



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE PARÁMETROS DE UN  
INVERNADERO AUTOMATIZADO**

**Eddy Romeo López Ordoñez**

Asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar

Guatemala, febrero de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE  
PARÁMETROS DE UN INVERNADERO AUTOMATIZADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**EDDY ROMEO LÓPEZ ORDOÑEZ**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS EDUARDO GUZMÁN SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

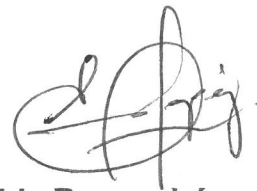
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino Gonzáles
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE PARÁMETROS DE UN INVERNADERO AUTOMATIZADO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 4 de octubre de 2017.



**Eddy Romeo López Ordoñez**

Guatemala, 1 de octubre de 2019

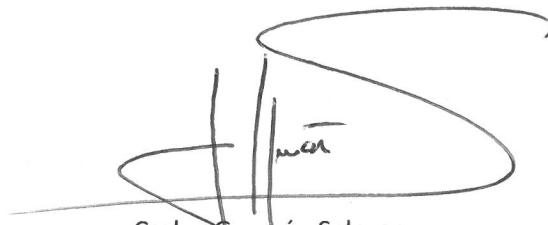
Ingeniero  
Julio César Solares Peñate  
Coordinador Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado ingeniero Solares:

Hago de su conocimiento por este medio, que he concluido la revisión del trabajo de graduación del estudiante Eddy Romeo López Ordoñez, titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE PARÁMETROS DE UN INVERNADERO AUTOMATIZADO**. El cual ha cumplido con los propósitos que se plantearon para su elaboración.

Por lo que, doy por **APROBADO** el trabajo referido, indicando además que, tanto el estudiante López Ordoñez como el suscrito, somos responsables por su contenido.

Reciba un cordial saludo,



Carlos Guzmán Salazar

ASESOR

**CARLOS GUZMAN SALAZAR**  
Ingeniero Electricista  
Col. No. 2762



Guatemala, 11 de octubre de 2019

**Señor Director**  
**Armando Alonso Rivera Carrillo**  
**Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**  
**Facultad de Ingeniería, USAC**

Estimado Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE PARÁMETROS DE UN INVERNADERO AUTOMATIZADO**, desarrollado por el estudiante **Eddy Romeo López Ordoñez**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
**Ing. Julio César Solares Peñate**  
**Coordinador de Electrónica**





REF. EIME 74. 2019.

**El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: EDDY ROMEO LÓPEZ ORDOÑEZ titulado: DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE PARÁMETROS DE UN INVERNADERO AUTOMATIZADO, procede a la autorización del mismo.**

  
**Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo**



**GUATEMALA, 8 DE NOVIEMBRE 2019.**

Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.063-2020

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE PARÁMETROS DE UN INVERNADERO AUTOMATIZADO**, presentado por el estudiante universitario: **Eddy Romeo López Ordoñez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Aurelia Cordova Estrada'.

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, febrero de 2020

AACE/asga



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la vida, sabiduría, fuerza y salud para permitirme crecer a nivel personal y profesional.
<b>Mis padres</b>	Héctor López y Bertita Ordoñez, quienes siempre me apoyaron y aconsejaron.
<b>Mis hermanas</b>	Por su amistad y apoyo que siempre me brindan.
<b>Mis abuelos</b>	Por su sabiduría y consejos, que me han ayudado a formarme y ser una mejor persona.
<b>Mis amigos</b>	Con quienes compartimos experiencias buenas y malas durante la carrera.
<b>Seres queridos</b>	Porque siempre preguntaron por mis avances y logros.
<b>A ti</b>	Eliz Lemus, por compartirme tu amor y apoyarme en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la casa de estudios en donde me he formado profesionalmente.
<b>Ing. Carlos Guzmán</b>	Por su apoyo en la revisión de este proyecto.
<b>Pueblo de Guatemala</b>	Porque gracias al pueblo, tuve la oportunidad de continuar con mis estudios superiores.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. GENERALIDADES DEL SECTOR AGRÍCOLA EN GUATEMALA.....	1
1.1. Importancia del sector .....	1
1.2. Principales cultivos de exportación.....	2
1.3. Competitividad del sector .....	2
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Invernaderos.....	5
2.2. Tipos de invernaderos .....	5
2.3. Invernaderos automatizados .....	7
2.4. Factores que intervienen dentro de un invernadero .....	7
2.4.1. Humedad relativa.....	8
2.4.2. Temperatura .....	8
2.4.3. Contenido de CO <sub>2</sub> .....	9
2.4.4. Lluvia y viento .....	10
2.4.5. Radiación térmica .....	11
2.5. Sistemas de control automático.....	12
2.5.1. Clasificación de los sistemas de control .....	13
2.5.1.1. Sistema de control de lazo abierto.....	13

2.5.1.2.	Sistema de control de lazo cerrado .....	14
2.5.2.	Adquisición de señales.....	15
3.	MICROCONTROLADORES Y SENSORES .....	17
3.1.	Microcontroladores.....	17
3.1.1.	Arduino Uno REV3 .....	17
3.1.2.	MSP432P401R.....	19
3.1.3.	Ventajas y desventajas.....	20
3.1.4.	Entorno de desarrollo integrado .....	21
3.2.	Sensores .....	24
3.2.1.	Sensor de temperatura LM35.....	24
3.2.2.	Sensores DHT11 y DHT22.....	25
3.2.3.	Higrómetro FC-28.....	26
3.2.4.	Fotorresistencia LDR.....	28
4.	TRANSMISIÓN DE DATOS.....	29
4.1.	Módulo HC-06 .....	29
4.2.	ESP8266 .....	31
5.	ELEMENTOS ELECTROMECAÑICOS .....	33
5.1.	Motor paso a paso.....	33
5.2.	Encendido y apagado de bomba de agua.....	35
6.	DESARROLLO DEL PROYECTO .....	37
6.1.	Prototipo del invernadero automatizado.....	37
6.1.1.	Toma de datos .....	38
6.1.1.1.	Sensor de luminosidad LRD.....	38
6.1.1.2.	Sensor de temperatura y humedad .....	40
6.1.1.3.	Sensor higrómetro FC-28 .....	43

6.1.2.	Presentación de datos .....	47
6.1.2.1.	Servidor web.....	47
6.1.3.	Flujo de toma y presentación de datos .....	49
6.1.4.	Mejoras por implementar .....	50
CONCLUSIONES .....		53
RECOMENDACIONES .....		55
BIBLIOGRAFÍA.....		57



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Sistema de control de lazo abierto .....	14
2.	Sistema de control lazo cerrado .....	15
3.	Arduino Uno REV3.....	19
4.	MSP-EXP432P401RLaunchPad™ DevelopmentKit .....	20
5.	IDE para Arduino.....	22
6.	IDE energia .....	23
7.	Sensor de temperatura LM35.....	24
8.	Sensor DHT22 .....	26
9.	Higrómetro FC-28.....	27
10.	Fotorresistencia LDR.....	28
11.	Módulo HC-06 visto desde arriba .....	30
12.	Modelo ESP-12 .....	32
13.	Motor Nema 17 17HS2408.....	34
14.	Módulo LM192 .....	34
15.	Módulo Relay 4CH 5VDC.....	35
16.	Diagrama de conexión LDR - Arduino .....	38
17.	Programa lectura de sensor LDR.....	39
18.	Lectura de sensor LDR .....	40
19.	Diagrama de conexión DTH11 - Arduino.....	41
20.	Programa lectura de sensor DHT11 .....	42
21.	Lectura de sensor DHT11 .....	43
22.	Diagrama de conexión FC-28 .....	44
23.	Programa lectura de sensor FC-28 .....	45

24.	Lectura de sensor DHT11 .....	46
25.	Configuración servidor web .....	48
26.	Despliegue de información ESP-12 .....	49
27.	Esquema general del prototipo .....	50
28.	Arduino Mega .....	52
29.	Arduino Due.....	52

## TABLAS

I.	Características Arduino Uno REV3.....	18
II.	Características del LM35 .....	25
III.	Características del DHT22 .....	26
IV.	Características higrómetro FC-28.....	27
V.	Conexión entre HC-06 y Arduino .....	30
VI.	Especificaciones de HC-06.....	31
VII.	Especificaciones de ESP8266 .....	32



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>DC</b>	Corriente directa
<b>dBm</b>	Decibelio-milivatio
<b>C</b>	Grados Celsius
<b>F</b>	Grados Fahrenheit
<b>K</b>	Grados Kelvin
<b>Kb</b>	Kilobit
<b>Mbps</b>	Megabit por segundo
<b>MHz</b>	Megahercio
<b>μA</b>	Microamperio
<b>mA</b>	Miliamperio
<b>mV</b>	Milivoltio
<b>mm</b>	Milímetro
<b>Ω</b>	Ohmio
<b>Cds</b>	Sulfuro de Cadmio
<b>V</b>	Voltios
<b>VAC</b>	Voltios de corriente alterna



## GLOSARIO

<b>Actuador</b>	Dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica, en la activación de un proceso, con la finalidad de generar un efecto sobre algún elemento externo.
<b>ADC</b>	Sistema que convierte una señal análoga en digital.
<b>Agroquímico</b>	Producto químico utilizado en agricultura.
<b>Criptogámica</b>	Enfermedad de las plantas causada por un hongo u otro organismo.
<b>Divisa</b>	Moneda extranjera oficial, distinta de la moneda legal en el propio país.
<b>Dosel vegetal</b>	Hábitat que comprende la región de las copas y regiones superiores de los árboles de un bosque.
<b>Electromecánico</b>	Dispositivo mecánico que es dirigido mediante electricidad.
<b>Espora</b>	Célula vegetal reproductora que no necesita ser fecundada.
<b>Foliar</b>	De la hoja o relacionado con ella.

<b>GPIO</b>	Pin genérico en un chip, cuyo comportamiento se puede controlar por el usuario en tiempo de ejecución.
<b>Umbral</b>	Valor mínimo de activación.
<b>IDE</b>	Aplicación informática que proporciona servicios integrales para facilitarle al desarrollador o programador el desarrollo de software.
<b>ISM</b>	Bandas de radio reservadas internacionalmente para el uso de energía de radiofrecuencia (RF) para fines industriales, científicos y médicos distintos de las telecomunicaciones.
<b>LDR</b>	Componente electrónico cuya resistencia disminuye con el aumento de intensidad de luz incidente.
<b>Microcontrolador</b>	Circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria.
<b>Microprocesador</b>	Circuito integrado central más complejo de un sistema informático.
<b>Organismos Patógenos</b>	Son organismos capaces de provocar enfermedades infecciosas en el organismo donde se encuentran.

<b>Parra</b>	Planta de vid que se deja crecer y se sostiene sobre un soporte pegado a la pared o sobre un armazón.
<b>Parral</b>	Conjunto de tallos de parra que, sostenidos por un armazón, forman una cubierta.
<b>PIB</b>	Magnitud macroeconómica que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de demanda final de un país o región durante un período determinado.
<b>Policarbonato</b>	Es un grupo de termoplásticos, fácil de trabajar, moldear y termoformar, y es utilizado ampliamente en la manufactura moderna.
<b>Polietileno</b>	Polímero preparado a partir de etileno.
<b>Poliéster</b>	Resina plástica que se obtiene mediante una reacción química, es resistente a la humedad y a los productos químicos.
<b>Polinizar</b>	Acción de transportar el polen al lugar adecuado de la planta para que germine o produzca semillas.
<b>PWM</b>	Modulación por ancho de pulso.
<b>Radiómetro</b>	Instrumento empleado para medir la intensidad de las radiaciones electromagnéticas o acústicas.

<b>Silvicultura</b>	Conjunto de actividades relacionadas con el cultivo, el cuidado y la explotación de los bosques y los montes.
<b>Sistema radicular</b>	Conjunto de raíces de las plantas.
<b>Sustrato</b>	Superficie en la que una planta o un animal vive.
<b>Telemetría</b>	Tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema.
<b>TTL</b>	Tecnología de construcción de circuitos integrados electrónicos digitales, basada en el uso de transistores bipolares.
<b>Venlo</b>	Tipo de invernadero, con estructura integrada por perfiles de acero galvanizado que, a diferencia de otros está cubiertos por paredes de vidrio.
<b>PVC</b>	Material termoplástico obtenido del cloruro de vinilo.

## RESUMEN

Este trabajo de graduación consiste en el diseño de un invernadero automatizado, utilizando equipo de bajo costo y que permita al usuario tener el constante monitoreo y control de aquellos parámetros que influyen en el crecimiento adecuado de los productos agrícolas.

Al inicio del trabajo, se presentan de manera breve, algunas de las generalidades del sector agrícola en Guatemala. Seguidamente, se describen los factores o variables que influyen en el crecimiento de las plantas, así como algunos de los sensores que se utilizarán para tomar los datos de tales variables.

Cada uno de los sensores se conectará a una placa controladora Arduino que procesará los datos obtenidos de cada sensor. También, tomará decisiones para la activación de los circuitos o equipos que compensarán los cambios climáticos dentro del invernadero, como el sistema de riego o motores para el techo corredizo.

Se utilizarán protocolos de comunicación inalámbrica que permitirá un mayor alcance para la visualización de información obtenida, consultada a través de una página web.

Por último, se proponen mejoras para el desarrollo de tal invernadero, así como el uso de energía renovable, para la conservación del planeta.





# OBJETIVOS

## General

Diseñar un sistema de supervisión y control de parámetros de un invernadero automatizado.

## Específicos

1. Monitorear las variables principales para el crecimiento óptimo de los productos agrícolas.
2. Configurar sensores de temperatura, humedad relativa, humedad del suelo y luminosidad para la reducción de consumo de agua y energía eléctrica.
3. Implementar una interfaz web para el despliegue de los datos obtenidos por los sensores.



## INTRODUCCIÓN

Una de las actividades principales de la economía de Guatemala reside en la producción agrícola, ya que es el sector productivo con mayor importancia para el país. Los productos principales de exportación son café, banano, azúcar y cardamomo. Sin embargo, para exportarlos, deben seleccionarse, según su calidad.

Para cultivar productos agrícolas de calidad, el terreno, el nivel de humedad del suelo, la temperatura del ambiente y la intensidad de luz, entre otros, deben someterse a controles estrictos.

Por ello, se deben supervisar y monitorear continuamente estas variables, para que la producción agrícola sea de calidad y disminuya la pérdida de producción, tiempo y dinero. Sin embargo, esto se aplica a las grandes industrias y no a los pequeños y medianos productores, debido a su alto costo y personas especializadas en el tema.

En el ámbito mundial, la escasez de agua es un problema generalizado. Por ello, se propone la creación de un sistema en el cual sea posible monitorear y controlar los parámetros primordiales donde crecerá la vegetación, como la temperatura del ambiente, la humedad del suelo, e intensidad de luz. Así mismo, brinda una solución práctica y accesible a los pequeños y medianos agricultores para reducir el consumo de energía eléctrica, desperdicio de agua. De esta forma se obtendrá mejor rendimiento en el mantenimiento, monitoreo y visualización de los parámetros.



# 1. GENERALIDADES DEL SECTOR AGRÍCOLA EN GUATEMALA

## 1.1. Importancia del sector

Una de las actividades principales de la economía en Guatemala es la producción agrícola, ya que es el sector productivo con mayor importancia para el país. Los productos de exportación principales son café, banano, azúcar y cardamomo.

Aunque en el último trimestre del año 2018, la participación de los sectores de agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca dentro del PIB equivale al 13,5 %<sup>1</sup>, su importancia no debe ser valorada únicamente con términos en su participación dentro del PIB, sino por sus efectos en la generación de divisas, empleo y salarios.

Productos como vegetales, cardamomo, frutas frescas, azúcar, plátano, frijol, plantas ornamentales entre otros propician que Guatemala ofrezca diversidad de productos orgánicos, con alto valor agregado. Es la segunda industria de exportación más grande del país.

---

<sup>1</sup> Producto Interno Bruto Trimestral, Cuarto trimestre de 2018. [https://www.banguat.gob.gt/cuentasnac/4T\\_2018\\_JM.pdf](https://www.banguat.gob.gt/cuentasnac/4T_2018_JM.pdf) Cuadro 2 Producto Interno Bruto Trimestral. Consulta: abril 2019.

## **1.2. Principales cultivos de exportación**

Guatemala presenta variedad de climas, fauna y flora debido a su topografía que, además, propicia el cultivo de diversidad de productos comestibles que contribuyen al desarrollo económico del país.

Entre los cultivos principales de exportación están el algodón, banano, cacao, café, cardamomo, cebolla, frijol, maíz, plátano, y tomate.

Según informe del Banco de Guatemala<sup>2</sup>, los productos más importantes según su participación en el valor total de exportaciones para el año 2018, fueron: banano, café, cardamomo, y azúcar, representando el 39,9 % del total exportado. Los principales destinos de las exportaciones fueron Estados Unidos de América, Centroamérica, Eurozona, México y Arabia Saudita.

## **1.3. Competitividad del sector**

Para reducir la pobreza, la producción y comercialización de los productos de la agricultura familiar es la primera oportunidad para el cambio.

Las exportaciones de productos agrícolas es la oportunidad para que los agricultores guatemaltecos lleguen a los mercados internacionales para obtener ingresos económicos que mejoren su nivel de vida.

La producción, para el mercado nacional es muy importante, pero también el sector debe adaptarse a los cambios, la globalización y la incorporación de

---

<sup>2</sup> Nota al comercio exterior al mes de abril 2019 [https://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/ceie/CG/2019/nota\\_comercio\\_mensual.htm&e=143802](https://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/ceie/CG/2019/nota_comercio_mensual.htm&e=143802) Exportaciones. Consulta abril 2019.

procesos tecnológicos, para mejorar los procesos de producción para colocar los productos agrícolas en los mercados internacionales.





## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Invernaderos**

Un invernadero es un recinto cerrado donde la diferencia entre el clima interior y exterior se crea, principalmente, mediante la radiación solar y los métodos para retención del aire. Estos espacios cerrados sirven para proveer un ambiente apropiado para el cultivo de vegetales y aumentar la producción en comparación con los cultivos al aire libre, debido al control sobre las condiciones climáticas.

Entre las ventajas de cultivar en invernaderos están:

- Provee un microclima especial para el mejor crecimiento de los cultivos.
- Extiende los tiempos de producción.
- Protección de los cultivos de las inclemencias del tiempo y plagas.

### **2.2. Tipos de invernaderos**

La selección del tipo de invernadero se basa en factores o parámetros, entre los cuales están los siguientes:

- Según la temperatura
  - Invernaderos fríos.
  - Invernaderos cálidos.
  - Invernaderos templados.

- Según Materiales de cubierta
  - Invernaderos con vidrio.
  - Invernaderos con materiales plásticos.
    - En placas: policarbonato, poliéster.
    - En películas o films: Polietileno (PE), cloruro de polivinilo (PVC).
  
- Según su estructura
  - Invernaderos de madera.
  - Invernaderos de acero.
  - Invernaderos de hormigón.
  - Invernaderos de aluminio.
  - Invernaderos mixto o combinación de lo anterior (invernadero con cimentación de hormigón y estructura de acero).
  
- Según su forma
  - Invernadero capilla.
  - Invernadero curvo.
  - Invernadero parral.

De acuerdo con la mezcla de varias clasificaciones anteriores, se tienen los siguientes tipos de invernaderos, que son los modelos más comunes en el mundo:

- Invernaderos de cristal
  - Invernaderos tipo Venlo.
- Invernaderos de plástico
  - Invernaderos tipo Parral.
  - Invernaderos tipo Capilla.

- Invernaderos tipo Gótico.
- Invernaderos tipo Asimétrico o Tropical.
- Invernaderos tipo Túnel.
- Invernaderos de malla
  - Invernaderos tipo malla sombra.

### **2.3. Invernaderos automatizados**

Los invernaderos automatizados tienen la capacidad de controlar las variables o parámetros ambientales que afectan al cultivo.

En la actualidad, son varios los sistemas que existen en el mercado para controlar los parámetros climáticos de los invernaderos, como instalación de equipos de calefacción, radiómetros que indican el grado de luminosidad, control de apertura y cierre del sistema de riego, entre otros.

El funcionamiento de estos sistemas se basa en el empleo de un controlador al cual se conectan sensores que recogen los datos de los parámetros por controlar. El controlador procesa los datos y, luego, activa los circuitos actuadores y establece el valor correcto requerido para dichos parámetros.

### **2.4. Factores que intervienen dentro de un invernadero**

Los factores que intervienen en la creación de un microclima adecuado para cada invernadero son varios y deben considerarse en función de un estudio del clima existente. Aun cuando la construcción se haga en la misma zona, no se deben hacer copias de otros invernaderos, ya que pueden

requerirse variaciones importantes en su construcción para conseguir los resultados deseados.

#### **2.4.1. Humedad relativa**

La humedad relativa dentro de un invernadero interviene en la transpiración, en el crecimiento de los tejidos, en la fecundación, y también en el desarrollo de enfermedades criptogámicas.

Este aspecto se debe tomar en cuenta porque la planta se deshidrata ante la escasez de humedad en el ambiente y detiene su desarrollo. Esto se debe a que, durante el día, a medida que la temperatura del aire aumenta, la humedad relativa baja. Por otra parte, el exceso de humedad relativa, mayor a un 90 %, contribuye al crecimiento de esporas de algunos organismos patógenos.

Por lo cual, si una plantación es controlada eficientemente para que la humedad relativa esté por debajo de ese porcentaje, el crecimiento de la plantación será óptimo. En sentido contrario, si no se toma en cuenta este aspecto, sería notablemente costoso para el productor tanto en la reducción de la productividad como en la calidad de los frutos, así como en el incremento de los costos de producción.

#### **2.4.2. Temperatura**

Otro factor muy importante por considerar es la temperatura, ya que el crecimiento y desarrollo de los cultivos se detiene por debajo de los 10-12 grados Celsius y por encima de los 30-32 grados Celsius.

Por otra parte, la temperatura de la planta, el aire y del sistema radicular (situado en un medio diferente al aire, por ejemplo: suelo, sustrato, agua) presentan amplias variaciones debido a:

- Ciclos diarios (variación regular).
- Ciclos estacionarios (variación regular).
- Nubosidad (variación irregular a corto plazo).
- Posición de las hojas en el dosel vegetal (hojas de sol o de sombra).
- Altura del nivel foliar respecto de la superficie del suelo.
- Dimensión foliar.

La temperatura de la raíz de las plantas cultivadas en suelo depende, principalmente, de las variaciones diarias y estacionarias, así como la profundidad en la que se sitúa de la superficie del suelo.

Las raíces de las plantas cultivadas en sistemas sin suelo disponen de un volumen limitado de sustrato y agua, por lo que presentan menor inercia térmica. En estos sistemas de cultivo que requieren alta frecuencia de riego, debe tenerse en cuenta la incidencia de la temperatura del agua de riego.

Por lo tanto, el control de la temperatura dentro de un invernadero, contribuye a aumentar la productividad, mejorar la calidad de los frutos y reducción de riesgos y costos derivados de la utilización de agroquímicos.

### **2.4.3. Contenido de CO<sub>2</sub>**

El bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) forma parte de la composición del aire y es imprescindible para la fotosíntesis. Se puede considerar como promedio, que la mayoría de las especies tiene su óptimo de fotosíntesis entre 600 y 900 ppm

(partes por millón) de CO<sub>2</sub>. Una concentración óptima de CO<sub>2</sub> tendrá un efecto positivo en desarrollo y vigor de la planta en general y en el tamaño del fruto en particular.

Las plantas son más activas fotosintéticamente durante las primeras cuatro a cinco horas después del amanecer y cuando la temperatura del tejido es igual o superior a 19 °C, en tal punto es cuando debe ser necesario mantener los niveles más altos de CO<sub>2</sub> (800-900 ppm) en el invernadero. Sin embargo, a medida que se incrementa el estrés debido a luminosidad, temperatura y la humedad relativa hacia la mitad del día, los estomas o poros de las plantas, comienzan a cerrarse en respuesta a dicho estrés y se reduce la toma de CO<sub>2</sub>.

En consecuencia, cuando las plantas están estresadas se recomienda reducir o detener el enriquecimiento de CO<sub>2</sub> y mantener un nivel de 350 ppm a través de ventilación natural, esto asegura que las plantas tengan la cantidad suficiente de CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis, pero no a un nivel que cause más estrés a las plantas.

Cuando el estrés por temperatura, luminosidad y agua desciende en el cultivo por la tarde, puede incrementarse la concentración de CO<sub>2</sub> de nuevo hasta una hora antes de anochecer para tomar ventaja de la luz disponible.

#### **2.4.4. Lluvia y viento**

Dos factores que también intervienen en un invernadero son la lluvia y el viento. Los potenciales ingresos de lluvia impulsada por el viento deben ser controlados desde el diseño, ya que estos factores modifican la humedad en el área de cultivo.

El intercambio de aire entre el interior y exterior del invernadero afecta al contenido de vapor de agua y de CO<sub>2</sub>. En el caso de invernaderos sencillos, el balance térmico se logra aprovechando la velocidad y la dirección del viento. En ambientación térmica natural, el viento ejerce el papel de motor del invernadero y contribuye a:

- Balancear las temperaturas.
- Reducir la humedad relativa.
- Polinizar las plantas y oxigenar la plantación.

También la dirección del viento es determinante al diseñar un invernadero, ya que interviene en aspectos como:

- Protección de la estructura, ésta debe estar situada en dirección que evite ser dañada por los vientos.
- Evitar que los gases acumulados en la parte superior circulen entre las plantas.
- La orientación del cultivo para la ventilación de las plantas.

#### **2.4.5. Radiación térmica**

La mayor parte de las pérdidas energéticas se originan a través del techo del invernadero. La reducción de estas pérdidas se realiza por medio de la selección de materiales de cobertura y pantallas adecuadas.

Las pantallas permiten un correcto control de la luz e indirectamente el control de la temperatura y la humedad. Debido a que las pantallas son un elemento móvil, permiten abrirlas o cerrarlas voluntariamente, según las condiciones meteorológicas externas y las necesidades del cultivo.

Existen diversos tipos de pantallas que pueden ser empleadas en los invernaderos, a continuación, se describen algunas de ellas:

- Pantallas de ahorro energético: aquellas diseñadas para la retención del calor.
- Pantallas de sombreo: pantallas que reflejan la radiación solar y permiten el paso de aire a través de ellas.
- Pantallas mixtas: combinación de pantallas de ahorro energético y sombreo; durante el día proporcionan un determinado nivel de sombra y durante la noche retienen parte del calor producido.

## **2.5. Sistemas de control automático**

Los sistemas de control automático han jugado un papel importante en el avance de la ingeniería y la ciencia. “Los avances en la teoría y la práctica del control automático brindan medios para lograr el funcionamiento óptimo de los sistemas dinámicos, mejorar la calidad y disminuir los costos de producción, expandir el ritmo de producción, liberar de la complejidad de muchas rutinas, de las tareas manuales y repetitivas”<sup>3</sup>.

Un sistema es la combinación de componentes que actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo. Este no está limitado solamente a los objetivos físicos, sino que puede ser aplicado a fenómenos abstractos y dinámicos.

La palabra automático implica que existe cierta sofisticación en el sistema de control, lo cual se traduce que el sistema es capaz de adaptarse a una gama

---

<sup>3</sup> KATSUHIKO OGATA. *Ingeniería de Control Moderna*. Cuarta Edición. Madrid: Pearson Educación, S.A., 2003. ISBN 8420536784.



de variables de condiciones de operación y que es capaz de responder a la variedad de entradas de manera satisfactoria. Sin embargo, no todos los sistemas de control tienen la característica de ser automáticos, normalmente, esta característica se obtiene realimentando la variable de salida y comparándola con la señal de mando.

Es importante mencionar que el elemento más importante de cualquier sistema de control automático es el lazo de control realimentado básico. En un lazo de control realimentado la señal controlada debe realimentarse y compararse con la entrada de referencia y debe enviarse una señal de acción proporcional a la diferencia de la salida y de la entrada a través del sistema para corregir el error.

### **2.5.1. Clasificación de los sistemas de control**

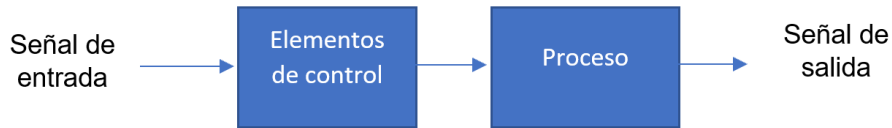
Los sistemas de control pueden ser clasificados como sistemas de lazo abierto y sistema de lazo cerrado. Esta distinción determina la acción de control, que es la que activa al sistema para producir la salida.

#### **2.5.1.1. Sistema de control de lazo abierto**

Corresponde al sistema en el cual la acción de control es independiente de la salida. La habilidad que estos sistemas tienen para ejecutar una acción con exactitud está determinada por su calibración. Calibrar significa establecer o restablecer una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.

Estos sistemas no tienen el problema de la inestabilidad, como los que se presentan en los de lazo cerrado.

Figura 1. **Sistema de control de lazo abierto**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

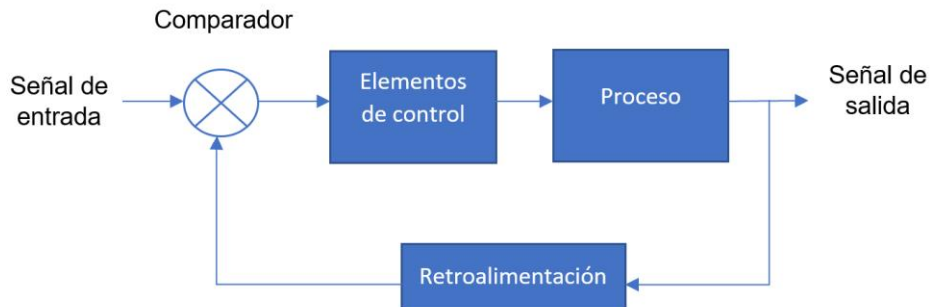
### 2.5.1.2. **Sistema de control de lazo cerrado**

En un sistema de control de lazo cerrado, la acción de control depende de la salida. Estos también son comúnmente llamados como sistemas de control por retroalimentación.

Las características sobresalientes en este tipo de sistema son:

- Aumento de la exactitud. La habilidad de reproducir la entrada fielmente.
- Reducción de la sensibilidad de la salida, correspondiente a una determinada entrada. Ante variaciones en las características del sistema.
- Efectos reducidos de la no linealidad. Cuando la entrada y la salida coinciden, no se requiere acción de control. Cuando existe una diferencia entre ambas, el dispositivo de comparación suministra una señal de acción al controlador.

Figura 2. **Sistema de control lazo cerrado**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

### 2.5.2. **Adquisición de señales**

Los sistemas de adquisición de señales se utilizan en un gran número de aplicaciones, se encuentran en áreas industriales y científicas, como la industria biomédica, aeroespacial y telemetría.

Los sistemas de adquisición de señales se pueden dividir en dos categorías principales, analógicos y digitales. Un sistema analógico trata la información en forma análoga, definida como una función continua, como una gráfica de voltaje contra el tiempo. Un sistema de adquisición digital trata la información obtenida de forma digital, esto quiere decir que una cantidad digital puede consistir en un número de pulsos discretos y discontinuos cuya relación de tiempo contiene información referente a la magnitud o naturaleza de la cantidad.

La elección de un tipo de adquisición de datos o señales depende del uso de los datos registrados. Se utilizan los sistemas analógicos cuando se requiere un amplio ancho de banda o cuando se pueda tolerar poca exactitud.

Por otro lado, los sistemas digitales se utilizan cuando el proceso físico que en estudio varía poco y cuando se necesita una alta exactitud y bajo costo por canal. Sin embargo, los sistemas digitales en general son más complejos que los analógicos. Así también, los sistemas digitales, requieren convertidores para cambiar voltajes analógicos a cantidades digitales discretas e inversamente, la información digital pueda convertirse de nuevo en analógica, como voltaje o corriente, la cual puede utilizarse como una cantidad de realimentación que controla un proceso industrial.

### **3. MICROCONTROLADORES Y SENSORES**

En este capítulo se describen los posibles microcontroladores y sensores a utilizar durante el proyecto.

#### **3.1. Microcontroladores**

Serán los encargados de procesar la información recibida por los sensores y tomar acciones para adecuar los parámetros, para el crecimiento adecuado de los cultivos.

##### **3.1.1. Arduino Uno REV3**

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar, para construir dispositivos digitales y dispositivos interactivos que puedan sentir y controlar objetos del mundo real. Arduino se enfoca en acercar y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios.

Arduino Uno está basado en el microcontrolador ATmega328P, el cual es el encargado del procesamiento de instrucciones que se almacenan en la memoria del dispositivo. Cuenta con 14 pines/puertos digitales para uso general, de los cuales dos de ellos son para la comunicación serial, y seis pueden ser utilizadas como salidas PWM (*pulse-width modulation* por sus siglas en inglés). Cuenta también, con seis puertos de entrada analógica para la medición de datos a través de sensores, potenciómetros, entre otros, permiten la toma de datos reales y convertirlos a digitales para entendimiento del

microcontrolador. Para su alimentación, se utiliza una fuente de poder que podría variar desde los 7 voltios hasta los 12 voltios DC, para que el dispositivo opere a 5 voltios DC en su funcionamiento interno.

Es importante mencionar que, tanto los puertos digitales como los análogos cuentan con una tolerancia de un máximo de 20 mA por puerto, es decir que la carga que se le aplique a estos, no debe exceder dicha corriente, para evitar la pérdida de estos puertos y del mismo microcontrolador.

Para su programación, se utiliza la comunicación serial mediante USB tipo B, que permite la introducir las instrucciones directamente a la memoria y ejecutarlas a una alta velocidad gracias a su reloj de cristal de cuarzo interno que maneja frecuencias de 16 MHz.

Tabla I. **Características Arduino Uno REV3**

Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Puertos I/O digitales	14
Puertos analógicos	6
Memoria flash	32 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

Fuente: Arduino. <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>. Consulta: 14 de febrero de 2018.

Figura 3. **Arduino Uno REV3**



Fuente: Arduino. <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>. Consulta: 14 de febrero de 2018.

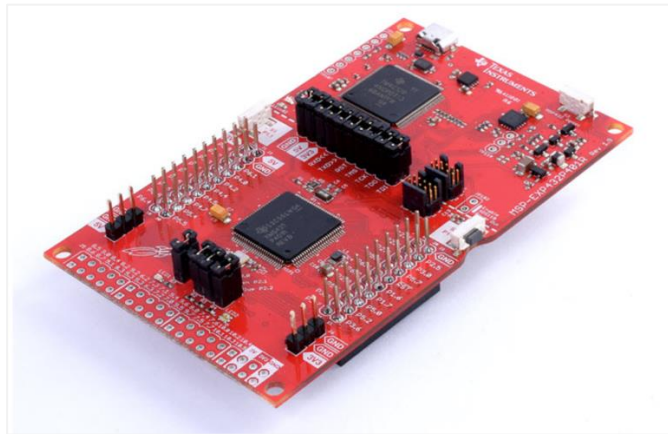
### 3.1.2. **MSP432P401R**

Es un microcontrolador de la compañía Texas Instruments. Posee un microprocesador de la familia ARM Cortex de 32 bits, cuenta con un reloj de 48 MHz de frecuencia para procesar aquellas instrucciones alojadas en la memoria flash de 256 Kb. La comunicación utilizada en esta placa se realiza mediante un Micro USB, que permite la interacción serial entre la computadora y el microcontrolador, así como su programación.

Cuenta con 48 puertos de entrada o salida con capacidad de interrupción y un suministro de voltaje de 3,3 voltios o 5 voltios DC, mientras que internamente maneja un rango de voltaje de 1,6 voltios a 3,7 voltios. El MSP 432 cuenta con un ADC o convertidor analógico digital de 14 bits, que permite la toma de muestra de los sensores con una alta exactitud.

Es importante mencionar que el nivel de complejidad en comparación con Arduino es mayor, sin embargo, permite obtener mayor beneficio en rapidez, exactitud y almacenamiento.

Figura 4. **MSP-EXP432P401RLaunchPad™ DevelopmentKit**



Fuente: Texas Instruments. <http://www.ti.com/tool/MSP-EXP432P401R#1>. Consulta: 25 de mayo de 2019.

### 3.1.3. **Ventajas y desventajas**

Entre las ventajas para la MSP432, es la velocidad con la que opera, ya que la diferencia de sus 48 MHz en comparación con los 16 MHz de frecuencia de reloj del Arduino, podría ser una opción más viable para leer la información de los sensores de una forma más rápida y con un consumo menor de potencia. Por otro lado, Arduino cuenta con una amplia compatibilidad con varios sensores del mercado, en comparación con la MSP432. Sin embargo, la placa MSP32 presenta una mayor capacidad para el almacenamiento de instrucciones, por lo cual, da la posibilidad de conectar una mayor cantidad de cantidad de sensores a los puertos.



Ambos microcontroladores presentan la desventaja de que realizan una instrucción a la vez, debido a que siguen una estructura lógica y de manera jerárquica.

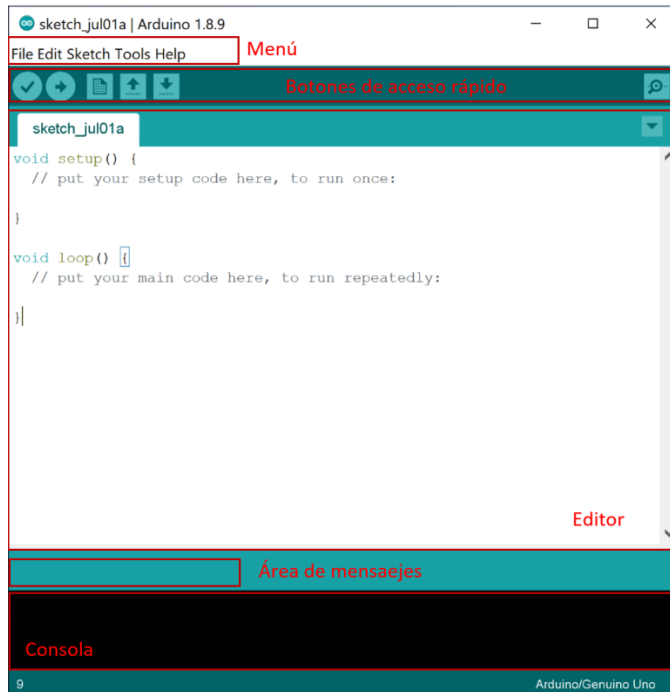
#### **3.1.4. Entorno de desarrollo integrado**

Para el desarrollo de código para Arduino y MSP432 se utilizará un entorno de desarrollo integrado (IDE, *Integrated Development Environment*, siglas del nombre en inglés) el cual es una aplicación que se utiliza para traducir las instrucciones que un usuario ingresa (lenguaje de alto nivel) a instrucciones entendibles para el microcontrolador (lenguaje máquina). También ofrece un sistema de gestión de librerías y placas muy práctico.

Arduino utiliza un lenguaje de programación propio basado en la combinación de C y C++, el cual permite una mayor facilidad de comprensión y elaboración de código.

A continuación, se muestra una pantalla del entorno de desarrollo integrado de Arduino.

Figura 5. IDE para Arduino



Fuente: elaboración propia, empleando Snipping Tool.

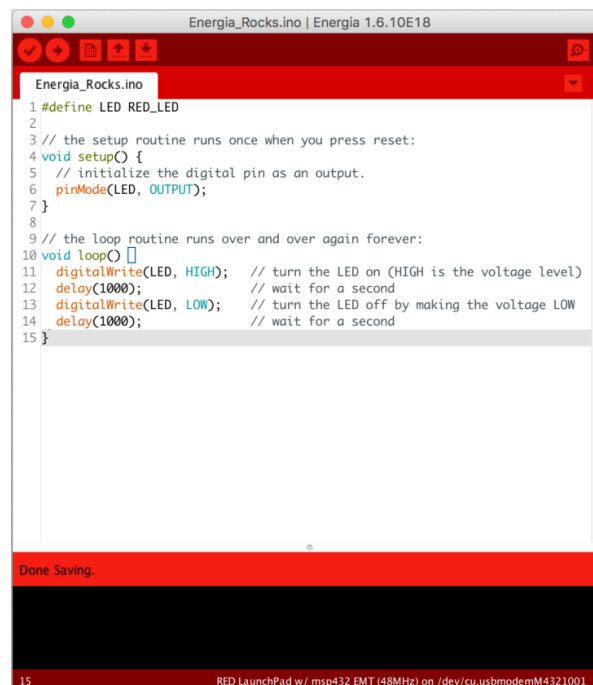
De la figura 5. Algunas partes importantes del IDE de Arduino se describen a continuación.

- Menú: incluye opciones para crear un nuevo archivo, editar las preferencias del IDE, las opciones propias para cada Sketch (proyecto o programa de Arduino en el que se está trabajando), además de herramientas y un segmento de ayuda.
- Botones de acceso rápido: como su nombre lo indica, son opciones de acceso rápido u opciones que más se utilizan, tales como: verificar, cargar, nuevo, abrir, guardar y monitor serial.

- Editor: espacio donde se describe o edita un código, para luego ser verificado y cargado en la placa Arduino.
- Área de mensajes: espacio en donde el IDE muestra mensajes de carga exitosa, problemas al compilar, entre otros.
- Consola: al igual que el área de mensajes, es un espacio en donde el IDE muestra mensajes del proceso de compilación, errores de carga, entre otros.

Para la MSP32, el entorno de desarrollo integrado utilizado es una variación del IDE de Arduino, llamado Energía. Este IDE presenta la mayoría de las características anteriormente presentadas para el IDE de Arduino. Energía utiliza el compilador mspgcc y se basa en el marco de Wiring y Arduino.

Figura 6. IDE Energía



Fuente: Energía. <https://energia.nu/img/ide.png>. Consulta: 01 de julio de 2019.

## 3.2. Sensores

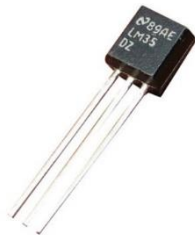
Serán los encargados de tomar los datos de los parámetros a controlar del invernadero, para luego ser procesados por un microcontrolador.

### 3.2.1. Sensor de temperatura LM35

El sensor de temperatura LM35, es un sensor analógico con una precisión calibrada de 1 °C. Debido a que el sensor LM35 está calibrado en grados centígrados, presenta una ventaja sobre los sensores de temperatura lineal calibrados en grados Kelvin, ya que el usuario no está obligado a restar una gran tensión constante para obtener grados centígrados.

Su rango de medición abarca desde los -55 °C hasta los 150 °C. No requiere ninguna calibración externa para proporcionar una precisión representativa de  $\pm 1,4$  °C a temperatura ambiente y  $\pm 3,4$  °C a lo largo de su rango de temperatura funcional. Además, la baja impedancia de salida, la salida lineal y la calibración precisa inherente, permiten la creación de circuitos de lectura o control sencillos.

Figura 7. **Sensor de temperatura LM35**



Fuente: Geekbot Electronics. <http://www.geekbotelectronics.com/producto/lm35-sensor-de-temperatura/>. Consulta: 10 de febrero de 2018.

Tabla II. **Características del LM35**

Calibrado directamente en grados Celsius (Centígrados)
Factor de escala lineal de + 10 mV/°C
0,5 °C de precisión a +25 °C
Apropiado para aplicaciones remotas
Bajo costo
Operación entre 4 y 30 voltios
Menos de 60 µA de consumo
Bajo auto-calentamiento (0,08 °C en aire estático)
Baja impedancia de salida, 0,1 Ω para cargas de 1 mA

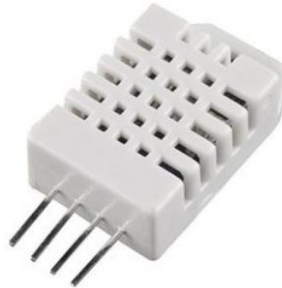
Fuente: Texas Instruments. *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*.  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>. Consulta: 10 de febrero de 2018.

### 3.2.2. **Sensores DHT11 y DHT22**

Los sensores DHT11 y DHT22 son dos modelos de una misma familia de sensores que permiten realizar la medición simultánea de temperatura y humedad relativa. Utilizan un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, obteniendo la salida mediante una señal digital en el pin de datos.

De los dos modelos, el DHT11 cuenta con menos características en comparación con el DHT22, sin embargo, este último al contar con más rango de medición y precisión, tiene un precio superior. El DHT11 cuenta con una tasa de muestreo de 2 segundos, en comparación al DHT22 que la puede realizar cada segundo.

Figura 8. **Sensor DHT22**



Fuente: Geekbot Electronics. <http://www.geekbotelectronics.com/producto/dht22-sensor-de-temperatura-y-humedad/>. Consulta: 13 de febrero de 2018.

Tabla III. **Características del DHT22**

Alimentación	3,3 V – 6 V DC
Señal de salida	Señal digital vía único-bus
Rango de medida de humedad	0 – 100 % RH
Rango de medida de temperatura	-40 – 125 °C
Precisión	Humedad 2 % RH    Temperatura $<\pm 0,5$ °C
Resolución o sensibilidad	Humedad 0,1 % RH    Temperatura 0,1 °C

Fuente: Aosong Electronics Co., Ltd. *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module AM2303*. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/DHT22.pdf>. Consulta: 13 de febrero de 2018.

### 3.2.3. **Higrómetro FC-28**

El higrómetro de suelo FC-28 es un sensor capaz de medir la humedad del suelo a través de la variación de su conductividad. Este tipo de sensor es empleado ampliamente en sistemas automáticos de riego para detectar cuando es necesario activar el sistema de riego.

El FC-28 se distribuye con una placa de medición estándar que permite la medición como valor analógico y la salida como un valor analógico o digital.

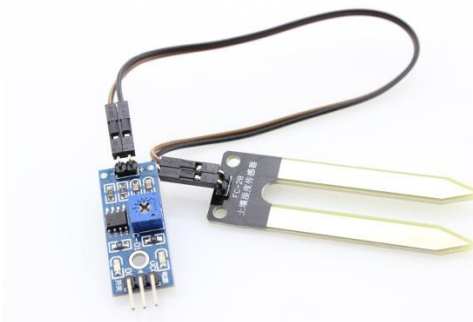
Los valores obtenidos pueden variar desde 0 sumergido en agua, hasta 1 023 en aire (o suelo muy seco). Por lo cual, un suelo ligeramente húmedo dará valores típicos entre 600 a 700, y un suelo seco entre 800 a 1 023. La salida digital se activará cuando el valor de humedad supera cierto umbral, ajustado mediante un potenciómetro. Por tanto, obtendremos una señal LOW cuando el suelo no está húmedo y HIGH cuando la humedad en el suelo supere el valor preestablecido.

Tabla IV. **Características Higrómetro FC-28**

Voltaje de operación	3,3 V – 5 V DC
Comparador	LM393
Ajuste de sensibilidad	Si, mediante potenciómetro
Dimensiones del sensor	6x20 mm, contactos 45 mm

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 9. **Higrómetro FC-28**



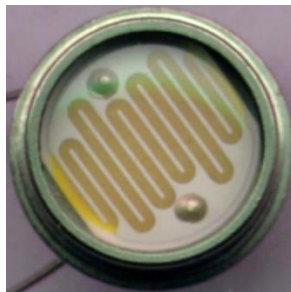
Fuente: Cristian Veloso. <https://www.electrontools.com/Home/WP/2016/05/17/medir-la-humedad-del-suelo-con-arduino/>. Consulta: 15 de febrero de 2020.

### 3.2.4. Fotorresistencia LDR

Las fotorresistencias o resistencias dependientes de la luz, LDR, de su nombre en inglés *light-dependent resistor*, consisten en una célula de Sulfuro de Cadmio CdS, altamente estable, encapsulada con una resina epoxi transparente, resistente a la humedad. El valor de resistencia eléctrica de un LDR es bajo cuando hay luz incidiendo en él (puede descender hasta 50 ohms) y muy alto cuando está a oscuras (varios megaohmios).

La variación del valor de la resistencia tiene cierto retardo, diferente si se pasa de oscuro a iluminado o de iluminado a oscuro. Por esto, no se utilizan los LDR en aplicaciones en las que la señal luminosa varía con rapidez. Sin embargo, la fotorresistencia LDR será utilizada para detectar el cambio de día a noche (rapidez baja) y controlar el nivel de iluminación para el invernadero.

Figura 10. **Fotorresistencia LDR**



Fuente: Mcmartin. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fotocelda.jpg>.

Consulta: 13 de febrero de 2018.



## **4. TRANSMISIÓN DE DATOS**

En este capítulo se describen dos tecnologías que podrían implementarse en el envío y la recepción de datos desde el invernadero hacia una central, para el manejo y visualización de la información.

### **4.1. Módulo HC-06**

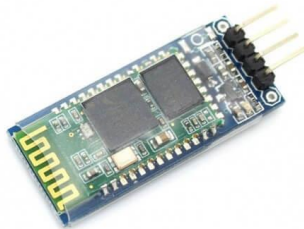
Para dar la funcionalidad al Arduino de poder comunicarse sin cables con otros dispositivos, se propone el uso del módulo bluetooth HC-06. La tecnología bluetooth permite el envío y recepción de datos digitales entre dos dispositivos separados a una distancia no mayor de diez metros (para su óptimo funcionamiento). Es una tecnología relativamente fácil de implementar, sin embargo, presenta la desventaja que cuando se encuentra rodeada de objetos que bloqueen el paso libre de la señal entre los dos dispositivos, esta se distorsiona.

Para el caso del invernadero, se pretende utilizar esta tecnología para aquellos ambientes en donde el cultivo no sea obstrucción para la comunicación entre el módulo y el dispositivo de recepción, el cual podría ser un celular, una tableta u otro dispositivo que soporte la tecnología bluetooth.

Mediante el uso de este módulo se pretende enviar y recibir los datos tomados por los sensores presentados en el capítulo anterior, permitiendo manipular tales datos para su posterior gestión y visualización.

A diferencia del módulo HC-05 que puede trabajar en los modos maestro y esclavo. El HC-06 cuenta solo con el modo esclavo; es decir el dispositivo estará esperando una conexión, para comenzar la transmisión de datos.

Figura 11. **Módulo HC-06 visto desde arriba**



Fuente: Xukyo. <https://www.aranacorp.com/es/comunicacion-con-arduino-y-el-modulo-hc-06/>.  
Consulta: 01 de julio de 2019.

El módulo bluetooth HC-06 tiene 4 puertos para establecer la conexión, descritos a continuación:

Tabla V. **Conexión entre HC-06 y Arduino**

<b>Módulo HC-06</b>	<b>Arduino</b>
VCC	Conectado normalmente al pin 5V del Arduino
GND	Conectado normalmente al GND del Arduino
RX	Normalmente conectado al pin de transmisión de Arduino (TX)
TX	Normalmente conectado al pin de recepción de Arduino (RX)

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Especificaciones de HC-06**

Voltaje de operación	3,3 V – 5 V DC
Corriente de operación	< 40 mA
Corriente modo sleep	< 1 mA
Potencia de emisión	< 4 dBm, clase 2
Temperatura de trabajo	-20 °C a + 75 °C
Frecuencia	2,4 Ghz Banda ISM

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.2. ESP8266**

Cuando existe mucha vegetación y la comunicación a través de bluetooth se vea afectada, se propone el uso del ESP8266, el cual es un chip integrado con conexión WiFi y compatible con el protocolo TCP/IP. Incluye un microcontrolador (Tensilica Xtensa LX106) para manejar dicho protocolo y el software necesario para la conexión 802.11.

Existen varios modelos que implementan el chip ESP8266, identificados por medio de la cantidad de GPIOs (General Purpose Input/Output) disponibles y la tecnología de la antena WiFi. En esta oportunidad se estará trabajando con el modelo ESP-12 el cual tiene un uso más extendido y una mayor cantidad de documentación.

Entre las ventajas que tiene el uso de tecnología WiFi (802.11x) en comparación con el bluetooth, es que el rango de conexión es mayor, esta se encuentra entre los 200 a 400 metros, mientras que el bluetooth solo alcanza los 100 metros, esto a costa de potencia suministrada. WiFi da mayor ancho de banda para la transmisión de información, 250 Mbps o más, comparado con los 25 Mbps del bluetooth.

Tabla VII. **Especificaciones de ESP8266**

CPU	32-bit RISC Tensilica Xtensa LX106
Frecuencia de reloj	80 MHz
RAM	64 Kb Instrucciones 12 Kb Datos
Tecnología	IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi
Voltaje de operación	3 – 3,6 VDC
Corriente de operación	80 mA

Fuente: Luis del Valle Hernández. <https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>. Consulta: 07 de julio de 2019.

Figura 12. **Modelo ESP-12**



Fuente: Luis del Valle Hernández. <https://programarfacil.com/wp-content/uploads/2016/09/esp-12.jpg>. Consulta: 07 de julio de 2019.

## **5. ELEMENTOS ELECTROMECÁNICOS**

En este capítulo se describen los elementos electromecánicos a utilizar en el proyecto, así como el método de acoplamiento entre los actuadores y el microcontrolador.

### **5.1. Motor paso a paso**

Para la apertura y cierre de las mallas protectoras se utilizará un motor paso a paso para controlar mejor las vueltas y abrir y cerrar las mallas con mayor precisión.

Un motor paso a paso es el que convierte impulsos eléctricos en desplazamientos, gira cierta cantidad de grados dependiendo de sus entradas de control. Existen dos tipos de motores paso a paso, los unipolares y los bipolares. A diferencia de los unipolares, los bipolares no tienen ninguna conexión en el centro.

Se deberán identificar las bobinas que conforman el motor, esto se podrá realizar con la ayuda de un multímetro en modo continuidad. Aquellos cables que dan continuidad son los extremos de cada bobina.

Para el control de un motor paso a paso se recomienda el uso del módulo L298N, el cual contiene dos puentes H completos que permiten controlar 2 motores DC o un motor paso a paso bipolar o unipolar. El manejo de la dirección y velocidad de giro del motor se realiza mediante señales TTL, que se pueden obtener de microcontroladores y tarjetas de desarrollo como Arduino. El

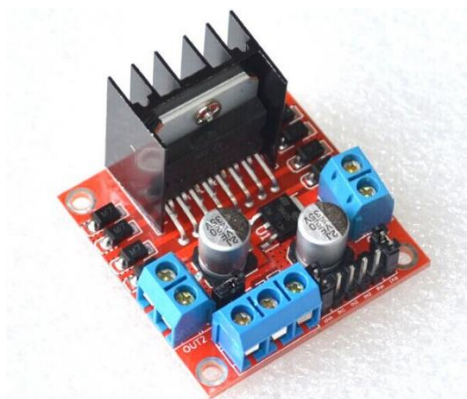
control del sentido de giro se realiza mediante dos pines para cada motor y la velocidad de giro, se puede regular mediante el uso de modulación por ancho de pulso (PWM por sus siglas en inglés).

Figura 13. **Motor Nema 17 17HS2408**



Fuente: RepRap. <https://www.reprap.me/17hs2408-4-lead-nema-17-0-6a-stepper-motor-for-3d-printer-motor-cnc-laser.html>. Consulta: 07 de julio de 2019.

Figura 14. **Módulo LM192**



Fuente: Prometec. <https://www.prometec.net/wp-content/uploads/2016/10/HTB1m34rlpXXXXc9XXXXq6xXFXXN.jpg>. Consulta: 07 de julio de 2019.

## 5.2. Encendido y apagado de bomba de agua

Para el encendido y apagado de la bomba de agua, se sugiere la implementación de un sistema de relés. Un relé es un dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor, el cual, al ser estimulado por una pequeña corriente eléctrica, abre o cierra un circuito por donde se disipa una potencia mayor que el circuito estimulador.

De esta forma, con una salida de relé se podrá encender o apagar una carga de corriente alterna entre 10A 125VAC - 7A 250VAC, o dependiendo del modelo elegido, lo cual cubre la mayoría de las cargas que pudiésemos implementar en el Invernadero, tales como una bomba de agua o bombillas.

Existen presentaciones de módulos de relés que, por su diseño, facilitan el trabajo con Arduino, Raspberry Pi, entre otros. A continuación, se muestra un ejemplo de un módulo de 4 relés.

Figura 15. **Módulo Relay 4CH 5VDC**



Fuente: Naylamp Mechatronics SAC. <https://naylampmechatronics.com/drivers/152-modulo-relay-4-canales-5vdc.html>. Consultado: 11 de julio de 2019.





## **6. DESARROLLO DEL PROYECTO**

En este capítulo se describen las consideraciones tomadas en cuenta para el diseño del proyecto, las cuales se basan en la toma de decisiones para la activación de los diferentes actuadores del invernadero, así como la presentación de los datos obtenidos.

Como se mencionó, en el capítulo 2, la funcionalidad de un invernadero se basa principalmente en proveer un microclima adecuado a la plantación, por lo cual, las variables a controlar en este prototipo serán: la temperatura, humedad relativa, humedad del suelo, y luminosidad. Estas variables, también se ven afectadas por otras variables independientes, como la temperatura exterior, velocidad del viento y lluvia.

Dentro del diseño, se menciona la implementación de las pantallas móviles o desplegadas, para proporcionar sombra o iluminación al cultivo y controlar la temperatura dentro del invernadero.

También, se describe la viabilidad de utilizar paneles solares para el funcionamiento del invernadero a través de energía renovable y sostenible.

### **6.1. Prototipo del invernadero automatizado**

A continuación, se describen las consideraciones a tomar en cuenta para el diseño del prototipo.

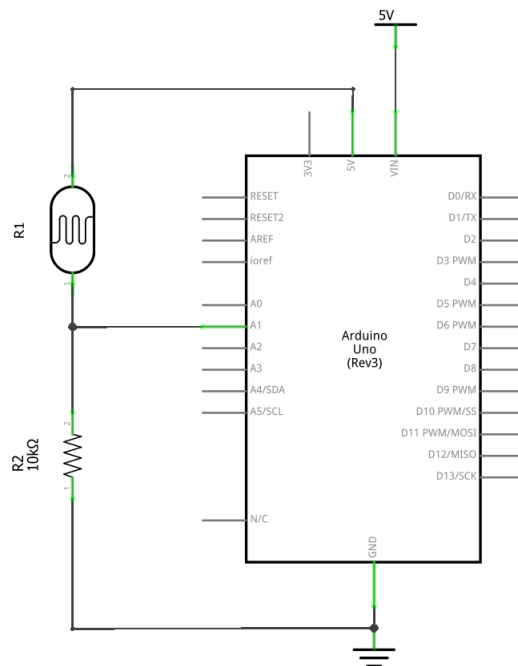
### 6.1.1. Toma de datos

En este apartado, se presentan los esquemas de conexión individual de los sensores ejemplo a utilizar, así como la toma de datos respectiva.

#### 6.1.1.1. Sensor de luminosidad LRD

Para esta sección se utiliza la fotorresistencia o LDR (*light-dependent resistor*) para medir la intensidad de luz que se tenga dentro del invernadero. Para ello, se propone el siguiente diagrama de conexión para tomar la captura de datos a través de un puerto serial de nuestro Arduino.

Figura 16. Diagrama de conexión LDR – Arduino



Fuente: elaboración propia, empleando Fritzing.

Con el diagrama de conexión anterior, se cargó a Arduino el siguiente programa, para el manejo de datos:

Figura 17. Programa lectura de sensor LDR

```
LecturaSensorLDR §
/* Funcionamiento sensor de luz con LDR
 */

int LED_Pin = 13; //Pin Led integrado - Activación Luz
int LDR_Pin = A1; //Pin lectura de LDR

int LDRValue = 0; //Inicialización de variable

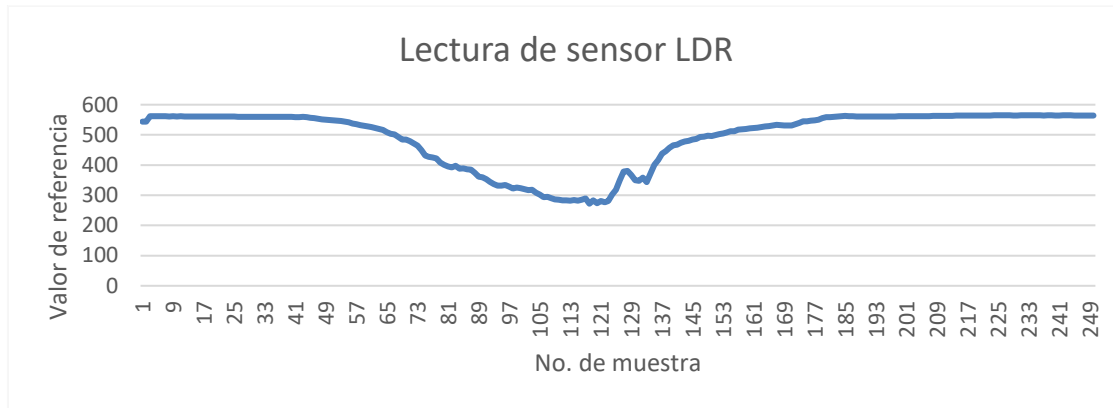
void setup() {
  Serial.begin(9600); //Inicialización puerto Serial
  pinMode(LED_Pin, OUTPUT);
  pinMode(LDR_Pin, INPUT);
}

void loop() {
  LDRValue = analogRead(LDR_Pin); //Lectura de LRD
  Serial.println(LDRValue); //Muestra de lectura en monitor serial
  if (LDRValue < 300){ //Definición de umbral de accionamiento
    digitalWrite(LED_Pin,HIGH);
  }
  else{
    digitalWrite(LED_Pin,LOW);
  }
  delay(200);
}
```

Fuente: elaboración propia, empleando Snipping Tool.

Luego de cargar el programa en Arduino, se leyeron los datos del sensor LDR. El resultado se muestra a continuación:

Figura 18. **Lectura de sensor LDR**



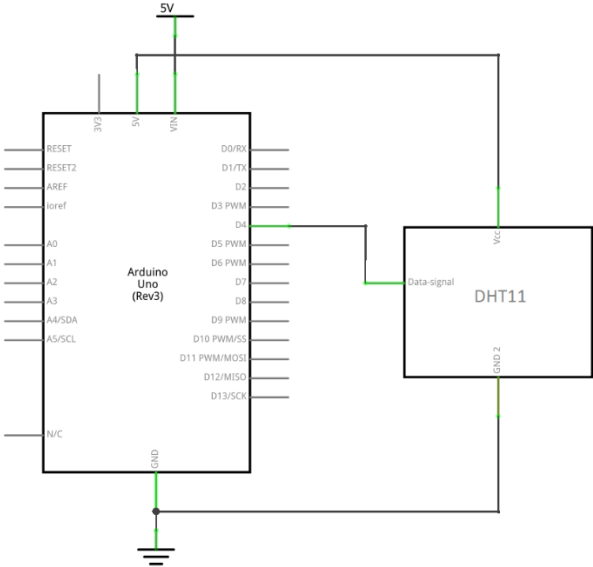
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Como se observa en la figura 17, existe un valor umbral de 300 que se ha prefijado para indicar a Arduino cuándo debe accionar el pin 13, en este caso para activar la luz artificial. Por tanto, cuando el valor leído del sensor LDR sea mayor a 300, la luz permanecerá apagada. El valor leído por el sensor LDR puede variar entre 0 y 1 023, que es la resolución analógica que utiliza Arduino Uno para convertir una señal analógica a digital. Así también, el valor umbral puede ser modificado, dependiendo de las necesidades del usuario.

### 6.1.1.2. **Sensor de temperatura y humedad**

Anteriormente, se describió a los sensores DHT11 y DHT22, los cuales medirán simultáneamente la temperatura y humedad relativa. Para esta ocasión, se estará implementando el sensor DHT11, conectándolo de la siguiente manera:

Figura 19. Diagrama de conexión DTH11 - Arduino



Fuente: elaboración propia, empleando Fritzing.

Así también, se utilizó el siguiente código para la lectura de datos:

Figura 20. Programa lectura de sensor DHT11

```
LecturaSensorDHT11 §
// Lectura de sensor DHT11

#include "DHT.h" //Se incluye la libreria a utilizar
#define DHTPIN 4 //Asignación de pin de Arduino a sensor
#define DHTTYPE DHT11 //Selección sensor DHT11

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

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

  dht.begin();
}

void loop() {
  delay(2000); // Tiempo de espera entre medición en milisegundos

  float h = dht.readHumidity(); //Lectura de humedad relativa
  float t = dht.readTemperature(); //Lectura de temperatura en grados Celsius
  float f = dht.readTemperature(true); //Lectura de temperatura en grados Fahrenheit (isFahrenheit = true)

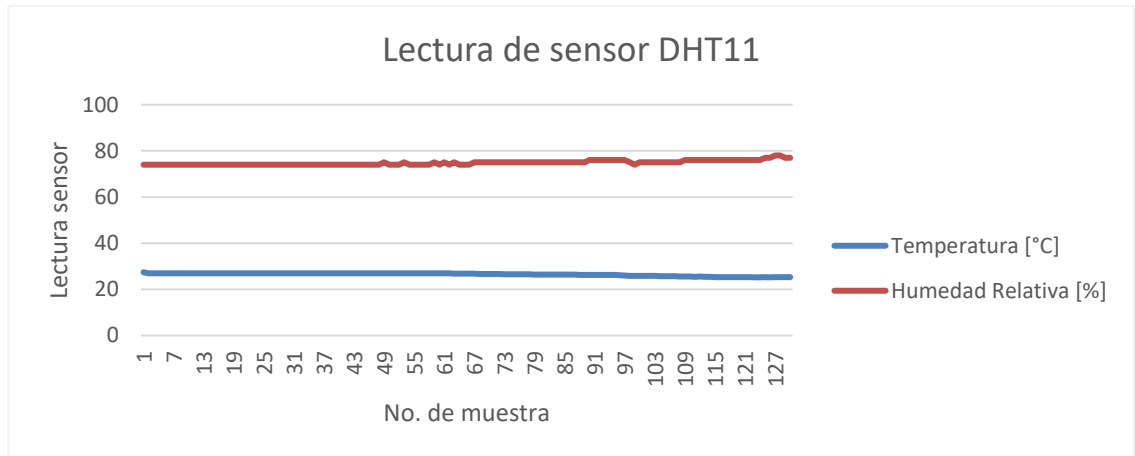
  if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {
    Serial.println(F("Failed to read from DHT sensor!")); //Verificación de lecturas sin error
    return;
  }

  Serial.print(F("Humidity: "));
  Serial.print(h);
  Serial.print(F("% Temperature: "));
  Serial.print(t);
  Serial.print(F("°C "));
  Serial.print(f);
  Serial.print(F("°F"));
}
```

Fuente: elaboración propia, empleando Snipping Tool.

Luego de cargar el programa en Arduino, se procedió a la lectura de datos del sensor DHT11, obteniendo el siguiente resultado:

Figura 21. **Lectura de sensor DHT11**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

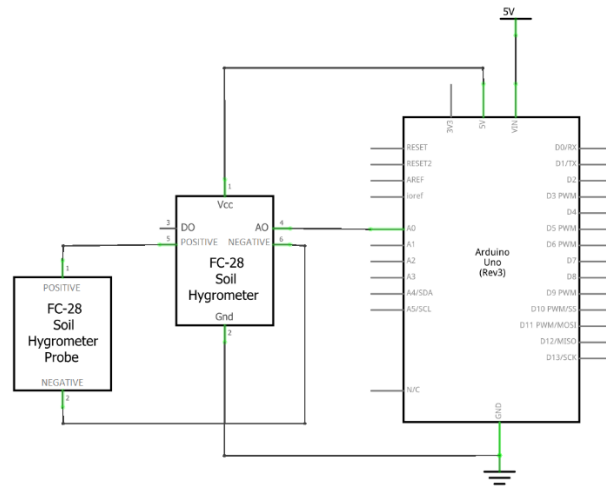
Como se observa en la figura 21, el sensor DHT11, simultáneamente, puede obtener los valores correspondientes a la temperatura y humedad relativa; por defecto, este sensor da la temperatura en grados centígrados, sin embargo, puede activarse dentro de su configuración que devuelva los datos en grados Fahrenheit. De ser posible, se podría utilizar el sensor DHT22 para tener una mayor precisión y velocidad en la toma de datos, ya que el sensor DHT22 cuenta con una tasa de muestreo de 1 segundo, en comparación a los 2 segundos del DHT11.

### 6.1.1.3. **Sensor higrómetro FC-28**

A continuación, se mostrará la implementación del sensor de humedad del suelo, el Higrómetro FC-28. En el mercado existen dos versiones de este sensor. Uno con tres (3) pines y otro con cuatro (4) pines; mientras que la versión de tres pines solo cuenta con una entrada digital, la versión de cuatro pines cuenta con una entrada digital y otra analógica. En esta ocasión, se

trabajó con la versión de 4 pines, para tener un mejor rango de medición sobre la cantidad de humedad del suelo.

Figura 22. Diagrama de conexión FC-28



Fuente: elaboración propia, empleando Fritzing.

También, se utilizó el siguiente código para la lectura de datos:



Figura 23. Programa lectura de sensor FC-28

```
LecturaSensorFC28
#define sensor A1

void setup() {
  pinMode(sensor, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  /*Se hace la lectura análoga del pin A1 (sensor) y se pasa por la función
  map() para ajustar los valores leídos.
  Syntax: map(value, fromLow, fromHigh, toLow, toHigh)
  map(sensor, lectura 0, lectura 1023, 100%humedad, 0% humedad) */
  int valorHumedad = map(analogRead(sensor), 0, 1023, 100, 0);

  Serial.print("Humedad: ");
  Serial.print(valorHumedad);
  Serial.print("% ");

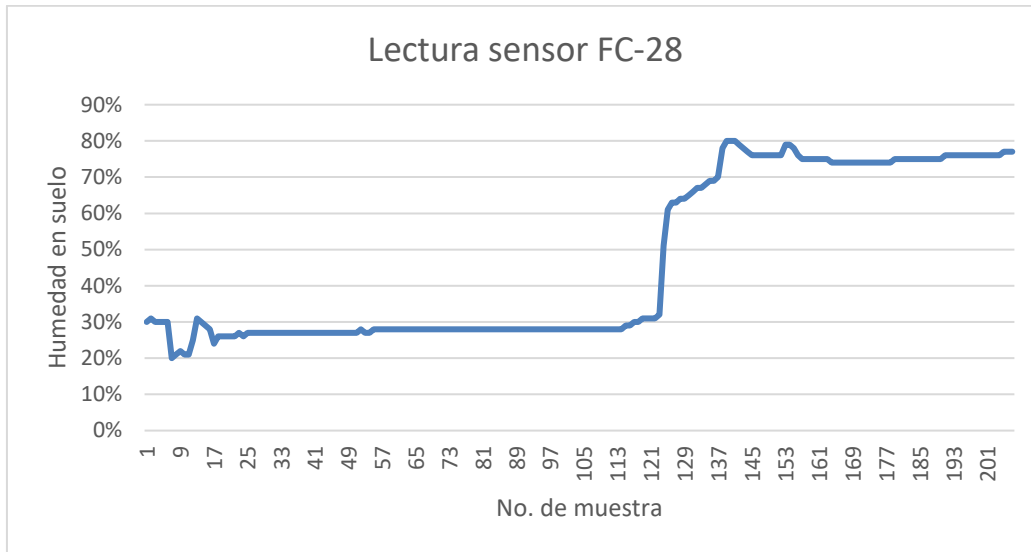
  if (valorHumedad < 10){
    Serial.println("Suelo muy seco, activar riego");
    //Ejecutar acción
  }
  else if ((valorHumedad > 10) && (valorHumedad < 60)){
    Serial.println("Suelo con humedad adecuada");
    //Ejecutar acción
  }
  else{
    Serial.println("Suelo muy húmedo, realizar acción");
    //Ejecutar acción
  }

  delay(1000);
}
```

Fuente: elaboración propia, empleando Snipping Tool.

Luego de cargar el programa en Arduino, se leyeron los datos del sensor FC-28, cuyo resultado se muestra a continuación.

Figura 24. Lectura de sensor DHT11



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

El sensor FC-28 ayuda a medir la humedad del suelo, por la variación de su conductividad. Por defecto, este sensor muestra una variación entre 0 y 1 023, sin embargo, a través de programación, se han convertido estos valores en porcentajes, obteniendo así, valores entre 0 % y 100 % de humedad en el suelo. En figura 24 se observa que existe un cambio muy pronunciado del 30 % al 60 %, esto, debido a que se aplicó más agua sobre el probador del sensor.

## **6.1.2. Presentación de datos**

A continuación, se muestra la metodología a utilizar para la presentación de resultados.

### **6.1.2.1. Servidor web**

Debido a que la toma de datos se hará en el interior del invernadero, es conveniente que la información pueda verse y manipularse en alguna otra ubicación. Para ello, se propone el uso del Módulo ESP-12, que, por medio de conexión inalámbrica, podríamos consultar los datos de los sensores, a través de un navegador web.

En esta ocasión, se trabajó con el kit de desarrollo NodeMCU que cuenta con un módulo ESP-12, el cual puede desplegar un servidor web, para mostrar los datos de los sensores, ya sea conectados a él o a través de Arduino, utilizando la comunicación serial.

A continuación, se muestra, parte del código empleado para la configuración del servidor web, en donde se define la red a la cual debe conectarse y la inicialización del servidor web.

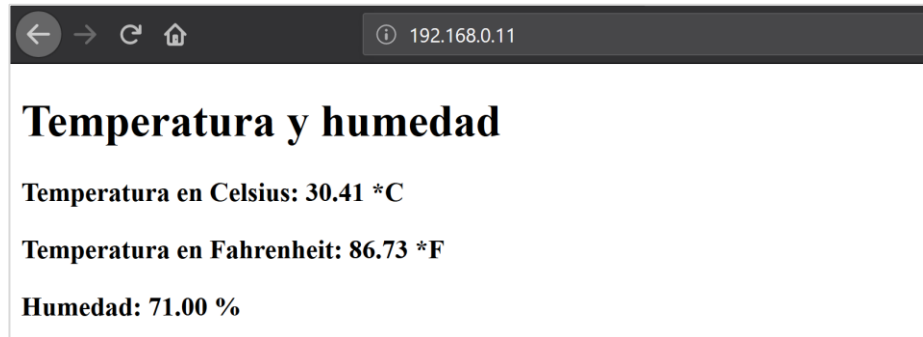
Figura 25. Configuración servidor web

```
ServidorWEB §
27// only runs once on boot
28void setup() {
29 // Initializing serial port for debugging purposes
30 Serial.begin(9600);
31 delay(10);
32
33 dht.begin();
34
35 // Connecting to WiFi network
36 Serial.println();
37 Serial.print("Connecting to ");
38 Serial.println(ssid);
39
40 WiFi.begin(ssid, password);
41
42 while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
43   delay(500);
44   Serial.print(".");
45 }
46 Serial.println("");
47 Serial.println("WiFi connected");
48
49 // Starting the web server
50 server.begin();
51 Serial.println("Web server running. Waiting for the ESP IP...");
52 delay(10000);
53
54 // Printing the ESP IP address
55 Serial.println(WiFi.localIP());
56 }
```

Fuente: Random Nerd Tutorials. <https://randomnerdtutorials.com/esp8266-dht11dht22-temperature-and-humidity-web-server-with-arduino-ide/>. Consulta: 08 de agosto de 2019.

Al iniciar, el módulo ESP-12 obtiene una dirección IP, la cual es provista por medio de DHCP a través del equipo de red utilizado. Se accede a tal dirección IP por medio de un navegador web, se visualiza la información obtenida de los sensores.

Figura 26. **Despliegue de información ESP-12**



Fuente: elaboración propia, empleando Snipping Tool.

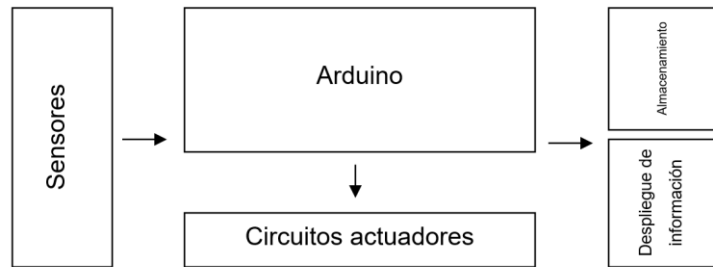
### 6.1.3. **Flujo de toma y presentación de datos**

El proceso de toma de datos deberá llevar un orden específico (secuencial) para el correcto despliegue de información. Una vez obtenidos los datos de los sensores, se procederá al despliegue o almacenamiento de la información. A través del módulo inalámbrico, se transmitirá los datos al usuario final, para que pueda visualizarlos a través de un navegador web.

Durante la toma de datos, habrá toma de decisiones para activar o desactivar los circuitos externos que serán los mecanimos actuadores para corregir o estabilizar las variables a controlar. Por ejemplo, de tener una lectura de humedad baja por medio del higrómetro, se accionará el circuito correspondiente para la activación del riego. El usuario deberá configurar tales valores umbrales para la activar o desactivar dichos circuitos actuadores, dependiendo del cultivo.

A continuación, se presenta un esquema general del prototipo:

Figura 27. **Esquema general del prototipo**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Como se observa en la figura 27 en el esquema general del prototipo, existe un bloque definido para el almacenamiento, este será un enfoque extra o práctico para aquellos usuarios que quieran almacenar la información y tener un histórico de los datos para su posterior manipulación.

#### **6.1.4. Mejoras por implementar**

##### **Paneles solares**

Entre las mejoras se recomienda utilizar energía renovable, como la energía solar, para la alimentación del prototipo. Para ello, es necesario calcular la potencia requerida por el circuito principal, así como los circuitos actuadores para que la batería sea adecuada para el almacenamiento de la energía. Sin embargo, el uso efectivo de un panel solar dependerá mucho del estado del tiempo, ya que habrá una diferencia notoria de la energía obtenida en un día soleado, respecto a un día nublado.

## Mejoras de procesamiento y almacenamiento

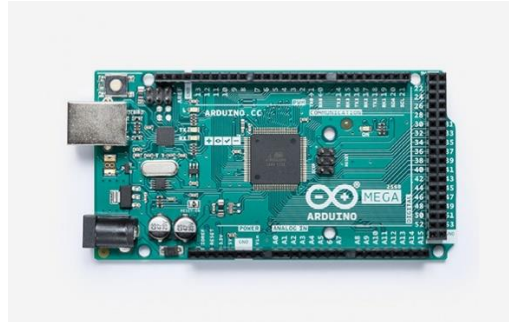
Durante el proceso de toma de datos y despliegue de información, es posible que el usuario presente problemas al definir las variables para los datos de cada sensor, por lo cual, deberá declarar cada variable con el tipo correcto del valor a almacenar, así como el espacio adecuado en memoria.

Dada la baja capacidad de almacenamiento del microcontrolador Arduino UNO, el circuito completo presentará un consumo elevado del uso de memoria, provocando posiblemente inestabilidad en la lectura de los datos. Por lo cual, se recomienda el uso de un microcontrolador más capacitado para el manejo de los datos, con mayor memoria para el almacenamiento de las variables, y con una frecuencia de procesamiento más elevada, para la ejecución de instrucciones más rápida.

Por tal razón, se plantean dos microcontroladores, que podrían suplantar el uso del Arduino UNO.

- Arduino Mega
  - 5 v – Voltaje de operación
  - 54 puertos de uso general
  - 128 Kb de memoria para aplicación
  - 16 MHz de frecuencia de procesamiento

Figura 28. **Arduino Mega**



Fuente: Arduino. <https://store.arduino.cc/mega-2560-r3>. Consulta: 16 de agosto de 2019.

- Arduino Due
  - 3.3 v de voltaje de operación
  - 512 Kb de memoria para aplicaciones
  - 84 MHz de frecuencia de procesamiento
  - 54 puertos de uso general

Figura 29. **Arduino Due**



Fuente: Arduino. <https://store.arduino.cc/due>. Consulta: 16 de agosto de 2019.



## CONCLUSIONES

1. La implementación de un invernadero automatizado de bajo costo posibilita a que agricultores de baja y media producción, puedan mejorar su cultivo, por medio del constante monitoreo y el manejo adecuado de las variables atmosféricas que influyen en el crecimiento del mismo.
2. El uso de tecnología Wi-Fi, permite que los datos recolectados por los sensores, pueda alcanzarse en un rango de comunicación mayor, sin que el usuario deba estar dentro del invernadero.
3. El accionamiento de los circuitos actuadores deberá configurarse de acuerdo con las necesidades del cultivo por monitorear.



## RECOMENDACIONES

1. Implementar un microcontrolador más sofisticado para mejorar el rendimiento de procesamiento y almacenamiento, así como la disponibilidad de tener más puertos para el uso de sensores y circuitos anexos.
2. Implementar una base de datos para el almacenamiento de los datos recolectados por los sensores para crear informes o estudios sobre el comportamiento de las variables y el resultado final del cultivo.
3. Instalar una red de sensores de humedad de tierra (higrómetros) más sofisticados, de manera que puedan detectar correctamente la humedad en el suelo de manera uniforme, y no solo en un punto en específico.
4. El uso de tecnologías inalámbricas permite un rango de comunicación mayor, sin embargo, deberá controlarse la vista entre el módulo Wifi y el punto de acceso a la red, para que la señal no se degrade y puedan ocurrir pérdidas de datos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AGREQUIMA. *Impacto social y económico del sector agrícola guatemalteco sobre la economía nacional*. [en línea]. <<https://agrequima.com.gt/site/wp-content/uploads/2017/01/160512vff.pdf>>. [Consulta: 02 de mayo de 2019].
2. Anónimo. *Invernadero Greenhouse*. [en línea]. <<http://www.iescamp.es/miarduino/invernadero/>>. [Consulta: 10 de agosto de 2019.]
3. Anónimo. *Tipos de Sistemas de Control*. Abril de 2016. [en línea]. <<http://tecnologiagama2000seda.blogspot.com/2016/04/tipos-de-sistemas-de-control.html>>. [Consulta: 28 de mayo de 2019].
4. Banco de Guatemala. *Nota Al Comercio Exterior A junio 2019*. [en línea]. <[https://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/ceie/CG/2019/nota\\_comercio\\_mensual.htm&e=143802](https://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/estaeco/ceie/CG/2019/nota_comercio_mensual.htm&e=143802)>. [Consulta: abril de 2019].
5. ————. *Producto Interno Bruto Trimestral, Cuarto trimestre de 2018*. [en línea]. <[https://www.banguat.gob.gt/cuentasnac/4T\\_2018\\_JM.pdf](https://www.banguat.gob.gt/cuentasnac/4T_2018_JM.pdf)>. [Consulta: abril de 2019].

6. DEL VALLE HERNÁNDEZ, Luis. *NodeMCU tutorial paso a paso desde cero*. [en línea]. <<https://programarfacil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/>>. [Consulta: 10 de agosto de 2019].
7. DURÁN ROCHA, Andrés. *Bluetooth HC-06 y HC-05 Android Arduino*. 2015. [en línea]. <<https://hetprostore.com/TUTORIALES/bluetoothhc-06-app-arduino/>>. [Consulta: 13 de junio de 2019].
8. GONZALEZ-LONGATT, Francisco. *Capítulo 1: Introducción a los Sistemas de Control*. [en línea]. <[https://www.researchgate.net/publication/294721439\\_Capitulo\\_1\\_Introduccion\\_a\\_los\\_Sistemas\\_de\\_Control](https://www.researchgate.net/publication/294721439_Capitulo_1_Introduccion_a_los_Sistemas_de_Control)>. [Consulta: 30 de mayo de 2019.]
9. JOYSON96. *Simple webserver using Arduino and ESP8266*. 2016 [en línea]. <<http://www.instructables.com/id/Simple-Webserver-Using-Arduino-UNOMega-and-ESP8266/>>. [Consulta: 8 de agosto de 2019].
10. MARLOW, Douglas. *Aporte de CO2 en un invernadero*. Marzo 2011. [en línea]. <<https://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/invernadero/aporte-de-co2-en-un-invernadero/>>. [Consulta: 26 de mayo de 2019].
11. MÉNDEZ CLARÁ, Néstor O. *Invernaderos automatizados para el desarrollo de la agricultura familiar en el Marco de la Seguridad Alimentaria*. [en línea]. <<http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/1859/1/1.pdf>>. [Consulta: 29 de abril de 2019].

12. NOVAGRIC. *Pantallas para Invernaderos*. [En línea]. <[http://www.novagric.com/es/blog/noticias/itemlist/tag/index.php?option=com\\_content&view=article&id=480:tipos-de-invernadero&catid=91:tipos-de-invernaderos&Itemid=1045](http://www.novagric.com/es/blog/noticias/itemlist/tag/index.php?option=com_content&view=article&id=480:tipos-de-invernadero&catid=91:tipos-de-invernaderos&Itemid=1045)>. [Consulta: 26 de mayo de 2019].
13. ————. *Tipos de Invernaderos*. [En línea]. <[http://www.novagric.com/es/blog/noticias/itemlist/tag/index.php?option=com\\_content&view=article&id=480:tipos-de-invernadero&catid=91:tipos-de-invernaderos&Itemid=1045](http://www.novagric.com/es/blog/noticias/itemlist/tag/index.php?option=com_content&view=article&id=480:tipos-de-invernadero&catid=91:tipos-de-invernaderos&Itemid=1045)>. [Consulta: 25 de mayo de 2019].
14. OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de control moderna*. Pearson, 2010. 904 p.
15. PROMETEC. *SENSORES DE TEMPERATURA DHT11*. México. 2017. [en línea]. <<https://www.prometec.net/sensores-dht11/>>. [Consulta: 3 de junio de 2019].
16. RANDOM NERD TUTORIALS. *ESP8266 DHT11/DHT22 Temperature and Humidity Web Server with Arduino IDE*. [en línea]. <<https://randomnerdtutorials.com/esp8266-dht11-dht22-temperature-and-humidity-web-server-with-arduino-ide/>>. [Consulta: 15 de agosto de 2019].

