Cafferata, J. (2004). *Acuerdo sobre la Agricultura de la OMC La Experiencia de su ejecución Estudios de casos de países en desarrollo*. Honduras. <http://www.fao.org/3/y4632s/y4632s1b.htm>

- Peña, M. (2017, diciembre 9). La agricultura vertical ya se cultiva con luz proveniente del sol. *Blogthinkbig.com*. <https://blogthinkbig.com/la-agricultura-vertical-ya-se-cultiva-con-luz-natural>
- PRISMAB. (s. f.). *Sensores de suelo para agricultura de precisión – PRISMAB*. Recuperado 26 de agosto de 2020, de <https://prismab.com/sensores-de-suelo-para-agricultura-de-precision/>
- ProfesionalReview. (s. f.). *Ventiladores para PC – todo lo que necesitas saber | GUÍA COMPLETA*. Recuperado 15 de septiembre de 2020, de <https://www.profesionalreview.com/ventiladores/>
- ProyectoArduino. (2018, agosto 23). ▷ *Arduino Mega 2560 Características, Especificaciones*. Proyecto Arduino. <https://proyectoarduino.com/arduino-mega-2560/>
- Radstad. (2018, septiembre 12). *Huertos verticales, tendencia en sostenibilidad | Randstad*. <https://www.randstad.es/tendencias360/huertos-verticales-la-tendencia-en-sostenibilidad/>
- Regulación pH. (s. f.). *Hidroponia*. Recuperado 25 de agosto de 2020, de <http://hidroponia.info/regulacion-de-ph/>
- Seminis. (2017, junio 5). *¿Cómo afectan las altas temperaturas a nuestros cultivos?* Seminis. <https://www.seminis.mx/blog-como-afectan-las-altas-temperaturas-nuestros-cultivos/>
- Seminis. (2018, octubre 18). *Sensores agrícolas: Innovación para la optimización de recursos*. Seminis. <https://www.seminis.mx/sensores-agricolas-innovacion-para-la-optimizacion-de-recursos/>
- Shopkit. (s. f.). *Perfeccione el pH de la solución nutritiva | Hidroponía España I Cultivos Hidropónicos—Tienda Oficial*. GroHo España. Recuperado 25 de agosto de 2020, de <https://www.groho.es/post/perfeccione-el-ph-de-la-solucion-nutritiva>
- Significado de Temperatura*. (s. f.). Significados. Recuperado 25 de agosto de 2020, de <https://www.significados.com/temperatura/>
- Sphinx, A. (2015, marzo 5). Tutorial de Programación de PICs en Ensamblador. *Linux Droids Blog*. <https://linuxdroids.com/2015/03/05/tutorial-de-programacion-de-pics-en-ensamblador/>

Talavera, M. V. C. (s. f.). *PICmicro® MCU Estudio—¿qué es un microcontrolador?* Electronica Estudio. Recuperado 26 de agosto de 2020, de <https://www.estudioelectronica.com/que-es-un-microcontrolador/>

Urban Crop Solutions. (s. f.). Recuperado 15 de septiembre de 2020, de <https://urbancropsolutions.com/>

Urban Crops Solutions. (s. f.). Recuperado 23 de agosto de 2020, de https://info.urbancropsolutions.com/hubfs/Downloads/Urban-Crop-Solutions-Indoor-Vertical-Farming-Brochure.pdf?utm_medium=email&_hsmi=93384616&_hsenc=p2ANqzt-9TDZ7vSUv0MjJmljVWJbL6heXIreqim4gjrLPE3oXqOZfthwC0RLilRtp11svqO82MnMdajgCY55vRhUWZbCMPMd48a-CrJDLScq8ZR8iZhRNqKRo&utm_content=93384616&utm_source=hs_automation

ANEXOS:

Anexo 1. Encuesta realizada

ENCUESTA PARA ESTUDIO DE MERCADO DE UN HUERTO URBANO VERTICAL AUTOMATIZADO PARA EL CULTIVO DE VERDURAS EN UN AMBIENTE CONTROLADO

Un huerto urbano vertical automatizado es una estructura de varios niveles que permite cultivar verduras de una forma “vertical” ahorrando espacio, perfecto para zonas urbanas, que, controlando los niveles de temperatura, humedad, luz y con un sistema de riego automático permite el desarrollo integral de la planta comestible a cultivar, utilizable 24/7 y puede cultivar en cualquier temporada del año.

La finalidad de esta encuesta es poder conocer la demanda de estos equipos y ver su viabilidad en el mercado. La encuesta no durará más de 5 min.



- Género:

Masculino Femenino

- Seleccione su rango de edad:

De 18-30 años

30-40 años

40-50 años

50-60 años

60 años o más

- ¿Con qué frecuencia consume verduras a la semana?

Diariamente

4-6 veces por semana

1-3 veces por semana

1 vez por semana

- ¿Dónde suele comprar mayormente sus verduras?

Supermercado

Pulperías

Carritos Verduleros

En Mercaditos o Feria del Agricultor

- ¿En qué se basa a la hora de seleccionar sus verduras?

Precio

Frescura

Tamaño

Cantidad

- ¿Ha cultivado alguna vez verduras en su hogar?

Si

No

- ¿Le gustaría tener la facilidad de poder cultivar verduras en su hogar?

Si

No

- ¿Estaría interesado a adquirir uno de estos equipos para cultivar sus propias verduras?

Si

No

- ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por un equipo de estos?

2,500 Lps

3,500 Lps

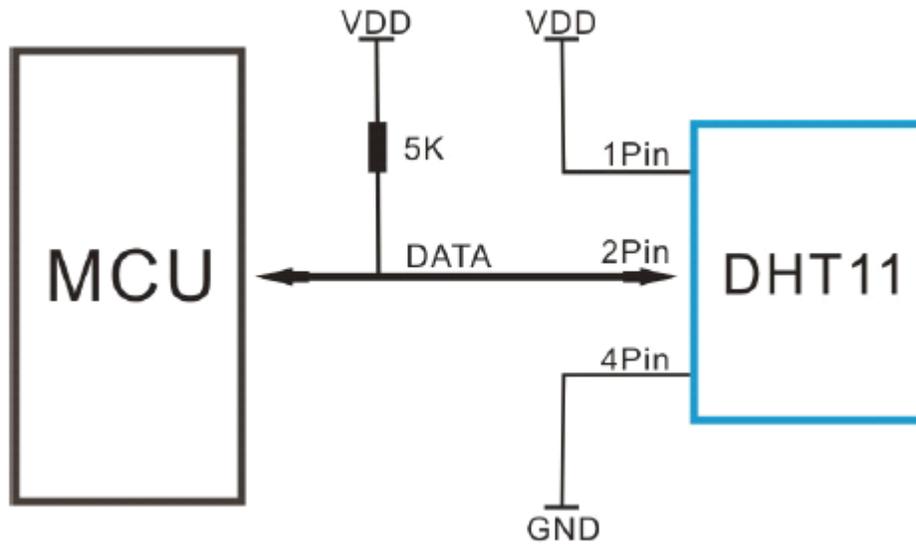
5,000 Lps

10,000 Lps

Anexo 2. Especificaciones técnicas del sensor DTH11

Item	Measurement Range	Humidity Accuracy	Temperature Accuracy	Resolution	Package
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	±5%RH	±2°C	1	4 Pin Single Row
Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	
Humidity					
Resolution		1%RH	1%RH 8 Bit	1%RH	
Repeatability			±1%RH		
Accuracy	25°C		±4%RH		
	0-50°C			±5%RH	
Interchangeability	Fully Interchangeable				
Measurement Range	0°C	30%RH			90%RH
	25°C	20%RH			90%RH
	50°C	20%RH			80%RH
Response Time (Seconds)	1/e(63%)25°C, 1m/s Air	6 S	10 S		15 S
Hysteresis			±1%RH		
Long-Term Stability	Typical		±1%RH/year		
Temperature					
Resolution		1°C	1°C		1°C
		8 Bit	8 Bit		8 Bit
Repeatability			±1°C		
Accuracy		±1°C			±2°C
Measurement Range		0°C			50°C
Response Time (Seconds)	1/e(63%)	6 S			30 S

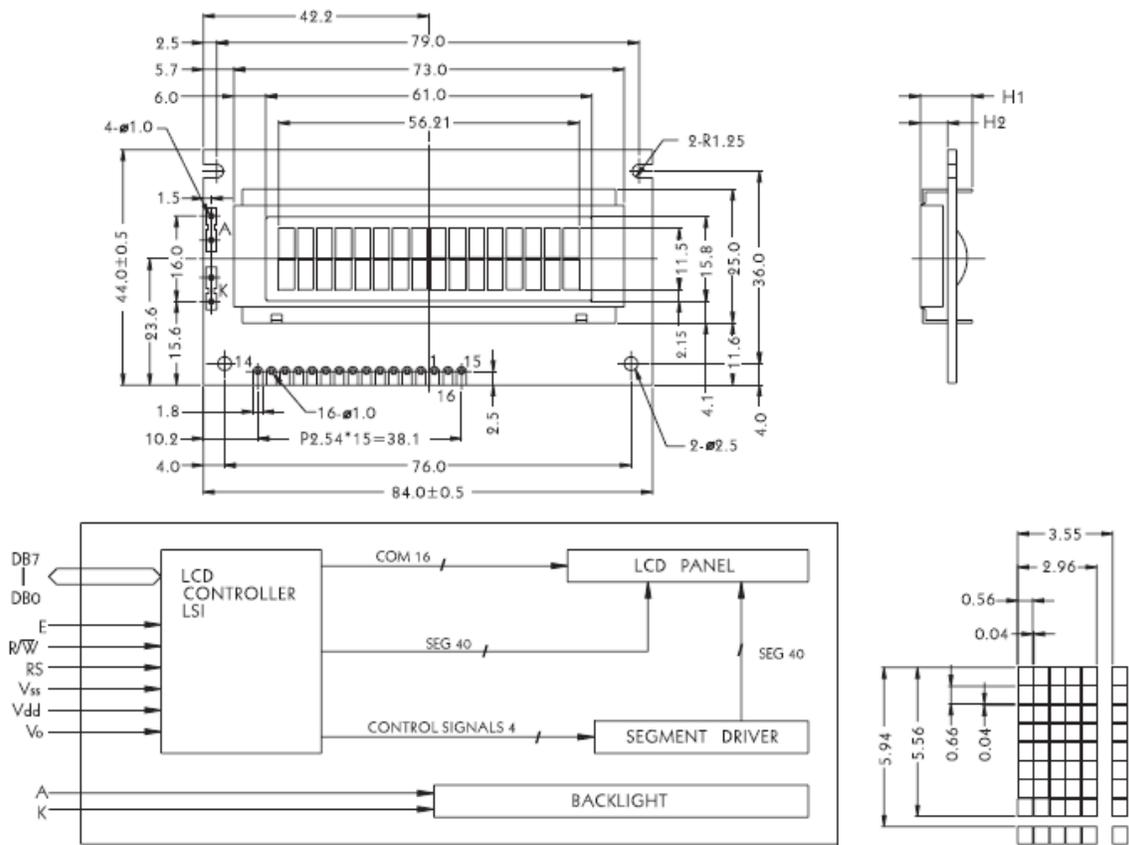
Anexo 3. Aplicación típica del sensor DHT11



Anexo 4. Especificaciones del Arduino Mega 2560

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Anexo 5. Diagrama del Arduino Mega 2560



The tolerance unless classified ± 0.3 mm

MECHANICAL SPECIFICATION			
Overall Size	84.0 * 44.0	Module	H2 / H1
View Area	61.0 * 15.8	W/O B/L	5.1 / 9.7
Dot Size	0.56 * 0.66	EL B/L	5.1 / 9.7
Dot Pitch	0.60 * 0.70	LED B/L	9.4 / 14.0

PIN ASSIGNMENT		
Pin no.	Symbol	Function
1	Vss	Power supply (GND)
2	Vdd	Power supply (+5V)
3	Vo	Contrast Adjust
4	RS	Register select signal
5	R/W	Data read /write
6	E	Enable signal
7	DB0	Data bus line
8	DB1	Data bus line
9	DB2	Data bus line
10	DB3	Data bus line
11	DB4	Data bus line
12	DB5	Data bus line
13	DB6	Data bus line
14	DB7	Data bus line
15	A	Power supply for LED B/L (+)
16	K	Power supply for LED B/L (-)

ABSOLUTE MAXIMUM RATING					
Item	Symbol	Conditions	Min.	Max.	Unit
Power Supply Voltage	Vdd-Vss	—	0	7	V
LCD Driving Supply Voltage	Vdd-Vee	—	0	13	V
Input Voltage	Vin	—	-0.3	Vdd+0.3	V
Operating Temperature	Topr	Nor.	0	50	°C
Storage Temperature	Tstg	Nor.	-20	+70	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Vdd = +5V, Ta = 25°C)						
Item	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Logic Supply Voltage	Vdd	—	4.5	5	5.5	V
"H" Input Voltage	V _{IH}	—	2.2	—	—	V
"L" Input Voltage	V _{IL}	—	—	—	0.6	V
"H" Output Voltage	V _{OIH}	—	2.4	—	—	V
"L" Output Voltage	V _{OL}	—	—	—	0.4	V
Supply Current	I _{dd}	—	2	—	—	mA
LCD Driving Voltage	V _{LC}	Vdd-Vo	4.3	—	4.8	V

Anexo 6. Especificaciones y parámetros eléctricos del sensor FC28

PCB size	71.65mm X 24.00mm X 1.6mm
Working voltage	3.3or 5V DC
Operating voltage	3.3 or 5V DC
Compatible interfaces	2.54 3-pin interface and 4-pin Grove interface ⁽¹⁾⁽²⁾

Parameter	Min.	Typical	Max.	Unit
Working voltage	2.1	5	5.5	VDC
Analog output voltage (VCC=5V)	0	Vout	5	V
Digital output voltage (VCC=5V)	0	-	5	V
Working current (VCC=5V)	-	5	-	mA
Threshold hysteresis ΔU_{th}	-	VCC*0.09	-	V

Anexo 7. Parámetros del sensor de nivel SW03

Parameter:

【Model】 WS03M	【Product Name】 Non-contact Flat Liquid Level Sensor
【Working Voltage】 DC5-24V	【Outter Working Voltage VCC】 DC5-24V
【Output VoltageVoh (Hi)】 Vdd V	【Output Voltage Vol (Lo)】 0.5V
【Output Current Iol (Lo)】 300mA	【Current consumption】 5mA
【Response Time】 0.5秒	【Operating Temperature】 0-60°C
【Cable Length】 40 or 150cm	【Bracket Type】 A,B or C Bracket
【Size】 LxWxH-30*19*10mm	【Installat ion Method】 Bracket Fixed Installat ion