

**SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA EL PROCESO DE  
GERMINACIÓN DE UN CULTIVO HIDROPÓNICO**

**JOSE MANUEL CARRILLO REDONDO**

**TRABAJO DE GRADO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**BARRANQUILLA-COLOMBIA**

**2019**

**SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA EL PROCESO DE  
GERMINACIÓN DE UN CULTIVO HIDROPONÍA**

**JOSE MANUEL CARRILLO REDONDO**

**PROYECTO DE GRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO MECATRÓNICO**

**TUTOR:**

**SAÚL ANTONIO PÉREZ PÉREZ**

**ASESOR METODOLÓGICO:**

**ING. CARLOS GABRIEL DÍAZ SÁENZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**BARRANQUILLA-COLOMBIA**

**2019**

## RESUMEN

El presente proyecto de grado consistió en el desarrollo un sistema el cual permita monitorear y controlar la etapa de germinación de un cultivo de forraje verde hidropónico a través de la implementación de diversos dispositivos como: sistemas embebidos, sensores y actuadores, para proporcionar datos en tiempo real de las mediciones de las variables físicas más relevantes (Temperatura y humedad) en todo el proceso de germinación de la semilla.

Para lograr dichas medidas se utilizaron sensores de humedad y temperatura los cuales arrojaron medidas calibradas de las variables de interés censadas de forma continua en el transcurso del tiempo, estos sensores fueron conectados a un dispositivo microcontrolador de la familia Arduino, el cual fue el encargado de recibir los datos y posteriormente activara o desactivara la salida de control teniendo en cuenta los rangos de control establecidos en el código de programación.

Es importante aclarar que el control implementado es de un tipo on-off. El microcontrolador arrojó como salida una señal de 5V la cual basta para excitar la bobina de un relé que se encargó de activa el control, en este caso un extractor de aire, permitiendo mantener en un rango predefinido las variables de interés para el óptimo desarrollo de las semillas.

**Palabras clave:** *sistemas embebidos, control, monitoreo, germinación, forraje hidropónico*

## **ABSTRACT**

The present degree project consisted in the development of a system which allows monitoring and controlling the germination stage of a hydroponic green forage crop through the implementation of various devices such as: embedded systems, sensors and actuators, to provide data in time Actual measurements of the most relevant physical variables (Temperature and humidity) throughout the seed germination process.

To achieve these measures, humidity and temperature sensors were used which yielded calibrated measurements of the variables of interest censored continuously over time, these sensors were connected to a microcontroller device of the Arduino family, which was responsible for receive the data and then activate or deactivate the control output taking into account the control ranges established in the programming code.

It is important to clarify that the control implemented is of an on-off type. The microcontroller produced a 5V signal as output, which is enough to excite the coil of a relay that was in charge of activating the control, in this case an air extractor, allowing to keep in a predefined range the variables of interest for the optimal development of the seeds.

**Keywords:** *embedded systems, control, monitoring, germination, hydroponic forage*

## CONTENIDO

RESUMEN .....	3
INTRODUCCIÓN.....	6
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.1 ANTECEDENTES.....	7
1.2 JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE .....	8
2. OBJETIVOS.....	9
2.1 OBJETIVO GENERAL:.....	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	9
3. MARCO DE REFERENCIAS .....	10
3.1 MARCO TEÓRICO .....	10
3.2 ESTADO DEL ARTE .....	16
4. METODOLOGÍA .....	23
.....	24
5. CRONOGRAMA.....	27
6. PRESUPUESTO .....	29
7. RESULTADOS .....	30
Referencias.....	43

## INTRODUCCIÓN

La más grande de las necesidades del sector agrícola en La Guajira es el agua, su falta es la causa básica de la improductividad alimentaria y la crisis humanitaria que experimentan grandes sectores de su población. Este recurso, es el elemento identificado por todas las instituciones y actores que han visitado el departamento como la necesidad prioritaria [1]. La falta de esta, genera los problemas más serios a la hora de llevar a cabo cualquier tipo de proyecto relacionado con el sector agrícola y ganadero en este departamento. Por esta razón, es necesario explorar nuevas formas de hacer agricultura utilizando el preciado recurso de forma eficiente.

Los sistemas de riego generalmente son operados de forma manual, esto demanda mucha atención de los operarios además de un mayor consumo de recursos. Básicamente el agricultor por su experiencia decide el periodo de tiempo y el momento de regar el cultivo, debido a esto se pueden presentar problemas comunes generados por error humano, por ejemplo, olvidar encender y apagar el sistema en el tiempo considerado. Lo anterior causa problemas directos con el cultivo, demanda un mayor consumo del recurso hídrico y energético del sistema. Todo lo anterior disminuye la productividad, causándole pérdidas económicas.

Teniendo un sistema de control y monitoreo para el proceso de crecimiento de cultivos se busca solucionar estos errores, aumentando la producción, ahorrar en el consumo energético y minimizar la improductividad, ya que los operarios no tendrán que estar pendiente permanentemente del cultivo, además de no tener problemas con el suministro de energía eléctrica.

# 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 ANTECEDENTES

La precipitación es probablemente el parámetro de clima más importante, sin embargo es la variable más difícil de predecir con precisión. Para una gran variedad de decisiones agronómicas, el seguimiento preciso de las precipitaciones durante el transcurso de una temporada puede ser muy importante.

El análisis del patrón general del comportamiento de la precipitación sobre Colombia muestra que los niveles de precipitación en el departamento de La Guajira 500mm semestralmente, convirtiéndose así en el departamento más seco del país. Además, para la región del Caribe, la temperatura media del aire presenta un comportamiento entre 27 y 34 °C en sectores como la Alta y Media Guajira lo que también la hace una de las zonas más calientes [2].

Los datos anteriormente mencionados muestran que realizar agronomía sostenible en La Guajira resulta ser una labor agotadora. Para llevar a cabo proyectos de ganadería y agricultura de forma rentable en este departamento es necesario aprovechar al máximo los pocos recursos que el clima de esta región ofrece, por lo cual se deben explorar nuevas alternativas de cultivo y producción de alimento para ganado.

Existen diferentes alternativas de riego y cultivo que permiten controlar los niveles de precipitación necesarios para llevar a cabo un proyecto agrícola de forma eficiente teniendo en cuenta las características de crecimiento del cultivo. Algunas alternativas como el riego por aspersión o por cañones de bombeo representan una solución eficiente pero que demanda una gran cantidad del recurso hídrico, otra opción como el riego por goteo, que aprovecha de forma eficiente el agua, pero resulta muy costoso implementar este tipo de riego a gran escala [3].

Por otra parte, los cultivos hidropónicos son una gran alternativa, si bien resulta costoso implementar este tipo de proyectos, cabe aclarar que estos cultivos aprovechan al máximo la utilización del espacio y al combinar sistemas de riego por microaspersión o nebulización con sistemas de recirculación llegan a utilizar hasta un 90% menos de agua en comparación a métodos de riego tradicionales [3].

Los factores mencionados anteriormente hacen que sea factible considerar el llevar a cabo proyectos a gran escala de cultivos hidropónicos ya sean para producción de alientos para el consumo humano o cultivos de forraje verde como suplemento alientico para ganadería.

Una alternativa que permite solucionar la problemática anteriormente mencionada es la implementación de un sistema de control y monitoreo que a través de la instalación de sensores en el espacio delimitado del sistema de riego permite conocer de forma exacta variables como temperatura y humedad, de esta manera se puede establecer aspectos como la cantidad y la frecuencia con que debe suministrar el agua al cultivo.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE**

La escasez del recurso hídrico y la optimización en el proceso de riego son los dos factores fundamentales que impulsan la realización de este proyecto considerando el potencial de riqueza de tierras fértiles que tiene la región caribe colombiana, se propone el diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo para el proceso de germinación de un cultivo de forraje verde hidropónico.

La solución presentada por la propuesta de investigación busca diseñar e instalar un sistema de control y monitoreo para el proceso de germinación de un cultivo de forraje verde hidropónico ubicado en una zona rural de la región caribe que presenta escases en el recurso hídrico, utilizando como punto de partida el monitoreo y control de temperatura y humedad para proporcionar un ambiente óptimo de crecimiento dicho cultivo.

Hoy en día la automatización juega un papel muy importante en las compañías, ya que la tecnología ha influenciado cada vez más a nivel competitivo de producción. También aporta a la industria agilidad en la toma de decisiones si se tiene un sistema confiable y seguro con datos en tiempo real, previniendo situaciones anormales en el proceso, la calidad del producto se mejora y se disminuyen los tiempos y las pérdidas se minimizan por fallas humanas.



## **2. OBJETIVOS.**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL:**

Desarrollar un sistema de control y monitoreo basado en tecnología Arduino para el proceso de germinación de un cultivo de forraje verde hidropónico

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. Desarrollar el código de programación e interfaz gráfica para la visualización de datos en tiempo real
2. Establecer la estrategia de control adecuada para la etapa de adquisición y procesamiento de la señal
3. Validar los parámetros de control de temperatura y humedad del sistema

### **3. MARCO DE REFERENCIAS**

#### **3.1 MARCO TEÓRICO**

Los sistemas de riego son un conjunto de estructuras, que permiten determinar qué área puede ser cultivada aplicándole el agua necesaria a las plantas. Consta de varios componentes y estos dependerán de si se trata de riego superficial, por aspersión o por goteo. Hoy día, la tecnología no se limita a sólo aplicar un volumen de agua necesario, sino que se han logrado uniformar las aplicaciones mediante el uso de materiales de alta calidad y regulación por control de humedad [3].

#### **Tipos de sistema de riego de acuerdo al cultivo**

##### **Goteo**

El riego por goteo es uno de los sistemas más eficientes en la actualidad, el suministro de agua es constante y uniforme, gota a gota, que permite mantener el agua de la zona radicular en condiciones de baja tensión. El agua aplicada por los goteros forma un humedecimiento en forma de cebolla en el interior del suelo, al que comúnmente se le denomina “bulbo húmedo”. Este bulbo normalmente alcanza su máximo diámetro a una profundidad de 30 cm aproximadamente y su forma está condicionada fuertemente por las características del suelo, en particular la textura. Un sistema de riego por goteo logra eficiencias del 90-95 % en el empleo del agua y de los fertilizantes, mientras que con un sistema por gravedad la eficiencia es del orden de 55-60 %. El riego por goteo difiere mucho de los otros sistemas de riego, por lo que se debe administrar correctamente para aprovechar al máximo sus beneficios y evitar problemas [4].

##### **Microaspersión**

El riego por microaspersión es una variante del riego por aspersión, pero con menos alcance y gotas más pequeñas. Los micro aspersores son ideales para riegos de bajo volumen en cultivos hortícolas, fruticultura, flores, invernaderos, viveros, protección contra heladas y riego de jardines. También permiten la aplicación de productos fitosanitarios en la cobertura vegetal de los cultivos. Poseen un deflector giratorio, denominado rotor o bailarina, que ayuda a ofrecer un mayor diámetro de cobertura, una menor tasa de precipitación que los difusores, un mayor tamaño de gota, y una mejor distribución del agua [5].

##### **Nebulización**

El riego por nebulización es un sistema que tiene la capacidad de aportar las cantidades adecuadas de agua y/o fertilizantes que necesitan las plantas, todo esto a través de una capa de finas gotas en forma de neblina; su función principal es absorber el calor y nivelar la temperatura del ambiente, además de mantener una humedad constante. Una de las características del riego por nebulización es que

gracias a sus emisores es posible evitar el golpe directo de las gotas sobre las plantas, lo cual implica una disminución en la pérdida de los cultivos y una reducción en el exceso de agua, esto hace que sea el sistema más recomendado en la producción de plántulas, ya que impide los daños mecánicos en las plantas o la salida de sustratos de los contenedores [6].

### **Forraje hidropónico**

Es un pasto fresco y representa una excelente alternativa nutricional con alto contenido proteico, obtenido a partir de cereales germinados provenientes del maíz forrajero, el trigo, la avena, la cebada, y en general, casi todas las gramíneas. Estos cereales se siembran en condiciones especiales, los que se cosecharán en un tiempo récord de 10 días, momento en el cual, la planta habrá producido una considerable cantidad de proteína, vitaminas y minerales. Puede ser cultivado exitosamente en medio de climas adversos o desiertos áridos, ya que se cultiva dentro de una cabina térmica (Invernadero) y sin la necesidad del suelo, por medio de la técnica de siembra ya conocida, la hidroponía [7].

Representa una excelente alternativa nutricional, una atractiva producción de pasto, apto para ser suministrado a diferentes especies de animales, corderos, cerdos, cabras, terneros, vacas de ordeño, novillos, caballos, conejos, pollos, gallinas ponedoras, patos, cuyes, durante todos los días del año y en cualquier localidad geográfica.

### **Arduino**

Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra, los que permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla. Arduino es libre y extensible: esto quiere decir que cualquiera que desee ampliar y mejorar el diseño hardware de las placas como el entorno de desarrollo, puede hacerlo sin problemas. Esto permite que exista un rico ecosistema de placas electrónicas no oficiales para distintos propósitos y de librerías de software de tercero, que pueden adaptarse mejor a nuestras necesidades [8].

### **Características de Arduino mega 2560**

- Microprocesador ATmega2560
- Tensión de alimentación (recomendado) 7-12V
- Integra regulación y estabilización de +5Vcc
- 54 líneas de Entradas/Salidas Digitales (14 de ellas se pueden utilizar como salidas PWM)
- 16 Entradas Analógicas

- Máxima corriente continua para las entradas: 40 mA
- Salida de alimentación a 3.3V con 50 mA
- Memoria de programa de 256Kb (el bootloader ocupa 8Kb)
- Memoria SRAM de 8Kb para datos y variables del programa
- Memoria EEPROM para datos y variables no volátiles
- Velocidad del reloj de trabajo de 16MHz
- Reducidas dimensiones de 100 x 50 mm

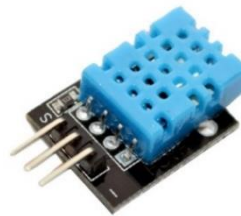
Figura 1. Arduino mega 2560 [9]



### Sensor DHT11

El DHT11 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Utilizado en aplicaciones académicas relacionadas al control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y más. Utilizar el sensor DHT11 con las plataformas Arduino/Raspberry Pi/Nodemcu es muy sencillo tanto a nivel de software como hardware. A nivel de software se dispone de librerías para Arduino con soporte para el protocolo "Single bus". En cuanto al hardware, solo es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3-5V, el pin GND a Tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital en nuestro Arduino. Si se desea conectar varios sensores DHT11 a un mismo Arduino, cada sensor debe tener su propio pin de datos. Quizá la única desventaja del sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos cada 2 segundos [10].

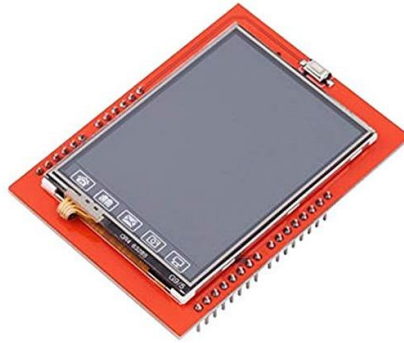
Figura 2. Sensor DHT11 [11]



## Pantalla táctil ILI9341

Las pantallas o displays LCD permiten mostrar texto, gráficos e imágenes en los proyectos con microcontroladores como Arduino, Pic o Raspberry Pi. Ideal para visualización e ingreso de datos, implementar una interfaz hombre máquina (HMI) moderna y profesional o ayudarnos a realizar depuración de código (debugging) en nuestros proyectos. El Shield display LCD TFT 2.4" es una pantalla táctil a colores con una resolución de 240x320 píxeles, controlador gráfico Renesas R61505, controlador táctil, comunicación LCD paralela y puede mostrar hasta 262144 colores RGB distintos. Agregar el shield display LCD a nuestros proyectos con Arduino es muy sencillo, a nivel de hardware solo es necesario montar el shield sobre nuestro Arduino Uno o Mega, en cuanto a la programación con Arduino se recomienda utilizar la librería: MCUFRIEND\_kbv. El LCD se controla mediante 8 pines de datos (2-9) y 5 pines de control (A0-A4), la pantalla táctil comparte el bus de datos del LCD para enviar la posición. El shield display incluye además un socket para memorias micro SD, útil para almacenar imágenes en formato mapa de bits (bmp). La memoria SD se conecta por el puerto SPI al Arduino (10-13). Compatible con Arduino Uno, Mega y Due [12]

Figura 3. Pantalla TFT ILI9341 [13]



## Proceso de germinación en maíz

La germinación no es más que la reanudación de la actividad enzimática bajo condiciones favorables de humedad y temperatura, lo cual promueve una aceleración en la división y elongación celular hasta que finalmente emerge el embrión a través de la cubierta de la semilla de maíz. El proceso de germinación se desencadena como consecuencia de la absorción de agua a través de la cubierta de la semilla, a dicha etapa se le da el nombre de imbibición, durante la cual la semilla absorbe un 30 % de su peso seco en agua antes de comenzar a germinar. Una absorción menor a la indicada puede ocasionar que se detenga o retrase el proceso germinativo a causa de un secado rápido de la zona en donde se encuentra la semilla por lo cual es necesario mantener la temperatura en un rango de 28 y 34°C y rangos de humedad entre 65 y 70% [14].

Los factores de humedad y temperatura actúan de forma directa en todas las fases de crecimiento de la semilla. Hablando específicamente de la humedad en caso de déficit hídrico, no se dará un desarrollo satisfactorio de la planta. Una humedad inadecuada compromete toda la etapa de germinación toda vez que los procesos metabólicos se ven perjudicados. El exceso hídrico, a su vez puede atrasar la etapa de maduración del grano, además que la oscilación de humedad contribuye para acelerar la degradación de las semillas. Por otro lado la temperatura también actúa de forma directa sobre el metabolismo de la planta, afectando la respiración, y la transpiración [15].

### **Crecimiento de hongos**

La cantidad de agua existente en el ambiente y en los sustratos es uno de los factores importantes para el desarrollo de los hongos y para la producción de micotoxinas. Sin embargo, no sólo influye la cantidad de agua sino también la forma de presentación de la misma. La temperatura óptima para el desarrollo de los hongos se encuentra entre 33 y 38°C y el límite máximo entre 40 y 45°C. Destacando que la mayor parte de los hongos no crecen por debajo de 5°C y que sin embargo hay hongos como el *Aspergillus flavus*, *Aspergillus candidus* y *Aspergillus fumigatus* que pueden crecer sin problemas hasta los 55°C y otros como el *Penicillium expansum* y el *Penicillium cyclopium* que son capaces de crecer a 0°C [16]. La germinación y el inicio de formación de cepas se intensifica cuando la humedad se encuentra en un rango de 81-92% [17].

### **Estrategia de control**

El control retroalimentado es una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, realizándolo sobre la base de esta diferencia. Aquí sólo se especifican las perturbaciones no previsibles, ya que las previsibles o conocidas siempre pueden compensarse dentro del sistema. Se denomina sistema de control retroalimentado a aquel que tiende a mantener una relación preestablecida entre la salida y alguna entrada de referencia, comparándolas y utilizando la diferencia como medio de control [18].

Los datos de entrada y retroalimentación de un sistema de control por se obtienen a través de dispositivos electrónicos denominados sensores, el sensor traduce la información que le llega del exterior en un impulso eléctrico, normalmente digital que puede ser analizado y procesado por la unidad de control del sistema. Por su parte el controlador se encarga de establecer una relación entre la entrada y la salida, comparándolas con una referencia para activar o desactivar una salida de control y así llevar al sistema al estado de set-point deseado.

### **control de dos posiciones (Control On-Off).**

En un sistema de control de dos posiciones, el controlador en respuesta a la señal de error a su entrada solo tiene dos posiciones fijas a su salida como acción de control, independientemente de que el elemento final de control pueda tener posiciones intermedias a las anteriormente enunciadas.

En relación a este comportamiento en el controlador, la salida simplemente pasa del estado: Si, Conectado, Todo, Encendido (On); al estado: No, Desconectado, Nada, Apagado (Off), o viceversa dependiendo de si la señal de error es positiva o negativa, mas no de su magnitud. Como corolario se puede indicar que el controlador; o se encuentra Encendido; o se encuentra Apagado, según el signo de la señal de error ya que no hay estados intermedios y por ende el elemento final de control se ve obligado a tomar o su posición máxima o su posición mínima según corresponda [19].

Este tipo de control es muy simple y barato, razón por la cual su uso es extendido en sistemas de control tanto industriales como domésticos, aparte de que muestra muchos de los compromisos fundamentales inherentes a todas las soluciones de control.

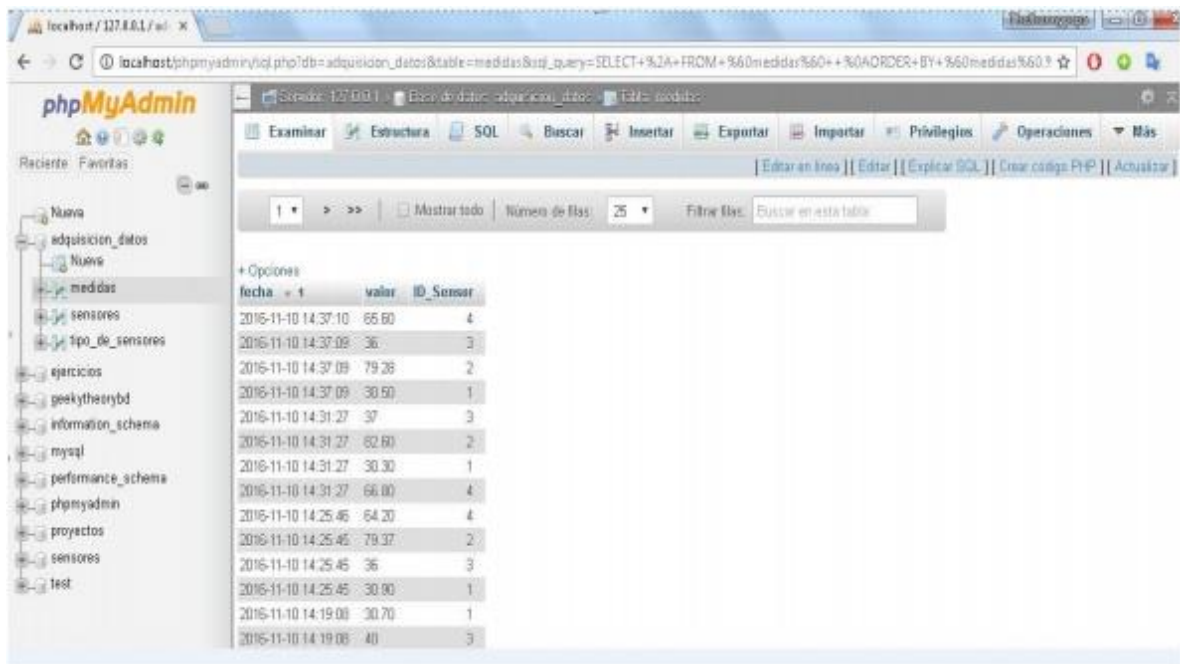
#### **Ventajas**

- Es la forma más simple de control
- Bajo precio de instalación fácil instalación y mantenimiento
- El controlador es económico.
- El sistema es confiable.

## 3.2 ESTADO DEL ARTE

Perea, et al [20]. desarrollo de una aplicación la cual permite monitoreo, registro y control de un cultivo en invernadero a través de la implementación de diversos dispositivos (microcontrolador, sensores y actuadores), para brindar al usuario un historial de las mediciones de las variables físicas más relevantes (Temperatura, humedad relativa, luminosidad y humedad del suelo) en todo el proceso de desarrollo del cultivo. se utilizaron diferentes tipos de sensores los cuales arrojaron medidas calibradas de las variables de interés de forma iterada en el transcurso del tiempo, estos sensores estaban conectados a un dispositivo microcontrolador, el cual recibía los datos y los enviaba a través de Ethernet a un servidor, para posteriormente realizar una comunicación con la aplicación desarrollada en PHP para almacenar las medidas en una base de datos SQL.

Figura 4. Visualización de la base de dato [20]



The screenshot shows the phpMyAdmin interface with a table named 'medidas' in the 'adquisicion\_datos' database. The table contains 13 rows of data, each representing a measurement taken at a specific time. The columns are 'fecha', 'valor', and 'ID\_Sensor'. The data is sorted chronologically.

fecha	valor	ID_Sensor
2016-11-10 14:37:10	65.60	4
2016-11-10 14:37:09	36	3
2016-11-10 14:37:09	79.36	2
2016-11-10 14:37:09	30.50	1
2016-11-10 14:31:27	37	3
2016-11-10 14:31:27	62.60	2
2016-11-10 14:31:27	30.30	1
2016-11-10 14:31:27	66.00	4
2016-11-10 14:25:46	64.20	4
2016-11-10 14:25:45	79.37	2
2016-11-10 14:25:45	36	3
2016-11-10 14:25:45	30.80	1
2016-11-10 14:19:00	30.70	1
2016-11-10 14:19:00	40	3

La figura 4, muestra que los datos censados se registran en la base de datos en internet, se puede notar que el registro se realiza por orden cronológico (fecha y hora), el valor de la variable censada y un id para identificar qué medida corresponde a cada sensor.



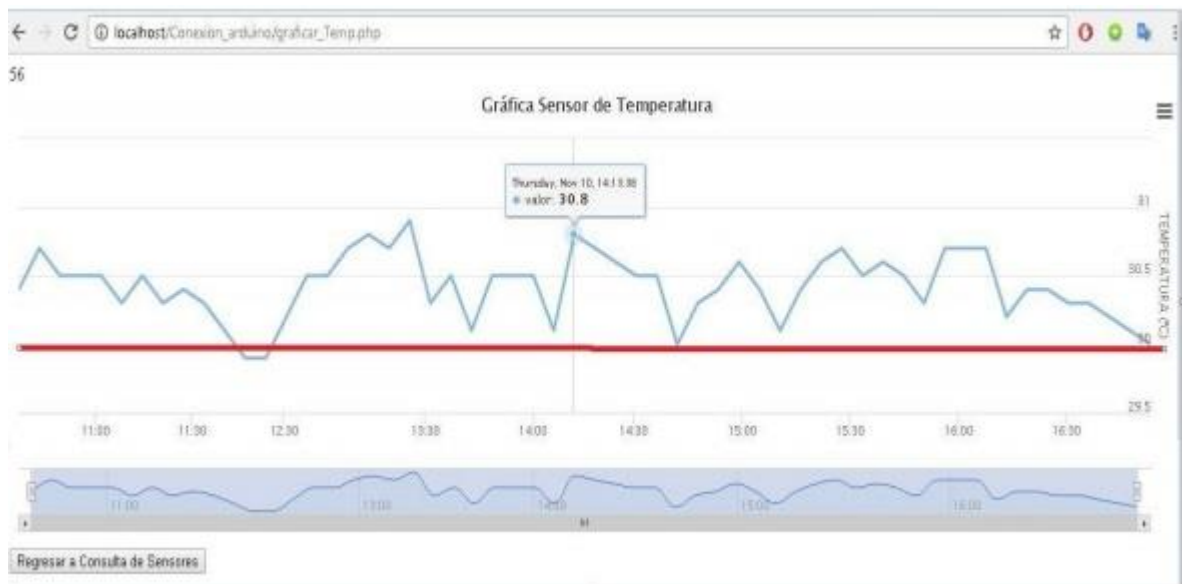
Figura 5. Interfaz grafica [20]



The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying 'localhost/Conexion\_arduino/graficas.php'. The main heading is 'Consulta de Sensores : Estadísticas'. Below the heading, there are several input fields: 'SENSOR:' with a dropdown menu set to 'Escoja Sensor'; 'FECHA INICIAL:' with a date field 'dd/mm/aaaa' and a time field 'H/m/s' set to '00:00:00'; 'FECHA FINAL:' with a date field 'dd/mm/aaaa' and a time field 'H/m/s' set to '23:59:59'. There are radio buttons for 'DESCARGAR REPORTE: SI' (selected) and 'NO'. An 'Enviar' button is at the bottom left.

La figura 5, muestra la interfaz en la cual el usuario puede escoger el tipo de sensor, la fecha inicial y final de la medida almacenada en la base de datos, graficar los valores y la opción de descargar los reportes.

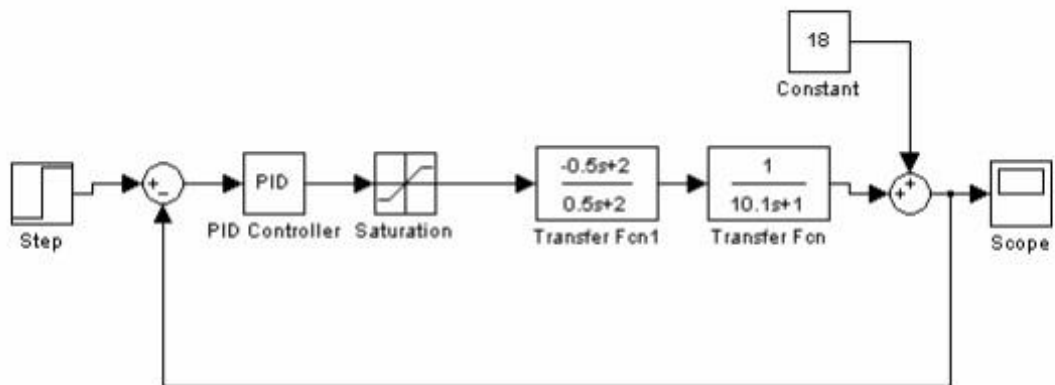
Figura 6. Visualización grafica del control de temperatura [20]



En la figura 6, se puede notar que la temperatura permanece en el margen preestablecido el cual es de 30 (°C) con una histéresis de (0.1°C) aproximadamente

de Paul et al [21] desarrollo la simulación y control climático en el interior de un invernadero, para poder manipular la ambientación mediante un Sistema de Control de la Temperatura el cual tiene como propósito o finalidad hallar un modelo climático adecuado que se ajuste a las condiciones del invernadero. El proyecto queda restringido al control y regulación de parámetros interiores de humedad y radiación solar. Quedando excluido el control de parámetros como el nivel de anhídrido carbónico y del sistema de riego. En este trabajo el autor presenta un modelo mejorado mediante una propuesta que incluye el efecto de la humedad sobre la temperatura dentro del invernadero. Esto puede considerarse como un avance en el diseño de modelos de clima de los invernaderos. Se presentan resultados de una simulación llevada a cabo en donde se muestra la eficacia del modelo propuesto.

Figura 7. Diagrama de bloques del control PID [21]



La figura 7, muestra el diagrama de bloques del controlador PID utilizado para simular el efecto de la humedad sobre el comportamiento de la temperatura en un invernadero.

Figura 8. Respuesta del sistema con control PID a una entrada escalón [21].

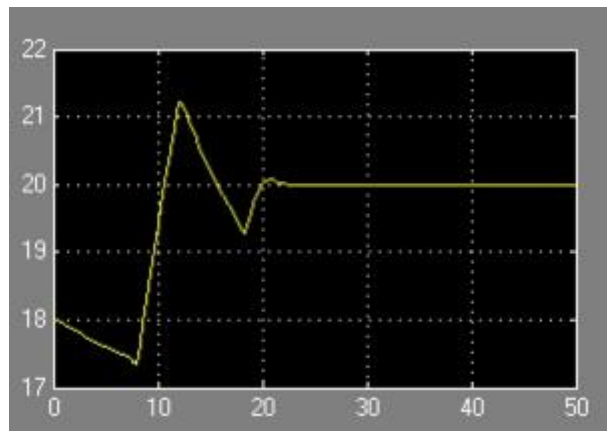
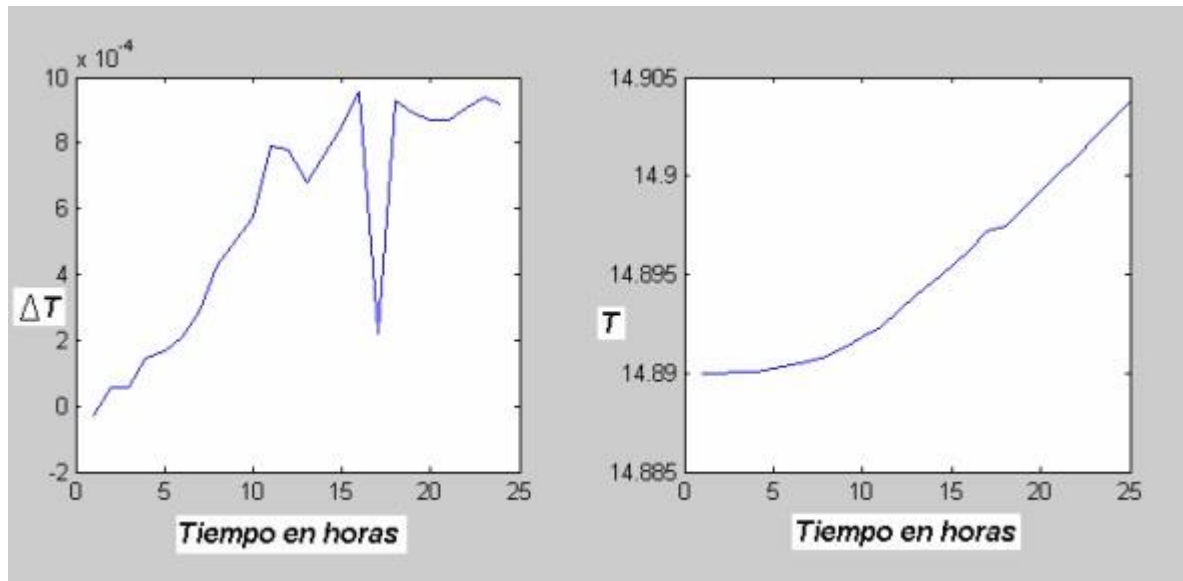


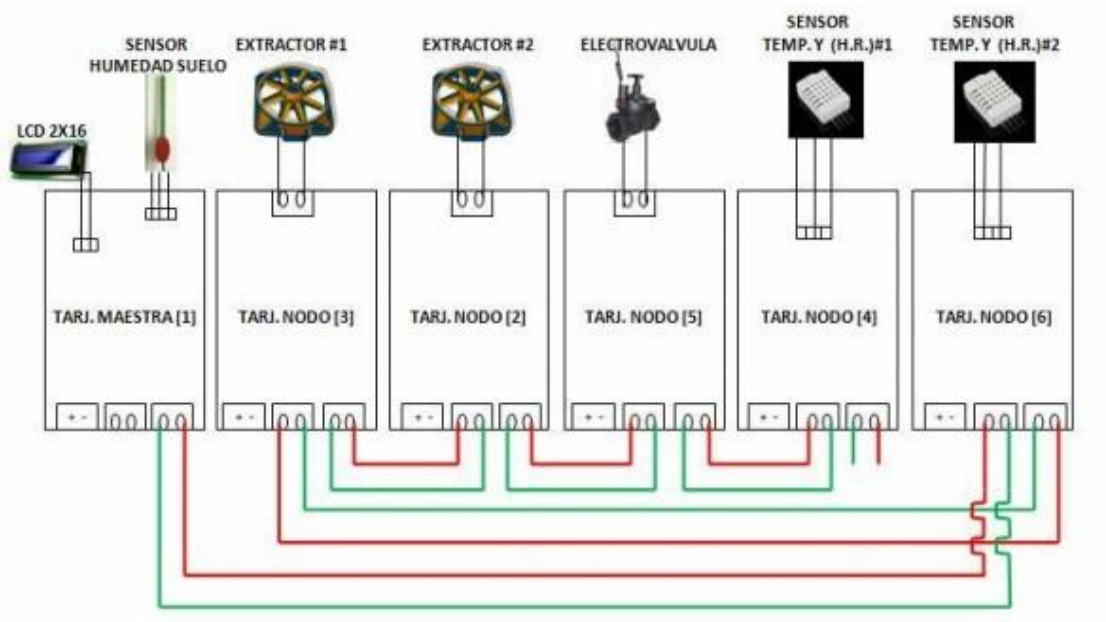
Figura 9. Simulación de la temperatura del suelo en el invernadero [21]



En la gráfica del primer cuadro se puede observar la diferencia o variación detallada de la temperatura dentro del invernadero, en el segundo cuadro se observa el cambio de la temperatura en general. Una vez obtenido el resultado de la simulación de la temperatura del suelo, este resultado será un parámetro de entrada para la simulación de la temperatura en el invernadero.

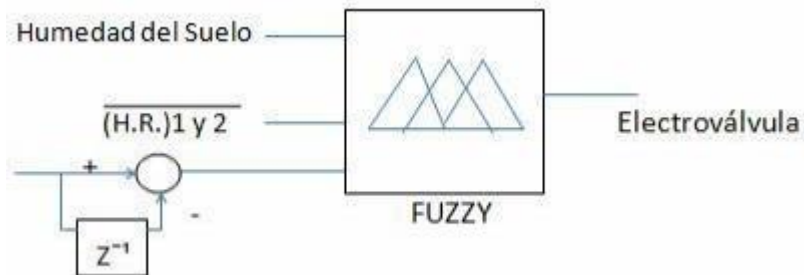
Ríos et al [22] desarrollo un proyecto de control para la mejora de condiciones ambientales de un cultivo, disminuyendo los costos de producción y mejorando la calidad del producto mediante el control de temperatura, humedad relativa, absoluta y gestión de riego para un invernadero en la zona Santander, usando lógica difusa MAMDANI. Para el control difuso MAMDANI, se identifican las principales variables a controlar, se hace la adaptación de los sensores que permitan obtener medidas exactas del entorno en sitio para así dar las condiciones del medio ambiente al interior del invernadero, conociendo así los valores del ambiente de temperatura, humedad relativa, los cuales serán las variables a controlar; al obtener la información de las medidas se efectúa el control difuso MAMDANI, por esta razón se utiliza la lógica difusa ya que el funcionamiento del sistema no varía entre dos estados como sucede en los controladores ON/OFF, sino se pueden encontrar valores intermedios de control. Es por esto y por la sencillez de manejar este tipo de control, que fue implementado para este sistema en particular.

Figura 10 diagrama de funcionamiento del sistema [22]



La figura 10, muestra el funcionamiento del sistema de control se puede observar la integración de los dispositivos de medición con los actuadores y dispositivos de visualización.

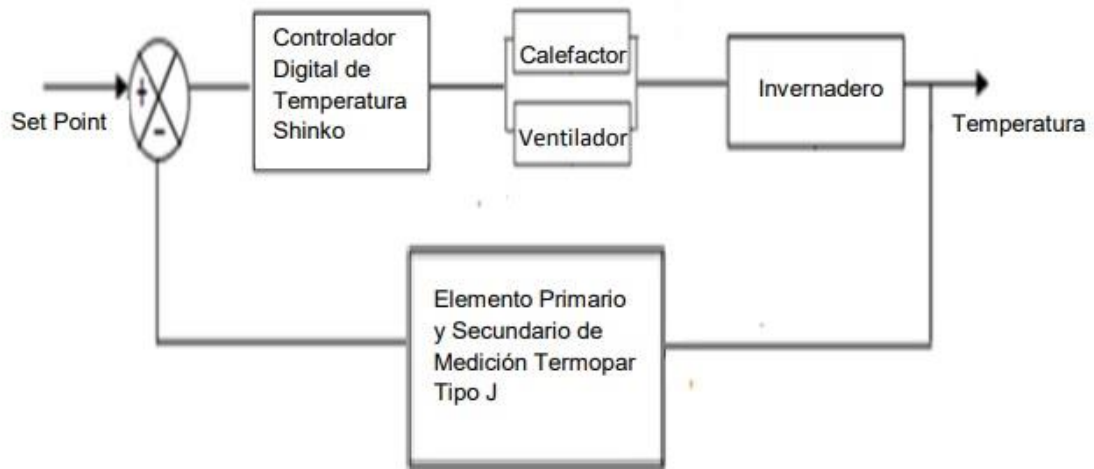
Figura 11. Controlador Difuso para la Electroválvula [22]



La figura 11, muestra El controlador difuso se diseñado para que opere tal como lo haría un experto humano, quien decide intuitivamente que información usar como entradas para tomar decisiones en el proceso, en este sistema se tiene como variables de entradas, la temperatura, humedad relativa, humedad del suelo y el delta ( $\Delta$ ) de temperatura y como variables de salida los actuadores (electroválvula y extractores 1 y 2).

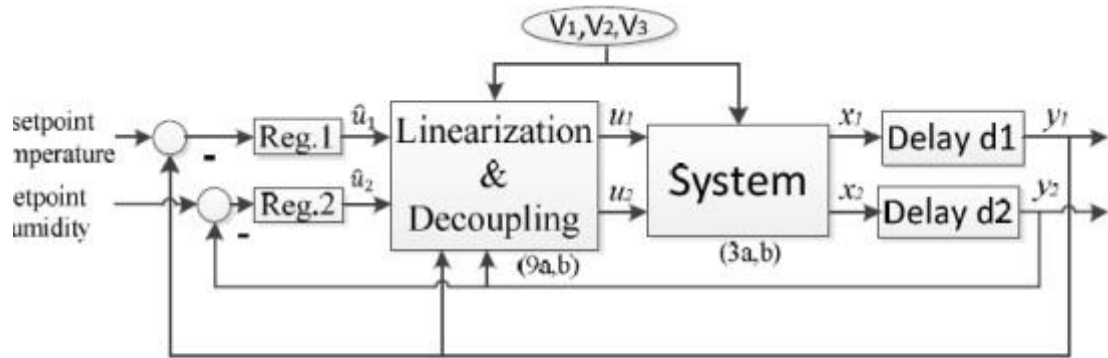
Baltazar et al [23] desarrollo un dispositivo automatizado para controlar temperatura en un invernadero, con el fin de garantizar las condiciones de crecimiento adecuadas para los cultivos. La única variable que se tiene en consideración en este sistema es la temperatura y es medida a través de un sensor de temperatura analógico tipo J conectado a un dispositivo Arduino que se encarga de la parte de recepción y procesamiento de la señal. La figura 7, muestra el diagrama del funcionamiento, mostrando cada dispositivo y la forma en que opera el sistema automatizado.

Figura 12. Diagrama de funcionamiento del dispositivo automatizado [23]



Sideregts et al [24] desarrollo un sistema de control en un invernadero hidropónico de la ciudad de lima, El proyecto buscaba crear un ambiente favorable para el cultivo con el fin de alcanzar predeterminada resultados: alto rendimiento, alta calidad y bajo costo. Se trata de un problema de control muy difícil de aplicar en la práctica, debido a la complejidad de los entornos del invernadero, porque son altamente no lineales, fuertemente acoplado y múltiples entradas y salidas presentan comportamientos variables en el tiempo y en su mayoría son perturbados por el tiempo exterior (velocidad del viento, la temperatura exterior, la humedad, etc)

Figura 13. diagrama de sintonización de controladores PID [24]



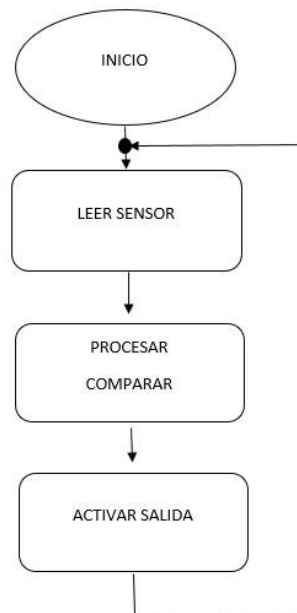
La figura 13 muestra el sistema de clima del invernadero que contiene el modelo no lineal acoplado con tiempos muertos, linealización y compensador de desacoplamiento, y por lo general emplea controladores PID para regulaciones de temperatura y humedad. Estos controladores tienen acción integral más tiempo muerto.

#### 4. METODOLOGÍA

El sistema desarrollado está compuesto por sensores que se encargan de medir las variables físicas (temperatura y humedad) al interior del entorno de control, las cuales son leídas por un sistema de adquisición de datos micro controlados, en éste caso el Arduino mega2560, el que a su vez se encarga del control de las variables temperatura y humedad, para que permanezcan por debajo del set-point programado, utilizando una estrategia de control de dos posiciones, en este tipo de control, el elemento final de control se mueve rápidamente entre una de dos posiciones fijas a la otra, para un valor único de la variable controlada.

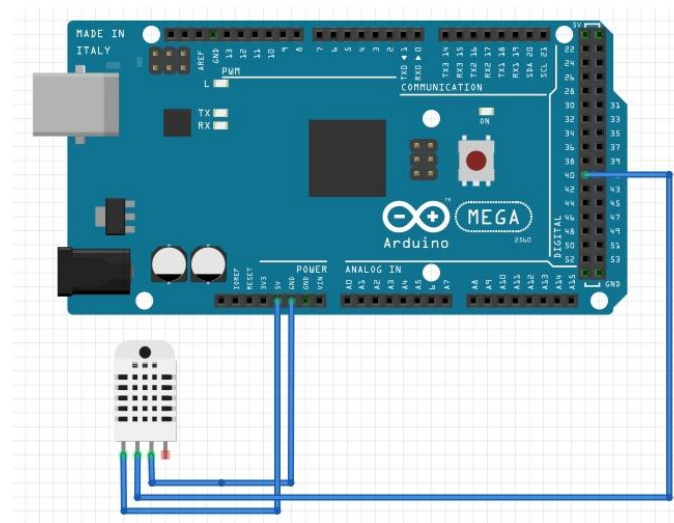
Un controlador on-off opera sobre la variable manipulada solo cuando la temperatura cruza la temperatura deseada SP. La salida tiene solo dos estados, completamente activado (on) y completamente desactivado (off). Un estado es usado cuando la temperatura está en cualquier lugar sobre el valor deseado y el otro estado es usado cuando la temperatura está en cualquier punto debajo de la temperatura deseada SP. La estrategia de control de dos posiciones es una de las más utilizadas en el control de temperatura, además el funcionamiento de esta se acopla de gran manera a los requerimientos del proyecto ya que el sistema no tiene cambios bruscos sobre el SP es decir que la oscilación de los valores censados no es continua o rápida de lo contrario provocaría un desgaste excesivo en el actuador o salida de control. Los valores de SP establecidos en la programación son de 32° C para la temperatura y 70% de humedad, esto de acuerdo a las condiciones óptimas para la germinación de la semilla y evitar el crecimiento de hongos.

Figura 14. Diagrama de funcionamiento del sistema



El funcionamiento del Sistema depende de tres etapas, como se muestra en la figura 14. La primera etapa del sistema se encarga de la recepción de datos de temperatura y humedad presente en el entorno de control, la segunda etapa es la encargada del procesamiento de datos, para establecer parámetros de control y por último la tercera etapa establece control mediante la activación de un actuador llevando al sistema a un estado de set-point.

Figura 15. Conexión del sensor DHT11



En la etapa de recepción de la señal se conecta el sensor DHT11 al Arduino con el fin de censar la temperatura y humedad presente en el entorno de control. El diagrama de la figura 15 muestra la conexión del sensor DHT11 y el Arduino mega 2560, la conexión se logra a partir de 3 pines, los numeros 1 y 3 son VCC y GND respectivamente y el numero 2 es el pin de la señal.

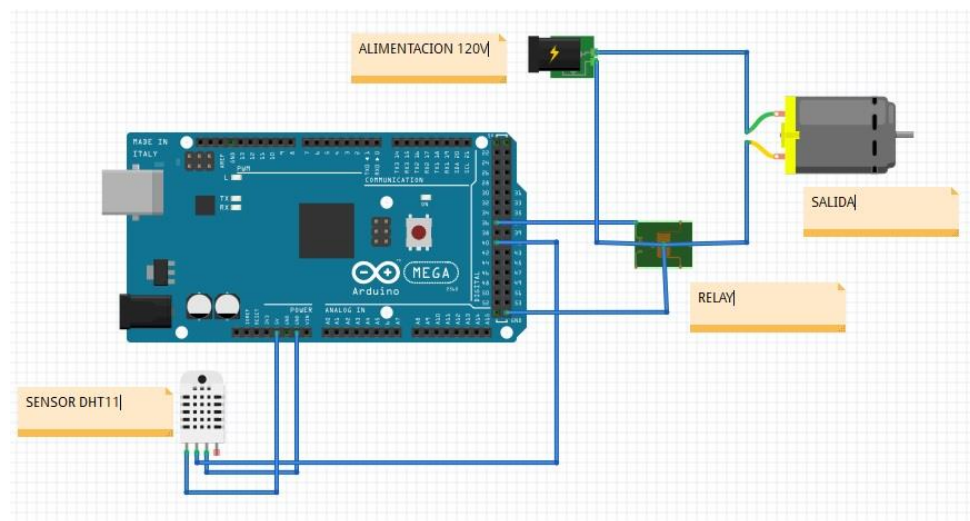
Una vez la señal es percibida por el sensor DHT11 entra en una etapa de procesamiento esto es posible mediante la implementación de un código de programación previamente establecido en el software Arduino este permite interpretar la señal obtenida y dictar el comportamiento del sistema. El microcontrolador también se encarga de enviar la señal de control para que la etapa de potencia suministre la corriente necesaria a la salida, mediante modulación por conmutación de voltajes

La programación del sistema está dividida en dos partes, la primera es la encargada de la funcionalidad del sistema, aquí se obtienen los datos de temperatura y humedad se compara con los rangos de control y considerando el estado de la



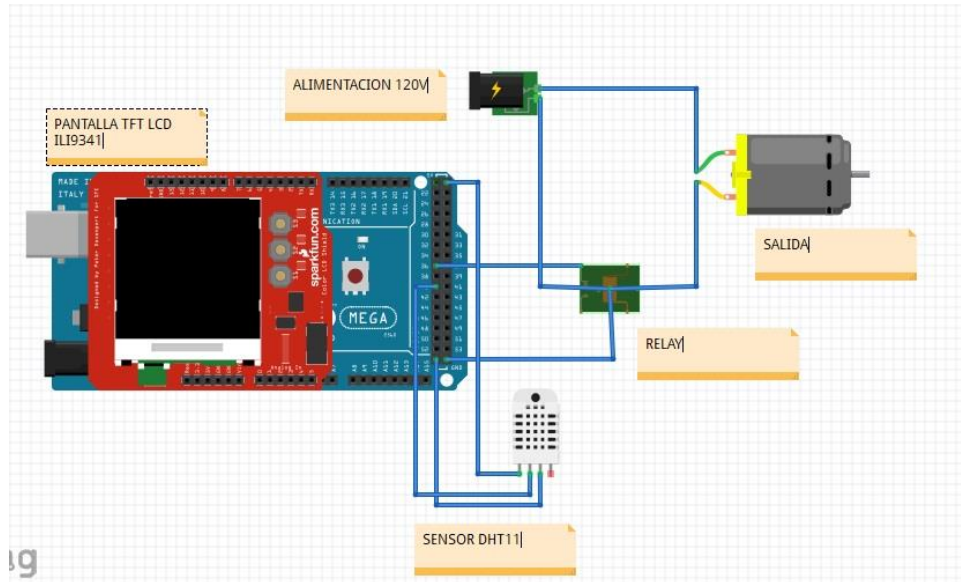
entrada se activa o desactiva la salida. La segunda parte muestra la interfaz de usuario, aquí se puede observar datos en tiempo real de temperatura y humedad, el estado en se encuentra la salida y se pueden cambiar los rangos de control.

Figura 16. Circuito implementado



La figura 16 muestra la disposición de los componentes del sistema, aquí se observa la conexión de un relé, la cual depende de 4 pines, 1 y 2 conectados a la señal de activación y a GND respectivamente y 3 y 4 conectados entre la fuente de alimentación de 120V y la salida. Aquí la parte de la programación que se encarga de la funcionalidad lee los datos del sensor DHT11 los compara con los rangos de control establecidos y una vez que los datos obtenidos por el DHT11 superan a el rango de control se activa una señal de 5V la cual excita la bobina del relé y enciende la salida. Cuando los datos leídos por el sensor regresan al estado de set-point la señal de 5V se desactiva.

Figura 17. Sistema terminado



La figura 17 muestra la integración de todos los componentes del sistema, aquí se podrá observar datos en tiempo real de temperatura y humedad a través de la pantalla táctil ILI9341, además se podrá mostrar en qué estado se encuentra la salida y se podrá cambiar los rangos de control sin que sea necesario acceder al código de programación.

## 5. CRONOGRAMA

Para el cumplimiento de los objetivos planteados, se seguirá el cronograma presentado en la tabla 1

Tabla 1. Cronograma de actividades

<b>Seguimiento Actividades</b>			
<b>Componentes</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fecha Inicio</b>	<b>Fecha Final</b>
<b>Entregable # 1:</b>	Realizar el dimensionamiento de del proyecto	<b>16/07/2019</b>	<b>28/07/2019</b>
1.1	Medir área del terreno donde será instalado el sistema de riego	16/02/2019	17/02/2019
1.2	Medir el consumo de agua del sistema de riego	18/02/2019	20/02/2019
1.3	Medir la capacidad de almacenamiento del tanque de agua	21/02/2019	22/02/2019
1.4	Medir temperatura y humedad	23/02/2019	28/02/2019
<b>Entregable # 2:</b>	Desarrollo de la programación del sistema de control	<b>29/02/2019</b>	<b>12/03/2019</b>
2.1	Definir las necesidades y requerimientos del usuario, desde el enfoque funcional y operativo	29/03/2019	31/03/2019
2.2	Se seleccionará el entorno de programación	01/04/2019	03/04/2019
2.3	Se definirán las variables a controlar	04/04/2019	06/04/2019
2.4	Se escogerá el tipo de control	07/04/2019	09/04/2019
2.5	Se realizarán pruebas para constatar que las variables controladas permanezcan en el rango deseado	10/04/2019	12/04/2019
<b>Actividad 03</b>	<b>Adquisición e instalación de componentes</b>	<b>13/04/2019</b>	<b>13/05/2019</b>
3.1	Adquirir la totalidad de los componentes necesarios para el desarrollo del sistema de control y monitoreo	13/05/2019	3/06/2019
3.2	Realizar la instalación del sistema de generación de energía fotovoltaica	4/06/2019	23/06/2019

3.3	Realizar la instalación del sistema de control para el proceso de riego	24/06/2019	13/07/2019
<b>Entregable # 3:</b>	Realzar seguimientos para constatar la correcta funcionalidad del sistema	<b>14/07/2019</b>	<b>31/07/2019</b>
4.1	Verificar la aplicación e integración de los equipos con el sistema de control	14/08/2019	19/08/2019
4.2	Verificar la correcta instalación y configuración del sistema de control y monitoreo	20/08/2019	24/08/2019
4.3	Verificar la correcta operación de las funcionalidades del sistema de control y monitoreo,	25/08/2019	<b>01/09/2019</b>

## 6. PRESUPUESTO

Para llevar a cabo la realización de este proyecto es necesario tener en cuenta el presupuesto presentado en la tabla 2.

Table 2. Presupuesto

4. MATERIALES E INSUMOS					
Descripción	Justificación	Fuentes de Financiamiento			
		Vicerrectoria de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1.90 metros de tubo PVC	construccion de estantes y tuberías de riego				\$ 186.000
2.lapones,T y uniones	construccion de estantes y tuberías de riego				\$ 60.000
3.plastico negro	cubierta proteccion contra el entorno				\$ 40.000
4.turbina de 1 HP	bonbeo de agua				\$ 260.000
5.bandejas de forraje verde hidroponico	crecimiento de forraje verde				\$ 140.000
6.microaspersores	contruccion de sistema de riego				\$ 55.000
					\$ 0
	<i>SUB-TOTAL</i>	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 741.000

6. EQUIPOS						
Descripción	Justificación	Cantidad	Fuentes de Financiamiento			
			Vicerrectoria de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1.extractor de 12 pulgadas	salidad de control del sistema	1				\$ 320.000
2.arduino mega	sistema de control	1				\$ 56.000
3.multimetro digital	medicion de voltaje y corriente	1				\$ 67.000
4.pantalla lcd tactil	visualizacion de datos	1				\$ 54.000
5.modulo rele	activacion de extractor	1				\$ 15.000
cables dupon	conexión	3				\$ 16.000
borneras y cables de alta tencion	conexión	10				\$ 25.000
sensor DHT11	medir temperatura y humedad	3				\$ 18.000
6.fuente adaptadora de voltaje	alimentar arduino	1				\$ 12.000
	<i>SUB-TOTAL</i>		\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 583.000

## 7. RESULTADOS

### 7.1. MODELO DE LA PROGRAMACIÓN

En este capítulo se dará conocer una completa descripción del comportamiento del sistema desarrollado. Incluyendo una descripción general del sistema, interfaz del software, interfaz gráfica y requerimientos funcionales del sistema.

#### 7.1.2. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

En este ítem se describirán las necesidades funcionales y no funcionales del sistema desarrollado en el proyecto; además de Identificar las especificaciones técnicas del proyecto (Software), es decir identificar los requerimientos utilizando en el código fuente para producir una proyección conceptual del sistema(software).

#### 7.1.3. REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES

En la Tabla 3 se detallan los requerimientos no funcionales del sistema de control y monitoreo de temperatura y humedad

Tabla 3. Requerimientos no funcionales

<b>Id</b>	<b>nombre</b>	<b>Descripción</b>
<b>RNF 001</b>	Funcionalidad	El sistema debe permitir el control y monitoreo en tiempo real de todas las variables del sistema, proporcionando información sobre el estado en que se encuentra cada una de ellas
<b>RNF 002</b>	Funcionalidad	El sistema debe ser capaz de controlar y regular la temperatura y la humedad de acuerdo a las condiciones del entorno de trabajo en tiempo real.
<b>RNF 003</b>	Funcionalidad	El sistema de garantizar las condiciones óptimas de crecimiento para la etapa de germinación de la semilla de maíz
<b>RNF 004</b>	Entrada de datos	El sistema de contar con una interfaz gráfica que permita al usuario interactuar en tiempo real con los parámetros de control
<b>RNF 005</b>	Entrada de datos	El dispositivo debe permitir la adquisición y visualización de los valores de temperatura y humedad del área de control
<b>RNF 006</b>	Salida	El dispositivo debe permitir la visualización de los estados de SP en las que se encuentran las variables del sistema

#### 7.1.4. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

En las tablas 4 y 5 se detallan los requerimientos funcionales del sistema

Tabla 4 requerimientos de sistema (software)

<b>Id</b>	<b>RF 001</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe permitir la adquisición de datos de las variables de temperatura y humedad
<b>Entrada</b>	Definir los pines de entrada de los sensores
<b>Proceso</b>	Debió definirse en el código fuente los pines del controlador que corresponden al proceso de adquisición de datos, además de establecer los valores predeterminados del setpoint de cada una de las variables. Estos valores de setpoint quedan fijados en la programación y aunque pueden ser cambiados a través de la interfaz gráfica, al presionar el botón de reinicio los valores de setpoint establecidos en el código son los que prevalecen
<b>salida</b>	Interfaz grafica

Tabla 5 requerimientos de sistema (software)

<b>Id</b>	<b>RF 002</b>
<b>Descripción</b>	El sistema debe permitir los valores censados con los valores del setpoint
<b>Entrada</b>	VARIABLES CENSADAS
<b>Proceso</b>	Se establecieron en el código fuente herramientas o módulos que permitan comparar los valores de las variables censadas con los valores establecidos en el setpoint para posteriormente mandar un alto o un bajo a los pines relacionados con la salida de control
<b>Salida</b>	Salida de control

En las tablas 6 y 7 se detallan los requerimientos funcionales del usuario

Tabla 6 modulo usuario

<b>Id</b>	<b>RF 001</b>
<b>Descripción</b>	Para manipular las variables del sistema el usuario debe presionar el botón “menú” el cual lo conducirá a la segunda ventana de la interfaz grafica
<b>Entrada</b>	Botón <b>menú</b>
<b>Proceso</b>	Al presionar el botón “menú” el usuario se encontrará con dos botones “tepm. Setpoint” y “humidity setpoint” estos dos campos lo conducirán a un teclado que le perite cambiar los parámetros de temperatura y humedad
<b>Salida</b>	Botón <b>inicio</b> Botón de reinicio de la interfaz

Tabla 7 modulo usuario

<b>Id</b>	<b>RF 002</b>
<b>Descripción</b>	Si el usuario desea cambiar el parámetro de temperatura o el parámetro de humedad deberá presionar los botones “tepm. Setpoint” y “humidity setpoint respectivamente
<b>Entrada</b>	Botón <b>tepm. Setpoint</b> Botón <b>humidity setpoint</b>
<b>Proceso</b>	Después de presionar cualquiera de los botones anteriormente mencionados el usuario será dirigido a un teclado que le perite cambiar los puntos de setpoint para cada variable. El usuario deberá introducir los valores de setpoint y si desea guardarlos tendrá que presionar el botón “Ent” de lo contrario deberá presionar el botón “Esc”
<b>Salida</b>	Botón <b>Ent</b> Botón <b>Esc</b> Botón de reinicio de la interfaz



### 7.1.5. INTERFAZ GRAFICA

Figura 18. Menú de inicio



La figura 18 muestra el menú de inicio del programa, esta es la primera de 3 ventanas que conforman la interfaz gráfica, en ella se puede observar primeramente el botón “menú” del apartado 1. Este botón permite acceder a la segunda ventana mostrada en la figura 20, en donde se pueden cambiar los rangos del set-point.

En los apartados 2 y 3 se encuentran los estados del set-point de temperatura y humedad respectivamente, aquí se mostrarán los rangos una vez se hallan ingresado en el menú, en el caso de que no se ingrese ningún valor, estos permanecerán con el que les fue asignado en la programación. El apartado 6 muestra la temperatura del ambiente censada por el dispositivo al igual que la humedad como se puede observar en la figura 18. Por ultimo el apartado 4 muestra el estado en que se encuentra la salida, luz verde si la salida esta activa y luz roja si no lo esta.

Figura 19. segunda ventana de la interfaz



En la segunda ventana de la interfaz grafica mostrada en la figura 19 se pueden observar únicamente 3 botones, los primeros son los botones de “temp.setpoint” y “humiditysetpoint” estos dos conducen a la tercera ventana de la interfaz mostrada en la figura 22 en donde se pueden cambiar los estados del set-point de temperatura y humedad respectivamente. Por ultimo el botón de inicio permite regresar al menú de inicio mostrado en la figura 18.

Figura 20. Botones en estilo de teléfono “candybar”



La figura 20 muestran los botones que permiten ingresar los rangos de temperatura y humedad que el usuario desee establecer como set-point, sin que sea necesario modificar los parámetros de control establecidos en la programación. Una vez ingresados el set-point deseado los cambios son efectuados en tiempo real y para volver a los parámetros de programación basta con pulsar el botón de reinicio.

Para ingresar un punto de control se debe digitar la cifra que se desee asignar como set-point, el numero escogido se hará visible en el apartado 1 como se muestra en la imagen 18. Una vez sea ingresado con éxito si se desea guardar los cambios debe pulsarse el botón “Ent.” Del apartado 2. En caso de querer cambiar el numero el botón “Clr.” Del apartado 3 permite borrar las cifras recién ingresadas. Por último, el botón “Esc.” Permite salir de esta parte del menú sin realizar ningún cambio.

## **7.2. ESTRATEGIA DE CONTROL**

Para la realización de este proyecto se analizaron los dos tipos de sistemas de control, estos son los sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado, con la finalidad de conocer que tipo de sistema de control es el mas adecuado teniendo en cuenta las características del sistema y las variables que se desean controlar.

### **SISTEMAS DE CONTROL DE LAZO ABIERTO**

Un sistema de control de lazo abierto se caracteriza porque no recibe ningún tipo de retroalimentación sobre el estado en que se encuentra la variable o conjunto de variables que hacen parte del sistema. Este tipo de control es utilizado cuando la variable de salida es fácil de predecir y tiene un margen de error muy grande por estos motivos para este tipo de control resulta as sencillo calcular el tiempo o las veces que se debe repetir el proceso para cumplir con el control.

### **SISTEMAS DE CONTROL DE LAZO CERRADO**

Este tipo de sistema es un poco mas completo porque en este la señal de salida, además de ser la salida es utilizada como una de las entradas del sistema ya que se mantiene en un proceso continuo de retroalimentación con el elemento de control. La ventaja que representa este estado continuo de retroalimentación es la estabilidad frente a perturbaciones y variables internas.

Para el control de temperatura y humedad o sistemas de climatización es común utilizar dos estrategias de control, el control de dos posiciones y la lógica de control difusa.

### **LÓGICA DIFUSA**

la lógica difusa es un sistema de control de lazo cerrado en donde la salida puede tomar un valor cualquiera de veracidad dentro de un conjunto de valores que se mueven entre dos extremos, es decir la lógica difusa permite establecer rangos en donde la variable puede oscilar sin que represente un cambio en el estado de la salida siempre que no crucé los límites del rango. Esto representa una ventaja si se quieren establecer escalas de confort ya que la retroalimentación mantiene a la variable en el estado deseado sin que sobrepase los limites superiores o inferiores.

Con este tipo de control se pueden anejar porcentajes de trabajo de la salida ya que este permite que el actuador final pueda estar en estados que no sean totalmente activado o totalmente desactivado. Para lógica difusa es necesario que el actuador o actuadores utilizados como salida sean capaces de llevar la variable del punto mas bajo del rango al mas alto y viceversa. Por ejemplo en un sistema de control de temperatura con lógica difusa el actuador final debe ser capaz de disminuir la

temperatura si la misma sobrepasa los límites superiores del rango de confort, pero también debe ser capaz de aumentar la temperatura si esta pasa el límite inferior.

## **CONTROL DE DOS POSICIONES**

El control on-off es un sistema de lazo cerrado en donde a diferencia de la lógica difusa la salida tiene un punto de referencia fijo y siempre que la variable de control cruce este punto se verá reflejado un cambio de estado de la salida. En este tipo de control, el elemento final de control se mueve rápidamente entre una de dos posiciones fijas a la otra, para un valor único de la variable controlada.

Al utilizar un controlador on-off para controlar temperatura, la variable manipulada solo opera cuando la temperatura cruza la temperatura deseada SP. La salida tiene solo dos estados, completamente activado (on) y completamente desactivado (off). Un estado es usado cuando la temperatura está en cualquier lugar sobre el valor deseado y el otro estado es usado cuando la temperatura está en cualquier punto debajo de la temperatura deseada SP.

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente se decidió utilizar el tipo de control on-off debido a las características y requerimientos del sistema. Aunque la lógica difusa sea una estrategia mucho más completa hay que tener en cuenta las perturbaciones externas a las que está sometido el entorno de control que se encuentra en el departamento de la guajira con una temperatura media de 32 °C [2]. Debido a esto es innecesario un sistema de lógica difusa ya que la temperatura nunca va a llegar a un punto tan bajo que represente riesgo para la germinación de las semillas de maíz, por lo tanto el sistema de control solo debe tener en cuenta el límite superior del estado de control y esto es más fácil de conseguir con un control de dos posiciones

### 7.3. PARÁMETROS DE CONTROL

Para establecer los parámetros de control es necesario tener en cuenta la temperatura y humedad óptimas para la germinación de la semilla para poder replicarlas y las condiciones de temperatura y humedad en las que se prolifera el crecimiento de hongos.

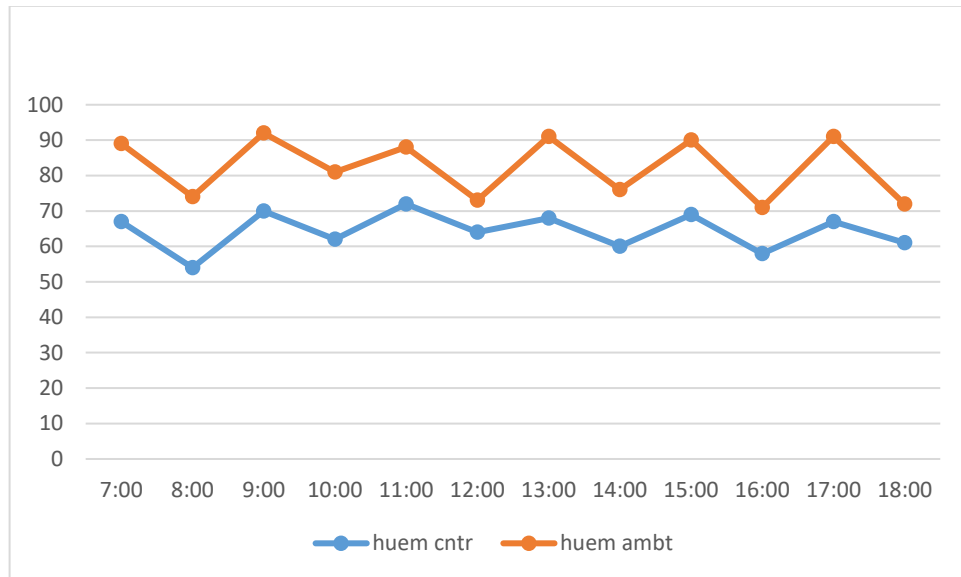
Las semillas de maíz que están en el proceso de germinación pueden ser atacadas por algunos patógenos transportados por las semillas o por patógenos del suelo que pueden causar su pudrición antes de germinar o causar la pudrición de la plántula; esto es conocido como podredumbre del cuello de la raíz. Los tizones son por lo general causados por especies del género *Pythium*, un hongo saprofito común en los suelos tropicales.

La cantidad de agua existente en el ambiente y en los sustratos es uno de los factores importantes para el desarrollo de los hongos y para la producción de micotoxinas. Sin embargo, no sólo influye la cantidad de agua sino también la forma de presentación de la misma. La temperatura óptima para el desarrollo de los hongos se encuentra entre 33 y 38°C y el límite máximo entre 40 y 45°C. En la germinación y el inicio de formación de cepas se intensifica cuando la humedad se encuentra en un rango de 81-92% [17].

El proceso de germinación se desencadena como consecuencia de la absorción de agua a través de la cubierta de la semilla, a dicha etapa se le da el nombre de imbibición, durante la cual la semilla absorbe un 30 % de su peso seco en agua antes de comenzar a germinar. Una absorción menor a la indicada puede ocasionar que se detenga o retrase el proceso germinativo a causa de un secado rápido de la zona en donde se encuentra la semilla por lo cual es necesario mantener la temperatura en un rango de 28 y 34°C y rangos de humedad entre 65 y 70% [14].

Se pudo establecer parámetros de control para el set-point de 32 °C para la temperatura y 70% de humedad esto teniendo en cuenta los mencionado anteriormente y teniendo en cuenta la temperatura y humedad a la que se encuentra sometida la semilla que es sembrada cultivada y cosechada en la misma zona donde se ejecuto el proyecto.

Figura 24. Humedad bajo control vs humedad no controlada



La figura 24 muestra la diferencia del porcentaje de humedad cuando el sistema esta activado y cuando esta desactivado a lo largo del día. La línea azul representa la humedad en el entorno de control cuando el sistema esta activo mientras que la naranja representa la humedad del entorno de control con el sistema desactivado. También se puede observar que los picos as altos de ambas líneas coinciden con los tiempos de riego del sistema que se realizan cada 2 horas durante 60 segundos.

Figura 25. Etapa de germinación ambiente oscuro controlado



La figura 25 muestra el los granos después de ser encerrados con la cubierta plástica, también se pueden apreciar las tuberías de agua y los micro-aspersores utilizados para el riego. Las semillas permanecerán 5 días en este entorno la etapa de germinación acaba después del 5 día, a partir de este día es muy poco probable la formación de hongos que atrofién el crecimiento o que dañen por completo la alfombra. 79793031

Figura 26. Día 3 de la etapa de germinación



La figura 26 muestra alfombras de 5 a 8 días. El sistema de producción de FVH puede ser instalado en forma modular en la dimensión vertical lo que optimiza el uso del espacio útil. Usando métodos convencionales de siembra de cultivos pueden obtenerse entre 5 y 8kg de forraje por metro cuadrado, en ciclos de crecimiento de 40 a 45 días. Usando sistemas de producción de FVH pueden entre 100kg y 120kg de forraje por metro cuadrado, en ciclos de crecimiento de 10 a 14 días máximo.



## CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema de fácil implementación que permite el monitoreo y control de variables físicas como temperatura, y humedad de un cultivo de forraje verde hidropónico en un invernadero. Del proyecto realizado se puede concluir que es una herramienta funcional y versátil para saber de forma rápida y precisa el comportamiento de las variables físicas de un invernadero. El buen funcionamiento de la estrategia de control implementada permite mantener en niveles óptimos los valores de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero.

El comportamiento de la temperatura va aumentando de acuerdo a la hora del día, alcanzando sus picos máximos entre las 12:00pm y 3:00pm, después de las 3:00pm comienza una disminución hasta llegar las horas de la noche. Mediante la implementación del Sistema de Control, se logra establecer y mantener una temperatura entre 28°C y 31°C con una humedad cercana entre 60% y 70% estos valores son óptimos para el desarrollo del forraje verde hidropónico.

El ahorro de agua y la eficiencia en el uso del espacio son algunos de los aspectos de mayor importancia de los cuales se consiguieron resultados realmente satisfactorios.

Se logro desarrollar con éxito la programación que hace posible el funcionamiento del sistema de monitoreo y control además del desarrollo de la interfaz de usuario que permite visualizar en tiempo real las variables de control

## RECOMENDACIONES

La etapa de germinación de la semilla es un proceso en el que la semilla es muy débil debido a esto se ve afectada por cualquier perturbación en su entorno de crecimiento por tal motivo es necesario utilizar un sensor confiable capaz de transmitir de forma continua los datos de las variables de interés.

Tiene mucho sentido ejecutar este tipo de proyectos en lugares donde la escasez de agua es un problema constante, pero en lugares donde este no es un problema resulta mas beneficioso utilizar otro tipo de cultivos que son mas económicos de implementar y que producen una gran cantidad de forraje.

El forraje verde hidropónico es un alimento con un alto nivel de proteína apto para el consumo animal que puede ser utilizado como suplemento alimenticio en la dieta del ganado bobino, pero es mas rentable utilizarlo como alimento para animales mas pequeños como cerdos o gallinas ya que el ganado bobino debe consumir de 10% a 12% de su peso corporal diario, es decir que teniendo animales de 500k a 600k tendría que producirse de 60k a 70k por cada animal

## Referencias

- [1] M. L. González, «<https://www.las2orillas.co>,» 29 03 2019. [En línea]. Available: <https://www.las2orillas.co/la-eterna-batalla-por-el-agua-que-se-libra-en-la-guajira/>. [Último acceso: 28 08 2019].
- [2] Arango, C., J. Dorado, G. D. y J. F. Ruíz, «<http://www.ideam.gov.co>,» Subdirección de Meteorología – IDEAM , 12 septiembre 2012. [En línea].
- [3] D. M. García, «<http://www.aguasimple.org.mx>,» 22 05 2017. [En línea]. Available: <http://www.aguasimple.org.mx/revistav7/index.php/notas-de-agua/108-que-es-un-sistema-de-riego>. [Último acceso: 25 08 2019].
- [4] B. Lecaros, «<https://www.intagri.com>,» 23 07 2011. [En línea]. Available: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/sistema-de-riego-por-goteo>. [Último acceso: 26 08 2019].
- [5] E. D. I. santos, «<https://parquesalegres.org>,» 01 06 2018. [En línea]. Available: <https://parquesalegres.org/biblioteca/blog/sistema-riego-por-microaspersores/>. [Último acceso: 27 08 2019].
- [6] m. M, «<http://hidroponia.mx/>,» 16 08 2015. [En línea]. Available: <http://hidroponia.mx/tecnologia-agricola-que-es-el-riego-por-nebulizacion/>. [Último acceso: 27 08 2019].
- [7] L. Candia, «Evaluación de la Calidad Nutritiva de,» 2014.
- [8] L. d. V. Hernández, «<http://arduino.cl>,» 14 06 2011. [En línea]. Available: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>. [Último acceso: 26 08 2019].
- [9] [www.makerlab-electronics.com](http://www.makerlab-electronics.com), «<https://www.makerlab-electronics.com/>,» 23 08 2018. [En línea]. Available: <https://www.makerlab-electronics.com/product/arduino-mega-2560-r3/>. [Último acceso: 23 08 2019].
- [10] L. d. V. Hernández, «<https://programarfacil.com>,» 14 06 2015. [En línea]. Available: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sensor-dht11-temperatura-humedad-arduino/>. [Último acceso: 25 08 2019].
- [11] <http://www.techmake.com>, «<http://www.techmake.com>,» 14 07 2019. [En línea]. Available: <http://www.techmake.com/00288.html>. [Último acceso: 26 08 2019].
- [12] «<https://naylampmechatronics.com>,» 24 06 2019. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/arduino-shields/171-shield-display-lcd-tft-24-tactil.html>. [Último acceso: 26 08 2019].

- [13] <https://naylampmechatronics.com>, «<https://naylampmechatronics.com>,» 15 06 2019. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/displays/144-display-lcd-tft-24-rgb-spi-240x320-tactil-ili9341.htm>. [Último acceso: 23 08 2019].
- [14] R. L. Nielsen, «<https://www.intagri.com>,» 22 julio 2014. [En línea].
- [15] e. menegello, «<https://seednews.com.br>,» 06 11 2014. [En línea]. Available: <https://seednews.com.br/edicoes/artigo/490-calidad-de-las-semillas:-humedad-y-temperatura-edicao-novembro-2014>. [Último acceso: 26 08 2019].
- [16] A. Gimeno, «<https://www.engormix.com>,» 04 05 2002. [En línea]. Available: <https://www.engormix.com/micotoxinas/articulos/principales-factores-condicionantes-desarrollo-t26065.htm>. [Último acceso: 24 09 2019].
- [17] O.-C. M, «EFECTO DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA SOBRE,» nayarit, 2006.
- [18] J. C. Villajulca, «<https://instrumentacionycontrol.net>,» 12 09 2009. [En línea]. Available: <https://instrumentacionycontrol.net/sistema-de-control-retroalimentado-feedback/>. [Último acceso: 26 08 2019].
- [19] A. Ramírez, «PRACTICA: CONTROL ON-OFF,» tachira, 2015.
- [20] J. PEREA, «diseño de un sistema de monitoreo, registro y control de temperatura y humedad para un cultivo en invernadero,» (2016, Pereira-Colombia), (2016).
- [21] M. d. P. Cortes, «SIMULACION Y CONTROL DE LA TEMPERATURA DENTRO DE UN,» bogota, 2007.
- [22] E. R. R. SUAREZ, «Diseño e Implementación de un Sistema de Control de Humedad Relativa y,» bogota, 2015.
- [23] b. a. jonathan, «diseño e implementación de un dispositivo de control para un invernadero,» 2014.
- [24] a. sideregts, «modelo y control en invernaderos hidroponicos,» lima, 2014.
- [25] L. R. H. L. M. Dr. Manuel Enrique Romero Valdez, «<https://www.engormix.com>,» 27 08 2015. [En línea]. Available: <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/produccion-forraje-verde-hidroponico-t32495.htm>.
- [26] j. rico, «Expertos debatieron sobre el futuro de la energía eléctrica en la Región Caribe,» *EL HERALDO*, 21 05 2017.

- [27] j. villabona, «<https://es.panampost.com>,» 7 2016. [En línea]. Available: <https://es.panampost.com/julian-villabona/2016/08/02/crisis-electricaribe-puede-dejar-sin-luz-costa-caribena-colombia/?cn-reloaded=1>.
- [28] S. TOSSETI, «Sistema de monitoreo continuo de la humedad en suelo para el control de riego en un olivar,» (san juan-argentina), 2008.
- [29] r. G, «Control y monitoreo de riego mediante el uso de dispositivos móviles,» mexico, 2015.
- [30] J. W. P. PALACIOS, «DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO, REGISTRO Y CONTROL,» pereira, 2016.
- [31] M. d. P. Cortes, «SIMULACION Y CONTROL DE LA TEMPERATURA DENTRO DE UN,» bogota, 2007.
- [32] E. R. R. SUAREZ, «Diseño e Implementación de un Sistema de Control de Humedad Relativa y,» bogota, 2015.
- [33] b. a. jonathan, «diseño e implementacion de un dispositivo automatizado de control de temperatura,» mexico, 2014.