



Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Electrónica

PROGRAMA ESPECIAL DE TITULACIÓN

“Implementación de un sistema controlador de factores climatológicos y cultivos de pitahaya hidropónica”

Autor: Aldo Edgar PARRA ZEVALLOS

Para obtener el Título Profesional de
INGENIERO ELECTRÓNICO

Asesor: Javier Mansilla Yanqui

Lima, julio 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres, porque gracias a su lucha persistente y constantes motivaciones que me dan, puedo salir adelante. También dedico el presente trabajo a mi hijo porque gracias a él encontré la mejor motivación de luchar día a día por ser alguien mejor.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida, por hacerme fuerte para lograr mis metas y mostrarme que el camino a seguir. También agradezco a una persona especial que de manera indirecta me enseñó que la persistencia y voluntad se logran muchas cosas.

RESUMEN

En la actualidad, el cultivo de la fruta de pitahaya va creciendo de manera gradual, ya que esta fruta es usada con fines alimenticios y de salud; sin embargo, el cultivo de la misma se realiza utilizando las costumbres de la siembra tradicional, obteniendo en su mayoría grandes pérdidas del producto final debido a los factores que afectan las siembras como plagas, contaminación del fruto por químicos, temperaturas variables y humedades no controladas, ente otras. Con el presente proyecto se busca generar un ambiente controlado donde se mejore las condiciones del desarrollo de la planta para de esta manera mejorar la producción en la cosecha de la fruta pitahaya. El proyecto tiene un diseño experimental propiamente dicho ya que se utilizará sensores, actuadores y software LabView para la lógica de control. Además, para ejecutar la evaluación del proyecto se desarrollará un método cuantitativo ya que los resultados de las mediciones se efectuarán de forma numérica y porcentual.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
TABLA DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
LISTA DE ANEXOS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1.....	3
ASPECTOS GENERALES.....	3
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.2 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS.....	5
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.2.3 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	5
1.2.4 JUSTIFICACIÓN.....	6
1.2.5 ESTADO DEL ARTE	7
CAPÍTULO 2.....	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1 FUNDAMENTO TEÓRICO	11
2.1.1 LA PITHAYA.....	11
2.2 EVOLUCIÓN DE LA PLANTA EN CULTIVO	16
2.2.2 CULTIVOS HIDROPÓNICOS	19
2.2.3 INVERNADEROS.....	28
2.2.4 SISTEMAS DE CONTROL.....	35
2.2.5 SENSORES	40
2.2.6 ACTUADORES.....	53
2.2.7 ARDUINO	55
2.2.8 SOFTWARE LABVIEW	59
CAPITULO 3.....	62
DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....	62
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	62
3.2 DISEÑO DEL ESTUDIO	62

3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	62
3.4	INSTRUMENTOS	62
3.5	CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	63
3.5.1	CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....	63
3.5.2	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	63
3.6	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	64
3.7	ESTRUCTURA DEL INVERNADERO	65
3.8	DISEÑO DEL SISTEMA HIDROPÓNICO NFT	67
3.9	CONTROL DEL INVERNADERO	68
	BOMBA DE AGUA	80
3.10	DISEÑO EN LA ADQUISICIÓN DE DATOS.....	82
3.10.1	ARDUINO NANO	84
3.10.2	VENTAJAS	85
3.10.3	LÓGICA DE CONTROL.....	85
3.10.4	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL DE LAS VARIABLES	87
3.11	DISEÑO DEL ENTORNO LABVIEW	88
	CAPITULO 4.....	99
	RESULTADOS	99
4.1	RESULTADOS	99
4.1.1	RESULTADOS	99
4.1.2	PRESUPUESTO	112
4.1.3	CRONOGRAMA.....	113
	CONCLUSIONES	114
	RECOMENDACIONES.....	116
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
	ANEXOS.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación precipitación (mm) – producción (toneladas).....	9
Figura 2. Efecto de la temperatura en la maduración del fruto.	10
Figura 3. Fruta pitahaya amarilla.	12
Figura 4. Cultivos de Pitahaya.	13
Figura 5. Fruto de la Pitahaya roja	14
Figura 6. Fruto de la Pitahaya amarilla	14
Figura 7. Técnica de la raíz flotante.	22
Figura 8. Técnica en Aeroponía.	23
Figura 9. Técnica del flujo y reflujo.....	24
Figura 10. Técnica NFT.	24
Figura 11. Riego por Aspersión en cultivos hidropónicos.	25
Figura 12. Sistema riego por goteo.	26
Figura 13. Sistema de riego a desnivel.....	26
Figura 14. Estructura de un invernadero tipo Parral.	29
Figura 15. Estructura del invernadero tipo en Raspa y Amagado.....	29
Figura 16. Estructura del invernadero tipo Asimétrico o Inacral.	30
Figura 17. Estructura del invernadero tipo Capilla.	31
Figura 18. Estructura del invernadero tipo Doble Capilla.....	31
Figura 19. Estructura del invernadero tipo Túnel.....	32
Figura 20. Estructura del invernadero tipo Venlo.	32
Figura 21. Comparación entre escalas de temperatura.....	33
Figura 22. Relación entre Temperatura y Humedad relativa medidos en Washington DC., EEUU.	35
Figura 23. Esquema de bloques del sistema de control a lazo abierto.	36
Figura 24. Esquema de bloques del sistema de control a lazo cerrado.	36
Figura 25. Esquema de control por Realimentación Unitaria.	37
Figura 26. Esquema de control por Realimentación No Unitaria.	38
Figura 27. Esquema de Realimentación positiva en técnicas de control.....	38
Figura 28. Esquema de realimentación negativa en técnicas de control.	39
Figura 29. Esquema de un sensor activo.	41
Figura 30. Esquema de un sensor pasivo.	41
Figura 31. Tipo de encapsulado SO del 18B20.....	46
Figura 32. Tipo de encapsulado μ SOP del DS18.	47
Figura 33. Tipo de encapsulado TO-92 del DS18B20.	47
Figura 34. Conexión del sensor con fuente externa.	48
Figura 35. Conexión del sensor utilizando fuente parásita.	48
Figura 36. Sensor de temperatura DHT22.	49
Figura 37. Forma de conexión del sensor DHT22.	50
Figura 38. Esquema de un arreglo para nodos sensores en una red WSN	52
Figura 39. Ventilador	53
Figura 40. Calefactor hecho con resistencias eléctricas	54
Figura 41. Electrobomba	55
Figura 42. Placa electrónica del Arduino	56
Figura 43. Entorno del software Arduino.....	59
Figura 44. Ventana de inicio LabView	60
Figura 45. Vista de dos ventanas de trabajo en LabView..	61

Figura 46. Medidas de la parte Frontal del invernadero.....	65
Figura 47. Medidas de la parte Lateral del invernadero.....	66
Figura 48. Construcción de la estructura para el invernadero.....	66
Figura 49: Estructura del invernadero para el proyecto.	67
Figura 50: Diseño de los tubos de PVC para el sistema NFT	68
Figura 51. Esquema de conexión del sensor de temperatura DS18B20.....	70
Figura 52. Circuito para placa del sensor DS18B20.	70
Figura 53. Esquema de conexión del sensor DHT 22.	71
Figura 54. Circuito para placa del sensor DHT 22.....	72
Figura 55. Resistencia eléctrica circular.....	73
Figura 56. Circuito de conexión de la resistencia con el Relay de estado sólido.....	75
Figura 57. Esquema de conexión de los ventiladores.	77
Figura 58. Circuito para placa de los ventiladores 1 y 2.	78
Figura 59: Esquema de conexión.	79
Figura 60: Esquema del circuito para la fuente regulada de 12VDC.....	80
Figura 61: Circuito para placa de la fuente 12VDC.....	80
Figura 62. Esquema de conexión de la bomba de agua.....	82
Figura 63. Motor de agua marca Askoll usado en el proyecto.....	82
Figura 64. Diagrama de bloques de la lógica de control del sistema lógico y electrónico Fuente propia.....	83
Figura 65. Diagrama de bloques a lazo cerrado del sistema de control hidropónico.....	84
Figura 66. Diagrama de flujo del testeo de sensores y envío de datos por el puerto serial del Arduino Nano.....	86
Figura 67. Diagrama de flujo de manipulación “Encendido/Apagado” de los Actuadores.	87
Figura 68. Diagrama de bloques a lazo cerrado del control de Temperatura y Humedad.	88
Figura 69. Diagrama de flujo de Control en Temperatura y Humedad Relativa sensada con el DHT22.....	89
Figura 70. Ventana del ejecutable creado con LabView, y será manejada por el operador.....	90
Figura 71. Casillas de reconocimiento y enlace de los puertos COM conectados con los módulos Arduino.	91
Figura 72. Botones de control de inicio y parada de la ejecución del programa de control.....	91
Figura 73. Lógica de control completa desarrollada en el software LabView.....	92
Figura 74. Elemento de conexión entre el Arduino y el software LabView	93
Figura 75. Iconos dinámicos que muestran la temperatura y humedad sensada de forma analógica y digital.	93
Figura 76. Primer Control del nivel de temperatura del DHT 22 – Encendido del calefactor	94
Figura 77. Visualización en el aplicativo del encendido del calefactor y la medición de temperatura del DS18B20	95
Figura 78. Segundo Control del nivel de Temperatura del DHT 22 – Encendido del Ventilador	95
Figura 79. Control del nivel de temperatura – Encendido del extractor.	96
Figura 80. Visualización en el aplicativo del encendido del extractor.....	96
Figura 81. Interfaz gráfica de activación manual para cada actuador del sistema de control.	97
Figura 82. Lógica de activación de la motobomba acompañada con led’s que en el aplicativo simulan tuberías del cultivo hidropónico	98
Figura 83. Simulación de los cultivos hidropónicos y el encendido de la motobomba	98
Figura 84. Invernadero para cultivos hidropónicos construido para el proyecto	100
Figura 85. Sistema de control usado para el proyecto.....	100

Figura 86. Sistema de cultivo NFT	101
Figura 87. Conexión de los módulos Arduino para Sensores y Actuadores	102
Figura 88. Reconocimiento y selección del puerto conectado al Arduino de los sensores (COM3).....	103
Figura 89. Reconocimiento y selección del puerto conectado al Arduino de los Actuadores (COM4).....	103
Figura 90. Ejecutar de la aplicación	103
Figura 91. Imagen de la aplicación ejecutándose con los parámetros “set point” establecidos	104
Figura 92. En el recuadro rojo se observa que los led’s rojos que se ubican al lado del ventilador se activaron simulando que el calefactor ya se activó.....	105
Figura 93. Diagrama lineal de los niveles máximos y mínimos de temperatura medidos en el exterior de los cultivos hidropónicos de pitahaya.	106
Figura 94. Diagrama lineal de los niveles máximos y mínimos de humedad relativa medidos en el exterior de los cultivos hidropónicos de pitahaya	107
Figura 95. Resultado de la medición realizada el 29/04/2019	108
Figura 96. Resultado de la medición realizada el 30/04/2019	108
Figura 97. Resultado de la medición realizada el 02/05/2019	109
Figura 98. Resultado de la medición realizada el 03/05/2019	109
Figura 99. Diagrama de GANTT para el cronograma del proyecto.....	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tabla de la producción mundial de la Pitahaya.....	15
Tabla 2	Ciclos de producción de la fruta Pitahaya al año	17
Tabla 3	Composición de valores nutricionales en 100g de pulpa de Pitahaya.....	18
Tabla 4	Usos de la planta de Pitahaya.....	19
Tabla 5	Tabla de hortalizas de cultivos hidropónicos frecuentes y rendimiento.....	21
Tabla 6	Uso de pesticidas en plantaciones de dos poblaciones del Valle del Mantaro, Junín ...	27
Tabla 7	Propiedades físicas del agua medidos en diferentes escalas de temperatura.....	34
Tabla 8	Características de los controles electrónicos en invernaderos.....	40
Tabla 9	Tipos de clima relacionados con el tipo de control adecuado	40
Tabla 10	Uso de sensores según su función de aplicación.....	43
Tabla 11.	Tipos de sensores usados para niveles de Temperatura y Humedad.....	44
Tabla 12.	Ventajas y Desventajas del sistema WSN.....	52
Tabla 13	Tabla de Operacionalización de las variables	64
Tabla 14	Características de la resistencia eléctrica	73
Tabla 15	Características eléctricas del relé de estado sólido ZXF30	74
Tabla 16	Características eléctricas del transistor 2N3904.....	76
Tabla 17.	Especificaciones técnicas de las Bombas de agua.....	81
Tabla 18	Características técnicas del Arduino Nano.....	85
Tabla 19	Niveles de Temperatura medido en el exterior de los cultivos hidropónicos.....	106
Tabla 20	Niveles de Humedad Relativa medido en el exterior de los cultivos hidropónicos ..	106
Tabla 21	Niveles de Temperatura medidos en el exterior e interior de los cultivos hidropónicos	110
Tabla 22	Niveles de Humedad Relativa (HR) medidos en el exterior e interior de los cultivos hidropónicos.....	111
Tabla 23	Costo para la implementación del sistema	112

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Código en Arduino de Actuadores	122
ANEXO B. Código en Arduino de Sensores.....	125
ANEXO C. Comparación de Sensores DHT 11 y DHT 22	127
ANEXO D. Comparación de algunas placas Arduino.....	128

INTRODUCCIÓN

El cultivo hidropónico es utilizado cada vez en más lugares gracias a la facilidad que se tiene de poder desarrollarlo en lugares poco adecuados y con espacio reducido, además de facilitar el ahorro en el consumo de agua y ser una buena alternativa de sustentabilidad para varias familias de pocos recursos y falta de espacio en lugares donde habitan. Las técnicas hidropónicas cada vez son más difundidas en diferentes países con la finalidad de generar pequeños productores e investigadores en la materia. La forma de cultivar una planta de manera hidropónica se debe escoger de acuerdo a la forma de crecimiento y desarrollo de la misma.

En la actualidad existen lugares donde se realiza el cultivo de la fruta pitahaya de forma hidropónica, pero utilizando técnicas rústicas en el cuidado del desarrollo de la planta, ocasionando que sean afectadas por las plagas que habitan en la zona y dañan el cultivo; además de ser afectado de manera directa por los cambios en niveles de temperatura y humedad, los cuales repercuten en el desarrollo de la planta. Además, estos cultivos no

cuentan con algún ambiente especial para protección durante todo el desarrollo de la planta y del fruto de pitahaya.

Con el objetivo de mejorar la producción de la fruta pitahaya, en el presente proyecto se desarrolla un sistema controlador de factores climatológicos como temperatura y humedad relativa en los cultivos hidropónicos de la planta pitahaya. Además de acondicionar un invernadero donde se realizarán los cultivos hidropónicos, y que ayudará a protegerlos del medio ambiente y plagas que puedan aparecer en la zona. También se utilizará el tipo de hidroponía NFT para el cultivo de la planta ya que permite el uso adecuado del agua en el riego, caracterizado por regar las raíces en un sistema recirculante y reutilizable de agua.

El sistema controlador se complementa con una interfaz interactiva mediante la cual el operador encargado puede manejar los niveles de temperatura y humedad relativa que deben gobernar dentro del sistema de cultivos hidropónicos. Este sistema se ejecuta con ayuda de una lógica de control mediante software y hardware, que trabajando en conjunto controlan el ambiente de los cultivos de manera automática. Sin embargo, el control también se puede ejecutar de manera manual mediante la interfaz interactiva diseñada.

CAPITULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el mundo entero la técnica hidropónica se desarrolla para el cultivo de diversas frutas y verduras, reemplazando la siembra tradicional que se realiza en suelos infectados por plagas y pesticidas. Se estima que el 16% de la producción hidropónica con invernaderos que usan esta técnica son diseñados por países como Canadá, Holanda, Israel y Francia principalmente. Además, Orozco (2011) menciona que la producción hidropónica a nivel mundial crece a razón del 25% anual, lo cual significa que es 10 veces más en relación a la agricultura en tierra, esto impulsado por motivos de salud y medioambiente de manera principal.

En América Latina existe un 37.7% de territorio agrícola dedicado al cultivo de diferentes plantas. En México se detectó que el 50% de los agricultores que utilizan pesticidas en sus cultivos sufrieron daños como quemaduras, irritación de la piel, dolor de cabeza y vómitos (Ruiz, Ruiz, Guzmán, & Pérez, 2011). México es uno de los principales países exportadores de la fruta pitahaya cultivada de manera hidropónica... recomendando almacenar a 7-12°C y 85-90% de humedad relativa. (Díaz, 2005, p.44)

En el Perú y específicamente en Lima, existen distintas clases de microclimas que dificultan y limitan la actividad agrícola tradicional, influidos por la fría corriente de Humboldt. La zona costera es por excelencia de clima desértico y húmedo, con temperaturas desde los 14 °C a 29°C. Además, mantiene niveles de Humedad relativa entre los 50% y 90% (Wieser, 2011). Debido a la alta proliferación de plagas, se deben usar pesticidas e insecticidas en las tierras donde se encuentran los cultivos, llegando a contaminar los frutos y alterando la cosecha final.

El problema que se identifica sucede debido a la falta de control de los factores climáticos en todo el proceso de los cultivos hidropónicos de la planta de pitahaya, la alteración del correcto crecimiento de la fruta debido a las variaciones de temperatura que no son adecuadas para la planta, así como también la humedad relativa del sitio donde se realizan los cultivos.

Se determina que de persistir el problema los factores de temperatura y humedad relativa que afectan los cultivos perjudicarían el desarrollo del fruto y crecimiento de la planta de pitahaya en el tipo de cultivo hidropónico.

Se sugiere construir un sistema controlador de factores climatológicos como temperatura y humedad relativa que afecten los cultivos hidropónicos de la fruta pitahaya, además de construir una estructura tipo invernadero que proteja del medio ambiente a los cultivos hidropónicos. El sistema controlador debe tener sensores y actuadores que puedan controlar y limitar los cambios de temperatura internos y la humedad relativa en el aire. También se debe establecer un centro de control y monitoreo visual para el personal designado que será encargado de supervisar los cultivos hidropónicos de pitahaya.

1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La implementación del sistema de control de temperatura y humedad relativa en cultivos hidropónicos mejorará los factores climatológicos que afectan a las plantas de las frutas pitahaya?

1.2 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Implementación de un sistema controlador de factores climatológicos y cultivos de pitahaya hidropónica.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Monitorear y obtener los valores de temperatura y humedad relativa que se presentan dentro del ambiente de cultivos hidropónicos.
- Evaluar y comparar los valores obtenidos de temperatura y humedad relativa de nuestros cultivos hidropónicos, con valores patrones establecidos por el operador.
- Corregir los niveles de temperatura y humedad relativa que afectan los cultivos hidropónicos basándose en los requerimientos establecidos por el operador.

1.2.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES

- Este proyecto tiene un alcance social porque beneficia de manera directa al personal que se dedica a desarrollar cultivos de pitahaya en forma hidropónica.

LIMITACIONES

Este estudio tiene limitaciones en referencia al problema que se tuvo al encontrar bibliografía relacionada a cultivos de la fruta pitahaya dentro de la localidad, debido a que muy pocas personas o empresas se dedican al sembrío de esta fruta en Perú. Además, se presentaron limitaciones al momento de hacer las mediciones de los sensores de temperatura y humedad relativa puesto que no se contaba con las herramientas adecuadas para su uso, así como también la adquisición de algunos implementos y sensores electrónicos que son de difícil ubicación en nuestra localidad. Así mismo se tuvo inconvenientes para la creación del aplicativo que controlará el operador ya que la adquisición del software LabView y su licencia tienen costo alto para empresas.

1.2.4 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto tiene justificación práctica porque ayuda a solucionar el problema identificado de los niveles de temperatura y humedad que afectan a las plantas de pitahaya en los cultivos hidropónicos, obteniendo mejoras en el ambiente de cultivo, reduciendo pérdidas o deterioro de las plantas ocasionadas por factores climatológicos.

Además, presenta justificación económica, porque al controlar los factores climatológicos en el interior de la estructura invernadero de cultivos hidropónicos se aumentará la cantidad de frutos en buen estado al momento de la cosecha, conllevando a reducir la cantidad total de plantas de pitahaya que serán utilizadas en el cultivo, evitando gastos económicos adicionales en la obtención de la fruta.

Además, cuenta con una justificación investigativa pues los resultados darán pie a que se continúen desarrollando estudios en este campo y se pueda ejecutar estudios de otras variables que en el presente proyecto no se han considerado.

1.2.5 ESTADO DEL ARTE

NACIONALES

Aguirre (2017) en su estudio en Lima acerca de las oportunidades de negocios en cultivos hidropónicos titulado “Proyecto empresarial dedicado a la venta de alimentos hidropónicos AquaFood”, trabajó en el emprendimiento de una empresa distribuidora de diferentes vegetales cultivados de manera hidropónica. Su objetivo general fue realizar un estudio en las ventajas del cultivo hidropónico e implementarlo como una oportunidad de empresa en el rubro de la agricultura. Se utilizaron como instrumentos los contenidos de estudios realizados en comparación con la agricultura tradicional de algunos vegetales. Y obtuvo como resultado que la actividad de hidropónica muestra ventajas en comparación con la agricultura tradicional, siendo la más importante el ahorro de insumos artificiales, uso medido del agua y obtención de los frutos en menor tiempo.

Soto (2015) estudió el cultivo del tomate en Lima en una investigación llamada “Cultivo del tomate tipo cereza (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme*) bajo condiciones hidropónicas” en la que trabajó con tomates cultivados bajo sistema hidropónico y tuvo como objetivo general buscar las características propias del tomate tipo cereza y el manejo del cultivo hidropónico bajo invernadero para ser considerado como oportunidad de negocio. Se emplearon instrumentos como investigaciones realizadas sobre el cultivo del tomate tipo cherry y formas de cultivos hidropónicos. Sus resultados indican que para el control de algunas plagas que atacan los cultivos hidropónicos es necesario moderar o reducir la Humedad Relativa dentro de los cultivos y mantener Temperatura caliente en las noches, además de manejar una adecuada ventilación o circulación del aire dentro de los invernaderos para mantener seca la superficie de las plantas.

Acosta (2017) realizó un estudio sobre los cultivos de tomate hidropónicos en Lima titulado “Efecto del tipo de cultivo y la temperatura sobre la capacidad antioxidante del tomate variedad cherry (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*)” en la que trabajo con el control ambiental en invernaderos con cultivos hidropónicos de tomate cherry, tuvo como objetivo general evaluar la capacidad antioxidante del tomate en relación a los efectos de temperatura y tipo de cultivo, su diseño fue investigativo-deductivo y los instrumentos aplicados fueron la recolección de datos para realizar análisis estadísticos. Sus resultados indican que la clase de cultivo hidropónico evidencia un efecto de mayor capacidad antioxidante en el tomate, así como la temperatura que tiene una relación directamente proporcional con la capacidad antioxidante del vegetal.

INTERNACIONALES

Sánchez, Villarreal, & Torres (2015) en su estudio en Colombia acerca del uso de agua para el cultivo de la fruta pithaya amarilla titulado “Estimación de la huella hídrica para un cultivo de pitahaya amarilla (*Selenicereus Megalanthus*)” trabajó con cultivos de la mencionada planta en el municipio de Palestina. Su objetivo general fue cuantificar el consumo del recurso hídrico, para concientizar a los habitantes del municipio de Palestina, Huila sobre la importancia de la administración adecuada y eficiente del agua en plantas de la pitahaya. El diseño que empleó fue determinar los valores teóricos de las huellas hídricas a partir de información suministrada por un cultivador del municipio de Palestina. Se utilizó como instrumento de medición el software CropWat 8.0 (propuesto por la FAO en el año 2010). Y encontró como resultado que en la producción de la fruta pitahaya amarilla el rendimiento en producción del cultivo va a depender de las condiciones climatológicas en las que este se desarrolle, siendo la precipitación un factor limitante para su normal

desarrollo; por lo que encuentra como consecuencia que, a mayor precipitación, la productividad del fruto tiene a decrecer.

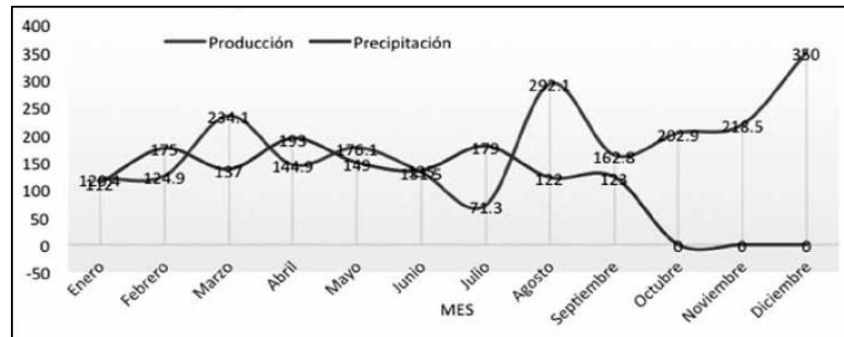


Figura 1. Relación precipitación (mm) – producción (toneladas).
Fuente: Estimación de la huella hídrica para un cultivo de pitahaya amarilla (Sánchez, Villarreal, & Torres, 2015)

Martínez, *et al.* (2017) publicó un estudio realizado en México acerca de la constante térmica que necesita una planta para completar su ciclo (CT) titulado “Fenología y constante térmica de la pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw. Britt. & Rose)”, en el que trabajó con tres selecciones de pitahaya. El objetivo general del estudio fue determinar la constante térmica (CT) de la pitahaya. Utilizó las fases fenológicas de la planta, desde brotación floral hasta la madurez de los frutos, para el estudio y determinación de la fenología de la pitahaya. Los instrumentos que se utilizaron para el análisis de los resultados fueron los paquetes estadísticos SAS 9.3 (Statistical Analysis System) para S.O Windows. Y cuyo resultado fue que la temperatura es un factor condicionante para el inicio de la brotación floral de la planta, llegando a observar que al presentarse temperaturas más altas se obtuvo de manera anticipada la brotación floral en la pitahaya.

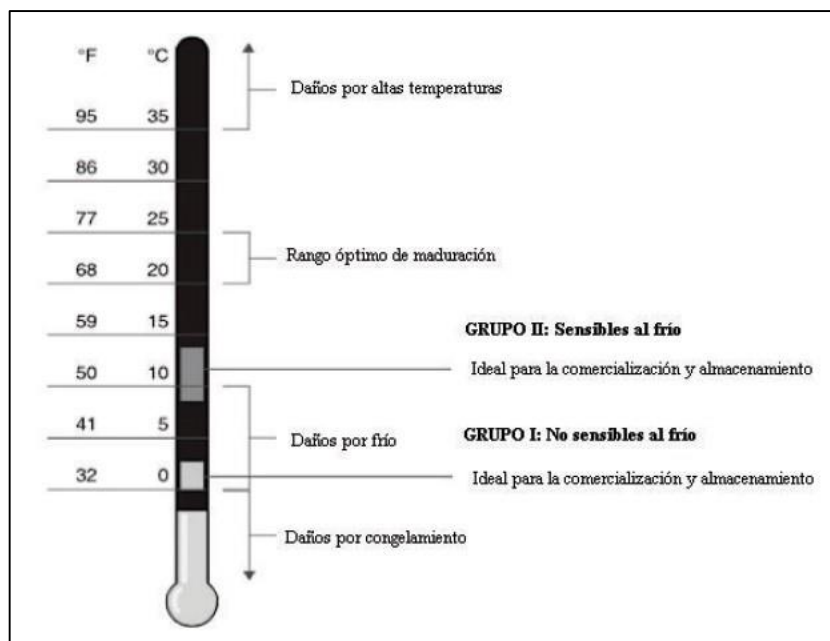


Figura 2. Efecto de la temperatura en la maduración del fruto.
Fuente: Adecuado de <http://www.fondefriesgos.agrimed.cl/contenido.asp?Id=10>

Mena (2017) realizó un estudio sobre hidroponía en invernaderos con sistemas de control titulado “Automatización de un cultivo hidropónico NFT para el control de temperatura, riego y mezcla de la solución nutritiva, ubicada en la zona urbana de Quito”, en el cual trabajó con cultivos hidropónicos de lechuga e implementando un sistema automatizado de dotación de nutrientes, riego y control de temperatura dentro del invernadero. El objetivo de la investigación fue implementar y evaluar un sistema hidropónico automatizado para mejorar la germinación y crecimiento de la lechuga hidropónica. Se empleó como instrumentos la tecnología de cultivo NFT y sensores para la cuantificación de datos. El resultado que se obtuvo fue un crecimiento de la planta en 5 cm superior a la cultivada de manera tradicional, esto debido al control de temperatura y nutrientes en los cultivos hidropónicos.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.1 LA PITHAYA

2.1.1.1 CONCEPTO

La pitahaya que tiene como nombre científico *Hylocereus* es conocido en el mundo con diferentes nombres como por ejemplo pitaya, pitajón, strawberry pear, cactus fruit, entre otros; es de sabor dulce, proveniente de la familia de las cactáceas, denominada como una fruta exótica nativa del hemisferio occidental, conocida también como la fruta del dragón en Vietnam. Franco y Villamar (2018) describen la pitahaya como “una fruta exótica de color amarilla o roja tiene un sabor dulce, su pulpa expide un olor muy agradable y hospeda abundantes y diminutas semillas” (p. 17).



Figura 3. Fruta pitahaya amarilla.

Fuente: Desarrollo de la Pitahaya en Ecuador (Huachi et al, 2015)

En cuanto a su producción y consumo, Díaz (2005) afirma que “[...] los israelíes han comenzado a cultivar, de forma experimental, el cultivo de pitahaya en el desierto de Negev. Otros países que cultivan pitahaya son Hong Kong, Italia y Taiwán” (p. 45). En América Latina, “el origen de esta fruta es incierto ya que varios autores mencionan los diferentes lugares en los que está distribuida, principalmente en países como México, Guatemala, Costa Rica, Ecuador y Colombia” (Huachi et al, 2015, p. 51). Según refiere Vite (2014), en el Perú se puede encontrar la pitahaya, en forma silvestre, en los bosques secos del norte y también en la selva alta del lado amazónico, también afirma que los principales destinos de exportación de la pitahaya son a los países de Francia, Alemania, Canadá y España.

Según Franco y Villamar (2018) los principales países importadores de la fruta pitahaya son EEUU, Japón y Alemania. Además, afirma que los principales países americanos productores de pitahaya son México, Colombia y Ecuador.



*Figura 4. Cultivos de Pitahaya.
Extraído de <https://dccuaem.net/2015/02/09/conocimientos-tradicionales-la-pitahaya-de-fruta-silvestre-a-cultivo-especializado/>*

2.1.1.2 VARIEDADES DE PITAHAYA

Existen dos clases de pitahaya principales las cuales son de distinto color y dimensión, la pitahaya amarilla y la pitahaya roja. Según afirma Noboa (2016) la fruta pitahaya proviene de dos géneros *Hylocereus* y *Selenicereus*, en la primera destacan la pitahaya roja de pulpa blanca (*Hylocereus undatus*) y la pitahaya roja de pulpa roja (*Hylocereus polyrhizus*), en cambio en el segundo género se encuentra la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). Ambas cultivadas en diversos países de América Latina.

- Pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*): conocida comúnmente como fruta del dragón, físicamente la cascara y la pulpa son rojas y posee propiedades medicinales en el ámbito digestivo, Ramos (2018) nos menciona que “sus semillas no se deben masticar porque actúan como purgante energético” (p. 24).



Figura 5. Fruto de la Pitahaya roja
Fuente: Extraído de <http://www.lapitahayayucateca.com/>

- Pitahaya Amarilla (*Selenicereus megalanthus*): Conocido como una fruta tropical y de uso alimenticio, puede crecer en la tierra y encima de otras plantas, “su flor se caracteriza por su gran tamaño ya que alcanza los 30 cm [...] la fruta de pitahaya es ovoide de entre 8 y 10 cm de largo y 7 cm de ancho” (Figueroa y Mollinedo, 2017, p. 14).



Figura 6. Fruto de la Pitahaya amarilla
Fuente: Extraído de <http://www.lapitahayayucateca.com/>

2.1.1.3 LUGARES DE CULTIVO

Las plantas de pitahaya se cultivan en zonas tropicales, maduran sus frutos a temperatura ambiente. Según refiere Figueroa y Mollinedo (2017) la planta de pitahaya puede florecer en diferentes condiciones ecológicas, situadas a nivel del mar o a ciertas alturas y niveles de precipitación, soporta temperaturas promedio de 13 °C a 28,5 °C. Dávila (2005) refiere que “Es una planta propia de zonas calientes. Posee características que la hacen resistente a la sequía” (p. 9). En el Perú, se desarrollan de manera natural las plantas de pitahaya en las cercanías de la zona del Río Piura entre los 700 y 1000 m.s.n.m perteneciente al distrito de Frías.

Tabla 1
Tabla de la producción mundial de la Pitahaya

País	Área (Ha)	Producción total (ton)	Exportación (ton)
Vietnam	4500	70000	15000
Colombia	600	6000	600
Nicaragua	560	5600	560
México	265	2650	265
Israel	20	200	200
Total	5945	84450	16625

Fuente: Adaptado de “Biología y manejo postcosecha de pitahaya roja y amarilla (*Hylocereus* spp., y *Selenicereus* spp)” (Díaz, 2005)

2.1.1.4 COMPOSICIÓN FÍSICA DE LA PLANTA

- Raíz: Este tipo de plantas posee dos clases de raíces, Sabino (2010) señala que una de sus raíces, denominado primarias, se encuentra enterrado en el suelo y la otra se encuentra en la superficie de la plantación la cual sirve para sostén y fijarse al tutor además de poder absorber agua y nutrientes del ambiente.
- Tallo: la pitahaya es una planta trepadora que generalmente crece sobre los árboles, su tallo es conocido como penca y presenta forma triangular con espinas

de 4 mm de largo aproximadamente. El tallo varía en su color cuando va madurando planta, desde un color verde claro a un color verde oscuro.

- Flores: Es una planta por excelencia hermafrodita, Noboa (2016) menciona que “la flor es grande y mide entre 20 y 30 cm de largo, es tubular, hermafrodita y blanca” (p. 2). Además, Díaz (2005) menciona que “Las flores son nocturnas y se abren sólo una vez. Todas las especies a excepción de *Selenicereus megalanthus*, son auto incompatibles y requieren de polinización cruzada” (p. 45).
- Fruto: Tiene forma ovoide de aspecto escamoso, son de color verde al inicio, luego adoptan el color distintivo según su especie, Novoa (2016) hace mención sobre el fruto “puede medir entre 8 y 14 cm de largo, entre 4,5 y 9 cm de diámetro y pesar entre 70 y 390 g en promedio” (p. 2). Los frutos se desarrollan tanto en la parte externa de la planta como en el ovario. Posee una cantidad considerable de semillas color negro que tienen tamaños muy pequeños situados en su interior.
- Semilla: Las semillas de esta planta son pequeñas con un tamaño de 2 cm aproximadamente, son numerosas y se encuentran distribuidas en toda la pulpa del fruto. Son de color oscuro brillante y en su parte externa tiene una sustancia melosa que le ayuda a fijarse al tallo de otras plantas cuando son puestas sobre ellas.

2.2 EVOLUCIÓN DE LA PLANTA EN CULTIVO

La pitahaya se puede sembrar en cualquier época del año, se caracteriza por ser trepadora y crece generalmente sobre árboles. Sus frutos con normalidad pueden brotar a partir del primer año de crecida la planta, pero su producción va aumentando de manera gradual hasta los 6 años, tiempo en el cual se establece. Cuando es sembrada de manera tradicional, los meses de alta producción de frutos,

es entre mayo y noviembre. En un estudio realizado por Hernández (2018), afirma que “La mayor producción de los frutos de pitahaya coincide con el solsticio de verano (de junio a noviembre), donde los días son más largos que las noches, es decir, cuando hay mayor cantidad de horas - luz” (p. 12). Además, según Sabino (2010) “La mayoría de las áreas de producción de pitahaya son de huerto familiar, donde se reproducen a través de la semilla o esquejes. La plantación por esquejes empieza a producir al según año” (p. 19).

Tabla 2
Ciclos de producción de la fruta Pitahaya al año

Ciclos	Meses	Nivel de producción
1	Junio	Bajo
2	Julio	Medio a Alto
3	Agosto	Alto
4	Septiembre	Alto
5	Octubre	Medio a Bajo
6	Noviembre	Bajo

Fuente: Adaptado de Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (2002). Rescatado de:
<http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/guias/GUIA%20PITAHAYA%202014.pdf>

2.2.1.1 VENTAJAS

El consumo de la fruta pitahaya se realiza de manera principal como fruta fresca y contiene diversas propiedades saludables para el cuerpo humano. Es altamente nutritiva sobre todo digestiva. Una de las principales ventajas que presenta la fruta es como alimento diurético ya que presenta un 90% de agua sabor dulce. Además, “la pulpa de este fruto es un alimento fresco y dulce, cuya importancia nutricional proviene de su alto contenido de azúcar, así como las cantidades considerables de vitamina B, C y E” (Beltrán-Orozco, Oliva-Coba, Gallardo-Velázquez & Osorio-Revilla, 2009, p. 154).

Tabla 3
Composición de valores nutricionales en 100g de pulpa de Pitahaya

Composición de 100g de parte comestible	
Calorías	54
Agua	89,40 g
Proteínas	1,40 g
Grasa total	0,40 g
Carbohidratos	13,20 g
Ceniza	0,60 g
Calcio	10,0 mg
Fósforo	26,0 mg
Hierro	1,30 mg
Tiamina	0,04 mg
Riboflavina	0,04 mg
Niacina	0,30 mg
Ácido ascórbico	8,0 mg

Fuente: Adaptado de “Agricultura de plantas silvestres en la sierra de Piura: Análisis de un modelo de productivo de cultivo y comercialización de pitaya en Frías Ayabaca-Piura” (Vite, 2014)

También, “el consumo de esta fruta regula el nivel de azúcar en la sangre, combate la anemia además de ayudar a prevenir cálculos renales. [...] recomendada por expertos debido a la variedad de propiedades curativas con la que cuenta” (Franco & Villamar, 2018, p. 19).

2.2.1.2 USOS

En la actualidad, a la planta de la pitahaya se le da diversos usos, los más conocidos se nombran en la Tabla 4.

Tabla 4
Usos de la planta de Pitahaya

Partes	Usos	Industrialización
Planta	Ornamental y cercos vivos	
Tallos	Alimentación animal	Forrajes
	Medicinal	Medicamentos
	Cosmetológico	Shampoos y jabones
Flores	Ornamental	
	Medicinal	Medicamentos
	Cosmetológico	Esencias
Frutos	Ornamental	
	Alimentación humana	Pulpa congelada, jugos, jarabes, licores, salsas
	Alimentación animal	Forrajes
	Medicinal	Medicamentos
Cáscara	Industrial	Colorantes y pectinas

Fuente: Adaptado de “Pitahayas. Estado mundial de su cultivo y comercialización” (Rodríguez, 2000)

2.2.2 CULTIVOS HIDROPÓNICOS

2.2.2.1 HISTORIA

La palabra hidroponía es originaria del griego “hidro” el cual significa agua y “ponos” que significa trabajo. La técnica de los cultivos sin suelo tiene su pasado en los Jardines colgantes de Babilonia (año 600 A.C.), estos son considerados como los primeros cultivos hidropónicos en el mundo, además de ser parte de una de las siete maravillas del mundo. Esto coincide con Astudillo (2016) quién menciona que “los jardines colgantes de Babilonia han utilizado la tecnología hidropónica primitiva. El emperador romano Tiberio se cree que han utilizado técnicas hidropónicas para cultivar pepino fuera de temporada” (p. 25). También se considera los Jardines flotantes de China como una antigüedad en hidroponía, “se afirma también, que existen jeroglíficos egipcios, de cientos de años A.C. que describen el cultivo de las plantas en agua a lo largo del Nilo a través de un primitivo esquema hidropónico” (Beltrano & Gimenez, 2015, p. 12). Según explica Costa (2014) el alquimista belga Van Helmont demostró en el siglo XVIII que el agua era trasmutada en materia

vegetal sembrando un sauce durante 5 años, al cual solo le agregaba agua, al finalizar obtuvo como resultado que el sauce no había perdido peso y llegó a la conclusión que el factor importante en una siembra no es la tierra. Posterior a esto, Así mismo, Gutiérrez (2018) explica que en el año 1699 el geólogo inglés Jhon Woodward, miembro de la Sociedad Real de Inglaterra, comprobó mediante experimentos que las plantas no solo necesitaban de agua, sino que eran necesarios los nutrientes orgánicos que circulaban dentro de la misma para su crecimiento. También, Díaz (2007) explicó que en el año 1792 el químico neerlandés Jan Ingen-Housz observó que las plantas necesitan de alto grado de luminosidad para realizar su proceso fotosintético, con esto identificó que los medios climáticos influyen en el crecimiento de una vegetal. Luego, en 1860 Julius Von Sachs y Wilhelm Knop comprobaron que lo importante para el desarrollo de una planta son los nutrientes que se encuentran en las soluciones de agua. Gutiérrez (2018) explica que en el año de 1929 el profesor W.F Gericke, considerado “padre de la Hidroponía” publica el artículo “Acuacultura, un medio de producción de cosechas”, donde transfiere los conocimientos adquiridos en los laboratorios de la Universidad de California para fines comerciales a gran escala. Posteriormente, El concepto de hidroponía fue insertado al Perú en el año 1975 por el docente Ulises Moreno correspondiente a la Universidad Nacional Agraria La Molina, y fue empleado como herramienta de enseñanza. Después, Ross (2013) explica que la judía Var-Azuki en el año 1997 realizó cultivos sin suelo en el proyecto con la NASA donde obtuvo como resultado una cosecha mayor a la comparada con cultivos en tierra.

2.2.2.2 CONCEPTO

La técnica de cultivo sin tierra se denomina Hidroponía, es decir, en este tipo de cultivo el suelo es reemplazado por un sistema de regadío con agua y minerales. El cultivo hidropónico utiliza sustratos inertes como la arena o cascarillas, entre otros,

lo cual ayuda de sostén en el proceso de cultivo de la planta. Esta técnica implica llevar agua a las raíces de la planta agua con soluciones nutritivas, el líquido con el que las plantas son regadas de manera constante son dotadas de cierta cantidad de nutrientes que son necesarios dotar a las raíces para que la planta pueda crecer y desarrollarse, Astudillo (2016) menciona que “las raíces reciben una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua con todos los elementos químicos esenciales para el desarrollo de la planta” (p. 20). Esto permite tener un control eficiente de los recursos de agua, luz y nutrientes. Con esta técnica se puede aprovechar sitios no convencionales para desarrollar la agricultura, ya que por la estructura no se necesita de lugares amplios, por lo que es ideal para sitios urbanos y de poco espacio disponible. La producción de los cultivos hidropónicos supera en cantidad a la de los cultivos convencionales en suelo, siendo un factor importante el control del agua, temperatura, humedad, iluminación y nutrientes que son dotados a las plantas. En la actualidad los cultivos hidropónicos son embestidos con el automatismo con la finalidad de mejorar procesos que conlleven a tener una mejor producción final, el objetivo es la utilización de menor espacio, ahorro considerable del agua y maximizar la producción de la planta.

Tabla 5
Tabla de hortalizas de cultivos hidropónicos frecuentes y rendimiento

Cultivo	Días después de siembra		Producción por m2
	Germinación	Cosecha	
Acelga	7 a 14	70 a 75	25 unid.
Albahaca	5 a 8	60	3 a 4 Kg
Apio	8 a 15	60 a 75	35 unid.
Cebolla	6 a 10	65 a 70	6 a 8 Kg
Cebollino	6 a 12	60 a 65	15 rollos/mes
Culantro	10 a 15	50 a 55	25 rollos
Lechuga	3 a 5	35 a 45	20 - 25 unid.
Perejil	10 a 18	50 a 55	15 rollos
Rábano	3 a 5	35 a 45	20 rollos
Repollo	3 a 8	60 a 65	10 a 12 Kg.
Tomate	4 a 12	80 a 85	5 a 8 Kg/planta
Vainica	3 a 6	45 a 50	4 a 5 Kg.

Fuente: Adaptado de “Hidroponía en casa: una actividad familiar” (Guzmán, 2004)

2.2.2.3 TIPOS DE SISTEMAS EN HIDROPONÍA

A. SISTEMAS HIDROPÓNICOS ABIERTOS

Este tipo de sistema se caracterizan por tener las raíces de las plantas libres, ya sean al aire libre o sumergidas en alguna composición con agua. Para este tipo de hidroponía se puede realizar el riego por aspersión.

- **Raíz Flotante:** Esta técnica procede con el libre desenvolvimiento de la raíz en el medio donde se cultiva, según explica Guzmán (2004) “las raíces están sumergidas directamente en la solución nutritiva. [...] debe ser aireada periódicamente para brindarle oxígeno a las raíces” (p. 9).

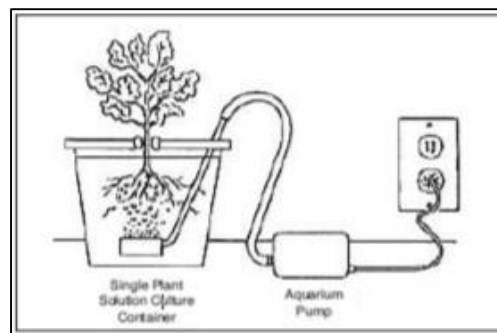


Figura 7. Técnica de la raíz flotante.

Fuente: Adecuado de (López-Anchondo, López-Ortiz, Mejía-Hernández, & López-de-la-Cruz, 2016)

- **Aeroponía:** En esta técnica hidropónica las raíces son puestas al aire, colgantes de las plantas. Pueden estar protegidas dentro de cajas de vidrio o algún material similar. Necesitan ser rociados periódicamente con una solución nutritiva por medio de aspersión, la principal ventaja es que maximiza el ahorro en consumo de agua.

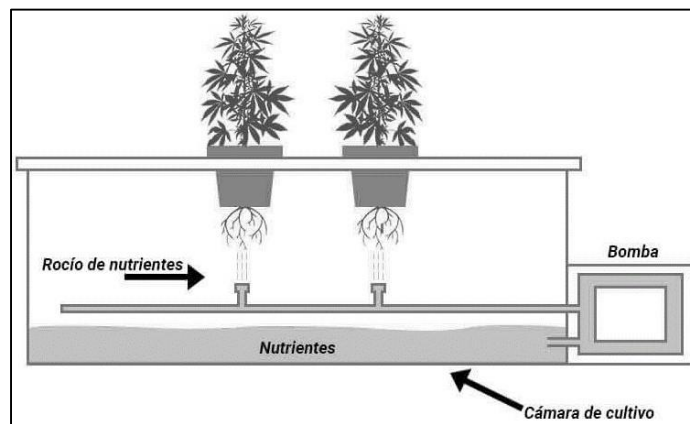


Figura 8. Técnica en Aeroponía.

Fuente: Adecuado de GEASEEDS <https://geaseeds.com/blog/cultivo-aeroponico/>

B. SISTEMAS HIDROPÓNICOS CERRADOS

Este cultivo hidropónico es el más utilizado, utiliza diferentes tipos de sustratos, orgánicos e inorgánicos, y es el más adecuado para el cultivo de plantas de menor tamaño, pero madurez rápida. Además, debido a la forma de implementación permite la recuperación de la masa nutriente, que es regada en las raíces, para su reutilización o circulación.

- **Flujo y Reflujo:** No muy utilizada en los cultivos hidropónicos. “consiste en una cama de raíces, las que tienen un medio de enraizamiento [...] y un sumidero de solución nutritiva donde ésta se eleva a un nivel constante y periódicamente para después ser drenada” (López-Anchondo, López-Ortiz, Mejía-Hernández, & López-de-la-Cruz, 2016, p. 45).

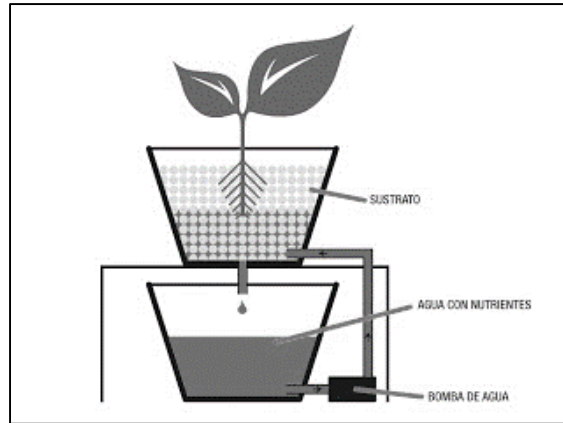


Figura 9. Técnica del flujo y reflujo.

Fuente: Recuperado de <http://urveg.blogspot.com/p/hidroponia-metodos-hidroponicos.html>

- **Sistema NFT:** Que significa Nutrient film technique (La técnica de película nutriente). Técnica ampliamente usada en hidroponía debido a su ahorro y reutilización del agua con los nutrientes mezclados. Consiste en un circuito de recirculación continua de los nutrientes por el sistema hidropónico, ayudado por una bomba que distribuye la lámina de solución nutritiva de 4 a 5mm de altura por los tubos de PVC donde se encuentran las plantas. “Este flujo continuo de solución nutritiva mantiene a las raíces en contacto permanente con la solución, lo cual permite una buena oxigenación de las raíces” (Astudillo, 2016, p. 34).

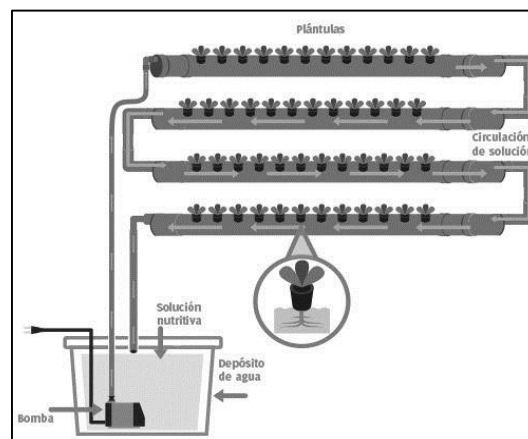


Figura 10. Técnica NFT.

Fuente: Adecuado de “Jardines verticales y cubiertas vegetales”

2.2.2.4 CLASES DE SISTEMAS DE RIEGO

En hidroponía las técnicas de riego son importantes para cada tipo de cultivo, según se requiera por especificación del desarrollo de una planta.

- **Riego por aspersión externa:** Este tipo de riego se realiza de forma manual o utilizando bombas automatizadas, la característica de este riego es que la solución no se puede reciclar en muchos casos o en su totalidad, y se debe tener consideración de las horas en las que se ejecutará el riego a las plantas.



Figura 11. Riego por Aspersión en cultivos hidropónicos.

Fuente: Recuperado de https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=280

- **Riego por goteo:** La técnica del riego por goteo se ejecuta poniendo el tanque con la solución a un promedio de 2 metros de altura o más, con referencia a las plantas, esto ayudará a la circulación de la sustancia por la red de hidroponía instalada.

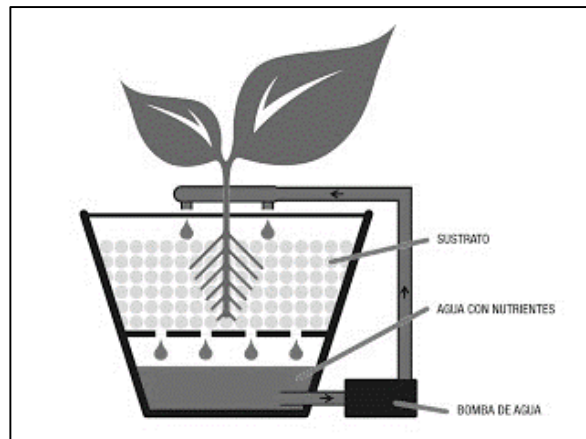


Figura 12. Sistema riego por goteo.
 Fuente: Recuperado de <http://urveg.blogspot.com/p/hidroponia-metodos-hidroponicos.html>

- **Riego a desnivel:** Se aplica este tipo de riego cuando se las plantas se encuentran a diferentes niveles de altura, dando pase a que la solución transite por los tubos de arriba hacia abajo. Luego podrá ayudarse de un motor para hacer circular la solución hacia arriba.

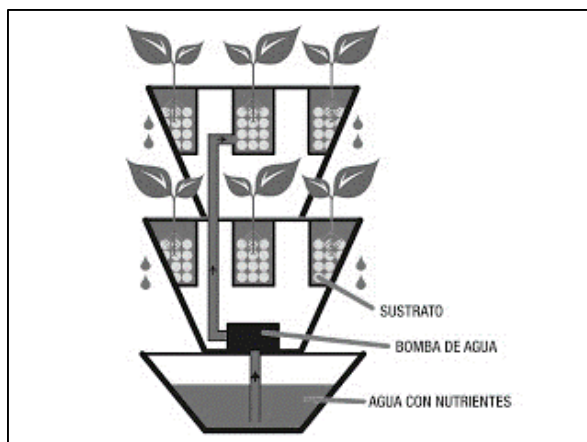


Figura 13. Sistema de riego a desnivel.
 Fuente: Recuperado de <http://urveg.blogspot.com/p/hidroponia-metodos-hidroponicos.html>

2.2.2.5 VENTAJAS

Entre las ventajas más resaltantes de usar este sistema resalta el poder tener un mejor control sobre la nutrición de la planta ya que es agregada al agua con la que se realiza el riego de las plantas; además, se encuentra salvo de los pesticidas y

plaguicidas porque no se utiliza suelo para el cultivo; también podemos afirmar que el sistema de riego es de forma más simple a comparación del sistema tradicional porque se elimina el uso de sustancias químicas que sirven para la conservación de los suelos. Otra ventaja muy importante es que, con este tipo de cultivos, la agricultura puede desarrollarse en zonas con poco espacio disponible o urbanizadas, al no necesitar suelo habilita la opción de usar equipamiento distinto para desarrollar los cultivos, y que estos pueden ser expuestos en lugares o zonas pequeñas. También es necesario mencionar que la técnica hidropónica brinda una mayor producción del fruto final, manteniendo un control en los sistemas de cultivos.

Tabla 6
Uso de pesticidas en plantaciones de dos poblaciones del Valle del Mantaro, Junín

	Concepción	Chupaca
Uso de plaguicidas	86%	89%
Tamaron (metamidofos)	44,6%	39,5%
Monitor (metamidofos)	-	5,8%
Furadan (carbofuran)	15,6%	15,1%
Caporal (cipermetrina)	5,2%	14,7%
Sherpa (cipermetrina)	9,2%	14,2%
Antracol (propineb)	-	5,3%
Parathion (parathion etílico)	4,9%	4,5%

Fuente: Adecuado de “Características del uso de plaguicida químicos y riesgos para la salud en agricultores de la sierra central del Perú” (Montoro, Moreno, Gomero & Reyes, 2009)

2.2.2.6 DESVENTAJAS

Entre las desventajas de desarrollar esta clase de cultivos es tener que implementar una estructura adicional, que sirva como soporte a las plantas; también se toma como desventaja el desconocimiento en el tipo de sistema hidropónico adecuado que debe implementarse según el cultivo que desarrollará. Además, el desconocimiento de los beneficios de este tipo de cultivo disminuye la cantidad de agricultores que lo desarrollan.

2.2.3 INVERNADEROS

2.2.3.1 CONCEPTO

La idea de utilizar un invernadero para realizar la actividad agrícola es fundamentalmente para proteger los cultivos de los factores climatológicos y plagas que puedan afectarlos. En esencia, permite proteger la planta y modificar los ciclos de producción convencionales, además de normalizar la producción y mejorar la calidad de los frutos. Por tal motivo se dice que “El cultivo protegido es un sistema agrícola especializado en el cual se lleva a cabo un cierto control del medio edafoclimático alterando sus condiciones (suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad y composición atmosférica)” (Castilla, 2007, p. 25).

En este sentido, se usa una estructura cerrada para albergar los diferentes tipos de cultivos. El modelado y construcción de la estructura protectora se debe realizar de acuerdo a las condiciones geográficas del sitio donde se situará y también del tipo de cultivo que se desarrollará

2.2.3.2 TIPOS

Actualmente existen diversos tipos de invernaderos clasificados por las forma de su estructura simple o compleja. Según Castilla (2007) se clasifican según su arquitectura en Unimodular o monocapilla y Multimodular o multicapilla, la diferencia básica es la construcción de un invernadero aislado y de forma apilada o conjunta, correspondientemente. Sin embargo, los invernaderos también se clasifican según el modelado y perfil externo, como también por la cubierta que poseen. Entre los invernaderos más conocidos se destacan los siguientes:

- **Plano o tipo Parral:** Se caracterizan por tener construcción vertical y horizontal, los apoyos en sus laterales están colocadas estratégicamente de

forma inclinada hacia afuera, esto hace que el invernadero tenga un gran soporte contra corrientes de aires fuertes. Por la arquitectura del invernadero, pueden estar forrados con materiales plásticos.

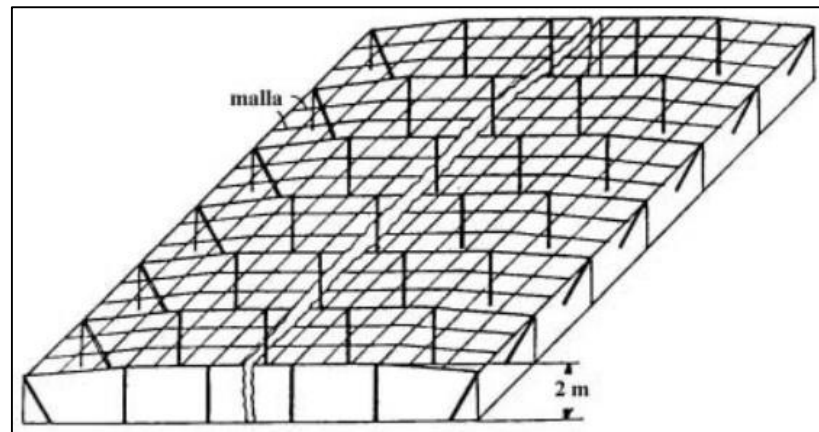


Figura 14. Estructura de un invernadero tipo Parral.
Fuente: “El cultivo protegido en clima mediterráneo” (FAO, 2002)

- **En raspa y Amagado:** Son invernaderos muy parecidos a los del tipo Parral pero de baja altura, en la arquitectura se modifica la estructura del techo para evitar acumular bolsas de agua durante la época de lluvia. Debido a su poca altura, concentra el calor en las noches, esto lo hace ideal para lugares que presenten bajas temperaturas.

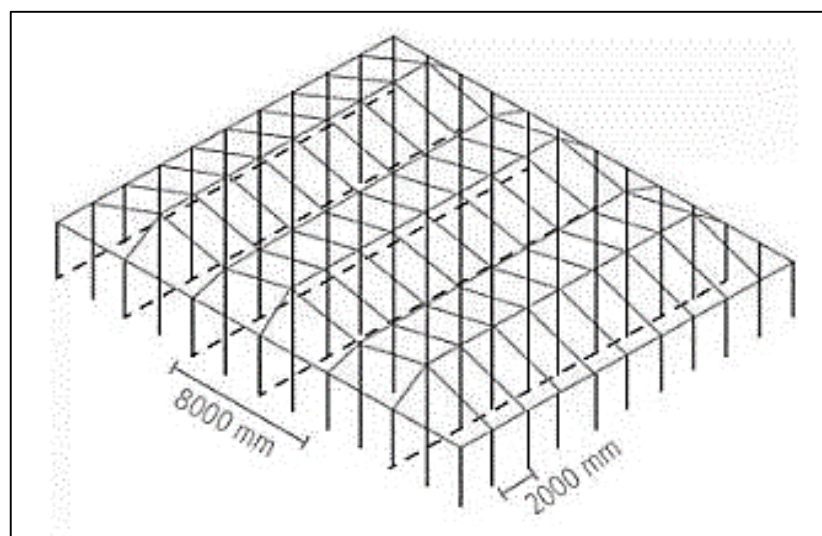


Figura 15. Estructura del invernadero tipo en Raspa y Amagado.

Fuente: Recuperado de www.horticultivos.com/agricultura-protegida/invernaderos

- **Asimétrico o Inacral:** Presenta forma curva dispareja en el techo, lo que mejora la captación de la incidencia solar en diferentes ciclos del año. Son estructuras son de mayor altura y longitud, presentando buena ventilación interna. Este tipo de invernadero se encuentra en zonas o regiones más cálidas.



Figura 16. Estructura del invernadero tipo Asimétrico o Inacral.

Fuente: Recuperado de www.horticultivos.com/agricultura-protegida/invernaderos

- **Tipo Capilla:** Son invernaderos de altura media, se caracterizan porque el techo posee dos planos con pendientes convergentes (a dos aguas), en algunos modelos solo posee un plano inclinado. Con normalidad llevan ventanas para facilitar el ingreso y salida del aire. El tipo de arquitectura que tiene este invernadero hace que el agua del techo drene con facilidad evitando bolsas de agua acumuladas.

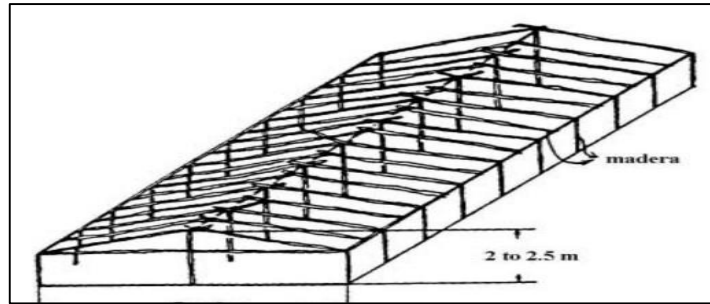


Figura 17. Estructura del invernadero tipo Capilla.
 Fuente: “El cultivo protegido en clima mediterráneo” (FAO, 2002)

- **Doble Capilla:** Consiste en una variante del invernadero tipo capilla, apilando un módulo más a la estructura. El beneficio que tiene es soportar fuertes corrientes de aires y dar una ventilación adecuada al interior de la estructura. Además, se pone de forma curva los paneles del techo para garantizar la circulación interna del aire sin perjudicar el drenado del agua en los techos.

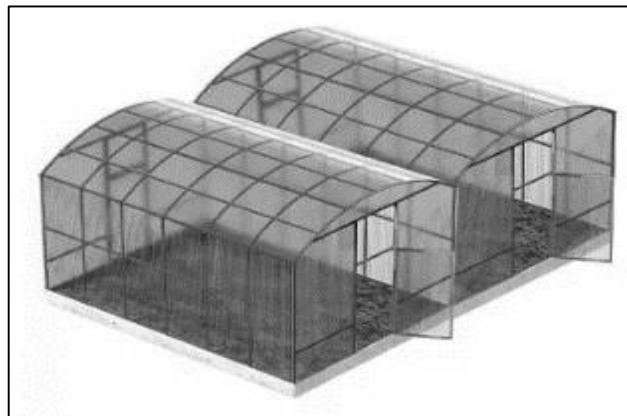


Figura 18. Estructura del invernadero tipo Doble Capilla.
 Fuente: Recuperado de www.horticultivos.com/agricultura-protegida/invernaderos

- **Túnel o Semicilíndricos:** Se caracteriza por su forma curva ininterrumpida, son de baja altura y poco tamaño. Se utiliza para cultivos pequeños por su arquitectura simple y económica. No pueden ser usadas como invernaderos multimodulares por las características arquitectónicas.

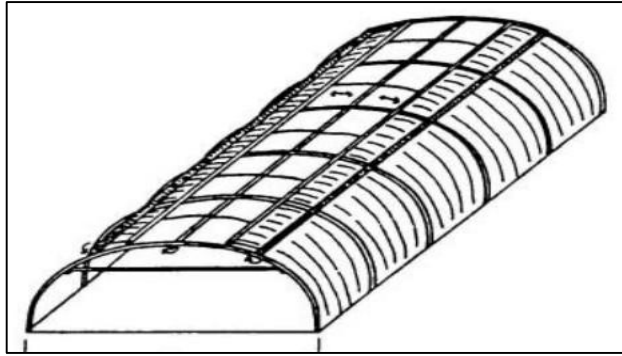


Figura 19. Estructura del invernadero tipo Túnel.
Fuente: “El cultivo protegido en clima mediterráneo”
(FAO, 2002)

- **Tipo Venlo:** Son invernaderos con estructuras más sofisticadas, generalmente contruidos de material metálico y cubierto por láminas de vidrio, permiten estar tecnificados internamente, esto ayuda a mejorar la producción del cultivo. Generalmente es usado en Europa por su forma de construcción, costos de fabricación y beneficios que se obtienen.



Figura 20. Estructura del invernadero tipo Venlo.
Fuente: Recuperado de
www.horticultivos.com/agricultura-protegida/invernaderos

2.2.3.3 FACTORES CLIMÁTICOS EN EL INVERNADERO

A. TEMPERATURA

Es el grado de energía calorífica medida a nivel de una escala ya definida. La intensidad de calor que posee un cuerpo se conoce como Temperatura. La

temperatura se transfiere de un cuerpo que posee mayor calor hacia otro de menor calor, hasta llegar al equilibrio térmico. Existen cuatro escalas de medición de temperatura principales:

Centígrados o Celsius (°C): Se basa en el punto de ebullición del agua, dividiéndolo en 100 partes o grados iguales. Tiene como punto de fusión 0 °C y de ebullición 100 °C.

Fahrenheit (°F): Divide en 180 partes o grados iguales al rango entre el punto de fusión y ebullición del agua. Tiene como punto de ebullición 212 °F y 32 °F como punto de congelación del agua.

Kelvin (°K): En esta escala se encuentra el cero absoluto, es decir donde no hay movimiento molecular. El punto de ebullición es 373.1 °K y 273.1 °K como punto de fusión del hielo.

Ranking (°R): Es una escala absoluta pero en comparación con la escala Fahrenheit (°F) se tiene que 0 °F equivale a 459.6 °R.

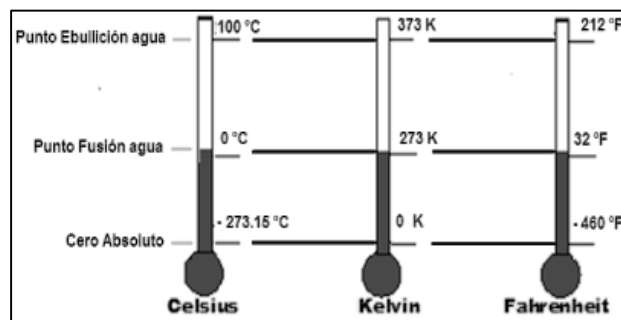


Figura 21. Comparación entre escalas de temperatura
Fuente: Extraído de <https://tomas-net.es.tl/Calor-y-Temperatura.htm>

Comparación de las propiedades físicas

En la Tabla se detallan los niveles importantes del cambio de estado del agua medidos en referencia al tipo de escala de temperatura.

Tabla 7
Propiedades físicas del agua medidos en diferentes escalas de temperatura

Escala	Cero Absoluto	Fusión de hielo	Ebullición del agua
Kelvin	0 °K	273.2 °K	373.2 °K
Ranking	0 °R	491.6 °R	671.6 °R
Celsius	-273.2 °C	0 °C	100 °C
Fahrenheit	-459.6 °F	32 °F	212 °F

Fuente: Adecuado de “Academia de Bioinstrumentación” (Cortes & Garibay, s.f)

B. HUMEDAD

La humedad existente en el aire se conceptualiza por ser la combinación del aire seco con el vapor de agua. Hay distintas maneras de poder clasificar los tipos de humedad, entre las cuales se diferencian las más importantes:

- Humedad Absoluta: Se conoce como humedad absoluta a la cantidad de masa (gramos) de vapor de agua en el aire por cada metro cúbico de aire. Con esta medición obtenemos la cantidad de vapor de agua existente en el aire.
- Humedad Relativa: La humedad relativa es la relación proporcional entre la cantidad de vapor de agua existente en el aire con la máxima que podría existir según el nivel de temperatura.

2.2.3.4 RELACIÓN ENTRE TEMPERATURA Y HUMEDAD

Los niveles de Temperatura y Humedad existentes en el aire guardan una estrecha relación proporcional. La cantidad de humedad medida en un determinado tiempo cambia progresivamente al cambiar la cantidad de temperatura en el mismo lugar geográfico. Por lo tanto se puede decir que existe un valor promedio de humedad en el aire correspondiente a un nivel de temperatura en el lugar.

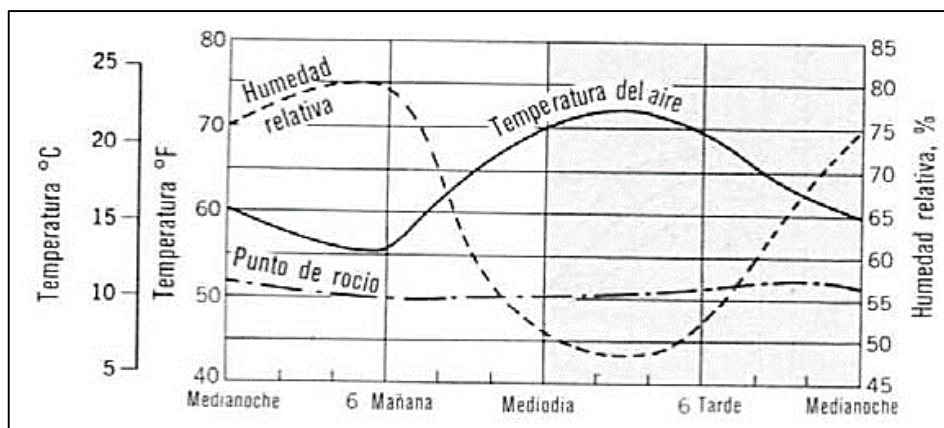


Figura 22. Relación entre Temperatura y Humedad relativa medidos en Washington DC., EEUU.

Fuente: Climatología: Humedad y Precipitación (Ereño, & Núñez, 2006)

2.2.4 SISTEMAS DE CONTROL

2.2.4.1 CONCEPTO

Los sistemas de control están compuestos por agrupaciones de elementos físicos que guardan cierta relación entre ellos, con la intención de que trabajen en conjunto sin la necesidad de que existan intervenciones de origen exterior al grupo, regulando y dirigiendo su accionar frente a las alteraciones que se presenten durante su funcionamiento. Desarrolla un funcionamiento predeterminado en el sistema y disminuye el porcentaje de error originado por variaciones de factores externos. Los sistemas de control deben ser estables contra perturbaciones que intenten alterar el comportamiento normal o pre establecido del sistema controlado; así mismo, deben ser robustos y eficientes al momento de ser ejecutados.

2.2.4.2 SISTEMA DE LAZO ABIERTO

El sistema de control en lazo abierto es el más simple ya que no existe una retroalimentación de las variables controladas hacia el controlador. Ejecuta un proceso y no utiliza la señal de salida para asegurar la estabilidad del sistema, es decir no realiza una comparación de la señal de salida con la señal de entrada.

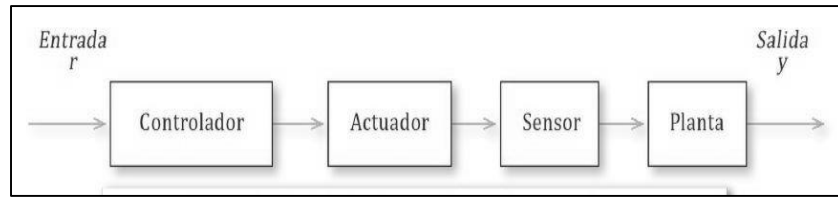


Figura 23. Esquema de bloques del sistema de control a lazo abierto
Fuente propia.

2.2.4.3 SISTEMA DE LAZO CERRADO

El sistema de control en lazo cerrado se caracteriza porque las variables sensadas o controladas son analizadas constantemente en forma de *feedback* para detectar de manera oportuna alguna irregularidad que se presente y corregirla. Este tipo de control implementa una realimentación de datos, situado desde el proceso hasta el sistema de control, esto permite conocer al sistema si las acciones de establecimiento o corrección se realizaron de manera eficaz.

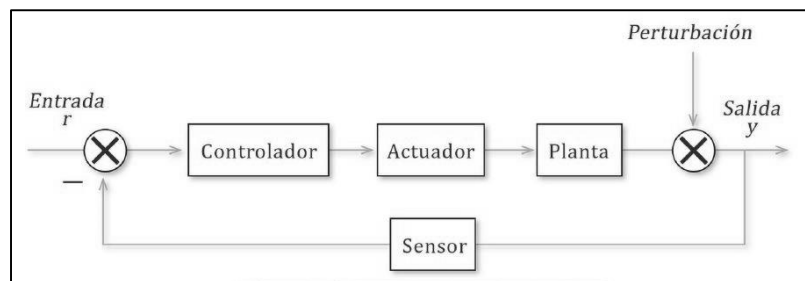


Figura 24. Esquema de bloques del sistema de control a lazo cerrado
Fuente propia.

2.2.4.4 CONTROL POR REALIMENTACIÓN

Cada sistema físico de control se ve afectado por un error cuando se encuentra en estado estable, esto se debe por respuestas que se generan ante ciertas entradas, lo que ocasiona desviar el valor de las variables de salida con respecto a lo deseado. El control por realimentación es conocido también como Control a lazo

cerrado que tiene por finalidad realizar la comparación entre los valores de salida y entrada en un sistema controlado. A diferencia del control a lazo abierto, donde no realiza comparación de las variables, el control por realimentación monitorea la corrección de las variables de estado a los valores deseados. Entonces el control a lazo cerrado es autocorrectivo, dado que, si en la salida de los valores de la variable del sistema son perturbados de manera imprevista, la realimentación hará notar la perturbación y podrá ser corregida por el sistema de control.

TIPOS DE REALIMENTACIÓN EN TÉCNICAS DE CONTROL

- **Realimentación Unitaria:** En el caso de la realimentación unitaria, el lazo de realimentación no contiene ganancia, es decir el valor de la salida es equivalente al valor de referencia de entrada de comparación en el controlador.

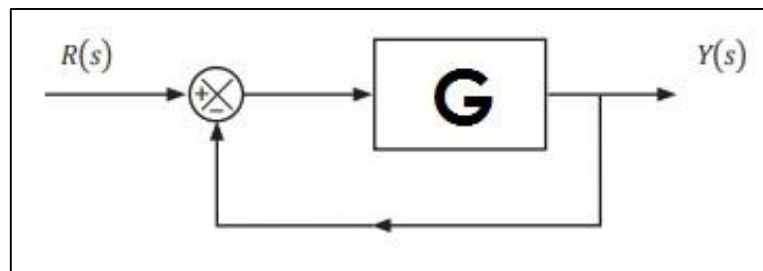


Figura 25. Esquema de control por Realimentación Unitaria
Fuente propia.

- **Realimentación no Unitaria:** Existen muchos casos en que los sistemas controlados no tendrán una realimentación unitaria, sino que el lazo realimentado estará constituido por una ganancia distinta de cero.

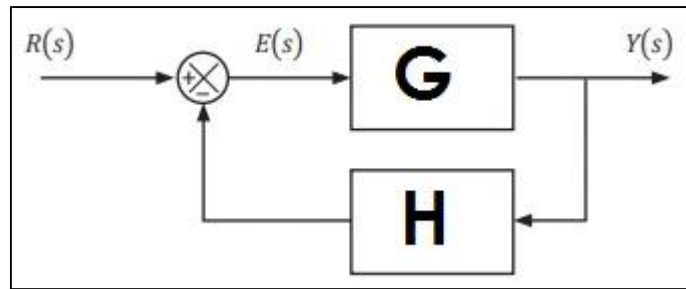


Figura 26. Esquema de control por Realimentación No Unitaria
Fuente propia.

- **Realimentación positiva:** En este tipo de realimentación ambas variables de comparación son del mismo signo (positivo), por lo tanto, resulta en un crecimiento continuo en la variable de salida comparada. Este tipo de realimentación genera inestabilidad debido a que promueve el cambio en el estado del sistema.

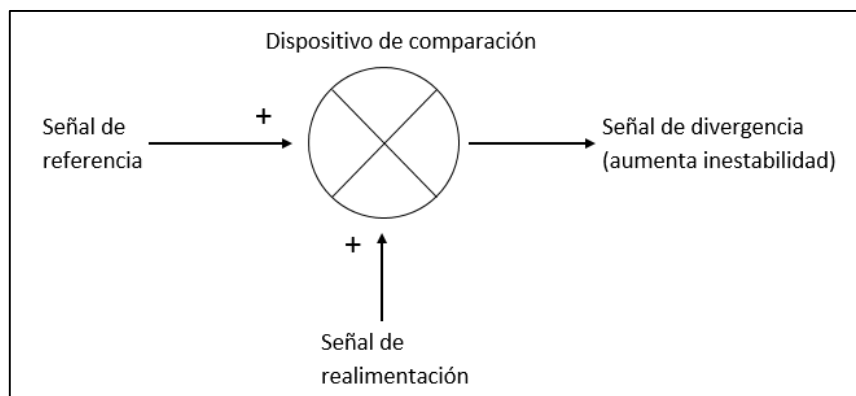


Figura 27. Esquema de Realimentación positiva en técnicas de control
Fuente propia.

- **Realimentación negativa:** En este tipo de realimentación cada variable de comparación posee signos diferentes entre sí, con la finalidad de encontrar el error en la salida con respecto a la variable de referencia. Este tipo de realimentación tiene por finalidad mantener en equilibrio el estado del sistema, es decir busca la estabilidad del sistema dado que reacciona ante un estímulo que genere el desequilibrio e intenta detenerlo, además de reducir el impacto del mismo y devolver al sistema la estabilidad.

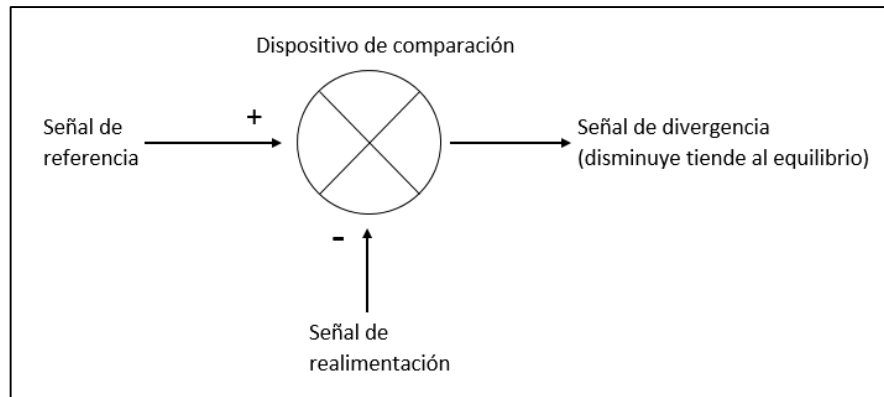


Figura 28. Esquema de realimentación negativa en técnicas de control
Fuente propia.

2.2.4.5 TÉCNICAS USADAS EN CONTROL DE INVERNADEROS

El objetivo principal de utilizar un tipo de sistema invernadero para desarrollar el cultivo de diferentes clases de plantas es poder mejorar la capacidad de crecimiento y producción convencional que tienen según sus características. Es así que efectuar la actividad agrícola en invernaderos brinda la posibilidad de controlar algunos factores importantes que intervienen en el crecimiento de una planta, como pueden ser plagas, contaminaciones hasta factores climáticos. Para lograr esto, primero se escoge el tipo adecuado de invernadero que se usará porque el diseño y estructura influye en la capacidad de absorción del calor, así como la ventilación en el interior, también de incluir un sistema electrónico que dirija el control de factores ambientales importantes como la temperatura y humedad relativa del ambiente y plantaciones.

2.2.4.6 SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE CONTROL

La elección del tipo de control electrónico se basa en la zona climática donde estará situado el invernadero. Esto se debe a la complejidad que debe tener el controlador.

Tabla 8
Características de los controles electrónicos en invernaderos

Controlador	Nivel de Tecnología	Complejidad de Implementación	Complejidad de uso	Mantenimiento
CTDSR	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Encendido-apagado	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
PID	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
Fuzzy	Alto	Medio	Medio	Medio

Fuente: Adecuado de “Controladores inteligentes para invernadero hidropónico” (Ponce, Molina, & Mata, 2017)

Tabla 9
Tipos de clima relacionados con el tipo de control adecuado

Clima	Tipo de Control	Invernadero
Climas tropicales o desérticos secos	PID, FUZZY	Túnel con cenital, Mariposa, Multi-Túnel, Capilla, Sombrero Chino
Desierto subtropical y climas mediterráneos	CDTWF, ON-OFF, ID, FUZZY	Túnel con cenital, Mariposa, Multi-Túnel, Capilla, Sombrero Chino
Climas tropicales y húmedos	CDTWF, ON-OFF, PID, FUZZY	Diente de sierra, Parral modular, Capilla, Túnel con cenital, Mariposa, Sombrero Chino
Climas templados	ON-OFF, PID, FUZZY	Túnel con cenital, Mariposa, Multi-túnel, Capilla
Climas templados fríos en latitudes superiores a 45°	ON-OFF, PID, FUZZY	Venlo

Fuente: Adecuado de “Controladores inteligentes para invernadero hidropónico” (Ponce, Molina, & Mata, 2017)

2.2.5 SENSORES

2.2.5.1 CONCEPTO

Los sensores son elementos capaces de brindar una respuesta ante una determinada acción. En la electrónica se cataloga a los sensores como dispositivos

capaces de transformar magnitudes físicas y/o químicas, denominadas variables, en magnitudes eléctricas que se pueden cuantificar y manipular. Por ende, se dice que la incorporación de los sensores a la electrónica dota de cierta inteligencia al sistema que lo posee ya que le da la capacidad de reaccionar ante algún suceso de magnitud medida por el sensor, aplicable de manera principal en la etapa de control de la placa electrónica.

Se diferencian dos grupos importantes de sensores según su funcionamiento:

- **Activos:** Esta clase de sensores necesitan de una fuente de alimentación externa para su funcionamiento.

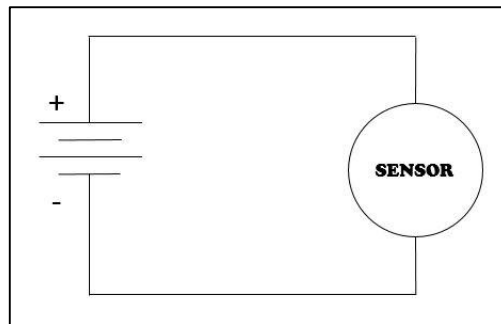


Figura 29. Esquema de un sensor activo
Fuente propia.

- **Pasivos:** Según como están contruidos, no necesitan de una fuente de alimentación externa para que funcionen.

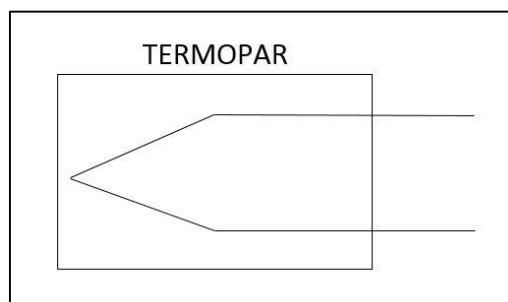


Figura 30. Esquema de un sensor pasivo
Fuente propia.

2.2.5.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES

Los sensores son utilizados en una diversidad de sistemas electrónicos, y dependiendo su capacidad y tipo de respuesta se clasifican en:

- **Sensores Analógicos:** La respuesta o señal que brinda en tensión y/o corriente es de forma analógica, es decir que los valores o niveles son infinitos.
- **Sensores Digitales:** La respuesta o señal que proporciona este sensor es del tipo binario, es decir 0 o 1 lógico.

2.2.5.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES

Las características técnicas que posee un sensor son las que definen la calidad del mismo. Entre las más importantes podremos distinguir las siguientes:

- **Sensibilidad:** Determina el cambio en la salida dependiendo al nivel de magnitud de la variable en la entrada.
- **Resolución:** es la cantidad o nivel mínimo de cambio en la entrada que puede ser detectado a la salida.
- **Repetitividad:** Capacidad de obtener la misma magnitud en la salida ante constantes valores repetidos en la entrada.
- **Error:** Es la diferencia del valor proporcionado por el sensor en referencia al valor real. Es expresado en unidades porcentuales (%).

2.2.5.4 APLICACIONES

En la Tabla 10 se clasifican los sensores según su uso o capacidad.

Tabla 10
Uso de sensores según su función de aplicación

Aplicación	Sensores
Iluminación	Fotorresistivos (LDR), Fotoeléctricos
Temperatura	Termistores (PCT, NTC, Semiconductores)
Humedad	Resistivos, Capacitivos
Posición/Inclinación	Mecánicos, Resistivos, Acelerómetros, Magnéticos
Presencia	Magnéticos, Infrarrojos, Ultrasonidos
Distancia	Infrarrojos, Ultrasonidos
Presión	Piezoeléctricos, Resistivos
Caudal	Piezoeléctricos, Magnetorresistivos
Frío/Calor	Células Termoeléctricas (Peltier)
Químicos	Detectores de gas y humos

Fuente: Adecuado de “Guía práctica de sensores” (Serna, Ros, & Rico, 2010)

2.2.5.5 SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

Para realizar mediciones de factores climatológicos en diversos lugares se utilizan con normalidad sensores que tengan un tiempo rápido en respuesta y alta precisión, ello debido a las acciones que se deben ejecutar para realizar algún tipo de control de ser necesario. En la actualidad existen diversos tipos de sensores que cumplen con los requisitos básicos para realizar estas mediciones, pero tienen diferencias notorias en su tipo de encapsulado y tipo de salida en respuesta. A continuación, se mencionan los sensores que se acoplan al proyecto.

Tabla 11.

Tipos de sensores usados para niveles de Temperatura y Humedad

Tipo Sensor	Medición	Unidad de Medición	Tensión de Operación	Factor Escala	Rango de Medición
LM 35	Temperatura	Voltaje	4v a 30v	10mV/°C	-55 a 150°C
TMP 35	Temperatura	Voltaje	2,7v a 5,5v	10mV/°C	10 a 125°C
TMP 36	Temperatura	Voltaje	2,7v a 5,5v	10mV/°C	-40 a 125°C
TMP 37	Temperatura	Voltaje	2,7v a 5,5v	20mV/°C	5 a 100°C
DS18B20	Temperatura	°C	3,0v a 5,5v	SALIDA DIGITAL	-50 a 125°C
DHT 11	Temperatura Humedad	°C	3,3v a 5v	SALIDA DIGITAL	T= 0 a 50°C HR= 20% a 80%
DHT 22	Temperatura Humedad	°C	3,3v a 5v	SALIDA DIGITAL	T= -40 a 125°C HR= 0% a 100%

Fuente propia.

2.2.5.6 SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20

A. CONCEPTO

El sensor DS18B20 es del tipo serial - digital con alta precisión que provee mediciones de temperatura Celsius y logra la comunicación con el interfaz utilizando el protocolo de comunicación "OneWire" o "1-Wire" la cual consiste en utilizar solo un pin, es decir una línea de datos, para enviar y recibir data con el microprocesador, siendo este una de sus mejores características. Además, el sensor posee una ROM interna de 64 bits que almacena un código de serie que es único del dispositivo y permite identificarse con facilidad entre otros dispositivos de temperatura DS18B20; el microprocesador utiliza el código único de 64 bits de cada dispositivo conectado a través del bus para identificar y dirigirlos. También contiene de manera interna una memoria denominada

Scratchpad la cual almacena el registro de temperatura en tamaño de 2 bytes de palabra la cual es leída mediante la salida digital del sensor. Inclusive la memoria Scratchpad proporciona acceder a los Registros de Activación de alarma y al Registro de Configuración, este último permite realizar las configuraciones de resolución de la conversión digital de temperatura sensada en 9, 10, 11 o 12 bits correspondientes a incrementos de 0.5 °C, 0.25 °C, 0.125 °C, 0.0625 °C respectivamente, además es importante saber que los Registros de Activación de alarma y Configuración son del tipo no volátiles (EEPROM), es decir, conservan la última configuración realizada cuando se apague o desenergice el dispositivo.

B. CARACTERISTICAS DEL SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20

- Sensor : digital
- Protocolo : 1-Wire
- VDD : Voltaje de alimentación
- GND : Tierra
- DQ : Datos
- Resolución programable : 9 bits, 10 bits, 11 o 12 bits (defecto)
- Voltaje de alimentación : +3.0 a 5.5 VDC
- Corriente Activa : 1 – 1.5 mA (escritura EEPROM)
- Resistencia pull-Up externa en DQ : 4.7 kΩ
- Rango de temperatura : -50 °C a 125 °C
- Error (-10 °C a 85 °C) : ± 0.5 °C
- Error (-55 °C a 125 °C) : ± 2 °C
- Tiempo de ciclo de escritura : 2 – 10 ms
- Cantidad de escrituras en EEPROM : 50k escrituras
- Retención de datos en EEPROM : 10 años

Tiempo de conversión de temperatura:

- Resolución 9 bits : 93.75 ms
- Resolución 10 bits : 187.5 ms
- Resolución 11 bits : 375 ms
- Resolución 12 bits : 750 ms

C. PRESENTACIÓN DEL SENSOR DS18B20

El sensor DS18B20 posee tres tipos de encapsulados disponibles:

Encapsulado SO (DS18B20Z): Encapsulado convencional para tarjeta electrónica por su diseño y tamaño. Posee una distribución de 8 pines que son:

(1) VDD, (1) GND, (1) DQ y las restantes son NC (no implementadas).

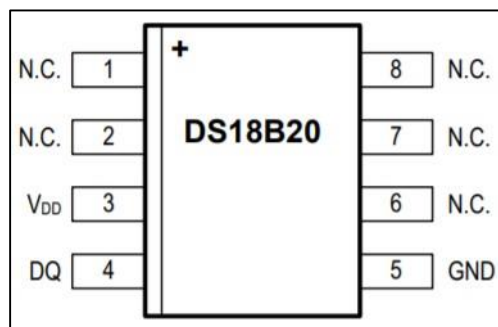


Figura 31. Tipo de encapsulado SO del 18B20.
Fuente: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

Encapsulado μ SOP (DS18B20U): Tipo de encapsulado muy similar al tipo SO, pero en tamaño reducido. Ideal para tarjetas electrónicas y cuenta con 8 pines de conexión: VDD, GND, DQ y las demás NC (no implementadas).

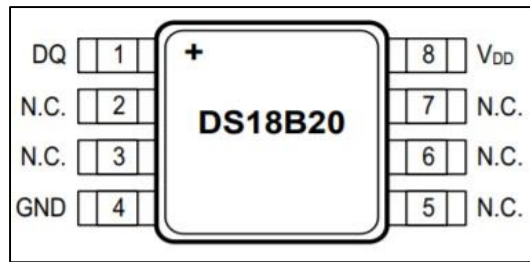


Figura 32. Tipo de encapsulado μ SOP del DS18B20.
Fuente: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

Encapsulado TO-92 (DS18B20): Tipo de encapsulado ideal para realizar mediciones de temperatura lejanas a la tarjeta electrónica. Posee una distribución única de tres pines que son VDD, GND y DQ.

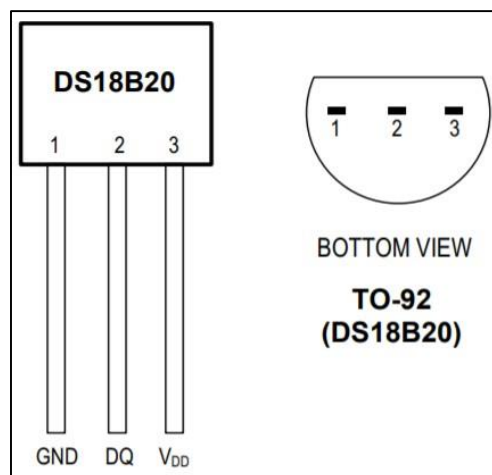


Figura 33. Tipo de encapsulado TO-92 del DS18B20.
Fuente: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

D. FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR

Existen dos formas de poder alimentar el sensor de temperatura DS18B20, la primera utilizando una fuente externa y la segunda es en modo parásito utilizando la línea de datos DQ.

Con fuente de alimentación externa

En la siguiente figura se detalla la forma de conexionado del sensor de temperatura utilizando una fuente externa.

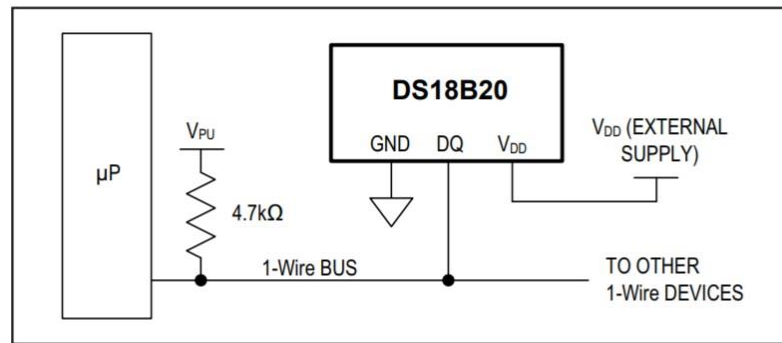


Figura 34. Conexión del sensor con fuente externa.

Fuente: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

Con fuente parásita

En la siguiente figura se detalla la forma de conexionado del sensor de temperatura utilizando el tipo de fuente parásita, que equivale a aprovechar la intensidad de la señal del sensado por el bus de datos DQ.

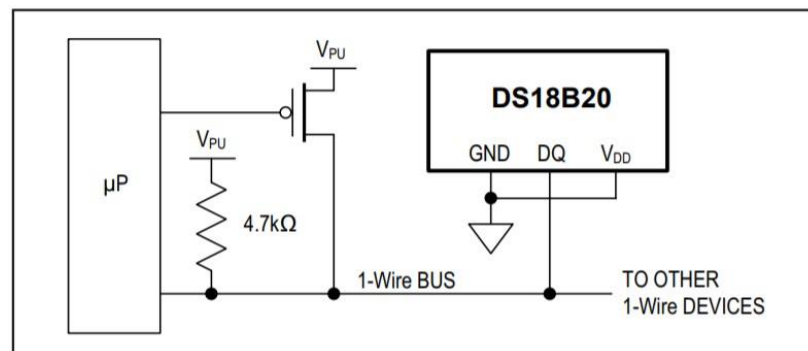


Figura 35. Conexión del sensor utilizando fuente parásita.

Fuente: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

2.2.5.7 SENSOR DHT 22

A. CONCEPTO

El sensor DHT 22 es del tipo digital, utiliza palabras de 8 bits para transmitir información por su bus de datos. Puede alcanzar a medir temperatura (T) como humedad relativa (HR). Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante. A pesar de que tenga disponible solo una línea de datos no es compatible con el protocolo 1-Wire, es decir, si se colocan más de un sensor DHT 22 cada uno debe estar colocados a su propio pin de datos. En su encapsulado cuenta con 4 pines visibles para la conexión los cuales son: VDD, GND, DATA-signal y NULL (no implementado).

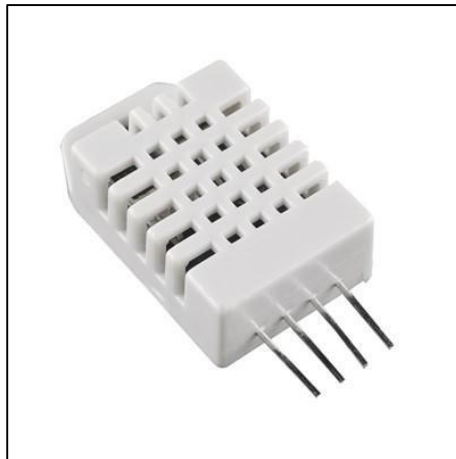


Figura 36. Sensor de temperatura DHT22
Fuente propia.

B. CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DHT 22

Sensor	: digital
Señal de salida	: vía 1 bus
VDD	: Voltaje de alimentación
GND	: Tierra
DATA	: Datos
Resolución de datos	: 8 bits

Voltaje de alimentación	: +3.5 a 5.5 VDC
Corriente de operación	: 1 – 1.5 mA
Corriente en descanso o pausa	: 40 – 50 μ A
Resistencia pull-Up externa en DQ	: 5 ó 10 k Ω
Tiempo de recolección de datos	: 2 segundos
Rango de temperatura	: -40 °C a 80 °C
Humedad relativa	: 0 – 100 % HR
Error (HR)	: \pm 0.2% HR (Máx. \pm 0.5% HR)
Error (Temperatura)	: $<\pm$ 0.5 °C
Resolución o Sensitividad (HR)	: 0.1 % HR
Resolución o Sensitividad (T)	: 0.1 °C

C. FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR

A continuación, se muestra el diagrama de conexión del sensor de temperatura y humedad DHT 22. Según la hoja de datos del sensor se debe colocar una resistencia en modo pull up de 5k Ω o 10k Ω entre la patilla VDD y DATA del sensor, esto ayudará a como elemento de fuerza a la línea de datos.

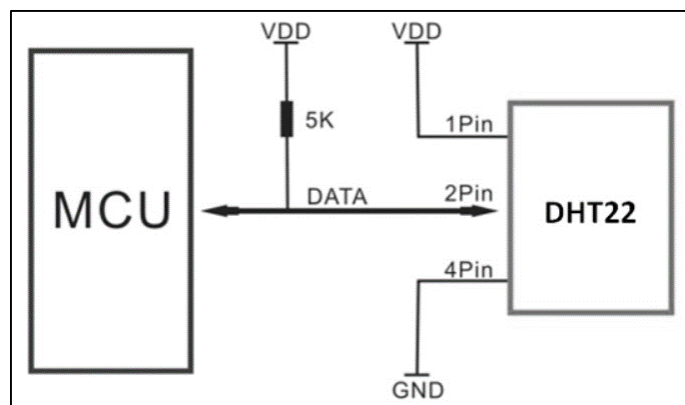


Figura 37. Forma de conexión del sensor DHT22.
Fuente: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>

2.2.5.8 RED DE SENSORES

La red de sensores está compuesta de manera primordial por una serie de nodos constituidos por sensores con capacidad de actuación y sensitiva, los cuales captan información del ambiente y los envían a otros nodos, los cuales reenviarán esa información hacia una central o procesarán la información recibida. Los nodos están unidos por estructuras ya definidas las cuales son elegidas de acuerdo al grado de complejidad que tenga el sistema.

En la actualidad se está trabajando con redes de sensores inalámbricas denominadas WSN (Wireless Sensors Network) las cuales están diseñadas por nodos inalámbricos que se entreconectan con otros nodos o la estación base, la función que realizan es intercambiar información de las variables medidas en los sensores como pueden ser temperatura, humedad relativa en el aire, humedad en los suelos, pH de los nutrientes, luminosidad, con la finalidad de detectar de manera rápida y oportuna algún inconveniente y ejecutar acciones para su tratamiento o corrección.

Además, los nodos inalámbricos son considerados como fijos o móviles y están compuestas por microcontroladores, trancceptor RF, baterías autónomas de gran capacidad o capacidad media y el sensor.

2.2.5.9 ELEMENTOS DE LA WSN

Se puede observar de manera clara los siguientes elementos que conforman una red WSN.

- **Nodos:** Tienen doble uso. Sirven para sensor el ambiente y también para encaminar los mensajes de los nodos más lejanos al centro de control.
- **Nodos de coordinación (Gateways):** Es la puerta de comunicación entre el arreglo de sensores y la red TCP/IP. Sirve para encaminar los mensajes provenientes de los nodos de sensores hacia el centro de control.

- **Estación Base:** Se ubica en un centro de monitoreo u ordenador, ejecutado por un software de programación lógica. Recolecta la información proveniente de los nodos de coordinación.

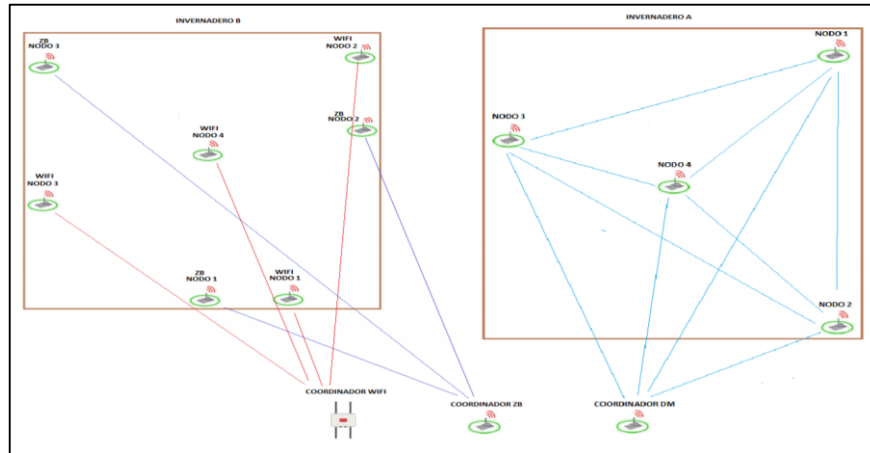


Figura 38. Esquema de un arreglo para nodos sensores en una red WSN
Fuente: Extraído de <http://www.estudiopatino.pol.una.py/blog/?p=621>

Tabla 12.
Ventajas y Desventajas del sistema WSN

Ventajas	Desventajas
Alta escalabilidad.	Nodos propensos a daños físicos.
Fácil de desplegar y reubicar.	Atenuación de señal a grandes distancias
El sistema se recupera si falla uno o más nodos ya que hay rutas alternativas para enviar los datos.	Debido a la independencia de cada nodo son vulnerables al fallo.
Independencia de fuentes externas.	Sensibles a colisiones en los datos.
Evita acondicionamiento de cables.	En muchos casos presentan comunicación muchos – uno.
Manejable a distancias medianas.	La red se cae si falla el nodo central.

Fuente: Adecuado de <https://pdfs.semanticscholar.org/2526/d205bed2022ad9567ea81f4df4f5b234049a.pdf>

2.2.6 ACTUADORES

2.2.6.1 CONCEPTO

Los actuadores se definen como instrumentos o dispositivos mecánicos que tiene por finalidad proporcionar fuerza para actuar un elemento u otro dispositivo, para lograr este propósito transforma energía neumática, hidráulica o eléctrica. Están conectados a los puertos de salida en los sistemas de control en modo espera hasta recibir la señal de activación para su funcionamiento.

2.2.6.2 VENTILADOR

Son dispositivos mecánicos activos, es decir entran en funcionamiento por medio de una fuente eléctrica. Constituidos por un conjunto aletas que tienen un trayecto circular, giran su propio eje, impulsados por medio de un motor. Se utiliza este dispositivo para aumentar el movimiento del aire dentro de un ambiente, con la finalidad de refrescar el sitio y disminuir la sensación de calor.



Figura 39. Ventilador
Fuente propia.

2.2.6.3 CALEFACTOR

Es un dispositivo que se utiliza para temperar el ambiente donde se sitúe, utiliza el principio de transferencia de calor de un cuerpo para transferir energía en forma de calor en ambientes que presenten niveles de temperatura inferiores en referencia al calefactor. Generalmente son fabricados con materiales que presentan niveles altos de resistencia al paso de la corriente eléctrica, es así que el paso de los electrones por un cuerpo altamente resistivo genera energía en forma de calor, por el constante choque o roce de los electrones con el cuerpo. Por ende, se entiende que un calefactor es un dispositivo hecho de un material altamente resistivo al paso de la corriente eléctrica, y que transforma la energía eléctrica en energía calorífica.

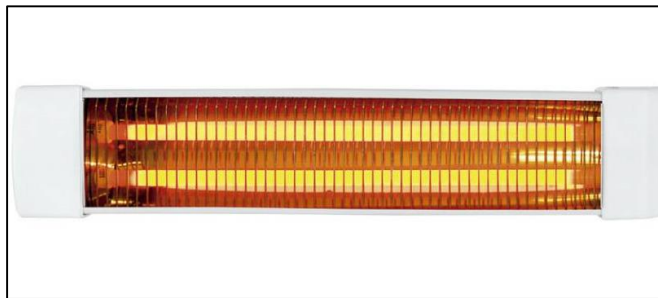


Figura 40. Calefactor hecho con resistencias eléctricas
Fuente: Extraído de
<https://www.pccomponentes.com/orbegozo-bb-4000-estufa>

2.2.6.4 MOTOBOMBA

Las motobombas o bombas de agua son usadas para sistemas donde se aplicará la utilización de agua o líquidos diversos. La bomba de agua está diseñada para mover cantidades considerables de agua, para cumplir con esta función posee una entrada por donde aspirará o recolectará el líquido, además tiene como mínimo una salida por donde impulsará el líquido aspirado, por lo tanto se puede decir que una bomba realiza el trabajo de aspiración e impulsión de líquidos. El uso de la

motobomba es común para tareas de extraer o drenar aguas de pozos, piscinas o sitios inundados, también transportar líquidos de un lugar u otro. Existen diversos tipos de bombas de agua clasificándose según su forma de funcionamiento.

- **Electrobomba:** Utilizan el mecanismo y fuerza de un motor eléctrico para su funcionamiento.
- **Bomba neumática:** Empieza a funcionar debido al aire comprimido.
- **Bomba de accionamiento hidráulico:** Se pone en modo activo debido a la acción del agua.
- **Bombas manuales:** Necesita de operario necesariamente para que active la bomba.
- **Motobombas:** Son un tipo de bombas de agua que su fuente de alimentación es el combustible.



Figura 41. Electrobomba
Fuente propia.

2.2.7 ARDUINO

2.2.7.1 CONCEPTO

Arduino es una plataforma computacional de código abierto o libre código (open source) diseñada para crear objetos o un entorno de trabajo. Arduino fue diseñado para personas artistas, diseñadores y otros con intenciones de crear entornos

interactivos. Se compone de dos partes principales que son la placa Arduino y el software Arduino, en la primera se encuentran ubicados los componentes electrónicos, y pins para interconectarlo con los sensores, actuadores, entre otros, y el software conocido como el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) se caracteriza por ser de código abierto (open source), se basa en el lenguaje de procesamiento que fue desarrollado para que el usuario pueda manipular, programar y configurar los componentes electrónicos a su necesidad.

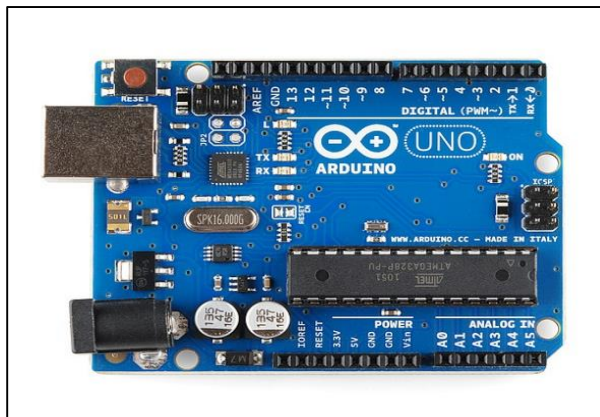


Figura 42. Placa electrónica del Arduino

Fuente: Extraído de <http://arduino.cl/que-es-arduino/>

2.2.7.2 COMPONENTES DEL MODULO

Los módulos de placa electrónica del Arduino están compuestos por elementos comunes ente sus diversos tipos, estos elementos básicos son los siguientes:

- **Microcontrolador:** Toda placa electrónica del Arduino cuenta con un microcontrolador (como mínimo) para realizar la ejecución de sus funciones. El tipo de microcontrolador que usa es el ATmega. En este microcontrolador se ingresan las instrucciones en forma digital para que se definan las funciones o tareas que realizará. Es el corazón de la placa electrónica del Arduino, ya que de este emanan las instrucciones que son enviadas a los diversos pines de salida y también recepciona el código de los pines de entrada. Es el encargado de ejecutar los

procesos que se indican en el código de instrucción mediante un lenguaje de programación.

- **Entrada de alimentación externa:** La mayoría de los tipos de placa electrónica del Arduino poseen entrada para conectar una fuente externa. Esta entrada es única y exclusivamente para conectar una fuente de electricidad al Arduino.
- **Puerto tipo USB:** Las placas electrónicas del Arduino necesitan ser alimentadas con códigos de programación para realizar la función que se le asigne. Para poder realizar el ingreso del código al microcontrolador que posee la placa Arduino se utiliza el puerto tipo USB, siendo este puerto digital bidireccional, es decir de entrada y salida de datos digitales. Además de transmitir y recibir datos de la computadora también se puede utilizar como fuente de energía externa.
- **Entradas:** Las entradas están compuestas por pines que tienen por finalidad recibir datos del entorno, y tienen la posibilidad de ser digitales y analógicos. Cada tipo de Arduino tiene un arreglo o distribución especial para estos pines.
- **Salidas:** Los pines denominados salidas tienen por finalidad realizar el envío de datos al entorno conectado en el mismo. Para este caso los datos que se envían son digitales.
- **Fuente auxiliar:** Estos son pines de salida que pueden ser utilizados como fuente de energía para un dispositivo conectado en el mismo, dado que proporcionan una diferencia de voltaje equivalente a 5 V y 3.3 V, con la respectiva conexión al común o tierra (GND).

2.2.7.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Voltaje de operación: 5V
- Microcontrolador ATmega (de manera general en los modelos clásicos)
- Memoria Flash
- SRAM
- EEPROM
- 8 MHz como mínima velocidad de la CPU
- Entradas / Salidas de pines digitales (programables)
- Entradas analógicas
- Entradas / Salidas PWM digital
- Autónomo al ser programado (no necesita conexión permanente al PC)

2.2.7.4 SOFTWARE

Arduino además cuenta con un software de entorno de programación, el cual sirve para ingresar las instrucciones por medio del lenguaje de programación, y así controlar la placa electrónica Arduino. El código de programación o lenguaje que se ejecuta dentro de Arduino se denomina Wiring, basado en la plataforma Processing, siendo el lenguaje de programación C / C++ el más usado por los usuarios al momento de realizar la programación en el software Arduino. También soporta los lenguajes de programación derivados del C. El software de entorno de programación Arduino es de libre licencia y puede ser descargado directamente del mismo sitio web de Arduino. Además, este software es soportado por los sistemas operativos Windows, MAC y Linux, logrando ser una herramienta poderosa para cualquier tipo de entorno.

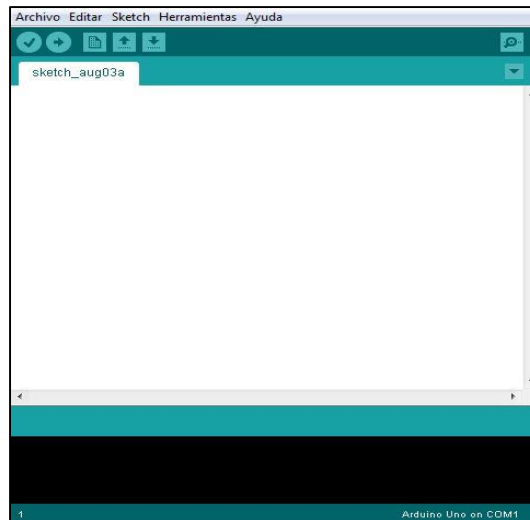


Figura 43. Entorno del software Arduino
Fuente: Extraído de <http://arduino.cl/que-es-arduino/>

2.2.8 SOFTWARE LABVIEW

2.2.8.1 CONCEPTO

LabView que significa en inglés “Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench” es un entorno gráfico de programación, pero a su vez también es lenguaje de programación, se utiliza de manera frecuente en la creación de aplicaciones de manera gráfica y dinámica. Al lenguaje de programación que utiliza LabView también se le conoce con el nombre de Lenguaje G. Su lenguaje de programación está basado en la utilización de gráficos creados por la misma aplicación. Se usa para adquirir datos, para sistemas de instrumentación y control de procesos. Los diseños de las tareas se realizan mediante la creación de diagramas de bloques, esto simplifica el proceso de creación de un sistema, además su entorno es compatible con otros programas utilizados para diseño o control, como por ejemplo el programa MatLab. Además, permite trabajar de manera efectiva en las tareas de adquisición y procesamiento de señales y filtros. Las aplicaciones que se crean con esta herramienta se guardan en ficheros denominados VI (Virtual Instrument), los cuales poseen la misma extensión al momento del guardado.



Figura 44. Ventana de inicio LabView

Fuente: <https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>

2.2.8.2 ENTORNO DE TRABAJO

Al ser una herramienta de programación gráfica, posee un entorno de visualización doble en la creación de aplicaciones, es decir tiene dos ventanas para visualizar el proceso de creación de la aplicación o tarea las cuales se denominan: Panel frontal y Diagrama de bloques.

- **Panel Frontal:** Esta ventana es la interfaz final que será vista por el usuario u operador. Es la ventana que va a interactuar con el operador de la aplicación y el proceso interno del fichero VI creado. En esta el usuario podrá observar el resultado de valores procesados y podrá modificar algunos parámetros que haya configurado en la interfaz.
- **Diagrama de bloques:** En esta ventana el programador de la aplicación creará la tarea que desea desarrollar utilizando los diagramas de bloques e interconectándolos entre sí por medio de cables que sirven para el transporte de datos, según le convenga. Se puede decir que en esta ventana es el equivalente a diseñar a la circuitería en una placa electrónica.

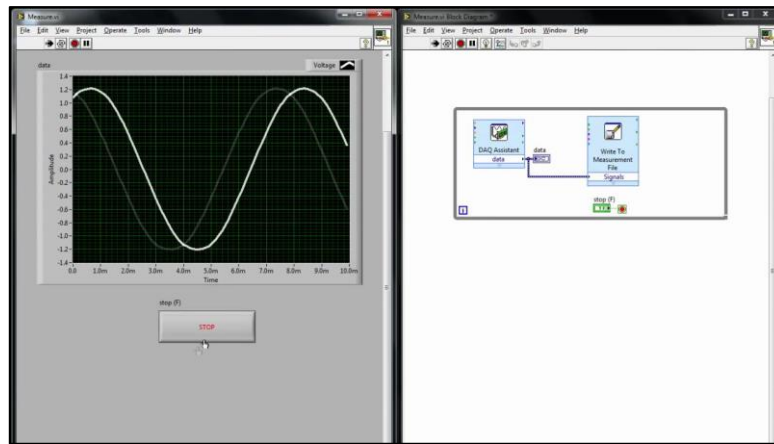


Figura 45. Vista de dos ventanas de trabajo en LabView.
Fuente propia.

CAPITULO 3

DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es del tipo aplicada porque se realizará en base a un diseño experimental.

3.2 DISEÑO DEL ESTUDIO

Este estudio tiene un diseño cuantitativo porque los resultados se expresan en cantidades o porcentajes. Además, el presente estudio tiene un diseño experimental propiamente dicho porque se usarán sensores, actuadores, microprocesadores y software de control. También tiene un diseño prospectivo porque se implementará un sistema electrónico controlador de factores climatológicos en cultivos hidropónicos de pitahaya. Por último, este diseño es de tipo transversal porque se ha hecho el experimento en una sola ocasión.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

En el presente estudio la población con la que se trabaja es la planta de pitahaya, más no se trabaja con muestras.

3.4 INSTRUMENTOS

Los instrumentos que se utilizan para realizar el presente trabajo son software LabView con el cual se genera el sistema de control y la interfaz interactiva con el usuario u operador. También se utiliza el sistema hidropónico NFT con el cual se

realiza los cultivos de las plantas de pitahaya. Además, se cuenta con la placa electrónica Arduino versión Nano el cual es utilizada como intermediario para tratar los valores obtenidos de los sensores y la activación/desactivación de actuadores. Por último, también se utiliza una estructura de invernadero para proteger a los cultivos hidropónicos del medio ambiente y realizar el control climatológico.

3.5 CRITERIOS DE SELECCIÓN

3.5.1 CRITERIOS DE INCLUSIÓN

En el presente estudio se va a trabajar con las plantas del tipo pitahaya amarilla cultivada de manera hidropónica.

3.5.2 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

No se realiza estudios con otras clases de la fruta pitahaya u otras clases de frutas

3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 13
Tabla de Operacionalización de las variables

VARIABLES	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Sistema de control de factores climatológicos en cultivos hidropónicos	<p>Un sistema es un “conjunto de elementos relacionados entre sí que ofrecen señales de salida en función de señales de datos de entrada” (Gomáriz, Biel, Matas & Reyes, 2000, p. 15).</p> <p>Existen sistemas de control electrónico de lazos abiertos y cerrados, siendo este último de mayor uso por su constante monitoreo y corrección en el valor de salida con referencia a valores establecidos.</p> <p>La Hidroponía es un tipo de técnica en cultivos de diversas variedades de plantas, “Los rendimientos por unidad de área cultivada son altos, por la mayor densidad y elevada productividad por planta” (Inca, 2013, p. 6). Usa soluciones nutritivas las cuales alimentarán a las plantas para su crecimiento y desarrollo, “puede drenar libremente (sistema abierto) o bien puede ser reutilizada (sistema cerrado). Los sistemas cerrados [...] tienen la ventaja de hacer un uso más eficiente del agua” (García, 2012, p. 2).</p>	<p>Esta variable será medida a través de un experimento propiamente dicho mediante sensores de temperatura y humedad, los cuales transmitirán los datos para su posterior análisis y comparación.</p>	<p>Monitorear y obtener los valores de temperatura y humedad relativa que se presentan dentro del ambiente de los cultivos hidropónicos.</p> <p>Evaluar y comparar los valores obtenidos de temperatura y humedad relativa de nuestros cultivos hidropónicos con valores patrones establecidos por el operador.</p>	<p>Temperatura ambiente en los cultivos.</p> <p>Humedad relativa en los cultivos.</p>
Ambiente normalizado en el área de los cultivos de la fruta pitahaya	<p>Con nombre científico <i>Hylocereus</i>, son cultivadas generalmente de forma rústica por pobladores que habitan las zonas cálidas. “son plantas perennes [...] la tendencia natural de estas plantas es trepar sobre árboles, rocas o bardas cercanas, adheridas a sus raíces adventicias” (Hernández, 2008, p. 7). La pitahaya proviene de zonas tropicales, su base de desarrollo de los frutos radica en cultivos a temperatura cálida que oscila entre los 20°C a 26°C. Además, oriundo de la selva alta en el Perú, tiende a desarrollarse en Humedades relativas entre el 60% y el 90%.</p>	<p>Esta variable será medida de manera cuantitativa, sobre los valores de los niveles de factores climatológicos de temperatura y humedad relativa que afectan los cultivos, los cuales serán actualizados de forma constante.</p>	<p>Corregir los niveles leídos de temperatura y humedad que afectan los cultivos hidropónicos basándose en los requerimientos establecidos por el operador.</p>	

Fuente: propia.

3.7 ESTRUCTURA DEL INVERNADERO

En la elección del diseño del invernadero que albergará al cultivo hidropónico se deben considerar parámetros como el tipo de clima que gobierna en la zona, intensidad de vientos, frecuencia e intensidad de precipitaciones o lluvia, entre otros aspectos.

Considerando la zona costera, posee un tipo de clima semitropical la mayor parte del año, no presenta fuertes vientos y en época de invierno se crean precipitaciones que deben considerarse por el acumulamiento de agua. Para el desarrollo del presente proyecto se considerará a la estructura del invernadero tipo Capilla a doble agua. La característica de este diseño es que permite el ingreso del aire al interior de la estructura con facilidad, también aprovecha la incidencia solar en el transcurso del día y conviene en el desagüe de los restos de agua en época de lluvias. El material que se utilizará para realizar la construcción de la estructura será de aleación aluminio, debido a que ofrece bastantes ventajas en estabilidad y duración.

Diseño de la Estructura

Para el diseño de la estructura se considerará las siguientes medidas.

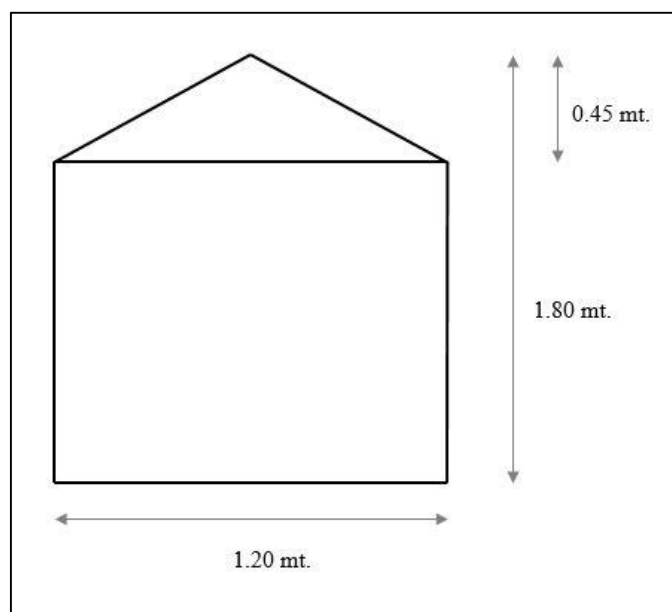


Figura 46. Medidas de la parte Frontal del invernadero
Fuente propia.

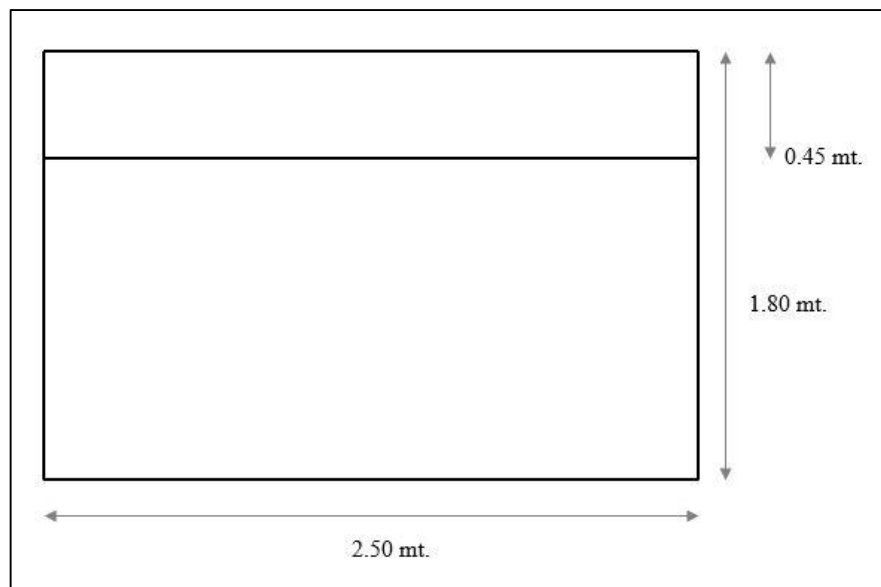


Figura 47. Medidas de la parte Lateral del invernadero
Fuente propia.

Construcción de la estructura del Invernadero



Figura 48. Construcción de la estructura para el invernadero
Fuente propia.



Figura 49: Estructura del invernadero para el proyecto
Fuente propia.

3.8 DISEÑO DEL SISTEMA HIDROPÓNICO NFT

Los sistemas de cultivos hidropónicos basados en la tecnología NFT constan de un sistema de riego circulante a través de los canales en donde se encuentran posados los cultivos. La táctica del cultivo se basa en irrigar las raíces de las plantas cultivadas de manera hidropónica, esto ayuda a conducir los nutrientes disueltos en agua sin perderlos, dado que se trata de un sistema recirculante, colaborando en no desperdiciar caudales de agua al ejercer el riego en el cultivo. Los canales de cultivos son contruidos con tubos de PVC de diámetro 2", se formará tres filas de cultivos que estarán interconectadas entre sí, cada una de estas filas deberá tener una ligera pendiente de 2 mm el cual permitirá el pase de agua de un extremo a otro. Dentro los canales circularán una lámina de agua que contiene soluciones nutritivas que ayudarán al crecimiento de las plantas, el espesor o profundidad del agua circulante será de mínimo 4 mm aproximadamente, garantizando el riego a las raíces de los cultivos. El agua que circula con la solución nutritiva posteriormente será recolectada

por un tubo de drenaje el cuál lo direccionará hacia el tanque para que en lo sucesivo sea reutilizada en el riego. El sistema NFT permite que los cultivos tengan una adecuada dotación de nutrientes y riego, además de contribuir con la oxigenación en las raíces.

Diseño de la estructura para el Sistema NFT

Para construir la estructura de tuberías donde se colocarán los cultivos, se utilizarán tubos de PVC de 2 pulg., además tendrán agujeros de 2pulg. de diámetro en la parte superior del tubo y tendrán una distancia de separación de 0.10 mt.

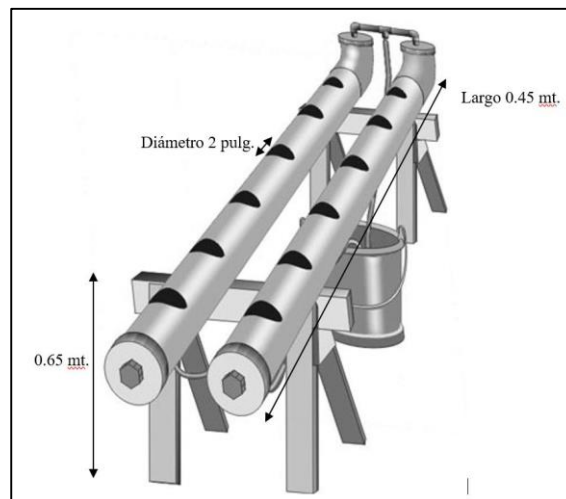


Figura 50: Diseño de los tubos de PVC para el sistema NFT

Fuente: Extraído de

<http://www.cannabismagazine.es/digital/nft-sistemas-de-pe1%C3%ADcula-nutriente-ii>

3.9 CONTROL DEL INVERNADERO

A. DISEÑO DE CONEXIÓN PARA EL CONTROL DE LAS VARIABLES

Para realizar la lectura de las variables de temperatura y humedad se utiliza sensores que tengan la capacidad de brindar lecturas rápidas y con bajo nivel de error. Los sensores que existen otorgan los valores medidos de forma analógica (en voltios o milivoltios) y en forma digital (código binario). Al trabajar con valores analógicos se debe desarrollar un proceso de conversión analógico – digital para que el valor obtenido pase al sistema de control; en cambio este proceso de conversión se puede evitar utilizando los sensores de respuesta digital, ahorrando procesos en el microprocesador del sistema de control.

Además, los sensores de salida digital también brindan mediciones de nivel de Humedad, siendo conveniente su uso porque se evita colocar otro sensor que cumpla esa tarea.

Teniendo en cuenta lo mencionado, se escoge para el desarrollo del proyecto los sensores del tipo digital DS18B20 y DHT 22, ambos sensores cumplen para ser alimentados con la salida de fuente del Arduino Nano, además de enviar la lectura de señal de forma digital al microcontrolador del Arduino para un fácil proceso de información. Así mismo, los niveles de temperatura y humedad relativa que afectan los cultivos hidropónicos se encuentran dentro del rango de medición de los sensores escogidos.

SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20

El sensor DS18B20 se utiliza para el testeo de niveles de temperatura usando la tecnología 1-wire, en el presente proyecto se utilizará este sensor para testear los niveles de temperatura o calor que generará el calefactor al ser encendido dentro del invernadero, esto ayudará a saber y controlar el calor que se genera en las cercanías del calefactor. El tipo de encapsulado que se usará será del TO-92, siendo este el más adecuado para situarlo en el invernadero, además se debe tener en cuenta que este encapsulado estará cubierto de manera externa por una película impermeable el cual

servirá de protector al sensor. La fuente que usará el sensor será externa, se aprovechará las líneas de tensión que proporciona la placa electrónica Arduino Nano, el cual provee un voltaje de alimentación de 5 VDC. Además, en el diseño de conexión del sensor se obliga a colocar una resistencia en modo pull-Up entre los terminales DQ (Datos) y Vcc (Fuente) equivalente a 4.7 k Ω , por ser necesario para la correcta lectura de datos y ser anunciado por el fabricante en la hoja de características del mencionado sensor de temperatura.

Circuito para la conexión del sensor de temperatura DS18B20

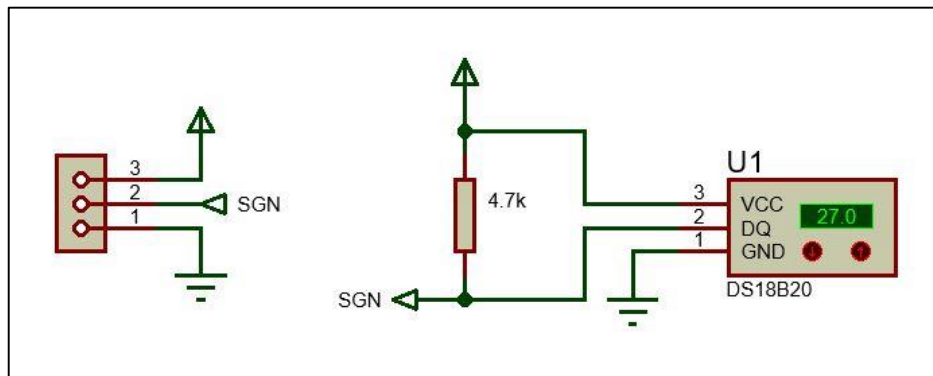


Figura 51. Esquema de conexión del sensor de temperatura DS18B20
Fuente propia.

Diseño del circuito en placa

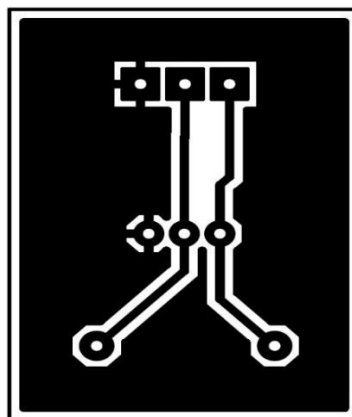


Figura 52. Circuito para placa del sensor
DS18B20
Fuente propia.

SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DHT 22

El sensor DHT 22 es usado en doble función para realizar mediciones en niveles de temperatura y humedad usando una sola línea de datos que se comunica con el microcontrolador. En el presente proyecto se utilizará el mencionado sensor para realizar el testeo de niveles de temperatura y humedad relativa en el ambiente, que afectan a los cultivos hidropónicos dentro del sistema invernadero, y para lograr este objetivo el sensor DHT 22 será situado en las cercanías de las plantas, así se obtendrá mediciones reales de los niveles que son captados por los cultivos. Para alimentar de energía al sensor se utilizará como fuente de voltaje los puertos disponibles del Arduino nano que provee una diferencia de voltaje equivalente a 5 VDC. También, el diseño de conexión del sensor obliga a colocar una resistencia equivalente a 5 k Ω entre las patillas de DATA (Datos) y Vcc (Fuente) en manera pull-Up para realizar la correcta lectura de datos del sensor.

Circuito para la conexión del sensor DHT 22

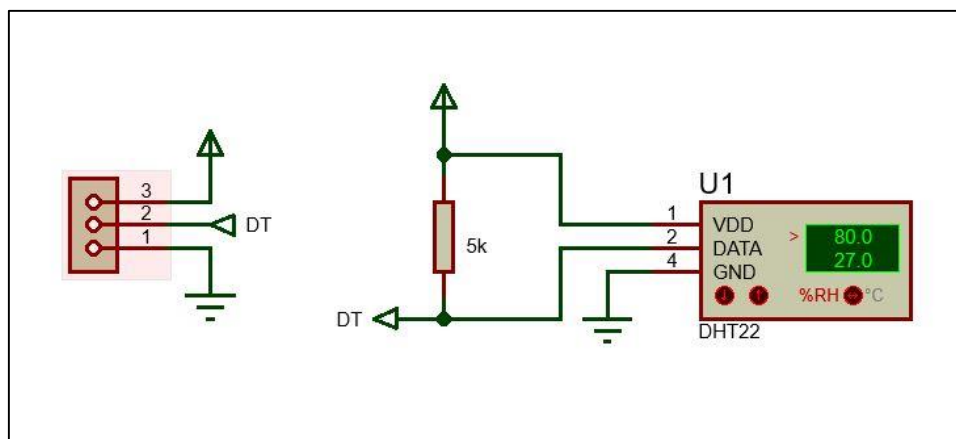


Figura 53. Esquema de conexión del sensor DHT 22
Fuente propia.

Diseño del circuito en placa

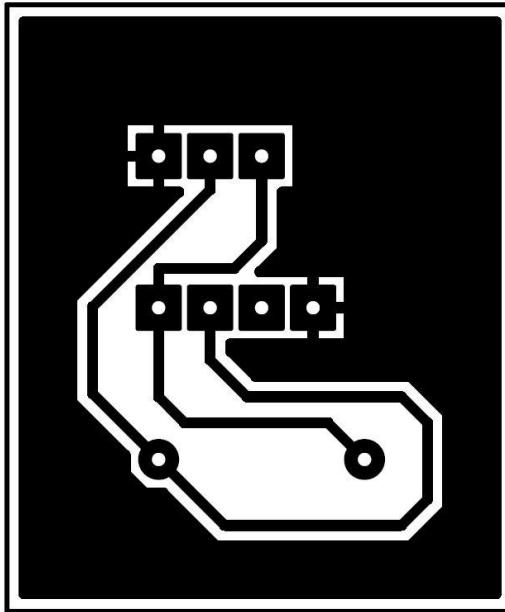


Figura 54. Circuito para placa del sensor DHT 22
Fuente propia.

B. DISEÑO DE CONEXIÓN DE LOS ACTUADORES

CALEFACTOR

En situaciones que el sensor DHT 22 obtenga como resultado un nivel de temperatura inferior a la permisible (18°C) el microprocesador enviará una señal para activar el sistema calefactor, el cual servirá para aumentar el nivel de temperatura dentro del ambiente invernadero. Este sistema calefactor está constituido por una resistencia eléctrica tubular blindada que está fabricado con alambre resistivo de aleación Niquel-Cromo aislado con una forma semi tubular de material Oxido de magnesio de buena conductividad térmica. La resistencia eléctrica es usada de manera común para calentar superficie de sólidos y aire, su misión básica es transformar energía eléctrica en energía calorífica y para lograr ese objetivo utiliza material altamente resistivo al paso de la electricidad, generando y disipando calor en lo largo del material.

Tabla 14
Características de la resistencia eléctrica

Parámetro	Valor
Tensión de Alimentación	220V – 400 V
Potencia	1500 W (220V)
Tamaño	6 pulgadas
Tipo de forma	Helicoidal

Fuente propia.



Figura 55. Resistencia eléctrica circular
Fuente propia.

Para ejecutar el accionamiento de la resistencia se debe acoplar un relé de estado sólido. El Relé estado sólido es ideal para tareas repetitivas y que se prolonguen durante mucho tiempo, siendo adecuadas para cargas resistivas, como elementos de calefacción. Consta de una parte de control que acciona el relé y otra parte de fuerza que conduce la corriente hacia la carga.

Calculo de la corriente en el Calefactor

Para elegir un adecuado relé de estado sólido se debe saber la cantidad de corriente que consumirá la resistencia eléctrica de calefacción.

$$P_R = V_R * I$$

Se reemplaza los valores ya mencionados de la resistencia eléctrica

$$1500 = 220 * I$$

Por lo tanto, la corriente que consume la resistencia eléctrica del calefactor es

$$I = 6,82 \text{ mA}$$

Para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, el relé debe soportar más de 1,414 veces la línea de C.A. por ende, se debe escoger un relé que soporte

$$I_{RELE} = 6,82 \text{ A} * 1.414$$

$$I_{RELE} = 9,64 \text{ A}$$

Finalmente, se muestran las especificaciones técnicas del relé de estado sólido ZXF30 de la marca LOTI, escogido para la implementación del proyecto.

Tabla 15
Características eléctricas del relé de estado sólido ZXF30

Parámetro	Valor
Corriente de control	7 – 15 mA
Tensión de control	90 – 240 VAC 5 – 32 VDC
Corriente nominal de conmutación	30 A
I mínima de accionamiento a la carga	50 mA
Corriente máxima de trabajo	24 A _{RMS}
Pico de corriente / 1 ciclo	350 A

Fuente propia.

Además, se instalará cerca de la resistencia un ventilador que tendrá como objetivo acelerar el paso del aire caliente por efecto del accionamiento de la resistencia eléctrica. El ventilador se encenderá al momento de accionar la resistencia eléctrica de la calefacción, con la finalidad de homogenizar la sensación de aumento del nivel de calor dentro del sistema invernadero.

Circuito para la conexión del calefactor

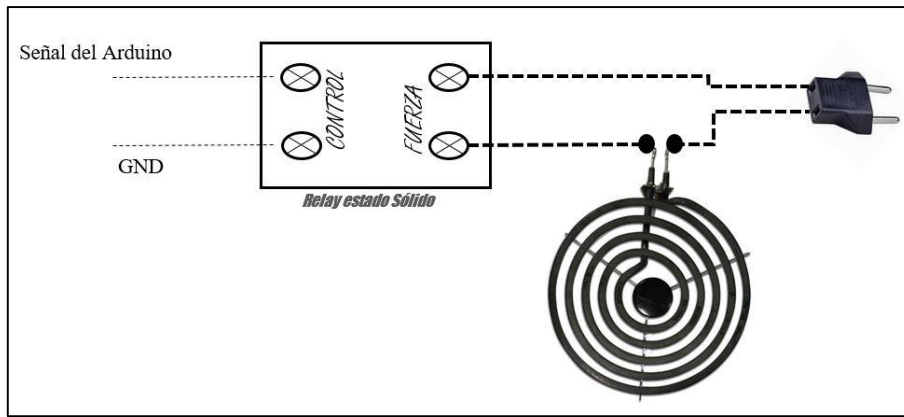


Figura 56. Circuito de conexión de la resistencia con el Relay de estado sólido Fuente propia.

VENTILADORES

Para controlar el nivel de calor asentado dentro del invernadero, se colocarán de manera estratégica dos ventiladores a la altura media del techo, en laterales opuestos, esto se realizará para acelerar las corrientes de aire que ingresan o salen del invernadero, aplicando un ventilador como aire acondicionado que refrescará el ambiente y otro conectado de manera inversa con la finalidad de sacar el aire con humedad existente en el invernadero actuando como deshumedecedor o extractor.

Las características de los ventiladores son las siguientes:

- Fuente de alimentación : 12 VDC
- Consumo de corriente : 0.90 A
- Diámetro total : 15 mm

Circuito para la conexión de los ventiladores

Para activar/desactivar los ventiladores se utilizará la señal proveniente del microcontrolador del Arduino Nano, se usará un bus de datos que conectará con el

transistor ZTX690, del tipo NPN, el cual se encargará de activar o desactivar el ventilador con la fuente de energía.

Tabla 16
Características eléctricas del transistor 2N3904

Símbolo	Parámetro	Condiciones	Valor
V_{CBO}	Voltaje colector-base	---	45 V (máx.)
V_{CEO}	Voltaje colector-emisor	---	45 V (máx.)
V_{EBO}	Voltaje emisor-base	---	5 V (máx.)
I_C	Corriente de colector	---	2 A (máx.)
I_{CEX}	Corriente de corte de colector	$V_{CB} = 35 \text{ V}$	0,1 μA (máx.)
I_{BEX}	Corriente de corte de emisor	$V_{EB} = 4 \text{ V}$	0,1 μA (máx.)
$V_{CE(sat)}$	Voltaje de saturación colector-emisor	$I_C = 0,1 \text{ A}$ $I_B = 0,5 \text{ mA}$ $I_C = 1 \text{ A}$ $I_B = 5 \text{ mA}$	0,1 V (máx.) 0,5 V (máx.)
$V_{BE(sat)}$	Voltaje de saturación base-emisor	$I_C = 1 \text{ A}$ $I_B = 10 \text{ mA}$	0,9 V (máx.)

Fuente: Extraído y adecuado de <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/2N3903-D.PDF>

Cálculos para el diseño de la conexión.

- Resistencia de base de colector:

$$V_{in} - I_B \cdot R - V_{BE} = 0$$

Despejamos la corriente de base

$$I_B = \frac{V_{in} - V_{BE}}{R_B}$$

Establecemos el valor de la corriente de base (I_B) para una corriente de colector (I_C) equivalente a 1 A.

$$\frac{V_{in} - V_{BE}}{R_B} = I_{B(máx)}$$

$$\frac{5 - 0,85}{R_B} = 5 \text{ mA}$$

Resolviendo

$$\frac{5 - 0,85}{50 \text{ mA}} = R_{B(máx)} \rightarrow R_B = 83 \Omega$$

Para dar estabilidad al funcionamiento del transistor la corriente que fluya por la base debe ser mayor a 4 mA, por lo tanto, la resistencia de base a colocar será equivalente a 100Ω (valor comercial)

- Adicionalmente, se colocará un diodo 1N4148 el cual estará conectado de manera inversa en paralelo con el motor del ventilador, su finalidad es actuar en forma de inductor para reprimir los cambios de activación del motor del ventilador, por ende, protegerá al transistor de las corrientes inversas que se pueden generar.

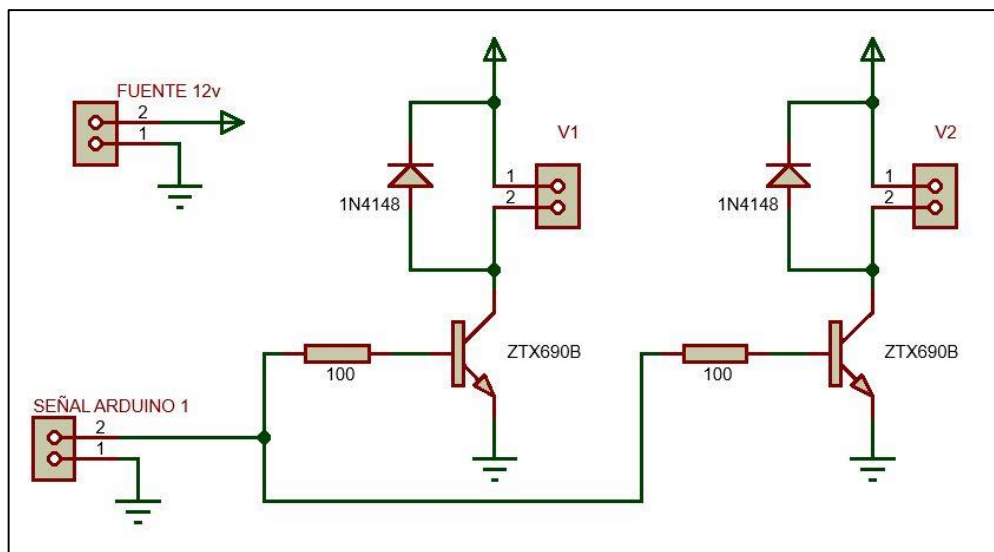


Figura 57. Esquema de conexión de los ventiladores Fuente propia.

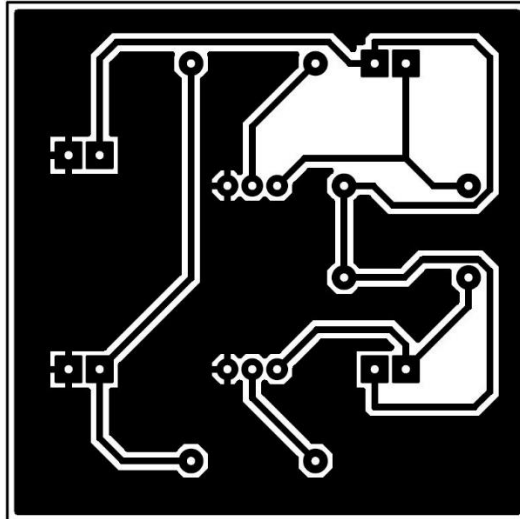


Figura 58. Circuito para placa de los ventiladores 1 y 2
Fuente propia.

Fuente 12 VDC

Se utilizará un transformador 220VAC / 12VAC en voltaje eficaz a 3A y un puente de diodos para la rectificación de onda.

$$V_{MÁX} = 12 * 1.4142$$

$$V_{MÁX} = 16.97 \text{ VAC}$$

Se descuenta la caída de voltaje al pasar por los dos diodos del rectificador de onda

$$V_{MÁX-RECTIFICADO} = V_{MÁX} - 2 * 0.7V$$

$$V_{MÁX-RECTIFICADO} = 16.97V - 1.4V$$

$$V_{MÁX-RECTIFICADO} = 15.57 \text{ V}$$

Cálculo del condensador para la etapa de filtro

$$C = (5 * I) / (f * V_{MÁX-RECTIFICADO})$$

$$C = (5 * 3) / (60 * 15.57)$$

$$C = 16056,518 \mu F$$

Aproximándose al valor comercial del condensador

$$C = 16800 \mu F$$

Se utilizarán dos condensadores en paralelo para cumplir con el requerimiento

$$C = C_1 + C_2$$

$$C = 10000\mu F + 6800\mu F$$

En la etapa de regulación de la fuente de voltaje se utilizará el regulador integrado LM350 por soportar hasta 3A de suministro a la carga. Aun así, para ayudar en el suministro de corriente a la carga se utilizará el transistor TIP 32 que es del tipo PNP. En la salida del LM350 se debe obtener 12VDC, para esto se deben colocar los valores apropiados a las resistencias R1 y R2 que se encargarán de regular el voltaje de salida.

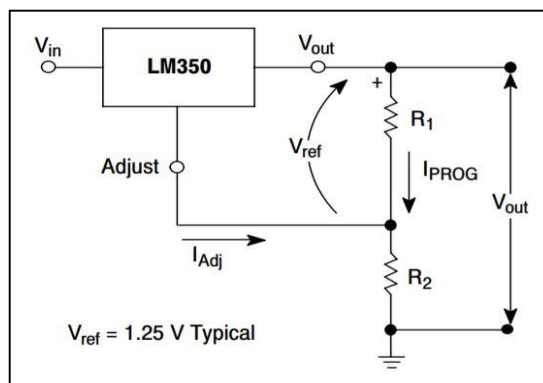


Figura 59: Esquema de conexión.
Fuente: Extraído de DATASHEET LM350
<http://www.ti.com/lit/ds/snvs772b/snvs772b.pdf>

El proveedor del regulador LM350 recomienda colocar como valor de la resistencia R1 equivalente a 240Ω, por ende, se procede con el cálculo del valor de la resistencia R2.

$$R_2 = (V_{OUT} - V_{REF}) * \left(\frac{R_1}{V_{REF}}\right)$$

$$R_2 = (12 - 1.25) * \frac{240}{1.25}$$

$$R_2 \approx 2.064\Omega$$

Entonces se utilizará un valor comercial para la resistencia R2

$$R_2 = 2k\Omega$$

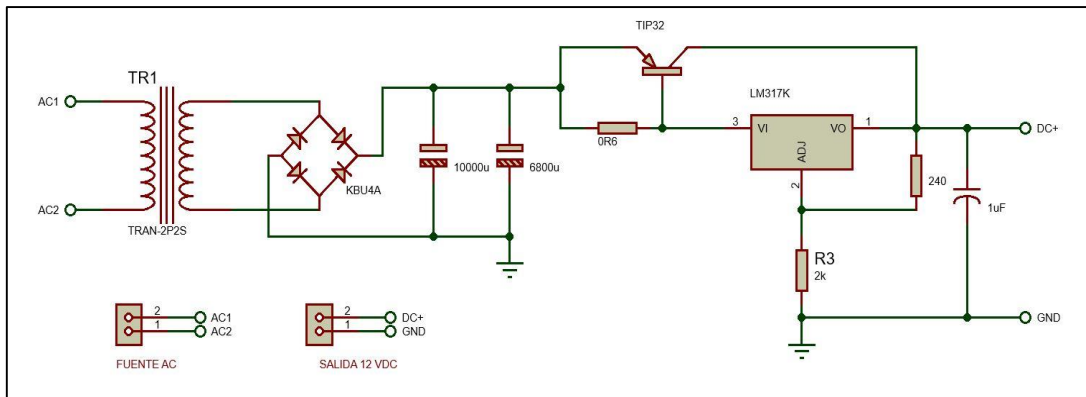


Figura 60: Esquema del circuito para la fuente regulada de 12VDC
Fuente propia.

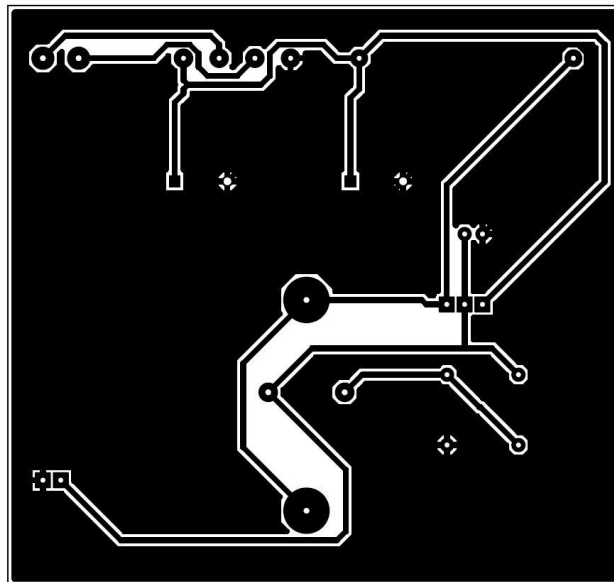


Figura 61: Circuito para placa de la fuente 12VDC
Fuente propia.

BOMBA DE AGUA

El proyecto se desarrolla utilizando el sistema de cultivo hidropónico NFT, el cual está compuesto por líneas de tubería por donde circulará la solución nutritiva que alimentará las raíces de la planta cultivada. La masa de nutrientes no excede los 4mm de altura y circula por el interior de la tubería como una lámina recirculante, por ende, el máximo caudal del líquido que pasa por el sistema de tuberías es de 5 litros/minuto.

Según se evidencia en la ilustración la tubería de aspersión e impulsión de la bomba de agua para circular el líquido del contenedor al sistema NFT solo maneja un codo de 90°, una tubería horizontal y vertical de 0.65 mt. de largo.

Teniendo las especificaciones de las bombas de agua, se define que solo será necesario utilizar una bomba de agua de 1/2HP de potencia, como máximo.

Tabla 17.
Especificaciones técnicas de las Bombas de agua

	Siemens	Aqua Pak	Pedrollo	Askoll
Potencia	½ Hp	½ HP	½ HP	½ HP (aprox.)
Voltaje	127 - 220 VAC	220 - 240VAC	220 VAC	127 – 220VAC
Corriente	7 A	4.5 A	3.5 A	0.83 A
Altura máx.	15 m.	14 m.	15 m	4 m
Caudal	120 l/min	50 l/min	60 l/min	20 l/min
Succión	1 – 1/4"	1"	1 – 1/4"	1/2"
Descarga	1"	1"	1"	1/4"
Motor	Monofásico	Monofásico	Monofásico	Monofásico

Fuente: Elaborada de diferentes fuentes.

En tal caso, la bomba de agua Askoll es la que mejor características posee para acoplarse al proyecto, debido a que tiene un bajo consumo de corriente, no excede a un caudal de 20 l/min, tipo de conexión monofásico y las bocas de succión y descarga se acoplan a la manguera que se conecta con los tubos PVC del sistema NFT, además de necesitar en promedio 1 mt. como máximo de altura del agua descargada.

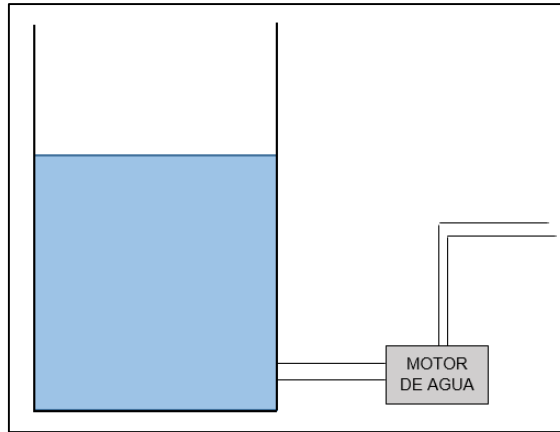


Figura 62. Esquema de conexión de la bomba de agua Fuente propia.

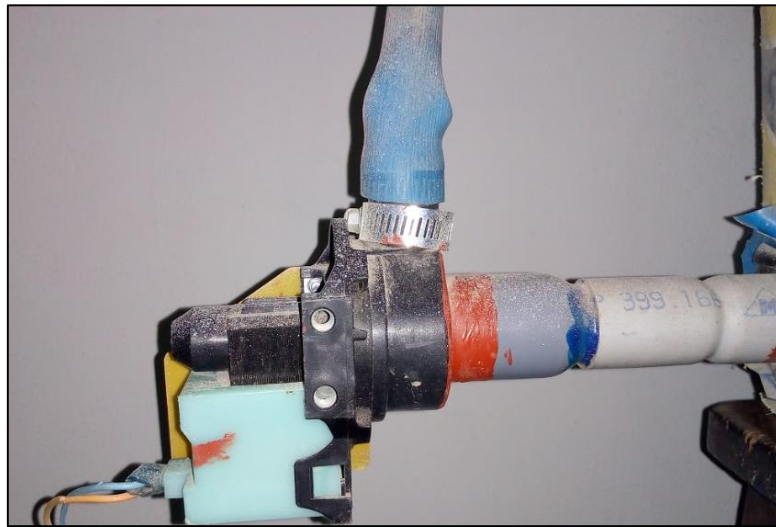


Figura 63. Motor de agua marca Askoll usado en el proyecto. Fuente propia.

3.10 DISEÑO EN LA ADQUISICIÓN DE DATOS

El diseño de funcionamiento y control general del sistema para la adquisición y manipulación de datos será diseñado siguiendo la siguiente secuencia lógica.

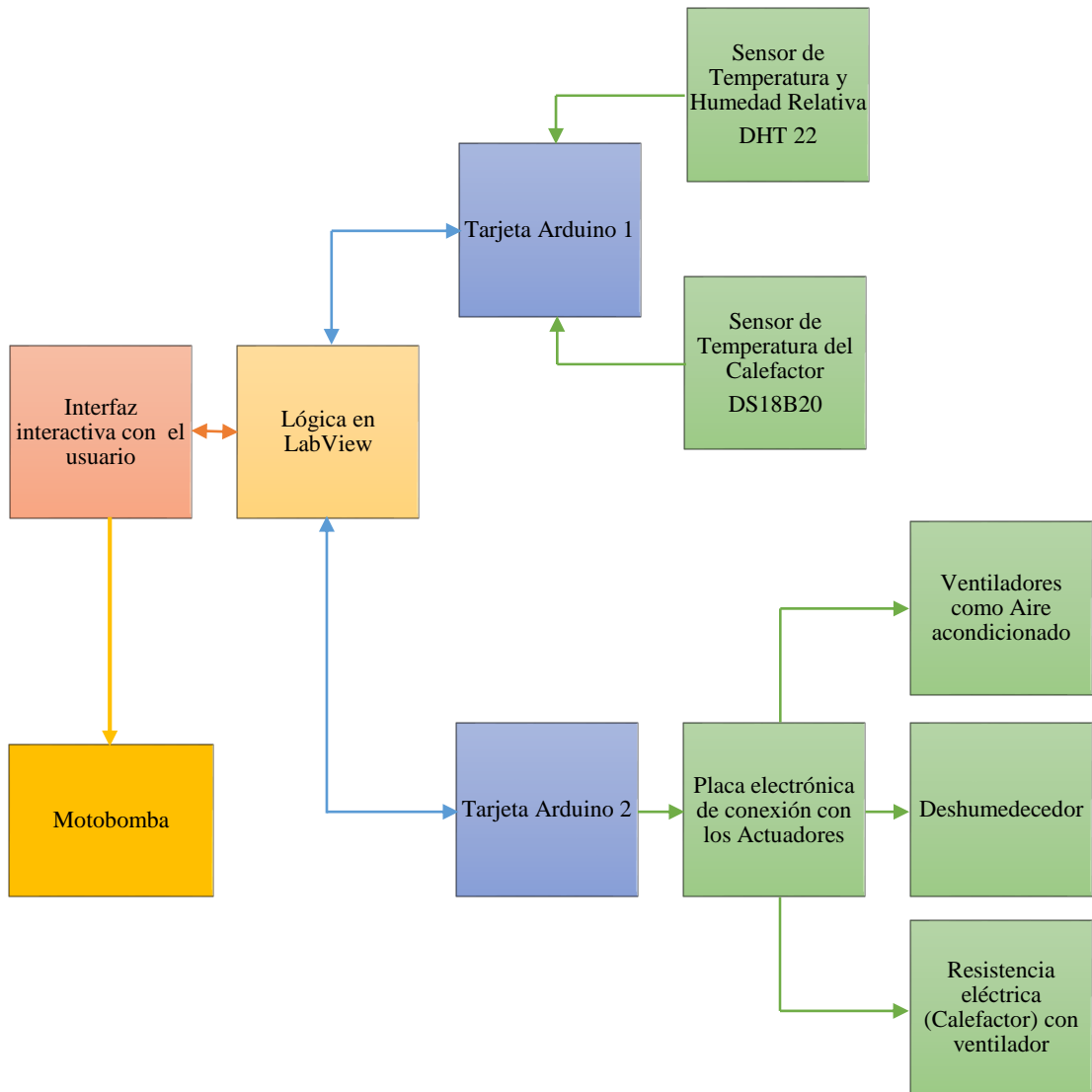


Figura 64. Diagrama de bloques de la lógica de control del sistema lógico y electrónico
Fuente propia

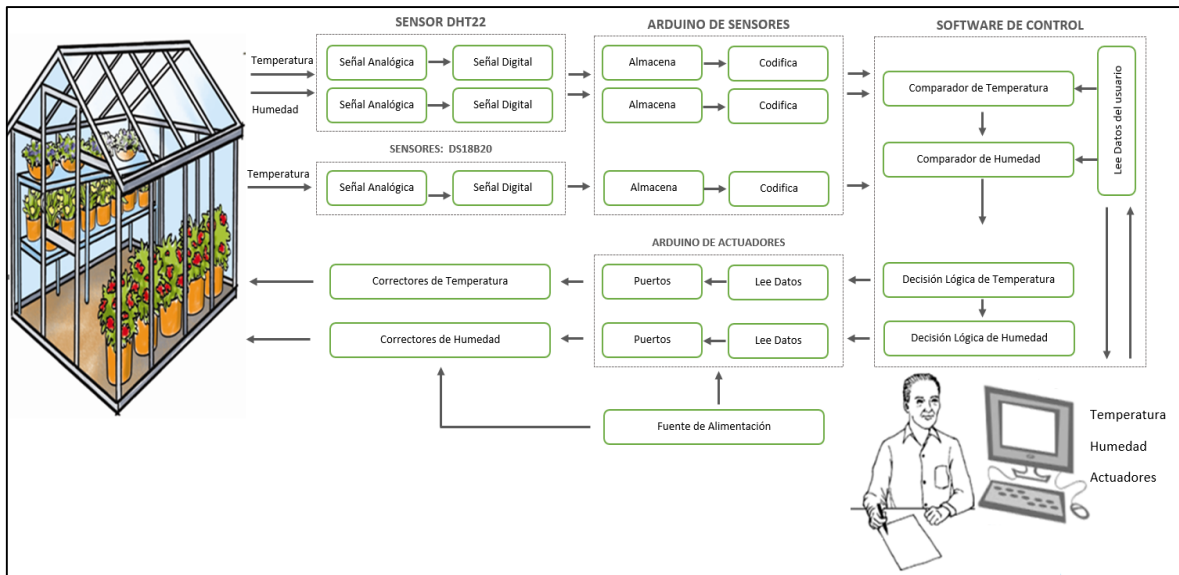


Figura 65. Diagrama de bloques a lazo cerrado del sistema de control hidropónico Fuente propia.

3.10.1 ARDUINO NANO

La tarjeta electrónica Arduino Nano es de tamaño compacto, pero posee los elementos necesarios para ser una placa de desarrollo completa. Arduino Nano está compuesta por el microcontrolador ATmega328P, así como pines de entradas y salidas digitales, además posee pines de entrada analógica y botón de reseteo. A nivel hardware y potencia del microcontrolador, el Arduino Nano es muy similar al Arduino Uno, aunque difiere en la entrada de alimentación ya que solo puede energizarse usando:

- La conexión Mini-B USB
- Una fuente de alimentación no regulada de 6 – 20 V por el pin 30
- Una fuente de alimentación regulada de 5 V (pin 27)

En el presente proyecto las tarjetas electrónicas de Arduino Nano serán alimentadas mediante la conexión Mini-B USB, ya que el Arduino debe estar en permanente comunicación con la computadora del operador para complementar su proceso de control con la interfaz de la aplicación creada en el software LabView.

Tabla 18
Características técnicas del Arduino Nano

Descripción	Valor
Tensión de operación	5 V
Tensión de entrada (recomendado)	7 – 12 V
Tensión de entrada (límite)	6 – 30 V
Pines digitales (Entrada/salida)	14 (6 son salidas PWM)
Entradas analógicas	8
Corriente máx. E/S (pines digitales)	40 mA
Memoria Flash	32 kB
SRAM	2 kB
EEPROM	1 kB
Frecuencia del reloj	16 MHz

Fuente: Adecuado de <http://arduino.cl/que-es-arduino/>

3.10.2 VENTAJAS

- Es de código abierto
- Software libre para programación
- El software Arduino es de fácil programación
- No son costosos
- Existe variedad de tarjetas electrónicas Arduino.

3.10.3 LÓGICA DE CONTROL

El módulo del Arduino Nano será utilizado como mediador en la recepción y transferencia de datos de los sensores y actuadores con la lógica de control programado en el software LabView. Para lograr este objetivo la comunicación se realizará de manera manual mediante el puerto serial de comunicación Mini-B USB del Arduino con el puerto serial de comunicación USB de la computadora del operador.

A continuación, se presentan las lógicas de adquisición y transferencia de datos mediante los puertos habilitados del módulo Arduino Nano.

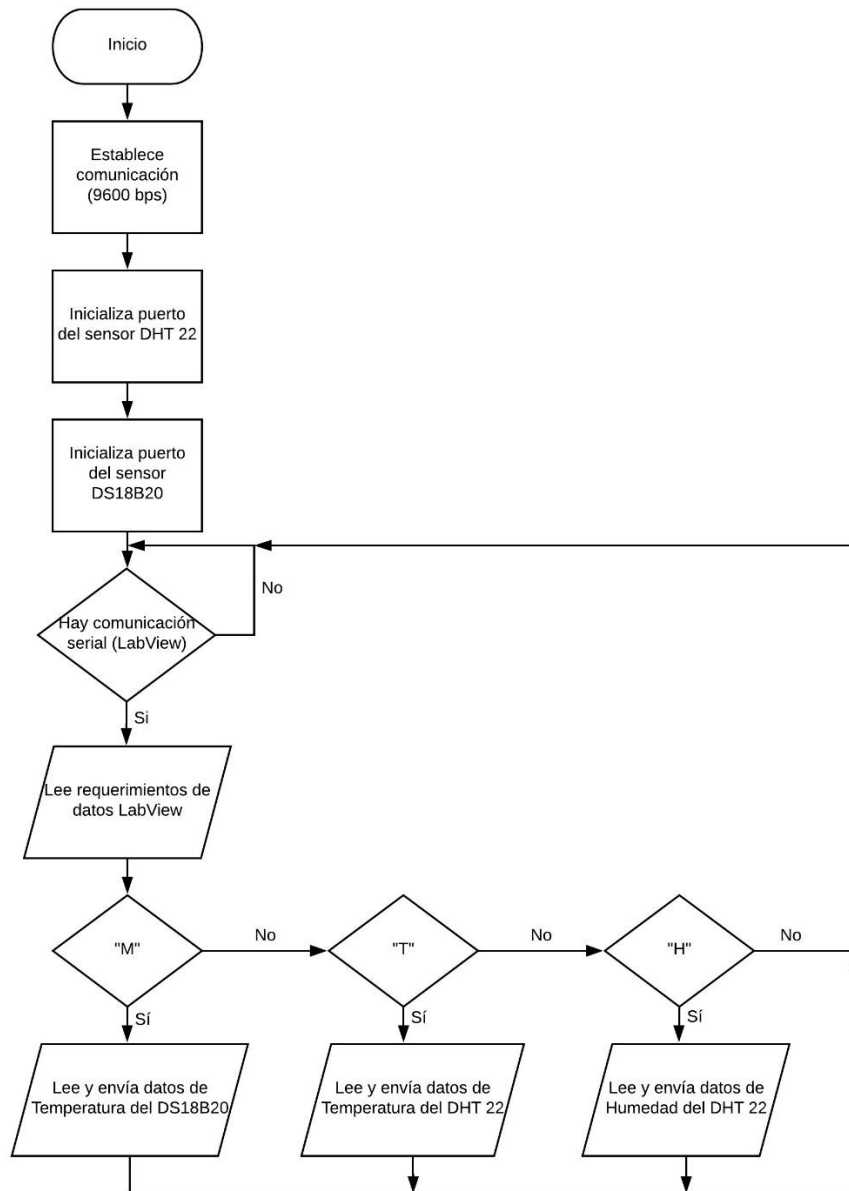


Figura 66. Diagrama de flujo del testeo de sensores y envío de datos por el puerto serial del Arduino Nano.

Fuente propia.

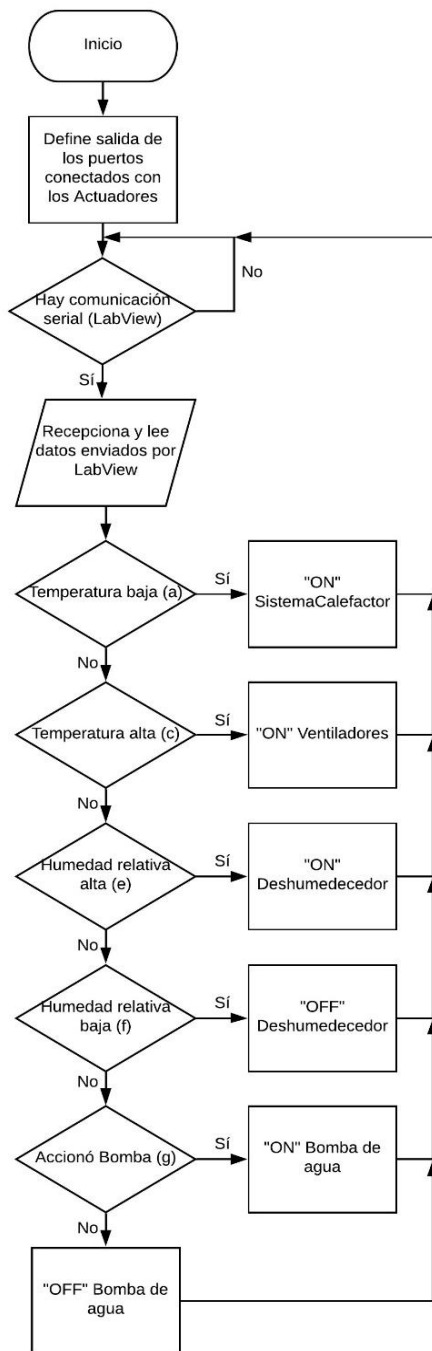


Figura 67. Diagrama de flujo de manipulación “Encendido/Apagado” de los Actuadores
Fuente propia.

3.10.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL DE LAS VARIABLES

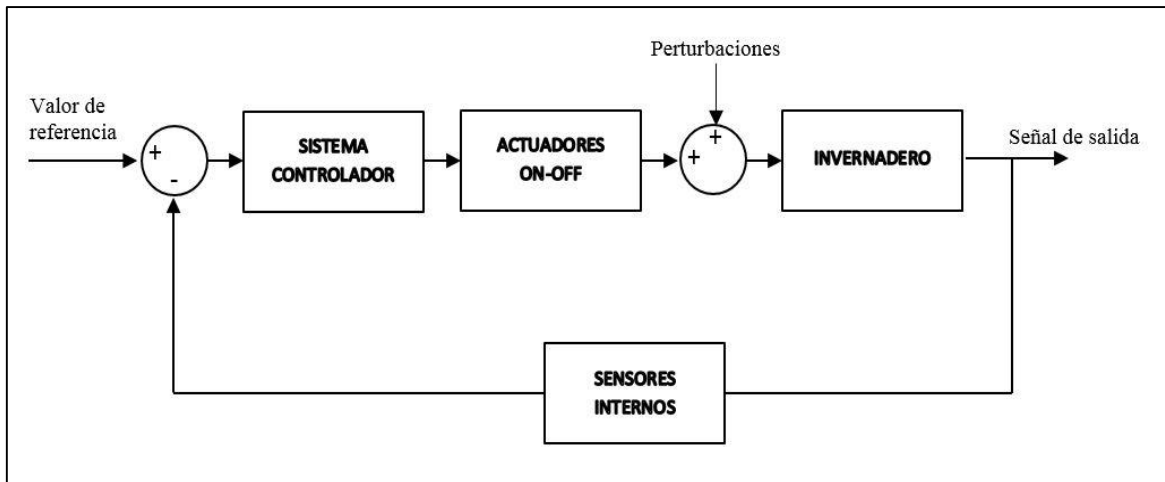


Figura 68. Diagrama de bloques a lazo cerrado del control de Temperatura y Humedad
Fuente propia.

El bloque del Sistema controlador representa el trabajo conjunto del Arduino Nano y el software LabView que testearán y controlarán las variables de Temperatura y Humedad Relativa, se registrarán los niveles sensados y de ser necesario se activará el actuador correspondiente para corregir y nivelar el valor excedido. Además, se debe considerar que el interior de la estructura que alberga los cultivos hidropónicos sufre de constantes cambios en niveles de temperatura y humedad, debido a los cambios climáticos externos, es por eso que en el diagrama de bloques se adiciona las perturbaciones externas que pueden inferir en los niveles sensados.

3.11 DISEÑO DEL ENTORNO LABVIEW

En el presente proyecto se utilizará el software LabView para realizar el control de los parámetros de Temperatura y Humedad Relativa. Se creará un archivo ejecutable de fácil instalación mediante el cual se podrá visualizar y controlar los niveles climáticos de temperatura y humedad relativa que afectan los cultivos hidropónicos dentro del invernadero, estableciendo de manera manual un set point o punto de referencia que

servirá para la comparación de niveles. Además, se podrá manipular de manera manual el encendido y apagado de los actuadores y de la bomba de agua.

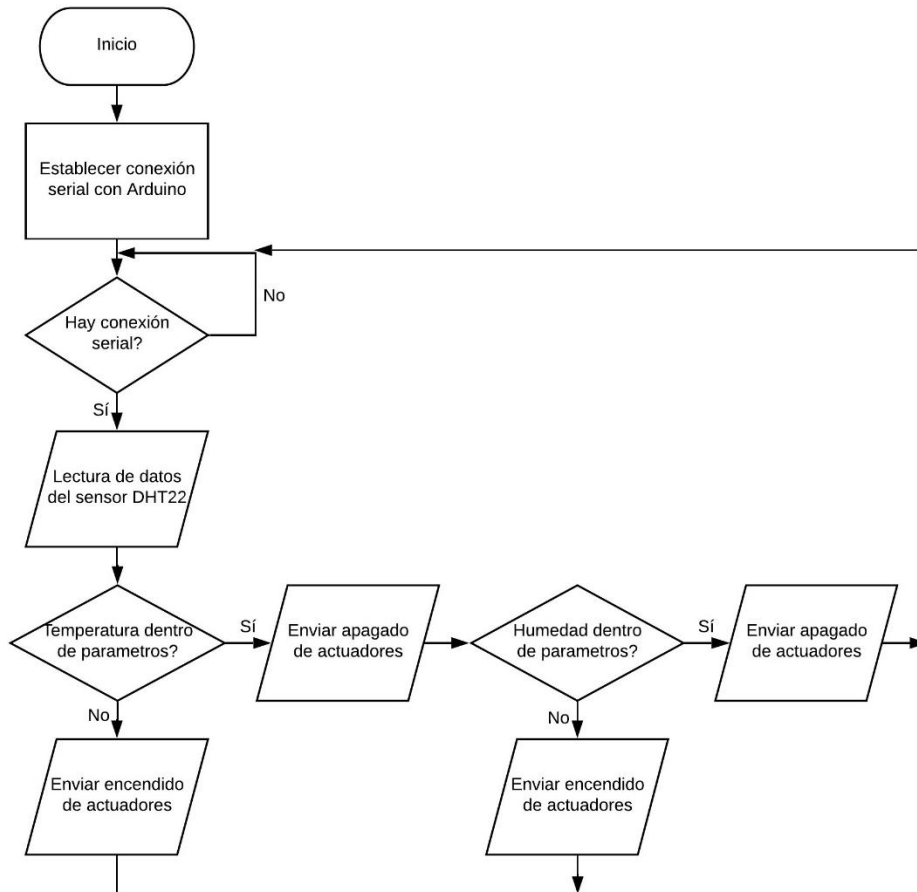


Figura 69. Diagrama de flujo de Control en Temperatura y Humedad Relativa sensada con el DHT22
Fuente propia.

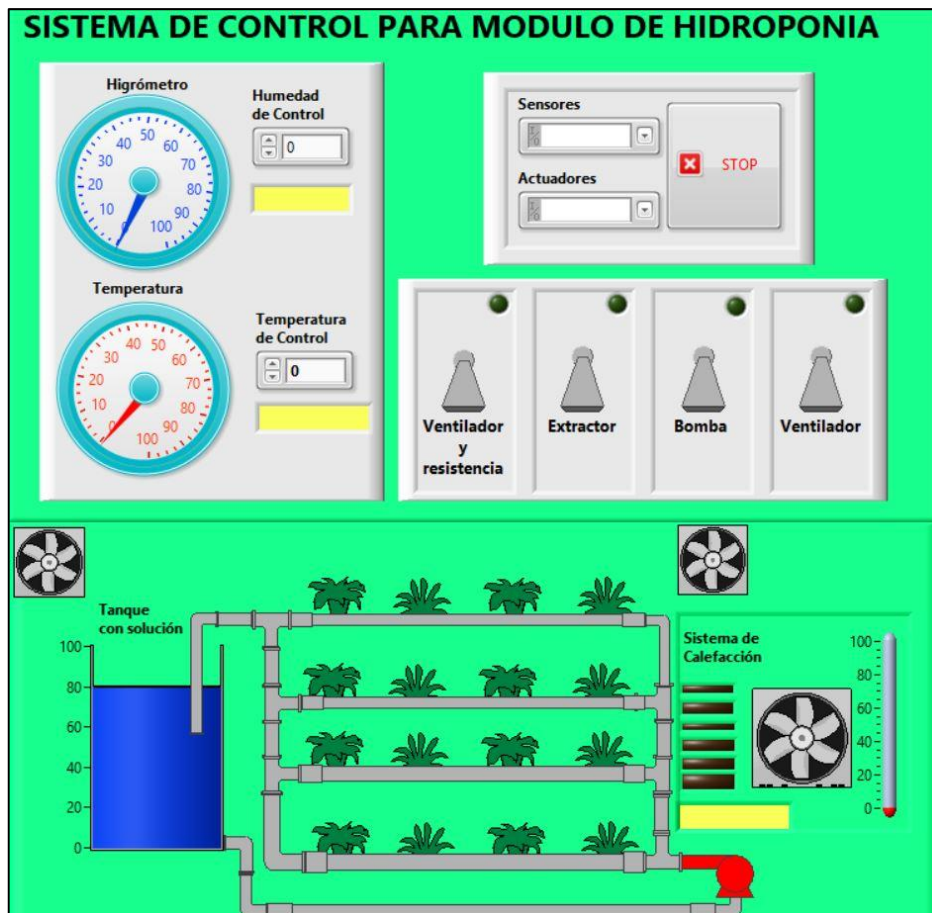


Figura 70. Ventana del ejecutable creado con LabView, y será manejada por el operador Fuente propia.

Se puede apreciar que el diseño de la ventana que controlará el operador es amigable al uso. En la zona superior muestra los niveles sensados de temperatura y humedad relativa de forma digital y analógica, también posee una casilla para establecer el set point o punto de referencia para el control de cada una de los valores mencionados, además se observa que tiene el control manual para el encendido y apagado de los diferentes actuadores que se encuentran dentro del invernadero, incluyendo la bomba de agua. En la zona inferior se encuentran iconos animados que mostrarán el funcionamiento de cada uno de los actuadores en tiempo real. El software tiene una comunicación permanente con la placa electrónica Arduino, dado que es el medio que usa para obtener los datos de los sensores y controlar la activación y desactivación de los actuadores instalados en el invernadero.

Para realizar la conexión de las placas Arduino Nano con la aplicación creada, primero se debe conectar los módulos Arduino mediante su conector USB – MiniB USB a la computadora del operador. Luego se abre el programa instalado y se debe realizar el reconocimiento de los puertos COM conectados y enlazarlos con el aplicativo.



Figura 71. Casillas de reconocimiento y enlace de los puertos COM conectados con los módulos Arduino
Fuente propia.

Al desplegar cada una de las casillas Sensores y Actuadores se verá la lista de puertos COM conectados a la computadora y reconocidos por el aplicativo. Solo bastará con elegir el adecuado para cada uno de las casillas y presionar el botón Ejecutar simbolizado por una flecha apuntando hacia el lado izquierdo que se muestra en la parte superior de la ventana de la aplicación. De igual manera también se tiene el botón de Parar.



Figura 72. Botones de control de inicio y parada de la ejecución del programa de control.
Fuente propia.

La lógica programada en el software Labview se encargará de mantener comunicación permanente con la tarjeta Arduino Nano conectado a los sensores de temperatura y humedad (DHT 22 y DS18B20), con la finalidad de adquirir los datos y luego procesarlos.

En la figura 64 se muestra el diseño completo de la lógica de control desarrollada en el software LabView, el cual se encargará de leer los datos del Arduino Nano para luego procesarlos y finalmente emitir un resultado según la lógica programada.

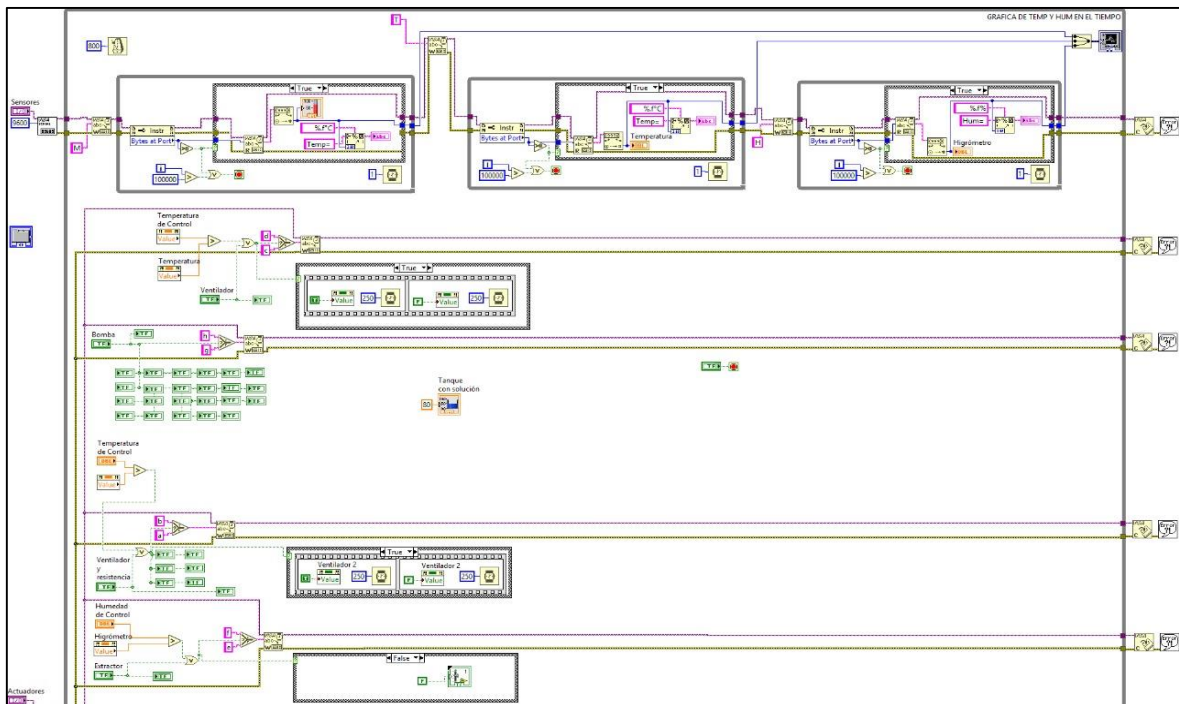


Figura 73. Lógica de control completa desarrollada en el software LabView Fuente propia.

Para poder ejecutar la comunicación entre la placa Arduino y el software LabView se necesita instalar una librería de uso libre que fue diseñada por la empresa National Instrument, ubicándose disponible en el portal web oficial de la empresa.

La figura 65 muestra el elemento VISA Serial encargado de realizar la comunicación serial entre el Arduino y LabView, es necesario establecer la velocidad de transferencia de comunicación configurando el *baud rate*, tanto para la comunicación con el Arduino 1 (Sensores) así como también para la comunicación con el Arduino 2 (Actuadores).

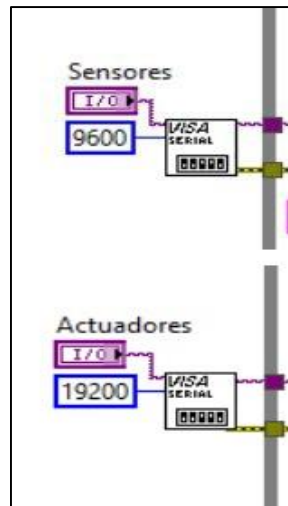


Figura 74. Elemento de conexión entre el Arduino y el software LabView
Fuente propia.

Los datos obtenidos del sensor DHT 22 en temperatura y humedad relativa, son mostrados al operador mediante la aplicación creada en LabView. También, se adicionaron las casillas Humedad de control y Temperatura de control para establecer los valores deseados de temperatura y humedad relativa que debe manejarse dentro del sistema invernadero.

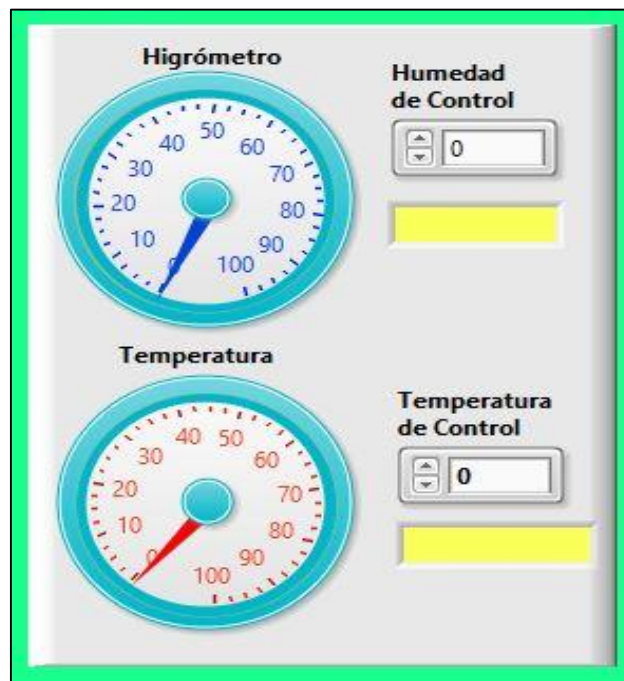


Figura 75. Iconos dinámicos que muestran la temperatura y humedad sensada de forma analógica y digital.
Fuente propia.

Los datos leídos del sensor DHT 22 son convertidos a datos del tipo flotante para poder operarse. Se realiza la lectura de datos para temperatura y humedad relativa de manera separada. Para el caso de medición de temperatura, una vez obtenido el valor del sensor se compara con el valor de la variable Temperatura de Control, este valor es ingresado por el usuario mediante la aplicación interactiva, sirve para mantener un nivel adecuado de temperatura deseada en el invernadero. Se realizará la comparación booleana de los valores y si el resultado es False significa que el valor sensado es menor que el deseado por lo que debe aumentarse el nivel de calor y para ello se enciende de manera automática el calefactor con su ventilador para homogenizar el calor generado en todo el interior del invernadero.

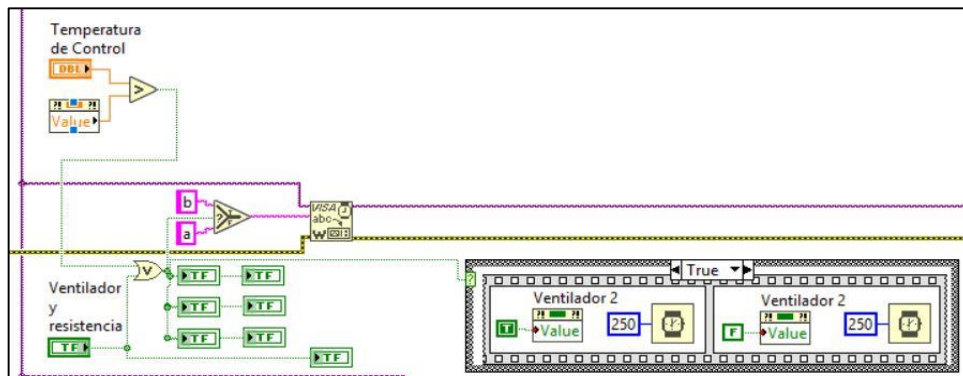


Figura 76. Primer Control del nivel de temperatura del DHT 22 – Encendido del calefactor Fuente propia.

Además, en la aplicación manejada por el usuario se muestra de manera dinámica el encendido del calefactor con su ventilador y muestra la medición de temperatura del sensor DS18B20 que es colocada de manera estratégica con la finalidad de que el operador conozca la temperatura real en las cercanías al calefactor.



Figura 77. Visualización en el aplicativo del encendido del calefactor y la medición de temperatura del DS18B20
Fuente propia.

También, se desarrolla el control de Temperatura para los valores altos, es decir, se genera otra instrucción en bloques para el sensado de temperatura que cumpla con sobrepasar el valor establecido por el operador en la casilla Temperatura de Control del aplicativo. La lógica consiste en realizar la comparación booleana de los valores mencionados, si el resultado es False significa que el valor de Temperatura sensada por el DHT 22 es mayor que el deseado, por lo tanto, se activan los ventiladores encargados de disminuir los niveles de calor dentro del invernadero.

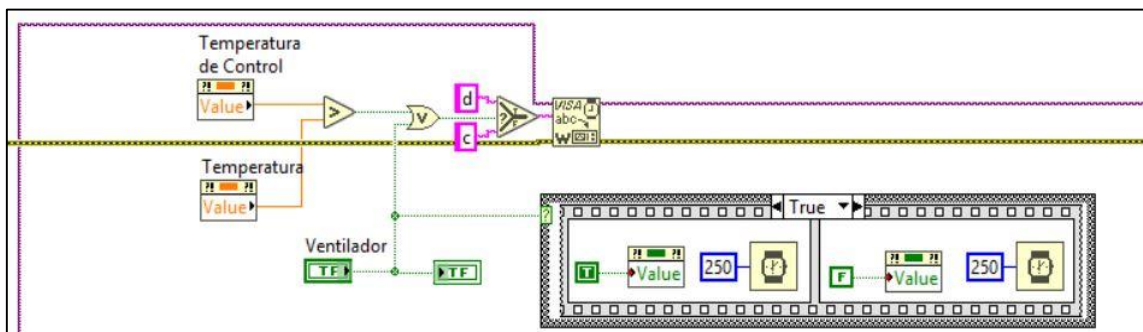


Figura 78. Segundo Control del nivel de Temperatura del DHT 22 – Encendido del Ventilador
Fuente propia.

El sensor DHT 22 también brindará lectura del nivel de humedad relativa dentro del sistema invernadero. La lectura realizada será comparada con el valor de Humedad de Control que es establecido por el operador y si el resultado booleano es Falso significa que la humedad existente sobrepasa el valor deseado por lo tanto activará de forma automática el extractor hasta disminuir el valor sensado de humedad relativa en referencia al valor ingresado como Humedad de control.

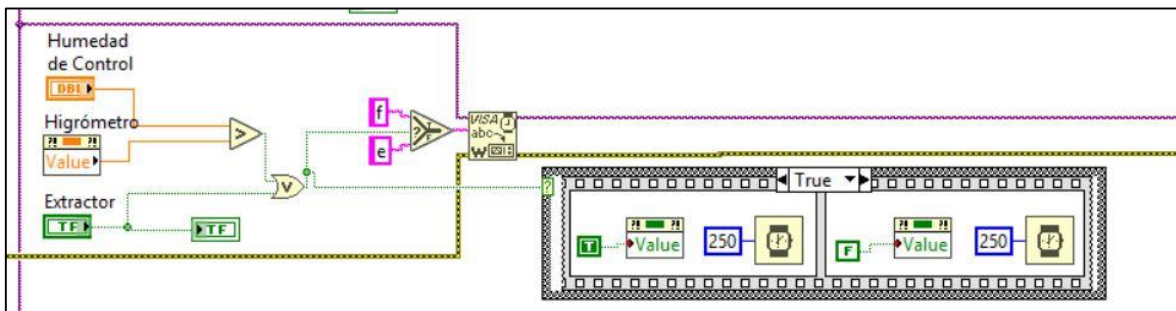


Figura 79. Control del nivel de temperatura – Encendido del extractor
Fuente propia.

Además, en la aplicación creada en LabView y es manejada por el usuario, se muestra de manera dinámica el encendido del extractor, realizando la simulación mediante el icono de un ventilador posicionado al margen medio izquierdo.



Figura 80. Visualización en el aplicativo del encendido del extractor
Fuente propia.

Hasta el momento se aprecia que los actuadores son manejados por la lógica de control desarrollada en el software LabView y son activados de manera automática según sea el resultado de la lógica comparativa que se realiza de forma interna en el programa. Pero en ocasiones se puede presentar la necesidad de realizar la activación de los actuadores de forma manual, es por ello que en el aplicativo desarrollado para el operador se adicionó la interfaz de activación manual de cada actuador, tal como se muestra en la Figura 72.

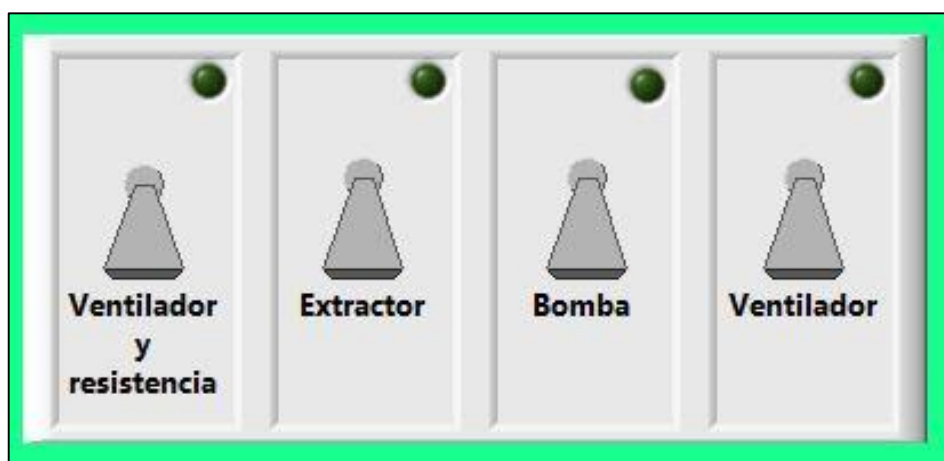


Figura 81. Interfaz gráfica de activación manual para cada actuador del sistema de control. Fuente propia.

Cabe resaltar que cada interfaz de activación de los actuadores tiene una simulación de foco led que se enciende cuando el actuador se encuentre encendido y se apaga al desactivarlos

La motobomba que ayudará para realizar la circulación del agua por los tubos del sistema de cultivos hidropónicos, tiene encendido manual y se logra activando la interfaz denominada "Bomba". En el software LabView se desarrolla la lógica de la activación manual de motobomba y se adiciona bloques de led que simulan tuberías de los cultivos hidropónicos.

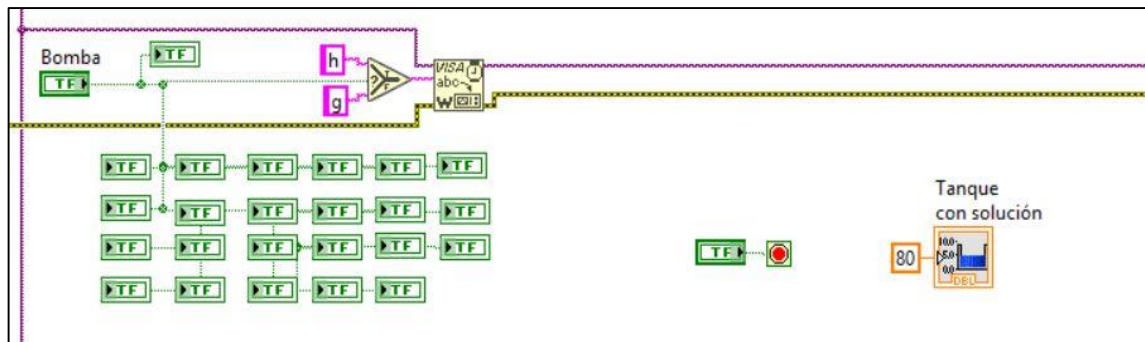


Figura 82. Lógica de activación de la motobomba acompañada con led's que en el aplicativo simulan tuberías del cultivo hidropónico
Fuente propia.

Además, el aplicativo simula el encendido de la motobomba que logrará realizar la circulación del agua por los tubos de los cultivos hidropónicos.

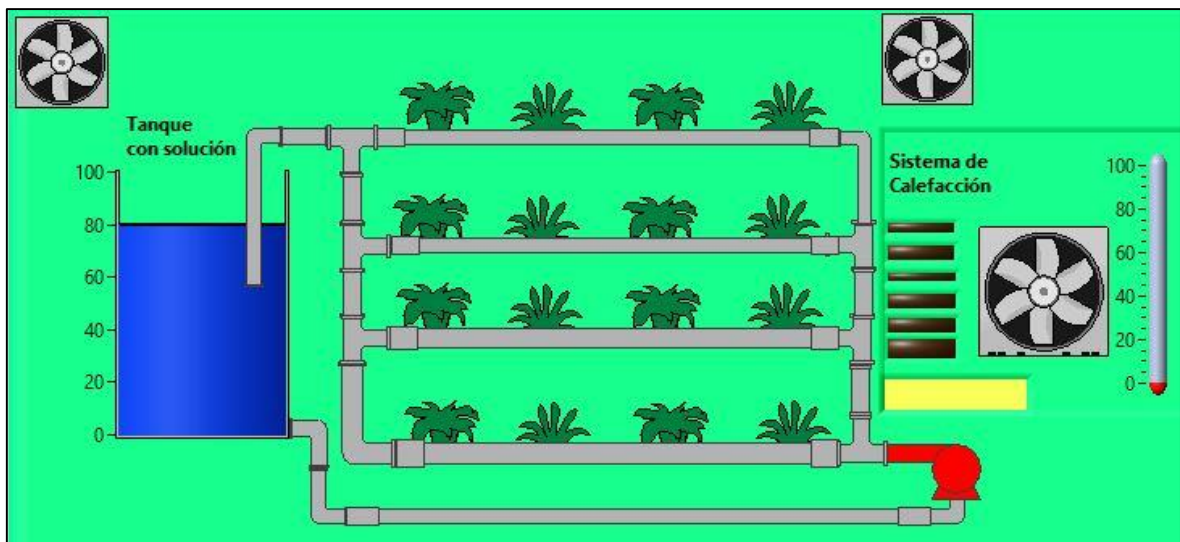


Figura 83. Simulación de los cultivos hidropónicos y el encendido de la motobomba
Fuente propia.

CAPITULO 4

RESULTADOS

4.1 RESULTADOS

4.1.1 RESULTADOS

En el presente capítulo se demuestra que el sistema de control implementado funciona de forma correcta según los parámetros establecidos.

Para la ejecución del proyecto se construyó la estructura invernadero que albergará los cultivos hidropónicos de la planta pitahaya. Realizado con columnas de aluminio para aligerar el peso, mejor comodidad en el armado y brindar sostenibilidad en la estructura. El invernadero se forró con plástico tipo mica grueso resistente a vientos de velocidad media y humedad.



Figura 84. Invernadero para cultivos hidropónicos construido para el proyecto
Fuente propia.

En la figura 85 se muestran los elementos que intervienen para el desarrollo de control en los cultivos hidropónicos, y que irán situados al interior de la estructura del invernadero, además de la computadora que manejará el operador, donde se instalará la aplicación desarrollada en LabView.



Figura 85. Sistema de control usado para el proyecto
Fuente propia.

Los cultivos hidropónicos deben situarse en un sistema que permita irrigar las raíces de manera constante y segura, para lograr este objetivo se diseñó el sistema NFT de hidroponía con tuberías interconectadas que dejarán circular la solución nutritiva por las raíces de las plantas, conectada a la bomba mediante una manguera para el ingreso del agua y como salida otra manguera que servirá de retorna del agua al tanque.



Figura 86. Sistema de cultivo NFT
Fuente propia.

En la siguiente figura se aprecia la conexión de los módulos Arduino, tanto para la lectura de datos de los sensores DHT 22 y DS18B20, como para la activación y desactivación de los actuadores de control.

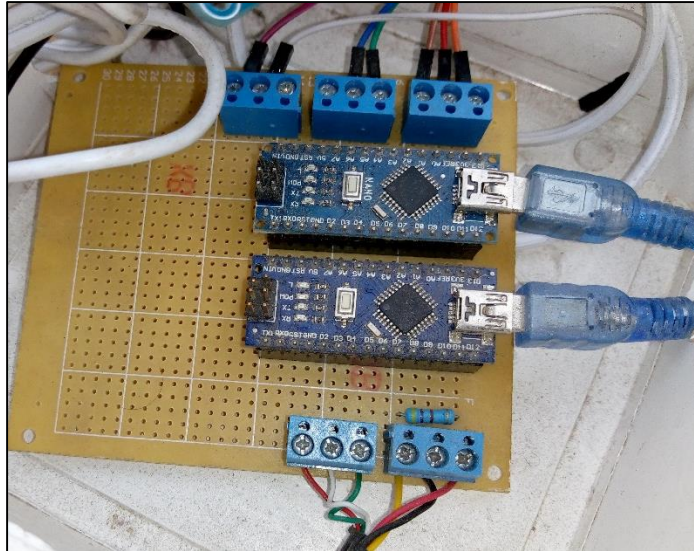


Figura 87. Conexión de los módulos Arduino para Sensores y Actuadores
Fuente propia.

Conectados los sensores y actuadores con los módulos Arduino, e instalado el programa creado con el software LabView en la computadora del operador, se procede con la inicialización al funcionamiento del sistema. Primero se conectarán los módulos Arduino a la computadora mediante los cables USB – Mini-B USB, el sistema reconocerá cada uno de los puertos con las siglas COM que se conectaron y se procede a elegir el adecuado para cada módulo. Posteriormente se declara los valores de Temperatura de Control y Humedad de Control, los cuales sirven como punto de referencia o set point para el sistema de control. Por último, se activa el botón Ejecutar y la aplicación ya se conecta con los módulos Arduino.



Figura 88. Reconocimiento y selección del puerto conectado al Arduino de los sensores (COM3)
Fuente propia.

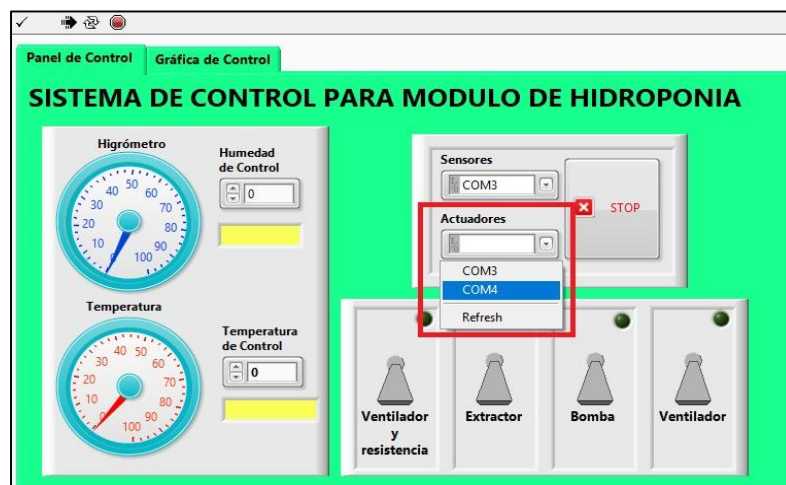


Figura 89. Reconocimiento y selección del puerto conectado al Arduino de los Actuadores (COM4)
Fuente propia.



Figura 90. Ejecutar de la aplicación
Fuente propia.

Una vez reconocido los puertos COM conectados y ejecutado el programa, las lecturas de los sensores se mostrarán en pantalla y el sistema de control se encuentra a la espera de accionar algún actuador necesario.

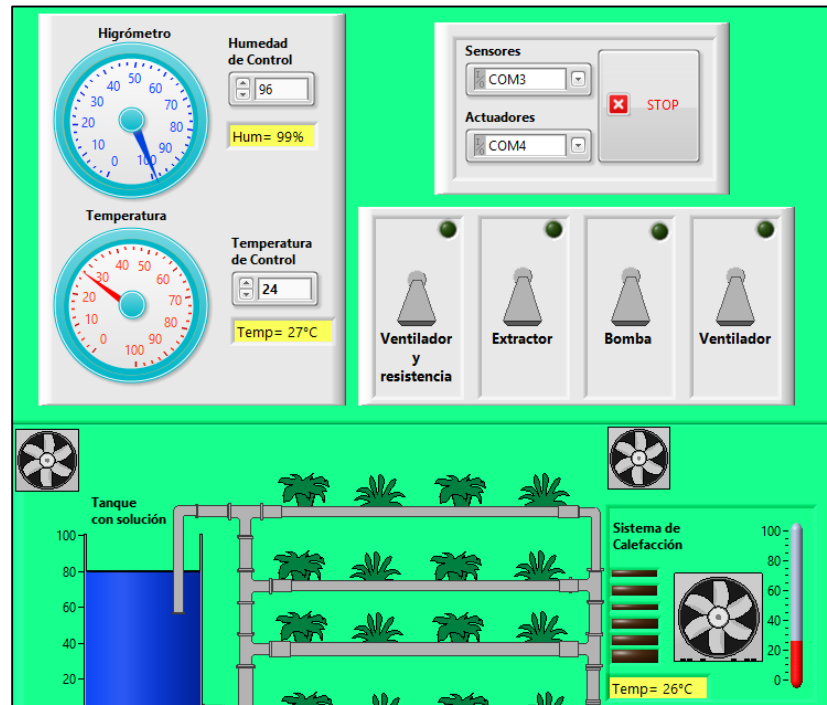


Figura 91. Imagen de la aplicación ejecutándose con los parámetros “set point” establecidos
Fuente propia.

En la siguiente figura se simula que la temperatura sensada por el DHT 22 es inferior al set point establecido, por lo tanto, se enciende el calefactor y el ventilador que lo acompaña, y se quedará encendido hasta cumplir con el set point, luego se apagará de manera automática

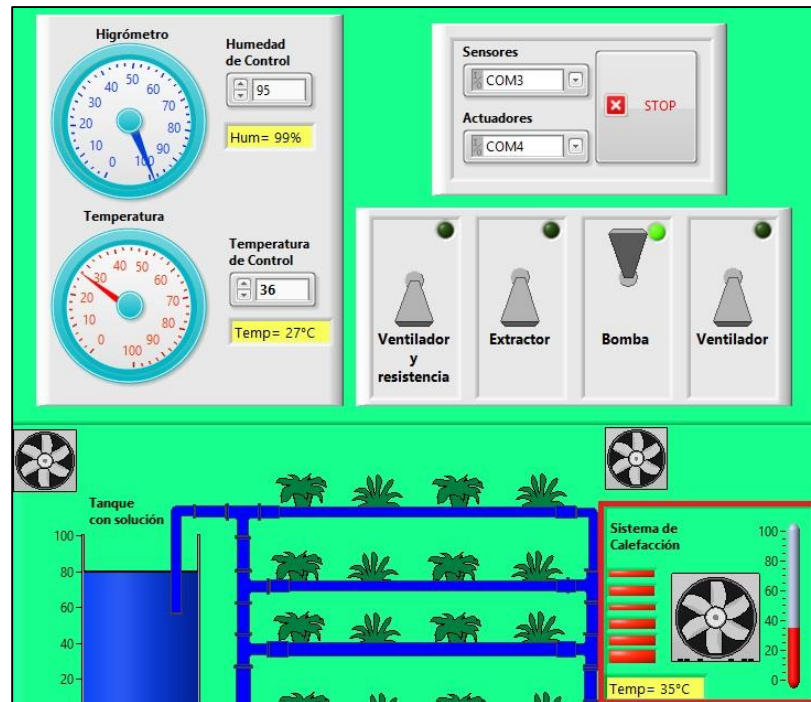


Figura 92. En el recuadro rojo se observa que los led's rojos que se ubican al lado del ventilador se activaron simulando que el calefactor ya se activó Fuente propia.

El sistema de electrónico cumple con lo requerido en el control de temperatura y humedad relativa, necesaria para lograr un mejor crecimiento de la planta pitahaya, accionando de manera automática o manual los actuadores que se necesitan para cumplir con el objetivo propuesto.

4.1.1.1 MEDICIONES REALIZADAS EN EL AMBIENTE EXTERIOR

Para comprobar que el sistema de control cumple con satisfacer los objetivos planteados en el presente proyecto, se realizaron mediciones del nivel de temperatura y humedad que afectan el ambiente externo de la zona donde se situarán las plantaciones hidropónicas de pitahaya. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las mediciones realizadas.

Tabla 19

Niveles de Temperatura medido en el exterior de los cultivos hidropónicos

	29-Abr		30-Abr		02-May		03-May		04-May	
	T°	T°	T°	T°	T°	T°	T°	T°	T°	T°
	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
19:00 – 08:00 hrs.	16	19	15	20	19	20	15	19	13	20
08:00 – 19:00 hrs.	20	26	19	25	18	24	19	26	19	24

Fuente propia.

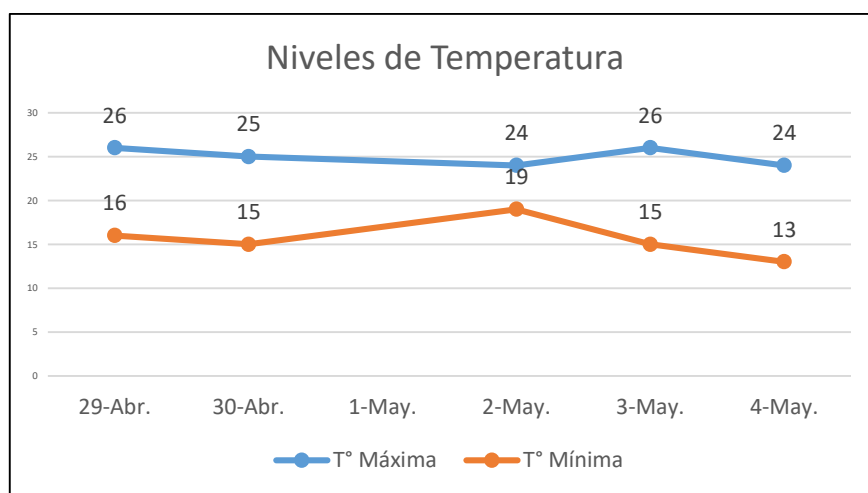


Figura 93. Diagrama lineal de los niveles máximos y mínimos de temperatura medidos en el exterior de los cultivos hidropónicos de pitahaya.

Fuente propia.

Tabla 20

Niveles de Humedad Relativa medido en el exterior de los cultivos hidropónicos

	Humedad Relativa (%) promedio				
	29-Abr	30-Abr	02-May	03-May	04-May
19:00 – 08:00 hrs.	83%	80%	80%	82%	80%
08:00 – 19:00 hrs.	64%	65%	62%	60%	65%

Fuente propia.

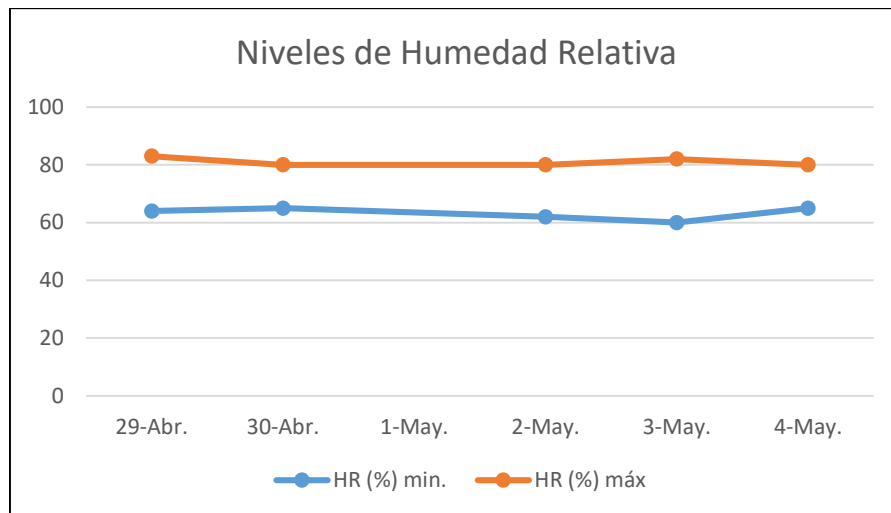


Figura 94. Diagrama lineal de los niveles máximos y mínimos de humedad relativa medidos en el exterior de los cultivos hidropónicos de pitahaya
Fuente propia.

4.1.1.2 MEDICIONES REALIZADAS EN EL ÁMBIENTE INTERIOR

Se pudo apreciar en las mediciones de temperatura y humedad realizadas en el exterior del invernadero que contiene los cultivos hidropónicos, que a lo largo del día cambian en valor, teniendo momentos en que alcanzan un valor mínimo y máximo. Este cambio de nivel puede ser perjudicial para el correcto desarrollo de los cultivos hidropónicos, es por ese motivo que se instala en el interior de la estructura del invernadero, un sistema controlador de factores climatológicos (temperatura y humedad relativa) el cual tendrá como objetivo regular los niveles de temperatura y humedad relativa que afectan los cultivos hidropónicos. Con la ayuda del software de control que sirve como interfaz para interactuar el operador con el sistema controlador, se logra visualizar el funcionamiento del sistema en el ambiente de los cultivos con la activación o desactivación de los actuadores de control.

- 29-Abr

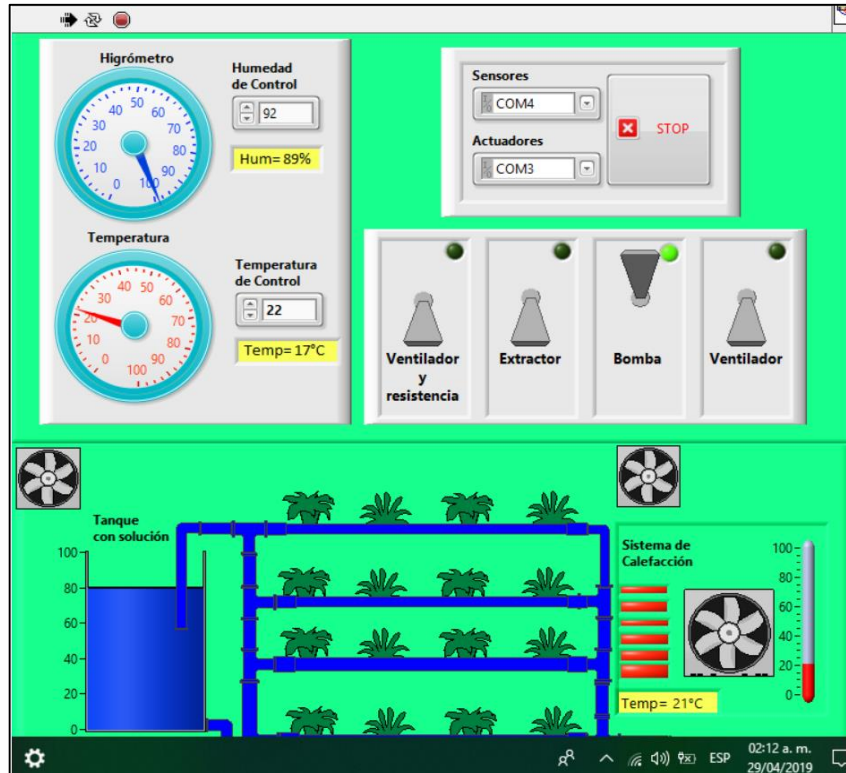


Figura 95. Resultado de la medición realizada el 29/04/2019
Fuente propia.

- 30-Abr

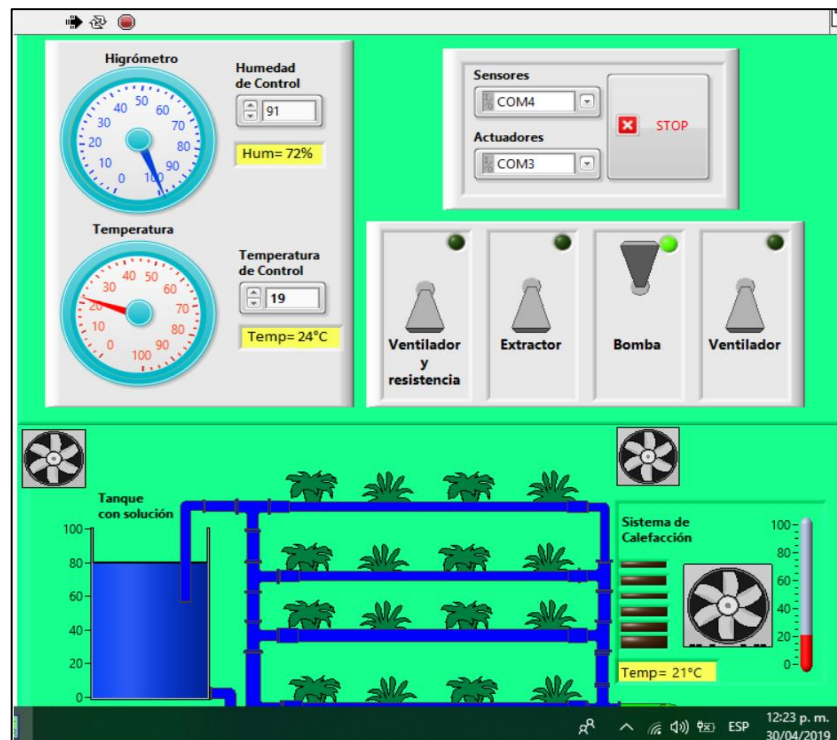


Figura 96. Resultado de la medición realizada el 30/04/2019
Fuente propia.

- 02-May

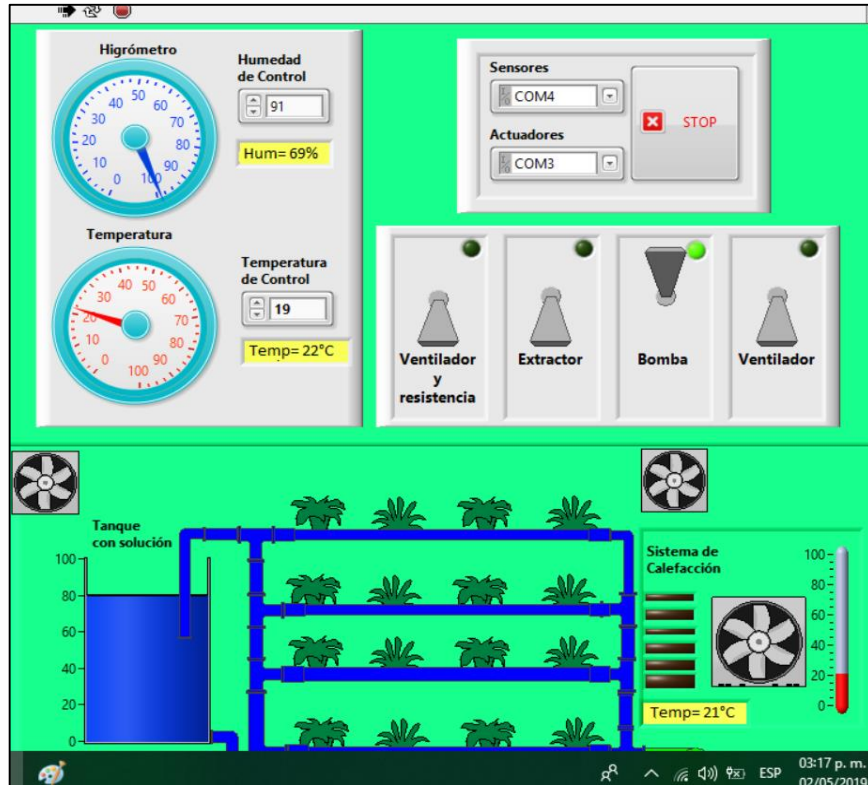


Figura 97. Resultado de la medición realizada el 02/05/2019
Fuente propia.

- 03-May

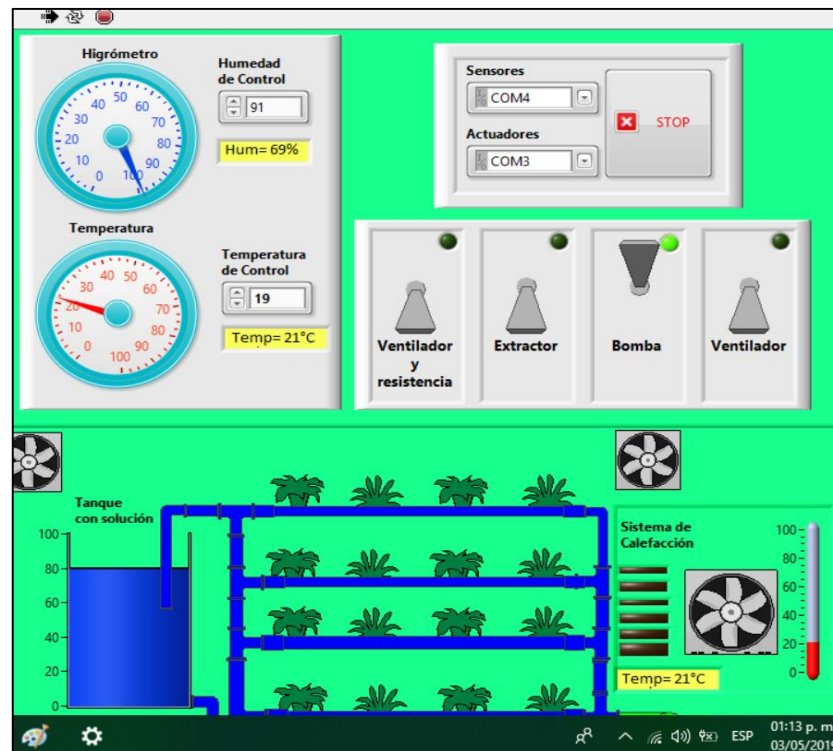


Figura 98. Resultado de la medición realizada el 03/05/2019
Fuente propia.

4.1.1.3 COMPARACIÓN EN LAS MEDICIONES

Al obtener los resultados numéricos de las mediciones realizadas tanto en el ambiente exterior del sistema hidropónico como en el interior de la estructura que alberga los sistemas hidropónicos se obtienen los resultados que se muestran a continuación.

Tabla 21

Niveles de Temperatura medidos en el exterior e interior de los cultivos hidropónicos

	Ambiente exterior		Ambiente controlado	
	T° min.	T° máx	T° min.	T° máx.
1° día	16°C	26°C	20°C	27°C
2° día	15°C	25°C	21°C	26°C
3° día	19°C	24°C	20°C	26°C
4° día	15°C	26°C	22°C	27°C
5° día	13°C	24°C	21°C	26°C

Fuente propia.

Tabla 22

Niveles de Humedad Relativa (HR) medidos en el exterior e interior de los cultivos hidropónicos

	Ambiente exterior		Ambiente controlado	
	HR min.	HR máx	HR min.	HR máx.
1° día	64%	83%	75%	86%
2° día	65%	80%	78%	83%
3° día	62%	80%	69%	86%
4° día	60%	82%	70%	87%
5° día	65%	80%	69%	86%

Fuente propia.

Se tiene en consideración que los cultivos de pitahaya deben estar a una temperatura media de cultivo entre 20°C y 28°C por ser una fruta oriunda de ambiente tropical. Además, que para mejorar el desarrollo de la planta y el fruto, así como para evitar la proliferación de plagas es preciso que mantenga la Humedad Relativa de su ambiente entre 65% y 85% como máximo.

Analizando los datos obtenidos en los días observados, se logra apreciar que el sistema de control de factores climatológicos, instalado dentro del invernadero que contiene los cultivos hidropónicos de pitahaya, logra cumplir con el objetivo de mantener un margen o limite en los niveles de temperatura y humedad relativa salvaguardando el crecimiento del fruto que está en desarrollo.

4.1.2 PRESUPUESTO

En la siguiente tabla se muestra el costo para la implementación del sistema controlador de temperatura y humedad relativa. En el presupuesto que se detalla se consideran los implementos que fueron utilizados y desarrollados en el presente proyecto.

Tabla 23
Costo para la implementación del sistema

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total (S/.)
1	Sensor de temperatura DS18B20	Unid.	1	20	s/. 20
2	Sensor de temperatura y humedad DHT 22	Unid.	1	38	s/. 38
3	Resistencia eléctrica helicoidal 220V 1500W	Unid.	1	90	s/. 90
4	Relay de estado sólido (3 A)	Unid.	1	65	s/. 65
5	Ventiladores 12VDC	Unid.	4	35	s/. 140
6	Motobomba de 1/2 HP	Unid.	1	270	s/. 270
7	DAQ Arduino Nano	Unid.	2	155	s/. 310
8	Sistema de energía (Fuente)	Sist.	1	70	s/. 70
9	Tuberías e implementos adicionales	Sist.	1	120	s/. 120
10	Cableado eléctrico	Sist.	1	100	s/. 100
11	Software del sistema de control	Unid.	1	10904	s/. 10904
12	Costo de Instalación	Sist.	1	500	s/. 500
13	Estructura del invernadero	Sist.	1	400	s/. 400
TOTAL					S/. 13027

Fuente propia.

4.1.3 CRONOGRAMA

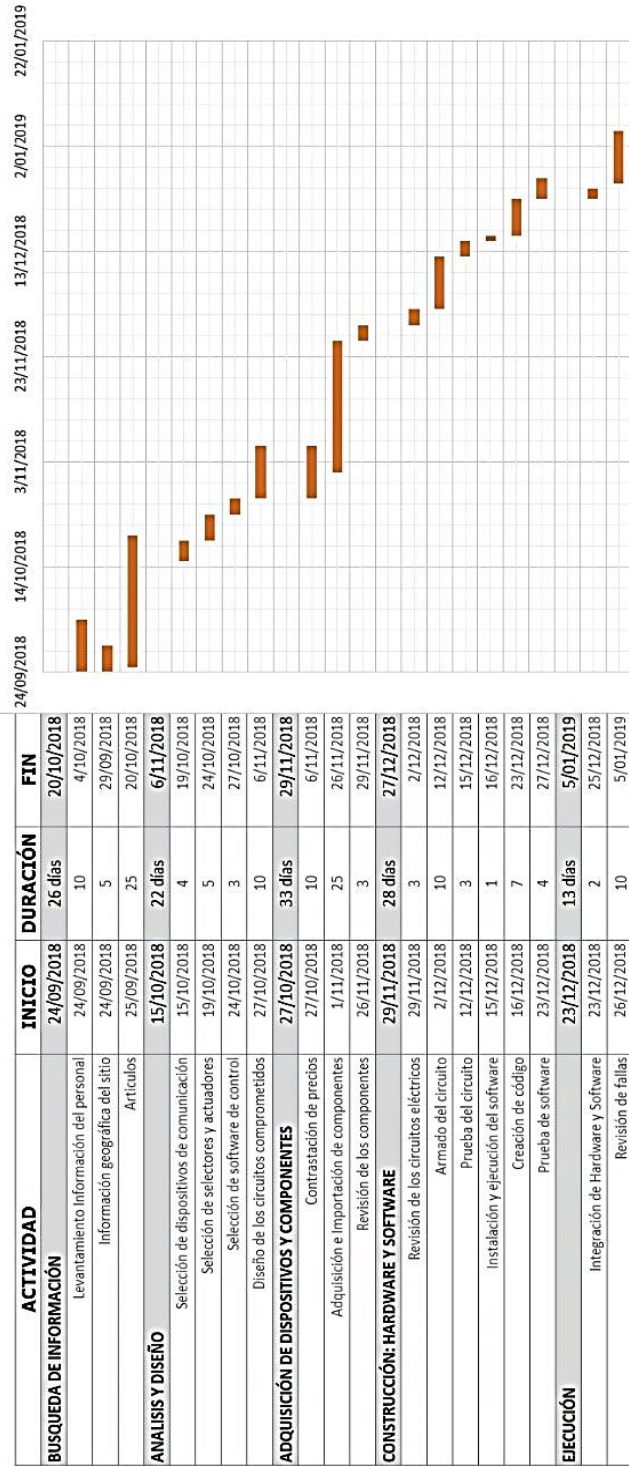


Figura 99. Diagrama de GANTT para el cronograma del proyecto Fuente propia.

CONCLUSIONES

En referencia a los objetivos trazados en el presente proyecto y habiendo concluido el trabajo signado se mencionan las siguientes conclusiones:

El diseño del sistema hidropónico NFT que permite el control del uso del agua y sus nutrientes mediante un medio recirculante de riego, también ayuda a posicionar los cultivos de las plantas en un espacio más reducido, donde el operador pueda observar y controlar de manera más eficiente el crecimiento paulatino de las plantas sembradas, además de ser una gran oportunidad para desarrollar el control automático de los factores climáticos que afectan los cultivos.

Al diseñar el sistema de control, la mejor opción que se tuvo en esta oportunidad fue escoger el sistema realimentado o de lazo cerrado, ya que el proyecto debe ser monitoreado de forma constante durante el día y requiere de la actualización de los valores medidos por los sensores, esto para que la lógica de control del software creado en LabView pueda accionar uno o más actuadores en el momento oportuno para corregir el nivel de temperatura o humedad relativa que afecta los cultivos hidropónicos de manera directa dentro de la estructura del invernadero. Logrando tener un sistema de control fiable, con mayor exactitud en el sensado y disminución de fallas al momento del funcionamiento.

Utilizando el módulo Arduino de manera conjunta con el software LabView se logró desarrollar un sistema de control fácil de manipular para el operador y fiable para el control de los cultivos hidropónicos de pitahaya, además es de bajo costo para su implementación.

El usar sensores, actuadores y la lógica de control, permite disminuir costos de personal en el cuidado de las plantaciones de la pitahaya, debido a que el sistema reacciona y corrige de manera automática cualquier desviación en los valores de los factores climáticos que afectan los cultivos hidropónicos.

Además de contar con una aplicación para computadora que le permite monitorear en tiempo real los factores climatológicos dentro del invernadero, verificar que actuadores están encendidos en el momento y también tener el control de activarlos de manera manual de ser necesario el caso, sin necesidad de acercarse a los cultivos. Siendo esta aplicación de fácil uso y manejo para el operador.

El uso del sistema de control se reflejará en la disminución de pérdidas en la cosecha de los frutos, debido a que las plantas tendrán un control efectivo de factores climatológicos que la ayudarán a desarrollarse de manera eficiente para posteriormente generar sus frutos sin complicaciones. Esto ayuda a disminuir gastos en aumentar las plantaciones para obtener una mayor cantidad de frutos sanos en la cosecha.

RECOMENDACIONES

La técnica hidropónica es una alternativa considerable en el desarrollo de la agricultura, su implementación se puede realizar en lugares no aptos para desarrollar la agricultura tradicional, además ahorra espacio en la implementación de los módulos hidropónicos y son más asequibles para monitorear y controlar la producción de manera automática, además de controlar y reducir el uso de agua y anular el uso de pesticidas y fertilizantes. Por ende, su difusión se vuelve en un factor importante por ser considerado en una alternativa de negocio y estudio.

Al momento de buscar los elementos para implementar el sistema de control, es necesario tener conocimiento del lugar donde funcionarán, para así escoger el más adecuado que cumpla a cabalidad con la función encomendada.

Saber el presupuesto para financiar el proyecto es un factor importante al momento de la planeación y desarrollo, dado que así se tiene conocimiento de la solvencia que se posee y se dará una revisión en el manejo en costos de los elementos necesarios para la implementación.

Se debe tener conocimiento en las características y funcionamiento de los dispositivos que se emplearán en el proyecto, así como también en el manejo del software que será necesario para complementar la lógica de control del sistema electrónico.

Es importante la elaboración de los diagramas de flujos o bloques para consolidar el conocimiento en la secuencia que se tendrá para el funcionamiento del sistema.

Realizar investigaciones acerca de las condiciones de crianza de la planta pitahaya en distintas partes del Perú es necesario, ya que en la actualidad no se cuenta con registros suficientes de lugares donde realicen investigaciones y pruebas del cultivo hidropónico de la mencionada planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, T. (2017). *Efecto del tipo de cultivo y la temperatura sobre la capacidad antioxidante del tomate variedad cherry (Solanum lycopersicum var. cerasiforme)*. Universidad Alas Peruanas, Perú. Obtenido de http://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/uap/6937/1/T059_70077521_T.pdf
- Aguirre, G., Baltazar, I., Ramirez, B., & Leon, M. (2017). Proyecto empresarial dedicado a la venta de alimentos hidropónicos. Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Aguirre, G., Baltazar, I., Ramirez, B., & Leon, M. (2017). *Proyecto empresarial dedicado a la venta de alimentos hidropónicos*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú. Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/621909/Baltazar_mi.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Astudillo, M. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura y humedad para el cultivo de lechuga hidropónico*. Universidad Nacional de Piura, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/804/IET-GUE-SEM-16.pdf?sequence=1>
- Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). *Cultivo en Hidroponía*. Argentina: Universidad Nacional de la Plata.
- Beltrán-Orozco, M., Oliva-Coba, T., Gallardo-Velázquez, T., & Osorio-Revilla, G. (2009). Ascorbic acid, phenolic content, and antioxidant capacity of red, cherry, yellow and white types of pitaya cactus fruit (*Stenocereus stellatus* Riccobono). *Agrociencia*, 43(2), 153-162. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952009000200007&script=sci_arttext
- Castilla, N. (2007). *Invernaderos de plástico: Tecnología y manejo* (2a ed.). España: Mundi Prensa.
- Chávez, A. (2013). *Diseño e implementación de un sistema NFT doble nivel para la producción de lechuga hidropónica (Lactuca sativa var. Campania) con tecnología EM™ en el distrito de Chiguata, Arequipa 2013*. Universidad Católica de Santa María, Perú. Obtenido de

<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/4464/67.0240.AG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Coaquira, G. (2018). *Evaluación de soluciones nutritivas y tiempos de cosecha, en cebada forrajera cv. nacional (Hordeum vulgare L.), producida como forraje verde hidropónico, en la región Arequipa*. Universidad Católica Santa María, Perú. Obtenido de <https://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/7695/41.0283.AG.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Cortes, M., & Garibay, R. (s.f). *Academia de Bioinstrumentación*. Obtenido de https://www.academia.edu/7831413/ACADEMIA_DE_BIOINSTRUMENTACION
- Costa, A. (2014). *Nutrição Mineral em Plantas Vasculares*. Portugal: Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora. Obtenido de <http://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/12007>
- Dávila, I. (2005). *Jugo clarificado de pitahaya obtenido por microfiltración tangencial*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Nicaragua. Obtenido de <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/3005/1/198991.pdf>
- Díaz, J. (2005). Biología y manejo postcosecha de pitahaya roja y amarilla (*Hylocereus* spp., y *Selenicereus* spp). *La Calera*, 5, 44-49. Recuperado el 11 de Octubre de 2018, de <http://repositorio.una.edu.ni/2266/1/ppj10d542.pdf>
- Díaz, S. (2007). *Evaluación de producción, crecimiento y calidad de forraje verde hidropónico (Sorghum vulgare Sudangrass Hybrid) en diferentes mezclas de soluciones nutritivas orgánicas*. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", México.
- Echeverri, S. (2016). *Tecnificación e implementación de tres métodos de cultivo hidropónico: water culture, ebb & flow (flow and drain) y drip system recovery*. Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Obtenido de <http://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/7703>
- Ereño, C., & Núñez, S. (2006). *Climatología: Humedad y Precipitación*. Universidad de Buenos Aires, Argentina. Obtenido de http://www.filo.uba.ar/contenidos/carreras/geografia/catedras/climatologia/sitio/Unidad_%2003_2_2006.pdf
- Figuerola, S., & Mollinedo, O. (2017). *Actividad antioxidante del extracto etanólico del mesocarpio del fruto de Hylocereus undatus "pitahaya" e identificación de los fitoconstituyentes*. Universidad Wiener, Perú. Obtenido de <http://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/123456789/924/TITULO%20-%20Mollinedo%20Moncada%2C%20Ofelia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Franco, J., & Villamar, K. (2018). *Plan para la comercialización de la pulpa de la pitahaya en la ciudad de Berlin – Alemania*. Universidad de Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29274>
- Gomáriz, S., Biel, D., Matas, J., & Reyes, M. (2000). *Teoría de control: Diseño electrónico* (2a ed.). España: Edicions UPC. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.3/36214>
- Gutiérrez, D. (2018). *Sistema de control de cultivos hidropónicos y Acuapónicos*. Universidad de Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/36869>

- Guzmán, G. (2004). *Hidroponía en casa: Una actividad familiar*. Costa Rica.
- Hernandez, J. (2008). *El cultivo de la pitahaya*. Universidad Autónoma Agraria, México.
- Huachi, L., Yugsi, E., Paredes, M., Coronel, D., Verdugo, K., & Coba, P. (2015). Desarrollo de la pitahaya (*Cereus sp.*) en Ecuador. *La Granja*, 22(2), 50-58. Obtenido de <https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/22.2015.05>
- Inca, S. (2013). *Automatización y control del sistema NFT para cultivos hidropónicos*. Universidad Ricardo Palma, Perú. Obtenido de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/405>
- López-Anchondo, A., López-Ortiz, C., Mejía-Hernández, C., & López-de-la-Cruz, D. (2016). *Hidroponía una alternativa sustentable para el cultivo sin suelo: características y aspectos básicos* (1ra ed., Vol. 4). (C. Editorial, Ed.) México.
- Marinelli, M., Acosta, N., Kornuta, C., De Silvestre, E., & Wurm, G. (2015). Control automatizado de cultivos hidropónicos mediante lógica difusa. *XVII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. Argentina. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/45317>
- Martínez, E., Tijerina, L., Becerril, A., Rebolledo, A., Velasco, C., & Del Ángel, A. (2017). Fenología y constante térmica de la pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw. Britt. & Rose). *Agro Productividad*, 10, 3-8. Obtenido de http://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2017/AGROPRODUCTIVIDAD_10-9-2017.pdf#page=5
- Montoro, Y., Moreno, R., Gomero, L., & Reyes, M. (2009). Características de uso de plaguicidas químicos y riesgos para la salud en agricultores de la sierra central del Perú. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*, 26(4), 466-472. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v26n4/a09v26n4>
- Noboa, A. (2016). *Estudio del efecto de la irradiación con rayos gamma en la calidad poscosecha de la pitahaya amarilla (Selenicereus megalanthus) entera y cortada*. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15348>
- Orozco, I. (2011). La aceptación de la hidroponía como "estrategia de marketing at retail". Mexico.
- Ponce, P., Molina, A., & Mata, O. (2017). *Controladores inteligentes para invernadero hidropónico*. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, México. Obtenido de http://www.rcs.cic.ipn.mx/2017_135/Controladores%20inteligentes%20para%20invernadero%20hidroponico.pdf
- Ramos, J. (2018). *Producción y exportación de pitahaya y su incidencia en el desarrollo económico del cantón Palora, provincia de Morona Santiago. Período 2013 - 2017*. Universidad de Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/34427>
- Rodríguez, C. (2000). *Pitahayas. Estado Mundial de su Cultivo y Comercialización*. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Ross, P. (2013). *Hidroponía: factibilidad vs. barreras sociales*. Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Argentina. Obtenido de <https://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/758>

- Rubio, C. (2017). *Automatización de un cultivo NFT para el control de temperatura, riego y mezcla de la solución nutritiva, ubicada en la zona urbana de Quito*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- Ruiz, R., Ruiz, J., Guzmán, S., & Pérez, E. (2011). Manejo y control de plagas del cultivo de tomate en Cintalapa, Chiapas, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2), 129-137. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n2/v27n2a4.pdf>
- Sabino, J. (2010). *Relación de las prácticas de manejo con la floración de la pitahaya (Hylocereus undatus)*. Instituto Politécnico Nacional, México. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/9674/382.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, E., Villarreal, J., & Torres, J. (2015). Estimación de la huella hídrica para un cultivo de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Publicaciones e Investigación*, 9, 135-146. Obtenido de <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1439/1758>
- Serna, A., Ros, F., & Rico, J. (2010). *Guía práctica de sensores*. España: Creaciones Copyright S.L.
- Soto, H. (2015). *Cultivo del tomate tipo cereza (Solanum lycopersicum L. var. cerasiforme) bajo condiciones hidropónicas*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/914/T007055.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vite, A. (2014). *Agricultura de plantas silvestres en la sierra de piura: Análisis de un modelo productivo de cultivo y comercialización de pitaya en Frías (Ayabaca-Piura)*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/5592>
- Wieser, M. (2011). *Consideraciones Bioclimáticas en el diseño arquitectónico: El caso peruano*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Obtenido de <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/28699>

ANEXOS

ANEXO A. Código en Arduino de Actuadores

```
int pinled1=8;
int pinled2=9;
int pinled3=10;
int pinled4=11;
int pinled5=12;
int var;
int pin1=3;
int pin2=4;
int pin3=5;
int pin4=6;
int pin5=7;
int var1;
int var2;
int var3;
int var4;
int var5;
char s[4];

void setup()
{
  Serial.begin(19200);
  pinMode(pinled1,OUTPUT);
  pinMode(pinled2,OUTPUT);
  pinMode(pinled3,OUTPUT);
  pinMode(pinled4,OUTPUT);
  pinMode(pinled5,OUTPUT);
  pinMode(pin1,INPUT);
```

```

pinMode(pin2,INPUT);
pinMode(pin3,INPUT);
pinMode(pin4,INPUT);
pinMode(pin5,INPUT);
}

void loop()
{
  if(Serial.available())
  {var=Serial.read();

  if(var=='a')          // Temperatura debajo del set point
  {digitalWrite(pinled1,HIGH); // Enciende Ventilador para esparcir el calor generado por la
resistencia
  digitalWrite(pinled5,HIGH);} // Enciende la resistencia eléctrica
  if(var=='b')          // Temperatura mayor o igual al set point
  {digitalWrite(pinled1,LOW); // Apaga Ventilador
  digitalWrite(pinled5,LOW);} // Apaga Resistencia electrica
  if(var=='c')          // Temperatura mayor que el set point
  {digitalWrite(pinled2,HIGH);} // Enciende ventiladores
  if(var=='d')          // Temperatura menor o igual que el set point
  {digitalWrite(pinled2,LOW);} // Apaga ventiladores
  if(var=='e')          // Humedad relativa mayor al set point
  {digitalWrite(pinled3,HIGH);} // Enciende deshumedecedor
  if(var=='f')          // Humedad relativa menor o igual al set point
  {digitalWrite(pinled3,LOW);} // Apaga deshumedecedor
  if(var=='g')          // Se activa la llave de la bomba (LabView)
  {digitalWrite(pinled4,HIGH);} // Enciende bomba de agua
  if(var=='h')          // Se desactiva la llave de la bomba (LabView)
  {digitalWrite(pinled4,LOW);} // Apaga la bomba

  var1=digitalRead(pin1);

```

```
var2=digitalRead(pin2);  
var3=digitalRead(pin3);  
var4=digitalRead(pin4);  
var5=digitalRead(pin5);
```

```
if(var1==HIGH)
```

```
{s[0]='k';}
```

```
else{s[0]='o';}
```

```
if(var2==HIGH)
```

```
{s[1]='l';}
```

```
else{s[1]='o';}
```

```
if(var3==HIGH)
```

```
{s[2]='m';}
```

```
else{s[2]='o';}
```

```
if(var4==HIGH)
```

```
{s[3]='n';}
```

```
else{s[3]='o';}
```

```
if(var5==HIGH)
```

```
{s[3]='p';}
```

```
else{s[3]='o';}
```

```
Serial.println(s);}}
```

ANEXO B. Código en Arduino de Sensores

```
#include "DHT.h"

#define DHTPIN 3

#define DHTTYPE DHT22

DHT dht (DHTPIN, DHTTYPE);

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

OneWire ourWire(2); //Pin digital para conectar la senal del sensor.

DallasTemperature sensor(&ourWire);

char in;

int temp;

int temp1;

int hum;

void setup()

{

Serial.begin (9600); // put your setup code here, to run once:

dht.begin();

sensor.begin();}

void loop()

{

if(Serial.available ()>0)

{

in= (byte)Serial.read()&~(0x20); // lee requerimiento de LabView

if (in =='M')          // solicita datos del sensor DS18B20

{sensor.requestTemperatures(); // lee datos del DS18B20

float temp1= sensor.getTempCByIndex(0);

Serial.println(temp1);} // envia datos del sensor DS18B20

if (in =='T')          // solicita datos de temperatura del sensor DHT 22

{temp = dht.readTemperature(); // lee datos
```



```
Serial.println(temp);} // envia datos
else if (in == 'H') // solicita datos de humedad del DHT 22
{hum = dht.readHumidity(); // lee datos
Serial.println(hum);}}
```

ANEXO C. Comparación de Sensores DHT 11 y DHT 22

DHT 11	CONDICION	DHT 22
3.3 – 5 VDC	Alimentación	3.3 – 5 VDC
2.5 mA	Corriente máxima durante la conversión	2.5 mA
+/- 5%	Precisión en lectura de humedad	+/- 2% – 5%
+/- 2 °C	Precisión en lectura de temperatura	+/- 0.5 °C
20 – 80 %	Capacidad en la medición de temperatura	0 – 100 %
0 – 50 °C	Capacidad en la medición de temperatura	-40 – 125 °C
< 1 Hz	Velocidad de muestreo	< 0.5 Hz
15.5mm x 12mm x 5.5mm	Dimensiones	15.1mm x 25mm x 7.7mm

ANEXO D. Comparación de algunas placas Arduino

Tipo	Procesador	Voltaje de entrada	CPU	E/S Analógica	E/S Digital PWM	EEPROM (Kb)	SRAM (Kb)	Flash (Kb)	USB	UART
Mega 2560	ATmega2560	5V / 7-12V	16MHz	16/0	54/15	4	8	256	Regular	4
Micro	ATmega32U4	5V / 7-12V	16MHz	12/0	20/7	1	2.5	32	Micro	1
Pro	ATmega168	3.3V / 3.35-12V	8MHz	6/0	14/6	0.512	1	16	-	1
	ATmega328P	5V / 5-12V	16MHz			1	2	32		
Uno	ATmega328P	5V / 7-12V	16MHz	6/0	14/6	1	2	32	Regular	1
Zero	ATSAMD21 G18	3.3V / 7-12V	48MHz	6/1	14/10	-	32	256	2 Micro	2
Mini	ATmega328P	5V / 7-9V	16MHz	8/0	14/6	1	2	32	-	-
Nano	ATmega168	5V / 7-9V	16MHz	8/0	14/6	0.512	1	16	Mini	1
	ATmega328P					1	2	32		
Esplora	ATmega32U4	5V / 7-12V	16MHz	-	-	1	2.5	32	Micro	-