



FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE  
TEMPERATURA AMBIENTAL Y NIVEL DE PH CON  
CONTROLES DE HUMEDAD RELATIVA DEL SUELO Y  
NIVEL DE ILUMINACIÓN BASADO EN PWM,  
ORIENTADO AL ESTUDIO DEL CULTIVO DE PLANTAS**

**PRESENTADA POR**

**JOSÉ LUIS ALEJANDRO FIESTAS TRUJILLO**

**PERSI PUGA CORONADO**

**ASESORES**

**FERNANDO JIMENES MOTTE**

**CHRISTIAN DEL CARPIO DAMIÁN**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

**LIMA – PERÚ**

**2019**



**CC BY-NC-ND**

**Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada**

La autora sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



**USMP**  
UNIVERSIDAD DE  
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA  
AMBIENTAL Y NIVEL DE PH CON CONTROL DE HUMEDAD RELATIVA  
DEL SUELO Y NIVEL DE ILUMINACIÓN BASADO EN PWM, ORIENTADO  
AL ESTUDIO DEL CULTIVO DE PLANTAS**

**TESIS**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO**

**PRESENTADA POR**

**PUGA CORONADO, PERSI**

**FIESTAS TRUJILLO, JOSÉ LUIS ALEJANDRO**

**LIMA - PERÚ**

**2018**





**USMP**  
UNIVERSIDAD DE  
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA  
AMBIENTAL Y NIVEL DE PH CON CONTROL DE HUMEDAD RELATIVA  
DEL SUELO Y NIVEL DE ILUMINACIÓN BASADO EN PWM, ORIENTADO  
AL ESTUDIO DEL CULTIVO DE PLANTAS**

**TESIS**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO**

**PRESENTADA POR**

**PUGA CORONADO, PERSI**

**FIESTAS TRUJILLO, JOSÉ LUIS ALEJANDRO**

**LIMA - PERÚ**

**2018**

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xv</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
1.1 Situación problemática	1
1.2 Definición del problema	12
1.3 Objetivos generales y específicos	12
1.4 Importancia de la investigación	13
1.5 Justificación	13
1.6 Limitaciones	15
1.7 Viabilidad de la investigación o presupuesto	15
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes de la investigación	17
2.2 Estado del arte	19
2.3 Bases teóricas	31
2.4 Importancia de la temperatura, humedad e iluminación en los cultivos	57
2.5 Definición de términos básicos	64
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b>	
3.1 Materiales	65
3.2 Método	76
<b>CAPÍTULO IV: DESARROLLO</b>	
4.1 Bloque pictórico	78

4.2 Diagrama de flujo	79
4.3 Cálculos	85
4.4 Diseño	104
<b>CAPÍTULO V: PRUEBAS Y RESULTADOS PRELIMINARES</b>	
5.1 Pruebas del sensor de temperatura	125
5.2 Pruebas del sensor de lux	130
5.3 Pruebas del sensor de humedad	139
5.4 Pruebas sensor de pH	144
5.5 Costos	147
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>152</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>155</b>
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN</b>	<b>156</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1: Porcentaje de agricultura y pesca en el PBI	3
Figura 2: Producción de cultivos en relación a la temperatura	5
Figura 3: Proyecciones de tierras agrícolas en el Perú en 80 años	6
Figura 4: Impacto del cambio climático en variación porcentual por año	8
Figura 5: Impacto económico del cambio climático en la agricultura 1	8
Figura 6: Impacto económico del cambio climático en la agricultura 2	9
Figura 7: Top 10 países emisores de CO2	11
Figura 8: Nick Holonyak	17
Figura 9: Premio nobel en física: Akasaki, Amano y Nakamura	18
Figura 10: Fabrica <i>SPREAD</i> en Kioto, Japón	21
Figura 11: Diagrama de bloques: sistema de crecimiento de plantas	23
Figura 12: <i>AeroGarden Farm Plus</i>	26
Figura 13: <i>AeroGarden Harvest Elite</i>	26
Figura 14: <i>Aerogarden Sproud LED</i>	27
Figura 15: <i>AeroGarden Bounty Elite WiFi</i>	28
Figura 16: <i>SmartGarden 3 &amp; SmartGarden 9</i>	28
Figura 17: <i>Wall Farm &amp; Wall Farm Mini</i>	29
Figura 18: Onda electromagnética	32

Figura 19: Espectro Electromagnético	32
Figura 20: Espectro visible por el ojo humano	33
Figura 21: Longitudes de onda de los colores visibles por el ojo humano	34
Figura 22: Intensidad Luminosa	36
Figura 23: Representación de la Iluminancia	37
Figura 24: Mismo ángulo de visión a diferentes metros de la altura	38
Figura 25: Diferentes ángulos a la misma altura respecto a la superficie	39
Figura 26: Representación área iluminada respecto al ángulo incidente	39
Figura 27: Señal de Onda cuadrada modulada por pulsos	40
Figura 28: Arquitectura Von Neumann vs arquitectura Harvard	42
Figura 29: Comunicación <i>Simplex, Half Duplex y Full Duplex</i>	45
Figura 30: Comunicación I2C	46
Figura 31: Secuencia de datos protocolo I2C	47
Figura 32: Modulación GFSK	52
Figura 33: Escala de pH	52
Figura 34: Acomodación de cultivos al pH	55
Figura 35: Estructura del relé	59
Figura 36: Cotas y medidas recomendadas por la OSHA	62
Figura 37: Relación talla y diferentes segmentos corporales	63
Figura 38: Tabla de parámetros del marco teórico	64
Figura 39: Especificaciones MOSFET IRF3205	65
Figura 40: MOSFET IRF3205	65
Figura 41: Sensor DS18B20	66
Figura 42: Sensor BH1750	67
Figura 43: Sensor de humedad YL69	68
Figura 44: Descripción módulo YL-38	69
Figura 45: Módulo de calibración PH-4502C	70

Figura 46: Pines del ATmega 328P	73
Figura 47: Configuración de pines del <i>Raspberry 3 Model B+</i>	74
Figura 48: Vista trasera de la pantalla táctil	74
Figura 49: Vista frontal de la pantalla	75
Figura 50: Mini bomba de agua 5VDC	75
Figura 51: Diagrama pictórico	79
Figura 52: Diagrama de Flujo para lectura de data	80
Figura 53: Diagrama de Flujo para sensor de humedad	81
Figura 54: Diagrama de Flujo para sensor de temperatura	82
Figura 55: Diagrama de Flujo para sensor de pH	83
Figura 56: Diagrama de Flujo para sensor de lux	84
Figura 57: Diagrama de Control de Unidad de Tiempo del ATmega328p	85
Figura 58: Factor de división del <i>Prescaler</i>	86
Figura 59: Cuadro de ciclos de referencia del conversor AD	87
Figura 60: Cálculo de los BAUDIOS y <i>UBRRn</i>	87
Figura 61: Circuito para alimentación del Led	89
Figura 62: Circuito ideal para luces azules	92
Figura 63: Circuito ideal para luces rojas	93
Figura 64: Circuito ideal para luces blancas	95
Figura 65: Diagrama del área iluminada	95
Figura 66: Ángulo de visión para luz azul y blanca	96
Figura 67: Ángulo de visión de luz roja	97
Figura 68: Simulación posición de leds a dos centímetros de distancia	98
Figura 69: Simulación posición de leds a tres centímetros de distancia	99
Figura 70: Simulación posición de leds a cinco centímetros de distancia	99
Figura 71: Simulación posición de leds a 10 centímetros de distancia	100

Figura 72: Simulación posición de leds a 20 centímetros de distancia	100
Figura 73: Vista frontal de la mesa de trabajo	105
Figura 74: Vista de orificios de mesa de trabajo	106
Figura 75: Vista 3D de la mesa de trabajo	106
Figura 76: Diseño de placa PCB En proteus	108
Figura 77: Placa PCB en <i>Proteus</i>	109
Figura 78: Primera versión de aplicación <i>Bluetooth</i>	110
Figura 79: Segunda versión de aplicación <i>Bluetooth</i>	112
Figura 80: Tercera versión de aplicación <i>Bluetooth</i>	113
Figura 81: Interfaz de <i>software Processing</i>	115
Figura 82: Configuración del <i>sketch</i> de <i>Processing</i>	116
Figura 83: El lienzo como plano cartesiano X, Y	116
Figura 84: Primer diseño de interfaz	117
Figura 85: Segundo diseño de interfaz	117
Figura 86: Tercer diseño de la interfaz	118
Figura 87: Representación del área iluminada	120
Figura 88: Representación de led a dos centímetros de distancia	120
Figura 89: Primer diseño de la matriz Led	121
Figura 90: Representación del área iluminada con un led rojo más	121
Figura 91: Diseño Final de la matriz Led	122
Figura 92: Matriz de LEDs en <i>Eagle</i>	122
Figura 93: Largo de la matriz Led	123
Figura 94: Ancho de la matriz Led	123
Figura 95: Prueba de temperatura, sensor DS18B20	126
Figura 96: Validación del sensor de temperatura	128
Figura 97: Diferencia de temperatura en grados centígrados	129
Figura 98: Diferencia de temperatura en porcentaje	129
Figura 99: Recomendaciones del fabricante ROHM	131
Figura 100: Gráfica de medición de lux a 5 cm	133
Figura 101: Gráfica de medición de lux a 10 cm	133

Figura 102: Gráfica de medición de lux a 15 cm	134
Figura 103: Gráfica de medición de lux a 20 cm	134
Figura 104: Luxómetro digital UT383	135
Figura 105: Validación del sensor de lux a 5 cm	137
Figura 106: Validación del sensor de lux a 10 cm	137
Figura 107: Validación del sensor de lux a 15 cm	138
Figura 108: Validación del sensor de lux a 20 cm	138
Figura 109: Medición de humedad, sensor YL69	140
Figura 110: Higrómetro digital ECOWITT WH0291	141
Figura 111: Comparación YL69 vs. WH0921	143
Figura 112: Diferencia porcentual, YL69 vs. WH0921	143
Figura 113: <i>Buffers</i> de pH	144
Figura 114: pH-metro digital PH-TDS	146

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla 1: Efecto de la luz LED sobre la producción de microorganismos	22
Tabla 2: Comparación entre productos comerciales similares	31
Tabla 3: Comparación instrucciones CISC vs RISC	42
Tabla 4: Resumen arquitecturas CISC y RISC	43
Tabla 5: Clases y potencias permitidas	48
Tabla 6: Versiones y anchos de banda	49
Tabla 7: Espectros de frecuencia	50
Tabla 8: pH requerido para cereales	56
Tabla 9: pH requerido para hortalizas	56
Tabla 10: pH requerido para los frutales	57
Tabla 11: Beneficios y factores limitantes	57
Tabla 12: Temperatura óptima para cultivos	58
Tabla 13: Datos en mm de la población conjunta	63
Tabla 14: Características del sensor de lux BH1750	67
Tabla 15: Tabla de especificaciones sensor YL69	68
Tabla 16: Características sensor de pH E-201	69
Tabla 17: Características módulo PH4502C	70
Tabla 18: Características módulo <i>bluetooth</i> HC05	71
Tabla 19: Especificaciones LED azul	71
Tabla 20: Especificaciones LED blanco	72
Tabla 21: Especificaciones LED rojo	72

Tabla 22: Características ATmega 328P	73
Tabla 23: Características mini bomba de agua	75
Tabla 24: Tiempos de referencia del conversor AD	87
Tabla 25: Especificaciones técnicas de led Azul marca Osram	90
Tabla 26: Especificaciones técnicas de LED Rojo marca Luminus	92
Tabla 27: Especificaciones técnicas de LED blanco marca Cree Xlamp	94
Tabla 28: Valores ideales de LEDs	101
Tabla 29: Valores nominales de LEDs	103
Tabla 30: Mediciones de temperatura	125
Tabla 31: Especificaciones termómetro digital ST9265	127
Tabla 32: Comparación de temperatura	127
Tabla 33: Medición del sensor de lux a 5 cm	131
Tabla 34: Medición del sensor de lux a 10 cm	132
Tabla 35: Medición del sensor de lux a 15 cm.	132
Tabla 36: Medición del sensor de lux a 20 cm.	132
Tabla 37: Características Luxómetro digital UT383	135
Tabla 38: Medición del sensor de lux a 5 cm	135
Tabla 39: Medición del sensor de lux a 10 cm	136
Tabla 40: Medición del sensor de lux a 15 cm	136
Tabla 41: Medición del sensor de lux a 20 cm	136
Tabla 42: Medición del sensor de humedad relativa YL69	139
Tabla 43: Especificaciones ECOWITT WH0291	141
Tabla 44: Validación YL69 vs WH0921	141
Tabla 45: Mediciones de pH sensor E-201-C	144
Tabla 46: Especificaciones pH-metro digital PH-TDS	145
Tabla 47: Validación de sensor de pH	146
Tabla 48: Costos e inversión total de la investigación	147
Tabla 49: Costos e inversión total del producto final	150

## ÍNDICE DE ECUACIONES

	<b>Página</b>
Ecuación 1: Cálculo de la longitud de onda	33
Ecuación 2: Cálculo de la energía de un fotón	33
Ecuación 3: Cálculo del flujo radiante	35
Ecuación 4: Cálculo del Flujo Luminoso	35
Ecuación 5: Cálculo de la eficacia luminosa	36
Ecuación 6: Cálculo de la intensidad luminosa	36
Ecuación 7: Cálculo de la iluminancia	37
Ecuación 8: Incidencia de luz sobre una superficie	37
Ecuación 9: Cálculo de la altura	40
Ecuación 10: Cálculo del radio del área iluminada	40
Ecuación 11: Cálculo del ciclo de trabajo	41
Ecuación 12: Cálculo de la altura de la mesa de trabajo	64
Ecuación 13: Cálculo de instrucciones por segundo	86
Ecuación 14: Cálculo del tiempo por instrucción	86
Ecuación 15: Cálculo del tiempo por ciclo	87
Ecuación 16: Ecuación para calcular valor del registro <i>UBRR<sub>n</sub></i>	88
Ecuación 17: Cálculo del valor del registro <i>UBRR<sub>n</sub></i>	88
Ecuación 18: Diferencia de potencial	90
Ecuación 19: Ley de OHM	90
Ecuación 20: Cálculo de la potencia que fluye por la resistencia	90
Ecuación 21: Teorema de Pitágoras	96

Ecuación 22: Teorema de cosenos	96
Ecuación 23: Función Gaussiana	98
Ecuación 24: Cálculo de la altura de la mesa de trabajo	104
Ecuación 25: Error porcentual del sensor de temperatura DS18B20	128
Ecuación 26: Promedio de error de muestras	130
Ecuación 27: Error porcentual del sensor de humedad YL69	142
Ecuación 28: Error porcentual del sensor de pH E-201-C	145

## RESUMEN

La presente tesis desarrolla un sistema de monitoreo de parámetros; tales como: temperatura ambiental, lux, nivel de acidez y humedad relativa del suelo, para controlar la cantidad de agua de riego y, por medio de *Pulse Width Modulation* (PWM), la luz que recibe un cultivo con el objetivo de impulsar el potencial de la agronomía peruana y contrarrestar los efectos del cambio climático en los campos de cultivo de nuestro país.

En base a esto, se diseñó una placa con una matriz de diodos *Light Emitting Diode* (LED) de alta potencia y de longitud de onda definida; se analizó el voltaje y la corriente necesaria de cada LED así como la distancia a la que necesitan situarse para poder obtener su mayor potencial y; finalmente, se diseñó una interfaz gráfica y una aplicación para celulares Android que permitirá monitorear y controlar los parámetros necesarios e investigar el efecto de las luces LED sobre los cultivos agrícolas.

## **ABSTRACT**

This thesis develops a system for monitoring parameters; such as: ambient temperature, lux, level of acidity and relative humidity of the soil, to control the amount of irrigation water and, by means of Pulse Width Modulation (PWM), the light received by a crop in order to boost the potential of Peruvian agronomy and counteract the effects of climate change in the fields of our country.

Based on this, a plate with a matrix of LED diodes of high power and of defined wavelength was designed; the voltage and current required of each Light Emitting Diode (LED) was analyzed as well as the distance they need to be located in order to obtain their greatest potential; Finally, a graphic interface and an application for Android phones were designed to monitor and control the necessary parameters and investigate the effect of LED lights on agricultural crops.

## INTRODUCCIÓN

Como antecedente se puede indicar que el Perú es un país con una economía compleja; al analizar el Producto Bruto Interno (PBI) como un indicador de crecimiento se puede ver que han existido periodos de expansión y recesión ligados a factores internos y externos. En el periodo 1950-2016 el PBI ha crecido en un promedio anual de 3.9% y se ha visto afectado por crisis internacionales (1958,1976-1978, 1982 y 1983) y el estancamiento del año 2009. En todas estas recesiones, los factores externos derivados de las crisis internacionales afectaron la actividad económica, que en algunos casos fueron atenuadas por las políticas macroeconómicas aplicadas, o se agravaron por el impacto del Fenómeno del Niño, como las registradas en los años 1982-1983 y 1998-1999 (INEI, 2017).

El PBI agregado está compuesto por el producto generado por varios sectores. Uno de ellos, con mayor relevancia por su impacto en el crecimiento económico y reducción de la pobreza, es el sector agrícola (Economica.pe, 2018). Este, alguna vez fue la principal fuente de empleo e ingresos para gran parte de la población, pero su importancia ha disminuido porque la economía nacional se ha expandido y urbanizado. Por lo que la participación del sector agrícola es cada vez menor, por más que el sector haya tenido un crecimiento constante desde el año 2007 (Banco Mundial , 2017).

La agricultura forma una parte importante de la economía, por al menos cinco razones. Primero, de darse una desaceleración del sector, sufrirá el crecimiento general de la economía. Segundo, es un sector expansivo que ayuda a la diversificación de la economía y reduce la dependencia de sectores

como minería. Tercero, un crecimiento de ese sector impulsaría la reducción de la pobreza. Cuarto, la seguridad alimentaria puede verse afectada si es que se mantiene el ritmo de crecimiento poblacional mas no el del sector agrícola. Y finalmente, las prácticas agrícolas inteligentes en términos climáticos pueden jugar un rol importante en la reducción de gases de efecto invernadero y emisiones de CO<sub>2</sub>. Si las prácticas agrícolas no son inteligentes y eficientes, el cambio climático tendrá un impacto mucho mayor (Banco Mundial , 2017).

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Situación problemática**

##### **1.1.1 ¿Por qué potenciar la agricultura en el Perú?**

Perú es uno de los doce países a nivel mundial considerados como megadiversos; es decir, posee más del 60% de la diversidad biológica y tiene en su territorio casi el 10% de las especies mundiales de flora (Banco Mundial, 2013). La tercera parte de la población vive en zonas rurales y el 50% de sus ingresos provienen de la agricultura (Schneir, 2010). Sin embargo, no somos un país agrícola, por más que sea el sector productivo con mayor demanda de mano de obra, pues emplea más del 25% de la Población Económicamente Activa (PEA) (Gestión Perú, 2013). A diciembre del 2016 el PBI del sector agrícola representó el 3.07%, un porcentaje bajo si se compara con otros sectores como minería (13.84% en el 2016) (ver figura 1) (Banco de Reserva del Perú, 2016).

##### **1.1.2 Uso inadecuado de recursos**

El uso inadecuado de recursos naturales renovables (como el agua y suelo) ha generado niveles críticos de deterioro en ciertas zonas del país. Algunos problemas detectados son: desertificación, salinización, pérdida de tierras agrícolas, entre otros. Además, la situación de pobreza de los campesinos y pequeños productores se agrava por la aplicación de sistemas productivos que generan desequilibrios entre los

procesos de extracción y regeneración de los recursos naturales (MINAGRI, 2016).

En el 2010 el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) actualizó su Plan Estratégico Sectorial Multianual; en este documento, se mencionan cuatro causas principales para el bajo desarrollo del sector agrícola, entre las más importantes se puede mencionar el inadecuado manejo de recursos naturales renovables, en especial el ineficiente manejo del agua por el sector agrario debido a factores como la pérdida por filtración de canales, falta de mantenimiento de infraestructura de riego y uso desmedido de los recursos hídricos.

Según el MINAGRI el sector agrícola, en la costa, utiliza el 80% del agua, con una eficiencia del 35%. Afirman también que, de los 55 mil kilómetros de canales evaluados, el 85% de encuentran sin revestimiento, lo que ocasiona posibles pérdidas de distribución. Además, influyen los problemas de drenaje, salinidad y altas tarifas de agua que no cubren costos de operación y mantenimiento de los sistemas de riego, afectando el funcionamiento del riego regulado (*Peru Opportunity Fund, 2011*). Es por ello que, en el Perú, el eficiente uso de recursos en el sector agrícola juega un papel fundamental en el crecimiento económico y en la reducción de la pobreza. Debido a que es un importante generador de empleo, ayuda a asegurar la producción y abastecimiento de alimentos (Villanueva, 2016).

De acuerdo con el MINAGRI, en el año 2017 el sector agrícola se consolidó como el segundo generador de mayores divisas para el Perú, esto debido al incremento en un 11% de las agroexportaciones de productos no tradicionales, esto se traduce en un aumento de 3,765 millones de dólares en el 2016 a 4,178 millones de dólares al tercer trimestre del 2017. Asimismo, las exportaciones agrarias tradicionales aumentaron en un 13%, alcanzando un total de 599 millones de dólares (MINAGRI, 2018). Por lo que se trata de un sector con alto potencial de crecimiento. Además, cumple distintos roles en la economía; por ejemplo, contribuye a la estabilidad económica, social y política.

### 1.1.3 Factores climáticos y desastres naturales

#### 1.1.3.1 Perú: la economía del cambio climático

Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) 5,48 millones de hectáreas son áreas cultivables, (870 mil hectáreas en la costa, 2.83 millones en la sierra y 1.77 millones en la selva). El 34% de estas se encuentra en la costa y es bajo riego tradicional, el 66% restante depende de las lluvias y se encuentra en la sierra y la selva (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017).

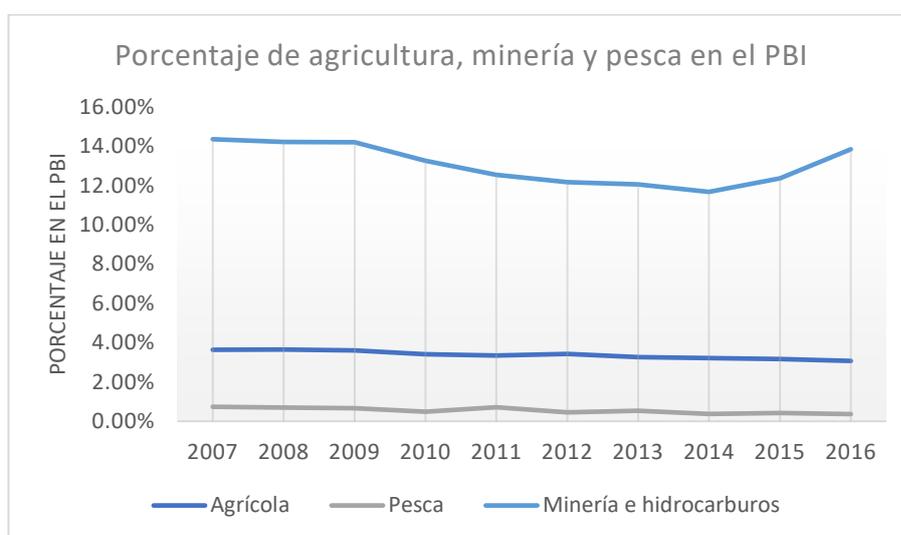


Figura 1: Porcentaje de agricultura y pesca en el PBI  
Fuente: BCR – Series estadísticas anuales 2004 – 2017

Es importante considerar que además de la explotación de recursos de forma desmedida, en el Perú, el sector agrícola es vulnerable a los diversos eventos climáticos producidos por alteraciones del fenómeno del niño, tales como: inundaciones, granizadas, nevadas, huacos y fuertes lluvias.

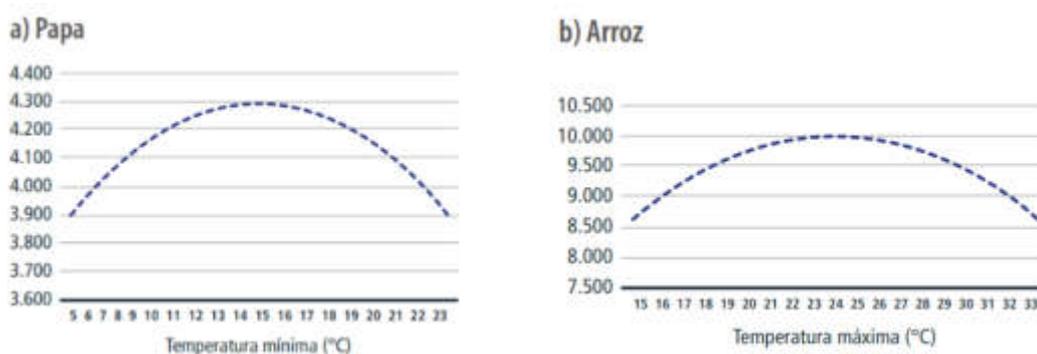
Por ejemplo, en el 2017 Perú se vio afectado por el Niño Costero. Según Héctor Carrasco, el presidente de la Convención Nacional del Agro Peruano (Conveagro), informó que hay más de S/. 2,100 millones en pérdidas para el agro y la ganadería (RPP Perú, 2017):

*Un poco más de 90 mil hectáreas de cultivos instalados de banano, caña, arroz y otros de pan llevar, han sido destruidas y no han podido ser*

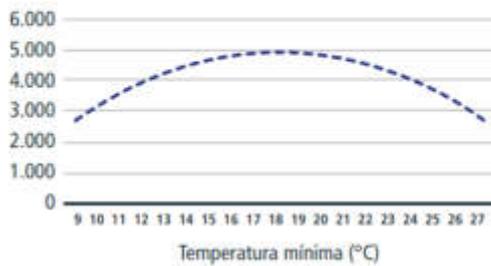
*cosechados, lo que ha generado una pérdida de 450 millones de soles aproximadamente. A esta cifra habrá que sumarle 150 mil hectáreas seriamente afectadas y que requieren unos 600 millones de soles para la recuperación de los sembríos instalados (GESTIÓN, 2017).*

De igual modo indicó que en las distintas regiones afectadas por el fenómeno climático también colapsaron las vías de comunicación, las cuales debieron ser rehabilitadas con urgencia para retomar la actividad. Una de las consecuencias del colapso de las vías de comunicación es la escasez de alimentos, lo cual genera que se incrementen los precios de ciertos productos. Por ejemplo, el precio de los limones se incrementó en casi 800%, de 1 dólar a más de 8 dólares por kilo (Publimetro, 2017).

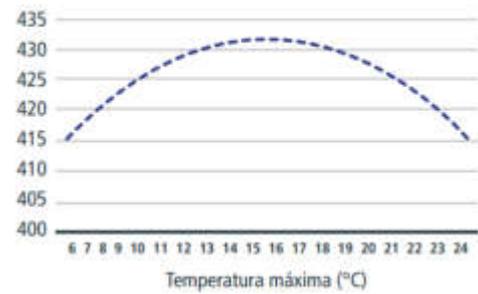
A pesar de la gran importancia de la agricultura para el Perú, los estudios sobre el impacto del calentamiento global son escasos. Y mucho menos, los esfuerzos por reducir los efectos del cambio climático. Se sabe que existe una relación muy fuerte entre la producción agrícola y los umbrales de temperatura. Estos pueden ser beneficiosos o perjudiciales para la cosecha, según del tipo de cultivo. Por ejemplo, se estudiaron su efecto en los siguientes productos: papa, arroz, maíz, caña de azúcar, café, plátano, entre otros (ver figura 2).



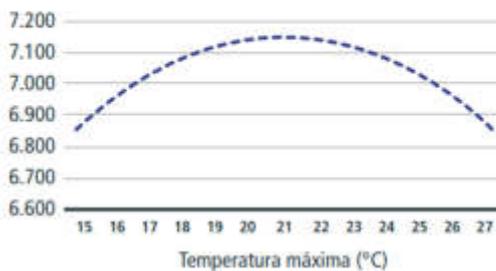
c) Maíz amarillo duro



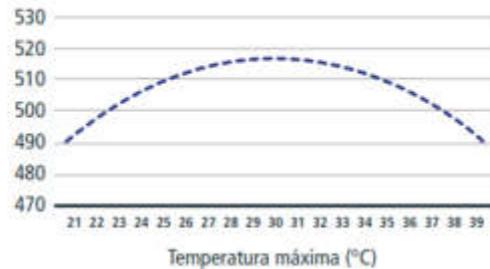
d) Maíz amiláceo



e) Caña de azúcar



f) Café



g) Plátano

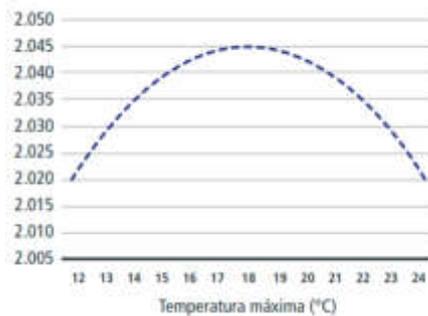


Figura 2: Producción de cultivos en relación a la temperatura  
Fuente: La Economía del Cambio Climático en el Perú: agricultura (Alvarado y Aramburú, 2015)

Dado que cada cosecha reacciona de forma distinta a variaciones en la temperatura. El BID se planteó estudiar el impacto que tendría en la economía peruana el calentamiento global en los próximos 80 años (ver figura 3)

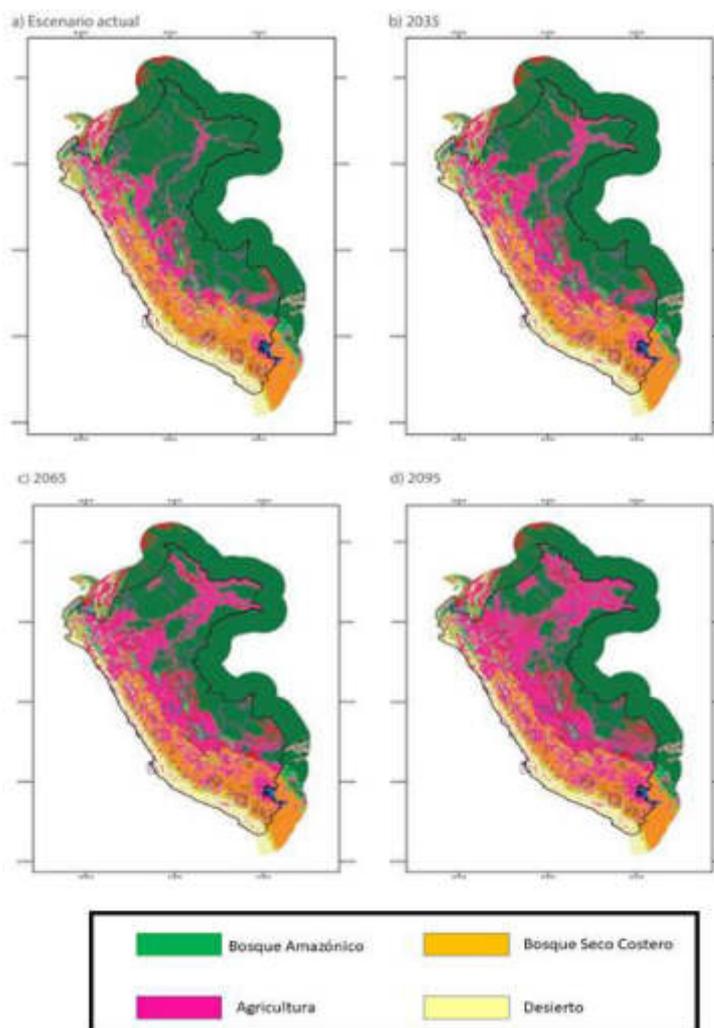


Figura 3: Proyecciones de tierras agrícolas en el Perú en 80 años  
Fuente: La Economía del Cambio Climático en el Perú: agricultura  
(Alvarado y Aramburú, 2015)

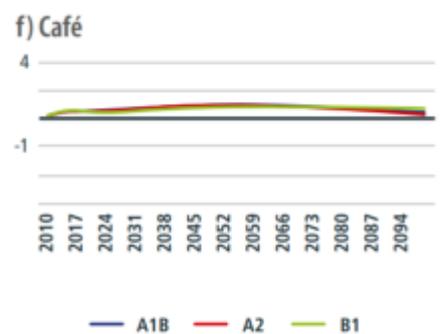
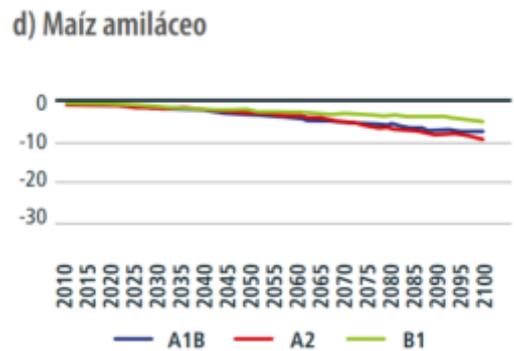
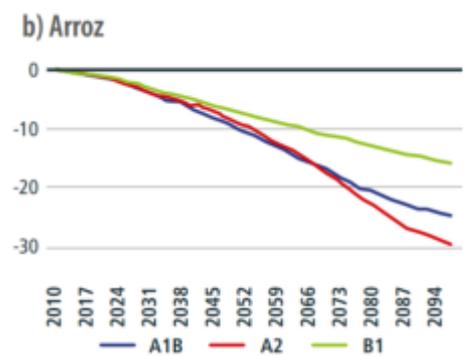
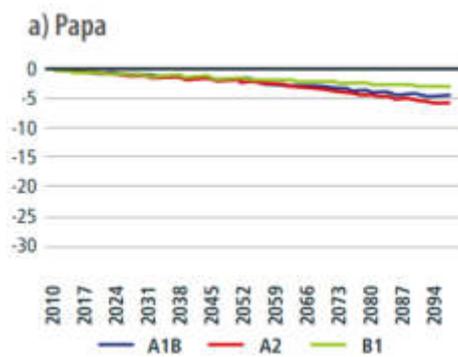
Para este estudio se crearon diferentes escenarios donde se consideraron variables como el aumento de temperatura, el incremento de población entre otros.

Se propone cuatro situaciones diferentes (ver figura 4):

- A1B: Crecimiento económico regional dado por la introducción de nuevas tecnologías. Uso de recursos energéticos a base de petróleo y energía renovable por igual.
- A2: Crecimiento poblacional constante y uso intensivo de recursos energéticos a base de petróleo, elevando las emisiones de gases de efecto invernadero y

aumentando considerablemente los niveles de temperatura generando cambios climáticos extremos.

- B1: Crecimiento poblacional constante con crecimiento económico y con uso de fuentes de energía renovables.
- B2: Escenario A2, pero con menos emisiones de gases de efecto invernadero y con menor impacto al calentamiento global.



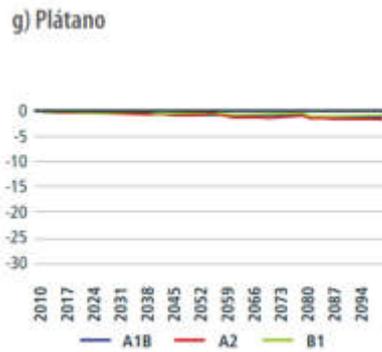


Figura 4: Impacto del cambio climático en variación porcentual por año  
Fuente: Adaptado de la Economía del Cambio Climático en el Perú: agricultura (Alvarado y Aramburú, 2015)

En las figuras 5 y 6 se aprecia el impacto en el sector agrícola, en cifras absolutas y en variación porcentual alusiva al PBI agrícola, aquí se verifica que es negativo y que aumentará a lo largo del tiempo. Se aprecia un mayor impacto en los escenarios A1B y A2.

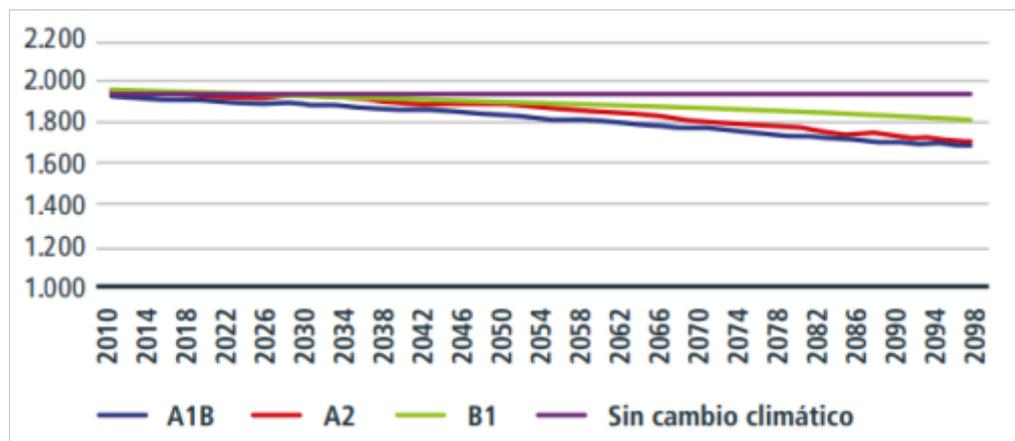


Figura 5: Impacto económico del cambio climático en la agricultura 1  
Fuente: Fuente: Adaptado de La Economía del Cambio Climático en el Perú: agricultura (Alvarado y Aramburú, 2015)

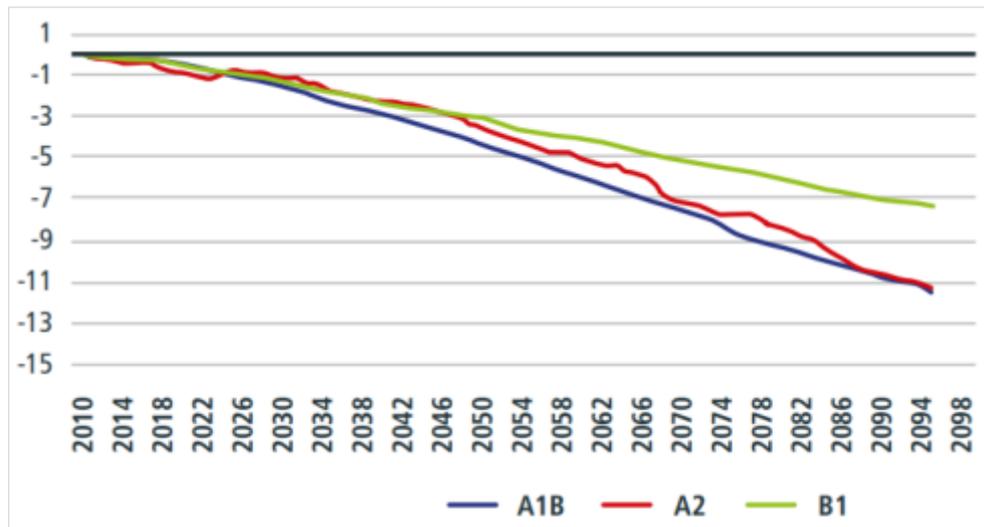


Figura 6: Impacto económico del cambio climático en la agricultura 2  
Fuente: Fuente: Adaptado de La Economía del Cambio Climático en el Perú: agricultura (Alvarado y Aramburú, 2015)

El Perú no es ajeno al impacto del cambio climático y como resultado del estudio, se pudo notar que, por cada año transcurrido, hubo una menor producción y menor ingreso económico en todos los productos mencionados, resaltando el nefasto efecto que se tendría en el arroz en cualquiera de los casos. Es por eso que el BID, con el apoyo del Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), estimula a la población a adaptarse, identificando los diferentes cultivos resistentes a la falta de hidratación, capacitándose en el uso de tecnologías de reutilización del agua para riego y promoviendo el estudio e incorporación de nuevas tecnologías que ayuden al sector agrónomo a contrarrestar los efectos del calentamiento global. (Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2016)

### 1.1.3.2 En el exterior

Uno de los principales factores que ha afectado el cambio climático ha sido la emisión de CO<sub>2</sub>. Este gas, amplificado producto de la actividad de la población humana, es uno de los mayores contribuyentes al efecto invernadero. Desde 1970 el dióxido de carbono en la tierra ha aumentado en 24% y este permanece durante siglos en la atmósfera, por lo que sus emisiones en el día de hoy tendrán consecuencias en el futuro. (United States Environmental Protection Agency)

Estados Unidos es responsable del 14.4% de las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial (*World Resources Institute*, 2015). En el año 2015 anunció un plan para reducir las emisiones generadas por la agricultura (*United Nations Climate Change*, 2015) dentro de este plan se estima reducir entre en un 28% las emisiones para el año 2025. Como medida necesaria para cumplir esta meta se estimó que, en el año 2017, en Estados Unidos, existieron alrededor de 56 almacenes comerciales utilizados para acuaponía e invernaderos, y se consideró que al menos existían tres fábricas con un área de 6500m<sup>2</sup> en plena construcción.

*Plenty Unilimited*, la empresa más grande en este rubro en EEUU, se encuentra al sur de Seattle y tiene un área de 9,300m<sup>2</sup>. Esta empresa se enfoca en el crecimiento de las plantas en el plano vertical, pues indican que, de esta manera, pueden aumentar hasta en tres veces la producción (*IEEE Spectrum*, 2018). Con medidas como estas el departamento de agricultura prevé reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 2% cada año, lo equivalente a 120 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.

Asimismo, China, el país que emite la mayor cantidad de CO<sub>2</sub> en el mundo (25.36% del total mundial – ver figura 7) también está utilizando esta técnica. Esto debido a dos problemas principales que enfrentan. En primer lugar, habitan 1.390 billones de personas (*Statista*, 2018), y se estima un crecimiento de 1.5 billones personas en el 2030. En segundo lugar, las tierras agrícolas están reduciendo a un ritmo de 300km<sup>2</sup> al año debido a los desastres naturales y a la pobre administración de las tierras. La tierra cultivada se ha reducido a 0.08ha/persona a nivel nacional, lo que equivale al 40% del promedio mundial. Sin embargo, la demanda de alimentos libres de plaguicidas aumenta principalmente en la clase media alta. Asimismo, el 60% de los agricultores en China tiene más de 50 años y los jóvenes se rehúsan a cultivar la tierra de manera tradicional.

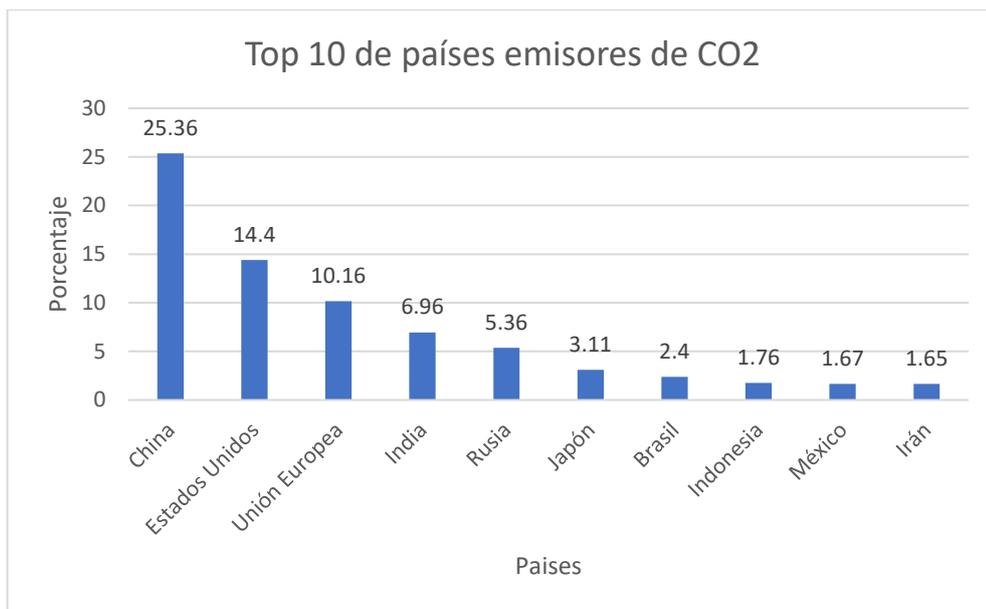


Figura 7: Top 10 países emisores de CO2  
Fuente: *World Resources Institute* (2015)

Debido a las razones ya mencionadas, es importante que se introduzcan nuevas tecnologías en la agricultura para potenciar su desarrollo. El *indoor farming* o *vertical farming* es un método de cultivo que ya está siendo utilizado por diversos países de potencia mundial debido a que se trata de una tecnología que tiene muchas ventajas en comparación a la agricultura tradicional, haciendo énfasis en el mejor uso de los recursos hídricos, el aumento de producción, el aumento de calidad del producto final, la eliminación de pesticidas y herbicidas lo que conlleva a un producto más saludable, así como la capacidad de poder sembrar y cosechar en cualquier lugar, lo que ataca directamente al problema del poco espacio de tierras cultivables, y poder simular y controlar la luz que necesitan las plantas para poder desarrollarse dentro de ambientes cerrados.

## **1.2 Definición del problema**

El ineficiente uso de recursos hídricos y los escasos sistemas que monitoreen y ayuden a investigar los efectos de las luces LED a diferentes longitudes de onda (rojo, azul y blanco) orientado al estudio del cultivo de plantas.

## **1.3 Objetivos generales y específicos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Desarrollar un sistema de monitoreo de temperatura, iluminación, pH y humedad que asista al estudio del cultivo de hortalizas de pequeño tamaño no mayor a 20 cm de altura.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Controlar el umbral de la humedad relativa de suelo y porcentaje de PWM de las luces LED mediante aplicación Bluetooth para celulares Android y monitoreo de las mismas mediante interfaz gráfica diseñada en Processing.
- Desarrollar una matriz Led RBW (*Red – Blue - White*).
- Desarrollar un módulo de prueba (mesa de trabajo) con capacidad para dos muestras y sistema de drenaje para reutilización de agua.
- Desarrollar una tarjeta electrónica que integre microcontrolador, sensores y actuadores.
- Acondicionar, calibrar y realizar pruebas de validación de todos los sensores (temperatura a  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , humedad a  $\pm 5\%$ , Lux, y pH).

## **1.4 Importancia de la investigación**

Se considera que la investigación es importante debido a que el siguiente sistema está orientado a colaborar con el estudio del efecto de las luces LED sobre cultivos agrícolas, contribuyendo con datos confiables que puedan aprovecharse en la implementación de nuevas tecnologías como granjas verticales, que impulsen el potencial de la agronomía peruana y contrarresten los efectos del cambio climático en los campos de cultivo de nuestro país.

## **1.5 Justificación**

### **1.5.1 Justificación tecnológica**

- El proyecto propone asistir al sector agrícola con herramientas electrónicas que contribuyan al estudio de la iluminación de plantas basado en luces led azules, rojas y blancas tal y como usa la línea de productos *Aero Garden*, incorporando mecanismos para monitoreo y control remoto. Sin embargo, el proyecto se diferencia de dichos productos, al manipular el PWM para obtener la iluminancia ideal (*AeroGarden*).
- El control de la iluminación de los cultivos permite imitar la duración del día, prolongando las horas de luz dependiendo de las necesidades de las plantas. De esta manera se busca evitar que las cosechas sufran de quemaduras en sus hojas o casos extremos de deshidratación al ser expuestas a los rayos solares.

### **1.5.2 Justificación económica**

- El bajo consumo y alta eficiencia de luces LED reduciendo costos de energía. Una familia usa en promedio el 20% de su electricidad en iluminación. Una bombilla de 60W solo convierte el 10% de su energía en luz y el resto en calor, mientras que una luz led de 10W convierte la mayor parte de su energía en

luz. Eso lo hace una opción muy eficiente y economía (BBC, 2015).

- El control automático del riego proporciona un uso medido del recurso hídrico; ya que, en un país como el Perú, el agua es un recurso muy preciado; es así que, en tiempos de crisis, a inicios de los noventa, se ideó un plan de irrigación donde se estableció las tarifas de agua con fines agrarios (Lorenzo Chang-Navarro & Carlos de la Torre).

### **1.5.3 Justificación medio ambiental**

- El uso de luces led puede causar un impacto global reduciendo considerablemente la contaminación lumínica en el aire. El 20% de la energía mundial se usa para la iluminación de las ciudades. Y como consecuencia, genera tres veces más dióxido de carbono que toda la industria de la aviación (BBC, 2015).
- Los resultados del sistema ayudarán a la implementación de “Fábricas de plantas” que contribuyen a la preservación de los suelos fértiles y al ahorro y control del agua para irrigación.
- Las cosechas que crecen en ambientes controlados están libres de contaminación al no ser expuestas a herbicidas ni pesticidas.

### **1.5.4 Justificación social**

El proyecto busca aportar datos que ayuden a implementar grandes áreas de cultivo verticales, que eviten el desabastecimiento de las grandes urbes en caso se produzcan fenómenos meteorológicos agresivos que mermen la producción agrícola en los campos de cultivo, tal y como se presentó a principios del año 2007 en Lima, con la

escasez de algunas frutas y verduras lo que conllevó a la especulación de precios y a la intervención del estado para su regulación (La República, 2007).

## **1.6 Limitaciones**

- El prototipo de monitoreo y control no se construirá en un ambiente cerrado. Debido a los efectos termodinámicos que sufren las plantas en un espacio reducido; además, se tendría que equilibrar los niveles de CO<sub>2</sub> necesarios para el desarrollo de las plantas y tales estudios no son parte del espectro de esta tesis.
- El prototipo está considerado como una herramienta electrónica de monitoreo; por lo que, los resultados pueden variar dependiendo del estudio que se lleve a cabo. Es decir, el crecimiento y desarrollo de las plantas depende del operario y no de la máquina.
- El prototipo solo será capaz de monitorear dos plantas al mismo tiempo.
- El prototipo solo monitoreará la temperatura ambiental.
- El prototipo tiene un volumen límite de agua, el cual deberá ser rellenado regularmente.

## **1.7 Viabilidad de la investigación o presupuesto**

### **1.7.1 Viabilidad técnica**

- Se considera que esta tesis es viable técnicamente debido a que los conocimientos adquiridos para desarrollar el prototipo fueron adquiridos en los diferentes cursos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres (FIA-USMP) en las ramas de sistemas de control, sistemas de control digital, arquitectura de computadores, circuitos electrónicos y circuitos eléctricos.

- También se considera que el sistema es viable técnicamente debido a que la universidad cuenta con laboratorios y herramientas necesarias como osciloscopios, multímetros, *protoboard*, etc.

### **1.7.2 Viabilidad económica**

Se estima que el gasto en el diseño y desarrollo del sistema de control será aproximadamente de 2000 soles; para este monto se considera el costo de todos los materiales, que será asumido por los integrantes del proyecto.

### **1.7.3 Viabilidad operativa**

El desarrollo del sistema de control es viable operativamente ya que cumple con los requerimientos y recomendaciones de artículos de ciencia especializados en: agronomía, agricultura y electrónica. Además, se considera al sistema como un equipo robusto pues tendrá que operar y sensar todas las variables en tiempo real.

### **1.7.4 Viabilidad comercial**

- Se considera que el sistema es viable comercialmente; debido a que el precio final estimado de venta aproximado será de 1600 soles y podrá competir con productor similares.
- Se estima que el producto a desarrollar será más simple y más barato que las soluciones tecnológicas integrales encontradas en el mercado actual.
- El producto propuesto presenta un gran mercado potencial de ventas.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

Las primeras versiones del actual dispositivo LED aparecieron en 1962; estos, que son de uso práctico, emitían luz infrarroja de baja intensidad, del tipo que se usa en un control remoto. Bajo este concepto, Nick Holonyak, quien desarrollaba nuevas tecnologías, para uso comercial, en *General Electric*, crea los primeros leds con luz visible limitados al espectro de luz roja (Holonyak & Bevacqua, 2004). Es por eso que se le considera como padre del LED con luz visible. Sin embargo, nunca ha ganado un premio Nobel por su contribución a la tecnología (ver figura 8) (Courtland, 2014).



Figura 8: Nick Holonyak  
Fuente: Tom Roberts/*The News-Gazette/AP Photo*

La creación del led rojo conllevó a la investigación de esta tecnología y a la innovación de diferentes luces de colores, siendo las más resaltantes el led azul y el led blanco por su complejidad y eficiencia. Es así como, en 1994, Shuji Nakamura, presenta al mundo el led azul de alto brillo.

En su investigación menciona, que hizo uso de una corriente directa de 20 mA a temperatura ambiente logrando una longitud de onda máxima de 450 nm y con ancho de 70 nm. Siendo el mayor valor de intensidad luminosa jamás reportado para los LED azules de la época (Nakamura, Mukai, & Senoh, 1998).

De la misma manera Isamu Akasaki e Hiroshi Amano trabajaban en la nucleación cristalina del Nitruro de Galio sobre sustratos de zafiro, para obtener el dopaje tipo-p. Como producto de sus investigaciones, Nakamura, Akasaki y Amano fueron galardonados con el Premio Nobel en Física por desencadenar una transformación en la tecnología de iluminación; debido a que las luces rojas y verdes ya habían existido un buen tiempo, pero sin las azules, no se podrían haber producido las luces blancas (ver figura 9).



Figura 9: Premio nobel en física: Akasaki, Amano y Nakamura  
Fuente: The Asahi Shimbun/Getty images

Las lámparas LED blancas emiten una luz blanca brillante, son duraderas y energéticamente eficientes con un mayor flujo luminoso (medido en lumen) por unidad de potencia de entrada eléctrica (medida en vatios). En el 2014 el registro más alto de luz blanca era de más de 300 lm / W, que se podía comparar con 16 bombillas normales y cerca de 70 lámparas fluorescentes.

Como aproximadamente una cuarta parte del consumo mundial de electricidad se utiliza para fines de iluminación, los LED contribuyen a salvar los recursos de la Tierra. El consumo de materiales también se ve disminuido, ya que los LED duran hasta 100,000 horas, en comparación con 1,000 para las bombillas incandescentes y 10,000 horas para las luces fluorescentes (*Nobel Prize, 2014*).

## **2.2 Estado del arte**

### **2.2.1 Publicaciones**

#### **2.2.1.1 Ejemplos de mejora en la producción mediante luces led**

En Japón, en el año 2011, luego de afrontar un accidente nuclear en la planta de Fukushima debido a un tsunami ocasionado por un sismo de 8.9 grados en la escala de Richter, se decidió implementar nuevas formas de agricultura; ya que, debido a los altos niveles de radiación se prohibió el cultivo en las zonas afectadas (Expansion.com, 2012). Los cultivos más afectados fueron: lechuga, espinacas y otras verduras de hojas de mayor tamaño. Esto debido a que al tener hojas más grandes son más propensas a ser afectadas por la radiación. (BBC, 2011)

En este país se empezaron a diseñar sistemas que permiten el cultivo de vegetales dentro de edificios. Se les llama “fábrica de plantas” o “*plant factories*”, estos tienen como principal característica la no dependencia de energía solar, tierra u otras variables ambientales para crecer. Se estima que la producción es 100 veces mayor a la de campos abiertos, ya que este sistema es independiente al clima y a la fertilidad del suelo. Las “fábricas” son acondicionadas con estantes de 4 a 20 niveles diseñados para el cultivo hidropónico, en base a iluminación led, con un sistema de ventilación controlado y una unidad de suministro de CO<sub>2</sub>. Este procedimiento hace que los vegetales crezcan libres de contaminación y solo son lavados para su procesamiento después de la cosecha.

La inversión inicial para una “fábrica de plantas”, con 10 niveles de cultivo, es de aproximadamente 4000 euros (por metro cuadrado), y esta inversión inicial se recupera entre 5 a 7 años dependiendo del cultivo. El producto de la cosecha ha sido bienvenido en la industria alimentaria; ya que no contienen contaminantes y los costos de higiene se reducen considerablemente. Además, los cultivos llegan con la garantía de estar cosechados en un ambiente controlado, libres de químicos tóxicos e insectos. En Japón continúan los módulos de prueba para estudiar y monitorear las condiciones ambientales necesarias para el óptimo crecimiento

de las hortalizas (temperatura, humedad, luz y otros). Todo ello para mantener la calidad de sus productos cosechados y seguir incrementando la eficiencia del sistema. (Kozai, 2013)

Eri Hayashi, director de relaciones internacionales y consultoría del *Japan Plan Factory Association* indica que la empresa *SPREAD Co.* es una de las 182 empresas japonesas que utiliza el crecimiento vertical de cultivos bajo luces LED. Esta empresa, ubicada en Kyoto, tiene dos torres con un área de 900m<sup>2</sup>. con esto consiguen un área de cultivo de 25,200m<sup>2</sup>. y logran producir cerca de 21,000 lechugas al día usando la técnica de agricultura vertical (*Vertical Farm*) (IEEE *Spectrum*, 2018).

Para obtener estos resultados se utilizan luces LED especiales para el crecimiento de plantas, las cuales generan luz en un espectro específico para incentivar el crecimiento de los cultivos. Esta tecnología tiene diversas ventajas; entre la cuales se encuentran: la ausencia del uso de pesticidas y fertilizantes, lo que genera un producto final menos contaminado, así como la reducción del gasto asignado al combustible para el transporte y cosecha de los productos (CNN, 2016).

*In our world, we are currently facing many challenges such as population growth, water shortage and crop damage due to extreme weather. Resulting in food shortages which cause food problems. The use of pesticides and fertilizers are becoming a major problem that is greatly impacting our health and environment. It will only become increasingly difficult for agriculture to steadily secure food by only using production methods dependent on soil conditions and climate (SPREAD Co., LTD).*

Esta empresa planea expandirse hasta tener alrededor de 20 fábricas a nivel nacional que producirían aproximadamente medio millón de lechugas al día; asimismo, ha logrado reducir hasta el 90% el uso de agua en comparación a la agricultura tradicional (Ozy.com). (ver figura 10)



Figura 10: Fabrica *SPREAD* en Kioto, Japón  
Fuente: *SPREAD Co.* Japón

#### **2.2.1.2 La importancia de las luces LEDS en el desarrollo del *Indoor Farming***

Existen diversos estudios sobre el comportamiento de distinto tipo de plantas bajo los efectos de luces LED, en estos se afirma que es posible que las plantas puedan crecer bajo el efecto de las distintas longitudes de onda, sin necesidad de la luz del sol. Esto conlleva al ahorro de distintos elementos utilizados en la agricultura tradicional, tales como; espacio, combustible para para la distribución de los productos y al mismo tiempo se ahorra una considerable cantidad de agua (Heydarizadeh, et al., 2014).

Gioia D. Massa, del departamento de horticultura y arquitectura paisajista de la Universidad de Purdue en Indiana (Estados Unidos) indica que el pequeño tamaño, la durabilidad, la larga vida, la capacidad de emitir luz a una baja temperatura y la opción de poder elegir la longitud de onda específica hacen de los LED una fuente adecuada para el crecimiento de plantas. Además, distintos estudios se han llevado a cabo en la universidad de Winconsin, en el centro espacial Kennedy de la NASA y en la universidad de Purdue para explorar la utilidad de los LED como única

fuente para el crecimiento de plantas tanto en la tierra como en el espacio (Massa, 2008).

*Light-emitting diodes (LEDs) have tremendous potential as supplemental or sole-source lighting systems for crop production both on and off earth. Their small size, durability, long operating lifetime, wavelength specificity, relatively cool emitting surfaces, and linear photon output with electrical input current make these solid-state light sources ideal for use in plant lighting designs” (...)* “Work at NASA’s Kennedy Space Center has focused on the proportion of blue light required for normal plant growth as well as the optimum wavelength of red and the red/far-red ratio (Massa, 2008).

Asimismo, un estudio, llevado a cabo por la universidad de Le Mans, en Francia, sobre el alto rendimiento de los vegetales, flores y plantas medicinales bajo luz roja y azul en una incubadora señala que debido a la escasez de alimentos, al incremento de población, a la limitación de tierras cultivables y al cambio climático, las personas se ven obligadas a cultivar dentro de sus hogares. Este estudio reafirma que los LED son una fuente de gran intensidad de radiación visible para el crecimiento de la horticultura y los productos agrícolas. Se indica que las plantas deben colocarse bajo tres espectros en especial; luces rojas, azules y blancas. Además, la reducción del precio de las luces LED de color azul, así como incremento del brillo ha hecho de los LED una importante alternativa de radiación permitiendo mejor crecimiento y producción de plantas y microorganismos (ver tabla 1).

Tabla 1: Efecto de la luz LED sobre la producción de microorganismos

Type of LED illumination	Effects	Plant/organism	Reference
Red—10 % Blue fluorescent light	Higher shoot dry weight, higher seed yield	Wheat	Goins et al. 1997
Red-blue	Higher shoot and root fresh weight	Micropropagated strawberry plants	Nhut et al. 2000
Red-blue	Larger and higher bulblet flesh and dry weight	Lilium	Lian et al. 2002
Red-blue	Improved flower induction, higher number of flower buds and open flowers	<i>Cyclamen persicum</i>	Heo et al. 2003
Blue	Higher carotenoid production	<i>Thraustochytrium</i> sp. CTN-1	Yamaoka et al. 2004
Red-blue	Higher leaf area and photosynthetic rate	Radish and lettuce	Tamiridis et al. 2005
Blue	Astaxanthin production	<i>Haematococcus pluvialis</i>	Kanada et al. 2006
Red	Better growth	<i>Spirulina platensis</i>	Wang et al. 2007
Red	Higher antioxidant activity	pea	Wu et al. 2007
Red	Higher rooting percentage	grape	Prudel et al. 2008
Red-blue	Economic production	Lettuce	Martinez et al. 2012
Red	Increase in volatile molecules	Petunia, strawberry	Cokubou et al. 2013

Fuente: Sabzalian, Mohammad R. Heydarizadeh, Parisa Zahedi, Morteza Boroomand, Amin et al. (2014)

Para este experimento se utilizaron matrices con 120 LED divididos en tres colores: color rojo con un espectro de 650 – 665nm, color azul con un espectro de 460 - 475nm, luz blanca con un amplio espectro de 380 – 760nm y una mezcla de rojo y azul con un porcentaje de 70% luces rojas y 30% luces azules. Todos los leds eran de 1W de potencia y 0.25 amperios de corriente (Heydarizadeh, et al., 2014). Los resultados arrojaron que las plantas que crecen bajo el efecto de la luz LED son igual o más sanas que aquellas que crecen bajo un invernadero.

Los países avanzados buscan imitar las condiciones del medio ambiente para poder reducir el tiempo de crecimiento de los vegetales, simulando ambientes ecológicos y monitoreando la adquisición de data para mejorar el sistema, tomando como fuente de luz, a la tecnología de luces LED. La investigación botánica indica que la longitud de los rayos de sol oscila aproximadamente entre los 300 nm y 2600 nm y que el rango para realizar la fotosíntesis, en los vegetales, comprende de los 400 nm a 700 nm.

Por otra parte, la luz azul que comprenda de los 425 nm a 490 nm y la luz roja de los 610 nm a 700 nm, hace de estas luces, las más eficientes longitudes de ondas para realizar la fotosíntesis. De esta manera, las luces led azul y rojo, se convierten en una fuente de iluminación muy eficiente para el crecimiento de hortalizas al ser de bajo consumo de energía, fácilmente regulable y que su longitud de onda coincide con la región espectral del desarrollo de la fotosíntesis (Meng Li, 2012).

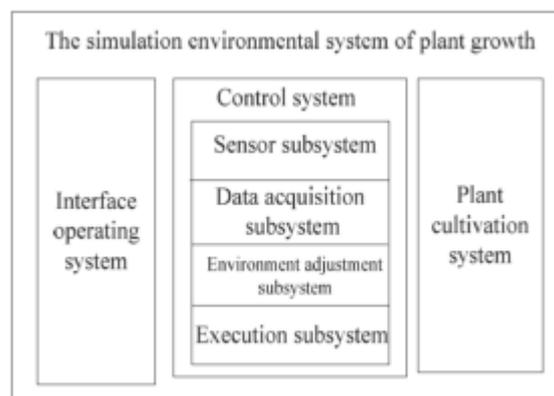


Figura 11: Diagrama de bloques: sistema de crecimiento de plantas  
Fuente: IEEEExplore.iee.org

La figura 11 muestra un bloque de diagrama, desarrollado en el artículo de la IEEE “*Kind of Imitated Environment System for Plant Growth Based on LED Light Source*”. Según indica la publicación “*Leaf Shape, Growth, and Antioxidant Phenolic Compounds of Two Lettuce Cultivars Grown under Various Combinations of Blue and Red Light-emitting Diodes*” de la revista *HortScience*, la iluminación LED ya es utilizada como luz artificial para la producción de cultivos en ambientes controlados, independientes de las variaciones del clima, debido a que tienen una alta conversión de luz/eficiencia y con baja radiación de calor que les permite estar más cerca a los cultivos, exponiéndolas de luz, por más tiempo.

Las luces led que son más efectivas para el crecimiento de los vegetales son las luces azules y rojas. Las luces rojas contribuyen al peso, crecimiento y cantidad de hojas de la planta. Mientras la azul se encarga de la función fotosintética, la formación de la clorofila y el desarrollo del cloroplasto. Se sabe que la variación entre el color azul y rojo influye mucho en el producto final. Además, se estima que la alteración de la proporción de estos colores en conjunto afecta directamente a la formación de las hojas, más que usar solo azul o rojo. También se sabe que la luz roja es la que más influye en el crecimiento de la planta haciéndola una fuente principal de luz con respecto a la azul. Esto hace que la combinación de ambos tenga resultados positivos frente a plantas como perillas, tomates, lechugas o flor de pascuas entre otras hierbas (Oh, 2013).

Si bien aún se sigue investigando la relación óptima entre azul y rojo, se concluye que, la combinación de estos colores tiene un efecto positivo en el crecimiento de las plantas y que debe estimularse el estudio del efecto de la mezcla de estos dos colores sobre cultivos agrícolas. Para iniciar esta investigación, primero se debe definir las dimensiones que debe tener la matriz led. Según expone un artículo de la IEEE, una investigación realizada en la *Tokyo University of Agriculture and Technology*, los parámetros a considerar para la creación de la matriz son: el ángulo de vista del led “ $2\alpha$ ” y la distancia “ $h$ ” entre el emisor led y el plano del punto de medición. Con estos valores se calcula el radio “ $r$ ” del área a iluminar y la distancia “ $d$ ” entre los leds (Shogo Kohraku, 2003).

Es por eso que, durante el desarrollo de la tesis, los objetivos proponen no solamente centrarse en el acondicionamiento de los led; sino que incluyen también, el poder manipular la intensidad de la luz a voluntad, basándose en el PWM que crea conveniente el operador de la mesa de trabajo, con un rango de alteración del 25 % de intensidad.

Además, se ha implementado un sistema integrado que incluye la lectura de variables comprometidas con el desarrollo de los cultivos, como el monitoreo de la humedad relativa del suelo en porcentaje, la temperatura ambiental en grados Celsius y el nivel de pH del suelo en una escala de 1 al 14; dado que, en referencias que más adelante se detallarán, estas variables, también influyen en el crecimiento de las plantas y su monitoreo fue implementado como parte del aporte de la tesis al estudio del crecimiento de diferentes cultivos.

Este sistema de integración, implementado en la tesis, se muestra como ventaja frente a las publicaciones ya mencionadas. Al no limitarse solamente al estudio de la luz en una intensidad determinada, la tesis, estudia la posibilidad de que pueda ocurrir alguna alteración en la luz y estudiar sus efectos sobre la tierra de cultivo, como un aumento o disminución de temperatura que provoque alteración en su nivel de humedad y cause deshidratación a la planta o si este cambio de intensidad de luz pueda hacer que la tierra se vuelva más acida o más alcalina.

### **2.2.2 Productos comerciales**

Existen muchas empresas dedicadas al desarrollo de máquinas *indoor farming*, de las que resaltan *AeroGarden*, *Click&Grow* y la línea *FoddySmart*, que buscan el desarrollo de las plantas en base al control de nutrientes, agua y luz. Entre sus productos más característicos se encuentran:

- **AeroGarden Farm Plus**



Figura 12: *AeroGarden Farm Plus*  
Fuente: *Aerogarden.com*

El *AeroGarden Farm Plus* (ver figura 12) posee una aplicación remota de control y monitoreo para las diferentes variables que afectan el crecimiento de la planta. Tales como: nivel de luz, nivel de agua y nivel de nutrientes.

El *FarmPlus* se alimenta con 120 V - 60 Hz a 1.1A. Posee un panel de control con temporizador de las luces y la comunicación inalámbrica es mediante *wifi*. Según sus especificaciones técnicas se recomienda operar en un ambiente con temperatura entre 16 a 26 grados centígrados. Los diodos emisores de luz tienen una potencia de 60 watts y su vida útil es de 3 a 5 años con un precio aproximado de \$559.96. (*AeroGarden, AeroGarden Farm Plus*)

- **AeroGarden Harvest Elite**



Figura 13: *AeroGarden Harvest Elite*  
Fuente: *Aerogarden.com*

Como una versión más pequeña del *AeroGarden Farm Plus*, el *Harvest Elite* (ver figura 13) tiene un consumo menor equivalente a 0.3A. Posee un panel de control con

temporizador de 16 y 18 horas al día. Según sus especificaciones técnicas se recomienda operar en un ambiente con temperatura entre 16 a 26 grados centígrados. Los diodos emisores de luz tienen una potencia de 20 watts y su vida útil, también es de 3 a 5 años con un precio aproximado de \$143.96. Además, se resalta que su bomba funciona automáticamente 5 minutos cada hora. (*AeroGarden, AeroGarden Harvest Elite*)

- ***AeroGarden Sprout LED***



Figura 14: *Aerogarden Sproud LED*  
Fuente: *Aerogarden.com*

Una alternativa más económica es el *Sproud Led* (ver figura 14), con un consumo aproximado de 0.14 A a 120V -60Hz, está acondicionado para tres espacios para cualquier tipo de planta. La potencia de los leds es de 10 watts; donde, las luces blancas son para la representación de luz diurna, los led azules para mayor rendimiento y los led rojos para la abundancia en los cultivos de flores y frutas. Solo posee un botón *On/Off* para las luces y su precio es de aproximadamente \$ 99.95. (*AeroGarden, AeroGarden Sprout Led*)

- **Bounty Elite WiFi**



Figura 15: *AeroGarden Bounty Elite WiFi*  
Fuente: *Aerogarden.com*

Una línea de productos de gama intermedia cuenta con 9 espacios para cultivar y con sistema *Wifi* para el monitoreo y sistema de alerta integrado para el agua y nutrientes (ver figura 15). Los 45 vatios de iluminación LED de alto rendimiento y eficiencia energética, permite, a las plantas, maximizar la fotosíntesis, lo que resulta en un crecimiento rápido y natural y en cosechas abundantes. Con una iluminación ideal y niveles de agua y nutrientes óptimamente equilibrados, las plantas crecen hasta 5 veces más rápido que cuando se cultivan en el suelo. Su precio aproximado es de \$ 349.36. (*AeroGarden, AeroGarden Bounty Elite Wifi*)

- **ClickAndGrow SmartGarden**



Figura 16: *SmartGarden 3 & SmartGarden 9*  
Fuente: *ClickAndGrow.com*

Con un brazo de lámpara modular (ver figura 16), luces LED actualizadas y un diseño elegante, este es el mejor jardín

con crecimiento propio. El Smart 3, viene con 3 cápsulas complementarias de planta de albahaca para que pueda comenzar a crecer de inmediato y el Smart 9 con 3 cápsulas de mini tomates, 3 de albahaca y 3 de lechuga verde. La lámpara funciona con un temporizador de 16 horas encendido y 8 horas apagado imitando el ciclo diurno natural de luz. La distancia mínima entre la punta de las hojas y la lámpara debe ser de 1 cm. La vida útil de los leds 7 años. Todos los equipos operan en un rango de 100- 240V. (*ClickAndGrow, SmartGarden*)

- **Smart Garden 3:**

Consumo de energía: 8W.

Consumo de energía por mes: 3.8kWh.

Precio: \$ 99.95

- **Smart Garden 9:**

Consumo de energía: 13W.

Consumo de energía por mes: 6.2kWh

Precio: \$ 199.95

- **ClickAndGrow Wall Farm**



Figura 17: *Wall Farm & Wall Farm Mini*  
Fuente:ClickAndGrow

La agricultura vertical no tiene que involucrar bombas ruidosas y soluciones de fertilizantes administradas por el

usuario (ver figura 17). *Click and Grow* ha desarrollado su propia tecnología que permite controlar los parámetros más importantes que afectan el crecimiento de las plantas utilizando la ciencia de los materiales, el agua se extrae pasivamente del tanque mediante una acción capilar y, como resultado, las granjas interiores son silenciosas, requieren poco mantenimiento y se pueden instalar en cualquier lugar. (*ClickAndGrow, Wall Farm*)

- **Wall Farm**

KIT DE ENSALADA: 18 lechugas, 9 chiles, 9 albahaca roja, 9 tomates, 9 cápsulas de cebollino.

KIT DE HIERBAS: 9 lechugas, 9 hojas de mostaza, 9 perejil, 9 albahaca tailandesa, 9 orégano, 9 cápsulas de acedera con sangre. KIT DE FLORES: 18 lizzie ocupados, 18 petunias, 9 acianos, 9 cápsulas de lavanda.

KIT DE TÉ: 18 fresas silvestres, 18 hierbabuena, 9 bálsamos de limón, 9 cápsulas de salvia de jardín.

Consumo de energía: 110W.

Consumo de energía por mes: 53 kWh

Precio: \$ 2900.00

- **Wall Farm Mini**

KIT DE ENSALADA: 9 lechugas, 9 chiles, 9 albahaca roja, 9 cápsulas de tomate.

KIT DE HIERBAS: 9 lechugas, 9 hojas de mostaza, 9 perejil, 9 cápsulas de albahaca tailandesa.

KIT DE FLORES: 9 lizzie ocupados, 9 petunias, 9 Cyanus, 9 cápsulas de lavanda.

KIT DE TÉ: 18 fresas silvestres, 9 bálsamos de limón, 9 cápsulas de menta.

Consumo de energía: 70W.

Consumo de energía por mes: 34 kWh.Precio:  
\$ 1900.00

En la tabla 2 se puede apreciar una comparación de los productos similares en el mercado internacional.

Tabla 2: Comparación entre productos comerciales similares

<b>Característica</b>	<b><i>Farm PLus</i></b>	<b><i>Hardvest Elite</i></b>	<b><i>Bounty Eliti Wifi</i></b>	<b><i>Sproud Led</i></b>
<b>Voltaje</b>	120 V	120 V	120 V	120 V
<b>Frecuencia de voltaje</b>	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz
<b>Consumo de corriente</b>	1.1 A	0.3 A	0.3 A	0.14 A
<b>Wifi</b>	Sí	No	Sí	No
<b>Potencia de los Led</b>	60 W	20 W	45 W	10 W
<b>Espacios de Cultivo</b>	24	6	9	3
<b>Precio</b>	\$ 559.96	\$ 143.96	\$ 349.95	\$ 99.95

Elaboración: los autores

Si bien los precios de los productos similares se mantienen bajos; es debido a que solo implementan una matriz led con una longitud de onda determinada para algunos cultivos pequeños.

Los precios se diferencian por la tecnología implementada en el control de la máquina a distancia, sea vía *Wifi* o *Bluetooth*.

La tesis también desarrolla una aplicación vía remota haciendo uso de tecnología *bluetooth* y además implementa un sistema integrado de monitoreo de sensores de temperatura, humedad y pH, brindando un valor agregado frente a los otros productos comerciales.

## **2.3 Bases teóricas**

### **2.3.1 Onda de luz**

La luz es parte de la Radiación Electromagnética. Cuando un átomo emite un fotón, crea un campo magnético y eléctrico que se mueve formando ondas, cuya velocidad en la que se desplaza en el vacío, es aproximadamente de 299 792 458 m/s. Los fotones con mucha energía se desplazan en frecuencias altas, lo que ocasiona una longitud de onda corta. Y los fotones con menos energía lo hacen en frecuencias bajas creando longitudes de onda alargadas. A esta variedad de longitudes de onda se le llama espectro electromagnético (Curiosamente, 2016).

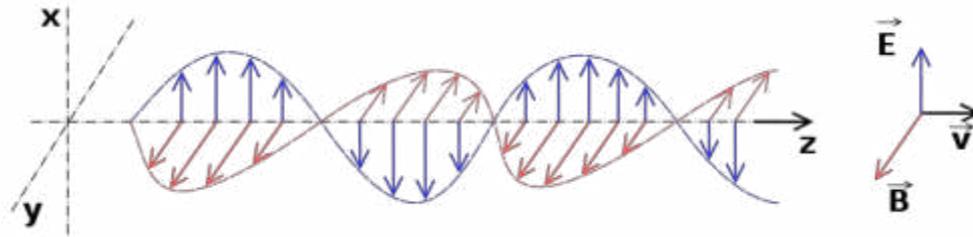


Figura 18: Onda electromagnética  
Fuente: Wikipedia.org

En la figura 18, la onda se auto propaga a través del espacio, donde el campo magnético B y el campo eléctrico E son perpendiculares entre sí. Estas ondas son sinusoidales y están 90° una respecto a la otra (La Luz).

### 2.3.1.1 Espectro electromagnético

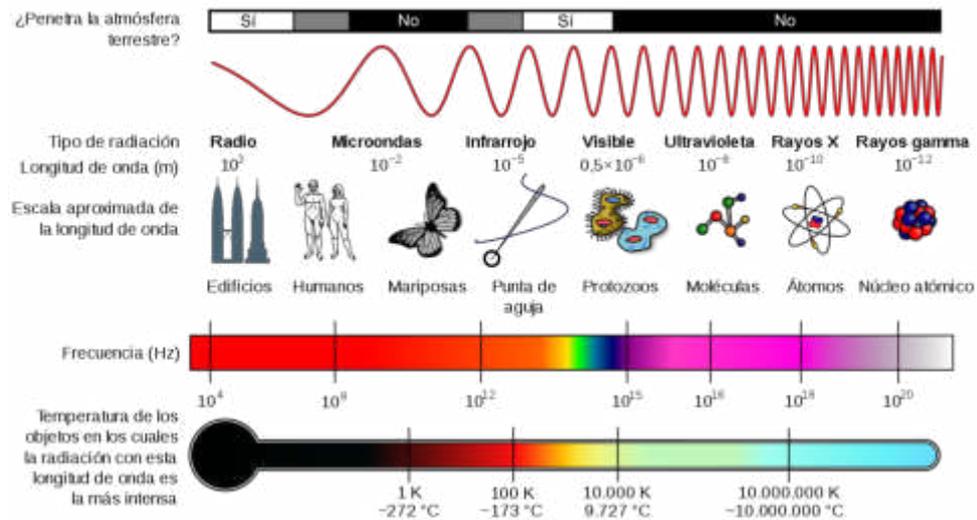


Figura 19: Espectro Electromagnético  
Fuente: Wikipedia.org

En la figura 19 se aprecia el espectro electromagnético con la frecuencia, tipo de radiación y temperatura que emite cada longitud de onda con ejemplos respectivamente.

### 2.3.1.2 Rango energético del espectro

El espectro electromagnético cubre variadas longitudes de onda. Una longitud de onda " $\lambda$ " tiene una frecuencia " $f$ " asociada y una energía de fotón " $E$ ". Entonces, el espectro electromagnético

puede ser expresado igualmente en cualquiera de esos términos. Estas ecuaciones se relacionan de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \dots (1)$$

Ecuación 1: Cálculo de la longitud de onda

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad \dots (2)$$

Ecuación 2: Cálculo de la energía de un fotón

Donde:

$$c = \text{Velocidad de la luz} \approx 300\,000\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h = \text{Constante de Planck} \approx 6.62 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

Por lo tanto, se concluye que las ondas electromagnéticas de alta frecuencia tienen una longitud de onda corta y mucha energía, en cambio las ondas de baja frecuencia tienen grandes longitudes de onda y poca energía. Comúnmente las radiaciones electromagnéticas se clasifican basándose en su longitud de onda, en ondas de radio, microondas, infrarrojos, visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma (Pérez).

### 2.3.1.3 Espectro visible

Lo que normalmente es llamado luz, se encuentra entre las ondas de radiación ultravioleta e infrarroja. En un tipo especial de radiación electromagnética, con una longitud de onda en el intervalo de 0.4 a 0.8 micrómetros, se encuentra el sol, en este rango las estrellas similares emiten la mayor parte de su radiación (ver figura 20).



Figura 20: Espectro visible por el ojo humano  
Fuente: Espectrometria.com

En la figura 21 se puede apreciar la luz que se puede percibir con nuestros ojos, lo cual es realmente una pequeña parte del espectro electromagnético. La radiación electromagnética detectada por el ojo humano y percibida como luz visible cuenta con una longitud de onda entre los 380nm y 750nm (entre 790 y 400 Tera hercios) (Espectro electromagnético).

Color	Longitud de onda
violeta	380–450 nm
azul	450–495 nm
verde	495–570 nm
amarillo	570–590 nm
naranja	590–620 nm
rojo	620–750 nm

Figura 21: Longitudes de onda de los colores visibles por el ojo humano  
Fuente: Wikipedia.org

#### 2.3.1.4 La iluminación

La iluminación es lo que se percibe como luz; es una delgada banda de energía electromagnética que se irradia entre los 380 y 750 nanómetros. Lo que nuestros ojos pueden percibir es la banda llamada banda visible, de donde percibimos los colores y formas. La luz visible irradiada por el sol es la que preferentemente se deberá usar como primera fuente de iluminación, las alternativas como la iluminación artificial se usa en caso de que la luz natural no sea la adecuada o suficiente para realizar la labor requerida.

#### 2.3.1.5 Flujo radiante [ $\Phi$ ]

Denominada con el símbolo " $\Phi$ ", el flujo radiante medido en vatios ( $W$ ). Es la energía de una onda por unidad de tiempo ( $s$ ), es decir, la potencia de una longitud de onda electromagnética. Se calcula por la siguiente ecuación (Wikipedia, Flujo Radiante).

$$\Phi = \frac{Q}{t} \quad \dots (3)$$

Ecuación 3: Cálculo del flujo radiante

Donde

$Q$  = Energía radiante (J)

$t$  = Tiempo (s)

#### 2.3.1.6 Flujo luminoso [ $F$ ]

Denominada con el símbolo " $F$ ", el flujo luminoso medido en lúmens ( $lm$ ), se define como la potencia de luz de una fuente luminosa. Se podrá estimar este flujo integrando la potencia radiante y la función de eficiencia luminosa de un emisor de luz. Sin embargo, la radiación se registra sin distinción por todo el margen de frecuencias y por ello no se tiene en cuenta la diferente sensibilidad espectral del ojo humano (Fernandez).

$$F = \int_{\lambda_{visible \text{ mín.}}}^{\lambda_{visible \text{ máx.}}} \Phi(\lambda)V(\lambda)dt \quad \dots (4)$$

Ecuación 4: Cálculo del Flujo Luminoso

Donde:

$\Phi(\lambda)$  = Flujo Radiante de una longitud de onda

$V(\lambda)$  = Función de eficiencia luminosa de una longitud de onda

#### 2.3.1.7 Eficacia y eficiencia luminosa [ $\eta$ ]

La eficacia luminosa es la relación que existe entre el flujo luminoso y la potencia de un emisor de luz. Se identifica con el símbolo " $\eta$ " y es medido en " $lm/W$ ". Mientras que la eficiencia luminosa se describe como el grado de acción de una fuente de luz, expresada en porcentaje (%). 683  $lm/W$  corresponden al 100% de eficiencia luminosa (Wikipedia, Eficacia luminosa). La eficacia es expresada por la siguiente ecuación.

$$\eta = F/\Phi \quad \dots (5)$$

Ecuación 5: Cálculo de la eficacia luminosa

### 2.3.1.8 Intensidad luminosa [ $I_v$ ]

La intensidad luminosa, conocida también como candela, identificada con el símbolo “ $cd$ ” y medido en (lúmenes/estereorradianes) hace referencia al efecto de una fuente luminosa puntual e ideal que irradia su flujo luminoso de manera uniforme en todas las direcciones del espacio, su intensidad luminosa es en todas las direcciones la misma. Sin embargo, en la práctica siempre se da una distribución espacial irregular del flujo luminoso, que en parte está condicionada por la disposición de los medios de luz y también es originada por la conducción consciente de la luz (Wikipedia, Intensidad luminosa). La intensidad luminosa se expresa por la siguiente ecuación (ver figura 22).

$$I_v = \frac{F}{\Omega} \quad \dots (6)$$

Ecuación 6: Cálculo de la intensidad luminosa

Donde:

$\Omega$ : Ángulo de visión de la fuente luminosa medida en estereorradianes.

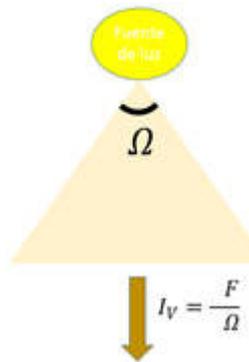


Figura 22: Intensidad Luminosa  
Elaboración: los autores

### 2.3.1.9 Iluminancia [ $E_V$ ]

La iluminancia es la medida para la densidad del flujo luminoso, con símbolo  $E_V$ , se define como la relación del flujo luminoso “ $F$ ” que cae sobre una superficie y el área de la misma “ $a$ ”, esta relación se expresa en lux ( $lx$ ). No está sujeta a una superficie real, es decir; se puede determinar en cualquier lugar del espacio y puede derivar de la intensidad luminosa ( $I_V$ ) (Wikipedia, Iluminancia) y está dada por la siguiente ecuación (ver figura 23).

$$E_V = \frac{F}{a} \quad \dots (7)$$

Ecuación 7: Cálculo de la iluminancia

Además, se sabe que:

$$lx = \frac{lm}{m^2} \quad \dots (8)$$

Ecuación 8: Incidencia de luz sobre una superficie

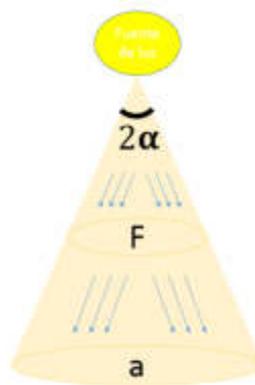


Figura 23: Representación de la Iluminancia  
Elaboración: los autores

### 2.3.1.10 Ángulo de visión

Es el ángulo, del haz de luz, que se va abriendo a una determinada altura, por lo tanto, define el área iluminada de la superficie en función a la distancia del emisor de luz.

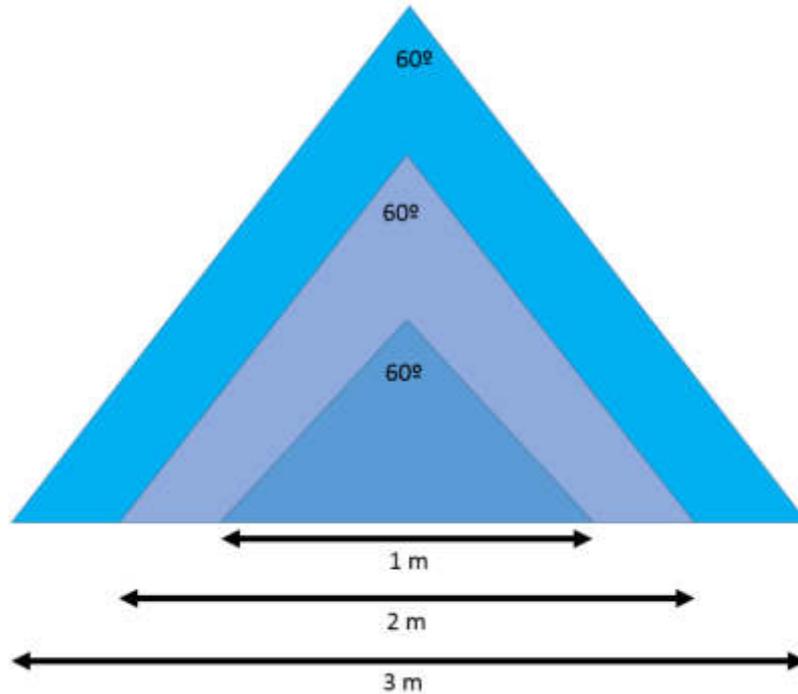


Figura 24: Mismo ángulo de visión a diferentes metros de la altura  
Elaboración: los autores

Para elegir un ángulo u otro debemos tener en cuenta la altura a la que estarán los diodos led y la superficie a iluminar, como se ve en la figura 24. Si la altura es elevada y tenemos un ángulo muy amplio, perderemos intensidad frente a una luz más focalizada; sin embargo, será más uniforme. Por el contrario, para iluminar de forma general, una estancia con poca altura, si utilizamos leds que cierren mucho la luz se pueden crear zonas sombras ya que las zonas iluminadas quedarán muy definidas, como si utilizáramos una linterna.

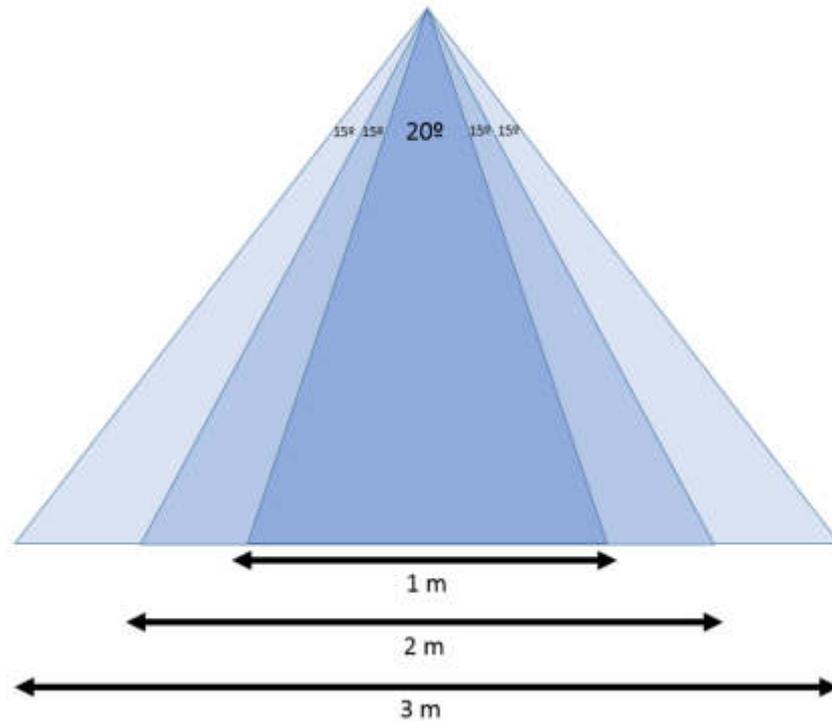


Figura 25: Diferentes ángulos a la misma altura respecto a la superficie  
Elaboración: los autores

Tal y como se puede apreciar en la figura 25, mientras mayor sea el ángulo de apertura, mayor será el espacio iluminado pero menor su intensidad (efectoLED, 2017).

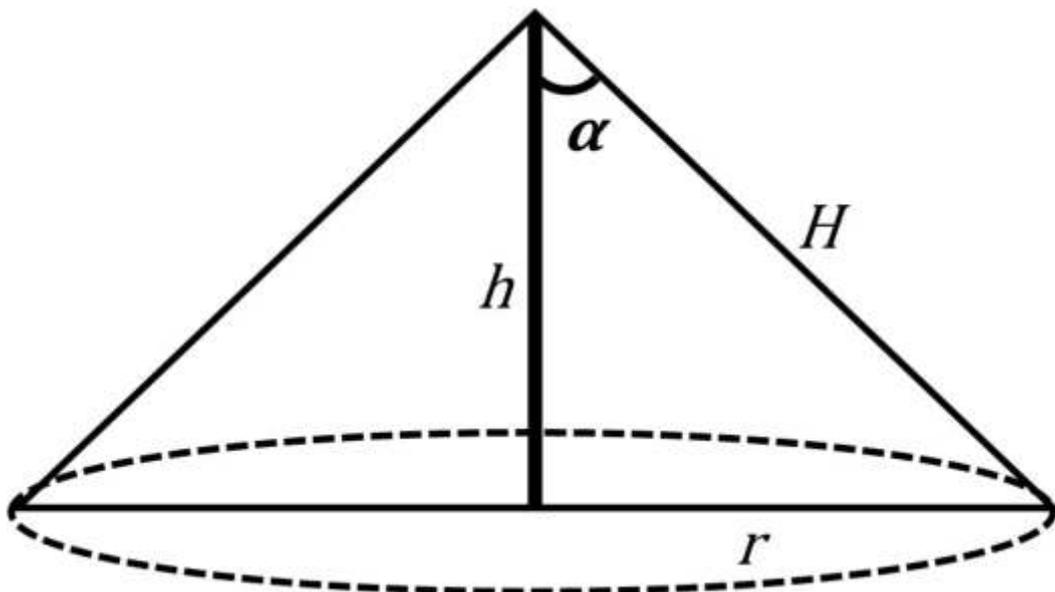


Figura 26: Representación área iluminada respecto al ángulo incidente  
Elaboración: los autores

Para conocer el área de la zona iluminada, dado el ancho de haz de luz y una altura, aplicaremos la fórmula que mostramos a continuación (ver figura 26):

$$h = H \times \cos (\alpha) \quad \dots (9)$$

Ecuación 9: Cálculo de la altura.

$$r = H \times \sen (\alpha) \quad \dots (10)$$

Ecuación 10: Cálculo del radio del área iluminada.

Donde:

$H$  = Hipotenusa del triángulo rectángulo

$h$  = Altura del led respecto a la superficie

$\alpha$  = Ángulo del triángulo rectángulo

### 2.3.1.11 PWM

La modulación por ancho de pulsos (PWM) de una señal o fuente de energía consiste en controlar el ciclo de trabajo de una señal periódica, ya sea para transmitir información o para manipular la cantidad de energía que se envía a una carga.

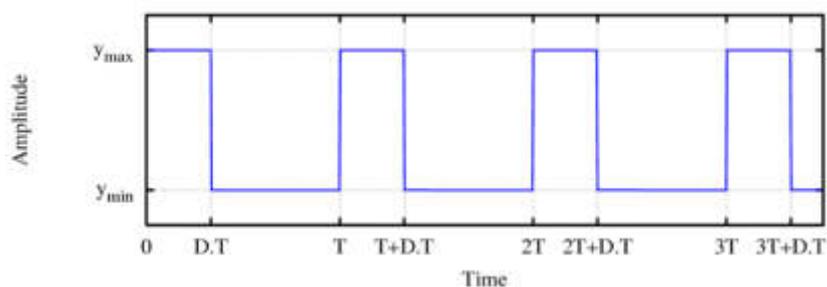


Figura 27: Señal de Onda cuadrada modulada por pulsos  
Fuente: UPB.edu.co

De acuerdo a la figura 27 el ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con

su periodo (Wikipedia, Modulación por ancho de pulsos). Expresado matemáticamente por la ecuación:

$$D = \tau/T \quad \dots (11)$$

Ecuación 11: Cálculo del ciclo de trabajo

Donde:

$D$  = ciclo de trabajo

$\tau$  = ancho de pulso

$T$  = periodo

### **2.3.1.12 Unidad central de procesamiento (CPU)**

El CPU, también llamado procesador o microprocesador, es el núcleo del microcontrolador; el encargado de ejecutar las instrucciones almacenadas en la memoria. Se puede decir que el CPU es el núcleo del microcontrolador. Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código de operación de la instrucción en curso, también de decodificarla y de ejecutarla, operación que implica dicha instrucción. Además busca los operandos y el almacenamiento del resultado en registros.

### **2.3.1.13 Arquitectura de la CPU**

Las características del procesador del microcontrolador varían según su aplicación. El rango de opciones va desde procesadores de 4, 8, 16 bits hasta algunos más complejos de 32 o 64 bits. La arquitectura de los microcontroladores puede estar basada en la arquitectura Harvard o la arquitectura Von Neumann; ambas ofrecen distintos métodos de intercambio de información entre el procesador y la memoria. En la arquitectura Harvard, el bus de datos y el bus de instrucciones están separados, esto permite transferencias simultáneas. Por otro lado, en la arquitectura Von Neumann, un bus de data es utilizado para data y para instrucciones al mismo tiempo (Earl, 2013) (ver figura 28).

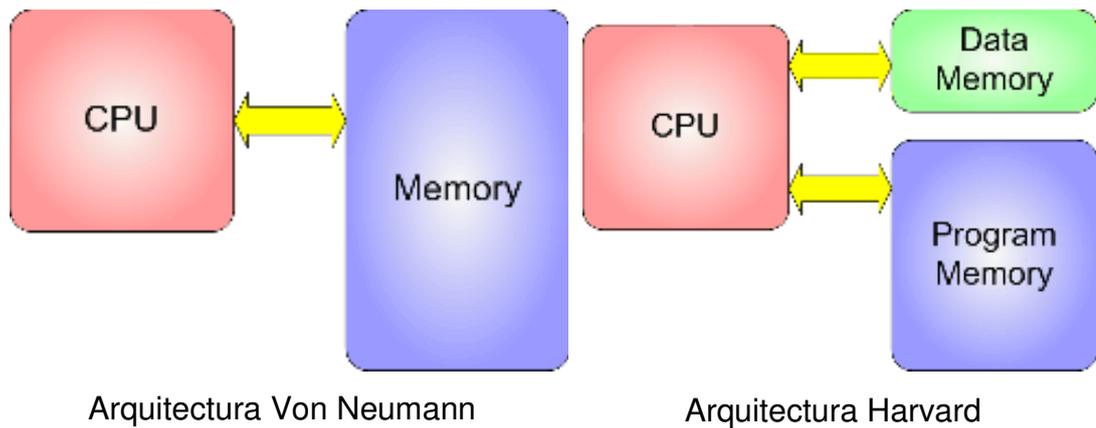


Figura 28: Arquitectura Von Neumann vs arquitectura Harvard  
Fuente: Adafruit

Los procesadores pueden tener arquitectura CISC (*Complex Instruction Set Computing*) o RISC (*Reduced Instruction Set Computing*). La arquitectura CISC cuenta con un mayor número de instrucciones (alrededor de 80) en comparación a la arquitectura RISC (30 instrucciones), esto ocasiona que la arquitectura CISC pueda completar operaciones complejas en menos pasos que la arquitectura RISC. Por ejemplo; al momento de ejecutar una multiplicación, la arquitectura CISC solo tendrá que indicar qué números se desean multiplicar y almacenar el resultado. En cambio, con la arquitectura RISC primero se deberá cargar en cada uno de los registros el número a multiplicar, luego multiplicarlos y finalmente, almacenarlo en otro registro (ver tabla 3).

Tabla 3: Comparación instrucciones CISC vs RISC

Arquitectura CISC	Arquitectura RISC
MUL 100,101	LOAD A,100 LOAD B,101 MUL A, B

Elaboración: los autores

Aunque la arquitectura CISC puede ser más fácil de implementar suele tener degradación de desempeño debido a que necesita un mayor número de ciclos de reloj para ejecutar instrucciones. En cambio, la arquitectura RISC solo requiere un ciclo de reloj para ejecutar una instrucción,

esto significa que, para este caso, el programa se ejecutará aproximadamente en la misma cantidad de tiempo (*Stanford.edu*). En resumen, la arquitectura CISC es más útil para realizar una tarea en la menor cantidad de líneas posibles, en cambio la arquitectura RISC utiliza instrucciones más simples que se pueden ejecutar en un ciclo de reloj (ver tabla 4).

Tabla 4: Resumen arquitecturas CISC y RISC

Arquitectura CISC	Arquitectura RISC
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se enfoca en el Hardware</li> <li>• Incluye instrucciones complejas “multi-clock”</li> <li>• Código pequeño, altos ciclos de reloj por segundo</li> <li>• Se utilizan transistores para almacenar instrucciones complejas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Énfasis en software</li> <li>• Instrucciones reducidas “single-clock”</li> <li>• Grandes códigos con bajos ciclos de reloj por segundo</li> <li>• Utiliza más transistores en memoria y registros</li> </ul>

Elaboración: los autores

#### 2.3.1.14 Tipo de memorias

Es común que, en los microcontroladores, la memoria de instrucciones y datos esté integrada en el propio circuito integrado. Existen dos tipos de memorias dentro de un microcontrolador; la memoria ROM (*Read Only Memory*), la cual es de tipo no volátil, es decir que no se pierde información cuando no está energizada, y se dedica a almacenar el programa y las instrucciones que gobierna la aplicación, por otro lado, la memoria RAM (*Read Access Memory*), es volátil y almacena los datos y variables que se utilizan al momento de ejecutar el programa.

Las memorias de los microcontroladores suelen tener valores bajos, los valores de memoria ROM oscilan entre 512 bytes hasta 64Kbytes y para memorias RAM entre 512 bytes hasta unos 4Kbytes. La aplicación de un microcontrolador variará dependiendo del tipo de memoria con el que cuente (*Wanadoo.es*, 2004).

### **2.3.1.15 Periféricos**

- Puertos E/S

Dentro de la organización básica de un microcontrolador se encuentran los puertos de entrada y salida, estos componentes sirven para interactuar con el mundo exterior para enviar o recibir información. Los puertos E/S tienen la función de poder habilitar o deshabilitar las salidas digitales y así poder leer la información de sensores digitales o analógicos, permitir distintos protocolos de comunicación o enviar señales analógicas de una conversión digital.

Para que un microcontrolador tenga utilidad es necesario conectarlo a dispositivos externos (sensores o actuadores). Cada microcontrolador tiene registros (también denominados puertos) conectados a sus pines en los que se puede modificar si cada uno servirá como dispositivo de entrada o de salida. Al modificar dicha información la corriente máxima que este pin puede entregar o recibir variará también. El valor de corriente más común en los pines de E/S es de aproximadamente 20mA, suficiente para poder encender un diodo LED. Mientras más pines E/S tenga un microcontrolador, menor será la corriente máxima de cada pin, pues todos los puertos de E/S comparten la corriente máxima declarada en la hoja de datos del microcontrolador.

- Conversor analógico/digital

Para poder realizar la interacción entre señales analógicas y el microcontrolador, es necesario digitalizarlas, es por esto que los microcontroladores incorporan un conversor analógico digital. La resolución de este varía dependiendo del tipo de microcontrolador

que se use, existen microcontroladores con resoluciones de 8, 10, 12 bits, entre otros.

### 2.3.2 Protocolos de comunicación serial

Comúnmente llamados puertos de comunicación UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*) o USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*), dependen de si permiten el modo síncrono o no. Este tipo de comunicación en serie es el protocolo más utilizado para transferir información entre equipos de procesamiento de datos y periféricos. En sistemas embebidos la comunicación serial es la forma de intercambiar información utilizando distintos métodos en forma de código binaria. Entre las interfaces más conocidas están el RS232, RS485, I2C, SPI, etc. (Codrey.com, 2018).

En la comunicación serial la información está representada en forma de pulsos, se puede decir que un 1 binario significa un voltaje alto de 5 voltios, mientras que un 0 en binario significa un voltaje bajo de 0 voltios. Los modos de transmisión se clasifican en:

- a. **Simplex:** método de comunicación de una sola vía, solo un cliente (puede ser el emisor o el receptor el que esté activo a la vez). Si el emisor envía información el receptor tiene que aceptarla sí o sí. Un ejemplo de esto son los televisores o las radios.
- b. **Half Duplex:** En este método de comunicación tanto el emisor como el receptor están activos, pero no todo el tiempo. Por ejemplo, si el emisor envía información el receptor puede decidir si aceptar la data o no. Cabe indicar que en este modo el receptor puede aceptar la data mas no enviar información.
- c. **Full Duplex:** En este método de comunicación tanto el emisor como el receptor pueden enviar información al mismo tiempo.

En la figura 29 se puede visualizar los 3 tipos de comunicación serial.

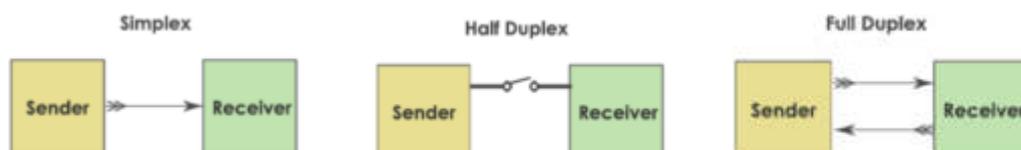


Figura 29: Comunicación *Simplex*, *Half Duplex* y *Full Duplex*  
Fuente: Codrey.com

a) I2C

Este tipo de comunicación es utilizada en los dispositivos electrónicos pues se puede implantar fácilmente en distintos diseños de comunicación en los que se requiere un máster y múltiples esclavos. Además, para hacer esto solo se requieren dos cables de información para comunicar entre 128 dispositivos si se utilizan 7 bits o 1024 dispositivos si se utilizan direcciones de 10 bits.

Las dos líneas de comunicación que se utilizan se llaman “*Serial Clock*” o SCL y “*Serial Data*” o SDA. La línea SCL es por donde la señal del reloj por donde se sincroniza la transferencia de datos entre los dispositivos en el bus I2C y es generada por el dispositivo máster. La otra línea, SDA, es la que transporta la información. (*How To Mechatronics*)

Ambas líneas se encuentran en dren abierto, esto significa que las resistencias *pull up* necesitan estar conectadas a ellas para que las líneas estén en nivel alto pues es común que los dispositivos en el bus I2C estén en nivel bajo (ver figura 30).

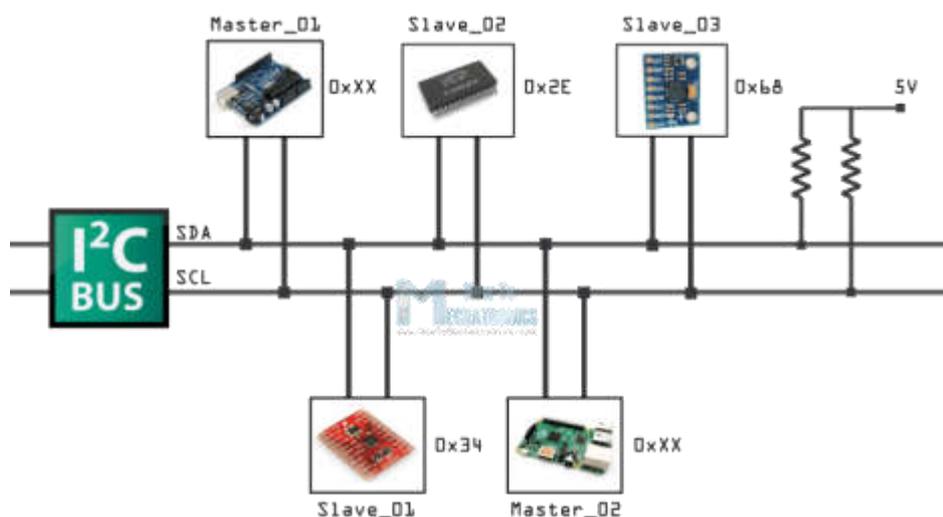


Figura 30: Comunicación I2C  
Fuente: *HowToMechatronics*

La transferencia de data se envía en secuencias de 8 bits, luego que la condición de inicio ocurra aparece la primera secuencia de

8 bits, en la cual se encuentra la dirección del esclavo hacia donde la información será enviada. Luego de esta secuencia viene el bit de reconocimiento (*acknowledge bit*), inmediatamente después de que este bit es direccionado se envía una segunda trama de 8 bits destinada los registros internos del dispositivo esclavo, luego de esto sigue otro bit de reconocimiento y finalmente se mandan secuencias de 8 bits con la información obtenida por el esclavo. Todo esto finaliza con un bit de reconocimiento y otro bit de parada (ver figura 31).

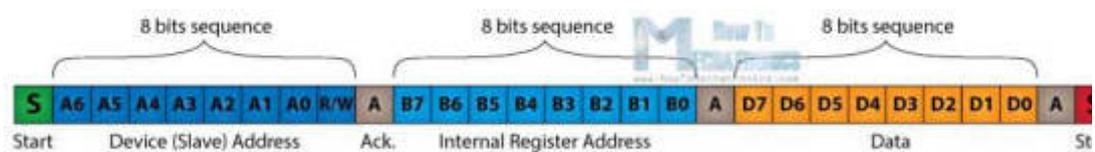


Figura 31: Secuencia de datos protocolo I2C

Fuente: *HowToMechatronics*

#### b) Bluetooth

Es un protocolo de comunicación que transmite datos mediante un enlace de radiofrecuencia en la banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*) con una frecuencia de 2,4 a 2,48 GHz, dicha banda está reservada internacionalmente para áreas industriales, científicas y médicas sin fines comerciales. El uso de esta banda de frecuencia está abierta a todo el mundo sin necesidad de licencia y respetando las regulaciones. Sus principales características son su robustez, el poco consumo de potencia y su bajo costo.

Esta tecnología ha ganado aceptación global hasta el punto de que, en la actualidad, cualquier dispositivo equipado con *Bluetooth* puede conectarse con cualquier otro equipo similar en proximidad. El núcleo de este sistema consiste en un transceptor, que es un dispositivo que cuenta con un transmisor y un receptor y que comparten el mismo circuito, RF, banda base y un conjunto de protocolos.

En la tabla 5 se clasifica como "Clase" en referencia a su potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles los dispositivos de

una clase con los de las otras. Se puede apreciar que conforme se utilice una clase menor, el alcance será mayor (aproximadamente 100 metros) y la potencia permitida aumentará.

Tabla 5: Clases y potencias permitidas

<b>Clase</b>	<b>Potencia máxima permitida (mW)</b>	<b>Potencia máxima permitida (dBm)</b>	<b>Alcance (metros)</b>
<b>Clase 1</b>	100 mW	20 dBm	100
<b>Clase 2</b>	2.5 mW	4 dBm	10
<b>Clase 3</b>	1 mW	0 dBm	1

Elaboración: los autores

El módulo *Bluetooth* utilizado se encuentra en la clase 2, es decir que tiene un alcance máximo de 10 metros y un consumo de potencia máxima de 2.5 mili vatios.

#### a. Versiones

A partir de la versión 1.0, que se ratificó en julio de 1999, se han publicado sucesivas versiones:

##### a.1 Versión 1.0

Esta primera versión contaba con muchos problemas, ya que los fabricantes tenían dificultades para hacer que sus equipos sean interoperables. Incluía en hardware de forma obligatoria la dirección del dispositivo Bluetooth (dirección), esto ocasionaba que la transmisión anónima de datos sea imposible a nivel de protocolo.

##### a.2 Versión 1.1

Esta versión utilizada en el año 2001 solucionó los inconvenientes que se en la versión 1.0 y se añadió el Indicador de Calidad de Señal Recibida (RSSI). Asimismo, se agregó el soporte para canales no cifrados.

### a.3 Versión 1.2

Utilizada en el año 2003 y entre sus principales mejoras se encontraban:

- La posibilidad de generar una conexión más rápida (de hasta 721 kbit/s),
- La función *Discovery* la cual servía para detectar otros dispositivos Bluetooth cercanos.
- Salto de frecuencias adaptable de espectro ampliado (AFH) que mejora la resistencia a las interferencias de radio frecuencia.
- Conexiones Sincrónicas extendidas (ESCO) que permitían una retransmisión de paquetes corruptos, logrando así una mejor calidad de voz en los enlaces de audio.

### a.4 Versión 2.0 +EDR

Lanzada en el 2004, es compatible con la versión 1.2. Se implementó una velocidad de datos mejorada (Enhanced Data Rate), para acelerar la transferencia de datos. La tasa nominal de EDR es de 3Mbit/s.

En la tabla 6 se clasifica según la versión de Bluetooth con su respectiva capacidad de canal:

Tabla 6: Versiones y anchos de banda

<b>Versión</b>	<b>Ancho de banda</b>
<b>Versión 1.2</b>	1 Mbit/s
<b>Versión 2.0</b>	3 Mbit/s
<b>Versión 3.0</b>	24 Mbit/s
<b>Versión 4.0</b>	32 Mbit/s
<b>Versión 5.0</b>	100 Mbit/s

Elaboración: los autores

El módulo Bluetooth del puerto serial está calificado como Bluetooth v2.0 con un ancho de banda de 3Mbps con el transceptor de radio y potencia de transmisión de clase 2 (*ElectronicStudio*).

b. Radiofrecuencia

La radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, representa la porción del espectro electromagnético cuyo principio es la generación de ondas electromagnéticas aplicando corriente alterna a una antena, esta porción de frecuencias se encuentra situada entre los 3 kilohercios (KHz) y 300 gigahercios (GHz). (Universidad de las Américas de Puebla)

La radiofrecuencia se caracteriza por sus frecuencias y longitudes de onda que viajan a la velocidad de la luz en el espacio libre.

En la tabla 7, la radiofrecuencia se clasifica en las siguientes bandas espectro:

Tabla 7: Espectros de frecuencia

Banda UIT	Nombre de frecuencia	Abreviatura inglesa	Rango de frecuencia	Rango de longitud de onda
1	Frecuencia extremadamente baja	ELF	3-30 Hz	100 000 – 10 000 km
2	Frecuencia súper baja	SLF	30-300 Hz	10 000 – 1000 km
3	Frecuencia ultra baja	ULF	300-3000 Hz	1000 – 100 km
4	Frecuencia muy baja	VLF	3-30 KHz	100 – 10 km
5	Frecuencia baja	LF	30-300 KHz	10 – 1 km
6	Frecuencia media	MF	300-3000 KHz	1000– 100 m
9	Frecuencia alta	HF	3-30 MHz	100 – 10 m
11	Frecuencia muy alta	VHF	30-300 MHz	10 – 1 m
10	Frecuencia ultra alta	UHF	300-3000 MHz	1 m– 100 mm
11	Frecuencia súper alta	SHF	3-30 GHz	100 – 10 mm
11	Frecuencia extremadamente alta	EHF	30-300 GHz	10 – 1 mm

Elaboración: los autores

Por lo tanto, se concluye que las ondas de radiofrecuencia de alta frecuencia tienen una longitud de onda corta; en cambio las ondas de baja frecuencia tienen grandes longitudes de onda.

### **2.3.3 Modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiana (GFSK)**

La modulación por desplazamiento de frecuencia *gaussiana* o *Gaussian Frequency Shift Keying* (GFSK) en inglés es un método de modulación para comunicaciones digitales que se encuentra generalmente en dispositivos *Bluetooth*. Las comunicaciones digitales logran que los símbolos enviados por un emisor sean recuperados por el receptor luego de pasar por un medio de transmisión (*University of Twente, Department of Electrical Engineering, 2016*).

Lo que este tipo de modulación hace es asignar una frecuencia definida a los valores digitales. Es decir, una frecuencia representa el valor 0 y otra frecuencia representa el valor 1. Es común que una frecuencia mayor se le asigne al bit 0 y una frecuencia menor al bit 1. Esta información previamente se introduce a un filtro gaussiano para reducir el ancho de banda y para protegerla de ruidos e interferencias del canal. (*Universidad Autónoma del Estado de México, 2015*)

En la figura 32 se puede apreciar un ejemplo de modulación GFSK, como se puede notar para este caso en especial el bit 1 tiene una frecuencia alta y el bit 0 tiene una frecuencia baja.

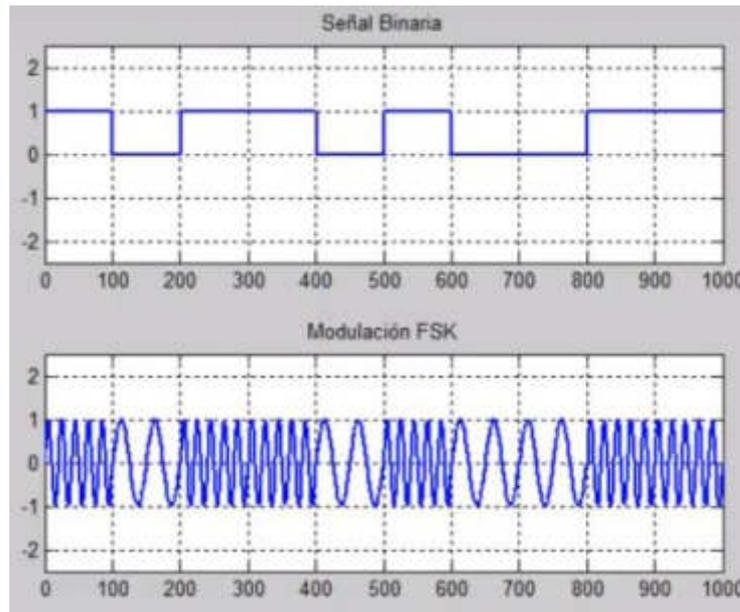


Figura 32: Modulación GFSK  
Fuente: Youtube.com

### 2.3.4 Acidez de la tierra

El pH define la medida de acidez o alcalinidad en una sustancia, indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en distintas disoluciones. La escala de pH varía entre 0 a 14, donde las disoluciones más ácidas son las inferiores a 7 y las alcalinos son las superiores a 7 (ver figura 33).

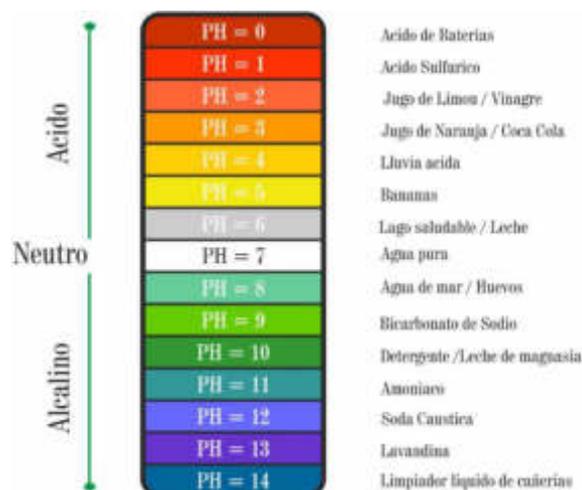


Figura 33: Escala de pH  
Fuente: Colectivo230

El nivel de pH es un indicador del potencial de hidrógenos, pues denota la cantidad de iones de hidrógeno que contiene una solución, si un elemento es ácido significa que contiene una alta o baja medida de iones

de hidrógeno, por otro lado, si la solución es alcalina o base significa que no cuenta con una concentración de iones de hidrógeno (EcuRed).

Ejemplos de ácidos:

- Ácidos de baterías: Generalmente se encuentran entre 0 y 1, este tipo de disolución es perjudicial para las especies.
- Lluvia ácida: Entre 2 y 5
- Jugo de limón: Entre 2 y 3 de nivel de pH
- Café: Nivel 5 de pH

Ejemplos de neutro

- Sangre
- Leche

Ejemplos de bases

- Leche de magnesio: Nivel de pH se ubica entre 10 y 11
- Lejía o cloro: Nivel de alcalinidad 13

Generalmente, el pH se mide con papel tornasol, un instrumento de medición de fácil uso que cambia de color dependiendo de en qué solución esté sumergido. Generalmente, si se sumerge en una solución ácida, el papel tomará un color rosado; por otro lado, se tornará de color azul si se encuentra en una solución básica (Concepto.de).

El nivel de acidez cumple un papel importante en la agricultura debido a que existen plantas que requieren cierto nivel de pH para que puedan crecer. Por ejemplo, la papa requiere un suelo ácido (entre 4.8 y 5.4). La caña de azúcar necesita un nivel de suelo neutro para poder crecer (nivel de pH cercano a 6.8). El nivel de pH determina la cantidad de sustancias nutritivas asimilables por las plantas, se suele medir con un potenciómetro (también llamado pH-metro, instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: uno referencial (comúnmente plata) y un electrodo de vidrio sensible a los iones de hidrógeno (Instituto de ecología , 2012).

### **2.3.5 Importancia de la acidez de la tierra en los cultivos**

La acidez del suelo se refiere a la cantidad de iones de hidrógeno dentro del suelo, El suelo (o tierra) tiene la capacidad de retener cationes (iones positivos) de los cuales las plantas obtienen sus nutrientes (calcio, magnesio, hierro, cobre y manganeso). Esto conlleva a que dentro del suelo exista un balance entre cationes y los iones de hidrógeno. Cuando existen más cationes se dice que el suelo es alcalino; caso contrario, cuando dominan los átomos de hidrógeno, se dice que el suelo es ácido.

La acidez, y la poca disponibilidad de nutrientes es una de las principales causas de las limitaciones de la baja productividad de los suelos. Si la tierra es ácida reduce el crecimiento de las plantas; pues se limita la disponibilidad de los nutrientes como el calcio, el magnesio, el potasio y el fósforo; al mismo tiempo favorece a la generación de elementos tóxicos para las plantas como el aluminio y el manganeso (Instituto de ecología , 2012).

En la figura 34 se aprecia los niveles de pH aconsejados para cultivar distinto tipo de plantas.

## ACOMODACION DE LOS CULTIVOS AL pH

pH 5	5.5	6	6.5	pH
<b>Cultivos muy tolerantes</b>	<b>Cultivos tolerantes</b>	<b>Cultivos sensibles</b>	<b>Cultivos muy sensibles</b>	
Habichuelas Altramuz Avena Sandía Patata Centeno Vid	Zanahoria Maíz Algodón Pepino Lenteja Guisante Tomate	Cebada Coliflor Col Nabo Tabaco Trigo	Alfalfa Espárrago Remolacha Lechuga Pimiento Cebolla	

Figura 34: Acomodación de cultivos al pH  
Fuente: mag.co.cr

Los valores de pH situados entre 5.0 y 6.4 son favorables para cultivar, no existe efecto negativo si esta cantidad de pH varía en una pequeña cantidad, pero se apreciarán valores adversos con valores inferiores a 4 y superiores a 8. Los valores por debajo 4 tienden a dañar las raíces, además las plantas tienden a envenenarse debido a los metales pesados como el manganeso y el hierro. Los valores entre 7 y 8 no dañarán inmediatamente a la planta, pero los nutrientes como el hierro, el fosfato y el manganeso no serán abundantes, esto conlleva a deficiencias de desarrollo a largo plazo (CANNA.es). La lectura del pH de la tierra es decisiva para el desarrollo de las plantas. Se basa en la medición de la alcalinidad del suelo que será usado para la agricultura.

Según una publicación del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile (INIA) (Sierra, 1982), la tierra con pH entre 4 y 5 presenta una gran cantidad de manganeso y aluminio; al mismo tiempo, bajas cantidades de calcio, magnesio y fósforo, provocando que la cantidad de bacterias sea mermada por un incremento de hongos. Debido a que las bacterias son las encargadas de la creación de nutrientes necesarias para las

plantas, se considera que mientras menor sea el nivel de pH menor será la actividad biológica.

Por otra parte, en suelos con pH mayor a 8, existen menores cantidades de hierro, manganeso, cobre, zinc y fósforo y mucho calcio y magnesio reduciendo los problemas de toxicidad considerándose un suelo de reacción alcalina. Por último, un suelo con pH entre 6.5 y 7, parece ser la más adecuada para el crecimiento de la mayoría de las plantas, considerándose un suelo de reacción débilmente ácido.

En la tabla 8 se aprecia los valores de pH requeridos para los cereales.

Tabla 8: pH requerido para cereales

CULTIVOS	pH								
	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
CEREALES									
TRIGO									
CEBADA									
MAIZ									
CENTENO									
AVENA									

Elaboración: los autores

En la tabla 9 los valores de pH requeridos para hortalizas.

Tabla 9: pH requerido para hortalizas

CULTIVOS	pH								
	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
HORTALIZAS									
ESPARRAGOS									
REMOLACHA									
MELONES									
COLIFLOR									
APIO									
LECHUGA									
CEBOLLA									
ESPINACA									

Elaboración: los autores

En la tabla 10 se aprecia los valores de pH requeridos por los frutales.

Tabla 10: pH requerido para los frutales

CULTIVO	pH								
	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
FRUTALES									
CITRUS									
DURAZNOS									
PERAS									
CIRUELAS									
UVAS									
GUINDAS									
DAMASCOS									
FRUTILLAS									
MANZANAS									
FRAMBUESA ROJA									
FRAMBUESA NEGRA									
ZARZAMORA									

Elaboración: los autores

Dado que las recomendaciones para la medición de pH se dan en intervalos de 0.5 se considera que si el error de medición supera este valor no podría considerarse una medición válida para la calibración del pH.

#### 2.4 Importancia de la temperatura, humedad e iluminación en los cultivos

De acuerdo con una publicación de la Escuela Agrícola Panamericana de Honduras (Portillo, 2006) la temperatura, la humedad relativa del suelo y la radiación solar o iluminación, intervienen directamente al desarrollo de las plantas. En esta publicación se propone el uso e incorporación de ambientes protegidos donde se controlen estas variables, haciendo comparación entre sus beneficios y factores limitantes (ver tabla 11).

Tabla 11: Beneficios y factores limitantes

	Beneficios	Factor Limitante
1	Aumentar calidad de los cultivos	Inversión inicial alta
2	Productos fuera de temporada	Alto costo de operación
3	Control del clima	Personal capacitado
4	Ahorro en agua y fertilizantes	Conocimiento sobre requerimientos del cultivo

5	Reducción de plagas	
6	Ofrecer cultivos durante todo el año	
7	Disminuyen costos por unidad	
8	Producción sobre terrenos inhóspitos	

Elaboración: los autores

Y son estos beneficios los que busca desarrollar la tesis en base al estudio de las variables de temperatura, humedad, iluminación y pH.

En cuanto a temperatura en grados Celsius (°C), se nos presenta una tabla con distintos valores de requisitos para diferentes cultivos (ver tabla12); resaltando el caso del tomate, en el que los cambios de temperatura, para que alteren considerablemente el desarrollo del cultivo, no debería excederse en 3°C, que es la diferencia entre su rango de temperatura óptima y el rango de su temperatura máxima letal. Es por eso, por lo que una lectura de data con error de 1°C no alteraría el libre desarrollo del cultivo. También, en esta publicación habla de la humedad relativa, la cual debería ser controlada para no exceder el 90%, ya que podría generar enfermedades fungicidas a los cultivos que disminuyan notablemente la producción.

Tabla 12: Temperatura óptima para cultivos

	<b>Tomate</b> (°C)	<b>Pimiento</b> (°C)	<b>Berenjena</b> (°C)	<b>Pepino</b> (°C)	<b>Melón</b> (°C)	<b>Sandía</b> (°C)
<b>Temp. Mínima letal</b>	0-2	-1	0	-1	0	0-1
<b>Temp. Mínima biológica</b>	10-12	10-12	10-12	10-12	13-15	11-15
<b>Temp. Óptima</b>	20-30	20-30	30-40	20-26	18-21	17-20
<b>Temp. Máxima biológica</b>	21-27	23-27	22-27	20-25	25-30	23-28
<b>Temp. Máxima letal</b>	33-38	33-35	43-53	31-35	33-37	33-37

Elaboración: los autores

Cada cultivo tiene una humedad relativa idónea para desarrollarse en perfectas condiciones: al tomate, al pimiento y berenjena les gusta una humedad relativa en el rango del 55 - 75%, al melón, entre el 60 - 70%; al calabacín, entre el 65 - 80% y al pepino entre el 70 - 90%. La disminución de la humedad relativa podría ocasionar transpiración en la planta y en consecuencia deshidratarse.

#### 2.4.1 Control de humedad: Relé

Es un componente electrónico, que tiene la capacidad de cerrar y abrir el interruptor a través de una bobina y un electroimán, el cual permite controlar un circuito electrónico. Está compuesto por una bobina, una armadura metálica y un grupo de contactos que pueden ser conmutado por medio de un campo magnético generada por la bobina. En la figura 35 se muestra que el relé cuenta con cinco terminales, dos para la excitación de la bobina, un común (C) y dos contactos: un contacto normalmente abierto (NA) y un contacto normalmente cerrado (NC). El terminal NA no tendrá continuidad con el terminal común C cuando este en reposo. En cambio, el terminal NC sí tendrá continuidad.

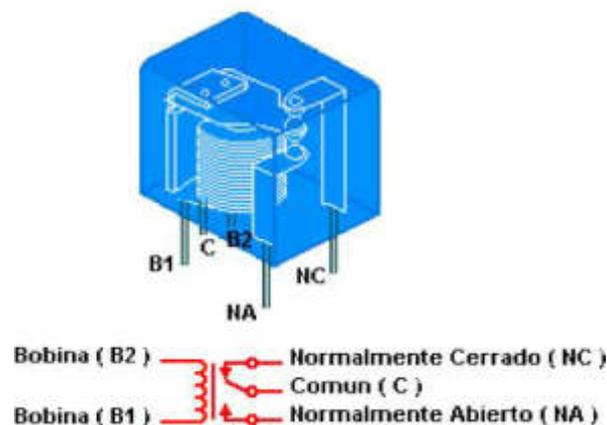


Figura 35: Estructura del relé  
Fuente: Google.com

#### 2.4.2 Monitoreo de temperatura

Los sensores de temperatura tienen distintas aplicaciones para la industria, desde aplicaciones para elaboración de alimentos, climatizadores para control ambiental, manipulación de productos químicos, entre otros. Existen dos variedades principales de sensores de temperatura;

con contacto y sin contacto. El primer tipo de sensores incluyen termopares y termistores que luego de hacer contacto con el objeto a medir y los sin sensores sin contacto se encargan de medir la radiación térmica emitida por la fuente de calor para poder medir su temperatura (Mathas, 2011).

### **2.4.3 Monitoreo de luminancia**

#### Sensor fotoeléctrico

Dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz, estos sensores requieren un componente emisor que genera luz y uno receptor que percibe la luz generada por el emisor. La mayoría de los modos de sensado utilizan este principio de funcionamiento. Están fabricados fundamentalmente para la detección, clasificación y posicionamiento de objetos incluso bajo condiciones ambientales extremas. Estos sensores de luz se utilizan para detectar el nivel de luz y así generar una señal de salida representativa respecto a la cantidad de luz detectada. Un sensor de luz incluye un transductor fotoeléctrico (dispositivo capaz de transformar o convertir señal de luz, en otra diferente a la salida, pero de valores pequeños) para convertir la luz a una señal eléctrica y puede incluir un circuito electrónico de acondicionamiento de señal.

El sensor de luz más común es un LDR (*Light Dependant Resistor* o resistor dependiente de la luz), que básicamente es un resistor que cambia su resistencia dependiendo de la intensidad de luz a la que está expuesto.

Existen tres tipos de sensores fotoeléctricos, los sensores por barrera de luz, reflexión sobre un espejo o reflexión sobre objetos

- Luxómetro

Luxómetro, comúnmente llamado medidor de luz, es un instrumento de medición que permite medir la iluminancia real de un ambiente, la unidad de medida es el lux (unidad de flujo luminoso, “lx”) y contiene una célula fotoeléctrica que capta la luz y la convierte en pulsos eléctricos, los cuales son representados,

comúnmente, en un display (*Engineering 360*). Se utilizan para la medición precisa de los acontecimientos luminosos en el sector de la industria, el comercio, la agricultura, la investigación y el diseño de interiores.

- Principio de funcionamiento

Un luxómetro moderno funciona según el principio de una celda fotovoltaica; es decir, un circuito integrado recibe cierta cantidad de luz (fotones) y la transforman en una señal eléctrica (analógica). Existen luxómetros que tienen la capacidad de grabar datos, estos son muy apreciados especialmente por la completa corrección del coseno del ángulo de la luz incidente.

#### **2.4.4 Placa PCB**

El diseño de placas de circuito impreso o *Printed Circuit Board (PCB)* (*Techterms*, 2013) es una técnica utilizada en universidades, empresas y distintos grupos de investigación para fabricación de equipos con funciones específicas de instrumentación, control y automatización.

Entre los diseños se involucran generalmente sensores, acondicionadores de señal, microcontroladores y actuadores. Estos necesitan cierto grado de integración en los sistemas micro controlados y susceptibilidad por ruido en los circuitos acondicionadores; es por ello, por lo que para la fabricación de circuitos impresos es necesario tener en cuenta las teorías básicas de electromagnetismo y sus interferencias electromagnéticas.

Una placa de circuito impreso (PCB) es una plancha de material rígido aislante, cubierta por pistas de cobre en una o ambas caras, estas sirven como conductor o conexión eléctrica entre distintos componentes (Roberto Salas).

La materia prima consiste en una plancha aislante, normalmente de fibra de vidrio o baquelita, cubierta completamente por una lámina de cobre. Según el tipo y calidad de placa, el cobre puede ir acompañado por una capa de resina fotosensible.

#### 2.4.5 Mesas de trabajo

Según la Institución Americana de Administración de Seguridad y Salud ocupacional (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional) (*OSHA* por sus siglas en inglés) estar de pie es una postura natural, que por sí misma no representa ningún riesgo particular para la salud. Sin embargo, trabajar de pie puede provocar dolores en los pies de manera regular, fatiga muscular, dolor en la parte baja de la espalda, rigidez en el cuello y hombros entre otros problemas de salud.

Mantener el cuerpo en posición vertical requiere considerable esfuerzo muscular que es particularmente dañino cuando se permanece de pie sin movimiento. La *OSHA* sugiere que un buen diseño para un lugar de trabajo, en este caso nuestra mesa de proyecto puede reducir los problemas de salud derivados del trabajo de pie.

En la figura 36 se aprecia las cotas y medidas recomendadas por la *OSHA*.

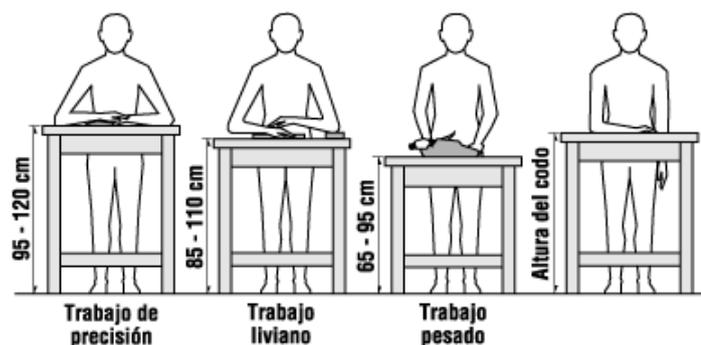


Figura 36: Cotas y medidas recomendadas por la *OSHA*  
Fuente: *OSHA*

Esta organización recomienda que una mesa de trabajo debe estar a una altura entre 10 y 15 cm por debajo de la altura del codo.

Según lo investigado; se define como la “altura del codo” como la distancia vertical desde el suelo hasta el punto más alto del codo flexionado (Llaneza Alvarez, 2008).

En la tabla 13 se aprecia que dentro de una muestra de más de 1700 personas se pudo concluir dos datos importantes para este avance; la estatura promedio es de 1.665m y que la distancia promedio desde del codo hasta el suelo es de 1.027m.

Tabla 13: Datos en mm de la población conjunta

Ref.	Dimensiones antropométricas	Percentiles		
		P5	P50	P95
1	Estatura	1525	1665	1803
2	Altura de los ojos	1423	1558	1699
3	Altura de los hombros	1256	1384	1508
4	Altura del codo de pie	932	1027	1122
5	Altura del puño (de pie)	662	733	807
7	Altura sentado (de pie)	793	859	929
8	Altura de los ojos sentado	690	753	819
9	Altura de los hombros	524	579	635
10	Altura del codo (sentado)	182	224	269
11	Espesor del muslo (sentado)	112	145	174
12	Espesor del abdomen (sentado)	173	238	314
13	Altura poplítea	368	419	464
14	Longitud poplítea trasero	450	492	540
15	Longitud rodilla trasero	541	590	644
17	Alcance del puño	606	700	785
18	Longitud codo-puño	392	337	376
19	Anchura de hombros	304	372	432
20	Anchura entre codos	367	461	542
21	Anchura caderas (de pie)	316	364	417
16	Alcance máximo. (Alcance del puño con los dedos estirados)			

Fuente: Antonio Carmona Benjumea, MTAS (2011)

Según la antropometría, ciencia dedicada al estudio de las proporciones y las medidas del cuerpo humano, la altura promedio del codo se encuentra al 63% de la estatura. (ver figura 37).

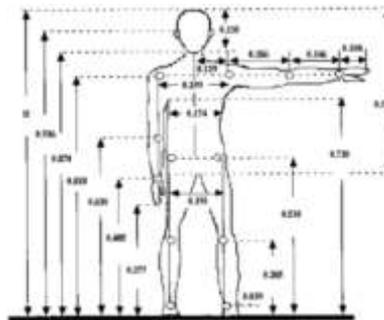


Figura 37: Relación talla y diferentes segmentos corporales  
Fuente: Antonio Carmona Benjumea, MTAS (2011)

Con estos datos concluimos lo siguiente; sabiendo que la altura promedio de una persona es de aproximadamente 160 centímetros.

$$\begin{aligned} & \text{Altura de mesa de trabajo} \quad \dots (12) \\ & = (\text{Prom. de estatura} \times \text{Altura del codo}) - 15\text{cm} \end{aligned}$$

Ecuación 12: Cálculo de la altura de la mesa de trabajo

Se puede concluir por qué este tipo de mesas suelen tener una altura promedio entre 80 y 85 centímetros, ya que a esta altura se facilita el estudio y/o manipulación de instrumentos.

## 2.5 Definición de términos básicos

Se definen los parámetros del marco teórico en la figura 38

#	Magnitud Física	Símbolo	Unidad SI	Unidad
1	Longitud de Onda	$\lambda$	metros	m
2	Velocidad de la luz	c	metros por segundo	m/s
3	Energía del fotón	E	joules	J
4	Frecuencia de la onda	f	hertz	Hz
5	Constante de Planck	h'	joules por segundo	J.S
6	Flujo radiante	$\Phi$	vatios	W
7	Energía radiante	Q	joules	J
8	Flujo luminoso	F	lúmen	lm
9	Eficiencia Luminosa	$\eta$	lumen por vatio	lm/w
10	Eficiencia luminosa	%	porcentaje	%
11	Intensidad luminosa	$I_V$	candela	cd
12	Ángulo e visión estereoradian	$\Omega$	Estereoradián	sr
13	Iluminancia	$E_V$	lux	lx
14	Ángulo e visión en grados	$2\alpha$	grados	º
15	Altura de la luz incidente	h	metros	m
16	Hipotenusa	H	metros	m
17	Área iluminada	a	metros	m
18	Radio del área iluminada	r	metro	m
19	Distancia entre lod LED	d	metro	d
20	Ciclo de trabajo	D	Hertz	D
21	Ancho de pulso	$\tau$	segundos	s
22	Periodo	T	segundos	s
23	Voltaje	V	Voltios	v

Figura 38: Tabla de parámetros del marco teórico  
Elaboración: los autores

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1 Materiales

##### 3.1.1 MOSFET IRF3205

En la figura 39 se muestra la tabla de especificaciones del MOSFET IRF3205; entre sus características principales se encuentra su baja resistencia interna de 8 m $\Omega$ , la capacidad de trabajar un voltaje de hasta 55V y con corrientes de hasta 110A. (*International Rectifier*, 2001)

Absolute Maximum Ratings			
	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	110 $\text{\textcircled{3}}$	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	80	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current $\text{\textcircled{1}}$	390	
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V

Figura 39: Especificaciones MOSFET IRF3205  
Fuente: IRF.com

En la figura 40 se aprecia el MOSFET a utilizar



Figura 40: MOSFET IRF3205  
Fuente: Google.com

### 3.1.2 Sensor de temperatura DS18B20

El sensor DS18B20 es un termómetro digital de resolución programable (de 9 a 12 bits) y que provee un rango de temperaturas desde -55 °C hasta 125 °C con un rango de error de  $\pm 0.5$  °C. Puede ser alimentado con un rango de voltaje continuo entre 3.0v y 5v. Utiliza el protocolo de comunicación *One-Wire*, el cual requiere solo un puerto para comunicación.

#### Especificaciones del sensor DS18B20

- **Rango de temperatura:** -55 a 125°C
- **Resolución:** de 9 a 12 bits
- **Precisión:**  $\pm 0.5$ °C (de -10°C a +85°C)
- **Alimentación:** 3v a 5.5v
- **Precisión de tiempo:** 750ms

Asimismo, en la figura 41 se verifica gráficamente el sensor.



Figura 41: Sensor DS18B20  
Fuente: *Maxim Integrated*

### 3.1.3 Sensor de lux BH1750

El sensor de lux BH1750 es un sensor de luz ambiental con capacidad de comunicación I2C, la cual permite la conexión de dos sensores mediante un solo puerto. Sus características técnicas se pueden apreciar en la tabla 14.

Tabla 14: Características del sensor de lux BH1750

Característica	Valor		
<b>Valores absolutos máximos de operación</b>			
<b>Voltaje de alimentación</b>	4.5 VDC		
<b>Rango de medición</b>	1 - 65535 lx		
<b>Temperatura de operación (°C)</b>	-40°C hasta +85°C		
<b>Corriente máxima</b>	7 mA		
<b>Disipación de poder</b>	260 mW		
<b>Longitud de onda pico</b>	560 nm (amarillo)		
<b>Tiempo de respuesta</b>	120 ms		
<b>Condiciones de operación</b>			
<b>Voltaje VCC</b>	Mínimo: 2.4 V	Típico: 3 V	Máximo: 3.6 V
<b>Voltaje de referencia I2C</b>	Mínimo: 1.65		

Elaboración: los autores

En la figura 42 se aprecia el sensor BH1750



Figura 42: Sensor BH1750  
Fuente: Google.com

### 3.1.4 Sensor de Humedad YL69

Este sensor tiene la capacidad de calcular la humedad del suelo. Al aplicar una pequeña tensión entre sus terminales genera una corriente, la cual depende de la resistencia que produce el suelo y esta varía de acuerdo de la humedad de la tierra. Por lo tanto, si la humedad aumenta la corriente también lo hará; caso contrario la corriente disminuirá (ver figura 43)

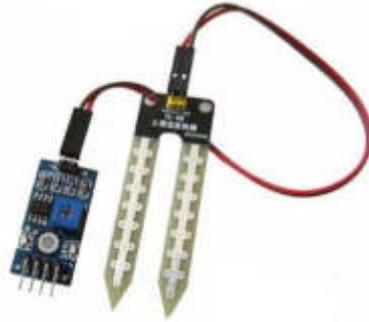


Figura 43: Sensor de humedad YL69  
Fuente: Google.com

Las especificaciones técnicas del sensor de humedad relativa YL69 se encuentran en la tabla 15.

Tabla 15: Tabla de especificaciones sensor YL69

<b>Voltaje de operación</b>	<b>5 VDC</b>
<b>Voltaje de salida</b>	0 - 4.2 VDC
<b>Corriente</b>	35 mA
<b>Tamaño</b>	60 x 20 x 5 mm

Fuente: qqtrading.com

- Módulo YL38

Tarjeta de acondicionamiento en la cual opera un amplificador operacional (OpAmp) en modo comparador, dicho módulo entrega una salida digital y otra analógica. La salida digital se activa cuando el nivel de humedad es menor al deseado, este nivel se puede regular con el potenciómetro integrado en la tarjeta. La salida analógica nos entrega un voltaje desde 0V DC para un suelo muy húmedo y 5V DC para un suelo muy seco. Se aprecia la descripción de dicho módulo en la figura 44.

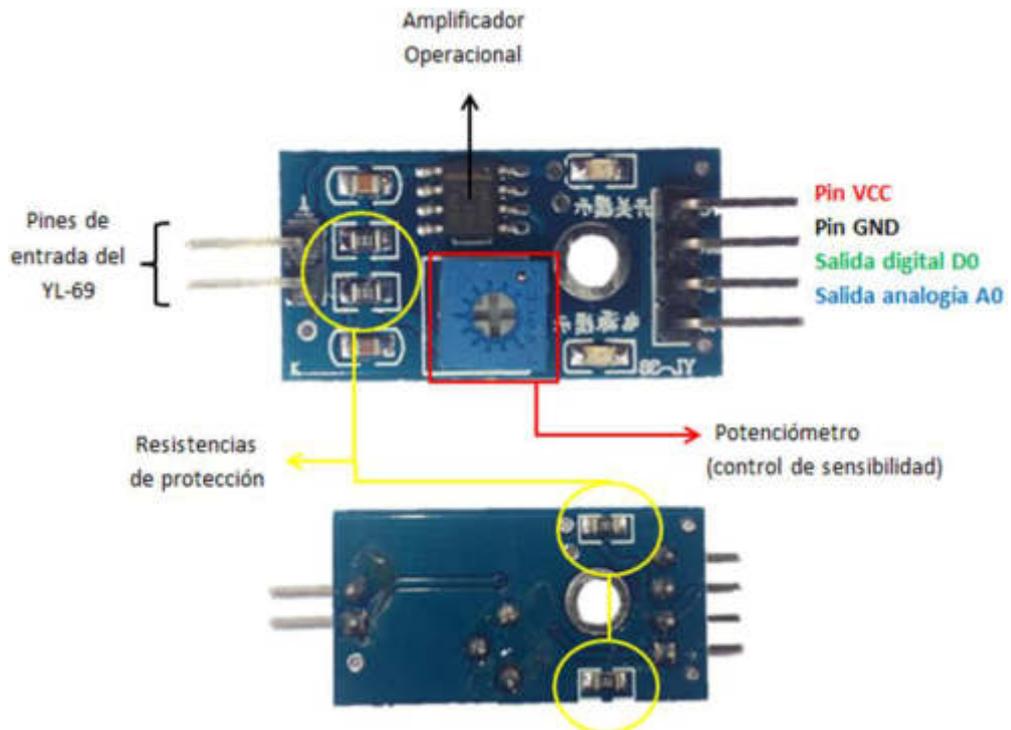


Figura 44: Descripción módulo YL-38  
Fuente: Google.com

### 3.1.5 Sensor de acidez E201-BNC

En la tabla 16 se aprecia las características del sensor de acidez E201-BNC

Tabla 16: Características sensor de pH E-201

Modelo	E201
Rango (pH)	0 - 14
Punto cero (pH)	$7 \pm 0.5$
Ruido (mV)	$< 0.5$
Tiempo de respuesta (min)	$< 2$
Rango temperatura (°C)	0 – 80

Elaboración: los autores

Este sensor viene acompañado de un módulo PH 4502C que sirve para el acondicionamiento de señal, el cual cuenta con un potenciómetro para afinar la medida de pH (ver figura 45).

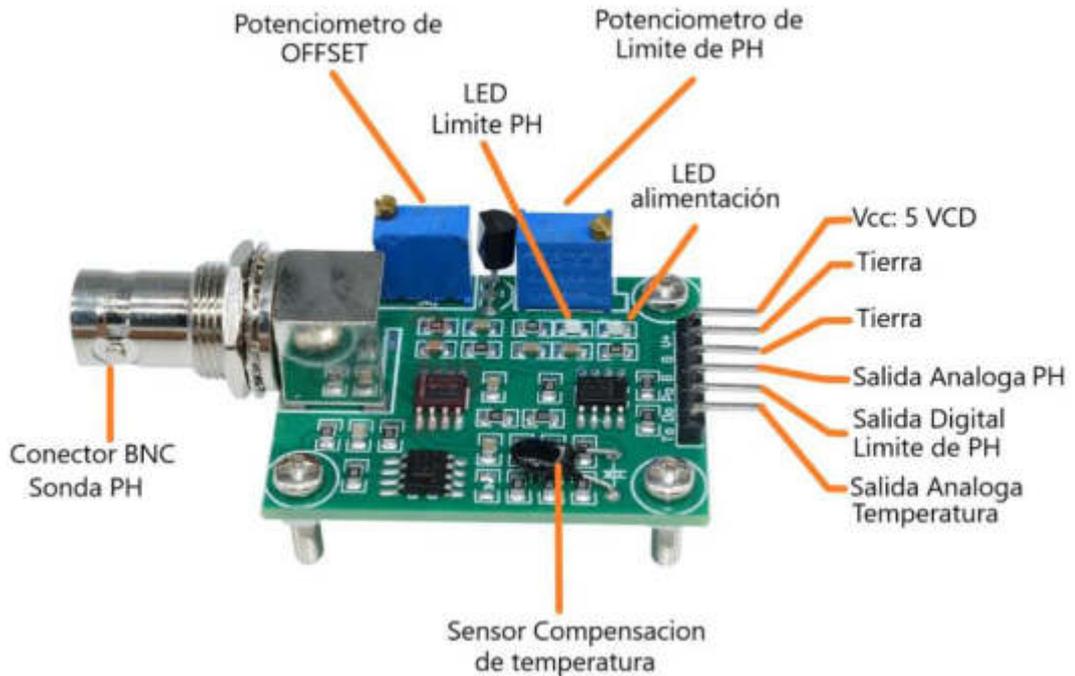


Figura 45: Módulo de calibración PH-4502C  
Fuente: Nextiafenix.com

Este módulo cuenta con las siguientes características (ver tabla 17).

Tabla 17: Características módulo PH4502C

Modelo	PH-4502C
Voltaje de alimentación	5VDC
Corriente	5 - 10 mA
Consumo	< 0.5 W
To	Señal de temperatura
Do	Señal de límite de pH
Po	Valor de pH en voltios
G	Tierra del circuito analógico
G	Tierra de alimentación
V+	Alimentación

Elaboración: los autores

### 3.1.6 Módulo Bluetooth HC-05

Es un módulo de Red Inalámbrica de Área Personal (WPAN); se utiliza para comunicaciones vía radiofrecuencia para enlaces de corto alcance, sirve para transmitir voz y datos entre diferentes dispositivos. Dicho módulo puede ser utilizado en diferentes tipos de microcontroladores y es de fácil uso en comunicación con smartphones o computadoras.

Las características técnicas del módulo *Bluetooth* son los siguientes (ver tabla 18):

Tabla 18: Características módulo *bluetooth* HC05

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
<b>Consumo de corriente</b>	50 mA
<b>Voltaje de alimentación (DC)</b>	3.6v - 6v
<b>Versión Bluetooth</b>	v2.0 + EDR (Enhanced Data Rate)
<b>Chip de radio</b>	CSR BC417143
<b>Frecuencia</b>	2.4 GHz, banda ISM
<b>Modulación</b>	GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)
<b>Potencia de emisión</b>	< 4 dBm, Clase 2
<b>Alcance</b>	de 5m a 10m
<b>Sensibilidad</b>	< -84 dBm a 0.1 %BER
<b>Velocidad</b>	Asincrónica: 2.1 Mbps
	Sincrónica: 1 Mbps
<b>Seguridad</b>	Autenticación y encriptación

Elaboración: los autores

### 3.1.7 LED de color azul modelo LB G6SP marca OSRAM

A continuación, las especificaciones técnicas (OSRAM, 2011) del led azul a una temperatura de 25°C y con corriente suministrada 140mA. (ver tabla 19)

Tabla 19: Especificaciones LED azul

<b>PARAMETRO</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Longitud de Onda típico	$\lambda$	<b>465</b>	<b>nm</b>
Longitud de Onda mínimo	$\lambda$	<b>464</b>	<b>nm</b>
Longitud de Onda típico	$\lambda$	<b>470</b>	<b>nm</b>
Longitud de Onda máximo	$\lambda$	<b>476</b>	<b>nm</b>
Ángulo de visión	$\alpha$	<b>120</b>	<b>°</b>
Voltaje mínimo	<b>V</b>	<b>2.9</b>	<b>V</b>
Voltaje típico	<b>V</b>	<b>3.3</b>	<b>V</b>
Voltaje máximo	<b>V</b>	<b>4.1</b>	<b>V</b>

Elaboración: los autores

### 3.1.8 LED de color blanco modelo ML-B Leds marca CREE

A continuación, las especificaciones técnicas (CREE) del led blanco a una temperatura de 25°C y con corriente suministrada 80mA (ver tabla 20).

Tabla 20: Especificaciones LED blanco

PARAMETRO	SIMBOLO	EVALUADO	UNIDAD
Corriente típica	I	80	mA
Corriente máxima	I	175	mA
Ángulo de visión	$\alpha$	120	$^{\circ}$
Voltaje típico	V	3.3	V
Voltaje máximo	V	3.5	V

Elaboración: los autores

### 3.1.9 LED de color rojo modelo SST-10-DR marca LUMINUS

A continuación, las especificaciones técnicas (Luminus, 2017) del led rojo a una temperatura de 25°C y con corriente suministrada 350mA (ver tabla 21).

Tabla 21: Especificaciones LED rojo

PARAMETRO	SIMBOLO	EVALUADO	UNIDAD
Potencia	$\varphi$	370	mW
Longitud de Onda mínimo	$\lambda$	640	nm
Longitud de Onda típico	$\lambda$	660	nm
Longitud de Onda máximo	$\lambda$	670	nm
Ángulo de visión	$\alpha$	90	$^{\circ}$
Voltaje mínimo	V	1.8	V
Voltaje típico	V	2.05	V
Voltaje máximo	V	2.6	V

Elaboración: los autores

### 3.1.10 Microcontrolador ATmega328P de Atmel

El microprocesador ATmega 328P es un circuito integrado basa en arquitectura RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) cuenta con 32 registros conectados a la Unidad Aritmética Lógica (ALU), eso le da la capacidad de acceder a dos registros independientes en una sola instrucción ejecutada en un ciclo de reloj. En la tabla 22 se aprecia las características de este microcontrolador.

Tabla 22: Características ATmega 328P

Característica	ATmega328P
Numero de pines	28
Memoria Flash (bytes)	32K
SRAM (bytes)	2K
EEPROM (bytes)	1K
Pines entrada/salida	23
SPI	2
I2C	1
USART	1
Convertor ADC	10 bits
Canales ADC	8

Elaboración: los autores

En la figura 46 se observa el diagrama de pines de salida/entrada del ATmega 328P

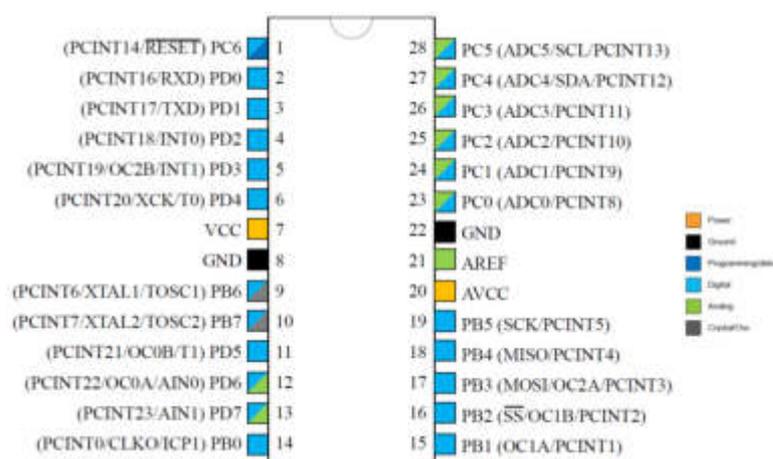


Figura 46: Pines del ATmega 328P

Fuente: Atmel

### 3.1.11 Microprocesador Raspberry 3B+

El *Raspberry Pi* es un minicomputador de bajo costo, incluye un procesador *Broadcom* de 64 bits *QuadCore* a 1.4 GHz, doble banda 2.4 GHz y 5GHz para conexión *WiFi*, con una memoria RAM de 1GHz. Es debido a sus características en memoria RAM es que se eligió este modelo de *Raspberry*; ya que, la alta carga computacional que se usará para la adquisición de data y la elaboración de una interfaz gráfica consumirá recursos que deberá soportar el procesador.

El siguiente gráfico muestra el orden y la asignación para cada pin del *Raspberry* (ver figura 47)

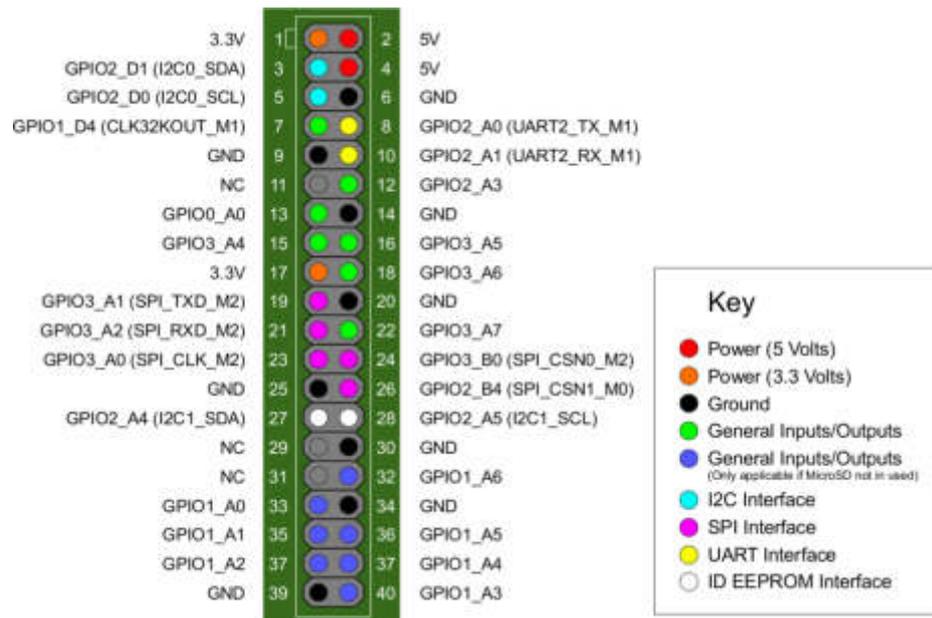


Figura 47: Configuración de pines del *Raspberry 3 Model B+*  
Fuente: Raspberry.org

### 3.1.12 Pantalla táctil LCD Display 7"



Figura 48: Vista trasera de la pantalla táctil  
Fuente: Google.com

En las figuras 48 y 49 se puede apreciar una pantalla táctil LCD de 7 pulgadas con resolución 1024 x 600 píxeles con entrada HDMI y dos conectores micro USB para su fuente de alimentación 5V con 1A, previamente configurado en el *Raspberry*.



Figura 49: Vista frontal de la pantalla  
Fuente: Amazon.com

Mini bomba de agua RS-360SH: La mini bomba de agua modelo RS360SH es un actuador que tiene la función de succionar agua por una entrada y extraerla por otra salida (ver tabla 23).

Características técnicas:

Tabla 23: Características mini bomba de agua

Característica	Valor
Rango de operación (VDC)	3V - 9V
<b>Sin carga</b>	
Velocidad	12500 r/min
Corriente (A)	0.36 A
<b>A máxima eficiencia</b>	
Velocidad	10380 r/min
Corriente	1.76 A
Torque	7 mN.m
Salida (W)	7.59 W

Elaboración: los autores

En la figura 50 se aprecia una mini bomba de agua que tiene la cual tiene dos terminales; uno positivo y otro negativo. El positivo, que carga con un voltaje de 5v, convierte la energía mecánica en energía hidráulica, están fabricados principalmente para irrigación de cultivos, regadíos, estanques, y almacenamiento de agua.



Figura 50: Mini bomba de agua 5VDC  
Fuente: Google.com

### 3.2 Método

La primera etapa del desarrollo consiste en la programación del microcontrolador ATmega328P con una determinada frecuencia de trabajo en base al cristal de 16MHz, logrando un tiempo de 62ns por instrucción. Después se procedió con implementar el sensor de temperatura, lux, humedad y pH, cada uno con un algoritmo que establezca y calcule un valor medio cada 100 muestras y de esa manera evitar los picos en la lectura de data. Una vez estabilizada la señal, se procedió con calibrar los sensores para obtener datos que se aproximen considerablemente a la lectura de medidores digitales, obtenidos en el mercado local, para dar validez a la confiabilidad del sistema.

La segunda etapa del sistema consiste en el control y monitoreo de los sensores. Para ello se procedió con habilitar los pines RX, TX del microcontrolador ATmega328P, de esta manera conectar el módulo *bluetooth* para enviar data. Posteriormente se creó una aplicación en *AppInventor* para sistemas operativos *Android*, desde la que se controla y monitorea toda la información de la interfaz, cuya programación se hizo de acuerdo al criterio en el que cualquier persona que posea un celular *Android* pueda interactuar con el sistema sin mayor problema.

Luego, aprovechando los pines RX y TX, se implementó un *Raspberry 3 B+* acondicionado para soportar carga computacional por procesos audiovisuales. Se programó en el *software Processing* por su muy amigable interfaz y su flexible lenguaje de programación.

La tercera etapa de la tesis consistió en el diseño y fabricación de la mesa de pruebas, este módulo cumplió con las características necesarias para soportar el peso de todos los dispositivos electrónicos; además, el diseño de la mesa, en la parte inferior, permitió el acondicionamiento de un sistema de reutilización de agua para las bombas de agua.

La cuarta etapa consiste en el diseño y elaboración de la matriz led. Los cálculos se hicieron bajo principios electrónicos con conceptos de la ley de ohm.

La última etapa fue la implementación de toda la electrónica sobre la mesa de trabajo para iniciar con los ensayos de prueba y error de todo el sistema.

## CAPÍTULO IV

### DESARROLLO

#### 4.1 Bloque pictórico

En la figura 51 se aprecia el diagrama de bloques pictórico del trabajo de tesis, el cual cuenta con cinco etapas; en color azul se encuentra la etapa de adquisición de información (sensores), de color rojo se encuentra la etapa de control a cargo del microcontrolador ATmega 328P, en color verde se aprecia la etapa de envío de información mediante un *bluetooth* HC05 y una aplicación para celulares *Android*, la etapa de control se encuentra de color mostaza y consta de una matriz de led de color rojo azul y blanco de un tamaño de 10.5cm x 6cm y una mini bomba de agua para la irrigación de las macetas; por último, de color plomo se aprecia la etapa de muestra de datos mediante una pantalla táctil y un procesador *Raspberry Pi*.

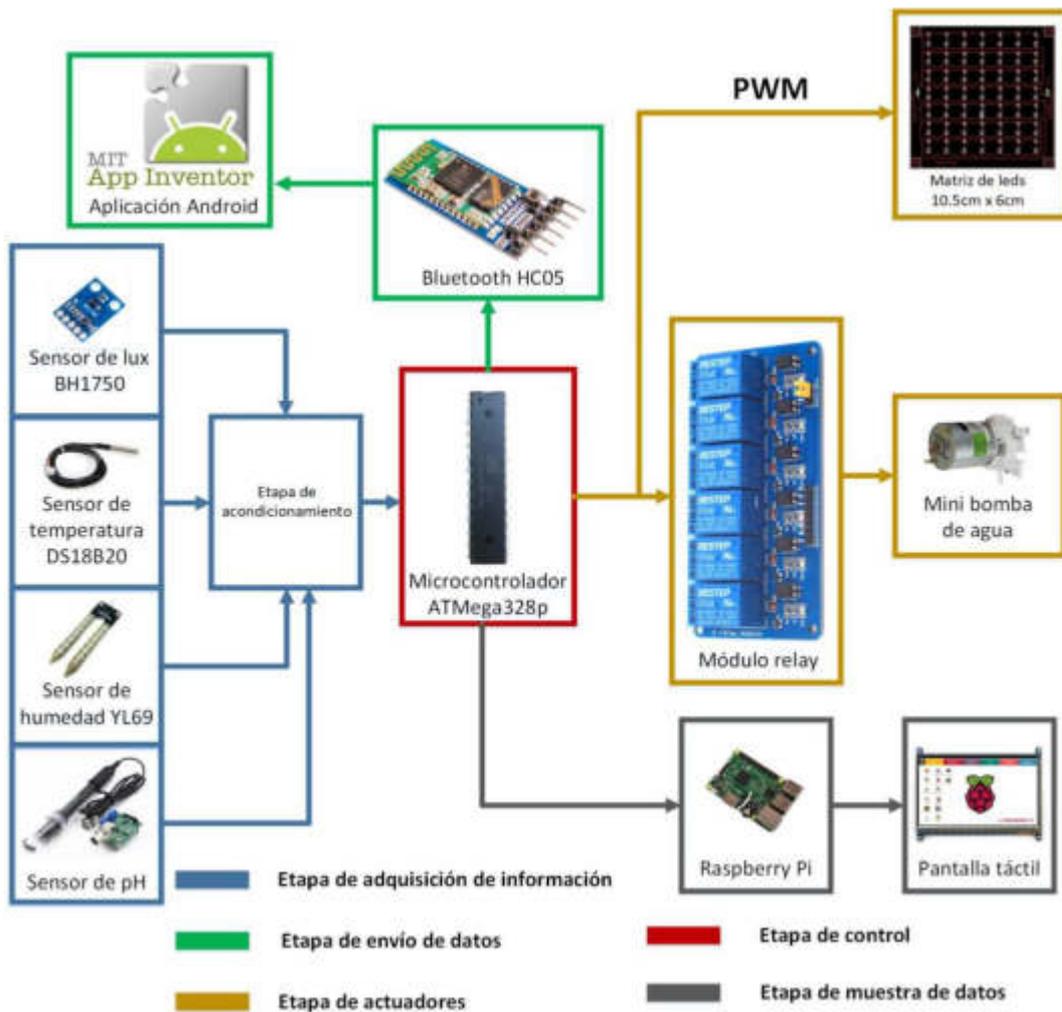


Figura 51: Diagrama pictórico  
Elaboración: los autores

## 4.2 Diagrama de flujo

### 4.2.1 Configuración ATmega 328P

En la figura 52 se aprecia el diagrama de flujo del microcontrolador ATmega328, el cual inició configurando los pines de entrada y de salida, y al mismo tiempo todas las variables a utilizar. Luego se esperó la confirmación de la conexión *Bluetooth*, que cuando estuvo confirmada empezó a dividir la información recibida (parámetros colocados en la aplicación como: humedad mínima, humedad máxima y porcentaje de PWM de cada color de LED) y sensó los distintos sensores conectados. Con la información adquirida activó las bombas de agua o variará la cantidad de PWM de las luces.

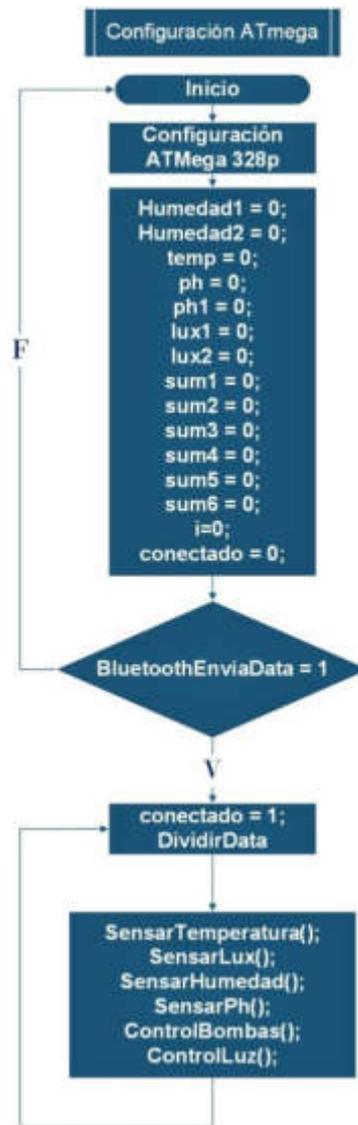


Figura 52: Diagrama de Flujo para lectura de data  
Elaboración: los autores

#### 4.2.2 Sensor humedad

El diagrama de flujo comienza inicializando las variables a utilizar para la tarea del sensado de humedad, luego se realizó un promediador, el cual toma 100 muestras de humedad relativa. Para este sensor se calculó un error, el cual se le aplica al final del código (ver figura 53).

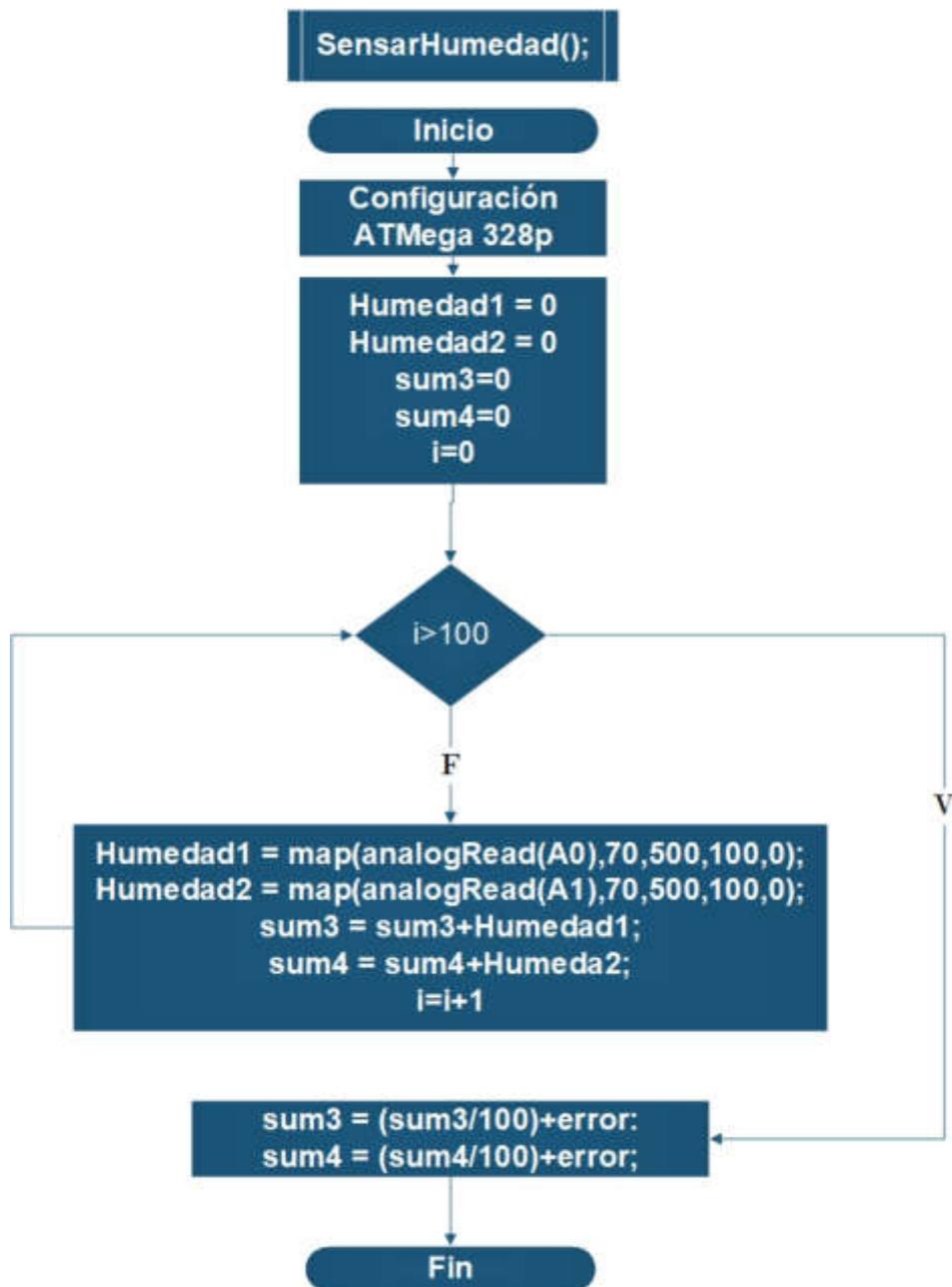


Figura 53: Diagrama de Flujo para sensor de humedad  
Elaboración: los autores

### 4.2.3 Sensor temperatura

El diagrama de flujo del sensado de temperatura, comienza inicializando las variables a utilizar, luego se aplica el promediador de 100 muestras y culmina con la suma del error calculado en la fase pruebas y resultados. (ver figura 54)

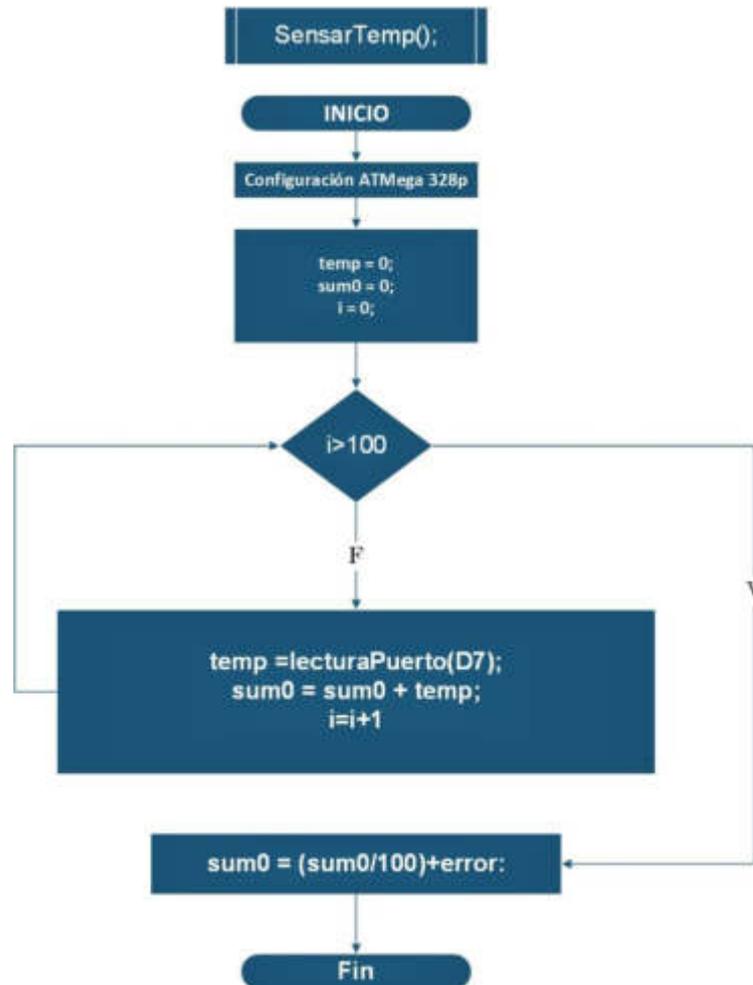


Figura 54: Diagrama de Flujo para sensor de temperatura  
Elaboración: los autores

#### 4.2.4 Sensor pH

El diagrama de flujo para sensor pH inicia declarando las variables a utilizar, luego se aplica el promediador de cien muestras y el diagrama culmina sumándole el error encontrado en la etapa de pruebas y resultados. (ver figura 55)

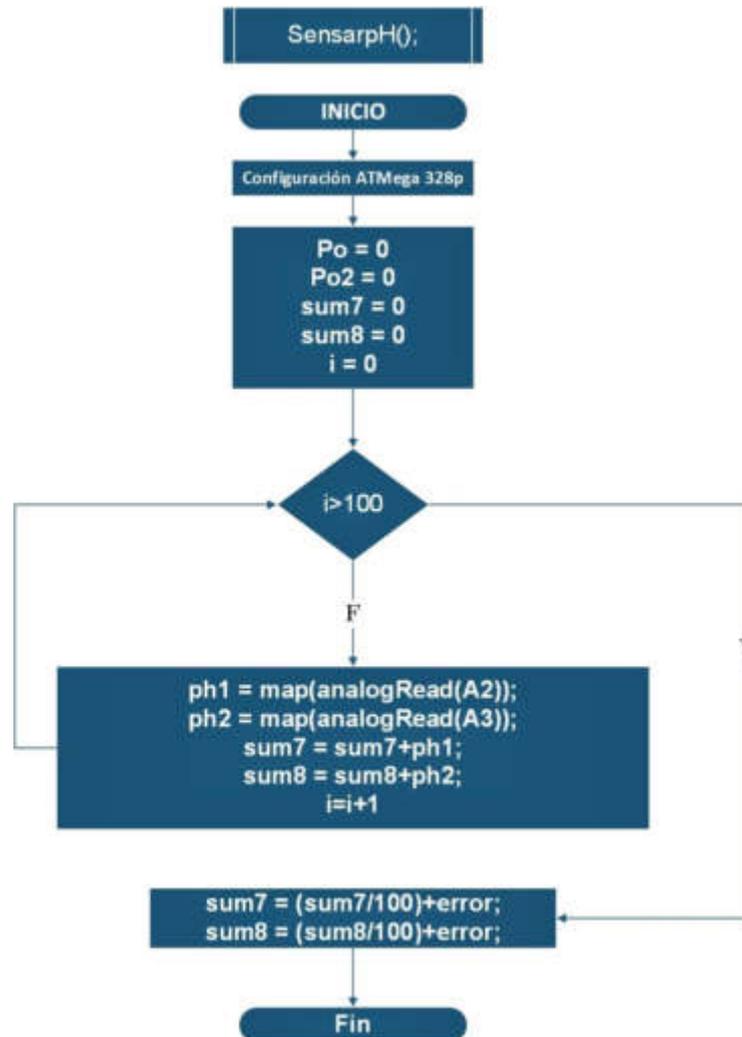


Figura 55: Diagrama de Flujo para sensor de pH  
Elaboración: los autores

#### 4.2.5 Sensor lux

El flujo del sensado de lux comienza configurando las variables a utilizar, luego se aplica el promediador de 100 muestras. Finalmente, el diagrama culmina sumándole el error calculado para este sensor. (ver figura 56)

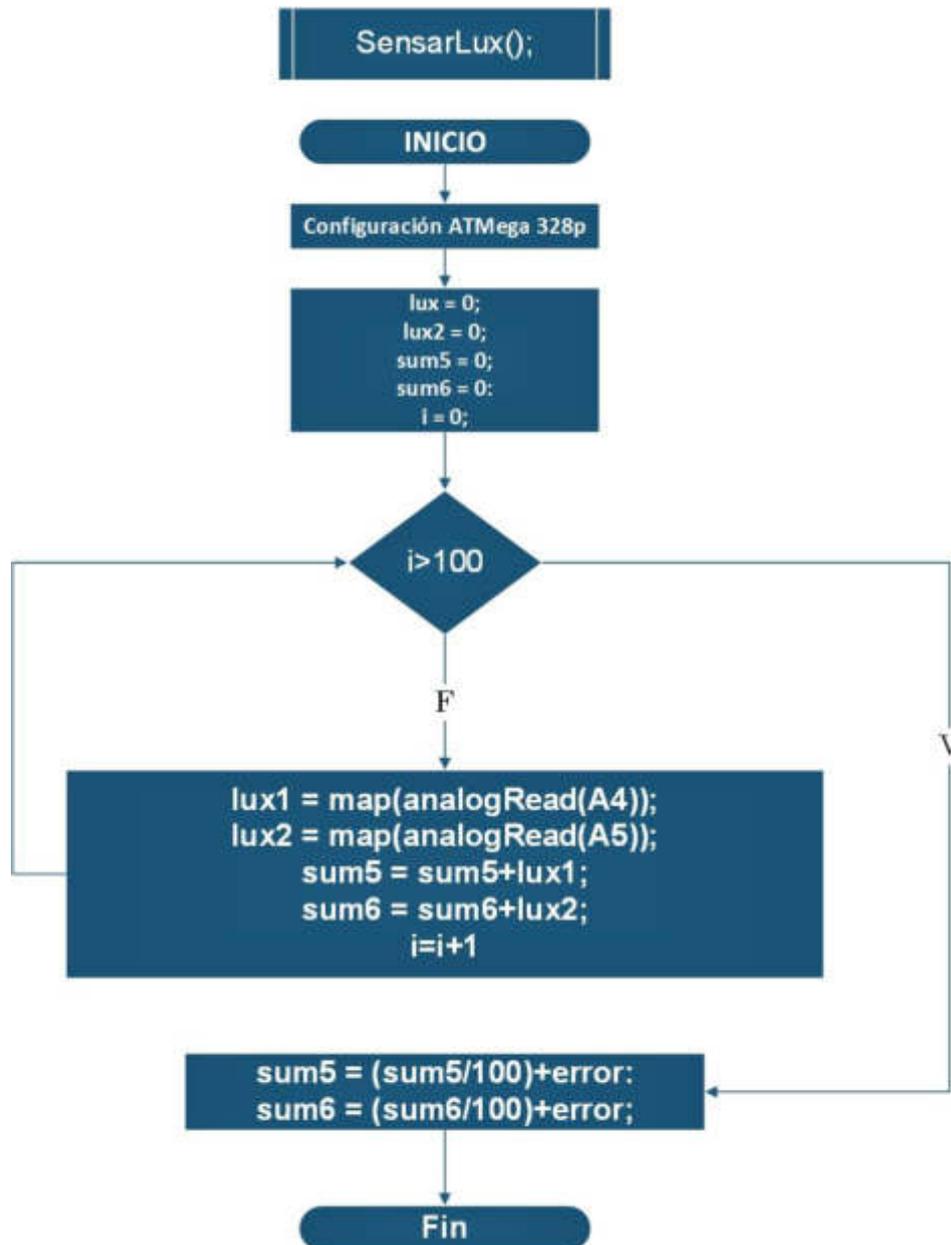


Figura 56: Diagrama de Flujo para sensor de lux  
Elaboración: los autores

### 4.3 Cálculos

#### 4.3.1 Cálculo del *clock* del microcontrolador ATmega328P

A continuación, se realizan los cálculos correspondientes para hallar los tiempos que demora una instrucción en ejecutarse con un cristal de 16 MHz.

De acuerdo con el diagrama de los tiempos del microprocesador, se indica que el cristal ingresa a un multiplexor para elegir el valor que se asignara al *Prescaler* (ver figura 57).

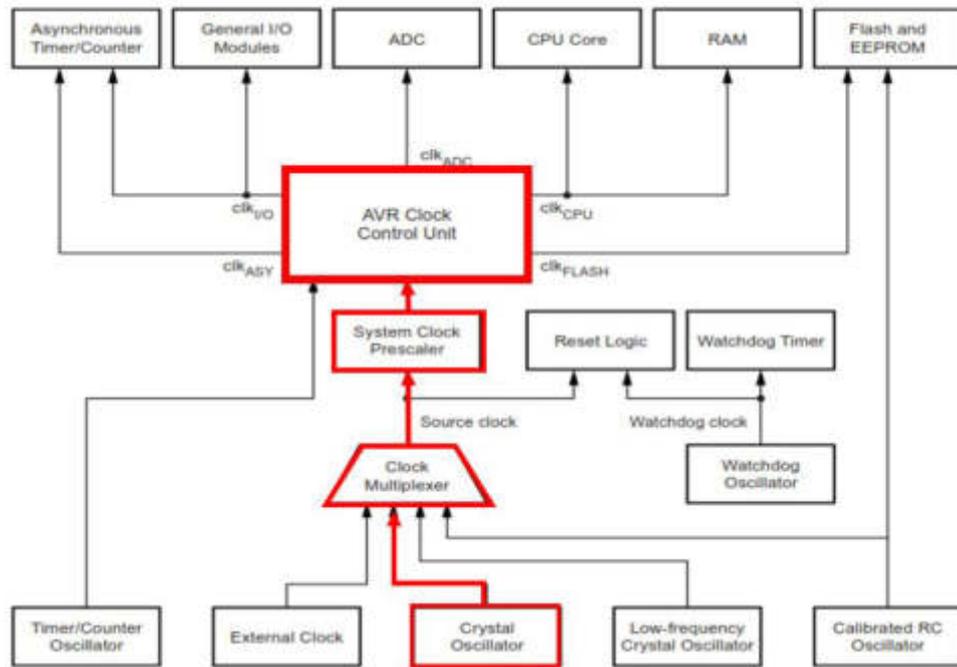


Figura 57: Diagrama de Control de Unidad de Tiempo del ATmega328p  
Fuente: Atmel

Para aprovechar al máximo el cristal, el cálculo se realizó con un factor de división 1 para así obtener el mejor tiempo de respuesta para el conversor ADC entre los sensores y que no presenten dificultades en el flujo de trabajo. Para ello, el registro (FUSE) CLKPS fue configurado con el valor "0000" (ver figura 58)

CLKPS3	CLKPS2	CLKPS1	CLKPS0	Clock Division Factor
0	0	0	0	1
0	0	0	1	2
0	0	1	0	4
0	0	1	1	8
0	1	0	0	16
0	1	0	1	32
0	1	1	0	64
0	1	1	1	128
1	0	0	0	256
1	0	0	1	Reserved
1	0	1	0	Reserved
1	0	1	1	Reserved
1	1	0	0	Reserved
1	1	0	1	Reserved
1	1	1	0	Reserved
1	1	1	1	Reserved

Figura 58: Factor de división del *Prescaler*  
Fuente: Atmel

A continuación, el cálculo necesario para saber el tiempo por instrucción que ingresará a la unidad de control de tiempos de microprocesador.

$$\frac{16000000 \text{ ciclos}}{1 \text{ segundo}} \times \frac{1 \text{ instrucción}}{4 \text{ ciclos}} = \frac{4000000 \text{ instrucciones}}{1 \text{ segundo}} \quad \dots (13)$$

Ecuación 13: Cálculo de instrucciones por segundo

$$\frac{1 \text{ segundo}}{4000000 \text{ instrucciones}} = \frac{0.25 \text{ microsegundos}}{\text{instruccion}} \quad \dots (14)$$

Ecuación 14: Cálculo del tiempo por instrucción

Otros valores necesarios para cálculos son:

- El tiempo de adquisición de data
- El tiempo de conversión AD

Para ello se hace uso de la siguiente tabla referencial de la hoja de especificaciones del ATmega328p (ver figura 59)

Condition	Sample and Hold (Cycles from Start of Conversion)	Conversion Time (Cycles)
First conversion	13.5	25
Normal conversions, single ended	1.5	13
Auto triggered conversions	2	13.5

Figura 59: Cuadro de ciclos de referencia del conversor AD  
Fuente: Atmel

Entonces:

$$\frac{0.25 \text{ microsegundos}}{1 \text{ instrucción}} \times \frac{1 \text{ instrucción}}{4 \text{ ciclos}} = \frac{62.5 \text{ nanosegundos}}{\text{ciclo}} \quad \dots (15)$$

Ecuación 15: Cálculo del tiempo por ciclo

De acuerdo con el cálculo anterior se concluye que el tiempo por ciclo es de 62.5 nanosegundos.

Tabla 24: Tiempos de referencia del conversor AD

Condiciones	Tiempo de adquisición (ns)	Tiempo de conversión AD (ns)
Primera conversión	844	1560
Conversión normal	93	812
Auto conversiones	125	844

Elaboración: los autores

Además, se concluye que el tiempo de adquisición y el tiempo de conversión son suficientes para el flujo de trabajo de los sensores, siendo 93 ns y 812 ns respectivamente en sus condiciones normales (ver tabla 24)

Otro valor necesario, para la transmisión de datos, son los baudios. Este valor designa la velocidad de transmisión con la que se comunicará el procesador ATmega328p y la aplicación mediante *Bluetooth*.

Para lograr esto se debe configurar el valor del registro *UBRRn (USART Bau Rate Register)* dentro de los fusibles del procesador (ver figura 60).

Operating Mode	Equation for Calculating Baud Rate <sup>(1)</sup>	Equation for Calculating UBRRn Value
Synchronous master mode	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{2(UBRRn + 1)}$	$UBRRn = \frac{f_{OSC}}{2BAUD} - 1$

Note: 1. The baud rate is defined to be the transfer rate in bit per second (bps)

Figura 60: Cálculo de los BAUDIOS y *UBRRn*  
Fuente: Atmel

De acuerdo con la hoja de especificaciones del procesador se usará la siguiente ecuación.

$$UBRRn = \frac{f_{osc}}{2BAUD} - 1 \quad \dots (16)$$

Ecuación 16: Ecuación para calcular valor del registro  $UBRRn$

Donde:

$f_{osc}$  = Frecuencia de oscilación del cristal

$BAUD$  = Cantidad de baudios

$UBRRn$  = Usart Baud Rate Register

Debido a que se busca trabajar con 9600 bps el cálculo se hará de la manera siguiente:

$$UBRRn = \frac{16 \text{ MHz}}{19200 \text{ bps}} - 1 \quad \dots (17)$$

$$UBRRn = 833.33$$

Ecuación 17: Cálculo del valor del registro  $UBRRn$

Este valor será agregado al registro  $UBRRn$  comprendido por  $UBRRnL$  (Low) y  $UBRRnH$  (High).

### 4.3.2 Cálculo de la matriz de LEDs

A continuación, se detallarán los cálculos para hallar la resistencia “ $R$ ”, corriente “ $I$ ” y potencia “ $P$ ” de la matriz de luces azules, rojos, blancas.

Para ello se define los parámetros para valores ideales:

$Ra$  = Resistencia del circuito del led azul

$Rr$  = Resistencia del circuito del led rojo

$Rb$  = Resistencia del circuito del led blanco

$Pa$  = Potencia de  $Ra$

$Pr$  = Potencia de  $Rr$

$Pb$  = Potencia de  $Rb$

$Pla$  = Potencia del led azul

$Plr$  = Potencia del led rojo

$Plb$  = Potencia del led blanco

Los cálculos se harán de acuerdo a las especificaciones técnicas de los led; es decir, se calculará valores ideales para hallar la máxima eficiencia de las luces. Posteriormente, se hará una comparación con valores comerciales en el mercado peruano, para encontrar componentes equivalentes que no mermen la capacidad de las luces.

De acuerdo a las especificaciones técnicas, se plantea el siguiente arreglo para encender un led (ver figura 61).

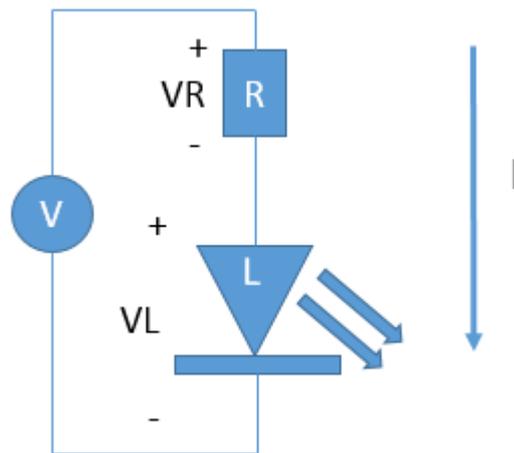


Figura 61: Circuito para alimentación del Led  
Elaboración: los autores

Donde:

$V$  = Voltaje de la fuente

$R$  = Resistencia

$L$  = Led

$VR$  = Voltaje de resistencia

$VL$  = Voltaje del Led

$I$  = Corriente de la fuente

Se considera, para todas las luces, una fuente de alimentación de 5V. El voltaje, según las tablas de especificaciones, de operación de cada led ya está definido; por lo que se inicia calculando el valor del voltaje de la resistencia del circuito, para ello se hace uso de la siguiente ecuación:

$$V = VR + VL \quad \dots (18)$$

Ecuación 18: Diferencia de potencial

Para iniciar los cálculos se hará uso de la ley de *ohm*, representada con la siguiente ecuación.

$$V = I \times R \quad \dots (19)$$

Ecuación 19: Ley de OHM

Una vez que se obtuvo el valor de la resistencia, se debe calcular la potencia que deberá soportar el componente. Para ello se hizo uso de la fórmula siguiente:

$$P = V \times I \quad \dots (20)$$

Ecuación 20: Cálculo de la potencia que fluye por la resistencia

- Led azul (ver tabla 25)

Tabla 25: Especificaciones técnicas de led Azul marca Osram

<b>Magnitud</b>	<b>Valor típico</b>	<b>Unidad</b>
<b>Voltaje</b>	3.3	Voltios (V)
<b>Corriente</b>	140	Miliamperios (mA)
<b>Ángulo de visión</b>	120	Grados (°)
<b>Longitud de Onda</b>	470	Nanómetros (nm)

Elaboración: los autores

Para iniciar con los cálculos, se considera que el voltaje del led, para su máxima eficiencia, es de 3.3 V y su consumo de corriente, para los mismos efectos, fue de 140mA.

Entonces:

$$5V = V_R + 3.3V$$

$$V_R = 1.7V$$

De acuerdo a la ley de Ohm:

$$1.7V = 140mA \times R_a$$

$$R_a = 12.14 \Omega$$

Cálculo de la potencia que fluye por la resistencia:

$$P_a = 1.7V \times 140mA$$

$$P_a = 0.238W$$

Cálculo de la potencia de la luz Azul.

$$P_{la} = 3.3V \times 140mA$$

$$P_{la} = 0.468 W$$

Se concluye que, para las luces azules, en valores ideales al 100% de su eficiencia, se deberá usar resistencias con el valor de 12.14 ohmios que soporten 1/4 de vatio para irradiar una potencia de 468 mili vatios (ver figura 62).

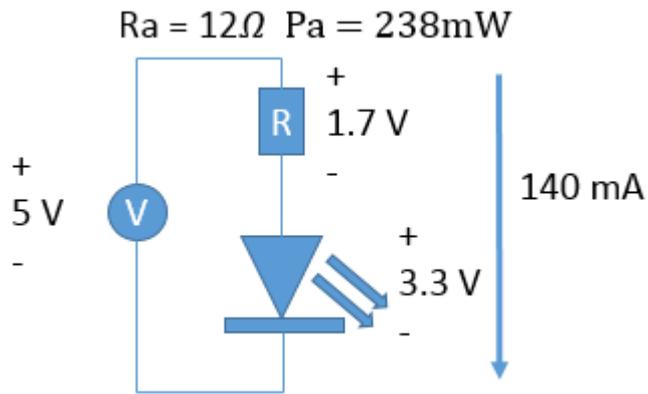


Figura 62: Circuito ideal para luces azules  
Elaboración: los autores

- Led rojo (ver tabla 26)

Tabla 26: Especificaciones técnicas de LED Rojo marca Luminus

Magnitud	Valor típico	Unidad
Voltaje	2.05	Voltios (V)
Corriente	350	Miliamperios (mA)
Ángulo de visión	90	Grados (°)
Longitud de Onda	660	Nanómetros (nm)

Elaboración: los autores

Para iniciar con los cálculos, se considera que el voltaje del led, para su máxima eficiencia, es de 2.05 V y su consumo de corriente, para los mismos efectos, será de 350mA.

Entonces:

$$5V = V_R + 2.05V$$

$$V_R = 2.95V$$

De acuerdo a la ley de Ohm:

$$2.95V = 350mA \times R_r$$

$$R_r = 8.43 \Omega$$

Cálculo de la potencia que fluye por la resistencia:

$$P_r = 2.95V \times 350mA$$

$$P_a = 1.0325W$$

Cálculo de la potencia de la luz azul

$$P_{la} = 2.05V \times 350mA$$

$$P_{la} = 0.717 W$$

Se concluye que, para las luces azules, en valores ideales al 100% de su eficiencia, se deberá usar resistencias con el valor de 8.43 ohmios que soporten 1 vatio para irradiar una potencia de 717 milivatios (ver figura 63).

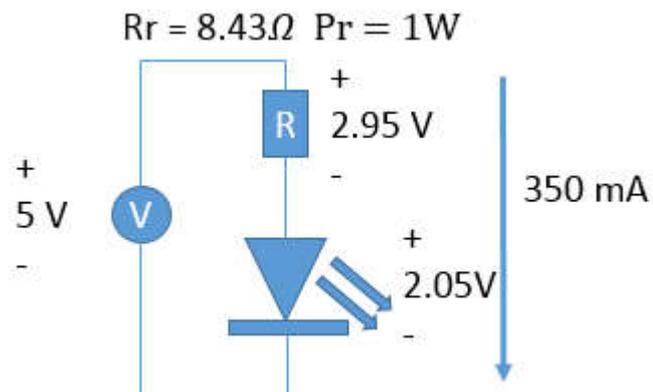


Figura 63: Circuito ideal para luces rojas  
Elaboración: los autores

- Led blanco (ver tabla 27)

Tabla 27: Especificaciones técnicas de LED blanco marca Cree Xlamp

<b>Magnitud</b>	<b>Valor típico</b>	<b>Unidad</b>
<b>Voltaje</b>	3.3	Voltios (V)
<b>Corriente</b>	80	Miliamperios (mA)
<b>Ángulo de visión</b>	120	Grados (°)

Elaboración: los autores

Para iniciar con los cálculos, se consideró que el voltaje del led, para su máxima eficiencia, es de 3.3 V y su consumo de corriente, para los mismos efectos, de 80mA.

Entonces:

$$5V = VR + 3.3V$$

$$VR = 1.7V$$

De acuerdo a la ley de Ohm:

$$1.7V = 80mA \times Rb$$

$$Rb = 21.25 \Omega$$

Cálculo de la potencia que fluye por la resistencia:

$$Pb = 1.7V \times 80mA$$

$$Pb = 0.136W$$

Cálculo de la potencia de la luz Blanco.

$$Plb = 3.3V \times 80mA$$

$$Plb = 0.264 W$$

Se concluye que, para las luces azules, en valores ideales al 100% de su eficiencia, se deberá usar resistencias con el valor de 21.35 ohmios que soporten 1/4 de vatio para irradiar una potencia de 264 milivatios (ver figura 64).

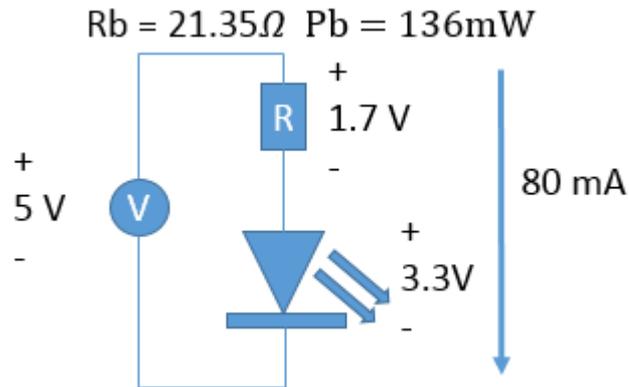


Figura 64: Circuito ideal para luces blancas  
Elaboración: los autores

Una vez calculado los dispositivos del circuito para cada led, se inicia con el diseño de la posición y distancia entre cada emisor de luz. Primero se define el siguiente gráfico, el área iluminada, a una altura de 20 centímetros equivalente a 0.2 metros (ver figura 65).

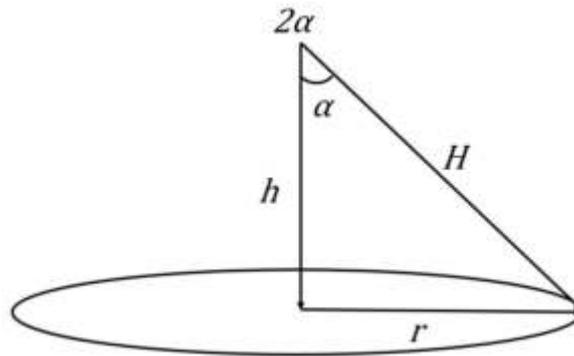


Figura 65: Diagrama del área iluminada  
Elaboración: los autores

Donde:

$2\alpha$  = Ángulo de visión

$h$  = Altura entre el emisor de luz y la superficie iluminada

$H$  = Hipotenusa

$r$  = Radio del área iluminada

Para calcular el radio a iluminar se hace uso del teorema de Pitágoras y el teorema de cosenos.

$$H^2 = h^2 + r^2 \quad \dots (21)$$

Ecuación 21: Teorema de Pitágoras

$$h = H \times \cos(\alpha) \quad \dots (22)$$

Ecuación 22: Teorema de cosenos

Tanto para la luz azul y luz blanca, se evalúa el área iluminada con ángulo de visión  $120^\circ$  (ver figura 66).

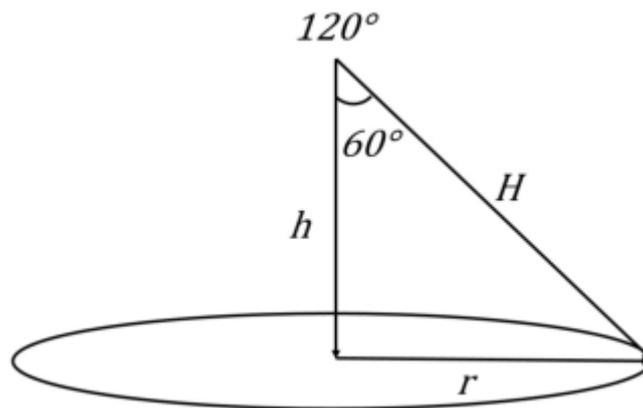


Figura 66: Ángulo de visión para luz azul y blanca  
Elaboración: los autores

Cálculo de la hipotenusa del triángulo rectángulo creado por el ángulo de visión.

$$0.2 = H \times \cos(60^\circ)$$

$$H = 0.4 \text{ m}$$

Cálculo del radio del área iluminada de la luz azul.

$$0.4^2 = 0.2^2 + r^2$$

$$r = 0.34 \text{ m}$$

Se concluye que, a una distancia de 0.2 metros, la luz azul y luz blanca proyectan un área iluminada de radio 0.34 metros Para la luz roja, el ángulo de visión, por especificaciones técnicas, es de  $90^\circ$  (ver figura 67).

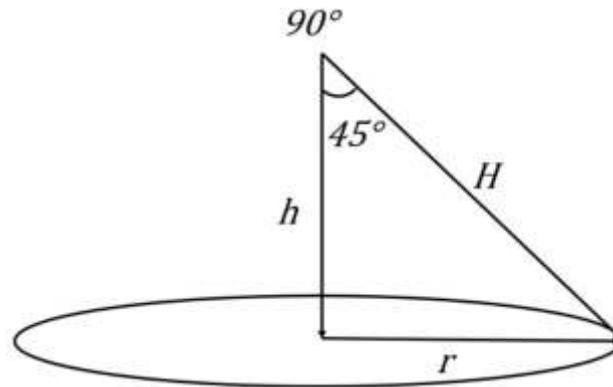


Figura 67: Ángulo de visión de luz roja  
Elaboración: los autores

Calculo de la hipotenusa del triángulo rectángulo creado por el ángulo de visión

$$0.2 = H \times \cos(45^\circ)$$

$$H = 0.28 \text{ m}$$

Cálculo del radio del área iluminada de la luz azul

$$0.28^2 = 0.2^2 + r^2$$

$$r = 0.2 \text{ m}$$

Se concluye que, a una distancia de 0.2 metros, la luz roja proyecta un área iluminada de radio 0.2 metros. Dado que ya se cuenta con el valor de potencia irradiada y el área de iluminación que otorga cada led, se procede a calcular la distancia de separación entre cada emisor de luz. Para ello se hará uso de una función Gaussiana definida como:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \dots (23)$$

### Ecuación 23: Función Gaussiana

Donde:

$f(x)$  = Función Gaussiana

$\sigma$  = Desviación estándar

$\mu$  = Media

$\sigma^2$  = Varianza

La media se considerará como el centro de cada campana y la distancia de separación “ $d$ ” como el desplazamiento, respecto a la media. Se hizo la simulación para calcular la distancia ideal entre los emisores de luz (ver figura 68).

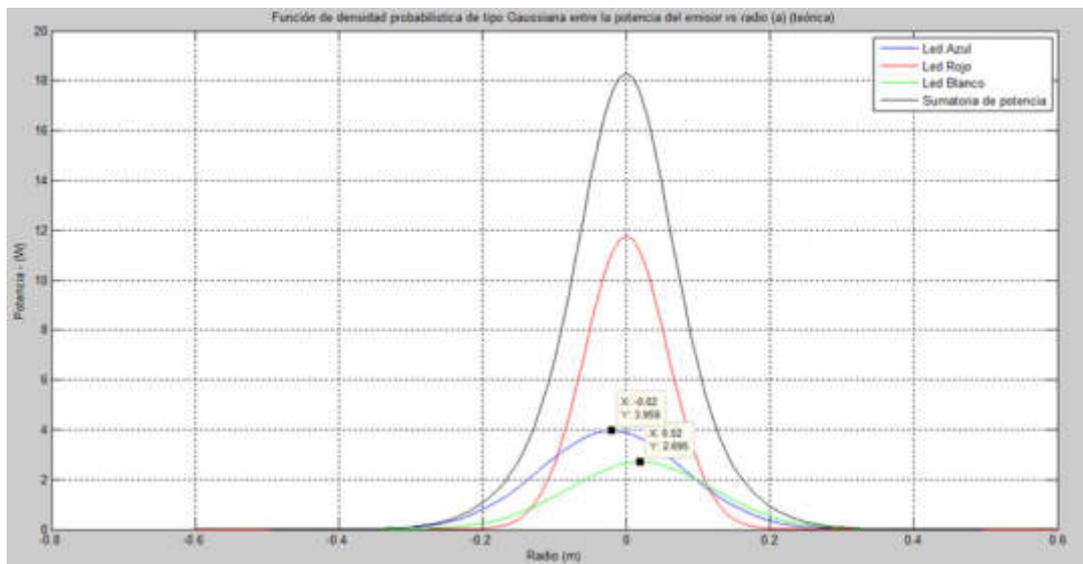


Figura 68: Simulación posición de leds a dos centímetros de distancia  
Elaboración: los autores

Se encontró que a 2 centímetros de distancia existía una sumatoria de potencia irradiada considerable. Sin embargo, se optó por seguir incrementando esta distancia para tener alternativas de diseño hasta el punto en que no exista sumatoria. Para ellos se consideró las distancias de 3, 5, 10 y 20 centímetros.

A 3 centímetros (ver figura 69)

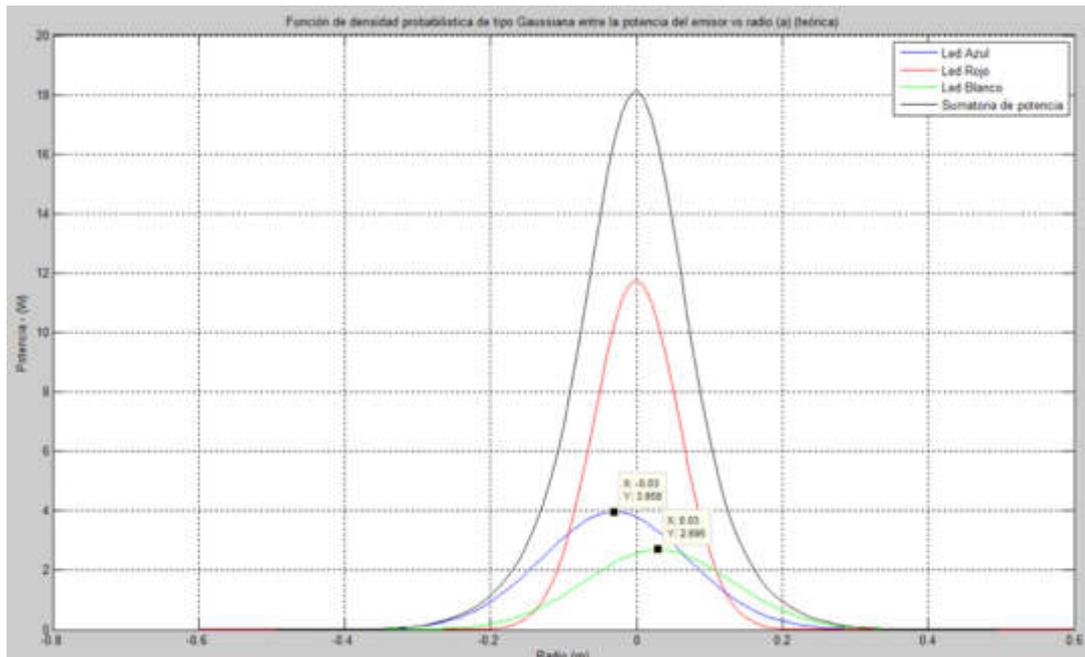


Figura 69: Simulación posición de leds a tres centímetros de distancia  
Elaboración: los autores

A 5 centímetros (ver figura 70)

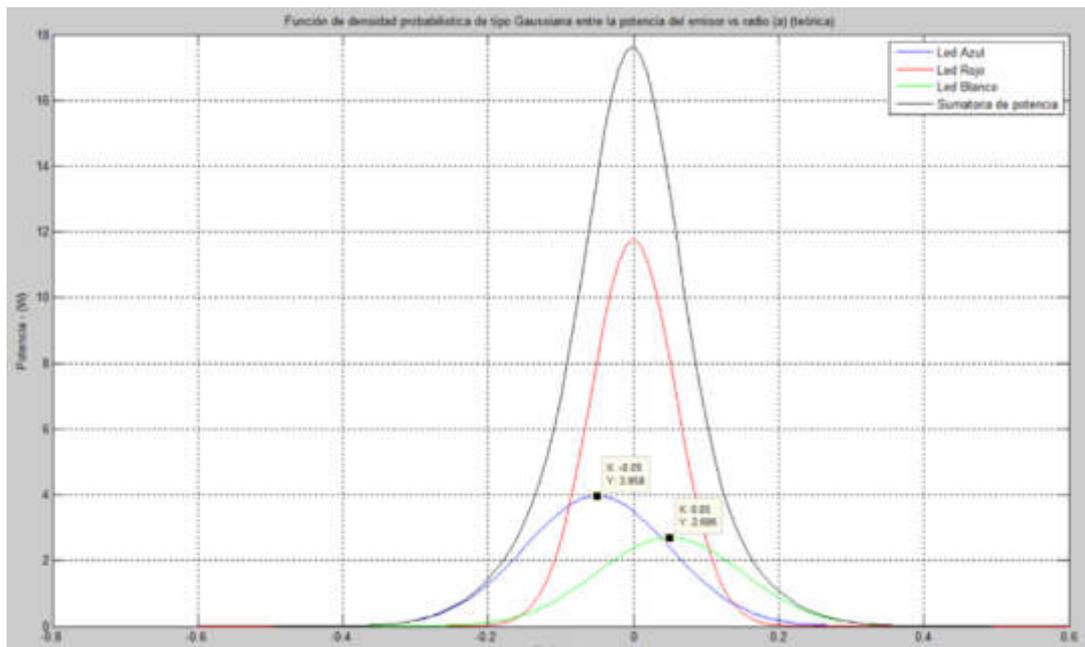


Figura 70: Simulación posición de leds a cinco centímetros de distancia  
Elaboración: los autores

A 10 centímetros (ver figura 71)

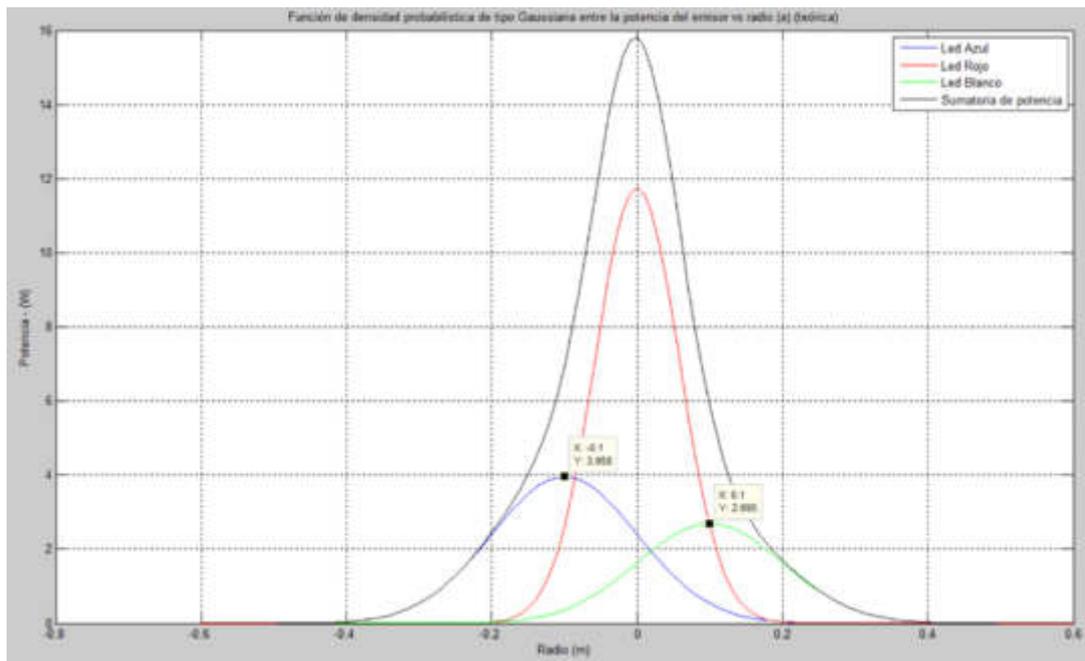


Figura 71: Simulación posición de leds a 10 centímetros de distancia  
Elaboración: los autores

A 20 centímetros (ver figura 72)

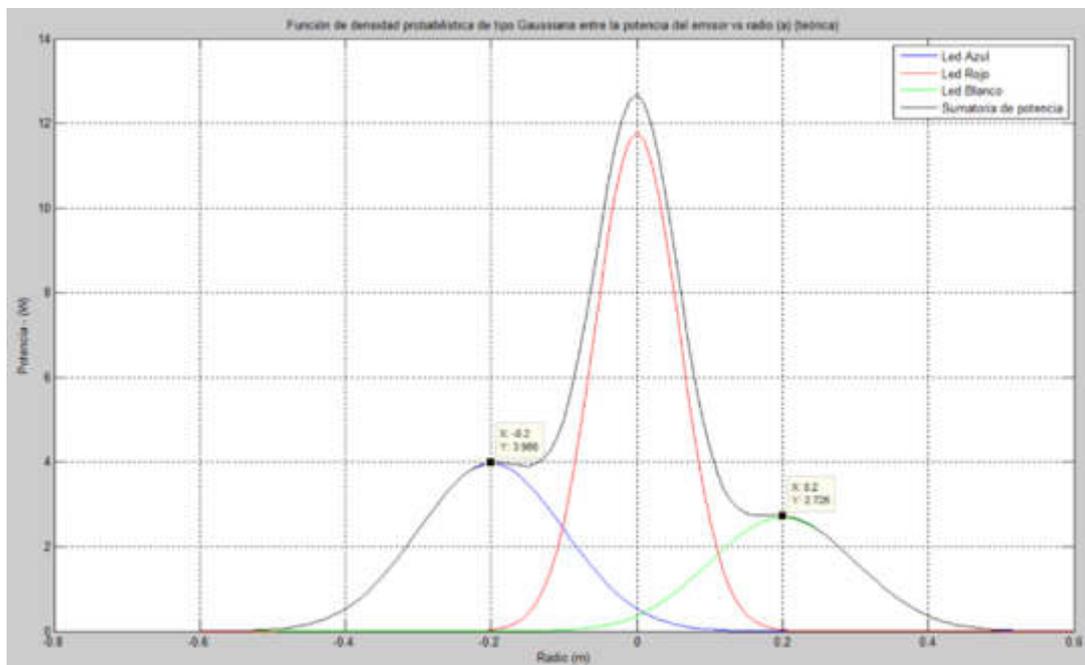


Figura 72: Simulación posición de leds a 20 centímetros de distancia  
Elaboración: los autores

Se concluye que mientras más cerca se encuentre los leds de cada uno, mayor será la potencia irradiada. Además, la mayor potencia se presenta a 2 cm, considerando el tamaño de las resistencias, entre los dispositivos.

### Valores ideales

En la tabla 28 se puede apreciar los valores ideales de los diodos LED utilizados.

Tabla 28: Valores ideales de LEDs

Característica	Azul	Rojo	Blanco
Resistencia ( $\Omega$ )	12.14	8.43	21.35
Potencia de la resistencia (mW)	238	1032	136
Corriente (mA)	140	350	80
Voltaje del led (V)	3.3	2.05	3.3
Potencia del led (mW)	468	717	264

Elaboración: los autores

Sin embargo, la diferencia entre los valores ideales y reales que se utilizaron en la elaboración de la matriz LED, dependen del consumo del emisor de luz sin perjudicar su eficiencia. Además de la disponibilidad de las resistencias en el mercado local. Por ejemplo, en el caso de la luz roja, el consumo de 1 vatio por LED se considera un valor alto respecto a los otros emisores de luz. Si bien con estos cálculos se logra el 100% de eficiencia, puede balancearse este consumo respecto a su potencia. Se usarán resistencias, para  $\frac{1}{4}$  de vatio, del tipo SMD (*Surface Mount Device*) para las luces azules y blancas.

El valor comercial de la resistencia, para a luz blanca, es de 22 ohmios y se tomó el criterio de usar el mismo valor para la luz azul; debido a que con 12 ohmios se opera peligrosamente al umbral del  $\frac{1}{4}$  de vatio. Entonces recalculando:

- Para luz azul

$$\frac{22 \Omega}{12.14 \Omega} = 1.8$$

Este cálculo indicó que existe un aumento de 1.8 veces en la resistencia y, por lo tanto, la corriente será 1.8 veces menos.

$$\frac{140 \text{ mA}}{1.8} = 77.7 \text{ mA}$$

$$77.7 \text{ mA} \times 1.7 \text{ V} = 132.09 \text{ mW}$$

$$77.7 \text{ mA} \times 3.3 \text{ V} = 256.41 \text{ mW}$$

Entonces se usó una resistencia SMD de 22 ohmios a ¼ de vatio.

- Para luz roja

$$\frac{22 \Omega}{8.43 \Omega} = 2.6$$

Este cálculo indicó que existe un aumento de 2.6 veces en la resistencia y, por lo tanto, la corriente fue 2.6 veces menos.

$$\frac{350 \text{ mA}}{2.6} = 134.6 \text{ mA}$$

$$134.6 \text{ mA} \times 2.95 \text{ V} = 397.07 \text{ mW}$$

$$134.6 \text{ mA} \times 2.05 \text{ V} = 275.96 \text{ mW}$$

Este cálculo indicó que era necesaria una resistencia SMD de ½ vatio. Sin embargo, la poca disponibilidad de este tipo de resistencia nos obligó, solo para el color rojo, a usar resistencias de carbón por su alta disponibilidad. Es por eso que, solo para el color rojo se usó una resistencia de carbón de 50Ω

$$\frac{50 \Omega}{8.43 \Omega} = 5.9$$

Este cálculo indicó que existe un aumento de 5.9 veces en la resistencia y, por lo tanto, la corriente fue 5.9 veces menos.

$$\frac{350 \text{ mA}}{5.9} = 59.3 \text{ mA}$$

$$59.3 \text{ mA} \times 2.95 \text{ V} = 174.9 \text{ mW}$$

$$59.3 \text{ mA} \times 2.05 \text{ V} = 121.6 \text{ mW}$$

Con estos cálculos se pudo usar resistencias de ¼ de vatio sin perjudicar la eficiencia del led logrando reducir su consumo y mantener la correlación en potencia respecto las tras luces.

### Valores nominales

En la tabla 29 se aprecian los valores nominales de los diodos LED

Tabla 29: Valores nominales de LEDs

Característica	Azul	Rojo	Blanco
Resistencia (Ω)	22	50	22
Potencia de la resistencia (mW)	174.9	132.09	136
Corriente (mA)	77.7	59.3	80
Voltaje del led (V)	3.3	2.05	3.3
Potencia del led (mW)	256.41	121.6	264

Elaboración: los autores

## **4.4 Diseño**

### **4.4.1 Mesa de trabajo**

#### **4.4.1.1 Especificaciones de diseño**

Se utilizó madera con acabado resistente al agua y a la humedad, la mesa de trabajo cuenta con una altura de 80 cm. para facilitar la manipulación de los objetos y una dimensión de 95 cm. x 65cm.

#### **4.4.1.2 Restricciones**

La mesa de trabajo se restringe para ambientes internos controlados diseñados para cultivos agrícolas.

#### **4.4.1.3 Limitaciones**

La mesa de trabajo está diseñada para sistemas a baja escala, debido a eso solo cuenta con espacio para dos muestras.

#### **4.4.1.4 Diseño de la mesa de trabajo**

La altura de la mesa se determinó con la información registrada en el punto 2.3.9 de este documento. Se pudo concluir lo siguiente; sabiendo que la altura promedio de una persona es de aproximadamente 160 centímetros y que la altura del codo de una persona se encuentra al 63% de su altura total. Aplicando la ecuación número 13 se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Altura de mesa de trabajo} & & (24) \\ &= (\text{Promedio de estatura} \times 0.63) - 15\text{cm} \end{aligned}$$

Ecuación 24: Cálculo de la altura de la mesa de trabajo

*Donde:*

*Promedio de estatura = 1.60 metros*

*Altura de la mesa de trabajo = 1.0m – 15 cm*

*Altura de la mesa de trabajo ≈ 0.85 cm*

Se puede concluir por qué este tipo de mesas suelen tener una altura promedio entre 80 y 85 centímetros ya que a esta altura se facilita el estudio y/o manipulación de instrumentos. Para el diseño de la mesa de trabajo se hizo uso de dos softwares de diseño. Para el diseño en 2D se utilizó AutoCAD 2017.

Se diseñó una mesa de 80 cm. de alto para una mejor ergonomía (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional) al momento de manipular las muestras y mejor visualización de la información en la pantalla LCD (ver figura 73)

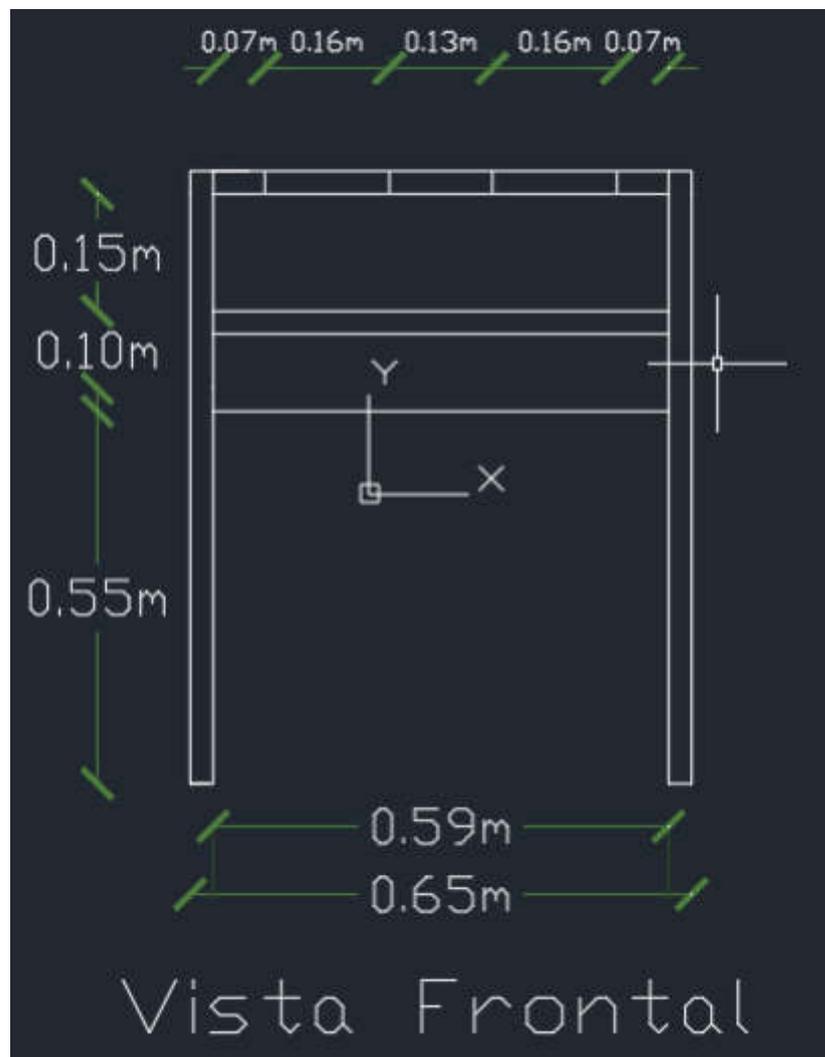


Figura 73: Vista frontal de la mesa de trabajo  
Elaboración: los autores

Asimismo, el orificio donde se encuentran las muestras tiene un diámetro de 16cm (*University Of Illinois*) que es el ancho

promedio que puede tener una lechuga al momento de la cosecha (ver figura 74)

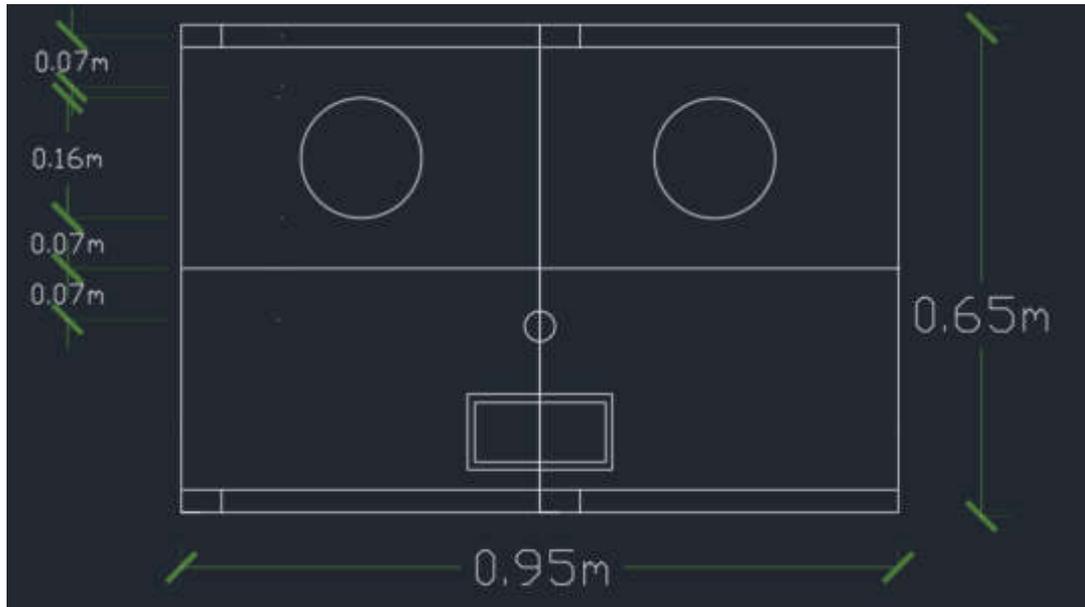


Figura 74: Vista de orificios de mesa de trabajo  
Elaboración: los autores

Para el diseño 3D se utilizó el programa *SketchUp* (ver figura 75)



Figura 75: Vista 3D de la mesa de trabajo  
Elaboración: los autores

## **4.4.2 Placa PCB**

### **4.4.2.1 Especificaciones de diseño**

La placa no deberá exceder un tamaño de 10.3 x 9.2 cm para que pueda colocarse dentro de su habitáculo y deberá ser diseñada a doble capa con material de fibra de vidrio para aumentar su tiempo de vida.

### **4.4.2.2 Restricciones**

Esta placa está restringida a un voltaje de alimentación de 5VDC, solo se podrá utilizar con el microcontrolador ATmega328P y variar el ancho de pulso de seis fuentes externas, máxima frecuencia de 490Hz a 4.8v DC. Para la comunicación vía *bluetooth* solo se podrá trabajar con el módulo HC05. Finalmente, la conexión de los sensores/actuadores solo se podrá realizar mediante terminales Molex mini latch (Molex) de 2,3,4,5 y 6 a un máximo de 3 amperios por conector.

### **4.4.2.3 Limitaciones**

La placa solo podrá ser utilizada para variar el PWM de 6 fuentes de luz y solo se podrá conectar:

- 1 sensor de temperatura ambiente DS18B20
- 2 sensores de humedad YL69
- 2 sensores de pH E201
- 2 sensores de lux BH1750
- 1 módulo bluetooth HC05
- Salida para dos actuadores (mini bombas de agua)

### **4.4.2.4 Diseño de placa PCB en *Proteus***

En la figura 76 se aprecia la simulación 3D de la placa PCB, que hecha en fibra de vidrio. Se utilizaron conectores *Molex mini latch* para una mejor conexión entre los sensores y actuadores necesarios para el sistema. Se utilizaron capacitores cerámicos de 22pf (valor recomendado por Atmel) para estabilizar el cristal de 16MHz conectado al microcontrolador.

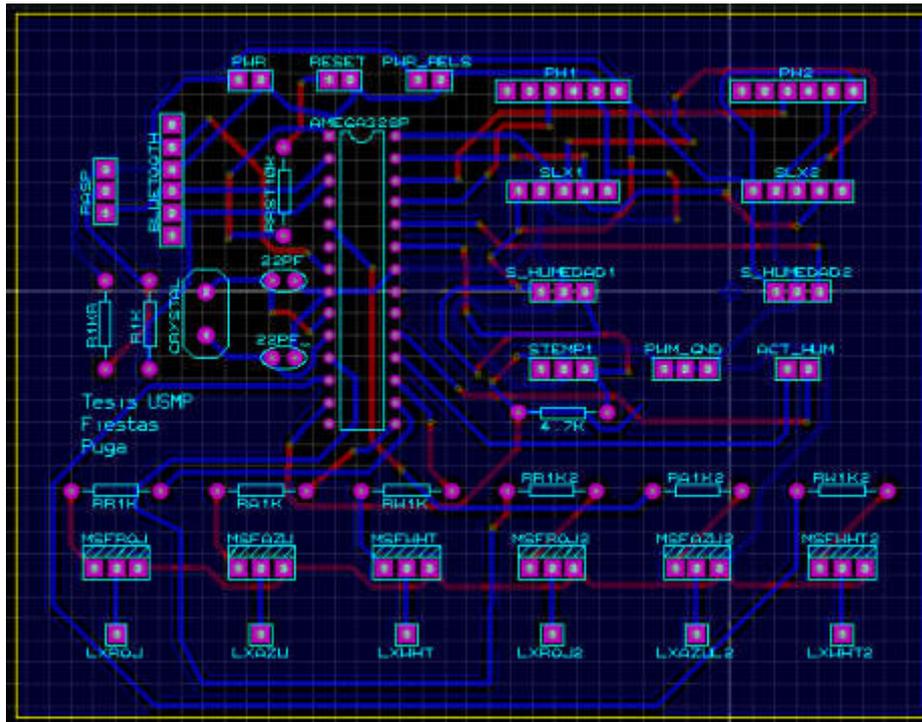


Figura 76: Diseño de placa PCB En proteus  
Elaboración: los autores

En la figura 77 se aprecia la simulación 3D de la placa PCB en el programa *Ares de Proteus*, el tamaño final de la palca es de 10.3 cm x 9.2cm.

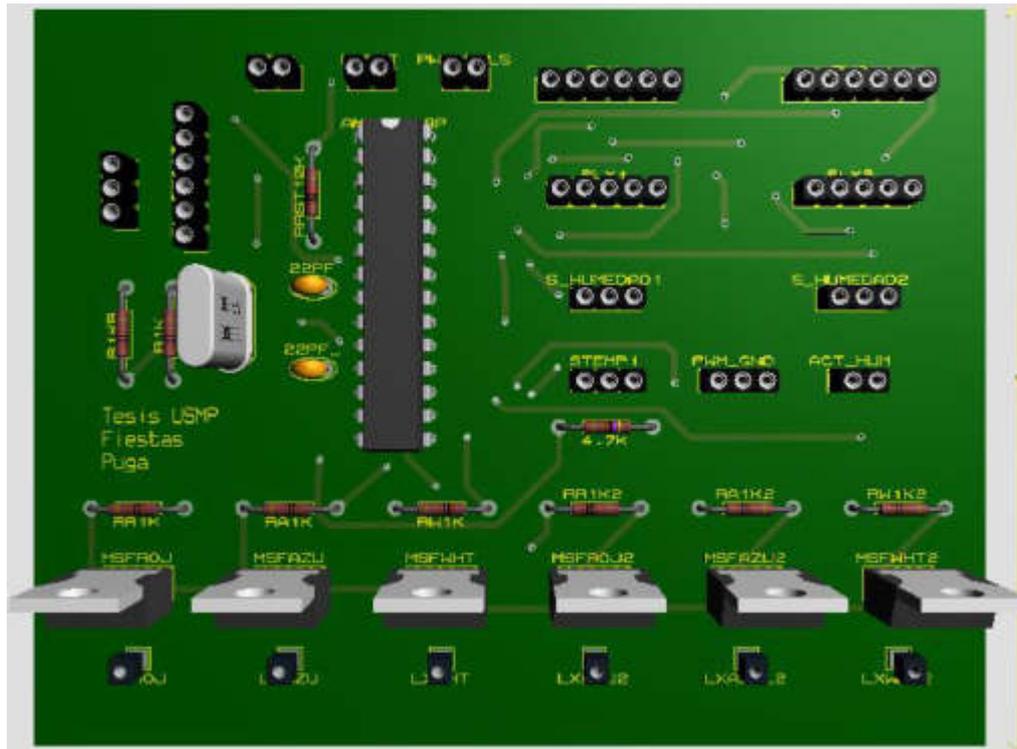


Figura 77: Placa PCB en *Proteus*  
Elaboración: los autores

### 4.4.3 Aplicación *Android*

#### 4.4.3.1 Especificaciones de diseño

La aplicación será solo para equipos con sistema operativo *Android*, solo podrá conectarse a dispositivos con una versión similar o superior a *Android 4.4 Kitkat* y se conectará a los dispositivos vía *bluetooth* versión 4.0 a más.

#### 4.4.3.2 Restricciones

La aplicación solo podrá ser utilizada por celulares *Android*, solo se podrá conectar un usuario a la vez y solo se podrá conectar cuando el usuario esté a menos de 10 metros de distancia de la mesa de trabajo.

#### 4.4.3.3 Limitaciones

Mediante esta aplicación solo se podrá monitorear la información enviada mediante el módulo *bluetooth* HC05 que enviará la información de los sensores de temperatura, humedad, lux y pH y

solo se podrá controlar la cantidad de luz (PWM) de la matriz de LED instalada en la mesa de trabajo.

#### 4.4.3.4 Diseño de la aplicación en *AppInventor*

Para realizar la aplicación *Bluetooth* para sistemas operativos *Android* se utilizó la herramienta *AppInventor*, que fue desarrollada por el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) y para crear una aplicación esta herramienta se basa en diagrama de bloques de manera intuitiva y gráfica, esto se traduce en una forma más interactiva de generar una aplicación final. En la figura 78 se puede ver la primera versión de la aplicación *Bluetooth*. Esta versión de la aplicación solo podía conectarse al módulo HC05 y recibir información de los sensores, mas no enviar información hacia el microcontrolador ATmega 328P.

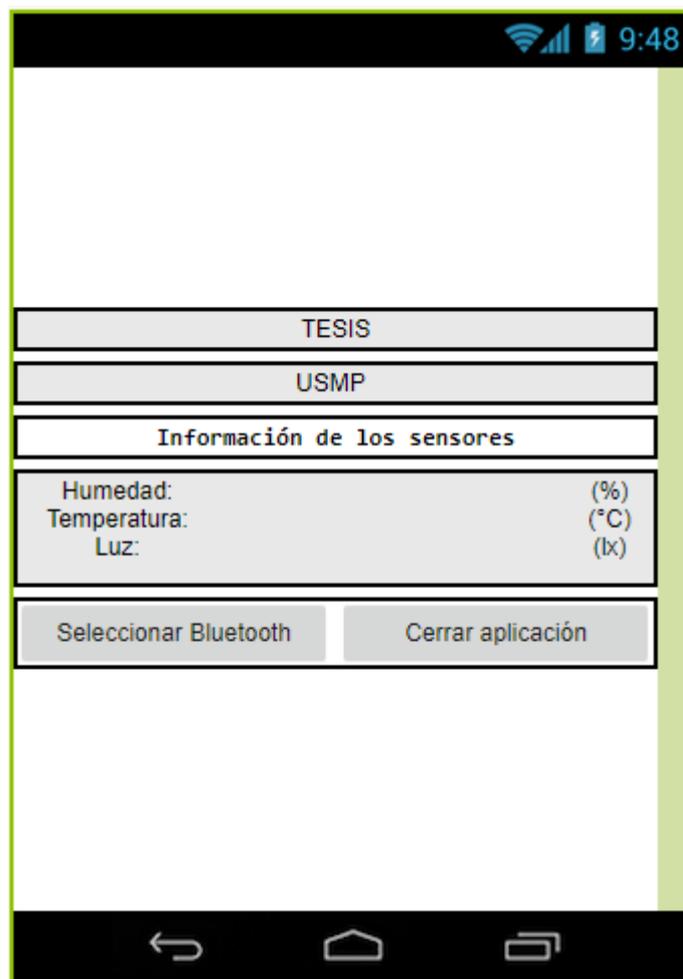


Figura 78: Primera versión de aplicación *Bluetooth*  
Elaboración: los autores

En la figura 79 se aprecia la segunda versión de la aplicación para sistemas operativos *Android*. En ella, la aplicación ya es capaz de enviar y recibir información; además, se le agregó *sliders* para controlar la intensidad de luz de una matriz de *led* y para modificar los umbrales de humedad. En esta versión la información que enviaba el microcontrolador llegaba en desorden pues no estaba sincronizada correctamente.

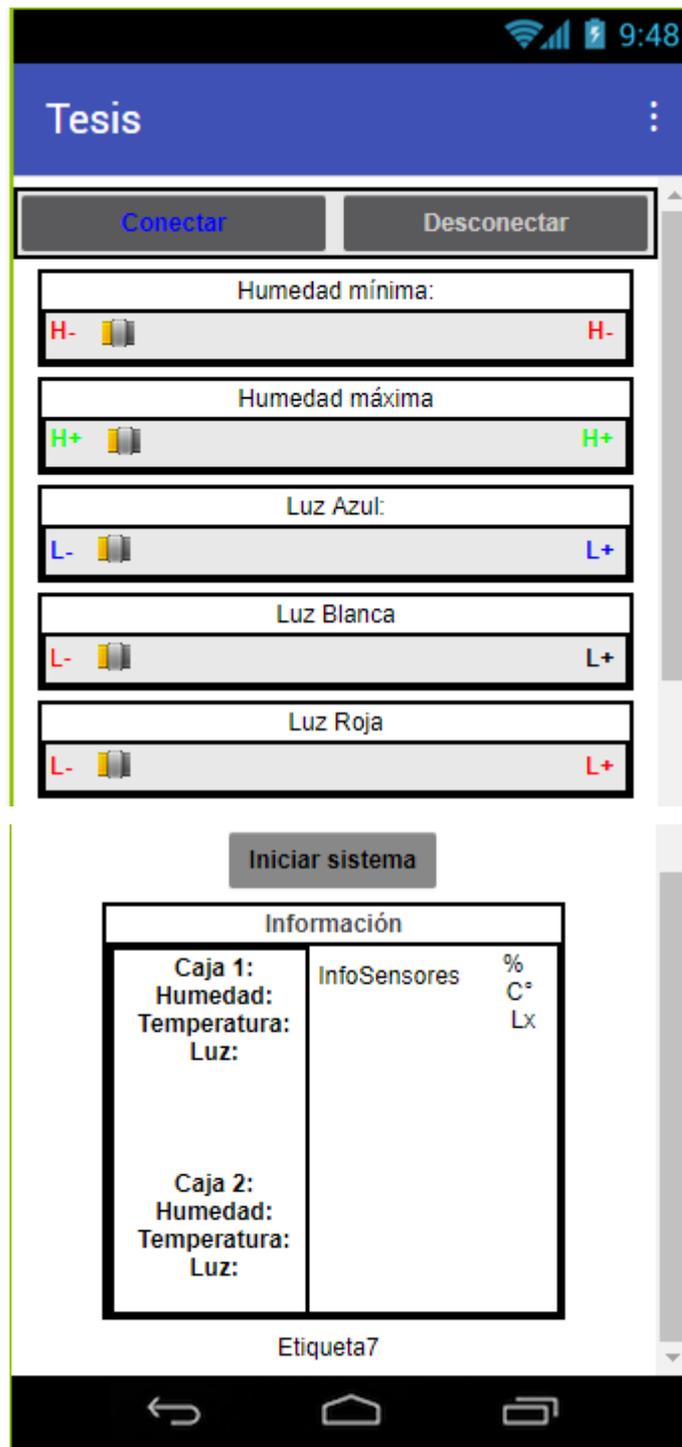


Figura 79: Segunda versión de aplicación *Bluetooth*  
Elaboración: los autores

En la figura 80 se aprecia la versión final de la aplicación *bluetooth* para sistemas operativos *Android*; en ella se aprecian los ocho *sliders* para modificación de parámetros (dos *sliders* para limitar los umbrales de humedad y seis *sliders* para controlar la cantidad de iluminación de la placas LED). Asimismo, en esta versión se separó la información que

envía el microcontrolador, por cada espacio en blanco que envíe el microcontrolador, la aplicación le asignará una casilla diferente para que sea más fácil poder leer la información recibida

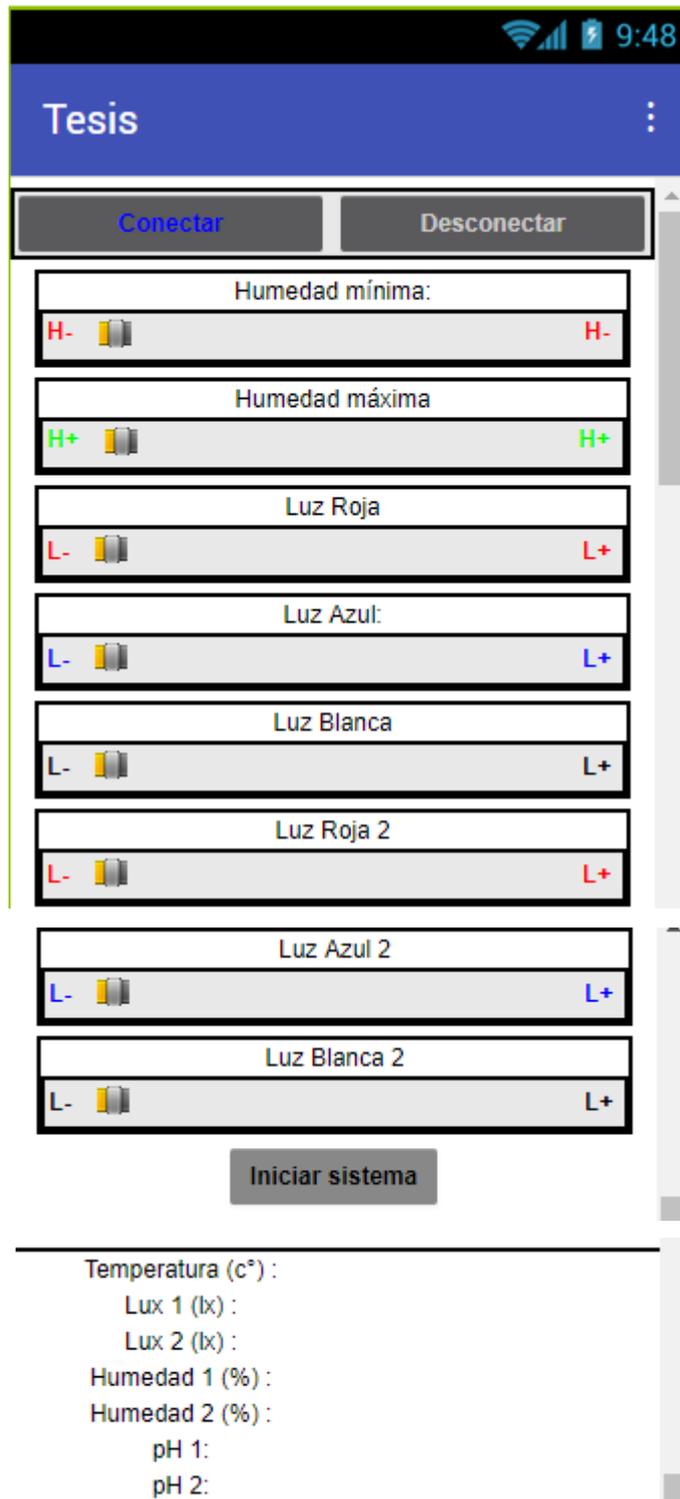


Figura 80: Tercera versión de aplicación *Bluetooth*  
Elaboración: los autores

#### **4.4.4 Interfaz *Raspberry***

##### **4.4.4.1 Especificaciones de diseño**

Debido a la alta carga computacional que requiere el flujo de trabajo del *Processing en el Raspberry 3*, se debe configurar el *sketch* a aproximadamente 400 Mb de consumo para la memoria RAM. Esto se debe a que opera con el lenguaje de programación Java que se caracteriza por su consumo de memoria RAM. La resolución de la interfaz debe corresponder al tamaño de la pantalla *display* LCD de 7 pulgadas; es decir, 1024 x 600. Esto se hace para aprovechar el espacio dentro del *sketch*; ya que, la resolución representa el número de píxeles esparcidos en el lienzo y ayuda a la implementación de las figuras.

Por otro lado, el campo visual es uno de los factores más importantes dentro de una interfaz, es en este ambiente en donde el usuario monitorea la adquisición de data. Es por eso que se creó diferentes versiones de la interfaz para poder aprovechar el tamaño y visibilidad de las variables para que cualquier persona pueda operar con facilidad el dispositivo.

##### **4.4.4.2 Restricciones**

Se debe tener en cuenta la capacidad de memoria RAM del *Raspberry Pi*, debido a que la interfaz a ejecutar puede llegar a consumir hasta 400 MB de memoria RAM. La interfaz diseñada solo podrá monitorear la información recibida mediante el puerto serial enviada por el microcontrolador ATmega y solo mostrará información de los sensores de temperatura, humedad, lux y pH, así como la cantidad de PWM de cada luz LED.

##### **4.4.4.3 Limitaciones**

Se limitará la resolución máxima a la resolución de la pantalla LCD para consumir la menor cantidad de memoria RAM.

##### **4.4.4.4 Diseño de interfaz en *Processing***

*Processing* es un *software* amigable y flexible, de código abierto, enfocado a desarrollar gráficas, animaciones y artes

visuales. Cuenta con un lenguaje de programación basado en Java, usualmente usado en proyectos de multimedia (*Foundation*) (ver figura 81).

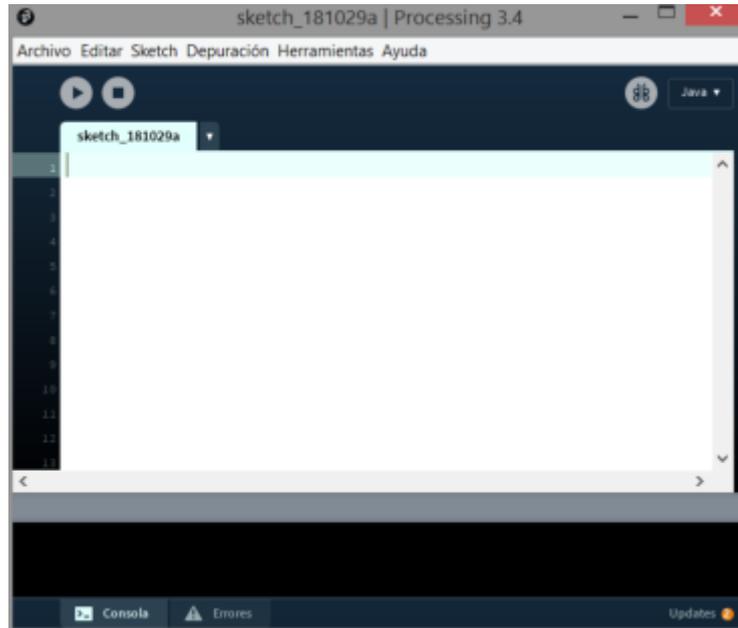


Figura 81: Interfaz de *software Processing*  
Elaboración: los autores

Para diseñar la interfaz de monitoreo se tomaron en cuenta diversos criterios que comprometían la carga computacional de los procesadores y la resolución de la interfaz, la cual estaba totalmente relacionado con la pantalla táctil. A continuación; se muestra los diferentes criterios de diseño que se evaluaron para elegir la interfaz final.

## Primera especificación de Diseño

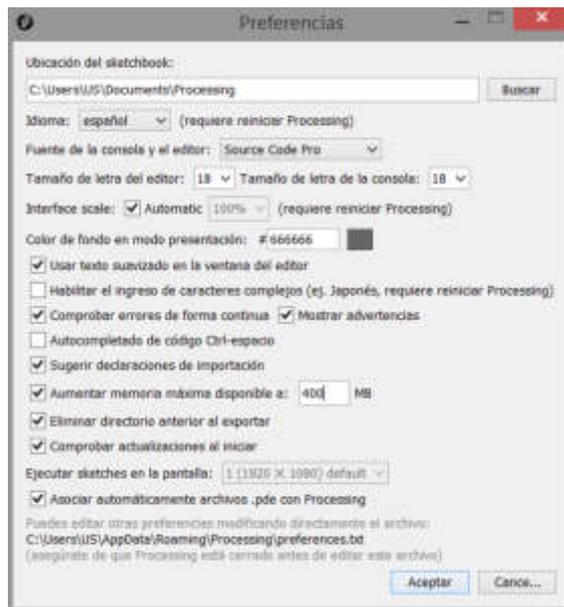


Figura 82: Configuración del *sketch* de *Processing*  
Elaboración: los autores

Si no se configura el indicador de memoria máxima, entonces el programa colapsará en breve tiempo y se cerrará abruptamente (ver figura 82).

## Segunda especificación de Diseño.

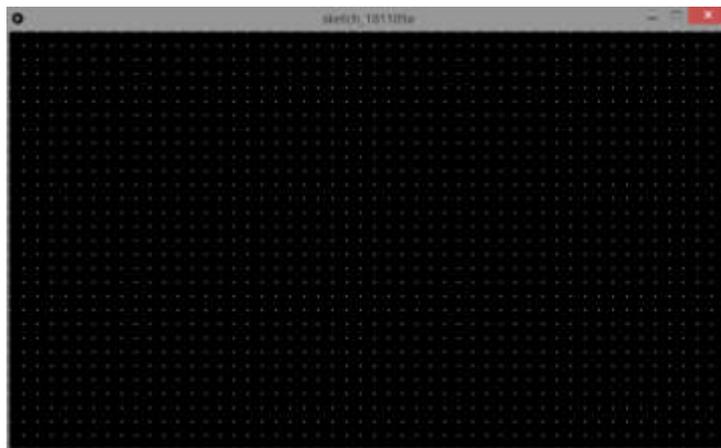


Figura 83: El lienzo como plano cartesiano X, Y  
Elaboración: los autores

Se considera a los pixeles como puntos esparcidos en un plano cartesiano con ejes x, y con el pixel 0, 0 iniciando al lado superior izquierdo (ver figura 83).



Sin embargo, se tuvo que desistir de esta idea debido a la alta carga computacional que comprendía recibir data y graficarla dándole apariencia de un multímetro analógico.

### Tercera versión

Para la tercera versión de la interfaz se guardó la idea de hacer uso de botones. Debido a que acondicionaba la programación a que solo se muestre la data cuando el usuario activaba el botón.

De esta manera se pudo reducir considerablemente la carga computacional y el tiempo de latencia entre la señal en vivo y la señal monitoreada (ver figura 86).

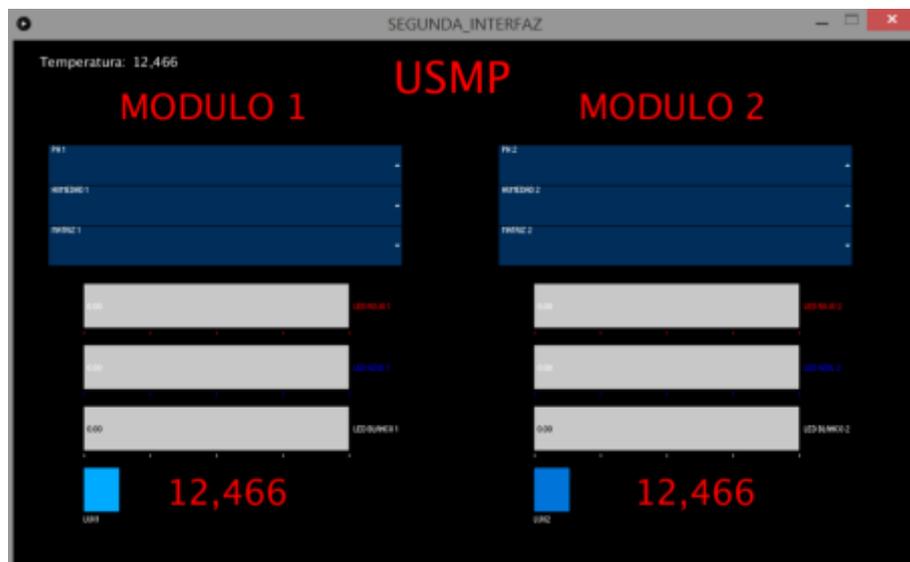


Figura 86: Tercer diseño de la interfaz  
Elaboración: los autores

En este proceso, se tomó la decisión de aligerar el receptor del *Raspberry*; ya que ingresaba una gran cantidad de data transmitida por el microcontrolador dando como resultado que la latencia sea considerable de aproximadamente un minuto. Para ello, como parte de una especificación de diseño, se consideró un *delay* pequeño que estabilice al *Raspberry*, el *delay* fue de cuatrocientos milisegundos, reduciendo notablemente la latencia a aproximadamente un segundo.

#### **4.4.5 Matriz de leds**

##### **4.4.5.1 Especificaciones diseño**

Las luces led se encontrarán en la siguiente frecuencia de operación en función de su longitud de onda:

- Luz roja a 660 nm
- Luz azul a 470 nm
- Luz blanca a una temperatura de 5500K

Las luces de la matriz de LED deberán alimentarse con los siguientes voltajes y corrientes para generar las longitudes de onda indicadas anteriormente.

- LED de color rojo a 2.05 voltios y 59.3 mA
- LED de color azul a 3.30 voltios y 77.7 mA
- LED de color blanco a 3.30 voltios y 80.0 mA

Se utilizará los siguientes modelos de LED para el diseño

- LED de color rojo marca LUMINUS modelo SST-10-DR
- LED de color azul marca OSRAM modelo LB G5SP
- LED de color blanco marca CREE modelo ML-B a 5500K

Se utilizarán las siguientes resistencias para los LED

- 50 ohms 1/2W para el LED de color rojo
- 22 ohms SMD y de 1/4W para los LEDs de color azul y blanco

La matriz de los LED será de un tamaño de 10.5 cm x 6cm, de fibra de vidrio a una sola capa para reducir costos de fabricación.

##### **4.4.5.2 Restricciones**

La matriz de LEDs deberá contar con conexión de voltaje y tierra separada y se alimentará con un voltaje de 5VDC.

#### 4.4.5.3 Limitaciones

La matriz de led solo contendrá un total de catorce LED, cuatro LED de color azul, cuatro de color blanco y seis de color rojo, no cuenta con circuito integrado que proteja al sistema de picos de corriente ni con sistema anti corto circuito.

#### 4.4.5.4 Diseño de la matriz de led

Para diseñar la matriz se consideraron los radios calculados de iluminación de cada led. Dado que, el led de color rojo, por su ángulo de visión de 90 grados, ilumina una menor área y al mismo tiempo cuenta con una mayor concentración de potencia irradiada, se tomó la decisión de situarlo al medio de la luz blanca y azul para lograr una intersección, entre los radios de colores, mucho mayor (ver figura 87).

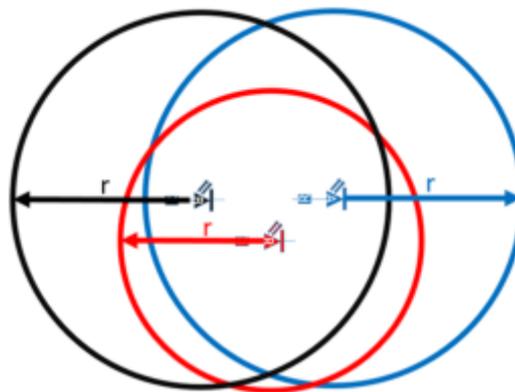


Figura 87: Representación del área iluminada  
Elaboración: los autores

Se tomó en consideración la distancia “d” de dos centímetros entre led simulada anteriormente (ver figura 88).

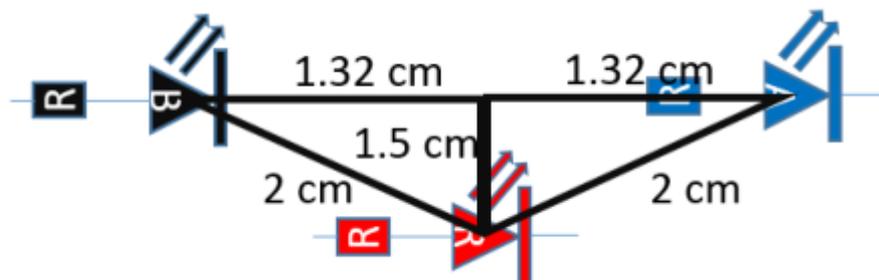


Figura 88: Representación de led a dos centímetros de distancia  
Elaboración: los autores

Es así como el primer diseño de la placa presenta unas dimensiones de 10.5 cm x 5 cm (ver figura 89).

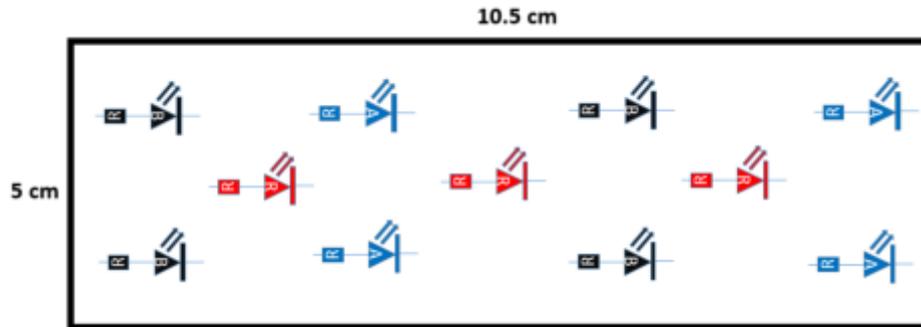


Figura 89: Primer diseño de la matriz Led  
Elaboración: los autores

Sin embargo, se observó que se podía aprovechar el ángulo de visión de la luz roja, agregando una fila más a cualquiera de sus extremos (ver figura 90).

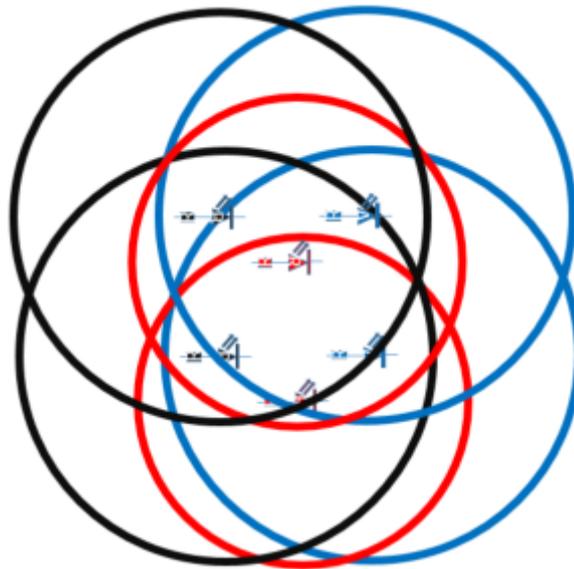


Figura 90: Representación del área iluminada con un led rojo más  
Elaboración: los autores

En la figura 91 se aprecia el diseño final de la matriz de LED, cuenta con seis LED de color rojo, cuatro de color azul y cuatro de color blanco. Cada uno está separado a dos centímetros para poder aprovechar mejor la potencia irradiada. Esta matriz cuenta con unas medidas de 10.5cm x 6cm.

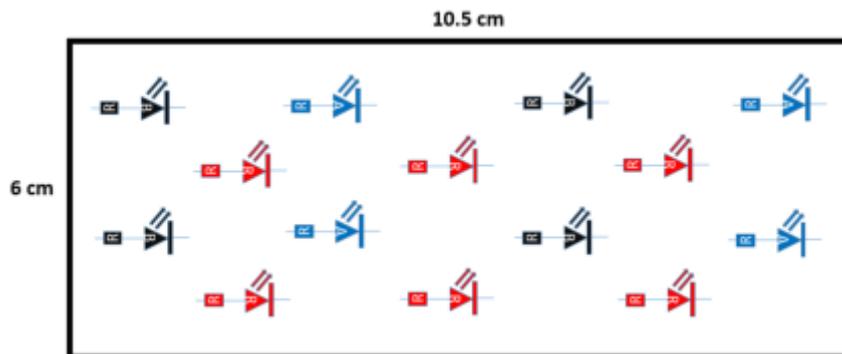


Figura 91: Diseño Final de la matriz Led  
Elaboración: los autores

Se utilizó el programa *Eagle* para modelar la matriz de LED (ver figura 92). En esta se puede apreciar la distribución de los diodos emisores de luz. Los LED de color azul se representan con la letra “A”, los de color blanco se representan con la letra “B” y los rojos con la letra “R”

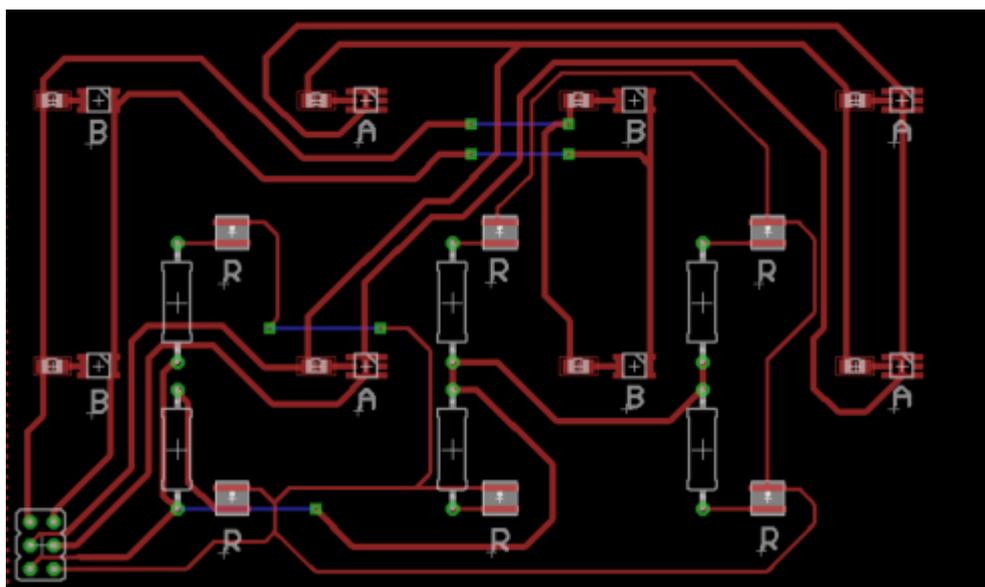


Figura 92: Matriz de LEDs en *Eagle*  
Elaboración: los autores

En la figura 93 se puede apreciar el largo de 10.5 cm de la matriz de LED previamente diseñada.

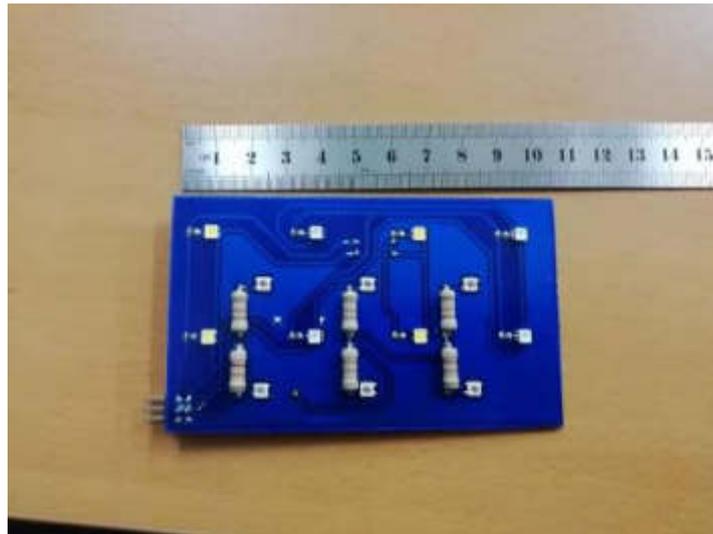


Figura 93: Largo de la matriz Led  
Elaboración: los autores

En la figura 94 se aprecia el ancho de seis centímetros de la matriz de LED.

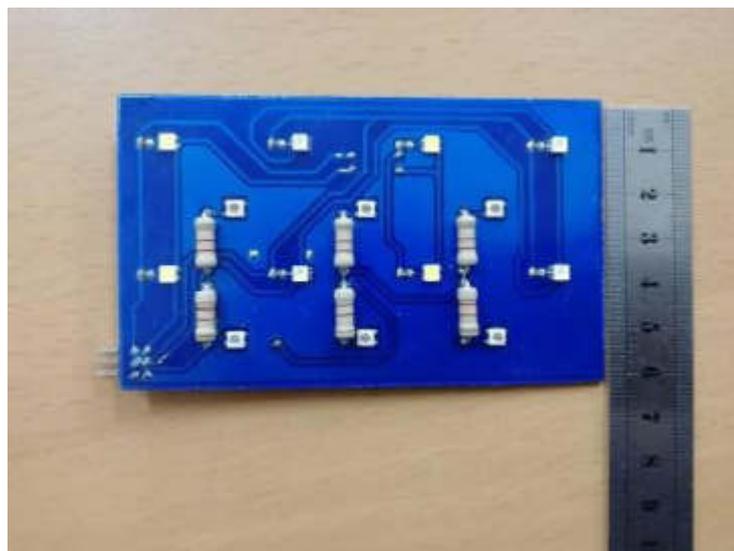


Figura 94: Ancho de la matriz Led  
Elaboración: los autores

## **CAPÍTULO V**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS PRELIMINARES**

Finalmente, complementado la información de rangos y requerimientos climáticos necesarios para el desarrollo de diferentes tipos de plantas, se presenta en México, la segunda edición del libro Requerimientos Agroecológicos de Cultivos (RUIZ CORRAL, y otros, 2013) donde se evidencia amplia información con respecto a temperatura, radiación solar, agua, humedad relativa y fotoperiodos necesarios para el crecimiento correcto de diferentes especies agrícolas y potenciar su calidad y rendimiento.

Esta obra expone requerimientos de 126 especies diferentes de cultivos y hace mención también a rangos de pH, necesidades nutricionales, lectura de suelos, profundidad, drenaje de los suelos, exposición del terreno y niveles tolerables de salinidad.

Con la elaboración de este libro se busca crear referentes para la agricultura en ambientes simulados donde se pueda controlar variables climatológicas ya expuestas y va dirigido a todos los profesionales en agronomía, estudiantes, productores, inversionistas y científicos que busquen colaborar y contribuir con el estudio del crecimiento de plantas en ambientes cerrados o expuestos que busquen reducir la dependencia factores externos que puedan afectar de manera negativa la producción agrícola.

Es en base a estas recomendaciones en los rangos de las variables ambientales es que se elaboran las mediciones para el desarrollo de la tesis.

## 5.1 Pruebas del sensor de temperatura

Para llevar a cabo el proceso de validación se utilizó un hervidor eléctrico, el cual lleva al agua hasta unos 90°C aproximadamente, esta se vertió sobre un recipiente de metal y se agregó agua a temperatura ambiente (aproximadamente 22 °C). Luego se le añadió agua con una temperatura más baja hasta culminar el número de pruebas. Ambos sensores se colocaron sobre dicho recipiente metálico y se anotaron los resultados en una hoja de Excel para proceder con los cálculos necesarios, estas pruebas se realizaron a una temperatura ambiente de 25.4 °C.

### 5.1.1 Mediciones

En la tabla 30 se observa la linealidad de la medición de temperatura del sensor DS18B20 configurado a una resolución de 12 *bits* y a un tiempo de conversión de 750ms.

Tabla 30: Mediciones de temperatura

Prueba	Temp. Sensor DS18B20 (C°)
1	6.8
2	9.7
3	10.8
4	11.9
5	13.2
6	15
7	16.4
8	18.19
9	18.25
10	18.31
11	18.62
12	22.5
13	22.62
14	28
15	28.69
16	29.8
17	30.62
18	34.63
19	38.06
20	44.06
21	45.25
22	48.69
23	54.19
24	61.44

<b>25</b>	63.2
<b>26</b>	65.9
<b>27</b>	68.9
<b>28</b>	73.5
<b>29</b>	78.94
<b>30</b>	80.25

Elaboración: los autores

Esto se aprecia en forma gráfica en la figura 95

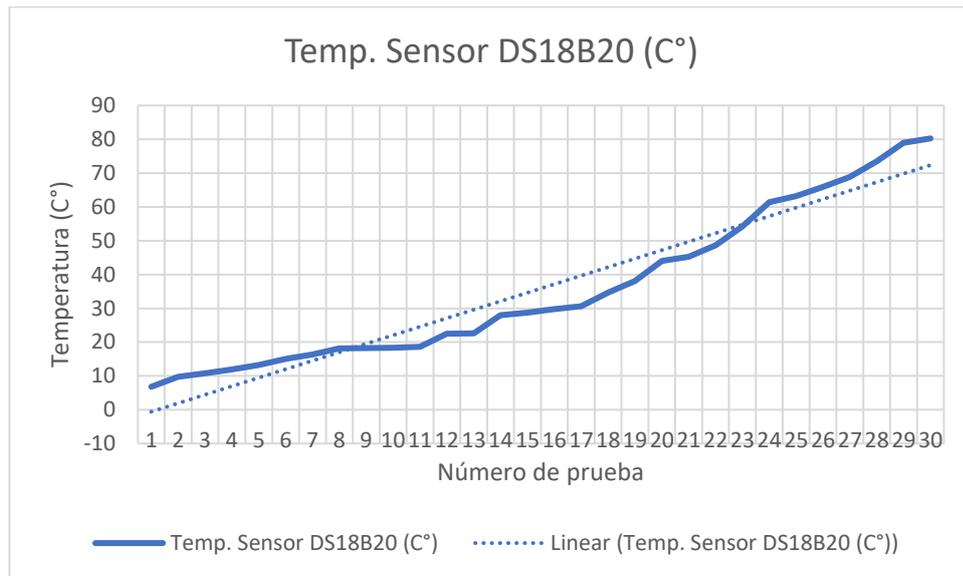


Figura 95: Prueba de temperatura, sensor DS18B20  
Elaboración: los autores

### 5.1.2 Validación

Al comparar el sensor digital DS18B20, configurado a 12 bits de resolución, contra un termómetro digital de la marca ATM-LIMITED, modelo ST-9265 (ATM LIMITED) (las características de dicho termómetro digital se aprecian en la tabla 31) se determinó que el porcentaje de error está dentro de los parámetros establecidos; es decir, no excede de 1° C. como se muestra en la tabla 32.

Tabla 31: Especificaciones termómetro digital ST9265

Característica	Valor
Rango de medición	- 50°C a 150°C
Alimentación	1.5v pila tipo A76
Resolución	0.1 °C
Rango de error	± 1°C
Tiempo de respuesta	0.5 s

Fuente: los autores

En la tabla 32 se aprecia que la máxima variación de temperatura es de 0.31°C en la prueba número 22 y 23. Asimismo, la máxima variación porcentual se muestra en la prueba número uno, con un porcentaje de 4.23% este porcentaje es elevado debido a que la temperatura a medir era baja, para ello se utilizó la ecuación 25.

Tabla 32: Comparación de temperatura

Prueba	Sensor DS18B20 (C°)	Termómetro (C°)	Diferencia (°C.)	Error (%)
1	6.8	7.1	0.3	4.23
2	9.7	9.5	-0.2	-2.11
3	10.8	10.7	-0.1	-0.93
4	11.9	11.7	-0.2	-1.71
5	13.2	13.5	0.3	2.22
6	15	14.9	-0.1	-0.67
7	16.4	16.1	-0.3	-1.86
8	18.19	18.1	-0.09	-0.50
9	18.25	18.3	0.05	0.27
10	18.31	18.4	0.09	0.49
11	18.62	18.6	-0.02	-0.11
12	22.5	22.6	0.1	0.44
13	22.62	22.9	0.28	1.22
14	28	28.1	0.1	0.36
15	28.69	28.7	0.01	0.03
16	29.8	29.7	-0.1	-0.34
17	30.62	30.9	0.28	0.91
18	34.63	34.7	0.07	0.20
19	38.06	38	-0.06	-0.16
20	44.06	44	-0.06	-0.14
21	45.25	45.4	0.15	0.33
22	48.69	49	0.31	0.63
23	54.19	54.5	0.31	0.57
24	61.44	61.5	0.06	0.10
25	63.2	63.4	0.2	0.32
26	65.9	66.1	0.2	0.30

<b>27</b>	68.9	69	0.1	0.14
<b>28</b>	73.5	73.7	0.2	0.27
<b>29</b>	78.94	78.8	-0.14	-0.18
<b>30</b>	80.25	80	-0.25	-0.31

Elaboración: los autores

$$Error\ porcentual = \frac{t_c - t_s}{t_c} \times 100$$

Ecuación 25: Error porcentual del sensor de temperatura DS18B20

Donde:

$t_c =$  Temperatura del termómetro

$t_s =$  Temperatura del sensor DS18B20

En la figura 96 se aprecia la comparación de la medición de temperatura entre el sensor DS18B20 y el termómetro digital.

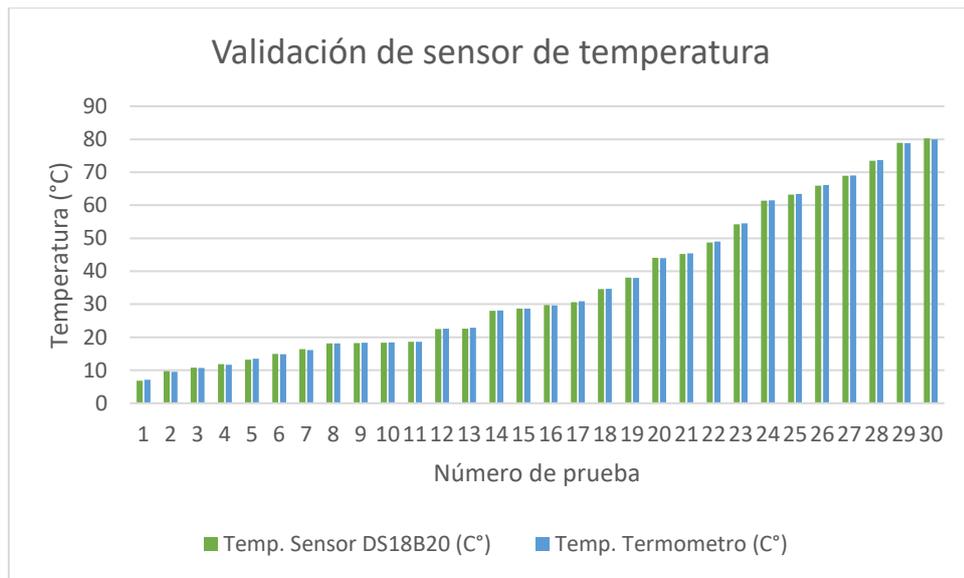


Figura 96: Validación del sensor de temperatura  
Elaboración: los autores

En la figura 97 se puede apreciar gráficamente la diferencia de temperatura entre estos dos medidores, la máxima diferencia es de aproximadamente  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ .

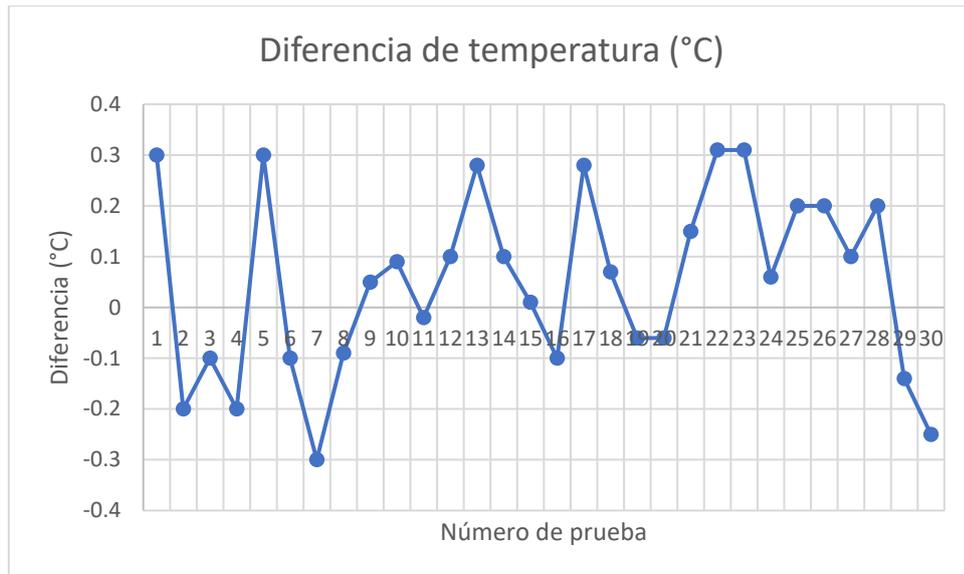


Figura 97: Diferencia de temperatura en grados centígrados  
Elaboración: los autores

La figura 98 muestra la variación porcentual de temperatura siendo la de mayor diferencia la prueba número 1 con un porcentaje de aproximadamente 4.20%

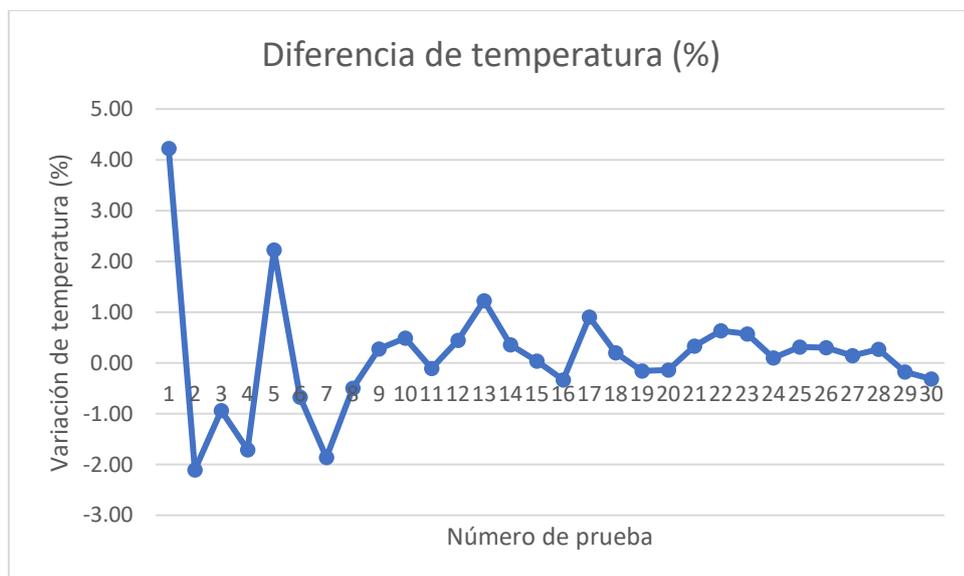


Figura 98: Diferencia de temperatura en porcentaje  
Elaboración: los autores

Para determinar el promedio de error de las 30 pruebas se utilizó la ecuación número 26.

$$\text{Promedio de error} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \quad \dots (25)$$

Ecuación 26: Promedio de error de muestras

Donde:

$n$  = Número total de pruebas

$a_i$  = Error de las pruebas individuales

Reemplazando:

$$\text{Promedio de error} = \frac{1}{30} (0.3 - 0.2 - 0.1 + \dots - 0.25)$$

$$\text{Promedio de error} = \frac{1}{30} \times -8$$

$$\text{Promedio de error} = -0.26667$$

Aplicando la ecuación 21 se puede determinar que el error promedio de las 30 pruebas realizadas tiende a  $-0.26667^{\circ}\text{C}$ .

Se concluye que, en promedio, las variaciones de temperatura del sensor DS18B20 varían por menos de  $1^{\circ}\text{C}$ . en comparación a la de un termómetro digital, este rango de error cumple con los objetivos iniciales.

## 5.2 Pruebas del sensor de lux

El proceso de validación del sensor de lux se llevó a cabo en un ambiente oscuro y de noche para que la luz externa no interfiera en las mediciones. Asimismo, se utilizó dos parantes con altura regulable máxima de 30cm., esta altura fue variando en 5cm. entre cada prueba, sobre estos se colocó una matriz de LED de color verde a la cual se le fue regulando la intensidad mediante PWM. Se realizaron un total de 16 pruebas; primero a una altura inicial de 5cm. se varió el PWM en 25,50, 75 y 100%, luego la segunda prueba se realizó a una altura de 10cm. aumentando el PWM en 25% por cada prueba hasta alcanzar una altura máxima de 20cm. que es la altura máxima que tiene la caja donde se colocará la matriz de LED diseñada para este sistema. Ambos sensores se colocaron a una distancia equidistante de la matriz de LED para obtener resultados más adecuados.

Para el cálculo de la información se programó el sensor en modo *H-Resolution Mode* que permite una resolución de 1 lumen y mediciones cada

120 ms (8Hz) aproximadamente; es decir, que el sensor tomará 8.33 muestras por segundo. Se optó por este modo de medición; ya que es lo recomendado por el fabricante. (ROHM SEMICONDUCTOR, 2011) (ver figura 99)

● Measurement mode explanation

Measurement Mode	Measurement Time.	Resolution
H-resolution Mode2	Typ. 120ms.	0.5 lx
H-Resolution Mode	Typ. 120ms.	1 lx.
L-Resolution Mode	Typ. 16ms.	4 lx.

We recommend to use H-Resolution Mode.

Measurement time ( integration time ) of H-Resolution Mode is so long that some kind of noise( including in 50Hz / 60Hz noise ) is rejected. And H-Resolution Mode is 1 lx resolution so that it is suitable for darkness ( less than 10 lx )  
H-resolution mode2 is also suitable to detect for darkness.

Figura 99: Recomendaciones del fabricante ROHM  
Fuente: ROHM Electronics

### 5.2.1 Mediciones

Para llevar a cabo las mediciones del sensor de lux BH1750 se realizaron distintas pruebas a distintas distancias y variando la intensidad de una matriz de Led. Se tomaron muestras a 5cm, 10cm, 15cm y 20cm entre el sensor y la matriz LED. Asimismo, se varió la intensidad de luz de la matriz de led de 25%, 50%, 75% y 100%. El sensor de luz se configuró a 1 lumen de resolución y 8 Hz (una muestra cada 120ms)

En las tablas 33, 34, 35 y 36 se puede apreciar las mediciones a 5, 10, 15 y 20cm respectivamente. Asimismo, se varió el porcentaje de PWM de 25% al 100%. Cabe indicar que estas mediciones se tomaron dentro de un ambiente controlado y a una temperatura ambiente de 24.5 °C.

En la tabla 33 se aprecia la medición del sensor de lux BH1750 a 5 cm de una matriz de LED, a esta distancia se puede obtener una medida máxima de 2624 lux.

Tabla 33: Medición del sensor de lux a 5 cm

Número de prueba	% PWM	BH1750 (Lux)
1	100	2624
2	75	1940
3	50	1367
4	25	677

Elaboración: los autores

En la tabla 34 se observa las mediciones a 10cm. de distancia de una matriz de LEDs. A esta distancia la cantidad máxima de iluminancia es de 1350 lx.

Tabla 34: Medición del sensor de lux a 10 cm

Número de prueba	% PWM	BH1750 (Lux)
1	100	1350
2	75	975
3	50	630
4	25	269

Elaboración: los autores

En la tabla 35 se observan las mediciones a 15 cm. de distancia de una matriz LED se observa que la máxima medición de iluminancia decrece a 824lx.

Tabla 35: Medición del sensor de lux a 15 cm.

Número de prueba	% PWM	BH1750 (Lux)
1	100	824
2	75	599
3	50	394
4	25	192

Elaboración: los autores

Por último, en la tabla 36, se observan las mediciones a 20 cm. de distancia de una matriz de LED se observa que la cantidad de iluminancia decrece hasta 549 lx.

Tabla 36: Medición del sensor de lux a 20 cm.

Número de prueba	% PWM	BH1750 (Lux)
1	100	549
2	75	474
3	50	310
4	25	150

Elaboración: los autores

En forma gráfica, se aprecia los resultados en la figura 100, 101, 102, y 103.

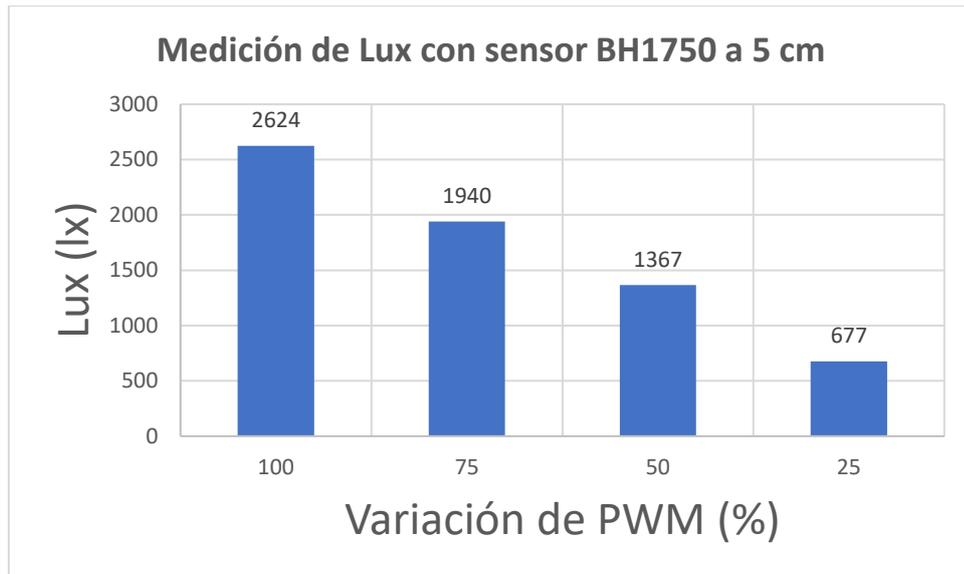


Figura 100: Gráfica de medición de lux a 5 cm  
Elaboración: los autores

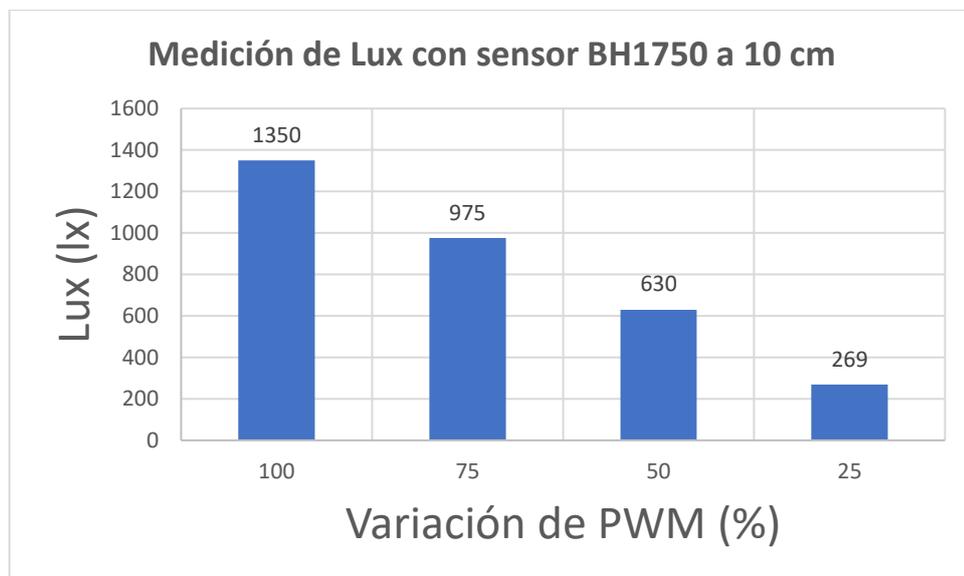


Figura 101: Gráfica de medición de lux a 10 cm  
Elaboración: los autores

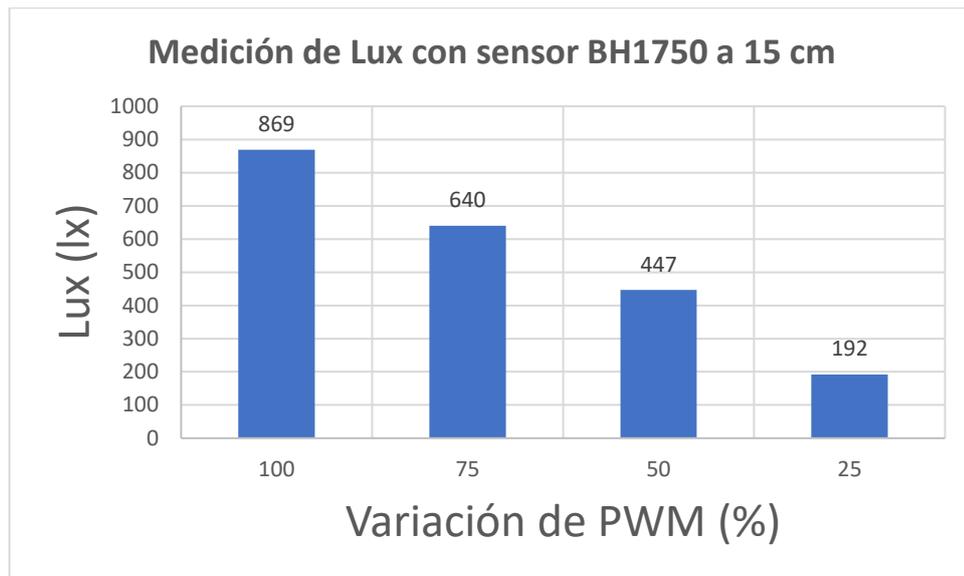


Figura 102: Gráfica de medición de lux a 15 cm  
Elaboración: los autores

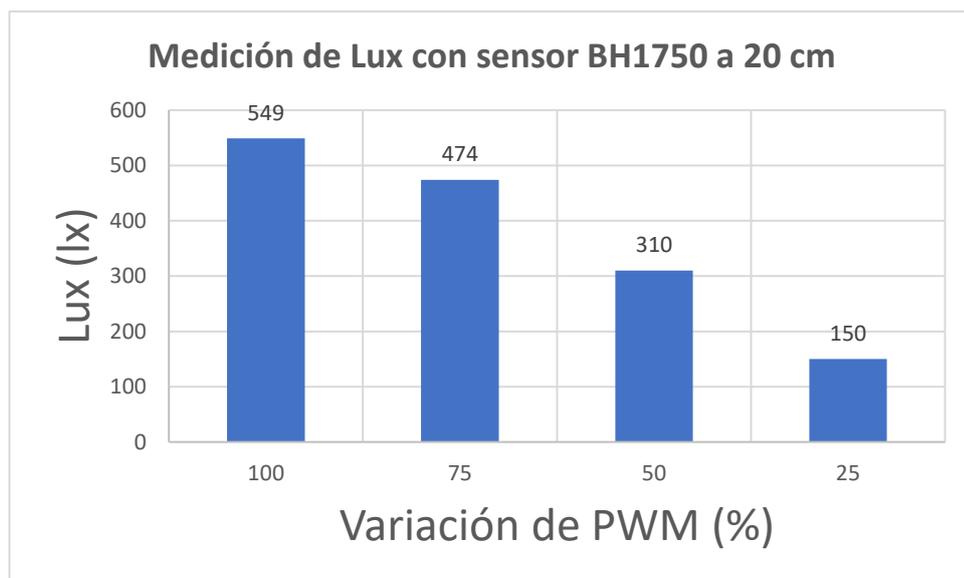


Figura 103: Gráfica de medición de lux a 20 cm  
Elaboración: los autores

### 5.2.2 Validación

En la tabla 36 se observa la comparación entre los valores de lux (lúmenes) obtenidos del sensor BH1750 contra un luxómetro digital comercial marca Uni Trend modelo UT383 el cual se puede observar en la figura 104.



Figura 104: Luxómetro digital UT383  
Fuente: *Uni Trend*

Características luxómetro digital UT383 (ver tabla 37):

Tabla 37: Características Luxómetro digital UT383

Característica	Valor
Voltaje de alimentación	4.5v
Corriente	30 mA
Rango de medición	0 lx - 200000 lx
Precisión	± 4%
Tiempo de muestreo	0.5 s
Temperatura de trabajo	0 °C - 40 °C
Precio	80 soles

Elaboración: los autores

En la tabla 38 se aprecia la comparación entre el sensor de lux BH1750 y el luxómetro digital UT383 a 5cm de distancia de una matriz de LED. Se aprecia que la máxima diferencia a esta distancia es de -47lx. Asimismo, aplicando la ecuación 21 se calcula que el promedio de error es de 3.75 lx.

Tabla 38: Medición del sensor de lux a 5 cm

Número de prueba	% PWM	Luxómetro UT383 (Lux)	BH1750 (Lux)	Diferencia
1	100	2598	2624	26
2	75	1987	1940	-47
3	50	1349	1367	18
4	25	659	677	18

Elaboración: los autores

En la tabla 39 se aprecia las mediciones a 10 cm de una matriz de LEDs la máxima variación de iluminancia es de -47lx. Asimismo, aplicando la ecuación 21, se valida que el promedio de error es de -4.25 lx.

Tabla 39: Medición del sensor de lux a 10 cm

Número de prueba	% PWM	Luxómetro UT383 (Lux)	BH1750 (Lux)	Diferencia
1	100	1333	1350	17
2	75	970	975	5
3	50	636	630	-6
4	25	302	269	-33

Elaboración: los autores

En la tabla 40 se aprecia las mediciones a 15 cm, a esta distancia la máxima variación de luminancia es de -33 lx y aplicando la ecuación número 21 se determina que el promedio de error es de -7.25lx.

Tabla 40: Medición del sensor de lux a 15 cm

Número de prueba	% PWM	Luxómetro UT383 (Lux)	BH1750 (Lux)	Diferencia
1	100	886	869	-17
2	75	653	640	-13
3	50	430	447	17
4	25	208	192	-16

Elaboración: los autores

Por último, en la tabla 41 se aprecia las mediciones a 20 centímetros de una matriz LED, en esta tabla se aprecia que la máxima diferencia de uno lx y aplicando la ecuación 21 se determina que el promedio de error es de 0.5lx.

Tabla 41: Medición del sensor de lux a 20 cm

Número de prueba	% PWM	Luxómetro UT383 (Lux)	BH1750 (Lux)	Diferencia
1	100	550	549	-1
2	75	473	474	1
3	50	310	310	0
4	25	148	150	2

Elaboración: los autores

Se aprecia gráficamente estas tablas en las figuras 105, 106, 107 y 108.

A 5 cm (ver figura 105):

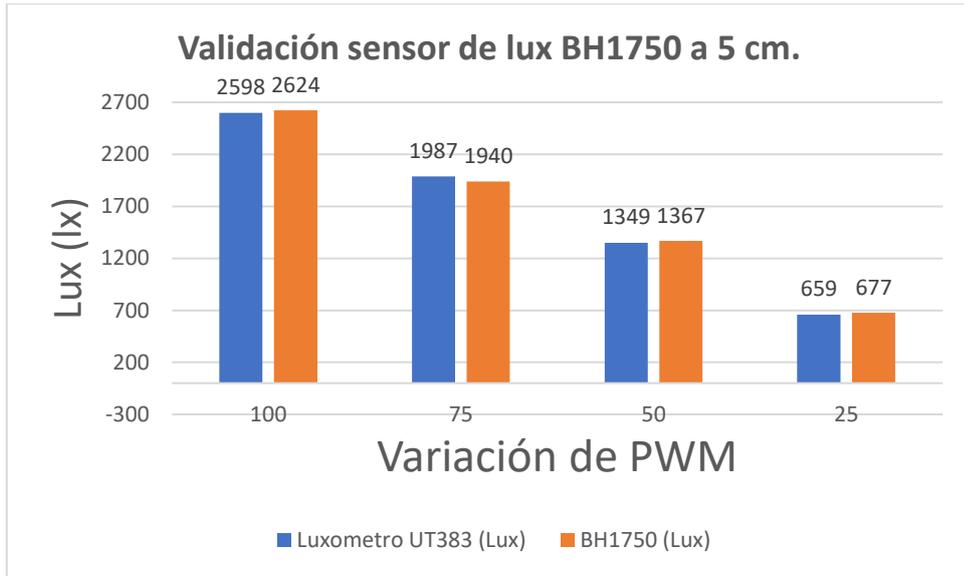


Figura 105: Validación del sensor de lux a 5 cm  
Elaboración: los autores

A 10 cm: (ver figura 106)

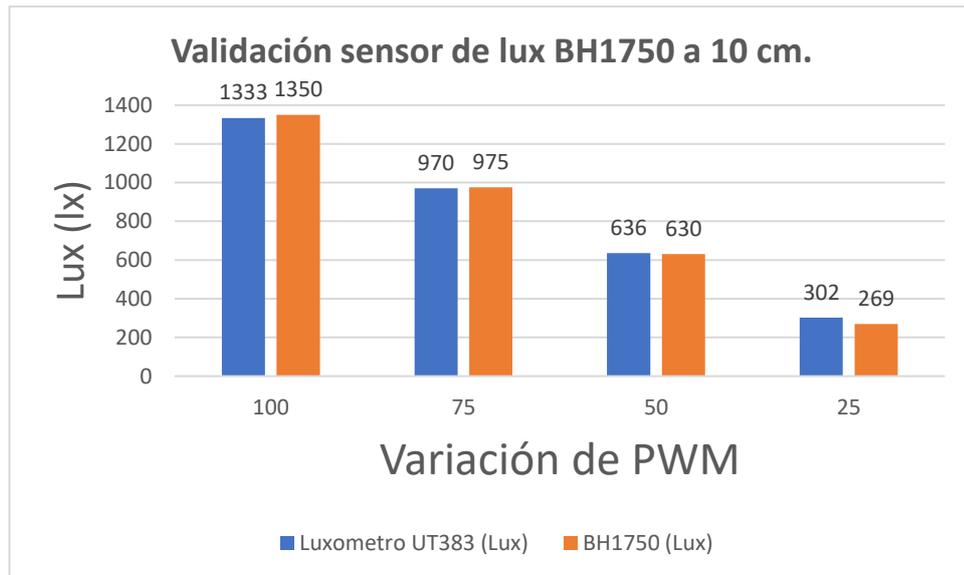


Figura 106: Validación del sensor de lux a 10 cm  
Elaboración: los autores

A 15 cm. (ver figura 107)

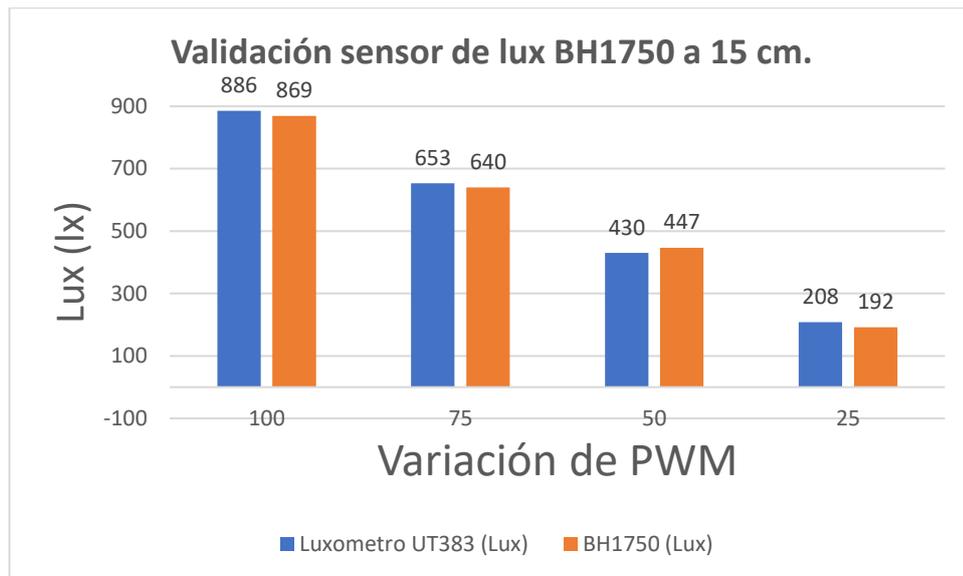


Figura 107: Validación del sensor de lux a 15 cm  
Elaboración: los autores

A 20 cm. (ver figura 108)

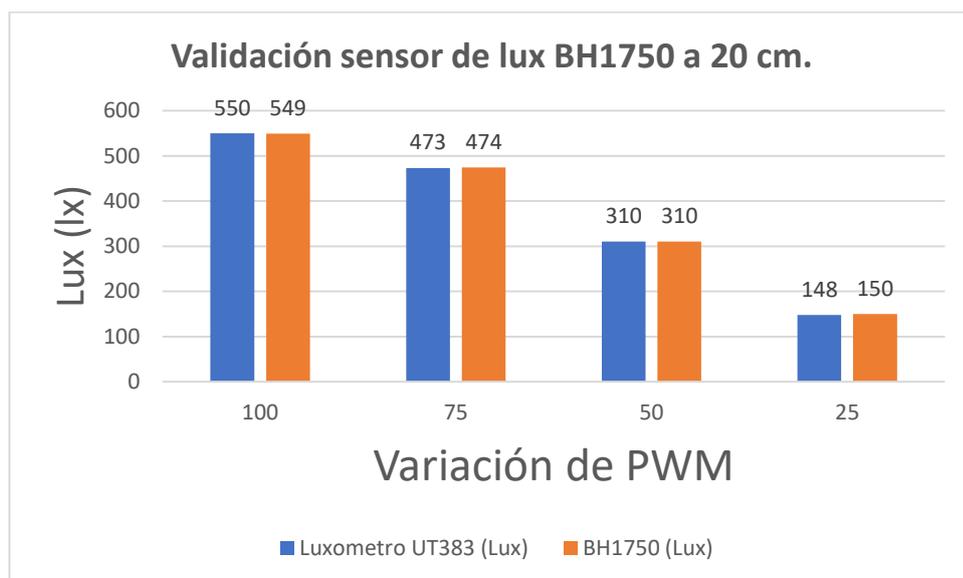


Figura 108: Validación del sensor de lux a 20 cm  
Elaboración: los autores

Se concluye que a mayor distancia se encuentre el dispositivo emisor de luz de los sensores (tanto el sensor de lux BH1750 como el luxómetro digital UT383) menor será la variación de iluminancia percibida por ambos dispositivos, esto debido a que mientras más alejada esté la fuente emisora de luz su distribución de iluminancia será más uniforme.

### 5.3 Pruebas del sensor de humedad

Para el proceso de validación del sensor de humedad se utilizó una maceta de 16cm de diámetro con tierra seca, a la cual se le fue agregando agua por cada muestra. Se colocaron ambos sensores al centro de la maceta y lo más cerca posible para poder obtener una medida más parecida entre ambos. Se tuvo que esperar 72 segundos entre prueba y prueba pues esto es lo que demora el higrómetro digital WH0291 en transferir la data recibida a su respectiva pantalla LCD.

#### 5.3.1 Mediciones

Para llevar a cabo las mediciones del sensor de humedad relativa del suelo se tomaron dieciséis muestras en una maceta a la cual se le iba agregando 20 ml de agua en cada prueba. Estas se realizaron a una temperatura ambiente de 24.2°C y en un ambiente cerrado.

En la tabla 5.13 se aprecia un total de 30 pruebas del sensor de humedad relativa YL69.

Tabla 42: Medición del sensor de humedad relativa YL69

Prueba	Sensor YL69 (%)
1	21.00
2	24.00
3	27.00
4	30.00
5	33.00
6	35.00
7	39.00
8	40.00
9	41.00
10	43.00
11	44.00
12	47.00
13	51.00
14	55.00
15	58.00
16	61.00
17	61.00
18	62.00
19	63.00
20	66.00
21	67.00

<b>22</b>	67.00
<b>23</b>	70.00
<b>24</b>	76.00
<b>25</b>	76.00
<b>26</b>	77.00
<b>27</b>	79.00
<b>28</b>	81.00
<b>29</b>	81.00
<b>30</b>	82.00

Elaboración: los autores

Se aprecia los resultados de linealidad en forma gráfica en la figura109

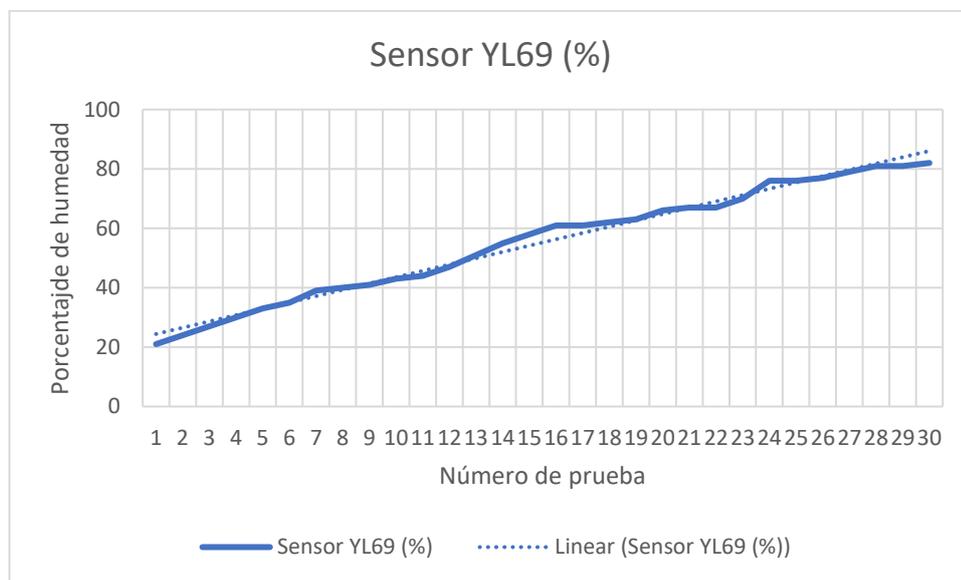


Figura 109: Medición de humedad, sensor YL69  
Elaboración: los autores

### 5.3.2 Validación

Para llevar a cabo las validaciones se utilizó un higrómetro digital marca ECOWITT modelo WH0291, el cual se puede apreciar en la figura 110 Este higrómetro tiene la capacidad de enviar una muestra cada 72 segundos vía inalámbrica a una pequeña pantalla LCD.



Figura 110: Higrómetro digital ECOWITT WH0291  
Fuente: ECOWITT

En la tabla 43 se aprecia las especificaciones del higrómetro WH0291.

Tabla 43: Especificaciones ECOWITT WH0291

Característica	Valor
Rango de humedad	0% - 100%
Resolución	1%
Frecuencia	433 MHz
Tiempo de actualización	72 segundos
Alimentación	1 x batería AA

Elaboración: los autores

En la tabla 44 se aprecia la validación entre el sensor de humedad YL69 y el higrómetro digital WH0921 de *ECOWITT*. Además, se muestra que la diferencia máxima es de 5% en la prueba 29 y -5% en la prueba 23. El porcentaje de error se obtuvo con la ecuación 27

Tabla 44: Validación YL69 vs WH0921

Prueba	Sensor YL69 (%)	Higrómetro ECOWITT WH0291 (%)	Diferencia (%)	Porcentaje de error
1	21	20	-1.00	-5.00
2	24	24	0.00	0.00
3	27	28	1.00	3.57
4	30	28	-2.00	-7.14
5	33	34	1.00	2.94
6	35	36	1.00	2.78
7	39	40	1.00	2.50

8	40	41	1.00	2.44
9	41	40	-1.00	-2.50
10	43	42	-1.00	-2.38
11	44	44	0.00	0.00
12	47	48	1.00	2.08
13	51	50	-1.00	-2.00
14	55	56	1.00	1.79
15	58	54	-4.00	-7.41
16	61	62	1.00	1.61
17	61	61	0.00	0.00
18	62	60	-2.00	-3.33
19	63	64	1.00	1.56
20	66	68	2.00	2.94
21	67	66	-1.00	-1.52
22	67	68	1.00	1.47
23	70	65	-5.00	-7.69
24	76	78	2.00	2.56
25	76	75	-1.00	-1.33
26	77	76	-1.00	-1.32
27	79	78	-1.00	-1.28
28	81	78	-3.00	-3.85
29	81	86	5.00	5.81
30	82	79	-3.00	-3.80

Elaboración: los autores

$$Error\ porcentual = \frac{h_c - h_s}{h_c} \times 100$$

Ecuación 27: Error porcentual del sensor de humedad YL69

Donde:

$h_c$  = Humedad higrómetro

$h_s$  = Humedad del sensor YL69

En la figura 111 se aprecia gráficamente los valores sensados de ambos sensores de humedad.

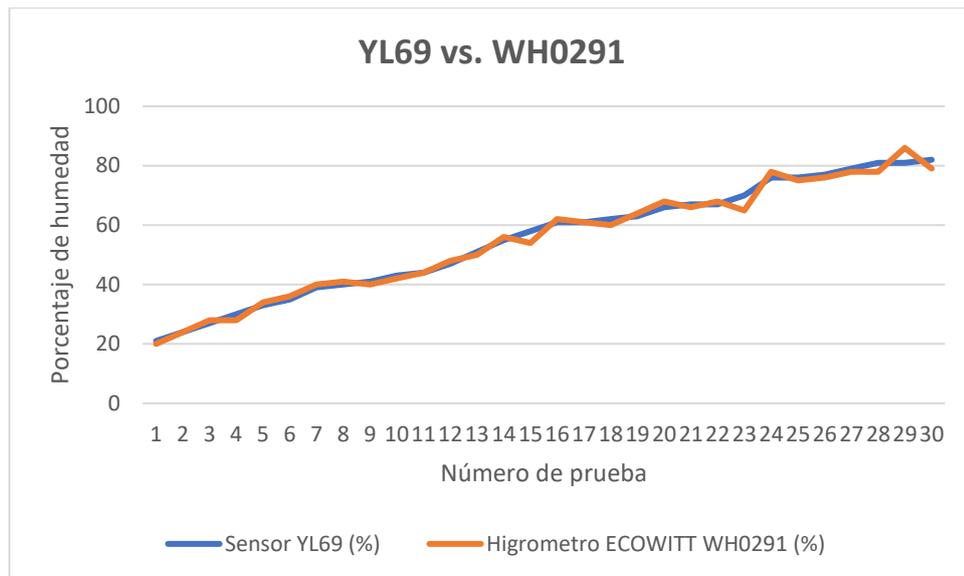


Figura 111: Comparación YL69 vs. WH0291  
Elaboración: los autores

Esta variación se aprecia gráficamente en la figura 112.

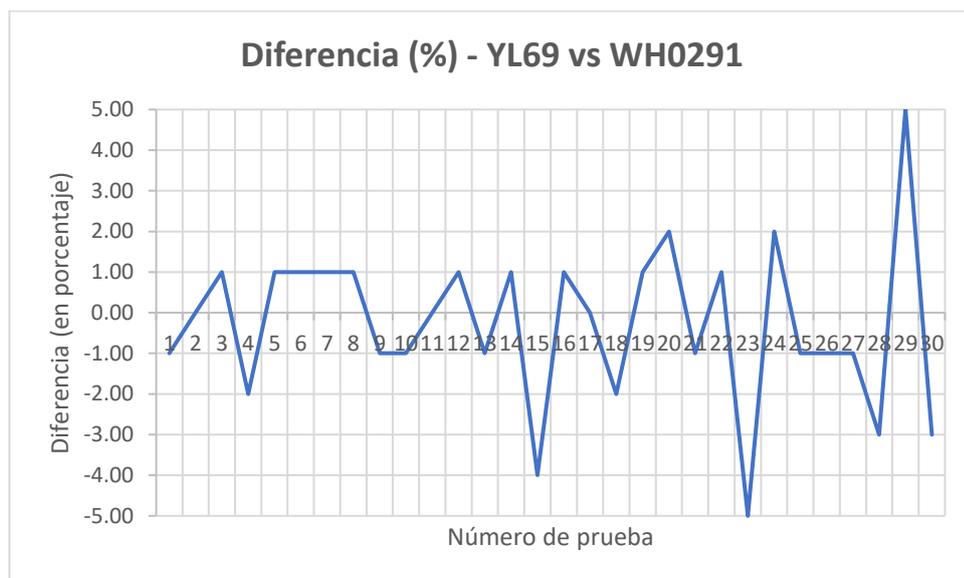


Figura 112: Diferencia porcentual, YL69 vs. WH0291  
Elaboración: los autores

Se concluye que el sensor de humedad relativa de suelo YL69 se encuentra dentro del rango de error indicado al inicio de este documento. Asimismo, cabe indicar que siempre existirá un porcentaje de error debido a que ambos sensores nunca podrán ocupar un mismo lugar en la maceta donde se llevó a cabo las mediciones, esto se traduce en un pequeño margen de variación.

## 5.4 Pruebas sensor de pH

Para llevar a cabo las mediciones del sensor de pH modelo E-201-C se utilizó una disolución amortiguadora o “*buffer*” para medir la exactitud del sensor. Los *buffers* contienen un polvo el cual, al mezclarse con 250ml de agua, simulan una medida exacta de pH. Para el fin de estas pruebas se utilizó los *buffers* con las siguientes medidas: 4.01, 6.86 y 9.18 (ver figura 113) pues esos simulan valores ácidos (4.01), neutros (6.86) y alcalinos (9.18). Estas mediciones se realizaron en un ambiente cerrado con una temperatura de 24.3°C.



Figura 113: Buffers de pH  
Elaboración: los autores

### 5.4.1 Mediciones

En la tabla 45 se aprecia las mediciones de pH del sensor E-201-C. Según la hoja de especificaciones, se recomienda dejar reposar el sensor en la muestra alrededor de 1 minuto para lograr una medición más exacta.

Tabla 45: Mediciones de pH sensor E-201-C

Buffer	E-201-C	Diferencia	Porcentaje
4.01	4.11	-0.1	2.49
6.86	6.98	-0.12	1.75
9.18	9.38	-0.2	2.18

Elaboración: los autores

Como se aprecia en la tabla anterior, la diferencia oscila entre 0.1 a 0.2 dependiendo de la prueba. Según lo investigado esta variación no sería de gran importancia al momento cultivar distinto tipo de plantas (Ministerio de Agricultura y Ganadería), existiría un inconveniente si este error fuera mayor a 0.5 niveles de pH. El porcentaje de variación se halló con la ecuación 28

$$\text{Error porcentual pH} = \frac{p_c - p_s}{p_c} \times 100$$

Ecuación 28: Error porcentual del sensor de pH E-201-C

Donde:

$p_c = \text{pH phimetro PH - TDS}$

$p_s = \text{pH phimetro E - 201 - C}$

#### 5.4.2 Validación

Para llevar a cabo la validación del sensor E-201-C se comparó las medidas con un pH-metro digital, marca KETOKEK modelo PH-TDS, en la tabla 46 se aprecia sus especificaciones.

Tabla 46: Especificaciones pH-metro digital PH-TDS

Característica	Valor
Rango de medición	0 - 14 pH
Resolución	0.01 pH
Precisión	± 0.01 pH
Temperatura de operación	0°C. a 60°C.
Alimentación	2x1.5VDC (pila tipo LR44)

Elaboración: los autores

En la figura 114 se aprecia gráficamente dicho pH-metro digital



Figura 114: pH-metro digital PH-TDS

Fuente: Google.com

Para la validación del sensor de acidez se compararon las medidas de ambos sensores con respecto a las medidas indicadas en los *buffers*, estas pruebas se llevaron a cabo a una temperatura ambiente de 24.5 °C.

Tabla 47: Validación de sensor de pH

Buffer	E-201-C	PH-TDS	Diferencia	Porcentaje
<b>4.01</b>	4.11	4	0.11	2.75
<b>6.86</b>	6.98	6.65	0.33	4.96
<b>9.18</b>	9.38	9.16	0.22	2.40

Elaboración: los autores

Como se aprecia en la tabla 47, la variación máxima entre ambos sensores es de 0.33 niveles de pH, lo que convierte al sensor E-201-C en un sensor confiable para los distintos análisis de acidez requeridos.

## 5.5 Costos

### 5.5.1 Costos e inversión total de la investigación

En la tabla 48 se aprecia el costo e inversión total de la investigación, en el cual se declara todos los componentes comprados para realizar este sistema. Cabe indicar que se compró más de la cantidad requerida en caso alguno de los elementos llegue a fallar.

Tabla 48: Costos e inversión total de la investigación

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	USO	PROVEEDOR	UNIDAD	COSTO UNIT.	PRECIO
MICROCONTROLADOR	ATMEGA328P	Controlar el sistema	PARURO	3	S/ 12.00	S/. 36.00
SENSOR DE HUMEDAD	YL69	Lectura de registro de humedad suelo	ELECTROTEC	5	S/ 15.00	S/. 75.00
SENSOR DE TEMPERATURA	DS18B20	Lectura de registro de temperatura	PARURO	2	S/ 18.00	S/. 36.00
SENSOR DE LUZ	TSL2561	Lectura de registro de luz	PARURO	5	S/ 12.00	S/. 60.00
MOSFET	IRF3205	Etapas de potencia para PWM	PARURO	9	S/ 3.50	S/. 32.00
MINI BOMBA DE AGUA	MINI WATER GEAR	Direccionar el agua	PARURO	4	S/ 18.00	S/. 72.00
MESA DE TRABAJO	0.95cm x 0.65cm	Albergar el proyecto	CARPINTERO	1	S/ 250.00	S/. 250.00
MÓDULO RELAYS	2 RELAYS	Controlar interruptor eléctrico	PARURO	1	S/ 12.00	S/. 12.00
LEDS BLANCOS	MLBAWT-A1-0000-000WDY	5500K	MOUSER	100	S/ 0.68	S/. 68.00
LEDS ROJOS	SST-10-DR-B90-G660	660nm	MOUSER	60	S/ 4.05	S/. 243.00

<b>LEDS AZULES</b>	<b>LB G6SP</b>	<b>470nm</b>	<b>MOUSER</b>	<b>30</b>	<b>S/ 3.02</b>	<b>S/. 90.60</b>
<b>SHIPPING</b>	<b>FedEx</b>	<b>Envío componentes</b>	<b>FedEx</b>	<b>1</b>	<b>S/ 30.00</b>	<b>S/. 30.00</b>
<b>CUBIERTA SUPERIOR DE LA MESA</b>	<b>95cm x 30 cm</b>	<b>Cubrir las macetas</b>	<b>CARPINTERO</b>	<b>1</b>	<b>S/ 50.00</b>	<b>S/. 50.00</b>
<b>PCB CIRCUITO</b>	<b>FIBRA DE VIDRIO</b>	<b>Alberga circuito impreso</b>	<b>JOBARECI</b>	<b>1</b>	<b>S/ 40.00</b>	<b>S/. 40.00</b>
<b>MATRIZ LEDS</b>	<b>FIBRA DE VIDRIO</b>	<b>Matriz de led de distintos colores</b>	<b>DELCOMP</b>	<b>2</b>	<b>S/ 200.00</b>	<b>S/. 400.00</b>
<b>CABLES</b>	<b>Estañados</b>	<b>10m. de cada color (6 colores)</b>	<b>PARURO</b>	<b>60</b>	<b>S/ 0.50</b>	<b>S/. 30.00</b>
<b>CONECTORES MOLEX</b>	<b>Conectores</b>	<b>Conectar sensores al PCB</b>	<b>PARURO</b>	<b>50</b>	<b>S/ 0.30</b>	<b>S/. 15.00</b>
<b>RASPBERRY PI</b>	<b>3B+</b>	<b>Procesar información</b>	<b>RASPBERRY</b>	<b>1</b>	<b>S/. 250</b>	<b>S/. 250.00</b>
<b>PANTALLA LCD 7"</b>	<b>1024 x 600</b>	<b>Visualizar interfaz gráfica de Processing</b>	<b>PARURO</b>	<b>1</b>	<b>S/. 300</b>	<b>S/. 300.00</b>
<b>MULTÍMETRO</b>	<b>FLUKE 179</b>	<b>Medir, voltaje, continuidad, corriente</b>	<b>FIA USMP</b>	<b>1</b>	<b>S/. 450</b>	<b>S/. 450.00</b>
<b>OSCILOSCOPIO DIGITAL</b>	<b>TEKTRONICS</b>	<b>Visualizar las salidas</b>	<b>FIA USMP</b>	<b>1</b>	<b>S/. 2,500</b>	<b>S/. 2,500.00</b>
<b>ATMEL STUDIO</b>	<b>VERSION 1.8.2</b>	<b>Ambiente para programar nuestro PIC</b>	<b>ATMEL</b>	<b>1</b>	<b>S/. 0</b>	<b>S/. 0.00</b>
<b>LUXÓMETRO DIGITAL</b>	<b>UNI-T MODELO UT393</b>	<b>Validación sensor de lux</b>	<b>PARURO</b>	<b>1</b>	<b>S/. 80</b>	<b>S/. 80.00</b>
<b>HIGRÓMETRO DIGITAL</b>	<b>ECOWITT MODELO WH0291</b>	<b>Validación sensor de humedad</b>	<b>AMAZON</b>	<b>1</b>	<b>S/. 120</b>	<b>S/. 120.00</b>
<b>TERMÓMETRO DIGITAL</b>	<b>ATLIMITED MODELO ST9265</b>	<b>Validación sensor de temperatura</b>	<b>MERCADO LIBRE</b>	<b>1</b>	<b>S/. 50</b>	<b>S/. 50.00</b>
<b>PHIMETRO DIGITAL</b>	<b>KETOKEK MODELO PH-TDS</b>	<b>Validación sensor de pH</b>	<b>MERCADO LIBRE</b>	<b>1</b>	<b>S/. 70</b>	<b>S/. 70.00</b>

CABLE TECHFLEX	---	Agrupar cables	MERCADO LIBRE	10	S/. 3	S/. 25.00
BALDES	REY	Almacenar agua para la planta	MERCADO CENTRAL	2	S/. 3	S/. 6.00
EMBUDOS	REY	Direccionar agua	MERCADO CENTRAL	2	S/. 3	S/. 6.00
CAUTIN	30W	Para soldar componentes	PARURO	1	S/ 40.00	S/. 40.00
ESTAÑO	Con pasta soldadora	Soldadura	PARURO	1	S/ 5.00	S/. 5.00
MULTÍMETRO	FLUKE 179	Medir, voltaje, continuidad, corriente	FIA USMP	1	S/. 450	S/. 450.00
PASAJES				1	S/. 50	S/. 50.00
<b>TOTAL</b>						<b>S/. 5,941.10</b>
<b>RESTANDO EQUIPO PORPORCIONADO POR LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - USMP</b>						
MULTÍMETRO	FLUKE 179	Medir, voltaje, continuidad, corriente	FIA USMP	1	S/. 450	S/. 450.00
OSCILOSCOPIO DIGITAL	TEKTRONICS	Visualizar las salidas	FIA USMP	1	S/. 2,500	S/. 2,500.00
<b>COSTO FINAL</b>						<b>S/. 2,991.10</b>

Elaboración: los autores

### 5.5.2 Costos e inversión total del producto final

En la tabla 49 se aprecia el costo e inversión total del producto final, en esta tabla se lista los elementos necesarios para poder desarrollar el sistema diseñado.

Tabla 49: Costos e inversión total del producto final

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	USO	PROVEEDOR	UNIDAD	COSTO UNIT.	PRECIO
MICROCONTROLADOR	ATMEGA328P	Controlar el sistema	PARURO	1	S/ 12.00	S/. 12.00
SENSOR DE HUMEDAD	YL69	Lectura de registro de humedad suelo	ELECTROTEC	2	S/ 15.00	S/. 30.00
SENSOR DE TEMPERATURA	DS18B20	Lectura de registro de temperatura	PARURO	1	S/ 18.00	S/. 18.00
SENSOR DE LUZ	TSL2561	Lectura de registro de luz	PARURO	2	S/ 12.00	S/. 24.00
MOSFET	IRF3205	Etapas de potencia para PWM	PARURO	6	S/ 3.50	S/. 21.00
MINI BOMBA DE AGUA	MINI WATER GEAR	Direccionar el agua	PARURO	2	S/ 18.00	S/. 36.00
MESA DE TRABAJO	0.95cm x 0.65cm	Albergar el proyecto	CARPINTERO	1	S/ 250.00	S/. 250.00
MÓDULO RELAYS	2 RELAYS	Controlar interruptor eléctrico	PARURO	1	S/ 12.00	S/. 12.00
LEDS BLANCOS	MLBAWT-A1-0000-000WDY	5500K	MOUSER	4	S/ 0.68	S/. 2.72
LEDS ROJOS	SST-10-DR-B90-G660	660nm	MOUSER	6	S/ 4.05	S/. 24.00
LEDS AZULES	LB G6SP	470nm	MOUSER	4	S/ 3.02	S/. 12.08

<b>CUBIERTA SUPERIOR DE LA MESA</b>	<b>95cm x 30 cm</b>	<b>Cubrir las macetas</b>	<b>CARPINTERO</b>	<b>1</b>	<b>S/ 50.00</b>	<b>S/. 50.00</b>
<b>PCB CIRCUITO</b>	<b>FIBRA DE VIDRIO</b>	<b>Alberga circuito impreso</b>	<b>JOBARECI</b>	<b>1</b>	<b>S/ 40.00</b>	<b>S/. 40.00</b>
<b>MATRIZ LEDS</b>	<b>FIBRA DE VIDRIO</b>	<b>Matriz de led de distintos colores</b>	<b>DELCOMP</b>	<b>2</b>	<b>S/ 100.00</b>	<b>S/. 200.00</b>
<b>CABLES</b>	<b>Estañados</b>	<b>10m. de cada color (6 colores)</b>	<b>PARURO</b>	<b>10</b>	<b>S/ 0.50</b>	<b>S/. 5.00</b>
<b>CONECTORES MOLEX</b>	<b>Conectores</b>	<b>Conectar sensores al PCB</b>	<b>PARURO</b>	<b>12</b>	<b>S/ 0.30</b>	<b>S/. 4.00</b>
<b>RASPBERRY PI</b>	<b>3B+</b>	<b>Procesar información</b>	<b>RASPBERRY</b>	<b>1</b>	<b>S/. 185</b>	<b>S/. 185.00</b>
<b>PANTALLA LCD 7"</b>	<b>1024 x 600</b>	<b>Visualizar interfaz gráfica de Processing</b>	<b>PARURO</b>	<b>1</b>	<b>S/. 200</b>	<b>S/. 200.00</b>
<b>ATMEL STUDIO</b>	<b>VERSIÓN 1.8.2</b>	<b>Ambiente para programar nuestro PIC</b>	<b>ATMEL</b>	<b>1</b>	<b>S/. 0</b>	<b>S/. 0.00</b>
<b>CABLE TECHFLEX</b>	<b>---</b>	<b>Agrupar cables</b>	<b>MERCADO LIBRE</b>	<b>10</b>	<b>S/. 3</b>	<b>S/. 25.00</b>
<b>BALDES</b>	<b>REY</b>	<b>Almacenar agua para la planta</b>	<b>MERCADO CENTRAL</b>	<b>2</b>	<b>S/. 3</b>	<b>S/. 6.00</b>
<b>EMBUDOS</b>	<b>REY</b>	<b>Direccionar agua</b>	<b>MERCADO CENTRAL</b>	<b>2</b>	<b>S/. 3</b>	<b>S/. 6.00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>				<b>2</b>	<b>S/. 350</b>	<b>S/. 700.00</b>
<b>TOTAL</b>						<b>S/. 1,862.80</b>

Elaboración: los autores

## CONCLUSIONES

Conclusiones de control de humedad relativa del suelo y porcentaje de PWM:

1. Se concluye que la programación para el umbral de la humedad relativa de suelo cumple con las instrucciones dadas por la aplicación; es decir, si el umbral está programado al 50% de humedad relativa, la mini bomba de agua se detiene. Generando que el flujo de agua se detenga con un tiempo de retraso inferior a 1 segundo.
2. Debido a las diversas permutaciones que se pueden hacer con el PWM de las tres luces, los resultados, en el estudio del crecimiento de plantas, puede variar dependiendo de las variaciones que ejecute el operador del sistema.
3. El tiempo de respuesta del control del PWM de las luces es de aproximadamente 1 segundo, debido a la carga computacional que recibe el microprocesador ATmega.

Matriz LED

4. Existe una relación inversamente proporcional entre la resistencia que se usa en la matriz y la corriente que fluye por el LED. Con los cálculos correctos se puede lograr una gran eficiencia del LED sin perjudicar el consumo de corriente.
5. El diseño de la matriz de luces es totalmente escalable dependiendo de las pruebas y simulaciones que puedan hacerse con la distancia y número de LEDs

6. Se concluye que los valores reales de voltaje, corriente y potencia de la matriz de LEDs se aproximan a los valores calculados en el diseño de la misma, esto se debe a que, por ejemplo, la alimentación real no es 5VDC, sino que se encuentra entre 4.8 y 5.16 VDC. Además, los valores de resistencia se encuentran en un rango de error de  $\pm 5\%$

#### Conclusiones de mesa de trabajo

7. Se concluye que el desarrollo y diseño de la mesa cumple con los principios de ergonomía en el trabajo al tener una altura de, aproximadamente, 80cm de altura. Además, tiene la capacidad de albergar a todos los componentes electrónicos incluyendo sensores, actuadores y sistema de drenaje para dos muestras. Asimismo, la cubierta superior, que alberga la matriz LED, es removible en caso de que se desee sembrar cultivos de mayor altura.

#### Conclusiones de acondicionamiento, calibración y pruebas de validación

##### Sensor de Lux

8. Mientras mayor sea la distancia entre el sensor de Lux y el emisor de luz, mayor será la estabilidad de las mediciones. Esto se debe al ángulo de visión del LED, que provoca que, a mayor distancia, mayor el área iluminada, pero menor su intensidad.
9. La posición de los sensores influye en la adquisición de data; es decir, para la calibración, los sensores, mientras no compartan la misma posición "x,y" en el espacio, no podrán tener los mismos valores. Es por eso que para la medición se tomó en cuenta la distancia y posición entre los sensores de lux.

##### Sensor de Temperatura

10. La mayor diferencia, entre el sensor de temperatura del sistema y un termómetro digital, fue de 0.3 C°. haciéndolo un sensor sumamente confiable.
11. El acondicionamiento en el algoritmo, al promediar 100 muestras, causó que la medición fuese más estable.

## Sensor de Humedad

12. La posición, en el área de medición, influye en la adquisición de data; debido a que, la humedad relativa de la tierra, en la posición  $x_1$ ,  $y_1$  del área examinada, no es igual a la humedad en la posición  $x_2$ ,  $y_2$ . Esto se debe a características propias del tipo de tierra usada y a la filtración de agua en ella, variables que no son parte del estudio de la tesis. Es por eso que se llega a un error de hasta el 5%, concluyendo que la distancia y posición de los sensores son sumamente importantes para la calibración y confiabilidad de la data adquirida.

## Sensor de pH

13. La adquisición de data se ve distorsionada según la posición horizontal o vertical en la que se encuentre el sensor. La calibración y construcción de las tablas de validación se dieron con el sensor en posición vertical para la mayor estabilidad de la medición.

14. Se toma aproximadamente un minuto para que el sensor estabilice la señal y evalúe la acidez o alcalinidad de la muestra.

## RECOMENDACIONES

1. Utilizar envases de plástico al momento de realizar la calibración del sensor de pH, pues si se utiliza un envase de metal los sensores enviarán información incorrecta pues influye en la acidez del líquido a medir.
2. Calibrar los sensores de humedad para que ambos se encuentren lo más cerca posible el uno del otro y envíen información sobre la misma área sensada.
3. Validar el sensor de lux teniendo en cuenta que ambos sensores nunca van a estar no muestre ambos sensores en la misma posición, existe esto se traduce en un porcentaje de error.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

### Electrónicas:

Administración de Seguridad y Salud Ocupacional. (s.f.). *Prevención de lesiones muscoesqueléticas*. Recuperado el 15 de 09 de 2017, de <https://www.osha.gov/Publications/OSHA3749Spanish.pdf>

AeroGarden. (s.f.). *AeroGarden Bounty Elite Wifi*. Obtenido de <https://www.aerogarden.com/bounty-elite-wi-fi.html>

AeroGarden. (s.f.). *AeroGarden Farm Plus*. Obtenido de <https://www.aerogarden.com/farm-plus.html>

AeroGarden. (s.f.). *AeroGarden Harvest Elite*. Obtenido de <https://www.aerogarden.com/harvest-elite.html>

AeroGarden. (s.f.). *AeroGarden Sprout Led*. Obtenido de <https://www.aerogarden.com/sprout-led.html/>

AeroGarden. (s.f.). *AeroGardens*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2018, de <https://www.aerogarden.com/aerogardens.html>

ATM LIMITED. (s.f.). *ST-9265*. Recuperado el 20 de noviembre de 2018, de <http://www.atmltd.com/product-detail.php?id=185&lang=en>

Banco de Reserva del Perú. (01 de 12 de 2016). Recuperado el 28 de 03 de 2017, de <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/anuales/pbi-por-sectores>

- Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (Marzo de 2016). *La economía del cambio climático en el Perú*. Obtenido de <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7285/La-Economia-del-Cambio-Climatico-en-el-Peru.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2017). *La economía del cambio climático en el Perú: Impactos en el sector agricultura*. Obtenido de <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7734/Infografia-La-economia-del-cambio-climatico-en-el-Peru-impactos-en-el-sector-Agricultura.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Banco Mundial . (Diciembre de 2017). *Tomando impulso en la agricultura peruana*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2018, de <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/781561519138355286/pdf/123395-WP-SPANISH-PUBLIC.pdf>
- Banco Mundial. (06 de Junio de 2013). *Perú: un país megadiverso que invierte en áreas naturales protegidas*. Recuperado el 23 de Agosto de 2018, de <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2013/06/06/peru-pais-megadiverso-que-invierte-en-areas-naturales-protegidas-gpan-pronanp>
- BBC. (24 de Marzo de 2011). *Japón: cómo afecta la radiación al medio ambiente*. Recuperado el 24 de Agosto de 2018, de [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/03/110322\\_japon\\_radiacion\\_impacto\\_ambiental\\_lh](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/03/110322_japon_radiacion_impacto_ambiental_lh)
- BBC. (10 de Enero de 2015). *Led, la luz que puede salvar al mundo*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2018, de [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/01/150102\\_iwonder\\_led\\_salvar\\_mundo\\_finde\\_dv](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/01/150102_iwonder_led_salvar_mundo_finde_dv)

- CANNA.es. (s.f.). *La importancia de la acidez del pH para tus plantas*. Recuperado el 24 de noviembre de 2018, de [http://www.canna.es/importancia\\_acidez\\_del\\_ph\\_para\\_tus\\_plantas](http://www.canna.es/importancia_acidez_del_ph_para_tus_plantas)
- ClickAndGrow. (s.f.). *SmartGarden*. Obtenido de <https://www.clickandgrow.com/>
- ClickAndGrow. (s.f.). *Wall Farm*. Obtenido de <https://www.clickandgrow.com/products/wall-farm-indoor-vertical-garden>
- CNN. (19 de Septiembre de 2016). *The only way is up: Vertical farming in Kyoto*. (CNN) Recuperado el 23 de Agosto de 2018, de <https://edition.cnn.com/travel/article/kyoto-vertical-farm-spread/index.html>
- Codrey.com. (16 de Julio de 2018). *What is Serial Communication and How it works?* Recuperado el 19 de Octubre de 2018, de <https://www.codrey.com/embedded-systems/serial-communication-basics/>
- Concepto.de. (s.f.). *Concepto de PH*. Recuperado el 23 de Octubre de 2018, de <https://concepto.de/ph/>
- Courtland, R. (8 de octubre de 2014). *No Nobel for the Father of the LED*. Recuperado el 11 de septiembre de 2018, de <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/semiconductors/devices/no-nobel-for-the-father-of-the-led>
- CREE. (s.f.). *Cree XLamp ML Family LEDs*. Obtenido de [www.cree.com](http://www.cree.com)
- Curiosamente. (26 de Junio de 2016). *¿Qué es la luz? ¿Por qué vemos colores?*. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=5E3kl\\_7\\_cT0](https://www.youtube.com/watch?v=5E3kl_7_cT0)
- Earl, B. (2 de Agosto de 2013). *Memory Architectures*. Recuperado el 16 de Octubre de 2018, de <https://learn.adafruit.com/memories-of-an-arduino/arduino-memory-architecture>

Economica.pe. (5 de Marzo de 2018). *¿Cuál es la importancia de la agricultura en el Perú de hoy?* Recuperado el 11 de Septiembre de 2018, de <https://www.economica.pe/actualidad/1041-cual-es-la-verdadera-importancia-de-la-agricultura-en-el-peru-de-hoy>

EcuRed. (s.f.). *PH (Acidez)*. Recuperado el 23 de Octubre de 2018, de [https://www.ecured.cu/PH\\_\(acidez\)](https://www.ecured.cu/PH_(acidez))

efectoLED. (15 de Septiembre de 2017). *¿Qué es el ángulo de apertura LED?* Obtenido de <http://www.efectoled.com/blog/angulo-apertura-led/>

ElectronicStudio. (s.f.). *Bluetooth to Serial Port Module*. Recuperado el 15 de 09 de 2017, de <http://www.electronicaestudio.com/docs/istd016A.pdf>

Engineering 360. (s.f.). *GlobalAspec.com*. Recuperado el 20 de 08 de 2017, de [http://www.globalspec.com/learnmore/optics\\_optical\\_components/optoelectronics/lux\\_meters\\_light\\_meters](http://www.globalspec.com/learnmore/optics_optical_components/optoelectronics/lux_meters_light_meters)

*Espectro electromagnético*. (s.f.). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_electromagn%C3%A9tico](https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico)

Expansion.com. (26 de Enero de 2012). *Agricultores de Fukushima prohíben cultivar en zonas con riesgo de radiación*. Recuperado el 24 de Agosto de 2018, de <http://www.expansion.com/agencia/efe/2012/01/26/16903482.html>

Fernandez, J. G. (s.f.). *Magnitudes y Unidades de Medida*. Obtenido de <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/fotometria/magnitud.html>.

Foundation, P. (s.f.). *Welcome to Processing*. Obtenido de <https://processing.org/>

GESTIÓN. (04 de Abril de 2017). *El Niño Costero: Pérdidas para el agro y la ganadería superan los S/ 2,100 millones*. (Gestión.pe) Recuperado el 22 de Agosto de 2018, de <https://gestion.pe/economia/nino-costero-perdidas-agro-ganaderia-superan-s-2-100-millones-132388>

Gestión Perú. (18 de 03 de 2013). *El sector agrario representa el 6% del PBI, pero emplea a mas del 25% de la PEA*. Recuperado el 03 de 04

de 2017, de <http://gestion.pe/economia/sector-agrario-representa-6-pbi-emplea-mas-25-pea-2061757>

Heydarizadeh, P., Zahedi, M., Boroomand, A., Agharokh, M., Sahba, M., Schoefs, B., & Sabzalian, M. (2014). *High performance of vegetables, flowers, and medicinal plants in a red-blue LED incubator for indoor plant production*. Recuperado el 30 de Agosto de 2018, de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201500059048>

Holonyak, N., & Bevacqua, S. (23 de diciembre de 2004). *COHERENT (VISIBLE) LIGHT EMISSION FROM Ga(As<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>) JUNCTIONS*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2018, de <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.1753706>

How To Mechatronics. (s.f.). *How I2C Communication Works*. Recuperado el 19 de Octubre de 2018, de <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/how-i2c-communication-works-and-how-to-use-it-with-arduino/>

IEEE Spectrum. (2 de Enero de 2018). *The Green Promise of Vertical Farms*. Recuperado el 26 de Agosto de 2018, de <https://spectrum.ieee.org/energy/environment/the-green-promise-of-vertical-farms>

INEI. (Mayo de 2017). *Panorama de la Economía Peruana*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2018, de [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1424/libro.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1424/libro.pdf)

Instituto de ecología (27 de julio de 2012). [http://proyectos.inecol.edu.mx/redcafesustentable/downloads/Despachho\\_27\\_06\\_SACAF\\_acidez\\_suelo\\_FINAL.pdf](http://proyectos.inecol.edu.mx/redcafesustentable/downloads/Despachho_27_06_SACAF_acidez_suelo_FINAL.pdf). Recuperado el 22 de noviembre de 2018, de [http://proyectos.inecol.edu.mx/redcafesustentable/downloads/Despachho\\_27\\_06\\_SACAF\\_acidez\\_suelo\\_FINAL.pdf](http://proyectos.inecol.edu.mx/redcafesustentable/downloads/Despachho_27_06_SACAF_acidez_suelo_FINAL.pdf)

- International Rectifier. (25 de Enero de 2001). *IRF3205*. Recuperado el 8 de Noviembre de 2018, de <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf3205.pdf>
- Kozai, T. (Enero de 2013). *Plant Factory in Japan – Current Situation and Perspectives*. Recuperado el 25 de Agosto de 2018, de [https://www.researchgate.net/publication/260871244\\_Plant\\_Factory\\_in\\_Japan\\_-\\_Current\\_situation\\_and\\_perspectives](https://www.researchgate.net/publication/260871244_Plant_Factory_in_Japan_-_Current_situation_and_perspectives)
- La Luz*. (s.f.). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Luz>
- La República. (6 de Enero de 2007). *Desabastecimiento de frutas en Lima*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2018, de <https://larepublica.pe/sociedad/260050-desabastecimiento-de-frutas-en-lima>
- Llaneza Alvarez, F. (2008). *ERGONOMIA Y PSICOSOCIOLOGIA APLICADA: MANUAL PARA LA FORMACION DEL ESPECIALISTA*. Valladolid: LEX NOVA.
- Lorenzo Chang- Navarro, J., & Carlos de la Torre, T. (s.f.). *La tarifa de agua con fines agrarios*. Recuperado el 14 de septiembre de 2018, de [http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/gestion\\_agua\\_crisis\\_institucional/gestion\\_agua\\_crisis\\_institucional\\_cap8.pdf](http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/gestion_agua_crisis_institucional/gestion_agua_crisis_institucional_cap8.pdf)
- Luminus. (2017). *SST-10-DR Deep Red Led*. Obtenido de [www.luminus.com](http://www.luminus.com)
- Massa, G. D. (Diciembre de 2008). *Plant Productivity in Response to LED Lighting*. Recuperado el 28 de Agosto de 2018, de <http://hortsci.ashspublications.org/content/43/7/1951.full.pdf+html>
- Mathas, C. (27 de Octubre de 2011). *Conceptos básicos sobre sensores de temperatura*. Recuperado el 24 de Octubre de 2018, de <https://www.digikey.com/es/articles/techzone/2011/oct/temperature-sensors-the-basics>
- Meng Li, L. T. (Mayo de 2012). *A Kind of Imitated Environment System for Plant Growth*. Recuperado el 30 de Agosto de 2018, de <http://ieeexplore.ieee.org/document/6242981/>

- MINAGRI. (Diciembre de 2016). *Problemas tipo de la agricultura peruana*.  
Obtenido de Minagri.gob.pe: <http://minagri.gob.pe/portal/objetivos/22-sector-agrario/vision-general/190-problemas-en-la-agricultura-peruana>
- MINAGRI. (03 de Enero de 2018). *Sector Agricultura se consolidó el 2017 como el segundo generador de mayores divisas para el Perú*.  
(MINAGRI.gob) Recuperado el 22 de Agosto de 2018, de  
<http://minagri.gob.pe/portal/publicaciones-y-prensa/noticias-2018/20660-sector-agricultura-se-consolido-el-2017-como-el-segundo-generador-de-mayores-divisas-para-el-peru-2>
- Ministerio de Agricultura y Ganaderia. (s.f.). *Acidez del suelo*. Recuperado el 20 de noviembre de 2018, de  
[http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/acidez\\_suelo.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/acidez_suelo.pdf)
- Molex. (s.f.). *Sistema de cable a placa Mini-Latch*. Recuperado el 7 de Noviembre de 2018, de  
[https://www.espanol.molex.com/molex/products/family?key=minilatch&channel=products&chanName=family&pageTitle=Introduction&parentKey=wire\\_to\\_board\\_connectors](https://www.espanol.molex.com/molex/products/family?key=minilatch&channel=products&chanName=family&pageTitle=Introduction&parentKey=wire_to_board_connectors)
- Nakamura, S., Mukai, T., & Senoh, M. (4 de junio de 1998). *Candela-class high-brightness InGaN/AlGaIn double-heterostructure blue-light-emitting diodes*. Recuperado el 12 de septiembre de 2018, de  
<https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.111832>
- Nobel Prize. (7 de octubre de 2014). *Press release, new light to illuminate the world*. Recuperado el 14 de septiembre de 2018, de  
<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2014/press-release/>
- Oh, K.-H. S.-M. (Agosto de 2013). *Leaf Shape, Growth, and Antioxidant Phenolic Compounds of Two Lettuce Cultivars Grown under Various Combinations of Blue and Red Light-emitting Diodes*. Recuperado el 30 de Agosto de 2018, de  
<http://hortsci.ashspublications.org/content/48/8/988.full.pdf+html?sid=9173555f-7631-49b9-abda-0eeed0f2d13b>

- OSRAM. (5 de Setiembre de 2011). *LB G6SP*. Obtenido de <https://www.osram.es/index-2.jsp>
- Ozy.com. (s.f.). *THE ROBOTS ARE COMING ... FOR THE FARMS*. Recuperado el 24 de Agosto de 2018, de <https://www.ozy.com/rising-stars/the-robots-are-coming-for-the-farms/70693>
- Pérez, G. (s.f.). *Espectro electromagnético*. Obtenido de [https://www.espectrometria.com/espectro\\_electromagntico](https://www.espectrometria.com/espectro_electromagntico)
- Peru Opportunity Fund. (15 de Julio de 2011). *Diagnostico de la agricultura en el Perú*. Recuperado el 28 de Marzo de 2017, de [http://www.peruopportunity.org/uploads/posts/34/Diagno\\_stico\\_de\\_la\\_Agricultura\\_en\\_el\\_Peru\\_-\\_web.pdf](http://www.peruopportunity.org/uploads/posts/34/Diagno_stico_de_la_Agricultura_en_el_Peru_-_web.pdf)
- Portillo, M. A. (2006). *Manual de agricultura protegida los 5 pilares*. Escuela Agrícola Panamericana, 2014.
- Publimetro. (22 de Marzo de 2017). *¿Cómo afecta 'El Niño Costero' a la 'sólida' economía del Perú?* Recuperado el 23 de Agosto de 2018, de <https://publimetro.pe/actualidad/noticia-como-afecta-nino-costero-solida-economia-peru-57999>
- Roberto Salas, J. F. (s.f.). *TÉCNICAS DE DISEÑO, DESARROLLO MONTAJE DE CIRCUITOS IMPRESOS*. Recuperado el 15 de 10 de 2017, de [http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/26205/1/tecnicas\\_diseno.pdf](http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/26205/1/tecnicas_diseno.pdf)
- ROHM SEMICONDUCTOR. (Noviembre de 2011). *Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC*. Recuperado el 7 de Noviembre de 2018, de <https://www.mouser.com/ds/2/348/bh1750fvi-e-186247.pdf>
- RPP Perú. (04 de Abril de 2017). *El Niño costero: S/ 2,100 millones en pérdidas para el agro y ganadería*. Recuperado el 23 de Agosto de 2018, de <https://rpp.pe/economia/economia/el-nino-costero-s-2100-millones-en-perdidas-para-el-agro-y-ganaderia-noticia-1041653>

RUIZ CORRAL, J. A., MEDINA GARCÍA, G., GONZÁLEZ ACUÑA, I. J., FLORES LÓPEZ, H. E., RAMÍREZ OJEDA, G., ORTIZ TREJO, C., . . . MARTÍNEZ PARRA, R. A. (2013). *Requerimientos Agroecológicos de Cultivos*. Jalisco: Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, Campo Experimental Centro Altos de Jalisco.

Schneir, E. R. (Agosto de 2010). *La gestión pública de la innovación agraria en el Perú: antecedentes y perspectivas*. Recuperado el 28 de Marzo de 2017, de <http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/bitstream/10757/333150/1/74-240-1-PB.pdf>

Shogo Kohraku, K. K. (11-18 de Mayo de 2003). *NEW METHODS FOR SOLAR CELLS MEASUREMENT BY LED SOLAR SIMULATOR*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/1306332>

Sierra, C. (1982). *La Acidez y la alcalinidad de los suelos*. Osorno.

SPREAD Co., LTD. (s.f.). *A new way to grow vegetables*. Recuperado el 24 de Agosto de 2018, de <http://spread.co.jp/en/company/>

Stanford.edu. (s.f.). *RISC vs CISC*. Recuperado el 16 de Octubre de 2018, de <https://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/soco/projects/2000-01/risc/riscisc/>

Statista. (2018). *China - Statistics & Facts*. Recuperado el 28 de Agosto de 2018, de <https://www.statista.com/topics/753/china/>

Techterms. (2 de 8 de 2013). *PCB*. Recuperado el 2 de 10 de 2018, de <https://techterms.com/definition/pcb>

United Nations Climate Change. (24 de Abril de 2015). *Estados Unidos anuncia un plan para reducir las emisiones de la agricultura*. Recuperado el 29 de Agosto de 2018, de <https://unfccc.int/es/news/estados-unidos-anuncia-un-plan-para-reducir-las-emisiones-de-la-agricultura>

United States Environmental Protection Agency. (s.f.). *Global Greenhouse Gas Emissions Data*. Recuperado el 29 de Agosto de 2018, de

<https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>

Universidad Autónoma del Estado de México. (2015). *Modelamiento y simulación de las etapas de modulación digital y acceso al medio para un satélite de órbita baja*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2018, de <http://www.redalyc.org/html/4988/498850166008/>

Universidad de las Américas de Puebla. (s.f.). *Conceptos de Radiofrecuencia*. Recuperado el 15 de 09 de 2017, de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/nocedal\\_d\\_jm/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/nocedal_d_jm/capitulo1.pdf)

University Of Illinois . (s.f.). *Lettuce*. Recuperado el 16 de noviembre de 2018, de <https://extension.illinois.edu/veggies/lettuce.cfm>

University of Twente, Department of Electrical Engineering. (6 de Marzo de 2016). *Implementation of Digital Signal Processing: Some Background on GFSK Modulation*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2018, de <http://wwwhome.ewi.utwente.nl/~gerezsh/sendfile/sendfile.php/gfsk-intro.pdf?sendfile=gfsk-intro.pdf>

Villanueva, V. V. (Abril de 2016). AGRICULTURA PERUANA: PROMESAS, DESCONOCIMIENTO Y OLVIDO. En V. V. Villanueva, *AGRICULTURA PERUANA: PROMESAS, DESCONOCIMIENTO Y OLVIDO* (págs. 110-111). Lima, Lima, Perú. Recuperado el 28 de Marzo de 2017, de <https://www.iproga.org.pe/descarga/agriculturaperuana2016.pdf>

Wanadoo.es. (Octubre de 2004). *Dispositivos lógicos microprogramables*. Recuperado el 18 de Octubre de 2018, de <http://perso.wanadoo.es/pictob/microcr.htm#memoria>

Wikipedia. (s.f.). *Eficacia luminosa*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Eficacia\\_luminosa](https://es.wikipedia.org/wiki/Eficacia_luminosa)

Wikipedia. (s.f.). *Flujo Radiante*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Flujo\\_radiante](https://es.wikipedia.org/wiki/Flujo_radiante)

Wikipedia. (s.f.). *Iluminancia*. Obtenido de  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Emitancia\\_luminosa](https://es.wikipedia.org/wiki/Emitancia_luminosa)

Wikipedia. (s.f.). *Intensidad luminosa*. Obtenido de  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Intensidad\\_luminosa](https://es.wikipedia.org/wiki/Intensidad_luminosa)

Wikipedia. (s.f.). *Modulación por ancho de pulsos*. Obtenido de  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n\\_por\\_ancho\\_de\\_pulsos](https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_ancho_de_pulsos)

World Resources Institute. (23 de Junio de 2015). *Infographic: What Do Your Country's Emissions Look Like?* Recuperado el 29 de Agosto de 2018, de <https://www.wri.org/blog/2015/06/infographic-what-do-your-countrys-emissions-look>