

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO
Instituto Tecnológico de La Laguna

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

“Mejoras para el sensado de variables y modulado en estación de trabajo invernadero e implementación de un control inteligente”

POR

Ing. Marlen Ibarra Reyes

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR DE TESIS

M.C. Martín Gerardo Vázquez Rueda

ISSN: 0188-9060



RIITEC: (08)-TMCIE-2017

Torreón, Coahuila, México
Junio 2017



Torreón, Coah., 07/ Junio/ 2017

DR. ARMANDO LONGORIA DE LA TORRE
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Por medio de la presente, hacemos de su conocimiento que después de haber sometido a revisión el trabajo de tesis titulado:

**"Mejoras para el sensado de variables y modulado en estación de trabajo
invernadero e implementación de un control inteligente"**

Desarrollado por el **C. Ibarra Reyes Marlen**, con número de control **M1513011** y habiendo cumplido con todas las correcciones que se le indicaron, estamos de acuerdo que se le conceda la autorización de la fecha de examen de grado para que proceda a la impresión de la misma.

ATENTAMENTE
EDUCACIÓN TECNOLÓGICA FUENTE DE INNOVACIÓN

M.C. Martín Vázquez Rueda
Asesor/Director de Tesis

Dr. Francisco G. Flores García
Comité Tutorial

Dr. Francisco Valdés Perezgasga
Comité Tutorial

Dr. Enrique Cifán Durón
Comité Tutorial



**MEJORAS PARA EL SENSADO DE VARIABLES Y MODULADO EN ESTACIÓN DE TRABAJO
INVERNADERO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL INTELIGENTE**

AGRADECIMIENTOS.

Especialmente deseo agradecer a mi familia, a mis padres y hermanas por apoyarme para cumplir con esta meta y estar conmigo en las buenas y en las malas durante este reto en mi carrera.

Al M.C. Martin Gerardo Vázquez Rueda por haberme brindado su confianza y apoyo a lo largo de este periodo.

Al CONACYT por el apoyo económico brindado para superarme en el ámbito profesional.

A todos mis profesores, compañeros de posgrado y amigos que me ayudaron y me brindaron apoyo para culminar con este proyecto.

Finalmente como autor del presente trabajo deseo expresar mi agradecimiento a quienes dedican un espacio de su tiempo para la lectura del mismo y la decisión de tomarlo como referencia en investigaciones posteriores.

RESUMEN.

Se desarrolló un control con Inteligencia Artificial para un Invernadero utilizando redes neuronales artificiales multicapa backpropagation. En el Invernadero se analizan las plantas y se obtienen datos por medio de sensores permitiendo automatizar el invernadero controlando la temperatura y el riego.

Mediante la interfaz se pueden observar los datos que monitorea el sistema, el cual proporciona el tamaño de la planta expresado en pixeles, el porcentaje del estado sano y dañado de cada una de las plantas, la temperatura ambiente dentro del invernadero así como la humedad relativa del ambiente. También proporciona la temperatura y humedad que hay en cada una de las plantas.

Se encontró que en el experimento realizado con un rango de humedad de 20% a 21% y una temperatura estable promedio de 30°C las plantas se desarrollan favorablemente. En base a este último experimento realizado con las plantas de albahaca (*Ocimum basilicum*) el cual tuvo una duración de 20 días en donde se probaron las redes neuronales. Teniendo en la RNA para el control de Riego un error del 1.67%, mientras que el error en la RNA del control de Temperatura es mayor siendo del 15%.

Palabras Clave: Control Inteligente, Invernadero, Red Neuronal Artificial, Temperatura, Humedad, Riego.

ABSTRACT.

An Artificial Intelligence control was developed for a greenhouse using multilayer Backpropagation Artificial Neural Networks. In the greenhouse the plants are analyzed and obtained data by sensors allowing to automate the greenhouse and controlling the Temperature and Irrigation.

Through the interface, the user can see the data of the system, the application provides the size of the plant expressed in pixels, the percentage of the healthy and damaged state of each plant, the ambient temperature inside the greenhouse and the relative moisture of the greenhouse environment. It also provides the temperature and moisture in each plant.

It was found that in the experiment performed with a moisture range of 20% to 21% and an average temperature of 30°C the plants develop favorably. Based on this last experiment with basil plants (*Ocimum basilicum*) which lasted 20 days, it is concluded that in the RNA for the Irrigation Control the error rate is 1.67% while the error on the RNA of temperature control is greater being 15% of error rate.

Keywords: Intelligent Control, Greenhouse, Artificial Neural Network, Temperature, Moisture, Irrigation.

MEJORAS PARA EL SENSADO DE VARIABLES Y MODULADO EN ESTACIÓN DE TRABAJO
INVERNADERO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL INTELIGENTE

ÍNDICE GENERAL.

Índice General.....	i
Índice de Figuras.....	v
Índice de Tablas.....	vii
Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1 Estado del Arte.....	1
1.1.1 Agricultura Protegida.....	1
1.1.2 Micro túnel.....	3
1.1.3 Macro túnel.....	3
1.1.4 Malla sombra/ Casa sombra.....	4
1.1.5 Invernadero.....	5
1.1.6 Inteligencia Artificial.....	7
1.1.7 Redes Neuronales.....	8
1.2 Descripción del proyecto.....	10
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1 Objetivo General.....	11
1.3.2 Objetivos Específicos.....	11
1.4 Antecedentes del Proyecto.....	12
1.5 Estructura de la tesis.....	13
Capítulo 2: Estación de Trabajo.....	14
2.1 Sistema Base.....	14
2.1.1 Iluminación.....	15
2.1.2 Ventilación.....	15
2.1.3 Posicionamiento.....	16
2.1.4 Cámara web.....	17
2.2 Sistema de Riego.....	17
2.2.1 Electroválvula 2P025-08.....	18
2.2.2 Bomba sumergible DC30A-1230.....	19

**MEJORAS PARA EL SENSADO DE VARIABLES Y MODULADO EN ESTACIÓN DE TRABAJO
INVERNADERO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL INTELIGENTE**

2.2.3 Ductos y Conexiones	20
2.2.4 Módulo de relevadores para Arduino HL-545	21
2.2.5 Medición de gasto.....	22
2.3 Sistema de Sensores.....	24
2.3.1 Sensor de humedad en suelo YL-69.....	24
2.3.2 Caracterización del sensor de humedad.....	26
2.3.3 Sensor de temperatura infrarrojo MLX90614.....	28
2.3.4 Sensor de humedad relativa HH-9030.....	28
Capítulo 3: Eficiencia del sistema de sensores de humedad.....	30
3.1 Funcionamiento del sistema de sensores de Humedad en suelo.....	31
3.2 Modificaciones realizadas en sistema de sensores de humedad en suelo.....	33
3.2.1 Sistema de Comparadores.....	34
3.2.2 Amplificadores Operacionales.....	34
3.2.3 Principios básicos de los amplificadores operacionales.....	35
3.2.4 Amplificador Operacional en función como comparador.....	36
3.3 Sistema de sensores de humedad en suelo.....	37
3.3.1 Señal de control.....	39
3.4 Vida útil de sensores.....	40
Capítulo 4: Aplicación LabVIEW.....	41
4.1 Plataforma LabVIEW.....	41
4.1.1 Funcionamiento de la Plataforma.....	41
4.1.2 Complementos de LabVIEW.....	42
4.2 Interfaz LabVIEW.....	43
4.2.1 Módulo Base.....	44
4.2.2 Módulo Sensores.....	46
4.2.3 Módulo Riego.....	48
Capítulo 5: Base de Datos para Red Neuronal Artificial.....	50
5.1 Prueba con plantas de Albahaca.....	50
5.1.1 Cultivo.....	51
5.1.2 Propiedades Gastronómicas y Medicinales.....	51

**MEJORAS PARA EL SENSADO DE VARIABLES Y MODULADO EN ESTACIÓN DE TRABAJO
INVERNADERO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL INTELIGENTE**

5.2 Metodología del Experimento	52
5.2.1 Grupo de Estudio 1.....	53
5.2.2 Grupo de Estudio 2.....	57
5.2.3 Grupo de Estudio 3.....	61
5.3 Pruebas con plantas de Orégano	66
5.3.1 Cultivo	66
5.4 Metodología de Experimento 2.....	67
5.3.1 Grupo de Estudio 1.....	67
5.2.2 Grupo de Estudio 2.....	71
5.2.3 Grupo de Estudio 3.....	75
Capítulo 6: Diseño e implementación de red neuronal Artificial	80
6.1 Red Neuronal Artificial	80
6.1.1 Estructura de una Red Neuronal Artificial	81
6.1.2 Backpropagation	82
6.1.3 Estructura y Aprendizaje de la Red Backpropagation.....	82
6.1.4 Pasos para aplicar el Algoritmo de entrenamiento	83
6.2 Red Neuronal Artificial para el control de Temperatura en Invernadero.....	85
6.2.1 Entradas	85
6.2.2 Salidas.....	85
6.2.3 Entrenamiento de la Red	86
6.3 Red Neuronal Artificial para el control de Riego en Invernadero.....	87
6.3.1 Entradas	87
6.3.2 Salidas.....	87
6.3.3 Entrenamiento de la Red	88
6.4 Estructura de redes Neuronales Artificiales de Invernadero.....	89
6.4.1 Control de Temperatura	89
6.4.2 Control de Riego.....	90
6.5 Implementación de control inteligente en estación de trabajo.....	90
6.5.1 Red Neuronal en Sistema de Riego en Invernadero	91
6.5.2 Red Neuronal en Temperatura del Invernadero.....	92
Capítulo 7: Experimentación y Resultados	93
7.1 Experimentación con Plantas de Albahaca	93

**MEJORAS PARA EL SENSADO DE VARIABLES Y MODULADO EN ESTACIÓN DE TRABAJO
INVERNADERO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL INTELIGENTE**

7.2 Metodología y consideraciones previas del experimento	93
7.3 Datos Recopilados del experimento	95
7.4 Interpretación de Datos Recopilados.....	97
7.4.1 Comportamiento de Temperatura en la Prueba.....	97
7.4.2 Comportamiento de Humedad en suelo.....	103
7.4.3 Crecimiento de las Plantas.....	104
7.5 Comprobación de Red Neuronal Artificial (RNA) para Control de Riego.....	106
7.5.1 Simulación de RNA de control de Riego en sección 1.....	106
7.5.2 Simulación de RNA de control de Riego en sección 2.....	108
7.5.3 Simulación de RNA de control de Riego en sección 3.....	111
7.6 Comprobación de Red Neuronal Artificial (RNA) para Control de Temperatura.....	114
Capítulo 8: Conclusiones y Trabajos a Futuro.....	116
8.1 Sistema de sensores de Humedad en suelo.....	116
8.2 Modulación de Estación de Trabajo Invernadero	116
8.3 Control con Inteligencia artificial	118
8.4 Trabajos a Futuro	118
Referencias Bibliográficas	120
Anexo A	122
Anexo B	126
Anexo C	135
Anexo D.....	135
Anexo E.....	137
Anexo F.....	138
Anexo G.....	139
Anexo H.....	140
Anexo I.....	141
Anexo J.....	142
Anexo K.....	143

MEJORAS PARA EL SENSADO DE VARIABLES Y MODULADO EN ESTACIÓN DE TRABAJO
INVERNADERO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL INTELIGENTE

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.1 Estructuras de Agricultura Protegida	2
Figura 1.2 Micro túnel para producción de plántulas de hortalizas en Ahuacatlán, Nayarit.....	3
Figura 1.3 Macro túnel con producción de fresas.....	4
Figura 1.4 Casa sombra con producción de árboles frutales (durazno) en Ahuacatlán, Nayarit.....	5
Figura 1.5 Invernaderos con cubierta plástica y malla sombra en la parte superior en Culiacán Sinaloa	5
Figura 1.6 Modelo de neurona artificial.....	8
Figura 2.1 Estructura de la Estación de Trabajo.....	14
Figura 2.2 Ventilación e iluminación del invernadero	15
Figura 2.3 Posicionador Mecánico	16
Figura 2.4 Cámara web lifeCam HD-6000	17
Figura 2.5 Secciones de Riego	18
Figura 2.6 Electroválvula 2P025-08.....	18
Figura 2.7 Dimensiones de la Electroválvula.....	19
Figura 2.8 Bomba sumergible	19
Figura 2.9 Módulo de relevadores	21
Figura 2.10 Conexión de válvulas y bomba con módulo y arduino.....	21
Figura 2.11 Posición del sensor de humedad YL-69.....	24
Figura 2.12 Sensor YL-69 y Módulo YL-38	25
Figura 2.13 Configuración del módulo YL-38	25
Figura 2.14 Comportamiento de sensor de humedad YL-69	27
Figura 2.15 Sensor de Temperatura MLX90614.....	28
Figura 2.16 Sensor de humedad relativa HIH-4030	29
Figura 2.17 Conexión arduino-sensores.....	29
Figura 3.1 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de sensores de humedad	32
Figura 3.2 Esquema de representación de un Amplificador Operacional	35
Figura 3.3 Función de transferencia de un AO.....	36

**MEJORAS PARA EL SENSADO DE VARIABLES Y MODULADO EN ESTACIÓN DE TRABAJO
INVERNADERO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL INTELIGENTE**

Figura 3.4 Configuración del Amplificador Operacional como comparador.....	36
Figura 3.5 Funcionamiento de comparador.....	37
Figura 3.6 Grafica del comportamiento del Amplificador Operacional.....	38
Figura 3.7 Configuración de pines de Amplificador LM662CN.....	39
Figura 3.8 Comparación de sensor de Humedad en suelo al final de ciclo de vida útil.....	40
Figura 4.1 Panel Frontal y Diagrama de bloque de VI.....	42
Figura 4.2 Pestaña de Control en Interfaz LabVIEW.....	44
Figura 4.3 Pestaña de Planta en Interfaz LabVIEW.....	46
Figura 4.4 Pestaña de control en sistema sensor LabVIEW.....	46
Figura 4.5 Pestaña Lectura en interfaz sensor LabVIEW.....	47
Figura 4.6 Pestaña Riego en Interfaz LabVIEW.....	48
Figura 4.7 Pestaña sensor humedad en interfaz LabVIEW.....	49
Figura 6.1 Regiones generadas por perceptrón multicapa.....	84
Figura 6.2 Esquema de estructura de RNA para control de Temperatura.....	89
Figura 6.3 Esquema de estructura de RNA para control de Riego.....	90
Figura 7.1 Temperatura Planta 1.....	99
Figura 7.2 Temperatura Planta 2.....	100
Figura 7.3 Temperatura Planta 3.....	100
Figura 7.4 Temperatura Planta 4.....	101
Figura 7.5 Temperatura Planta 5.....	101
Figura 7.6 Temperatura Planta 6.....	102
Figura 7.7 Promedio de Temperaturas.....	102
Figura 7.8 Comportamiento Humedad en Suelo Plantas.....	103
Figura 7.9 Tamaño de Plantas 1 y 6.....	104
Figura 7.10 Tamaño de Plantas 2 y 5.....	104
Figura 7.11 Tamaño de Plantas 3 y 4.....	105
Figura 7.12 Promedio de porcentaje de buen estado de las plantas.....	105

MEJORAS PARA EL SENSADO DE VARIABLES Y MODULADO EN ESTACIÓN DE TRABAJO
INVERNADERO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL INTELIGENTE

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2.1 Especificaciones de la electroválvula 2P025-28	19
Tabla 2.2 Especificaciones de bomba sumergible.....	20
Tabla 2.3 Cantidad en mililitros por planta para 30 segundos.....	22
Tabla 2.4 Cantidad en mililitros por planta para 60 segundos.....	23
Tabla 2.5 Error de cantidad de agua por planta.....	23
Tabla 2.6 Especificaciones de sensor YL-69/YL-38	25
Tabla 2.7 Especificaciones del sensor MLX90614	28
Tabla 3.1 Asignación de variables de control a sensores de humedad en suelo	31
Tabla 3.2 Características de Amplificador Operacional Real	35
Tabla 3.3 Especificaciones del Amplificador Operacional Dual LM662CN.....	38
Tabla 5.1 Clasificación científica de la Albahaca	50
Tabla 5.2 Distribución de grupos para plantas de albahaca	52
Tabla 5.3 Horario de toma de muestras durante el análisis	53
Tabla 5.4 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 1.....	54
Tabla 5.5 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 6.....	56
Tabla 5.6 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 2.....	58
Tabla 5.7 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 5.....	60
Tabla 5.8 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 3.....	62
Tabla 5.9 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 4.....	64
Tabla 5.10 Clasificación científica del Orégano.....	66
Tabla 5.11 Horario de toma de muestras durante análisis 2	67
Tabla 5.12 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 1 Experimento 2	68
Tabla 5.13 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 6 Experimento 2	70
Tabla 5.14 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 2 Experimento 2	72
Tabla 5.15 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 5 Experimento 2	74

**MEJORAS PARA EL SENSADO DE VARIABLES Y MODULADO EN ESTACIÓN DE TRABAJO
INVERNADERO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL INTELIGENTE**

Tabla 5.16 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 3 Experimento 2	76
Tabla 5.17 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 4 Experimento 2	78
Tabla 6.1 Relación Entrada-Variable en RNA para control de Temperatura	85
Tabla 6.2 Salidas Simuladas de la RNA para control de Temperatura	87
Tabla 6.3 Salidas Simuladas de la RNA para control de Riego	89
Tabla 7.1 Datos Recopilados Planta 1 Experimento 3.....	96
Tabla 7.2 Respuesta de la RNA para el Riego de la Sección 1 del Invernadero	106
Tabla 7.3 Respuesta de la RNA para el Riego de la Sección 2 del Invernadero	109
Tabla 7.4 Respuesta de la RNA para el Riego de la Sección 3 del Invernadero	111
Tabla 7.5 Respuesta de la RNA para la Temperatura del Invernadero	114

Capítulo 1

Introducción.

1.1 Estado del Arte.

1.1.1 Agricultura Protegida.

El desarrollo de la agricultura ha derivado el uso de herramientas, actividades, materiales y estructuras que se emplean para la protección de los cultivos, llevándonos al uso de lo que es conocido como la agricultura protegida.

La agricultura protegida busca principalmente evitar las restricciones que el medio ambiente impone al desarrollo de las plantas cultivadas y se puede definir como "toda estructura cerrada, cubierta por materiales transparentes o semitransparentes, que permite obtener condiciones artificiales de microclima para el cultivo de plantas y/o flores, mediante la cual se tiene el propósito de alcanzar un adecuado crecimiento vegetal, aumentar rendimientos, mejorar la calidad y obtener excelentes cosechas" [1].

La agricultura protegida en México está en amplio crecimiento y desarrollo. De acuerdo con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en el año 2000 solo existían 790 hectáreas de agricultura protegida en el país, con un crecimiento anual de 1,500 hectáreas para el 2015 el mismo organismo público un total de 23, 521 hectáreas lo que representa un crecimiento de 22, 461 hectáreas en solo 15 años. Según datos de la Asociación Mexicana de Horticultura Protegida (AMHPAC), hay un total de 25,814 instalaciones activas de agricultura protegida [2].

Coahuila y en específico la región lagunera crecen en adopción de la agricultura protegida debido a las condiciones climatológicas y beneficios que atrae en producción y cuidado de los cultivos, siendo los invernaderos las estructuras predominantes.

La Comarca Lagunera cuenta con una extensión territorial de 500,000 hectáreas y está situada en la parte suroeste del estado de Coahuila y noroeste del estado de Durango, la cual se caracteriza por pocas precipitaciones de lluvia, limitados recursos hídricos y su clima seco, caluroso en verano y frío en invierno, en donde las temperaturas siempre cambiantes y extremas llegan a alcanzar los 0°C a 45°C, dependiendo de la estación del año, para combatir estos retos ambientales algunos productores han optado por la alternativa del uso de la agricultura protegida. La Región Lagunera

del estado de Coahuila es conocida por actividades específicas de agricultura en donde cuenta con la mayor superficie de riego en el estado en donde sobresalen los cultivos de forrajes, melón, nuez, algodón y maíz: así como la producción de hortalizas, como tomate y chile en invernaderos y malla sombra [3].

Coahuila representa el 1.6% de hectáreas en agricultura protegida a nivel nacional, con el 0.8% de instalaciones activas. Siendo la comarca lagunera de Coahuila la región del estado con la mayor superficie que hace uso de la agricultura protegida, representando 81% de hectáreas cubiertas y el 37.14% de instalaciones en el estado, de las instalaciones que se encuentran en la comarca lagunera el invernadero es el tipo de agricultura protegida más utilizado con un 66.12% [1].

Las instalaciones para la protección de cultivos pueden ser muy diversas entre sí por las características y complejidad de sus estructuras, así como por la mayor o menor capacidad de control ambiental. Una primera clasificación de los diversos tipos de protección puede hacerse distinguiendo entre micro-túneles, macro-túneles, invernaderos y casas sombra/malla sombra. En la figura 1.1 se muestra el porcentaje de los diferentes tipos de agricultura protegida.

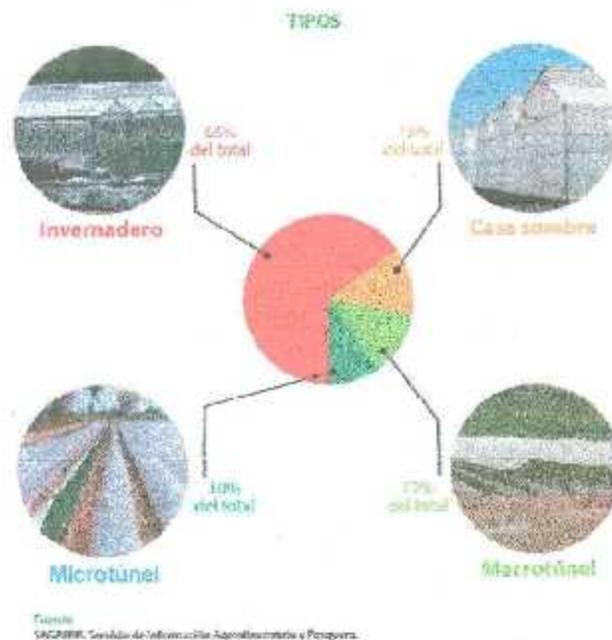


Figura 1.1 Estructuras de Agricultura Protegida [4].

1.1.2 Micro-túnel.

Son estructuras pequeñas construidas con arcos sobre los que se colocan cubiertas de plástico. Por sus reducidas dimensiones no es posible que las personas trabajen en su interior por lo que las labores se realizan desde el exterior de las mismas. La función de los túneles es minimizar los efectos perjudiciales de las bajas temperaturas, sin recurrir a estructuras costosas. Los materiales más empleados para la construcción son varillas, alambazón, alambre y madera. En la cubierta se emplean plástico, malla sombra, cubiertas térmicas o cubiertas de tela no tejida como el agribon. Las estructuras pueden ser de forma semicircular triangular, elíptica o triangular. Por lo general, son de menos de 1.5 m de altura y de 90 a 150 cm de anchura, con longitudes variables de hasta 100 m [5]. En la figura 1.2 se observa un micro túnel.



Figura 1.2 Micro túnel para producción de plántulas de hortalizas en Ahuacatlán, Nayarit [5].

1.1.3 Macro-túnel.

Son estructuras que no tienen las características apropiadas en ancho y altura al canal para ser consideradas invernaderos pero ya permiten que las labores se realicen en el interior. Tienen de 4 a 5 m de ancho y 2 a 3 m de altura en la parte más elevada, con longitudes variables que para facilitar su manejo se recomienda no sean mayores a 60 m. Tienen como ventaja su fácil construcción y como principal desventaja, con respecto a los invernaderos es que retienen menos calor en la noche, debido a su poco volumen. Otra desventaja es su elevada temperatura durante el día por carecer de ventilación natural. Por lo general, en la construcción de estos tipos de estructuras se emplean perfiles tubulares, redondos, cuadrados o rectangulares y se cubren con polietileno o mallas sombra [5].

En la figura 1.3 se observa un macro-túnel como ejemplo de la agricultura protegida.



Figura 1.5 Macro túnel con producción de fresas [5].

1.1.4 Malla sombra/ Casa sombra.

Las casa sombra y la malla sombra son dos elementos que se emplean para disminuir la cantidad de energía radiante que llega a los cultivos. Las mallas se utilizan con el objetivo de impedir la entrada de insectos y reducir el uso de pesticidas. Las mallas empleadas para cubrir completamente estructuras de invernaderos o estructuras tipo cobertizos, conocidas comercialmente como casas sombra, consisten en una tela tejida de plásticos con entramados de cuadros de diferentes tamaños que sirve como cubierta protectora que regula la cantidad de luz que llega a las plantas y proteger los efectos del granizo, insectos, aves y roedores. Mediante el empleo de mallas se puede reducir entre 10 a 95% del total de la radiación solar. La cantidad de luz que se deja pasar al interior depende de la especie que se tenga en cultivo. Con las mallas no se evita el paso del agua de lluvia, además son permeables al viento. Los materiales más comunes para la fabricación de mallas sombras son el polietileno y polipropileno, también se empieza a utilizar el poliéster [5]. En la figura 1.4 se muestra un ejemplo de una casa sombra.



Figura 1.4 Casa sombra con producción de árboles frutales (durazno) en Ahuacatlán, Nayarit [5].

1.1.5 Invernadero.

Es una construcción agrícola con una cubierta translúcida que tiene por objetivo reproducir o simular condiciones climáticas adecuadas para el crecimiento y desarrollo de plantas de cultivo establecidas en su interior. Están contruidos con diversos materiales, cuya altura es mayor de dos metros en la parte útil, con anchos mayores de seis metros y largos variables. Uniendo varias naves o módulos se obtienen grandes dimensiones de superficies cubiertas, conocidas como invernaderos en batería. La finalidad de los invernaderos es proteger cultivos de los factores y elementos adversos a su desarrollo; como son altas y bajas temperaturas, granizadas, vientos, lluvias torrenciales, cantidad y calidad de energía luminosa. Estos factores y elementos pueden ser modificados y controlados eficientemente mediante el diseño, equipamiento y manejo apropiado de cada invernadero, considerando las condiciones climáticas locales y los requerimientos de cada especie agrícola a cultivar dentro de ellos [5]. En la figura 1.5 se observa la estructura de invernaderos.



Figura 1.5 Invernaderos con cubierta plástica y malla sombra en la parte superior en Culiacán, Sinaloa [5].

Con un crecimiento promedio anual del 12% la agricultura protegida mexicana cuenta con una infraestructura instalada cuyo valor es mayor a los 3,500 millones de dólares [2]. De las estructuras empleadas para proteger cultivos, los invernaderos permiten modificar y controlar de forma más eficiente los principales factores ambientales que intervienen en el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales. Los invernaderos y casa sombra se convierten en una de las economías más pujantes del sector primario. Siendo el invernadero el elemento cualitativamente más importante del sistema de producción en agricultura protegida, debido a que de él depende en gran medida la capacidad productiva [6].

En relación al nivel de tecnificación de invernaderos se clasifican en función de lo siguiente:

- 1) Tecnología baja: es 100% dependiente del ambiente, al hacer uso de tecnologías simples similares a las utilizadas en cultivo a intemperie.
- 2) Tecnología media: corresponde a estructuras modulares o en batería que están semiclimatizadas, con riegos programados, y pueden ser en suelo o hidroponía. Por lo general la productividad y calidad es mayor que en el nivel anterior.
- 3) Tecnología alta: en este nivel se incluyen instalaciones que cuentan con control climático automatizado (mayor independencia del clima externo), riegos, computarizados y de precisión, inyecciones de CO₂, para ello cuentan con sensores y dispositivos que operan los sistemas de riego y ventilación, pantallas térmicas para el control de la iluminación y cultivo en sustratos [4].

El uso de invernaderos de alta tecnología actualmente se justifica mediante la corriente mundial de calidad en la que se vive. Los mercados son cada vez más exigentes en calidad, inocuidad, presentación y certificación del contenido [7].

Los invernaderos modernos son acondicionados con mecanismos y equipos necesarios para controlar temperatura, luminosidad, humedad ambiental y del sustrato, ventilación, aireación, aporte de CO₂, riegos y fertilización.

El desarrollo de tecnologías aplicadas a invernaderos fomenta el aumento de calidad y conocimiento respecto a los cultivos. Si el monitoreo y análisis se realizan de forma automática crea una herramienta importante a incluir a las características de un invernadero de alta tecnología, que permitirá no sólo cultivar para producción sino que también se obtenga la capacidad de realizar

análisis de cultivos, mejorando la toma de decisiones y generando una comprensión mayor del desarrollo de las plantas y cultivos.

El presente trabajo se centra en el desarrollo de tecnologías aplicadas a invernaderos para el análisis de cultivos que permitan la obtención de conocimiento. Desarrollando una estación de trabajo automática que permitan el control de un invernadero de pruebas mediante una programación de inteligencia artificial que por medio de la obtención de variables realice una toma de decisiones eficaces para el manejo de las condiciones del invernadero y así producir un cultivo de mejor calidad.

La tecnología ha avanzado enormemente en las últimas décadas, hasta la fecha se han desarrollado muchas aplicaciones que utilizan algunos de los métodos o algoritmos diseñados en el área de la inteligencia artificial. Cuyo objetivo se centra en el desarrollo de sistemas de procesamientos de datos que sean capaces de imitar a la inteligencia humana realizando tareas que requieran aprendizaje, solución de problemas y decisiones.

1.1.6 Inteligencia Artificial.

La inteligencia artificial nace en una reunión celebrada en el verano de 1956 en Dartmouth (Estados Unidos) en la que participaron los que más tarde han sido los investigadores principales del área. Existen muchas definiciones de lo que es la inteligencia artificial. Sin embargo, todas ellas coinciden en la necesidad de validar el trabajo mediante programas.

1. *Actuar como las personas.* Esta es la definición de McCarthy, donde el modelo a seguir para la evaluación de los programas corresponde al comportamiento humano.
2. *Razonar como las personas.* Lo importante es cómo se realiza el razonamiento y no el resultado de este razonamiento. La propuesta aquí es desarrollar sistemas que razonen del mismo modo que las personas.
3. *Razonar racionalmente.* En este caso, la definición también se focaliza en el razonamiento, pero aquí se parte de la premisa de que existe una forma racional de razonar. La lógica permite la formalización del razonamiento y se utiliza para este objetivo.
4. *Actuar racionalmente.* De nuevo el objetivo son los resultados, pero ahora evaluados de forma objetiva.

Además de las definiciones ya mencionadas, hay aún otra clasificación de la inteligencia artificial según cuáles son los objetivos finales de la investigación en este campo. Son la inteligencia artificial fuerte y la débil [8].

1.1.7 Redes Neuronales.

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) han tenido en los últimos años un incremento notable en su desarrollo, teniendo aplicaciones en temas tan diversos como medicina, biología, ingeniería, física, etc.

Las redes neuronales son programas de la inteligencia artificial capaces de simular algunas de las funciones de aprendizaje del ser humano. Una red neuronal obtiene experiencia analizando automática y sistemáticamente los datos para determinar reglas de comportamiento; con base en ellas, puede realizar predicciones sobre nuevos casos. Estas técnicas se aplican a problemas de clasificación y series de tiempo e identifican conexiones con cosas que otras técnicas no pueden, porque utilizan relaciones lineales y no lineales [9].

Estas redes surgieron a partir de las ideas en la publicación de McCulloch y Pitts, donde se postula que las neuronas funcionan como dispositivos booleanos. Este postulado fue criticado como teoría biológica, pero permitió generar una neurona como un modelo lineal seguido de una función activación booleana.

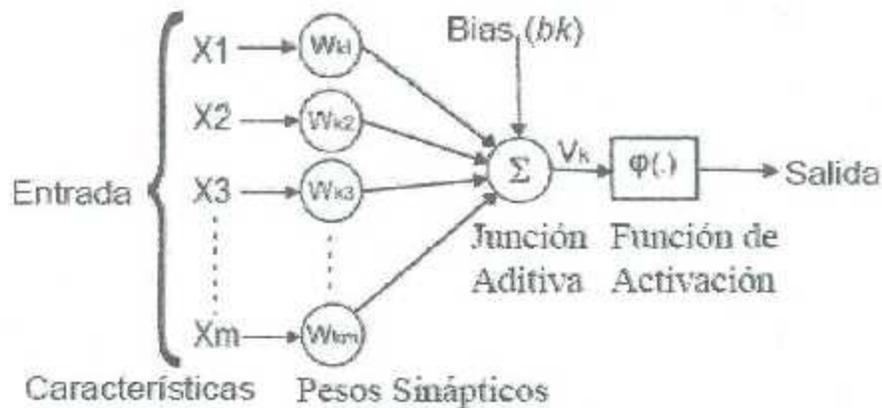


Figura 1.6 Modelo de neurona artificial [32].

Aquí, la función lineal representa la sinapsis (unión entre neuronas) y la agregación de la información, mientras que la función no lineal representa el procesamiento que hace la neurona. Esto resultó en un modelo que se ilustra en la Figura 1.6, donde la función lineal se ve en la ecuación (1.1) [10].

$$r = f\left(\sum_{i=1}^n x_i w_i + b\right) \quad E_c, (1.1)$$

Donde x_i son los datos de entrada, w_i son los pesos sinápticos y b es un factor de polarización, el resultado de r es procesado de tal manera que a la salida de un valor de uno o cero.

El proceso de aprendizaje consiste en hallar los pesos que codifican los conocimientos. Una regla de aprendizaje hace variar el valor de los pesos de una red hasta que estos adoptan un valor constante, cuando esto ocurre se dice que la red ya "ha aprendido" [11].

Al conectar varias neuronas de un determinado modo, se consigue una red. Existen variaciones de topologías, que se clasifican según tres criterios:

- 1) Número de niveles o capas.
- 2) Número de neuronas por nivel.
- 3) Formas de conexión.

El algoritmo backpropagation es el método de aprendizaje más frecuentemente utilizado en el entrenamiento de las redes. Este algoritmo de aprendizaje es una generalización de la regla de corrección de error de Widrow-Hoff. El error es la diferencia entre la salida que proporciona la RNA y la salida que se pretende obtener. Los diferentes pesos de las conexiones de las neuronas son corregidos mediante iteraciones que pretenden minimizar el error.

El perceptrón fue el primer modelo de red neuronal, el cual utiliza la neurona artificial de la Figura 1.6, además de que tenía su arquitectura en tres capas y un algoritmo de aprendizaje. Este fue probado como un detector de caracteres ópticos, por lo que el campo de redes neuronales se inició como una forma de procesar imágenes [10].

1.2 Descripción del proyecto.

La estación de trabajo consta de una estructura de madera y como paredes esta sellado con hule nylon transparente, contando solo con los ventiladores para introducir y extraer aire. Emulando un invernadero en la cual se monitorea y controla el desarrollo de las plantas. Para esto se cuenta con diversos sistemas electrónicos, informáticos y estructurales, los cuales permiten procesamiento de imágenes, lecturas de sensores, controles para temperatura y riego. La estructura del invernadero está diseñada para contener 6 plantas.

Se cuenta con tres sistemas diferentes:

- Sistema base
- Sistema sensores
- Sistema riego

Los sistemas están programados en el programa labview para su interfaz y parte del control y cuentan con programas de Matlab y microcontroladores arduino para los elementos matemáticos y electrónicos.

El sistema base engloba el posicionador mecánico, el cual se encarga de la obtención de imágenes de las plantas mediante una cámara web, además del control de la iluminación y ventilación del invernadero.

El sistema sensores engloba el sensor infrarrojo para la temperatura del ambiente dentro del invernadero y la temperatura objeto, es decir de cada una de las plantas, así como los seis sensores de humedad, cada uno correspondiente a una planta.

El sistema de riego es el encargado de suministrar determinadas cantidades de agua a las plantas. El módulo cuenta con tres válvulas solenoides 2/2, ductos, bomba, y contenedor de agua.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

Aplicar un control utilizando inteligencia artificial para monitorear el estado de las plantas y generar condiciones óptimas para un crecimiento eficaz.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Modificar el sistema de sensores de humedad para una mayor durabilidad de uso.
- Modular el programa de labview creando tres interfaces gráficas para cada una de las áreas correspondientes (posicionamiento y procesamiento de imagen, sensores y riego).
- Realizar análisis de distintos tipos de plantas, monitorear los sensores correspondientes y recabar los datos.
- Desarrollar un control automático utilizando redes neuronales utilizando los distintos tipos de plantas y sus datos recabados.
- Implementar el control inteligente en las áreas correspondientes de la estación de trabajo.

1.4 Antecedentes del proyecto.

Para la realización de este proyecto se dio continuidad a la versión previa de la estación de trabajo invernadero. De la versión previa se retomó la estructura de 120 cm de largo, 90 cm de alto y 80 cm de ancho, construida de madera y cubierta de plástico transparente.

Dentro de la estructura se encuentra un posicionador mecánico de tres ejes, construido de aluminio, con tres motores a pasos, límites de carrera y una cámara web, cuenta también con 6 focos de luz blanca, 4 ventiladores de 12 V y los sensores correspondientes de temperatura y humedad en suelo, así como con un sistema de riego. Controlados por 3 Arduino Mega 2650.

La versión previa se controlaba con una interfaz gráfica realizada en Labview controlada por un usuario mediante una PC. En donde se podían monitorear datos de las plantas pero todo el control es Manual, sin importar los datos de los sensores y el estado de las plantas, todo el control recaía en el usuario.

La estructura de madera, el posicionador mecánico, la implementación del sensor de humedad relativa, la ventilación e iluminación, el programa para la placa Arduino Mega, el montaje de la cámara web en la parte móvil del posicionador mecánico y el algoritmo de procesamiento de imagen en Matlab se explican ampliamente en la tesis llamada "Estación de Trabajo Automática para el Monitoreo de Plantas", elaborada por Yemil Avilés de León [12].

La implementación de sensores de humedad en Suelo, el Sistema de Riego y sus respectivas placas de Arduino Mega, así como los algoritmos para la caracterización de sensores de humedad y gasto de riego y aplicación desarrollada en Android para interfaz remota se explican detalladamente en la tesis "Aplicación para control vía remota, integración de sensores y sistema de riego a invernadero de pruebas automático para el monitoreo de plantas", elaborada por Jorge Iván Galicia Reyes [15].

1.5 Estructura de la tesis.

En el capítulo 2 se muestra la estructura y los sistemas que componen a la estación de trabajo invernadero, presentando así los componentes mecánicos y electrónicos que lo conforman.

El capítulo 3 muestra el funcionamiento del sistema de sensores de humedad en suelo así como los cambios realizados para obtener una mejor eficiencia de estos.

En el capítulo 4 se muestra la aplicación desarrollada en LABVIEW la cual monitorea al invernadero y contiene la interfaz para el usuario.

El capítulo 5 trata sobre la base de datos recolectada para la creación de una red neuronal.

En el capítulo 6 se muestra el diseño de la red neuronal para el control del invernadero, la estructura e implementación del control en los módulos de la estación de trabajo para así obtener un invernadero controlado por inteligencia artificial.

El capítulo 7 muestra las pruebas realizadas para comprobación de red neuronal artificial y los resultados obtenidos del proyecto.

En la sección de conclusiones se presentan las conclusiones del proyecto y se habla sobre posibles trabajos a futuro.

La sección de anexos contiene los códigos desarrollados en arduino, LABVIEW y Matlab.

CAPÍTULO 2

Estación de trabajo.

La estación de trabajo es donde se realizan las pruebas de las plantas del invernadero bajo condiciones controladas y el análisis con la ayuda de los sistemas que componen el invernadero.

En la parte estructural existe una sola estación de trabajo, es decir un solo invernadero y hablando electrónicamente se compone de tres sistemas o módulos. Los cuales son el Sistema base que consta del posicionamiento, iluminación, ventilación y el procesamiento de las imágenes obtenidas de las plantas. El sistema de riego y finalmente el sistema de sensores el cual incluye los sensores de temperatura y humedad. La estructura del invernadero se muestra en la figura 2.1.

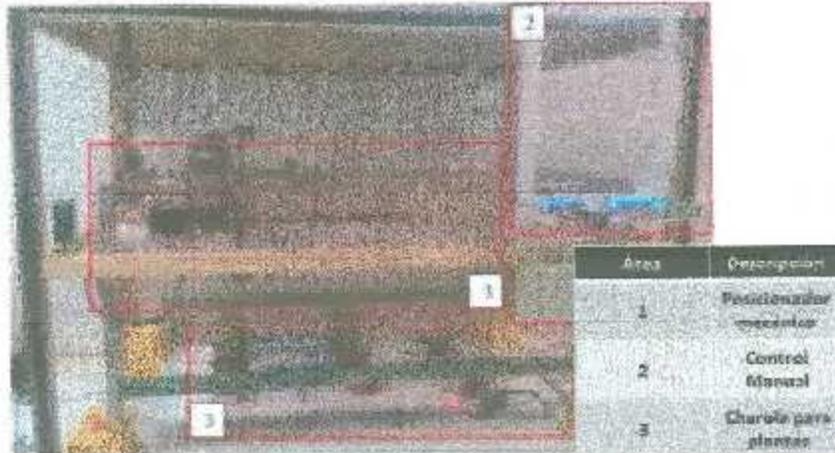


Figura 2.1 Estructura de la Estación de Trabajo.

2.1 Sistema Base.

El sistema base se encarga de la iluminación del invernadero, de la ventilación, del posicionamiento por medio de un posicionador mecánico de 3 ejes así como de la obtención y procesamiento de las imágenes de las plantas.

2.1.1 Iluminación.

La iluminación cuenta con 6 focos de luz blanca de 23 W, los cuales se encuentran uno en cada lado del invernadero y dos en la parte superior. Cuyo propósito es dar luz a las plantas así como mejorar la calidad de la imagen para el procesamiento.

Los focos están conectados a un relevador de 12V y a un circuito ON-OFF para su control con arduino mega y labview.

2.1.2 Ventilación.

La ventilación del invernadero consta de 4 ventiladores de 12 V, dos se encuentran colocados en el lateral izquierdo de la estación de trabajo, mientras que los otros dos están en el lateral derecho de la estación de trabajo.

Los ventiladores del lateral derecho tienen la función de ventilar la estación y los ventiladores del lateral izquierdo tienen la función de extraer el aire de la estación de trabajo para así obtener una ventilación adecuada.

En la Figura 2.2 se muestra la iluminación y ventilación del módulo base.

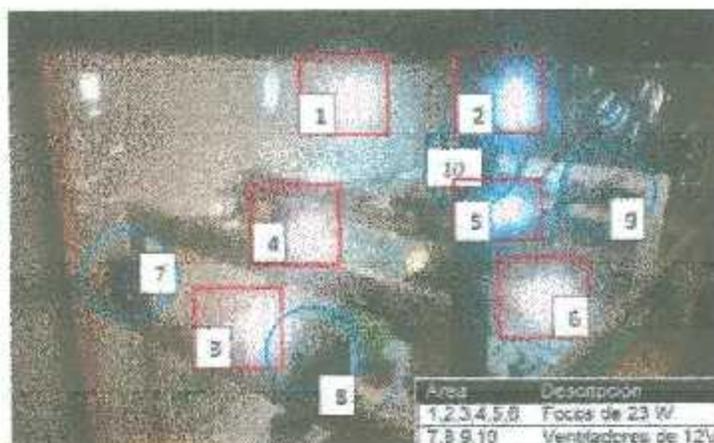


Figura 2.2 Ventilación e Iluminación del invernadero.

2.1.3 Posicionamiento.

El posicionamiento mecánico consta de 3 ejes (x,y,z) el cual tiene la función de trasladar la cámara web hacia la planta correspondiente, es una estructura de aluminio en la cual se encuentran montados sus sistemas de transmisión y sus 3 motores a pasos. La distribución de los motores se muestra en la figura 2.3.

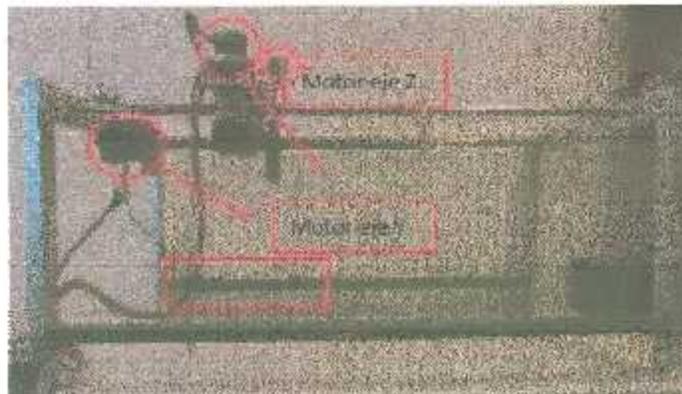


Figura 2.3 Posicionador Mecánico.

Los tres motores a pasos montados en la estructura del posicionador mecánico son unipolares y utilizan la secuencia de medio paso con el fin de tener una mejor precisión en el movimiento y posicionamiento deseado [12].

El motor del eje X se alimenta con 12 V y trabaja a una frecuencia de 350 Hz. Cuenta con un sistema de transmisión de movimiento basado en un tornillo sin fin a lo largo del eje [12].

El motor del eje Y se alimenta con 5 V y trabaja a una frecuencia de 250 Hz. Cuenta con un sistema de transmisión de movimiento por correa (banda dentada) con sus respectivos engranes como poleas [12].

El motor del eje Z se alimenta con 12 V y trabaja a una frecuencia de 350 Hz. Cuenta con un sistema de transmisión de movimiento basado en engranes y tornillo sin fin [12].

2.1.4 Cámara web.

La cámara web se traslada por medio del posicionador mecánico hacia el área requerida para capturar la imagen de la planta indicada. Se utiliza la cámara LifeCam HD-6000.



Figura 2.4 Cámara web LifeCam HD-6000.

La cámara se muestra en la figura 2.4 es desarrollada por Microsoft y cuenta con conexión USB 2.0, sensor tipo CMOS, resoluciones hasta 1280x800 pixeles, captura 30 imágenes por segundo y cuenta con una profundidad de color de 24 bits.

2.2 Sistema de Riego.

El sistema se diseñó para suministrar agua a un total de seis plantas, divididas en tres secciones de riego. La cantidad de agua a suministrar es independiente para cada sección de riego. Este sistema está conformado por 6 electroválvulas 2/2 con solenoide simple, una bomba sumergible, ductos y conexiones, un módulo de relevadores para arduino, la placa arduino Mega y su programación es mediante arduino y su control mediante labview. En la figura 2.5 se observan las tres secciones de riego y las plantas que las conforman.

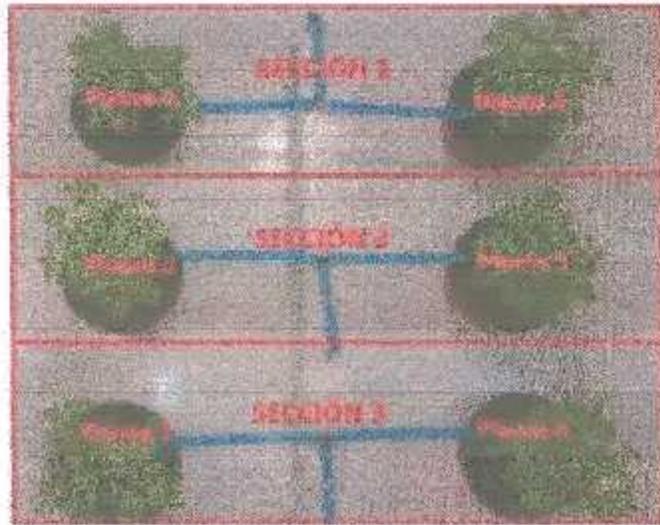


Figura 2.5 Secciones de riego.

2.2.1 Electroválvula 2P025-08.

Las electroválvulas 2P025-08 son del tipo 2/2, es decir, dos vías dos direcciones (posiciones) y se utilizan para controlar el paso del agua en cada sección de riego. Cuentan con solenoide simple normalmente cerrado que conmuta con 12 volts de corriente directa. En la figura 2.6 se muestra la electroválvula utilizada.



Figura 2.6 Electroválvula 2P025-08.

Tabla 2.1 Especificaciones de la electroválvula 2P025-08.

Electroválvula 2P025-08	
Fluido	Aira, Agua, Aceite, Gas
Puertos	¼" NPT
Presión de Trabajo	0 a 7 bar
Tipo de acción	Directa
Tipo	Normalmente cerrada
Voltaje	12 VCD
Corriente	500 mA
Orificio	2.5 mm
Viscosidad del fluido	20 CST

En la Tabla 2.1 se muestran las especificaciones de la electroválvula y en la figura 2.7 se muestran las dimensiones de las electroválvulas 2P025-08.

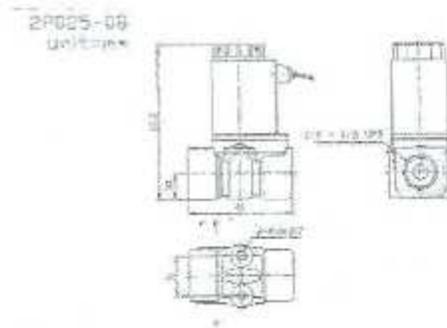


Figura 2.7 Dimensiones de la Electroválvula.

2.2.2 Bomba sumergible DC30A-1230.

La bomba utilizada es una mini bomba sumergible de 12 VDC para agua, con un gasto de 3.6 litros por minuto. En la figura 2.8 se muestra la bomba sumergible.



Figura 2.8 bomba sumergible.

En la tabla 2.2 se muestran sus características [14].

Tabla 2.2 Especificaciones de bomba sumergible.

Bomba DC30A-1230	
Voltaje	12 VCD
Corriente	350 mA
Gasto	3.6 L/min
Diámetro externo tubo de salida	8 mm
Altura máxima	2 metros
Vida útil	20000 horas
Temperatura de trabajo	<50° C
Peso	141 g
Ruido	35dB

2.2.3 Ductos y Conexiones.

Los ductos y conexiones se utilizan para suministrar y distribuir el agua en las secciones del invernadero. Se utilizó aproximadamente 5.5 metros de manguera neumática de 8 mm, FESTO PUN -8 X 1.25.

Se utilizaron 5 conectores de tipo T y 20 conectores tipo codo, especiales para sistemas de riego pequeños, de la marca Orbit Dripmaster. Estos conectores de 1/4" (6mm), entran a presión en la manguera neumática.

Para conectar la estructura creada (ductos y vías) con las electroválvulas se utilizaron conexiones neumáticas, las cuales en un extremo cuentan con una conexión del tipo NPT macho recto roscado de 1/4 de pulgada, los cuales se acoplan en los puertos de las electroválvulas, mientras que en el otro extremo tiene una conexión rápida para manguera de 8 milímetros. Por cada electroválvula se utilizan dos conexiones de este tipo, por lo tanto se utilizaron 6 conexiones rápidas [15].

2.2.4 Módulo de relevadores para Arduino HL-54S.

El módulo separa las señales de control provenientes de la tarjeta Arduino Mega, de la parte de potencia necesaria para el funcionamiento de las electroválvulas y bomba, las cuales se alimentan con una fuente externa de 12 VDC. En la figura 2.9 se muestra el modulo utilizado [15].

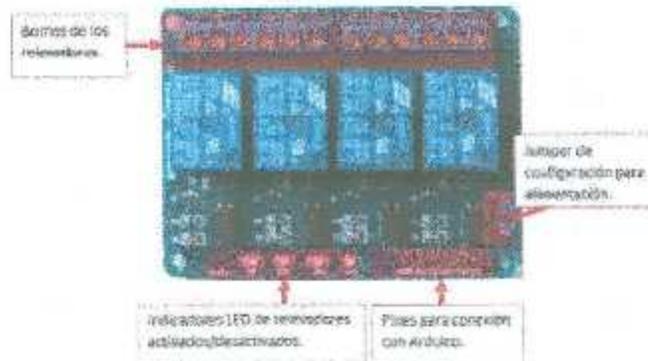


Figura 2.9 Módulo de relevadores [15].

El módulo cuenta con seis pines para la conexión con la tarjeta de desarrollo Arduino. GND y VCC son de alimentación, los cuales se conectan a los pines GND y 5 V de la Arduino. Los otros cuatro pines de control IN1, IN2, IN3, IN4 se conectan a cuatro pines digitales de la Arduino.

En la figura 2.10 se muestra el circuito de conexión del módulo con la tarjeta Arduino y los elementos actuadores.

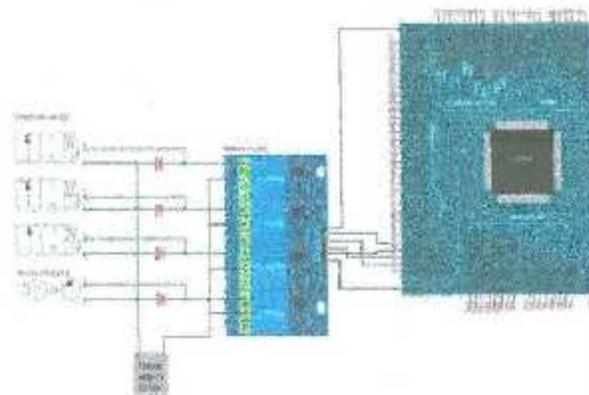


Figura 2.10 Conexión de válvulas y bomba con módulo y arduino [15].

2.2.5 Medición de gasto.

Para medir la cantidad de agua se utilizó una probeta graduada de 100 ml, con divisiones de 1 ml de precisión. El agua se recolectó mientras el proceso de regado se ejecutaba, posteriormente con la probeta se midió la cantidad de agua. El tiempo en el cual las electroválvulas y la bomba se encontraban activas se estableció por medio de una interfaz desarrollada en Labview alojada y ejecutada en la PC, la aplicación Labview se comunica con la Arduino Mega 2560 que controla al sistema de riego.

Se tomaron muestras para cada planta con tiempos de 30 y 60 segundos de activación por electroválvula, con el fin de conocer la cantidad de agua suministrada en estos tiempos por planta y por sección de riego. Para conocer la cantidad de agua por sección se sumaron las cantidades de agua de las dos plantas que conforman a la sección de riego.

De los datos obtenidos se obtuvo el promedio y la desviación estándar que se muestran las Tablas 2.3 y 2.4, para posteriormente obtener el error existente de agua suministrada en cada planta, el cual se muestra en la Tabla 2.5 [15].

Tabla 2.3 Cantidad en mililitros por planta para 30 segundos.

	Sección 1		Sección 2		Sección 3	
Tiempo (s)	Planta 1 (ml)	Planta 2 (ml)	Planta 3 (ml)	Planta 4 (ml)	Planta 5 (ml)	Planta 6 (ml)
30	51	44	50	50	52	49
30	50	48	50	50	51	49
30	47	48	48	50	50	48
30	52	50	55	50	55	48
30	50	50	50	55	57	47
Promedio	50	48	50.6	51	53	48.2
Varianza	3.5	5	6.8	5	8.5	0.7
Desviación Estándar	1.87082869	2.44948974	2.60768096	2.23606798	2.91547595	0.83666003

ESTACIÓN DE TRABAJO

Tabla 2.4 Cantidad en mililitros por planta para 60 segundos.

	Sección 1		Sección 2		Sección 3	
Tiempo (s)	Planta 1 (ml)	Planta 2 (ml)	Planta 3 (ml)	Planta 4 (ml)	Planta 5 (ml)	Planta 6 (ml)
60	100	97	100	100	107	97
60	96	107	99	108	108	94
60	97	109	98	107	112	91
60	99	106	99	105	107	95
60	99	105	102	104	105	98
Promedio	98.2	104.8	99.6	104.8	107.8	95
Varianza	2.7	21.2	2.3	9.7	6.7	7.5
Desviación Estándar	1.64316767	4.60434577	1.51657509	3.1144823	2.58843582	2.73861279

Tabla 2.5 Error de cantidad de agua por planta.

Planta	50 mililitros		100 mililitros	
	Error ml	Error %	Error ml	Error %
1	1.87082869	3.74%	2.598076211	2.60%
2	2.6925824	5.39%	1.58113883	1.58%
3	4.4440972	8.89%	6.062177826	6.06%
4	2.17944972	4.36%	9.096702699	9.10%
5	2.5	5.00%	6.204836823	6.20%
6	3.31662479	6.63%	7.071067812	7.07%

2.3 Sistema de Sensores.

El sistema toma lecturas de 6 sensores de humedad en suelo, un sensor de temperatura infrarrojo para la temperatura ambiente del invernadero y la temperatura objeto, es decir la temperatura de la planta, así como también un sensor de humedad relativa para la humedad del ambiente dentro del invernadero.

2.3.1 Sensor de humedad en suelo YL-69.

Este sensor mide la humedad que se encuentra en el suelo. Cuenta con dos terminales que se conectan a la tierra para pasar una corriente y obtener una determinada resistencia que se traduce a un nivel de humedad. A mayor agua en la tierra la conducción es mayor por lo que la resistencia será menor así que si la tierra se encuentra seca la resistencia que muestra el sensor será mayor. El sensor YL-69 cuenta con un módulo YL-38. En la figura 2.11 se muestra la colocación del sensor de humedad.



Figura 2.11 Posición del sensor de humedad YL-69.

El módulo YL-38 cuenta con una salida digital que depende del valor establecido en el potenciómetro con el que cuenta, la salida digital no es utilizada. El módulo además cuenta con una salida analógica que entrega una tensión proporcional al nivel de humedad en la tierra. En la figura 2.12 se muestra el sensor de humedad YL-69 y su módulo YL-38.



Figura 2.12 Sensor YL-69 y Módulo YL-38.

En la Figura 2.13 se muestra la configuración del módulo YL-38.

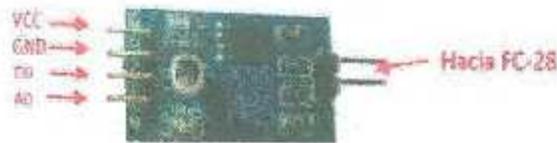


Figura 2.13 Configuración del módulo YL-38[15].

En la Tabla 2.6 se muestran las especificaciones del sensor YL-69 [16].

Tabla 2.6 Especificaciones Sensor YL-69/YL-38.

Especificaciones YL-69/YL-38	
Voltaje entrada	3.3 – 5 VCD
Voltaje salida	0 – 4.2 V
Corriente	35 mA
VCC	Tensión de alimentación
GND	Tierra
AO	Salida analógica proporcional a la humedad
DO	Salida digital
Dimensiones YL-38	30x16 mm
Dimensiones YL-69	60x30 mm

2.3.2 Caracterización del sensor de humedad.

El sensor no cuenta con una hoja de especificaciones en donde se muestre la ecuación característica y curva de comportamiento, por lo que se optó por el método gravimétrico, caracterizado anteriormente en el invernadero.

El contenido de humedad en tierra se maneja en valor porcentual. Donde el peso del agua contenido en la masa de tierra es porcentaje de humedad contenido en la tierra [15]. Lo anterior se expresa en la ecuación (2.1):

$$w = \left(\frac{w_w}{w_s} \right) * 100 \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde:

W = Contenido de humedad expresado en porcentaje, w_w = Peso de agua existente en la masa, w_s = peso del suelo seco sin humedad alguna.

El método gravimétrico es el método tradicional para establecer el contenido de humedad en una muestra de suelo. El método consiste en pesar una muestra de suelo o tierra con una báscula, obteniendo el peso del agua y el peso del suelo seco (secada en un horno). Con estas medidas se determina el contenido de humedad con base en peso [15].

A continuación se describe el proceso para la caracterización del sensor YL-69 basado en el método gravimétrico [15].

1. La tierra es cernida con la malla de alambre con aberturas de 2mm, con el fin de homogenizar las partículas y liberar la tierra de material orgánico.
2. Se tomaron tres muestras de tierra cernida de 250 gr, cada muestra es representativa de la cantidad de tierra que contiene el tipo de maceta que se utilizan en el invernadero.
3. Las muestras se hornearon durante 24 horas a una temperatura de 75 °C.
4. Se desarrolló un pequeño programa de Arduino el cual permite obtener lecturas de la humedad en suelo en una resolución de 10 bits (valores de entre 0 y 1023). El programa se cargó a la Arduino Mega.

5. El sensor se conectó a la Arduino y este a la computadora.
6. Se realizó una tabla la cual contiene los siguientes parámetros: volumen de agua, peso de la muestra seca, peso total de la muestra, peso del agua, voltaje de salida del sensor, bits que muestra la Arduino y porcentaje de humedad en tierra.
7. Con la jeringa se agregan 5 ml de agua, se pesa la muestra, se introduce el sensor en la muestra, se toma la lectura de la Arduino en bits, se mide el voltaje en la salida del sensor y se obtiene el porcentaje de humedad en tierra con la ecuación 2.3, donde el peso de la tierra seca será constante.
8. El paso 7 se repite hasta llevar el sensor a saturación.

Del procedimiento anterior se recabaron datos con los que se analizó el comportamiento y se obtuvo la siguiente grafica que se expresa en la Figura 2.14 [15].

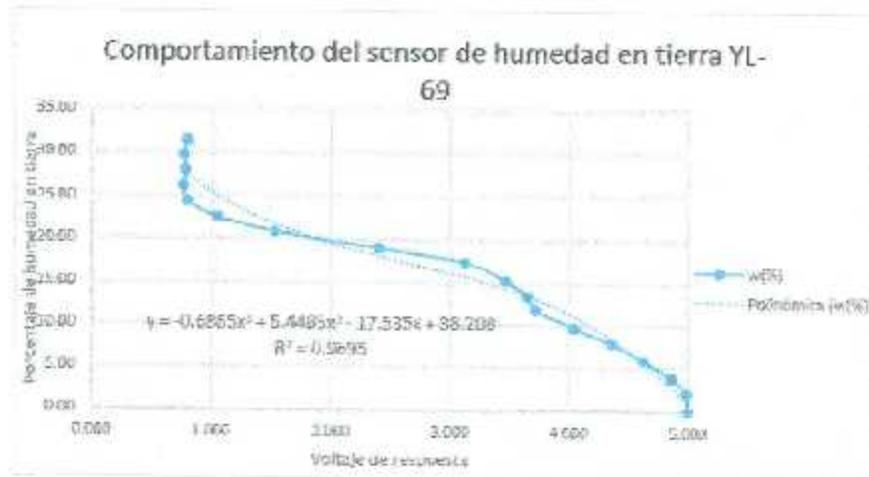


Figura 2.14 Comportamiento de sensor de humedad YL-69.

Con la gráfica se puede observar con mayor facilidad que a partir del 25% de humedad de agua en tierra, el voltaje a la salida del sensor prácticamente no varía. La ecuación resultante que se acerca al comportamiento del sensor YL- 69 es la ecuación (2.2):

$$y = -0,6865x^3 + 5,4485x^2 - 17,535x + 38,208 \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Donde:

Y = Porcentaje de humedad en tierra, x = Voltaje de respuesta del sensor.

2.3.3 Sensor de temperatura Infrarrojo MLX90614.

El sensor permite mediciones de temperatura sin ningún tipo de contacto físico, proporcionando medidas de temperatura ambiente y objeto, con una alta precisión. En la Tabla 2.7 se muestran las especificaciones del sensor MLX90614 [17].

Tabla 2.7 Especificaciones del sensor MLX90614.

Especificaciones del sensor MLX90614
Tamaño pequeño, bajo costo
Fácil de integrar
Calibrado de fábrica en el amplio rango de temperaturas
-40 a +85°C Temperatura ambiente
-70 a 380°C Temperatura del objeto
Salida personalizable de PWM para la lectura continua
Alta precisión de 0,5 °C
Resolución de la medida de 0.02°C
Simple de adaptación de 3 a 16 V
Modo ahorro de energía

En la Figura 2.15 se observa el sensor de Temperatura MLX90614.



Figura 2.15 Sensor de Temperatura MLX90614.

2.3.4 Sensor de humedad relativa HIH-4030.

Este sensor de humedad ya viene con su tarjeta adaptadora. El sensor de HIH-4030 mide humedad relativa, (%RH) y la entrega en una salida de voltaje analógico. El voltaje aplicado en sus pines no debe ser menor a 4 ni mayor a 5.8V, el voltaje óptimo de funcionamiento es de 5V. El sensor consumirá típicamente solo 200uA. Sus dimensiones son: 0.75" X 0.30" (19.05 mm X 7.62 mm) [18].

En la Figura 2.16 se muestra el sensor de humedad relativa.



Figura 2.16 Sensor de humedad relativa HIH-4030.

En la figura 2.17 se muestra la conexión entre la placa arduino y los sensores del módulo [15].

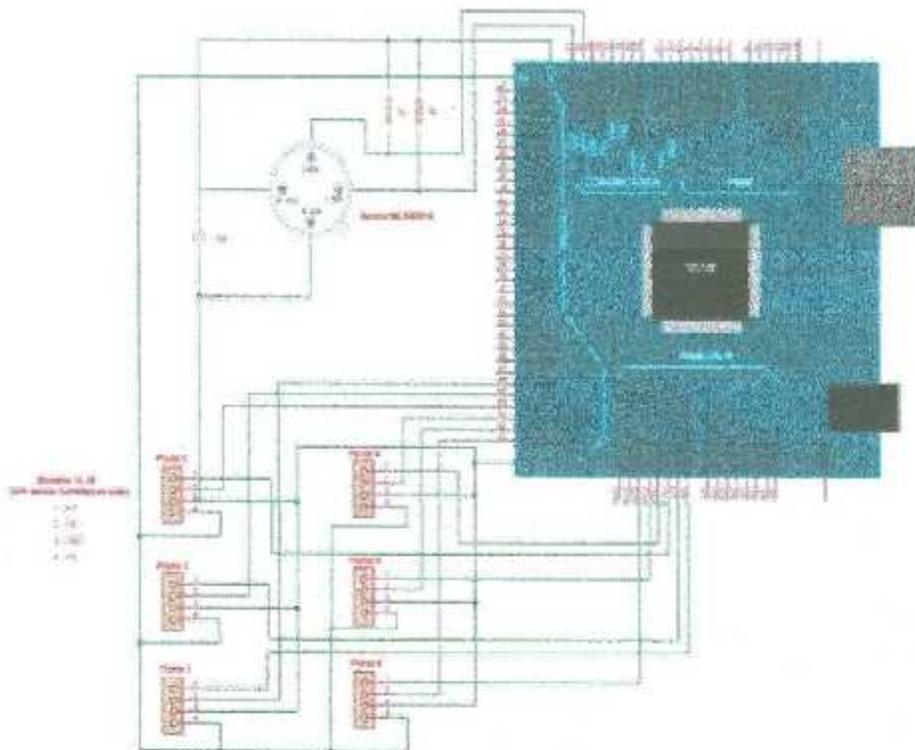


Figura 2.17 Conexión arduino-sensores.

CAPÍTULO 3

Eficiencia del sistema de sensores de humedad.

En el capítulo se menciona el funcionamiento del sistema de sensores de humedad y se muestra las modificaciones realizadas para mejorar la eficiencia del sensado.

Se decidió utilizar los sensores YL-69 para este proyecto debido a que ya se contaba con su caracterización anteriormente, son accesibles y certeros.

El sistema de sensores de humedad se encuentra dentro del módulo de sensores de la estación de trabajo invernadero.

Cada sensor de humedad en suelo se encuentra enterrado en la maceta a través de la tierra de cada una de las plantas. El sensor de humedad atraviesa la pared de plástico de la maceta en la parte media a lo alto de esta. Los electrodos de la sonda del sensor de humedad YL-69 se entierran por completo, para cubrir mayor área de tierra. La decisión de colocar los sensores de humedad en la posición mencionada, fue por el hecho de que estos quedarán por la parte de abajo de las tapas del sistema de riego con el fin de quedar cubiertos, evitando interferencias con la captura y análisis de las imágenes. Las seis plantas cuentan con su correspondiente sensor de humedad, colocados de la misma manera.

Debido a que el sensor se encuentra posicionado en la tierra de la planta este sufre un rápido desgaste y corrosión lo cual afecta las lecturas. La vida útil de este sensor en pruebas anteriores era aproximadamente de 15 a 20 días, luego de este tiempo el sensor sufre daños por corrosión y sus lecturas dejan de ser viables por lo que se tiene que reemplazar, por seguridad para evitar datos erróneos se reemplazaba a los 15 días.

3.1 Funcionamiento del sistema de sensores de Humedad en suelo.

Anteriormente el sistema de sensores de humedad en suelo trabajaba de la siguiente manera:

Los 6 sensores de humedad están conectados a la tarjeta arduino correspondiente al módulo de sensores, una vez que se enciende el invernadero en conjunto con su aplicación, y está listo para usarse, se encienden los sensores, es decir se energizan y están a la espera de la señal de control para tomar una lectura, procesarla y enviar el resultado al usuario.

Al encender la estación de trabajo se tiene que iniciar en conjunto la aplicación desarrollada en labview, siendo esta última la interfaz para el usuario. Una vez iniciada la aplicación se inicializan todos los módulos del invernadero. La alimentación de los sensores se mantenía conectada directamente a 5V por lo que al inicializarse el sistema los sensores se energizan, y están a la espera de la señal de control para realizar la lectura, esta señal proviene del puerto serie. A cada uno de los 6 sensores se le otorgo una letra correspondiente como se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Asignación de variables de control a sensores de humedad en suelo.

Sensor de Humedad en Suelo por Planta	Letra Correspondiente
Planta 1	A
Planta 2	B
Planta 3	C
Planta 4	D
Planta 5	E
Planta 6	F

El programa del microcontrolador correspondiente al módulo de sensores está a la espera de recibir una señal de control por el puerto serie, cuando detecta un dato en el puerto serie, lo lee y lo guarda en una variable llamada rx, si el dato recibido es una A, el programa manda llamar a la función del sensor de humedad en suelo 1, la cual lee el valor arrojado por el sensor le aplica una serie de ecuaciones y manda el dato de la humedad hacia el usuario.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al funcionamiento del sensor de humedad de suelo.

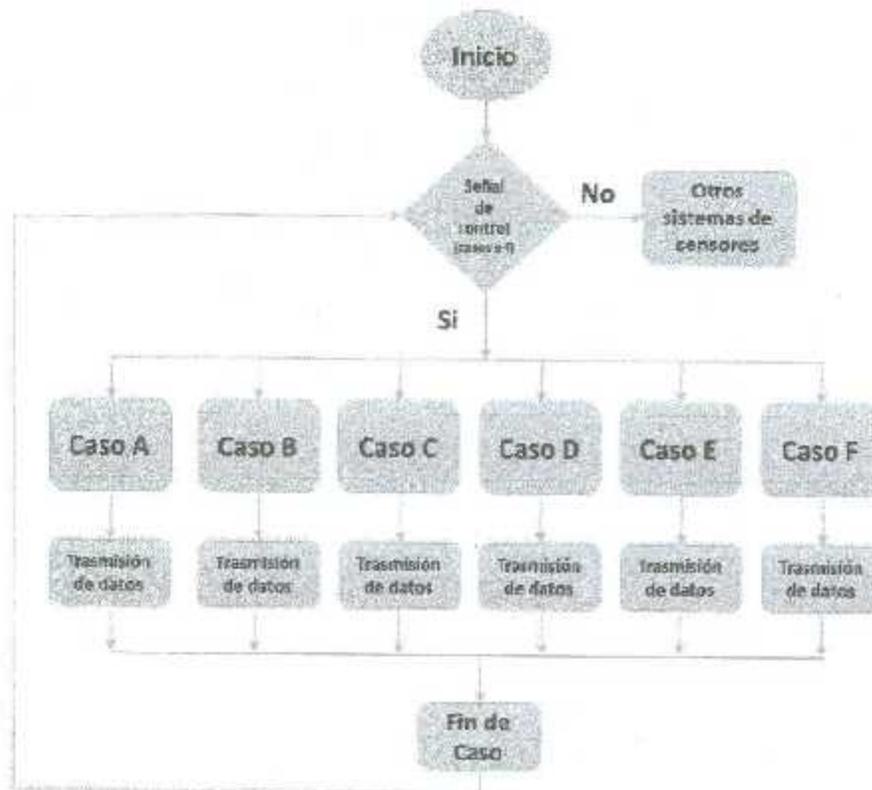


Figura 3.1 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de sensores de humedad.

Inicio:

En este paso del programa se crean las variables a utilizar, se declara la configuración de los pines, entradas/salidas y se inicia la comunicación serial.

Señal de Control:

El programa está a la espera de recibir una señal de control por medio del puerto serie, si el dato recibido es una "A", "B", "C", "D", "E", o "F" se manda a llamar la función correspondiente para el sensor de humedad en suelo requerido, si el carácter recibido es diferente a las variables mencionadas anteriormente el programa direcciona otros casos para el control de otros sistemas de sensores.

Caso:

En este paso según la señal recibida es al caso que entra y la función del sensor que manda llamar, se pueden tomar varias lecturas en poco tiempo, debido a esto, el primer paso dentro de la función es crear las variables necesarias para las operaciones, las cuales son sumatoria, divisor y PHSR se crea un ciclo de 0 a 20 para así tomar la lectura 20 veces y utilizar un promedio.

Se toman las lecturas y se van sumando en la variable sumatoria así como se va incrementando la variable divisor por cada lectura que se tomó, finalmente se saca el promedio y se le aplica la ecuación 2.2 correspondiente a la caracterización del sensor.

Se guarda el valor final obtenido en la variable PHSR y se acaba la función por lo que se regresa al caso.

Transmisión de datos:

Una vez terminada la función envía otra vez la señal de control para indicar al programa de labview que ya se tomó la lectura y cuál es el sensor correspondiente. El siguiente paso es esperar confirmación de comunicación y finalmente envía mediante el puerto serie la lectura de humedad correspondiente a la planta.

Fin de caso:

Al momento de enviar la lectura la siguiente instrucción es salir del caso y regresar al inicio del ciclo a recibir nuevamente una señal de control.

3.2 Modificaciones realizadas en sistema de sensores de humedad en suelo.

Se decidieron hacer modificaciones en el sistema de sensores de humedad en suelo para aumentar la vida útil del sensor y no tener que remplazarlo cada 15 días. Para esto se cambió la alimentación del sensor, ya que al estar siempre energizado y en contacto con la tierra y el agua su corrosión era mucho más rápida, así que se creó una señal de control para energizarlo solo cuando fuera necesario, es decir solo cuando se requiera una lectura.

Se decidió utilizar una señal de control debido a que todos los sensores del sistema están conectados a una fuente externa y la placa del microcontrolador arduino solo funciona para el control y no para la potencia.

3.2.1 Sistema de comparadores.

Para energizar los sensores mediante la señal de control se implementó un sistema de amplificadores operacionales funcionando como comparadores para así aislar la señal de control proveniente de arduino con la corriente suministrada para alimentar los sensores de humedad en suelo.

3.2.2 Amplificadores operacionales.

Los amplificadores operacionales son circuitos integrados que sirven para amplificar señales de voltaje. Tiene dos entradas, una invertida (-) y una no invertida (+) y una salida. El amplificador operacional maneja una alta ganancia, una impedancia de entrada muy alta y una baja impedancia de salida.

El concepto original del AO (*amplificador operacional*) procede del campo de los computadores analógicos, en los que comenzaron a usarse técnicas operacionales en una época tan temprana como en los años 40. El nombre de *amplificador operacional* deriva del concepto de un amplificador dc (amplificador acoplado en continua) con una entrada diferencial y ganancia extremadamente alta, cuyas características de operación estaban determinadas por los elementos de realimentación utilizados. Cambiando los tipos y disposición de los elementos de realimentación, podían implementarse diferentes operaciones analógicas; en gran medida, las características globales del circuito estaban determinadas sólo por estos elementos de realimentación. En la figura 3.2 se muestra la representación esquemática de un Amplificador Operacional.

3.2.3 Principios básicos de los amplificadores operacionales.

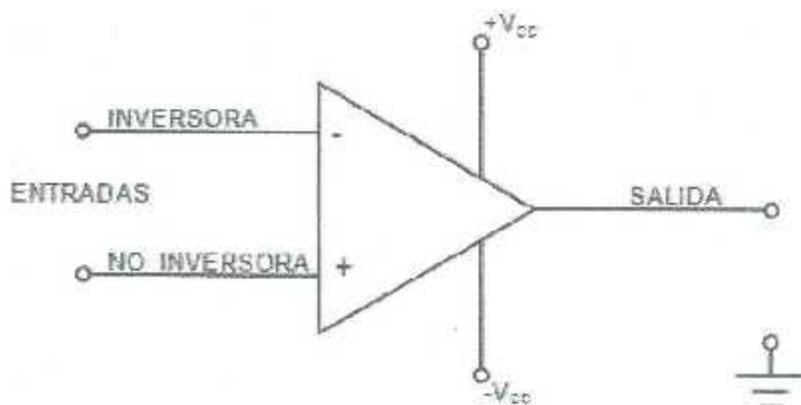


Figura 3.2 Esquema de representación de un Amplificador Operacional.

Existen dos tipos de funcionamiento básico: sin realimentación o en Lazo Abierto y con realimentación o en Lazo Cerrado. Normalmente se utiliza el lazo cerrado, donde se pueden realizar operaciones matemáticas como sumadores, integradores, diferenciales, entre otros.

En la Tabla 3.2 se muestran las características de un Amplificador Operacional Real.

Tabla 3.2 Características de Amplificador Operacional Real.

Ganancia de Tensión	60 dB a 100dB
Impedancia de Entrada	2MΩ a 1GΩ
Impedancia de Salida	50Ω a 1KΩ
Offset Vio	1 nV a 10mV
Corriente de polarización	10 pA a 10 μA
fH (ganancia)	100 KHz a 1GHz

En la Figura 3.3 se muestra la función de transferencia de un Amplificador Operacional.

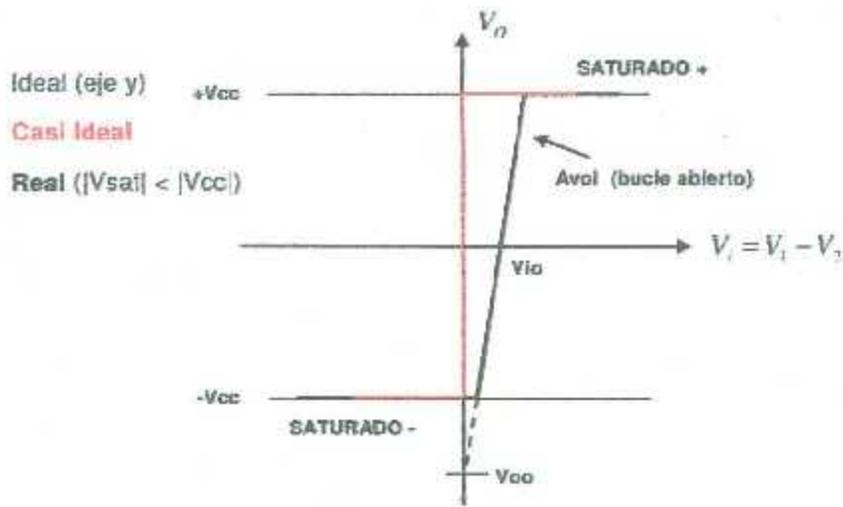


Figura 3.3 Función de Transferencia de un AO.

3.2.4 Amplificador Operacional en Función como comparador.

En esta configuración el amplificador operacional recibe dos señales y las compara, dependiendo de que señal sea más grande es la salida resultante. En la Figura 3.4 se muestra la configuración del amplificador operacional.

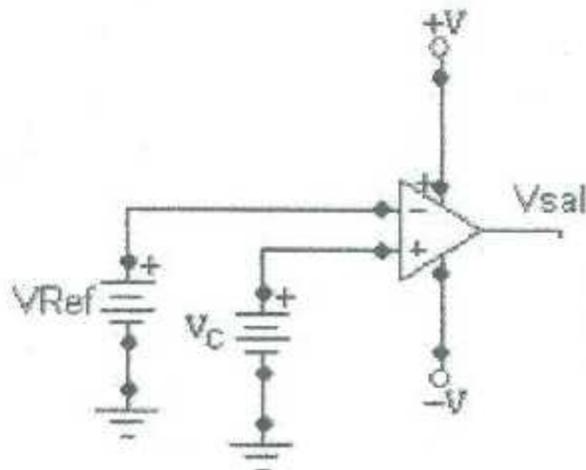


Figura 3.4 Configuración del Amplificador Operacional como comparador.

Donde se tiene que V_{Ref} es la señal de referencia la cual está conectada a la entrada inversora del operacional, V_c es la señal de control y se encuentra conectada a la entrada no inversora del amplificador operacional, mientras que $+V$ y $-V$ son los voltajes de alimentación del amplificador operacional y finalmente V_{sal} es el voltaje de salida correspondiente al circuito y depende directamente de la alimentación.

Si el voltaje de control es mayor a la referencia ($V_c > V_{Ref}$) la salida será la alimentación positiva (V_+). Como se muestra en la figura 3.5 a).

Pero si el voltaje de control es menor a la referencia ($V_{Ref} > V_c$) el voltaje de salida será el mismo que la alimentación negativa (V_-). Como se muestra en la figura 3.5 b).

Se usó este sistema debido a que en la salida del amplificador operacional se tiene el voltaje de alimentación y no el de control.

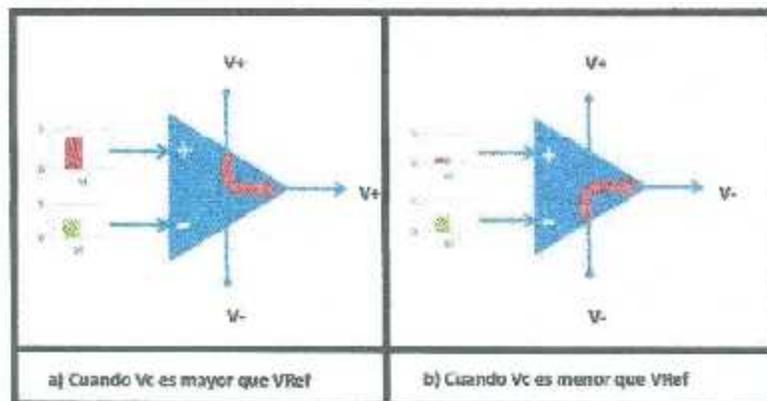


Figura 3.5 Funcionamiento de Comparador.

3.3 Sistema de sensores de humedad en suelo.

Para este proyecto se utilizó un voltaje de referencia $V_{Ref} = 3.3V$, un voltaje como señal de control perteneciente a una salida digital de arduino Mega $V_c = 0V-5V$. Se alimentó el amplificador operacional con la fuente a la que anteriormente estaban conectados los sensores, siendo una Fuente CD de 7.5V siendo V_- el negativo de la fuente (tierra) y V_+ el positivo de la fuente (voltaje) y finalmente se utilizaron 3 Amplificadores Operacionales Dual LMC662CN CMOS.

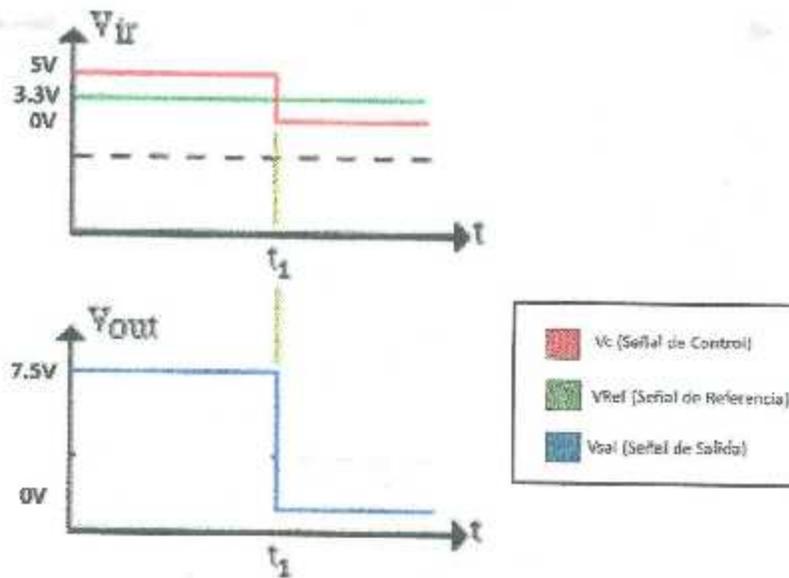


Figura 3.5 Gráfica de comportamiento del Amplificador Operacional.

En la Figura 3.6 se muestra la gráfica obtenida de la salida del operacional respecto a las señales de entrada y en la Tabla 3.3 se muestran las especificaciones del Amplificador Operacional LM662CN [19].

Tabla 3.3 Especificaciones del Amplificador Operacional Dual LM662CN.

Amplificador Operacional Dual LM662CN	
Ancho de banda	1.4MHz
No. De Amplificadores	2
Tipo de Amplificador	High Gain
Temperatura de funcionamiento máxima	70°C
Temperatura de funcionamiento mínima	0°C
Velocidad de Respuesta	1.1V/ms
Rango de Voltaje de Alimentación	4.75V 15.5V
Encapsulado	DIP
Pines	8
Modelo	41K2696

En la figura 3.7 se muestra la configuración de las conexiones del amplificador.

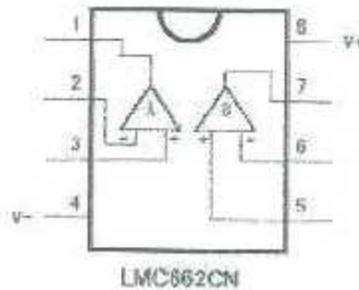


Figura 3.7 Configuración de Pines de Amplificador LM662CN.

3.3.1 Señal de control.

Se realizaron modificaciones en el programa del microcontrolador, tanto en la etapa de inicio como en la etapa de la función.

Inicio:

En esta etapa que es la configuración de los puertos del microcontrolador se crearon 6 variable llamadas CHS1, CHS2, CHS3, CHS4, CHS5, CHS6 para declarar las señales de control y se les asigno un pin digital declarado como salida.

Función:

Se utilizaron los pines del 40 al 45 como señal de control, antes de mandar llamar la función se enciende la señal de control y se espera un segundo, se prosigue como era su funcionamiento anterior y antes de salir del caso se apaga la señal de control correspondiente y se espera otro segundo.

3.4 Vida útil de sensores.

Con estas modificaciones se mejoró la vida útil del sensor en aproximadamente 200% de tiempo.

El sensor se corroe y empieza a fallar hasta aproximadamente después de 50 días de uso. Para mayor seguridad y evitar errores en las lecturas el sensor se cambió cada 44 días que es la duración de las pruebas realizadas. En la figura 3.8 se muestra la comparación de los sensores antes de las modificaciones y después de estas.



Figura 3.8 Comparación de Sensor de Humedad en Suelo al final de ciclo de vida útil.

Capítulo 4

Aplicación LabVIEW.

En este capítulo se muestra la plataforma Labview y las aplicaciones de los módulos desarrollados, en donde se determina las características y funciones de cada módulo, así como la interfaz gráfica con la que interactúa el usuario del invernadero.

4.1 Plataforma LabVIEW.

LabVIEW es un software de ingeniería de sistemas que integra pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware e información de datos. Es un Entorno de desarrollo integrado especializado en informática industrial y científica. Su particularidad es que se basa en el lenguaje G. Fue creado por National Instruments en el año de 1976 para funcionar sobre maquinas con MacOS, saliendo al mercado hasta el año 1986. Actualmente se encuentra disponible en Windows, MAC, UNIX y GNU/Linux.

Permite el desarrollo de programas informáticos complejos facilitando al mismo tiempo la programación y en consecuencia disminuir los plazos de desarrollo. Gracias a sus librerías de funciones dedicadas a la adquisición de datos, la instrumentación, al análisis matemático de las mediciones y la visualización, LabVIEW se dedica especialmente a los bancos de pruebas y mediciones [29].

4.1.1 Funcionamiento de la plataforma.

Las aplicaciones realizadas en LabVIEW se llaman instrumentos virtuales, abreviados regularmente como "VIs" como abreviación de virtual instruments, los cuales permiten simular la apariencia de los instrumentos reales. Todo VI tiene una estructura modular y hereditaria que permite realizar programas por niveles o hacer programas con otros programas, es decir, un VI puede ser usado por otro VI si se es necesario, al VI de más bajo nivel se le denomina SubVI, lo cual permite reducir código dividiendo tareas en subrutinas. Un instrumento virtual cuenta con una interfaz gráfica que permite al usuario una interacción hombre-máquina, a esta ventana se le denomina panel frontal, y simula el panel de un instrumento físico real. El panel frontal contiene regularmente botones, perillas, gráficos etc. Por otra parte el instrumento virtual recibe las instrucciones en un diagrama de bloques

construido por el lenguaje G, el cual proporciona una solución grafica a un determinado problema de programación, el diagrama de bloques es código fuente de un VI.

El panel frontal del VI es la interfaz gráfica con la que se comunica o es diseñada para el usuario. Mientras que el diagrama de bloques es donde se relacionan los elementos utilizados en la interfaz gráfica y se determina el funcionamiento del sistema, es donde se ejecutan las instrucciones.

En la figura 4.1 se muestra un ejemplo de los elementos o paneles de una VI.

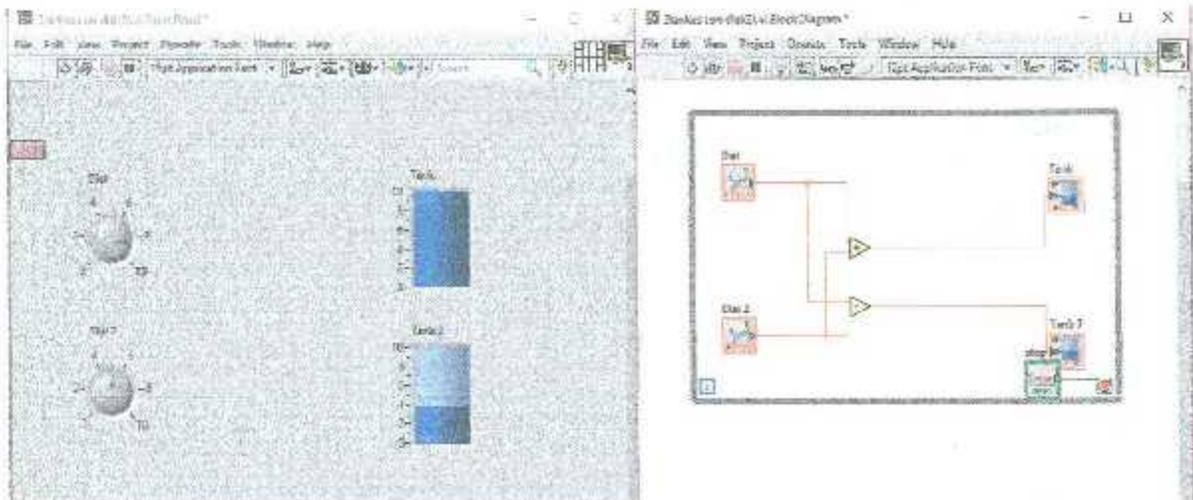


Figura 4.1 Panel Frontal y Diagrama de bloque de VI.

4.1.2 Complementos de LabVIEW.

Existen complementos para LabVIEW que extienden el entorno de desarrollo con módulos y herramientas diseñadas para aplicaciones en áreas específicas. LabVIEW permite añadir una gran cantidad de paquetes que permiten interactuar con tecnologías con las que inicialmente no podría, proporcionando los VIs, interfaces, herramientas y adaptando la plataforma para que sean usadas. Con esto se ahorra tiempo en desarrollo utilizando herramientas pre construidas de funciones comunes, evitando desarrollar código común desde cero y propiciando un entorno amigable para la elaboración de una aplicación [30].

Para el desarrollo de la aplicación LabVIEW se hizo uso del complemento llamado LabVIEW MathScript RT module:

La aplicación de LabVIEW ejecuta un algoritmo de procesamiento de imagen en un script de Matlab, el algoritmo determina a partir del análisis una imagen la cantidad de follaje superior que se encuentra en mal estado y buen estado, además de la cantidad de pixeles analizados.

El complemento añade la compatibilidad para el uso de lenguaje textual en el entorno gráfico de LabVIEW, el módulo agrega un compilador original para los archivos .m, propios de Matlab, con lo que es posible combinar un enfoque textual y gráfico para desarrollar algoritmos.

El Matlab script node se utiliza como contenedor del algoritmo en lenguaje textual. En los bordes del Matlab script node se encuentran conectores de entrada y salida, los cuales son variables que permitirán la interacción del algoritmo en lenguaje textual con el lenguaje gráfico de LabVIEW. Para que sea posible la interfaz es necesario que una copia de Matlab se encuentre instalada en el equipo en donde se encuentre la aplicación LabVIEW [31].

4.2 Interfaz LabView.

Partes del programa en LabVIEW se retomó del trabajo anterior descrito en la tesis “Aplicación para control vía remota, integración de sensores y sistema de riego a invernadero de pruebas automático para el monitoreo de plantas” [15]. Trabajo en el cual se presenta una interfaz gráfica que controla una versión previa del invernadero; la interfaz gráfica permitía encender y apagar la iluminación y ventilación del invernadero, realizar un ciclo automático para el análisis de seis plantas y tomaba lecturas de los sensores de temperatura y humedad relativa, así como de humedad en suelo y riego manual. La aplicación además realizaba la interface con Matlab haciendo uso del Matlab script node descrito anteriormente y ejecutaba el algoritmo de procesamiento de imagen para el análisis de plantas [12].

Se realizó la separación del programa en tres módulos:

- Sistema base
- Sistema sensores
- Sistema de riego

4.2.1 Módulo Base.

Dentro de este sistema se incluyó el posicionamiento de la cámara para el procesamiento de imagen, el control manual de la iluminación y la conexión a dicho arduino. El sistema cuenta con 27 subVI o subprogramas en general dentro de su diagrama de programación.

El panel cuenta con un tab-control de 7 pestañas las cuales son: control, planta 1, planta 2, planta 3, planta 4, planta 5 y planta 6.

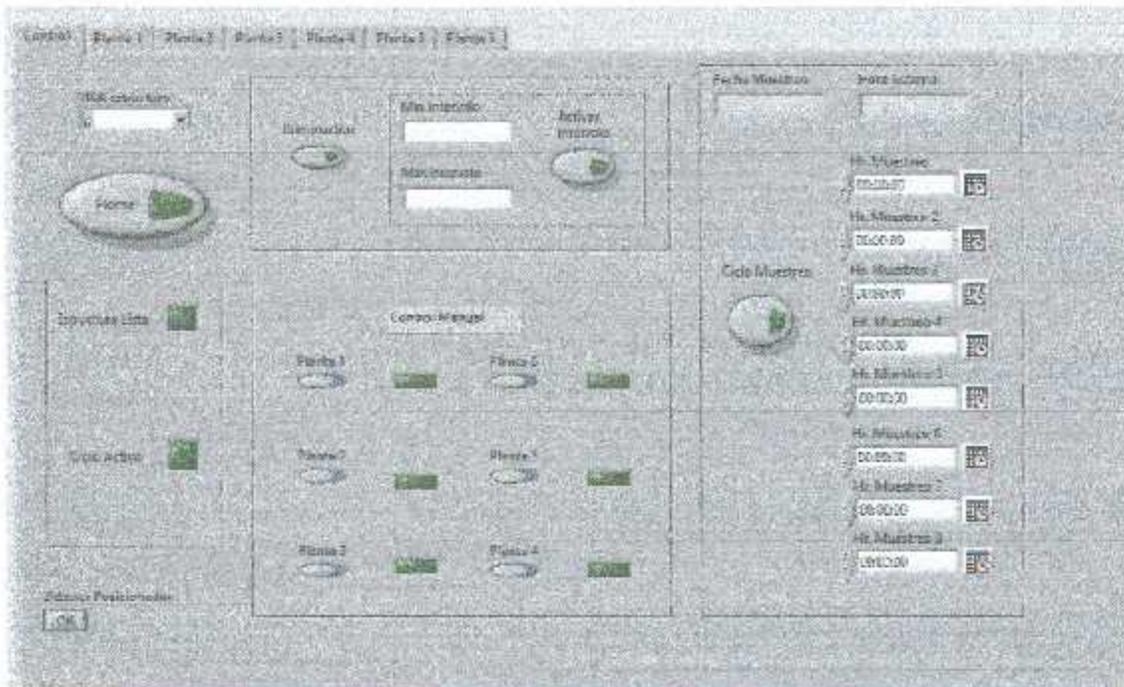


Figura 4.2 Pestaña de Control en Interfaz LabView.

Como se muestra en la figura 4.2 al lado izquierdo se cuenta con la selección del puerto COM para comunicarse con la tarjeta arduino correspondiente, un botón home, para restablecer el origen, dos indicadores led dentro de un apartado, uno para indicar cuando la estructura se encuentre lista para su funcionamiento y otro para indicar cuando se esté llevando acabo un ciclo de análisis.

En la parte media se muestran los botones para encender y apagar la iluminación de forma manual o con un intervalo de tiempo, para así mantenerla encendida en el día y simular la luz del sol. En la parte inferior se muestra un recuadro con seis botones e indicadores led, uno para cada planta, para realizar un muestro individual en caso necesario.

Y finalmente en la parte derecha se encuentra el apartado para programar los ciclos de muestreo automáticos, según la fecha y hora del sistema, se realizan ocho diarios, para así cubrir las 24 horas del día, realizando un ciclo de muestreo cada 3 horas.

En la Figura 4.3 se muestra el apartado de la Planta 1. En la parte superior de este apartado donde se encuentran dos imágenes, la imagen original capturada por la cámara y al lado derecho la imagen procesada en RGB para su análisis, así como tres recuadros con la información obtenida del análisis de la imagen, lo que es el porcentaje bueno de la planta, el porcentaje malo y el total de pixeles analizados.

En la parte inferior del apartado una tabla con la fecha, hora y todos los datos recabados del último análisis realizado. Los cuales se guardan en una base de datos de Excel.

Dentro de los restantes cinco apartados se encuentra la misma información que se muestra en la figura 4.3 pero de las respectivas plantas restantes.

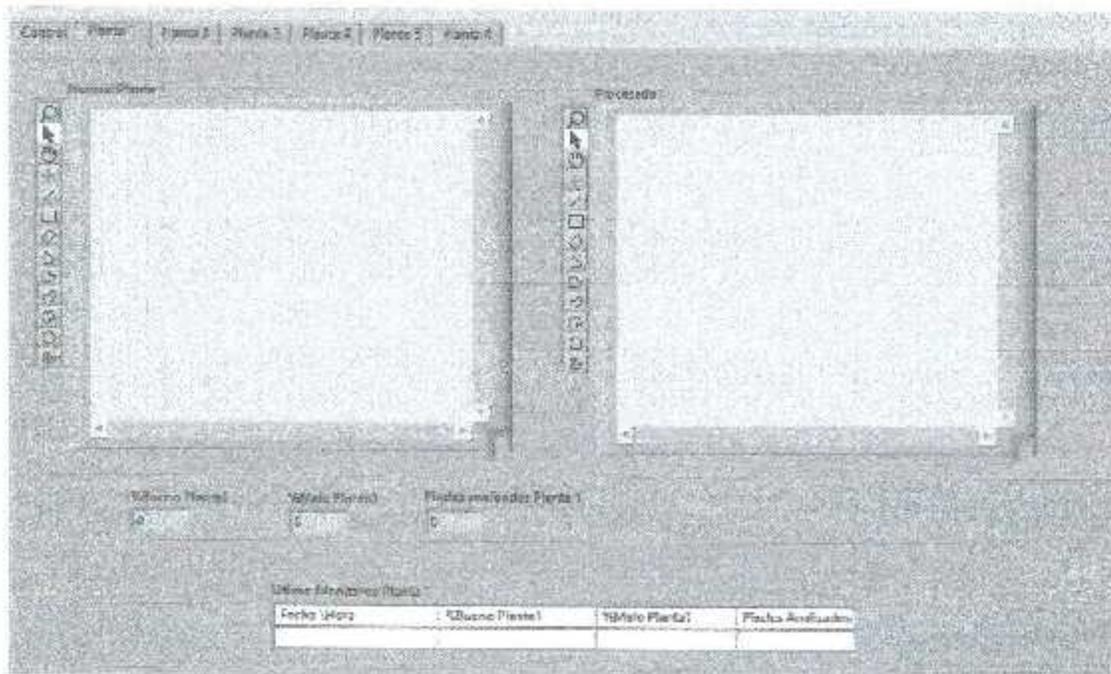


Figura 4.3 Pestaña de Planta en Interfaz LabVIEW.

La programación o el panel de Diagrama de Bloque se muestra en la sección de Anexo C.

4.2.2 Módulo Sensores.

Dentro del sistema de sensores se encuentran la temperatura objeto, de cada planta y temperatura ambiente, así como humedad relativa en la estación de trabajo. El sistema cuenta a su vez con 8 subprogramas dentro del diagrama general.

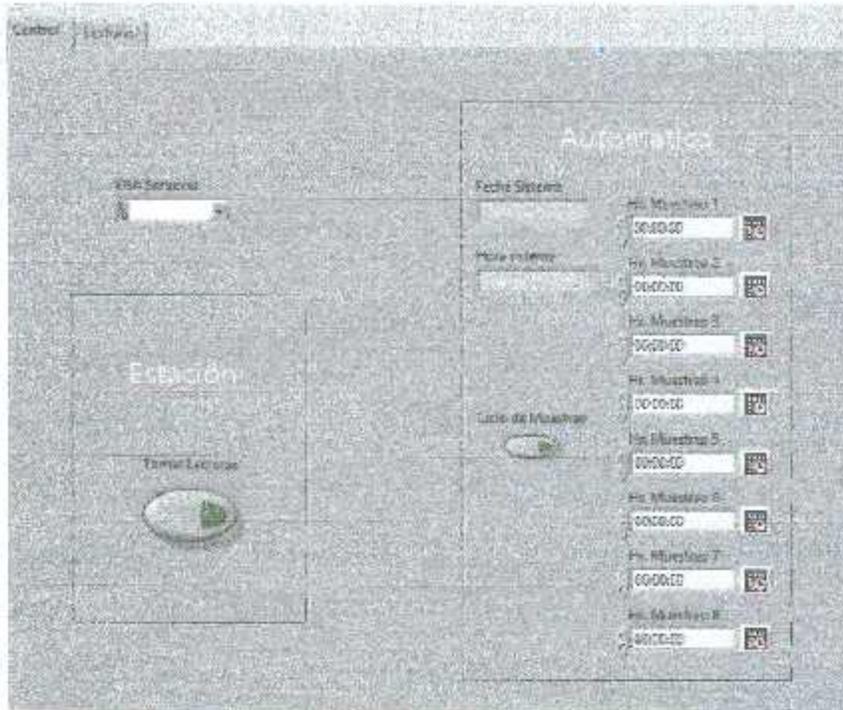


Figura 4.4 Pestaña de control en sistema sensores LabView.

En la Figura 4.4 se muestra el panel visual del sistema de sensores, el cual cuenta con dos secciones, control y lecturas que como se indican un área es para el control del funcionamiento y la otra para mostrar las lecturas obtenidas de los sensores. En la figura 4.4 se observa la sección de control, la cual a su vez tiene dos secciones llamadas: estación y automático.

Dentro de la sección estación se observa un botón, el cual tiene el funcionamiento de realizar la lectura de la temperatura ambiente dentro de la estación de trabajo invernadero.

Mientras que la sección de automático contiene un botón para activar el modo automático, la hora y fecha del sistema y 8 campos para establecer las horas del ciclo de muestro a realizarse, permitiendo 8 diarias, lo cual permite un sensado cada 3 horas para obtener la lectura de la humedad relativa y la temperatura objeto.

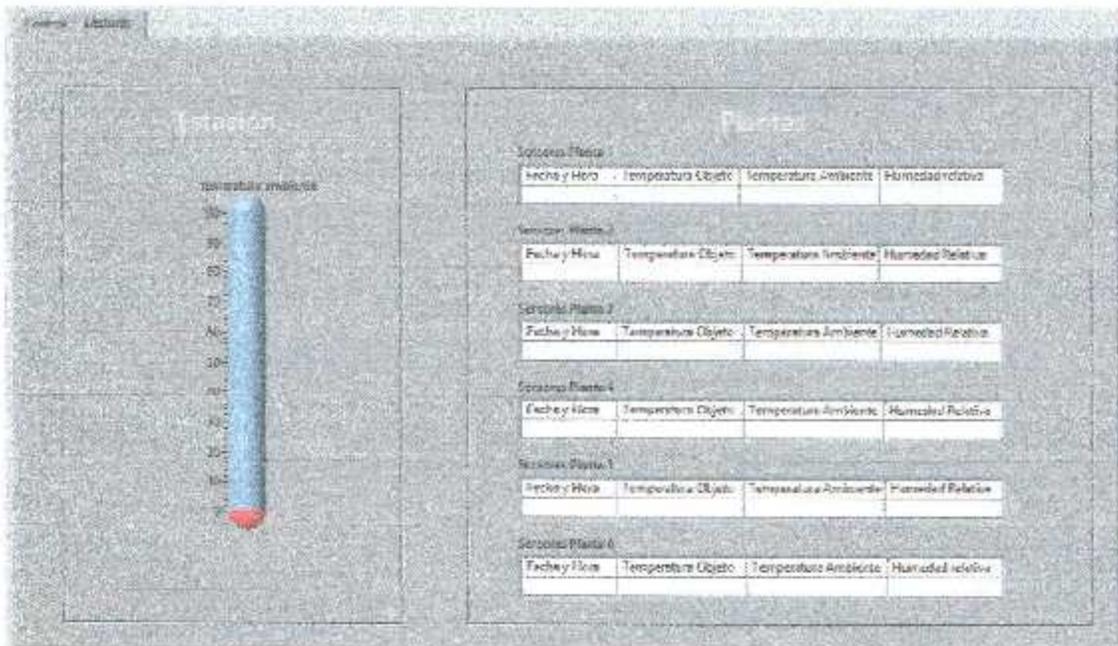


Figura 4.5 Pestaña Lecturas de interfaz sensores LabVIEW.

En la figura 4.5 se muestra el área de lecturas que es la segunda y última área del sistema, la cual se divide en dos secciones, la sección estación contiene la lectura de la temperatura ambiente en la estación, mientras que la sección plantas contiene una tabla para cada una de las 6 plantas con la fecha y hora de la última lectura de sensores, así como los datos recabados como lo son la Temperatura objeto de la planta, Temperatura Ambiente y Humedad Relativa.

Este módulo es el encargado de encender la ventilación del invernadero cuando sea necesario según las lecturas de la temperatura y la red neuronal backpropagation.

La programación o el panel de Diagrama de Bloque se muestra en la sección de Anexo D.

4.2.3 Módulo Riego.

El sistema de riego incluye el riego de la estación de trabajo invernadero y la toma de lecturas del sensor de humedad en suelo. El riego se divide en tres secciones, regando dos plantas en cada sección, dentro de la sección 1 están las plantas 1 y 6, dentro de la sección 2 las plantas 2 y 5 y finalmente en la tercera sección se encuentran las plantas 3 y 4.

Este sistema cuenta con dos áreas. Como se observa en la 4.6 se encuentran la pestaña de Riego donde se puede observar la conexión para con el arduino correspondiente, y tres secciones, la primer sección es para programar el riego diario donde se lee la fecha y hora del sistema y para realizar el riego diario a la hora establecida en la programación, y según el control con la red neuronal backpropagation suministrar la cantidad necesaria de agua, esta sección sería la sección automática de la aplicación. Las siguientes dos secciones son llamadas Misma Cantidad y Diferentes cantidades, las cuales engloban el riego manual del sistema, estas son para establecer la cantidad de agua para el riego, en la sección de la misma cantidad, las 6 plantas se regaran con la cantidad estipulada en el recuadro mililitros, en el cual se coloca la cantidad en mililitros a regar. Mientras que en la sección diferentes cantidades se puede establecer diferentes cantidades de agua para cada línea del riego, así como el estipular si se regara una sola línea o las tres.

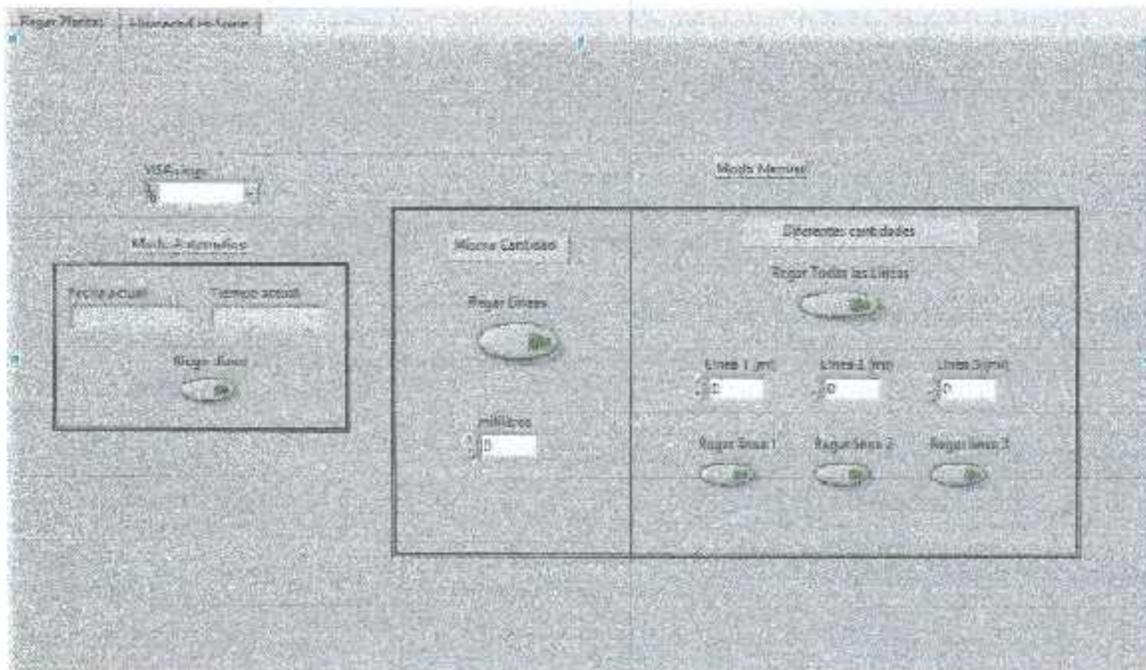


Figura 4.6 Pestaña Riego en Interfaz LabVIEW.

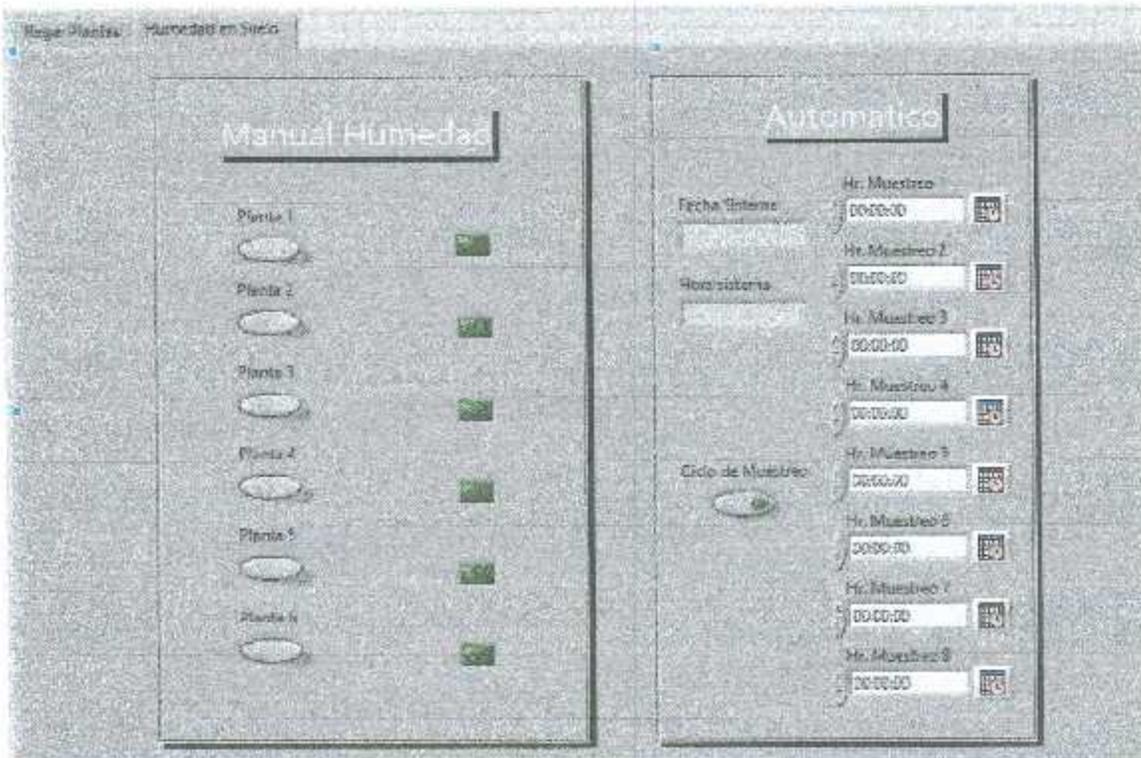


Figura 4.7 Pestaña *Sensores de Humedad* en interfaz LabVIEW.

En la figura 4.7 se observa la última pestaña donde se muestran dos secciones la sección manual Humedad en la cual se tiene a su vez 6 botones con su respectiva luz de led indicadora, cada botón e indicador representando a cada una de las 6 plantas, los botones tienen el funcionamiento de realizar el análisis de los sensores correspondientes a cada planta. Y la sección Automático realiza el ciclo de la lectura cada 3 hrs. Los datos correspondientes a la humedad en suelo se guardan en una tabla de Excel como base de datos y son usados para la cantidad suministrada de agua en el riego mediante el control inteligente.

La programación o el panel de Diagrama de Bloque se muestra en la sección de Anexo E.

Capítulo 5

Base De Datos Para Red Neuronal Artificial.

En este capítulo se muestran las pruebas de experimentación realizadas durante el proyecto para la obtención de una base de datos con las muestras de las variables más importantes de las plantas.

Se realizaron dos pruebas de experimentación, una prueba con 6 plantas de albahaca la cual tuvo una duración de 44 días y otra prueba más con 6 plantas de orégano la cual a su vez tuvo una duración de 44 días. Ambas pruebas se dividieron en 3 grupos de estudios, teniendo dos plantas en cada grupo de estudio según a la sección de riego que correspondieran. A cada grupo y por lo consecuente a cada sección se le aplicó una diferente cantidad de agua en el riego para obtener diferentes casos y estados en las plantas.

La finalidad de la base de datos es recabar la información necesaria para realizar el entrenamiento de una red neuronal artificial. La base de datos se obtuvo mediante la experimentación en las pruebas de las plantas con los valores recabados de las distintas lecturas de los sensores mediante los módulos de labview y arduino.

5.1 Prueba con plantas de Albahaca.

El nombre científico de la Albahaca es *Ocimum Basilicum L.* el cual es derivado del griego y hace referencia a "rey de las hierbas". Esta planta es una hierba aromática anual de la familia lamiáceas y es nativa de Asia y África. En la tabla 5.1 se muestra la clasificación científica de esta planta [20].

Tabla 5.1 Clasificación científica de la Albahaca.

Reino	Plantas
Filo	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Lamiales
Familia	Lamiácea
Genero	Ocimum
Especie	O. basilicum

5.1.1 Cultivo.

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) es una planta aromática y medicinal, planta Herbácea de tallos erectos y ramificados que alcanza de 30 a 50 cm. de altura. Las hojas de 2 a 5 cm., con hojas suaves, oblongas, opuestas, pecioladas, aovadas, lanceoladas y ligeramente dentadas y con un verde lustroso. Las flores son blancas dispuestas en espigas alargadas, asilares, en la parte superior del tallo o en los extremos de las ramas dispuestas en forma de largos ramilletes terminales, se eliminan comúnmente al desarrollarse la planta. Se reportan de 50 a 60 especies de *Ocimum*.

Es una planta anual, cultivada como perenne en climas tropicales y muy sensibles a las heladas. Se cultiva fundamentalmente por semillas, que se pueden sembrar en semilleros o macetas en un invernadero a principios o mediados de la primavera. Requiere una posición soleada, aunque en climas de veranos muy calurosos agradece algo de sombra y suelos fértiles, permeables y húmedos [21].

5.1.2 Propiedades Gastronómicas y Medicinales.

En la parte gastronómica de la albahaca se usan sólo las hojas, frescas o secas. Es un condimento aromático, una de las plantas aromáticas más preciadas en cocina. Mientras que en su aspecto medicinal tiene cuatro principales usos [21]:

- Digestiva
 - I. Mejora la digestión
 - II. Alivia dolor de vientre
 - III. Evita flatulencias.
- Antivomitativa
- Galactagoga
 - I. Estimula la producción de leche en mujeres durante la lactancia.
- Tranquilizante
 - I. Calma nervios y estrés.

5.2 Metodología de Experimento.

Para realizar estas pruebas se dividieron las plantas en 3 grupos quedando distribuidos como se muestra en la Tabla 5.2

La división de estos grupos se realizó debido a que se necesitaban obtener diferentes estados en las plantas y suministrando las diferentes cantidades de agua a cada sección se podía lograr el objetivo de tener diferentes casos para el entrenamiento de una red neuronal artificial.

Tabla 5.2 Distribución de grupos para plantas de Albahaca.

Grupo	Plantas
1	Planta 1 y 6
2	Planta 2 y 5
3	Planta 3 y 4

Se utilizaron los sensores de temperatura, humedad relativa y humedad en suelo así como el procesamiento de imágenes para estar recabando los datos del estado de las plantas.

Cada planta cuenta con un sensor de humedad en suelo HI-69, los cuales se insertaron de forma transversal en la maceta aproximadamente a la mitad de lo alto de la maceta. Una vez realizado el análisis, la lectura del sensor de humedad de agua en suelo arroja valores que van de 0 perteneciente a tierra seca, es decir sin ninguna cantidad de agua, y hasta 25 que es la saturación del sensor y representa el 25% de humedad. Siendo el 100% de humedad el líquido directamente.

El sensor de temperatura infrarrojo MXL90614 esta calibrado de fábrica para entregar temperaturas en rangos de -40 a 125 °C para temperaturas ambiente y -70 a 380 °C para temperaturas objeto.

El sensor de humedad relativa HIH-4030 entrega valores de 0.8V a 3.9V escalados en porcentajes (0% a 100%) [15].

A partir del procesamiento de imagen se obtiene un porcentaje de follaje en buen estado y mal estado de la vista superior de la planta, además se proporciona la cantidad de pixeles analizados de la planta solamente, discriminando las partes que no corresponden a la planta. El análisis de

procesamiento de imagen es realizado a una imagen fotográfica aérea de la planta capturada por la cámara Microsoft LifeCam HD-6000.

Para el correcto funcionamiento del procesamiento de imagen se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones [12]:

- El color de fondo alrededor de la planta a analizar deber ser blanco, esto para facilitar la detección del área que abarca la planta y discriminar el resto.
- La iluminación del invernadero debe estar encendida al momento de realizar el análisis de las plantas.
- El algoritmo de procesamiento de imagen se centra en la detección de zonas amarillas en las hojas. El color amarillo en las hojas de una planta significa que hay un déficit de clorofila (clorosis) en la misma, se puede deber a varios motivos, los más comunes son: plagas que consuman la clorofila de la planta, falta de nutrientes, insuficiente exposición a la luz solar, falta de agua suficiente.
- Se debe tener cuidado que el campo de visión de la cámara y la captura realizada por esta contenga solamente a la planta a analizar.

5.2.1 Grupo de Estudio 1.

Grupo1: Pertenece a la sección 1 de riego.

Sujeto de Estudio: Planta 1 y Planta 6.

Días de Experimentación: Los análisis de las plantas tuvieron una duración de 44 días.

Periodo de análisis: Las pruebas se realizaron del día 1 de Mayo del 2016 al día 14 de Junio del 2016.

Horas de análisis: Se realizaron 8 muestreos al día los cuales se seccionaron durante las 24 horas obteniendo así un análisis de muestreo cada 3 horas. En la tabla 5.3 se muestra las horas en las que se realizó el muestreo. Las horas se muestran en un formato de 24 hrs.

Tabla 5.3 Horario de toma de muestras durante el análisis.

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8
00:30	03:30	06:30	09:30	12:30	15:30	18:30	21:30

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

Total de muestras: Al finalizar el experimento se obtuvieron un total de 750 muestras, siendo 350 correspondientes a la Planta 1 y 350 correspondientes a la Planta 6.

Hora de regado: Para este análisis se estableció un regado diario a las 14:30 hrs.

Cantidad de agua suministrada: Para este grupo de estudio se estableció que no se iba a regar por lo que se suministró 0ml de agua.

Observaciones: No se presentó ningún incidente o anomalía durante la realización de estas pruebas.

Datos Obtenidos: Los datos recopilados por ambas plantas son demasiados para ser presentados de forma completa, por lo que se presenta en la tabla 5.4 y 5.5 se muestran los promedios de los valores de los datos recopilados por día.

Tabla 5.4 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 1.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Buena	% Mala	Total de Pixeles
1	28.43	17.12	29	21.00	98.75	1.25	159872.00
2	29.35	17.83	28.01	21.00	98.69	1.31	159213.00
3	32.56	18.53	30.85	20.22	97.27	2.73	156719.00
4	29.13	17.45	28.09	20.10	93.24	6.76	155233.00
5	31.24	20.34	30.11	18.89	87.34	12.66	151301.00
6	30.97	20.87	28.64	18.76	87.42	12.58	150125.00
7	27.34	21.56	26.38	18.92	86.09	13.91	148778.00
8	34.56	23.84	31.83	16.00	78.04	21.96	148410.00
9	33.48	22.83	31.38	15.51	77.63	22.37	146378.00
10	30.63	23.49	29.37	15.30	77.21	22.79	146175.00
11	32.85	21.09	30.47	14.71	75.49	24.51	146104.00
12	34.77	22.12	30.93	14.52	74.78	25.22	105549.00
13	34.56	24.75	32.47	14.08	74.02	25.98	105489.00
14	33.98	21.98	31.36	12.66	69.45	30.55	104393.00
15	35.67	22.83	33.47	12.27	69.34	30.66	104052.00
16	32.54	22.48	30.73	12.00	67.32	32.68	102813.00
17	30.34	23.53	29.46	11.97	66.01	33.99	102666.00

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

18	30.12	22.37	29.47	11.86	64.98	35.02	97176.00
19	28.65	24.73	28.46	11.83	65.00	35.00	93566.00
20	31.73	25.04	28.74	11.45	64.11	35.89	92140.00
21	27.84	27.83	26.83	9.84	58.65	41.35	91264.00
22	17.58	18.64	16.33	9.36	58.22	41.78	89593.00
23	29.45	27.94	27.84	9.23	57.23	42.77	88769.00
24	28.43	29.54	27.97	8.96	55.98	44.02	88530.00
25	30.36	30.26	28.46	8.88	55.76	44.24	88455.00
26	31.35	30.53	30.27	8.34	55.03	44.97	88087.00
27	32.04	32.73	30.83	6.83	47.45	52.55	87553.00
28	33.94	31.37	31.37	6.05	47.03	52.97	86867.00
29	34.56	32.34	32.64	5.76	42.90	57.10	86478.00
30	32.85	30.63	30.26	5.23	42.88	57.12	85324.00
31	34.89	32.74	31.34	3.98	38.60	61.40	84190.00
32	33.63	29.74	31.83	3.78	37.98	62.02	84033.00
33	34.71	32.78	32.22	3.03	37.25	62.75	83962.00
34	35.09	35.39	34.29	2.40	32.76	67.24	70292.00
35	34.91	22.63	31.24	2.38	32.15	67.85	70161.00
36	33.86	25.73	29.46	2.34	32.04	67.96	54338.00
37	34.54	27.96	30.26	2.25	30.91	69.09	53506.00
38	32.82	25.83	29.37	1.78	29.65	70.35	52040.00
39	30.73	27.20	29.36	1.45	29.16	70.84	50812.00
40	28.45	22.83	28.01	1.18	28.00	72.00	49283.00
41	30.56	23.56	29.83	1.12	27.87	72.13	48289.00
42	35.45	24.63	33.27	1.08	27.95	72.05	46981.00
43	35.85	23.74	32.58	1.10	26.45	73.55	46561.00
44	35.74	28.53	32.25	1.11	25.84	74.16	46318.00

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

Tabla 5.5 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 6.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Malo	Total de Inzales
1	28.43	17.12	29.07	20.86	97.09	2.91	159872.00
2	29.35	17.83	28.41	20.34	96.98	3.02	159213.00
3	32.56	18.53	30.47	20.00	93.74	6.26	156719.00
4	29.13	17.45	28.09	19.56	93.29	6.71	155233.00
5	31.74	20.34	30.16	19.14	86.00	14.00	151301.00
6	30.97	20.82	28.45	18.65	85.78	14.22	150125.00
7	27.34	21.56	26.34	17.89	85.01	14.99	148778.00
8	34.56	23.84	31.88	17.12	81.23	17.77	148410.00
9	33.48	22.83	30.98	15.98	80.94	19.05	146378.00
10	30.63	23.49	29.37	15.23	79.45	20.55	146175.00
11	32.85	21.09	30.49	15.02	77.49	22.51	146104.00
12	34.77	22.12	30.92	13.87	76.78	23.22	105549.00
13	34.56	24.75	32.25	13.52	76.02	23.98	109489.00
14	33.98	21.98	31.26	13.09	73.45	26.55	104393.00
15	35.67	22.83	33.58	11.89	71.34	28.66	104052.00
16	32.54	22.48	30.73	11.76	69.32	30.68	102813.00
17	30.34	23.53	28.56	11.23	68.01	31.99	102666.00
18	30.12	22.37	29.97	10.59	66.98	33.02	97176.00
19	28.65	24.73	28.26	10.05	65.00	35.00	93566.00
20	31.73	25.04	29.31	9.45	62.19	37.81	92140.00
21	27.84	27.83	26.83	9.37	58.85	41.15	91264.00
22	17.58	28.64	16.85	8.79	58.22	41.78	89593.00
23	29.45	27.94	27.84	8.43	57.32	42.68	88769.00
24	28.43	29.54	27.34	7.93	56.07	43.93	88530.00
25	30.36	30.26	28.45	7.68	55.75	44.25	88455.00
26	31.95	30.53	30.97	7.06	55.00	45.00	88087.00
27	32.04	32.73	30.83	5.89	46.45	53.55	87553.00

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

28	33.94	31.37	31.73	5.73	45.03	54.97	86867.00
29	34.56	32.34	31.34	5.23	42.90	57.10	86478.00
30	32.85	30.63	30.86	4.37	41.67	58.33	85324.00
31	34.89	32.74	30.39	4.56	39.60	60.40	84190.00
32	33.63	29.74	31.82	3.26	37.98	62.02	84033.00
33	34.71	32.78	32.26	2.82	35.25	64.75	83962.00
34	35.09	35.39	34.76	2.64	34.76	65.24	70292.00
35	34.91	22.63	31.23	2.53	34.15	65.85	70161.00
36	33.86	25.73	29.44	2.11	31.04	68.96	54338.00
37	34.54	27.96	30.22	1.78	30.34	69.66	53506.00
38	32.82	25.83	29.27	1.77	28.65	71.35	52040.00
39	30.73	17.20	29.93	1.23	27.16	72.84	50812.00
40	28.45	22.83	28.62	1.12	26.70	73.30	49283.00
41	30.56	23.56	29.73	1.09	26.35	73.65	48289.00
42	35.45	24.63	33.26	1.07	25.84	74.16	46981.00
43	35.85	23.74	32.62	1.07	25.74	74.26	46561.00
44	35.74	28.58	32.24	1.03	25.17	74.83	46318.00

5.2.2 Grupo de Estudio 2.

Grupo 2: Perteneciente a la sección 2 de riego.

Sujeto de Estudio: Planta 2 y Planta 5.

Días de Experimentación: Los análisis de las plantas tuvieron una duración de 44 días.

Período de análisis: Las pruebas se realizaron del día 1 de Mayo del 2016 al día 14 de Junio del 2016.

Horas de análisis: Se realizaron 8 muestreos al día los cuales se seccionaron durante las 24 horas obteniendo así un análisis de muestreo cada 3 horas. En la tabla 5.3 se muestra las horas en las que se realizó el muestreo. Las horas se muestran en un formato de 24 hrs.

Total de muestras: Al finalizar el experimento se obtuvieron un total de 750 muestras, siendo 350 correspondientes a la Planta 2 y 350 correspondientes a la Planta 5.

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

Hora de riego: Para este análisis se estableció un riego diario a las 14:30 hrs.

Cantidad de agua suministrada: Para este grupo de estudio se suministró 30ml de agua.

Observaciones: No se presentó ningún incidente o anomalía durante la realización de estas pruebas.

Datos Obtenidos: Los datos recopilados por ambas plantas son demasiados para ser presentados de forma completa, por lo que se presenta en la tabla 5.6 y 5.7 se muestran los promedios de los valores de los datos recopilados por día.

Tabla 5.6 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 2.

Día	Temperature Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Malo	Total de Pixeles
1	28.43	17.12	28.73	21.1	99.03	0.97	159878.00
2	29.35	17.83	28.73	21.00	99.01	0.99	159226.00
3	32.56	18.53	30.36	21.00	98.78	1.22	157718.00
4	29.13	17.45	29.02	20.90	99.21	0.79	157469.00
5	31.24	20.34	30.19	20.74	98.99	1.01	156986.00
6	30.97	20.82	28.64	20.38	98.78	1.22	156363.00
7	27.34	21.56	26.38	20.45	98.86	1.14	156294.00
8	34.56	23.84	31.73	20.07	98.83	1.17	155764.00
9	33.48	22.83	31.54	20.23	98.75	1.25	155496.00
10	30.63	23.49	29.37	19.83	98.73	1.27	155035.00
11	32.85	21.09	30.64	19.45	97.93	2.07	153995.00
12	34.77	22.12	30.28	19.34	97.16	1.84	154098.00
13	34.56	24.75	32.47	18.64	97.84	2.16	154234.00
14	33.98	21.98	31.36	18.70	98.02	1.98	155032.00
15	35.67	22.83	33.25	18.23	97.64	2.36	154865.00
16	32.54	22.48	30.38	18.03	97.49	2.51	153956.00
17	30.34	23.53	29.38	17.89	97.06	2.94	153847.00
18	30.12	22.37	29.35	18.00	96.87	3.13	153285.00
19	28.65	24.73	29.46	17.56	96.92	3.08	152947.00
20	31.73	25.04	29.44	17.45	97.13	2.87	152746.00

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

21	27.84	27.83	26.83	15.99	97.00	3.00	152184.00
22	17.58	28.64	16.32	16.52	95.97	4.03	151945.00
23	29.45	27.94	28.36	16.34	96.34	3.66	151846.00
24	28.43	29.54	28.93	15.39	96.48	3.52	151634.00
25	30.36	30.26	29.37	16.02	94.98	5.02	151385.00
26	31.35	30.53	30.83	16.78	95.12	4.88	151734.00
27	32.04	32.73	30.93	16.93	93.78	6.22	151046.00
28	33.94	31.37	31.28	17.34	94.85	5.15	150987.00
29	34.56	32.34	32.36	14.89	94.34	5.66	150737.00
30	32.85	30.63	30.26	15.03	93.87	6.13	148946.00
31	34.89	32.74	31.46	16.00	93.99	6.01	149725.00
32	33.63	29.74	31.27	16.35	94.08	6.92	149626.00
33	34.71	32.78	32.73	17.09	94.35	5.65	150736.00
34	35.09	35.39	33.27	16.45	93.23	6.77	150837.00
35	34.91	22.63	32.64	16.89	91.98	8.02	150083.00
36	33.86	25.73	29.41	17.23	92.34	7.66	148836.00
37	34.54	27.96	31.46	17.34	92.30	7.70	148525.00
38	32.82	25.83	29.97	16.23	92.45	7.55	148364.00
39	30.73	27.20	29.28	16.29	92.11	7.89	148433.00
40	28.45	22.83	28.64	15.00	91.27	8.73	148074.00
41	30.56	23.56	29.27	15.76	91.11	8.89	147553.00
42	35.45	24.63	32.27	16.03	90.84	9.16	147546.00
43	35.85	23.74	33.58	15.23	90.03	9.97	147935.00
44	35.74	28.53	33.65	15.02	90.12	9.88	147243.00

Tabla 5.7 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 5.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Malo	Total de Píxeles
1	28.43	17.12	29.07	21.3	98.09	0.91	159976.00
2	29.35	17.83	28.41	21.60	98.78	1.22	159428.00
3	32.56	18.53	30.47	22.0	98.81	1.19	157613.00
4	29.13	17.45	28.09	21.26	97.36	2.64	157469.00
5	31.24	20.34	30.16	21.03	97.20	2.80	156956.00
6	30.97	20.82	28.45	19.67	97.67	2.33	156363.00
7	27.34	21.56	26.34	20.00	97.04	2.96	156267.00
8	34.56	23.84	31.88	20.56	96.85	3.15	155764.00
9	33.48	22.83	30.98	20.18	96.56	3.44	155496.00
10	30.63	23.49	29.37	20.65	97.02	2.98	155035.00
11	32.85	21.09	30.49	19.99	96.87	3.13	153995.00
12	34.77	22.12	30.92	20.12	97.19	2.81	154098.00
13	34.56	24.75	32.25	20.56	97.68	2.32	154234.00
14	33.98	21.98	31.26	20.00	97.46	2.54	155032.00
15	35.67	22.83	33.58	19.34	96.87	3.13	154855.00
16	32.54	22.48	30.73	19.45	96.83	3.17	153956.00
17	30.34	23.53	28.56	19.11	96.02	3.98	153847.00
18	30.12	22.37	29.97	18.67	96.37	3.63	153285.00
19	28.65	24.73	28.26	18.56	95.99	4.01	152947.00
20	31.73	25.04	29.31	18.02	95.87	4.13	152746.00
21	27.84	27.83	26.83	18.17	96.01	3.99	152184.00
22	17.58	28.64	16.85	16.98	94.76	5.24	151645.00
23	29.45	27.94	27.84	17.36	93.87	6.13	151846.00
24	28.43	29.54	27.34	16.00	93.68	6.32	151634.00
25	30.36	30.26	28.45	15.75	94.34	5.66	151385.00
26	31.35	30.53	30.97	15.28	94.35	6.65	156434.00
27	32.04	32.79	30.33	16.00	93.59	6.41	151046.00

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

28	33.94	31.37	31.73	16.23	92.09	7.91	150987.00
29	34.56	32.34	31.34	16.87	93.87	6.13	150737.00
30	32.85	30.63	30.86	16.00	89.00	11.00	148946.00
31	34.89	32.74	30.39	16.12	90.45	9.55	149725.00
32	33.63	29.74	31.82	16.97	91.65	8.35	154626.00
33	34.71	32.78	32.26	17.02	93.87	6.13	153736.00
34	35.09	35.39	34.76	17.11	94.11	5.89	152837.00
35	34.91	22.63	31.28	16.90	93.76	6.24	150083.00
36	33.86	25.73	29.44	17.34	93.98	6.02	148836.00
37	34.54	27.96	30.22	17.83	94.02	5.98	148525.00
38	32.82	25.83	29.27	17.25	93.47	6.53	148364.00
39	30.73	27.20	29.93	17.00	92.64	7.36	148433.00
40	28.45	22.83	28.62	16.87	93.27	6.73	148074.00
41	30.56	23.56	29.73	16.64	92.74	7.26	147594.00
42	35.45	24.63	33.26	16.32	92.26	7.74	147846.00
43	35.85	23.74	32.62	16.73	93.11	6.89	148933.00
44	35.74	28.53	32.24	16.07	92.23	7.77	148283.00

5.2.3 Grupo de Estudio 3.

Grupo3: Perteneciente a la sección 3 de riego.

Sujeto de Estudio: Planta 3 y Planta 4.

Días de Experimentación: Los análisis de las plantas tuvieron una duración de 44 días.

Periodo de análisis: Las pruebas se realizaron del día 1 de Mayo del 2016 al día 14 de Junio del 2016.

Horas de análisis: Se realizaron 8 muestreos al día los cuales se seccionaron durante las 24 horas obteniendo así un análisis de muestreo cada 3 horas. En la tabla 5.3 se muestra las horas en las que se realizó el muestreo. Las horas se muestran en un formato de 24 hrs.

Total de muestras: Al finalizar el experimento se obtuvieron un total de 750 muestras, siendo 350 correspondientes a la Planta 3 y 350 correspondientes a la Planta 4.

Hora de riego: Para este análisis se estableció un riego diario a las 14:30 hrs.

Cantidad de agua suministrada: Para este grupo de estudio se suministró 60ml de agua.

Observaciones: No se presentó ningún incidente o anomalía durante la realización de estas pruebas.

Datos Obtenidos: Los datos recopilados por ambas plantas son demasiados para ser presentados de forma completa, por lo que se presenta en la tabla 5.8 y 5.9 se muestran los promedios de los valores de los datos recopilados por día.

Tabla 5.8 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 3.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Malo	Total de Píxeles
1	28.43	17.12	28.73	20.00	98.75	1.25	189807.00
2	29.35	17.83	28.73	21.00	98.69	1.31	202879.00
3	32.56	18.53	30.36	20.90	98.27	1.73	191354.00
4	29.13	17.45	29.02	20.89	98.59	1.41	183456.00
5	31.24	20.34	30.19	20.91	98.40	1.60	205510.00
6	30.97	20.82	28.64	21.00	98.17	1.83	187259.00
7	27.34	21.55	26.38	21.34	97.89	2.01	203110.00
8	34.56	23.84	31.73	21.87	98.25	1.75	172870.00
9	33.48	22.83	31.34	21.90	98.18	1.82	200386.00
10	30.63	23.49	29.37	21.98	98.06	1.94	202723.00
11	32.85	21.09	30.64	20.99	98.12	1.88	200907.00
12	34.77	22.12	30.28	20.85	98.25	1.75	200559.00
13	34.56	24.75	32.47	20.94	97.94	2.06	202696.00
14	33.98	21.98	31.36	21.11	98.11	1.89	192885.00
15	35.67	21.83	33.25	21.67	97.91	2.09	197747.00
16	32.54	22.48	30.38	22.00	98.33	1.67	195432.00
17	30.34	23.53	29.38	21.89	97.93	2.07	194207.00
18	30.12	22.37	29.35	22.00	97.70	2.30	193244.00
19	28.65	24.73	29.46	22.00	98.01	1.99	195290.00

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

20	31.73	25.04	29.44	22.00	97.98	2.02	173586.00
21	27.84	27.83	26.83	22.00	97.89	2.11	198713.00
22	17.58	28.64	16.32	22.00	98.05	1.95	200306.00
23	29.45	27.94	28.36	22.00	98.16	1.84	173265.00
24	28.43	29.54	28.93	22.40	98.01	1.99	200485.00
25	30.36	30.26	29.37	22.50	97.96	2.04	187220.00
26	31.35	30.53	30.83	22.00	97.96	2.04	190467.00
27	32.04	32.73	30.93	22.10	97.92	2.08	187784.00
28	33.94	31.37	31.28	22.00	98.16	1.84	189540.00
29	34.56	32.34	32.36	21.00	97.77	2.23	190551.00
30	32.85	30.63	30.26	21.87	98.00	2.00	195058.00
31	34.89	32.74	31.46	22.00	98.51	1.49	198104.00
32	33.63	29.74	31.27	22.00	97.99	2.01	184682.00
33	34.71	32.78	32.73	22.30	98.07	1.93	186518.00
34	35.09	35.39	33.27	22.00	97.59	2.41	179577.00
35	34.91	22.63	32.64	22.00	98.10	1.90	187457.00
36	33.86	25.73	29.41	22.25	98.02	1.98	195694.00
37	34.54	27.96	31.46	22.00	98.01	1.99	192732.00
38	32.82	25.83	29.97	22.00	98.53	1.47	192823.00
39	30.73	27.20	29.28	22.00	98.45	1.55	194133.00
40	28.45	22.83	28.64	21.00	98.44	1.56	200717.00
41	30.56	23.56	29.27	21.59	98.12	1.88	199001.00
42	35.45	24.63	32.27	21.45	98.03	1.97	203102.00
43	35.85	23.74	33.58	22.02	98.25	1.75	204223.00
44	35.74	28.53	33.65	22.00	97.94	2.06	201863.00

Tabla 5.9 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 4.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Saco	% Bueno	% Malo	Total de Fijales
1	28.43	17.12	28.35	21.00	98.27	1.73	191767.00
2	29.35	17.83	27.41	21.00	98.25	1.75	181364.00
3	32.56	18.53	30.67	21.11	98.34	1.66	183727.00
4	29.13	17.45	28.04	21.00	98.29	1.71	189515.00
5	31.24	20.34	30.16	21.57	98.30	1.70	193981.00
6	30.97	20.82	28.45	22.00	98.19	1.81	191997.00
7	27.34	21.56	26.34	22.60	98.30	1.70	196887.00
8	34.56	23.84	31.88	21.00	98.29	1.71	198256.00
9	33.48	22.83	30.98	21.60	98.29	1.71	195235.00
10	30.63	23.49	29.37	21.00	98.12	1.88	191122.00
11	32.85	21.09	30.49	21.50	98.29	1.71	186630.00
12	34.77	22.12	30.92	21.00	98.39	1.61	187347.00
13	34.56	24.75	32.25	21.60	98.34	1.66	189608.00
14	33.98	21.98	31.26	21.00	98.40	1.60	188026.00
15	35.67	22.83	33.58	21.60	98.42	1.58	193255.00
16	32.54	22.48	30.73	22.00	98.43	1.57	193724.00
17	30.34	23.53	28.56	21.50	98.41	1.59	193111.00
18	30.12	22.37	29.97	21.50	98.35	1.65	199108.00
19	28.65	24.73	28.76	22.00	98.39	1.61	198961.00
20	31.73	25.04	29.31	21.00	98.23	1.77	200502.00
21	27.84	27.83	26.83	22.40	98.45	1.55	192504.00
22	17.58	28.64	16.85	21.50	98.26	1.74	191009.00
23	29.45	27.94	27.84	21.60	98.52	1.48	203936.00
24	28.43	29.54	27.34	22.00	98.60	1.40	205468.00
25	30.36	30.26	28.45	22.00	98.53	1.47	205291.00
26	31.35	30.53	30.97	22.00	98.38	1.62	200986.00

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

27	32.04	32.73	30.83	22.40	98.57	1.43	203944.00
28	33.94	31.37	31.73	21.50	98.57	1.43	191089.00
29	34.56	32.34	31.34	22.00	98.51	1.49	201162.00
30	32.85	30.63	30.86	22.00	98.58	1.42	202751.00
31	34.89	32.74	30.39	22.00	98.39	1.61	193958.00
32	33.63	29.74	31.82	23.00	98.57	1.43	197395.00
33	34.71	32.78	32.26	22.00	98.41	1.59	202833.00
34	35.09	35.39	34.76	21.50	98.55	1.45	1931910.00
35	34.91	22.63	31.28	21.00	98.55	1.45	205435.00
36	33.86	25.73	29.44	21.00	98.60	1.40	207179.00
37	34.54	27.96	30.22	22.00	98.57	1.43	205837.00
38	32.82	25.93	29.77	22.00	98.55	1.45	211088.00
39	30.73	27.20	29.93	22.09	98.56	1.44	210287.00
40	28.45	22.83	28.62	21.90	98.56	1.44	199613.00
41	30.56	23.56	29.73	22.12	98.23	1.77	209819.00
42	35.45	24.63	33.26	22.10	97.37	2.63	201535.00
43	35.85	23.74	32.62	21.67	98.03	1.97	194220.00
44	35.74	28.53	32.24	21.00	98.34	1.66	199075.00

5.3 Prueba con plantas de Orégano.

El nombre científico del orégano es *Origanum*, proviene de Europa y de Asia occidental. Se cultiva por su demanda en el sector farmacéutico, de los licores y cosmético, además de la industria alimentaria, conservera y semillera. El nombre deriva del griego y hace referencia a “alegría de la montaña”. La tabla 5.10 muestra la clasificación científica de esta planta [22].

Tabla 5.10 Clasificación científica del Orégano.

Reino	Plantas
Orden	Lamiales
Familia	Lamiaceae (ex) Labiateae
Genero	<i>Origanum</i>
Especies	<i>Vulgare, Onites, Compactum, Dictamnus</i>

5.3.1 Cultivo

El tallo es erguido, cuadrangular, de 50-80 cm de alto, ramificado y en la parte superior de color rojizo y bañado, en la mayor parte de las especies, de una espesa pelusa. La raíz es un rizoma rastrero negruzco provisto de raíces fibrosas. Las hojas son ovalado-lanceoladas, con márgenes lisos o ligeramente dentados, provistas de un corto peciolo, a menudo pubescentes.

El *Origanum vulgare* es lo que nosotros conocemos y que estamos acostumbrados a comprar como orégano, utilizado con fines alimenticios o terapéuticos.

El cultivo del orégano tiene éxito en todos los tipos de terreno ricos en materia orgánica e incluso en lugares áridos. Crece espontáneamente en todo el continente euroasiático, a condición de que el clima sea entre templado y subtropical, no demasiado seco. Resiste bien las heladas. Vive en las montañas, hasta los 3.000 metros sobre el nivel del mar. Prefiere suelos secos, debe ser regado poco y a menudo teniendo cuidado con no empapar el terreno y no deje encharcamientos que no toleran en modo alguno porque causan la putrefacción de las raíces. La mayor demanda de agua se tiene cuando la planta todavía es joven y durante la floración [23].

5.4 Metodología de Experimento 2.

Para realizar estas pruebas se dividieron las plantas en 3 grupos quedando distribuidos al igual que las pruebas anteriores como se muestra en la Tabla 5.2.

La división de estos grupos se realizó debido a que se necesitaban obtener diferentes estados en las plantas y suministrando las diferentes cantidades de agua a cada sección se podía lograr el objetivo de tener diferentes casos para el entrenamiento de una red neuronal artificial.

Se utilizaron los sensores de temperatura, humedad relativa y humedad en suelo así como el procesamiento de imágenes para estar recabando los datos del estado de las plantas.

5.4.1 Grupo de Estudio 1.

Grupo1: Perteneciente a la sección 1 de riego.

Sujeto de Estudio: Planta 1 y Planta 6.

Días de Experimentación: Los análisis de las plantas tuvieron una duración de 44 días.

Periodo de análisis: Las pruebas se realizaron del día 23 de Agosto del 2016 al día 10 de Octubre del 2016.

Horas de análisis: Se realizaron 8 muestreos al día los cuales se seccionaron durante las 24 horas obteniendo así un análisis de muestreo cada 3 horas. En la tabla 5.11 se muestra las horas en las que se realizó el muestreo. Las horas se muestran en un formato de 24 hrs.

Tabla 5.11 Horario de toma de muestras durante el análisis 2.

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8
00:30	03:30	06:30	09:30	12:30	15:30	18:30	21:30

Total de muestras: Al finalizar el experimento se obtuvieron un total de 750 muestras, siendo 350 correspondientes a la Planta 1 y 350 correspondientes a la Planta 6.

Hora de regado: Para este análisis se estableció un regado diario a las 14:30 hrs.

Cantidad de agua suministrada: Para este grupo de estudio se estableció que no se iba a regar por lo que se suministró 0ml de agua.

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

Observaciones: Del día 27 de agosto al 30 de agosto no hubo energía eléctrica y no se encendió el equipo y los sensores. Los días 11 y 12 de Septiembre se despegó la cámara.

Datos Obtenidos: Los datos recopilados por ambas plantas son demasiados para ser presentados de forma completa, por lo que se presenta en la tabla 5.12 y 5.13 se muestran los promedios de los valores de los datos recopilados por día.

Tabla 5.12 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 1 Experimento 2.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Malo	Total de Píxeles
1	33.00	41.45	31.00	21.00	93.80	6.20	68606
2	17.79	41.97	16.56	21.00	93.67	6.33	68072
3	33.25	39.36	31.78	19.62	93.26	6.74	66128
4	20.30	45.28	18.45	19.03	92.98	7.02	63710
5	26.43	46.64	25.36	18.53	92.65	7.35	61294
6	34.06	36.71	32.09	16.38	90.03	9.97	60324
7	20.77	36.24	20.00	16.37	89.03	10.97	59237
8	26.60	36.25	25.38	17.63	89.05	10.95	59174
9	31.59	27.61	30.06	17.01	88.92	11.08	52272
10	30.10	26.47	29.73	15.29	88.71	11.29	50977
11	34.15	36.14	32.00	14.82	84.82	15.18	47766
12	34.50	35.15	32.56	12.73	82.62	17.38	45127
13	35.86	30.53	33.04	12.42	82.14	17.86	44812
14	36.03	30.80	33.00	10.63	80.72	19.28	44031
15	31.49	37.42	30.50	10.52	80.43	19.57	42094
16	33.54	35.00	31.00	10.00	80.01	19.99	41832
17	31.27	40.50	31.00	9.62	79.00	21.00	41096
18	33.47	37.88	32.87	9.41	78.93	21.07	41231
19	25.80	42.23	29.98	9.03	78.53	21.47	41003
20	31.66	35.62	30.87	8.53	78.54	21.46	41020
21	30.86	43.87	30.00	8.34	78.00	22.00	40983
22	32.00	41.93	32.00	7.83	77.73	22.27	40725

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

23	29.14	47.62	28.76	7.83	77.82	22.18	40845
24	30.86	44.18	29.53	7.04	76.93	23.07	40342
25	28.19	48.89	27.52	6.93	76.82	23.18	40234
26	31.47	45.54	30.73	6.74	74.54	25.46	40219
27	31.15	38.89	30.27	6.62	73.29	26.71	40218
28	33.54	37.00	31.02	6.18	70.07	29.93	40001
29	23.97	37.59	21.37	5.82	67.82	32.18	39845
30	33.71	35.21	31.89	5.51	65.98	34.02	39745
31	34.25	35.66	32.00	5.28	65.00	35.00	39046
32	34.76	33.83	32.03	5.03	62.75	37.25	38834
33	33.32	33.79	31.72	5.00	61.93	38.07	38743
34	30.20	42.00	29.63	4.86	59.72	40.28	38245
35	32.03	40.53	31.37	5.00	59.51	40.49	38242
36	35.89	36.23	33.00	4.95	58.92	41.08	38104
37	36.16	34.88	34.27	4.73	58.25	41.75	38000
38	36.47	32.39	35.28	4.06	57.73	42.27	36987
39	36.72	32.77	33.92	3.87	53.92	46.08	37121
40	32.35	37.81	31.83	3.55	51.72	48.28	36943
41	34.50	35.29	31.84	3.98	50.05	49.95	35872
42	31.44	40.88	30.84	3.21	49.73	50.27	35810
43	33.76	37.94	31.00	2.96	46.82	53.18	34938
44	31.32	41.93	29.74	2.65	46.00	54.00	34721

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

Tabla 5.13 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 6 Experimento 2.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Malo	Total de Pixeles
1	33.00	41.45	31.80	21.00	94.21	5.79	67606
2	17.79	41.97	17.51	21.09	93.65	6.35	67542
3	33.25	39.36	31.81	19.52	93.26	6.74	66126
4	20.30	45.28	18.40	19.00	92.98	7.02	63710
5	26.43	46.64	25.36	18.27	92.65	7.35	61294
6	34.06	36.71	30.09	16.00	90.03	9.97	60324
7	20.77	36.24	19.60	16.00	89.03	10.97	59237
8	26.60	36.25	25.00	16.63	89.05	10.95	59174
9	31.59	27.61	30.79	17.01	88.92	11.08	52272
10	30.10	26.47	29.73	16.00	88.71	11.29	50977
11	34.15	36.14	32.00	14.63	84.82	15.18	47766
12	34.50	35.15	32.06	12.41	82.62	17.38	45127
13	35.86	30.53	33.00	12.16	82.14	17.86	44812
14	36.03	30.80	33.00	11.00	80.72	19.28	44031
15	31.49	37.42	30.00	10.72	80.43	19.57	42094
16	33.54	35.00	31.50	10.48	80.01	19.99	41832
17	31.27	40.50	31.00	9.81	79.00	21.00	41096
18	33.47	37.88	32.87	9.95	78.93	21.07	41231
19	25.80	42.23	24.00	9.01	78.53	21.47	41003
20	31.66	35.62	30.87	9.00	78.54	21.46	41020
21	30.86	43.92	30.00	8.26	78.00	22.00	40983
22	32.00	41.93	32.00	8.00	77.73	22.27	40725
23	29.14	47.62	27.76	7.73	77.82	22.18	40845
24	30.86	44.18	29.51	7.21	76.93	23.07	40342
25	28.19	48.89	27.72	6.93	76.82	23.18	40234
26	31.47	45.54	30.13	6.74	72.51	27.41	40219
27	31.15	38.89	31.00	6.62	73.39	26.61	40218

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

28	33.54	37.00	31.00	6.04	70.00	30.00	40001
29	23.97	37.59	22.31	6.00	66.98	33.02	39849
30	33.71	35.21	31.93	5.83	65.98	34.02	39745
31	34.25	35.66	32.80	5.28	65.00	35.00	39046
32	34.76	33.83	32.03	5.00	62.75	37.25	38834
33	33.32	33.79	31.92	5.00	61.93	38.07	38743
34	30.20	42.00	29.61	4.99	59.72	40.28	38245
35	32.03	40.53	31.00	5.00	59.51	40.49	38242
36	35.89	36.23	33.02	4.95	58.92	41.08	38104
37	36.16	34.88	34.27	4.93	58.25	41.75	38000
38	36.47	32.39	35.28	4.06	57.73	42.27	36987
39	36.72	32.77	33.31	3.85	53.92	46.08	37121
40	32.35	37.81	31.83	3.33	51.72	48.28	36943
41	34.50	35.29	31.21	3.08	50.05	49.95	35872
42	31.44	40.88	30.65	3.00	49.73	50.27	35810
43	33.76	37.94	31.20	2.96	46.82	53.18	34938
44	31.32	41.93	30.12	2.72	45.70	54.30	34721

5.4.2 Grupo de Estudio 2.

Grupo2: Perteneciente a la sección 2 de riego.

Sujeto de Estudio: Planta 2 y Planta 5

Días de Experimentación: Los análisis de las plantas tuvieron una duración de 44 días.

Periodo de análisis: Las pruebas se realizaron del día 23 de Agosto del 2016 al día 10 de Octubre del 2016.

Horas de análisis: Se realizaron 8 muestreos al día los cuales se seccionaron durante las 24 horas obteniendo así un análisis de muestreo cada 3 horas. En la tabla 5.11 se muestra las horas en las que se realizó el muestreo. Las horas se muestran en un formato de 24 hrs.

Total de muestras: Al finalizar el experimento se obtuvieron un total de 750 muestras, siendo 350 correspondientes a la Planta 2 y 350 correspondientes a la Planta 5.

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

Hora de riego: Para este análisis se estableció un riego diario a las 14:30 hrs.

Cantidad de agua suministrada: Para este grupo de estudio se suministró 20 ml de agua.

Observaciones: Del día 27 de agosto al 30 de agosto no hubo energía eléctrica y no se encendió el equipo y los sensores. Los días 11 y 12 de Septiembre se despegó la cámara.

Datos Obtenidos: Los datos recopilados por ambas plantas son demasiados para ser presentados de forma completa, por lo que se presenta en la tabla 5.14 y 5.15 se muestran los promedios de los valores de los datos recopilados por día.

Tabla 5.14 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 2 Experimento 2.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Malo	Total de Pivales
1	33.00	41.45	31.00	20.58	93.02	6.98	68606
2	17.79	41.97	16.56	20.12	92.86	7.14	52324
3	33.25	39.36	31.78	19.82	92.74	7.26	53294
4	20.30	45.28	18.45	19.23	92.76	7.24	53710
5	26.43	46.64	25.36	18.21	91.73	8.27	54339
6	34.06	36.71	32.09	18.14	89.62	10.38	50728
7	20.77	36.24	20.00	18.00	89.61	10.39	48987
8	26.60	36.25	25.38	18.00	89.45	10.55	52528
9	31.59	27.61	30.06	17.92	89.32	10.68	51611
10	30.10	26.47	29.73	17.73	88.63	11.37	50671
11	34.15	36.14	32.00	17.23	88.72	11.28	48691
12	34.50	35.15	32.56	17.06	82.09	17.91	51765
13	35.86	30.53	33.04	17.00	83.00	17.00	50994
14	36.03	30.80	33.00	17.00	81.72	18.28	50675
15	31.49	37.42	30.50	17.00	82.83	17.17	49568
16	33.54	35.00	31.00	16.72	83.00	17.00	47272
17	31.27	40.50	31.00	16.83	83.82	16.18	47839
18	33.47	37.88	32.87	16.49	84.09	15.91	45977
19	25.80	42.23	23.98	16.92	84.72	15.28	44300

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

20	31.66	35.62	30.87	16.50	83.82	16.18	44766
21	30.86	43.82	30.00	16.27	84.80	15.20	45011
22	32.00	41.93	32.00	15.93	85.98	14.02	44413
23	29.14	47.62	28.76	16.73	85.97	14.03	44673
24	30.86	44.18	29.53	16.34	86.00	14.00	43433
25	28.19	48.89	27.52	16.31	86.03	13.97	43173
26	31.47	45.54	30.73	16.00	86.26	13.74	42704
27	31.15	38.89	30.27	15.98	86.39	13.61	42127
28	33.54	37.00	31.02	16.00	86.58	13.42	41812
29	23.97	37.59	21.37	16.00	86.94	13.06	41930
30	33.71	35.21	31.83	16.24	86.73	13.27	41567
31	34.25	35.66	32.00	15.82	86.26	13.74	42287
32	34.76	33.83	32.03	15.61	86.04	13.96	41053
33	33.32	33.79	31.72	15.30	85.72	14.28	40222
34	30.20	42.00	29.63	15.24	85.23	14.77	40098
35	32.03	40.53	31.37	15.18	85.26	14.74	40636
36	35.89	36.23	33.00	15.00	85.19	14.81	39545
37	36.16	34.88	34.27	15.00	85.34	14.66	40769
38	36.47	32.39	35.28	15.00	85.00	15.00	41449
39	36.72	32.77	33.92	14.73	84.76	15.24	43457
40	32.35	37.81	31.83	14.86	84.34	15.66	43503
41	34.50	35.29	31.84	15.00	84.27	15.73	42098
42	31.44	40.88	30.84	15.26	84.19	15.81	42976
43	33.76	37.94	31.00	15.29	84.08	15.92	43982
44	31.32	41.93	29.74	15.00	83.96	16.04	44094

Tabla 5.15 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 5 Experimento 2.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Malo	Total de Pixeles
1	33.00	41.45	31.00	20.58	93.02	6.98	68606
2	17.79	41.97	16.56	20.12	92.86	7.14	52324
3	33.25	39.36	31.78	19.82	92.74	7.26	53294
4	20.30	45.28	18.45	19.23	92.76	7.24	53710
5	26.43	46.64	25.36	18.21	91.73	8.27	54339
6	34.06	36.71	32.09	18.14	89.62	10.38	50728
7	20.77	36.24	20.00	18.00	89.61	10.39	48987
8	26.60	36.25	25.38	18.00	89.45	10.55	52528
9	31.59	27.61	30.06	17.92	89.32	10.68	51611
10	30.10	26.47	29.73	17.73	88.63	11.37	50671
11	34.15	36.14	32.00	17.23	88.72	11.28	48691
12	34.50	35.15	32.56	17.06	82.09	17.91	51765
13	35.85	30.53	33.04	17.00	83.00	17.00	50994
14	36.03	30.80	33.00	17.00	81.72	18.28	50675
15	31.49	37.42	30.50	17.00	82.83	17.17	49568
16	33.54	35.00	31.00	16.72	83.00	17.00	47272
17	31.27	40.50	31.00	16.83	83.82	16.18	47839
18	33.47	37.88	32.87	16.49	84.09	15.91	45977
19	25.80	42.23	23.98	16.92	84.72	15.28	44300
20	31.66	35.62	30.87	16.50	83.82	16.18	44766
21	30.86	43.82	30.00	16.27	84.80	15.20	45011
22	32.00	41.93	32.00	15.93	85.98	14.02	44413
23	29.14	47.62	28.76	16.73	85.97	14.03	44673
24	30.86	44.18	29.53	16.34	86.00	14.00	43433
25	28.19	48.89	27.52	16.31	86.03	13.97	43173
26	31.47	45.54	30.73	16.00	86.26	13.74	42704

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

27	31.15	38.89	30.27	15.98	86.39	13.61	42127
28	33.54	37.00	31.02	16.00	86.58	13.42	41812
29	23.97	37.59	21.37	16.00	86.94	13.06	41930
30	33.71	35.21	31.83	16.24	86.73	13.27	41667
31	34.25	35.66	32.00	15.82	86.26	13.74	42287
32	34.76	33.83	32.03	15.61	86.04	13.96	41053
33	33.32	33.79	31.72	15.30	85.72	14.28	40222
34	30.20	42.00	29.63	15.24	85.23	14.77	40098
35	32.03	40.53	31.37	15.18	85.26	14.74	40636
36	35.89	36.23	33.00	15.00	85.19	14.81	39545
37	36.16	34.88	34.27	15.00	85.34	14.66	40769
38	36.47	32.39	35.28	15.00	85.00	15.00	41449
39	36.72	32.77	33.92	14.73	84.76	15.24	43457
40	32.35	37.81	31.83	14.86	84.34	15.66	43503
41	34.50	35.29	31.84	15.00	84.27	15.73	42098
42	31.44	40.88	30.84	15.26	84.19	15.81	42976
43	33.76	37.94	31.00	15.29	84.08	15.92	43982
44	31.32	41.93	29.74	15.00	83.96	16.04	44094

5.4.3 Grupo de Estudio 3.

Grupo3: Perteneciente a la sección 3 de riego.

Sujeto de Estudio: Planta 3 y Planta 4.

Días de Experimentación: Los análisis de las plantas tuvieron una duración de 44 días.

Periodo de análisis: Las pruebas se realizaron del día 23 de Agosto del 2016 al día 10 de Octubre del 2016.

Horas de análisis: Se realizaron 8 muestreos al día los cuales se seccionaron durante las 24 horas obteniendo así un análisis de muestreo cada 3 horas. En la tabla 5.11 se muestra las horas en las que se realizó el muestreo. Las horas se muestran en un formato de 24 hrs.

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

Total de muestras: Al finalizar el experimento se obtuvieron un total de 750 muestras, siendo 350 correspondientes a la Planta 3 y 350 correspondientes a la Planta 4.

Hora de regado: Para este análisis se estableció un regado diario a las 14:30 hrs.

Cantidad de agua suministrada: Para este grupo de estudio se suministró 50ml de agua.

Observaciones: Del día 27 de agosto al 30 de agosto no hubo energía eléctrica y no se encendió el equipo y los sensores. Los días 11 y 12 de Septiembre se despegó la cámara.

Datos Obtenidos: Los datos recopilados por ambas plantas son demasiados para ser presentados de forma completa, por lo que se presenta en la tabla 5.16 y 5.17 se muestran los promedios de los valores de los datos recopilados por día.

Tabla 5.16 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 3 Experimento 2.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Malo	Total de Pixeles
1	33.00	41.45	32.82	21.00	93.46	6.54	59329
2	17.79	41.97	16.72	21.00	94.06	5.94	60185
3	33.25	39.36	31.00	21.00	92.54	7.46	74948
4	20.30	45.28	20.00	21.10	90.59	9.41	61822
5	26.43	46.64	23.79	18.00	93.88	6.12	64734
6	34.06	36.71	31.82	21.00	87.49	12.51	62720
7	20.77	36.24	19.62	21.40	89.21	10.79	72681
8	26.60	36.25	24.61	21.00	86.98	13.02	75105
9	31.59	27.61	30.62	21.00	89.95	10.05	62215
10	30.10	26.47	29.43	21.70	90.73	9.27	58475
11	34.15	36.14	32.72	21.00	90.16	9.84	60101
12	34.50	35.15	33.72	21.00	90.62	9.38	62720
13	35.86	30.53	33.91	21.00	89.55	10.45	72464
14	36.03	30.80	35.00	19.00	92.83	7.17	58475
15	31.49	37.42	30.09	21.00	93.09	6.91	62720
16	33.54	35.00	32.62	21.00	90.54	9.46	62820
17	31.27	40.50	29.98	21.50	92.28	7.72	85165

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

18	33.47	37.88	30.00	21.00	91.44	8.56	100659
19	25.80	42.23	24.72	21.40	90.12	9.88	101021
20	31.66	35.62	33.82	21.60	90.21	9.79	95064
21	30.86	43.82	28.76	21.60	90.44	9.56	102363
22	32.00	41.93	32.00	21.00	91.75	8.25	89425
23	29.14	47.62	29.07	21.60	90.56	9.44	91386
24	30.86	44.18	29.62	21.60	92.88	7.12	90600
25	28.19	48.89	27.53	21.00	91.16	8.84	81343
26	31.47	45.54	30.00	21.00	90.90	9.10	90480
27	31.15	38.89	30.00	21.00	91.87	8.13	86984
28	33.54	37.00	31.82	21.00	90.50	9.50	80738
29	23.97	37.59	22.81	21.00	89.97	10.03	82743
30	33.71	35.21	31.83	21.60	90.93	9.07	81553
31	34.25	35.66	32.89	21.40	93.09	6.91	88353
32	34.76	33.83	33.52	21.40	90.90	9.10	83554
33	33.32	33.79	31.28	21.60	92.22	7.78	91985
34	30.20	42.00	30.00	21.50	93.25	6.75	82565
35	32.03	40.53	29.62	21.00	80.24	9.76	82469
36	35.89	36.23	34.81	21.70	90.80	9.20	83296
37	36.16	34.88	35.72	21.00	90.50	9.50	80746
38	36.47	32.39	35.92	21.60	90.23	9.77	82105
39	36.72	32.77	34.76	21.00	90.69	9.31	83509
40	32.35	37.81	31.73	21.60	90.69	9.31	96175
41	34.50	35.29	32.82	21.00	90.28	9.72	86445
42	31.44	40.88	30.09	21.00	90.32	9.68	92668
43	33.76	37.94	31.72	21.56	91.20	8.80	95276
44	31.32	41.93	30.65	21.00	93.86	6.14	85967

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

Tabla 5.17 Promedio de Datos Recopilados de la Planta 4 Experimento 2.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Malo	Total de Pixeles
1	33.00	41.45	31.00	21.00	91.30	8.70	62720
2	17.79	41.97	16.27	21.50	91.88	8.12	62820
3	33.25	39.36	31.24	21.50	90.50	9.50	85165
4	20.30	45.28	20.00	21.30	91.17	8.83	100659
5	26.43	46.64	24.87	21.70	92.71	7.29	101021
6	34.06	36.71	33.98	21.00	92.86	7.14	95064
7	20.77	36.24	20.76	21.60	93.60	6.40	102363
8	26.60	36.25	24.72	21.50	93.90	6.10	89425
9	31.59	27.61	30.05	21.00	93.65	6.35	91386
10	30.10	26.47	29.50	21.70	91.95	8.05	90600
11	34.15	36.14	31.65	21.00	93.41	6.59	81343
12	34.50	35.15	33.54	21.00	91.51	8.49	90480
13	35.86	30.53	32.87	21.00	93.44	6.56	86984
14	36.03	30.80	34.76	21.00	90.74	9.26	80738
15	31.49	37.42	30.45	21.00	92.58	7.42	82743
16	33.54	35.00	31.24	21.00	91.71	8.29	81553
17	31.27	40.50	30.86	21.00	93.21	6.79	88353
18	33.47	37.88	31.72	21.00	93.3	6.70	83554
19	25.80	42.23	23.73	21.50	91.21	8.79	91985
20	31.66	35.62	30.65	21.00	90.95	9.05	82565
21	30.86	43.82	29.63	21.60	92.91	7.09	82469
22	32.00	41.93	31.00	21.00	92.77	7.23	83296
23	29.14	47.62	29.63	21.00	93.39	6.61	80746
24	30.86	44.18	30.00	21.60	92.87	7.13	82105
25	28.19	48.89	27.63	21.00	92.94	7.16	83509
26	31.47	45.54	30.00	21.00	92.84	7.16	96175
27	31.15	38.89	30.61	21.00	93.23	6.77	86445

BASE DE DATOS PARA RED NEURONAL ARTIFICIAL

28	33.54	37.00	30.52	21.70	92.41	7.59	92668
29	23.97	37.59	21.83	21.70	91.23	8.77	95276
30	33.71	35.21	30.63	21.00	91.34	8.66	85967
31	34.25	35.66	32.64	21.60	92.31	7.69	86109
32	34.76	33.83	31.84	21.00	91.76	8.24	85425
33	33.32	33.79	32.73	21.50	90.45	9.55	87042
34	30.20	42.00	29.92	21.00	91.49	8.51	86152
35	32.03	40.53	30.00	21.60	90.58	9.42	86676
36	35.89	36.23	32.94	21.00	90.17	9.83	82715
37	36.16	34.88	35.92	21.50	90.03	9.97	87366
38	36.47	32.39	34.86	21.60	90.72	9.28	87455
39	36.72	32.77	35.03	21.40	91.25	8.75	97236
40	32.35	37.81	30.27	21.00	90.27	9.73	86003
41	34.50	35.29	32.73	21.00	91.24	8.76	96707
42	31.44	40.88	29.52	21.00	90.57	9.43	93411
43	33.76	37.94	30.98	21.50	90.11	9.89	97275
44	31.32	41.93	30.00	21.70	90.13	9.87	94671

Capítulo 6

Diseño E Implementación De Red Neuronal Artificial.

En este capítulo se muestra el diseño y estructura de la red neuronal artificial para el control inteligente de la estación de trabajo invernadero.

La Inteligencia Artificial agrupa un conjunto de técnicas que, mediante circuitos electrónicos y programas avanzados de computadora, busca imitar procedimientos similares a los procesos inductivos y deductivos del cerebro humano. Se basa en la investigación de las redes neuronales humanas y, a partir de ahí, busca copiar electrónicamente el funcionamiento del cerebro. Las redes neuronales artificiales (RNA) son aplicadas en diversos ámbitos de la actividad humana. El avance en la investigación de las redes neuronales va ganando terreno a una velocidad espectacular.

Los sistemas de redes neuronales, cada vez son más necesarios en la vida cotidiana y la automatización ha hecho de la clasificación un problema fundamental del área de control. Es común que se necesiten implementar clasificadores o controladores en sistemas de baja complejidad de procesamiento sin que se tengan que esperar resultados deficientes.

6.1 Red Neuronal Artificial.

Esquemáticamente cada elemento de procesamiento (neuronas) de la red se representa como un nodo. Estas conexiones establecen una estructura jerárquica que tratando de emular la fisiología del cerebro busca nuevos modelos de procesamiento para solucionar problemas concretos del mundo real. Lo importante en el desarrollo de la técnica de las RNA es su útil comportamiento al aprender, reconocer y aplicar relaciones entre objetos y tramas de objetos propios del mundo real. En este sentido, se utilizan las RNA como una herramienta que podrá utilizarse para resolver problemas difíciles. La posibilidad de resolver problemas difíciles es dable gracias a los principios de las redes neuronales, los cinco más importantes son citados por Hilera y Martínez [24]. Estos son enunciados a continuación:

Aprendizaje adaptativo: Esta es quizás la característica más importante de las redes neuronales, pueden comportarse en función de un entrenamiento con una serie de ejemplos ilustrativos. Una red neuronal artificial es adaptativa porque puede modificarse constantemente con el fin de adaptarse a nuevas condiciones de trabajo.

Autoorganización: Mientras que el aprendizaje es un proceso donde se modifica la información interna de la red neuronal artificial, la autoorganización consiste en la modificación de la red completa con el fin de llevar a cabo un objetivo específico.

Tolerancia a fallos: Las redes neuronales artificiales poseen una alta capacidad de tolerancia a fallos. Se entiende por ello que las redes pueden reconocer patrones de información con ruido, distorsión o incompletos.

Operación en tiempo real: Las redes neuronales artificiales, de todos los métodos existentes, son las más indicadas para el reconocimiento de patrones en tiempo real, debido a que trabajan en paralelo actualizando todas sus instancias simultáneamente.

Fácil inserción en la tecnología existente: Es relativamente sencillo obtener chips especializados para redes neuronales que mejoran su capacidad en ciertas tareas.

6.1.1 Estructura de una red neuronal artificial.

Una neurona cuenta con una cantidad variable de entradas que provienen del exterior. A su vez dispone de una sola salida que transmitirá la información al exterior o hacia otras neuronas. Cada señal de salida tiene asociada una magnitud llamada peso este se calculará en función de las entradas, por lo cual cada una de ellas es afectada por un determinado peso. Los pesos corresponden a la intensidad de los enlaces sinápticos entre neuronas y varían libremente en función del tiempo y en cada una de las neuronas que forman parte de la red [25].

El proceso de aprendizaje consiste en hallar los pesos que codifican los conocimientos. Una regla de aprendizaje hace variar el valor de los pesos de una red hasta que estos adoptan un valor constante, cuando esto ocurre se dice que la red ya "ha aprendido". Al conectar varias neuronas de un determinado modo, se consigue una red. Existen variaciones de topologías, que se clasifican según tres criterios:

- Número de niveles o capas.
- Número de neuronas por nivel.
- Formas de conexión.

6.1.2 Backpropagation.

El algoritmo backpropagation es el método de aprendizaje más frecuentemente utilizado en el entrenamiento de las redes. Este algoritmo de aprendizaje es una generalización de la regla de corrección de error de Widrow-Hoff. El error es la diferencia entre la salida que proporciona la RNA y la salida que se pretende obtener. Los diferentes pesos de las conexiones de las neuronas son corregidos mediante iteraciones que pretenden minimizar el error.

El método backpropagation, ha ampliado de forma considerable el rango de aplicaciones de las redes neuronales. El funcionamiento de la red backpropagation consiste en el aprendizaje de un conjunto predefinido de pares de entradas-salidas dados como ejemplo; primero se aplica un patrón de entrada como estímulo para la primera capa de las neuronas de la red, se va propagando a través de todas las capas superiores hasta generar una salida, se compara el resultado en las neuronas de salida con la salida que se desea obtener y se calcula un valor de error para cada neurona de salida. A continuación, estos errores se transmiten hacia atrás, partiendo de la capa de salida hacia todas las neuronas de la capa intermedia que contribuyan directamente a la salida. Este proceso se repite, capa por capa, hasta que todas las neuronas de la red hayan recibido un error que describa su aportación relativa al error total. Basándose en el valor del error recibido, se reajustan los pesos de conexión de cada neurona, de manera que en la siguiente vez que se presente el mismo patrón, la salida esté más cercana a la deseada [27].

La importancia de la red backpropagation consiste en su capacidad de auto adaptar los pesos de las neuronas de las capas intermedias para aprender la relación que existe entre un conjunto de patrones de entrada y sus salidas correspondientes.

6.1.3 Estructura y Aprendizaje de la Red Backpropagation.

En una red Backpropagation existe una capa de entrada con n neuronas y una capa de salida con m neuronas y al menos una capa oculta de neuronas internas. Cada neurona de una capa recibe entradas de todas las neuronas de la capa anterior y envía su salida a todas las neuronas de la capa posterior. No hay conexiones hacia atrás feedback ni laterales entre las neuronas de la misma capa. La aplicación del algoritmo tiene dos fases, una hacia delante y otra hacia atrás. Durante la primera fase el patrón de entrada es presentado a la red y propagado a través de las capas hasta llegar a la capa de salida. Obtenidos los valores de salida de la red, se inicia la segunda fase, comparándose éstos valores con la salida esperada para así obtener el error.

Se ajustan los pesos de la última capa proporcionalmente al error. Se pasa a la capa anterior con una retropropagación del error, ajustando los pesos y continuando con este proceso hasta llegar a la primera capa. De esta manera se han modificado los pesos de las conexiones de la red para cada patrón de aprendizaje del problema, del que conocíamos su valor de entrada y la salida deseada que debería generar la red ante dicho patrón.

6.1.4 Pasos para aplicar el Algoritmo de Entrenamiento

Paso 1. Inicializar los pesos de la red con valores pequeños aleatorios.

Paso 2. Presentar un patrón de entrada y especificar la salida deseada que debe generar la red.

Paso 3. Calcular la salida actual de la red. Para ello se presentan las entradas a la red y se calcula la salida de cada capa hasta llegar a la capa de salida, ésta será la salida de la red. Los pasos son los siguientes: Se calculan las entradas netas para las neuronas ocultas procedentes de las neuronas de entrada. Para una neurona j oculta se utiliza la ecuación 6.1:

$$net_{pj}^h = \sum_{i=1}^N w_{ji}^h x_{pi} + \theta_j^h \quad Ec. (6.1)$$

En donde el índice h se refiere a magnitudes de la capa oculta; el subíndice p , al p -ésimo vector de entrenamiento, y j a la j -ésima neurona oculta. El término θ puede ser opcional, pues actúa como una entrada más.

Con la ecuación 6.2 se calculan las salidas de las neuronas ocultas:

$$y_{pj} = f_j^h(net_{pj}^h) \quad Ec. (6.2)$$

Se realizan los mismos cálculos para obtener las salidas de las neuronas de salida.

Paso 4. Calcular los términos de error para todas las neuronas. Si la neurona k es una neurona de la capa de salida, el valor de la delta corresponde a la Ecuación 6.3:

$$\delta_{pk}^0 = (d_{pk} - y_{pk}) f_k^0(net_{pk}^0) \quad Ec. (6.3)$$

La función f debe ser derivable. En general disponemos de dos formas de función de salida, lineal y sigmoideal. La selección de la función depende de la forma que se decida representar la salida: si se desea que las neuronas de salida sean binarias se utiliza la función sigmoideal.

Paso 5. Actualización de los pesos: para ello utilizamos un algoritmo recursivo, comenzando por las neuronas de salida y trabajando hacia atrás hasta llegar a la capa de entrada, ajustando los pesos de la siguiente forma:

Para los pesos de las neuronas de la capa de salida se utilizan las ecuaciones 6.4 y 6.5:

$$w_{kj}^0(t+1) = w_{kj}^0(t) + \Delta w_{kj}^0(t+1) \quad \text{Ec. (6.4)}$$

$$\Delta w_{kj}^0(t+1) = \alpha \delta_{pk}^0 y_{pj} \quad \text{Ec. (6.5)}$$

Para los pesos de las neuronas de la capa oculta se utilizan las ecuaciones 6.6 y 6.7:

$$w_{ji}^h(t+1) = w_{ji}^h(t) + \Delta w_{ji}^h(t+1) \quad \text{Ec. (6.6)}$$

$$\Delta w_{ji}^h(t+1) = \alpha \delta_{pj}^h x_{pi} \quad \text{Ec. (6.7)}$$

Paso 6. El proceso se repite hasta que el término de error resulta aceptablemente pequeño para cada uno de los patrones aprendidos con la ecuación 6.8 [27].

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \delta_{pk}^2 \quad \text{Ec. (6.8)}$$

Se decidió utilizar el método multicapa ya que este resulta más preciso que el perceptrón simple, como se puede observar en la Figura 6.1

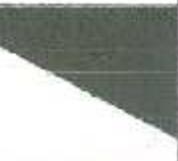
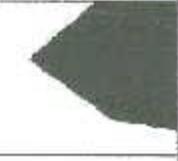
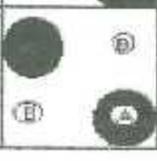
Estructura	Regiones de Decisión	Problema de la NOF	Formas de regiones generalizadas
2 capas 	Medio plano limitado por un hiperplano		
3 capas 	Regiones cerradas o convexas		
4 capas 	arbitraria complejidad limitada por el número de neuronas		

Figura 6.1 Regiones Generadas por perceptrón multicapa.

Se realizaron dos distintas redes neuronales utilizando el método backpropagation, una para el control de temperatura y otra red para el control del riego.

6.2 Red Neuronal Artificial para el control de Temperatura en Invernadero.

6.2.1 Entradas.

Para generar la red Artificial se tomaron en cuenta 8 entradas, las cuales son la temperatura ambiente del invernadero, la humedad relativa del invernadero y la temperatura objeto de cada una de las plantas.

Contemplando dichas entradas se creó una matriz llamada P, que contiene las 8 entradas y 125 datos por variable para entrenar la red con los casos. En la tabla 6.1 se muestra la relación de las variables con el número de entrada asignado en la red.

Tabla 6.1 Relación Entrada-Variable en RNA para Control de Temperatura.

Número de Entrada	Variable
1	TO1 (Temperatura Objeto Planta 1)
2	TO2 (Temperatura Objeto Planta 2)
3	TO3 (Temperatura Objeto Planta 3)
4	TO4 (Temperatura Objeto Planta 4)
5	TO5 (Temperatura Objeto Planta 5)
6	TO6 (Temperatura Objeto Planta 6)
7	TA (Temperatura Ambiente)
8	HR (Humedad Relativa del Ambiente)

6.2.2 Salida.

Como salida de la red se creó una matriz de 3x125 representando la salida esperada para cada caso de la matriz de entrada P. Esta red cuenta con tres salidas:

Salida 1: Representa una temperatura elevada en el invernadero por lo que se encienden los ventiladores.

Salida 2: Representa una temperatura normal o estable por lo que no se requiere ninguna acción.

Salida 3: Representa una temperatura baja por lo que se prende la calefacción. En este caso como no se cuenta con una calefacción no se enciende pero si se indica.

6.2.3 Entrenamiento de la Red.

Una vez definida la matriz de casos P y la matriz de Target se procede al entrenamiento de aprendizaje de la RNA. Primero se procedió a crear la red: con 8 entradas y sus rangos mínimos y máximos, se asignaron 5 capas ocultas y 3 neuronas de salida.

Una vez creada la red llamada TB2 se entrena la red siguiendo las ecuaciones descritas anteriormente, se otorgan valores aleatorios para los pesos sinápticos de las capas ocultas y para los pesos sinápticos de la capa de salida, utilizando los datos de entrada de la matriz P se calcula la salida de la red con los pesos aleatorios aplicando la Ecuación 6.1 y Ecuación 6.2 correspondiente a la función de salida para obtener la salida de las neuronas de capa oculta, luego se repite el proceso con las ecuación 6.1 y 6.2 para obtener la salida final de la red. Una vez que se obtienen las salidas de la red para los casos P, se calcula el error de la red utilizando la ecuación 6.3, finalmente se procede a actualizar o ajustar los pesos sinápticos para obtener la salida deseada para esto se empieza de manera regresiva, es decir empezando por los pesos de las neuronas de la capa de salida utilizando las ecuaciones 6.4 y 6.5, pasando luego al ajuste del peso sináptico de las neuronas de capa oculta utilizando ahora las ecuaciones 6.6 y 6.7, y finalmente calculando el error de la red neuronal artificial con la ecuación 6.8. Repitiendo los ajustes de pesos sinápticos las veces que sean necesarias para obtener un mínimo error aceptado en la salida de la red.

Cuando se obtuvo una salida satisfactoria de la red entrenada se prosiguió a la comprobación, se asignaron 3 vectores de entrada con los datos para generar las distintas salidas de la red.

P1= [32;31.3;31.5;31.6;32.4;33;23;34.2] Vector de entradas para comprobar salida de neurona 1.

P2= [25;22.2;22.5;22.3;22.9;26;19;27.3] Vector de entradas para comprobar salida de neurona 2.

P3= [17;13.2;13.14;13.5;13.7;19;17;17] Vector de entradas para comprobar salida de neurona 3.

En la Tabla 6.2 se muestran las salidas obtenidas mediante simulación de la red con esas entradas.

Tabla 6.2 Salidas Simuladas de la RNA para control de Temperatura

Vector de Entrada	Salida Obtenida
P1	1 0 0 Temperatura Elevada
P2	0 1 0 Temperatura Estable
P3	0 0 1 Temperatura Baja

6.3 Red Neuronal Artificial para el control de Riego en Invernadero.

6.3.1 Entradas.

Para generar la red Artificial se tomaron en cuenta 4 entradas, las cuales son la humedad en suelo de las dos plantas pertenecientes a cada grupo de estudio y al porcentaje bueno de esas mismas plantas.

Contemplando dichas entradas se creó una matriz llamada P, que contiene las 4 entradas y 125 datos por variable para entrenar la red con los casos.

6.3.2 Salida.

Como salida de la red se creó una matriz de 3x125 representando la salida esperada para cada caso de la matriz de entrada P. Esta red cuenta con tres salidas:

Salida 1: Representa una humedad elevada en el invernadero por lo que el riego en esa sección será solo de 30ml para prevenir daños en la planta.

Salida 2: Representa una humedad normal o estable por lo que se requiere una cantidad de 60 ml diarios para seguir con el buen funcionamiento.

Salida 3: Representa una humedad baja por lo que se suministra una cantidad de 90 ml de agua al día.

6.3.3 Entrenamiento de la Red.

Una vez definida la matriz de casos P y la matriz de Target se procede al entrenamiento de aprendizaje de la RNA. Primero se procedió a crear la red: con 4 entradas y sus rangos mínimos y máximos, se asignaron 5 capas ocultas y 3 neuronas de salida.

Una vez creada la red llamada RB2 se entrena la red siguiendo los mismos pasos y ecuaciones de la red anterior, se otorgan valores aleatorios para los pesos sinápticos de las capas ocultas y para los pesos sinápticos de la capa de salida, utilizando los datos de entrada de la matriz P se calcula la salida de la red con los pesos aleatorios aplicando la Ecuación 6.1 y Ecuación 6.2 correspondiente a la función de salida para obtener la salida de las neuronas de capa oculta, luego se repite el proceso con las ecuación 6.1 y 6.2 para obtener la salida final de la red. Una vez que se obtienen las salidas de la red para los casos P, se calcula el error de la red utilizando la ecuación 6.3, finalmente se procede a actualizar o ajustar los pesos sinápticos para obtener la salida deseada para esto se empieza de manera regresiva, es decir empezando por los pesos de las neuronas de la capa de salida utilizando las ecuaciones 6.4 y 6.5, pasando luego al ajuste del peso sináptico de las neuronas de capa oculta utilizando ahora las ecuaciones 6.6 y 6.7, y finalmente calculando el error de la red neuronal artificial con la ecuación 6.8. Repitiendo los ajustes de pesos sinápticos las veces que sean necesarias para obtener un mínimo error aceptado en la salida de la red.

Cuando se obtuvo una salida satisfactoria de la red entrenada se prosiguió a la comprobación, se asignaron 3 vectores de entrada con los datos para generar las distintas salidas de la red.

P1=[12;13.5;87.09;65] Vector de entradas para comprobar salida de neurona 1.

P2=[18.45;20.6;98.3;97] Vector de entradas para comprobar salida de neurona 2.

P3=[22;21.9;99;98.89] Vector de entradas para comprobar salida de neurona 3.

En la Tabla 6.3 se muestran las salidas simuladas de la red obtenidas con esas entradas.

Tabla 6.3 Salidas Simuladas de la RNA para control de Riego

Vector de Entrada	Salida Obtenida
P1	1 0 0 Planta Deshidratada
P2	0 1 0 Planta Estable
P3	0 0 1 Planta con Exceso de Humedad

6.4 Estructura de Redes Neuronales Artificiales de Invernadero.

Una vez realizado el entrenamiento se obtuvieron los pesos sinápticos y bias de las redes.

6.4.1 Control de Temperatura.

Entradas: 8.

Salidas: 3.

Capas Ocultas: 5.

En la Figura 6.2 se observa el esquema de la estructura de la Red Neuronal Artificial para el control de Temperatura.

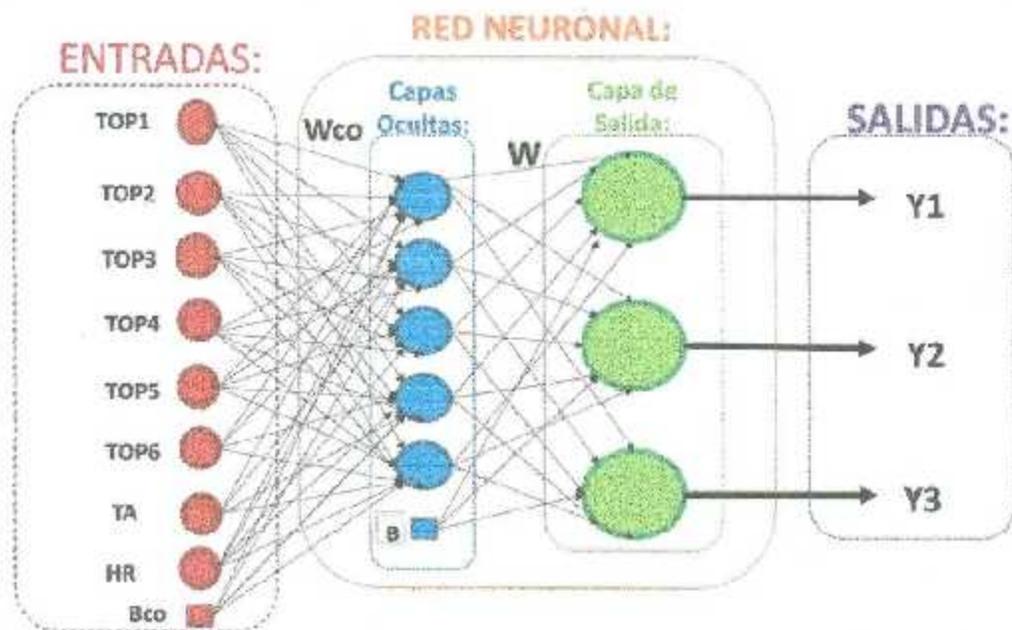


Figura 6.2 Esquema de la Estructura de la RNA para control de Temperatura.

6.4.2 Control de Riego.

Entradas: 4.

Salidas: 3.

Capas Ocultas: 5.

En la Figura 6.3 se observa el esquema de la estructura de la Red Neuronal Artificial para el control de Riego.

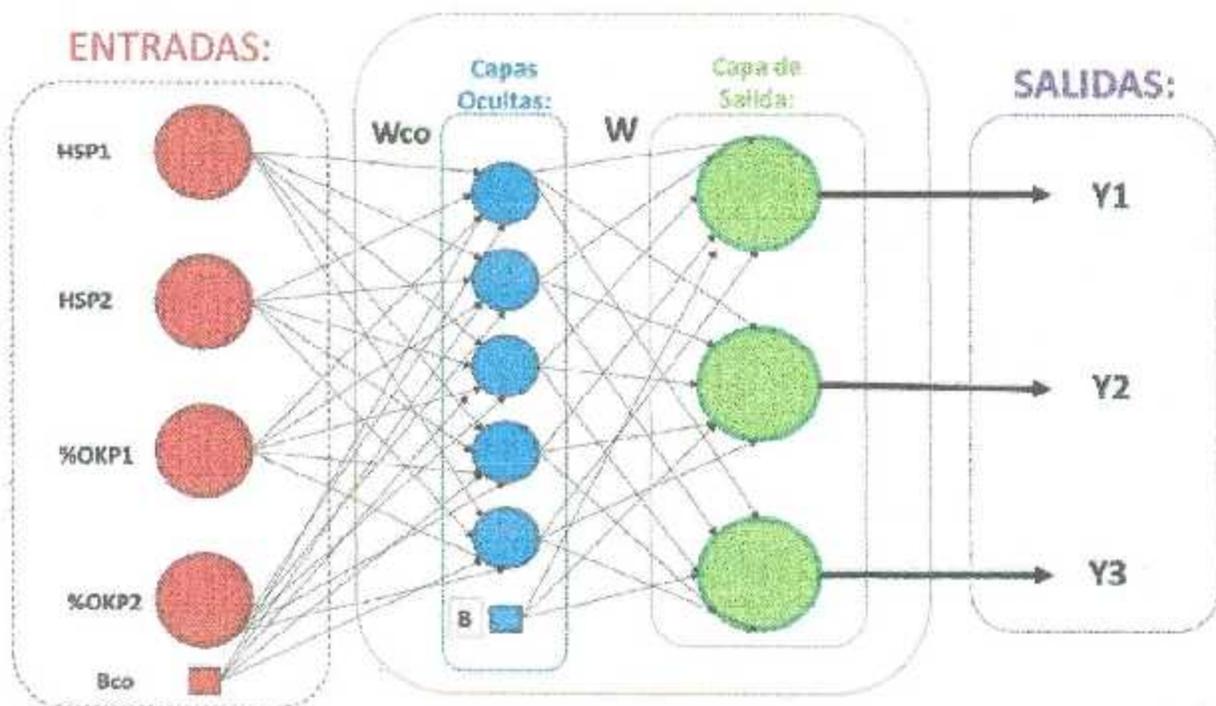


Figura 6.3 Estructura de la RNA para control de Riego.

6.5 Implementación de Control Inteligente en Estación de Trabajo.

Una vez diseñada la red backpropagation para los distintos controles y se obtuvieron los elementos necesarios para su funcionamiento tales como los pesos sinápticos y los bias de las capas ocultas y los de salida. Se procedió a implementar o integrar el control de la Temperatura y el control del Riego en los respectivos módulos correspondientes.

Expertos de los institutos de Biotecnología (IBt), de Investigaciones Biomédicas (IBm) y de Ciencias Físicas (ICF) colaboran en la creación de un sistema de control, en el que se implementan algoritmos basados en inteligencia artificial para controlar las variables que afectan la fisiología y, en consecuencia, la productividad de los cultivos. Los invernaderos representan una gran ventaja, pues es posible producir en áreas pequeñas durante todo el año y obtener precios competitivos con un menor uso de agua. En México más de 20 mil hectáreas se producen en invernadero. La idea de esta línea de investigación, mencionó, es aplicar alta tecnología biológica, física y agronómica, “de tal manera que pueda integrarse y sea viable para los productores” [28].

6.5.1 Red Neuronal en Sistema de Riego en Invernadero.

Para implementar el control en este módulo se optó para integrarlo en el programa del microcontrolador arduino, para esto se van guardando las variables en un vector auxiliar llamado P de 1x4, según se vaya tomando la lectura se guarda en la posición correspondiente, en este caso de control de riego se realiza la función de la red en cada sección de riego, para optimizar que cada línea de riego se le suministre solo la cantidad necesaria de agua para una mayor eficiencia. Una vez que se tiene las lecturas a la hora establecida del riego se realiza la función de la red backpropagation procesando la información de entrada utilizando los pesos sinápticos y bias de operación correspondientes, lo cual genera un vector de salida de tres posiciones donde cada posición es un valor binario.

Una vez que se obtiene la salida el programa termina la función llamada red backpropagation y según el resultado de la salida se manda llamar la función de riego sección (x) siendo x la sección de riego correspondiente, en la cual si la salida de la neurona es 1 y las demás 0 indica que la planta está muy hidratada por lo que solo se riega con 30ml. Si la neurona 2 es 1 y las demás 0 entonces indica que la planta está en un estado estable y se debe seguir suministrando 60 ml diarios de agua a cada planta. Finalmente si la neurona 3 es 1 y las demás 0 indica que la planta esta deshidratada por lo tanto se aumenta el suministro de agua a 90 ml diarios. El programa Final de arduino se encuentra en la parte de Anexo B.

6.5.2 Red Neuronal en Temperatura del Invernadero.

Para implementar el control en este módulo se optó al igual que el anterior integrarlo en el programa del microcontrolador arduino, para esto también se van guardando las variables en un vector auxiliar llamado P de 1x8, según se vaya tomando la lectura se guarda en la posición correspondiente. Cada vez que se hace un análisis y una vez que se tiene las lecturas se realiza la función de la red backpropagation, la cual procesa la información obtenida de los sensores y muestra una salida de un vector de 1x3 en sus dimensiones en donde el valor de cada posición es un valor binario.

Una vez que se obtiene la salida el programa termina la función llamada red backpropagation y según el resultado de la salida se manda llamar la función de ventilación, en la cual si la salida de la neurona es 1 y las demás 0 indica que la temperatura está muy elevada por lo que se encienden los ventiladores. Si la neurona 2 es 1 y las demás 0 entonces indica que la temperatura está en un estado estable por lo que no se genera ninguna acción. Finalmente si la neurona 3 es 1 y las demás 0 indica que la temperatura es muy baja por lo tanto se indica que debe prender una calefacción para así mantener una temperatura estable. El programa Final de arduino se encuentra en la parte de Anexo A.

Capítulo 7

Experimentación y Resultados.

En este capítulo se muestra la experimentación realizada con plantas de albahaca (*Ocimum Basilicum*) en la estación de trabajo invernadero mantenido las condiciones óptimas de riego y temperatura y la comprobación del funcionamiento de la red neuronal artificial. Permitiendo así llegar a conclusiones sobre la eficiencia de la red neuronal artificial.

7.1 Experimentación con Plantas de Albahaca.

Se realizó la experimentación final con plantas de albahaca, la misma planta que las primeras pruebas realizadas con diferentes condiciones. La información sobre esta planta se muestra en el capítulo 5, apartado 5.1.

7.2 Metodología y consideraciones previas del experimento.

Se utilizaron los sensores de temperatura, humedad relativa y humedad en suelo así como el procesamiento de imágenes.

Cada planta cuenta con un sensor de humedad en suelo YL-69, los cuales se insertaron de forma transversal en la maceta aproximadamente a la mitad de lo alto de la maceta. Una vez realizado el análisis, la lectura del sensor de humedad de agua en suelo arroja valores que van de 0 perteneciente a tierra seca, es decir sin ninguna cantidad de agua, y hasta 25 que es la saturación del sensor y representa el 25% de humedad. Siendo el 100% de humedad el líquido directamente.

El sensor de temperatura infrarrojo MX190614 está calibrado de fábrica para entregar temperaturas en rangos de -40 a 125 °C para temperaturas ambiente y -70 a 380 °C para temperaturas objeto.

El sensor de humedad relativa HIH-4030 entrega valores de 0.8V a 3.9V escalados en porcentajes (0% a 100%) [15].

A partir del procesamiento de imagen se obtiene un porcentaje de follaje en buen estado y mal estado de la vista superior de la planta, además se proporciona la cantidad de píxeles analizados de la planta solamente, discriminando las partes que no corresponden a la planta. El análisis de procesamiento de imagen es realizado a una imagen fotográfica aérea de la planta capturada por la cámara Microsoft LifeCam HD-6000.

Para el correcto funcionamiento del procesamiento de imagen se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones [12]:

- El color de fondo alrededor de la planta a analizar deber ser blanco, esto para facilitar la detección del área que abarca la planta y discriminar el resto.
- La iluminación del invernadero debe estar encendida al momento de realizar el análisis de las plantas.
- El algoritmo de procesamiento de imagen se centra en la detección de zonas amarillas en las hojas. El color amarillo en las hojas de una planta significa que hay un déficit de clorofila (clorosis) en la misma, se puede deber a varios motivos, los más comunes son: plagas que consuman la clorofila de la planta, falta de nutrientes, insuficiente exposición a la luz solar, falta de agua suficiente.
- Se debe tener cuidado que el campo de visión de la cámara y la captura realizada por esta contenga solamente a la planta a analizar.

Se utilizaron un total de seis plantas de albahaca verde cultivadas y distribuidas para su venta por la empresa HomeDepot la cual las ofrece en macetas de cuatro pulgadas. La selección de las plantas se realizó mediante observación de forma y abundancia del follaje de cada individuo, se procuró que las seis plantas contaran con hojas similares en cuanto a cantidad y forma.

El riego de las plantas se realizó de forma manual por medio de la aplicación LabVIEW, estableciendo solo la hora de riego a las 14:30 horas y una cantidad suministrada de 60 ml. El experimento se inició el día 02 de Mayo del 2017 y termino el día 22 de Mayo del 2017, teniendo una duración en total de 20 días.

El invernadero se encuentra en un ambiente cerrado dentro de las instalaciones del instituto tecnológico de la laguna, lo cual dificulta la exposición de las plantas a la luz solar, es por esto que el control de la iluminación artificial es importante, ya que proporcionara luz a las plantas. Durante el experimento las luces artificiales se mantenían encendidas a lo largo del día y apagadas durante la noche. Específicamente se mantenían encendidas de 7:00 a 19:00 hrs dando un total de 12 horas de iluminación y exposición directa de luz a las seis plantas. El encendido y apagado de la iluminación se realizó de manera automática, sincronizado con el tiempo del servidor (PC). La iluminación cuenta con un total de seis focos de luz blanca los cuales encienden y apagan al mismo tiempo.

7.3 Datos Recopilados del experimento.

Período de análisis: Las pruebas se realizaron del día 02 de Mayo del 2017 al 22 de Mayo del 2017.

Días de experimento: Las pruebas tuvieron duración durante 20 días.

Sujeto de análisis: Planta 1.

Total de muestras: 160 muestras.

Observaciones: No se presentaron percances o anomalías durante el proceso de experimentación.

Horas de análisis: 00:30, 03:30, 06:30, 09:30, 12:30, 15:30, 18:30, 21:30.

Hora de regado: 14:30:00 horas.

Observaciones: Por cuestiones de tiempo las pruebas de este experimento solo se realizaron durante 20 días.

Los datos recopilados para la planta 1 son demasiados para ser presentados de forma completa, por lo que se presenta en la tabla 7.1 los promedios de los valores de los datos recopilados por día. Y en el ANEXO F.

EXPERIMENTACION Y RESULTADOS

Tabla 7.1 Datos Recopilados Planta 1 Experimento 3.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Más b	Total de Paves
1	27.58	17.64	29	21	98.75	1.25	164134
2	27.24	17.66	29	20	98.69	1.31	204192
3	34.13	17.34	29.5	21	98.27	1.73	201215
4	34.06	17.16	29.6	22	98.59	1.41	205959
5	30.42	20.67	29	21	98.4	1.6	188555
6	32.71	18.7	29	20	98.17	1.83	209037
7	32.39	18.66	29.7	21	97.99	2.01	208366
8	30.34	20.65	29	21	98.25	1.75	171750
9	29.56	19.08	28.3	20	98.18	1.82	189807
10	31.37	17.2	29	20	98.06	1.94	202879
11	28	20.28	28.1	21	98.12	1.88	191354
12	28.73	21.21	27.8	20.9	98.25	1.75	183456
13	30.05	20.61	28	20	97.94	2.06	205510
14	29.68	21.18	28.5	20.9	98.11	1.89	187259
15	30.68	20.19	29.2	21	97.91	2.09	203110
16	30.49	19.95	29	21	98.33	1.67	172870
17	30.73	17.95	29	21	97.93	2.07	200386
18	32.2	16.34	29	20.9	97.7	2.3	202723
19	32.35	20.85	29.8	21	98.01	1.99	200907
20	30.39	25.3	29	20.9	97.98	2.02	200559

EXPERIMENTACION Y RESULTADOS

Periodo de análisis: Las pruebas se realizaron del día 02 de Mayo del 2017 al 22 de Mayo del 2017.

Días de experimento: Las pruebas tuvieron duración durante 20 días.

Sujeto de análisis: Planta 2.

Total de muestras: 160 muestras.

Observaciones: No se presentaron percances o anomalías durante el proceso de experimentación.

Horas de análisis: 00:30, 03:30, 06:30, 09:30, 12:30, 15:30, 18:30, 21:30.

Hora de regado: 14:30:00 horas.

Observaciones: Por cuestiones de tiempo las pruebas de este experimento solo se realizaron durante 20 días.

Los datos recopilados para la planta 2 son demasiados para ser presentados de forma completa, por lo que se presentan los promedios de los valores de los datos recopilados por día en el ANEXO G.

Sujeto de análisis: Planta 3.

Total de muestras: 160 muestras.

Observaciones: No se presentaron percances o anomalías durante el proceso de experimentación.

Horas de análisis: 00:30, 03:30, 06:30, 09:30, 12:30, 15:30, 18:30, 21:30.

Hora de regado: 14:30:00 horas.

Observaciones: Por cuestiones de tiempo las pruebas de este experimento solo se realizaron durante 20 días.

Los datos recopilados para la planta 3 son demasiados para ser presentados de forma completa, por lo que se presentan los promedios de los valores de los datos recopilados por día en el ANEXO H.

Sujeto de análisis: Planta 4.

Total de muestras: 160 muestras.

Observaciones: No se presentaron percances o anomalías durante el proceso de experimentación.

Horas de análisis: 00:30, 03:30, 06:30, 09:30, 12:30, 15:30, 18:30, 21:30.

Hora de riego: 14:30:00 horas.

Observaciones: Por cuestiones de tiempo las pruebas de este experimento solo se realizaron durante 20 días.

Los datos recopilados para la planta 4 son demasiados para ser presentados de forma completa, por lo que se presentan los promedios de los valores de los datos recopilados por día en el ANEXO I.

Sujeto de análisis: Planta 5.

Total de muestras: 160 muestras.

Observaciones: No se presentaron percances o anomalías durante el proceso de experimentación.

Horas de análisis: 00:30, 03:30, 06:30, 09:30, 12:30, 15:30, 18:30, 21:30.

Hora de riego: 14:30:00 horas.

Observaciones: Por cuestiones de tiempo las pruebas de este experimento solo se realizaron durante 20 días.

Los datos recopilados para la planta 5 son demasiados para ser presentados de forma completa, por lo que se presentan los promedios de los valores de los datos recopilados por día en el ANEXO J.

Sujeto de análisis: Planta 6.

Total de muestras: 160 muestras.

Observaciones: No se presentaron percances o anomalías durante el proceso de experimentación.

Horas de análisis: 00:30, 03:30, 06:30, 09:30, 12:30, 15:30, 18:30, 21:30.

Hora de riego: 14:30:00 horas.

Observaciones: Por cuestiones de tiempo las pruebas de este experimento solo se realizaron durante 20 días.

Los datos recopilados para la planta 6 son demasiados para ser presentados de forma completa, por lo que se presentan los promedios de los valores de los datos recopilados por día en el ANEXO K.

7.4 Interpretación de Datos obtenidos.

En este apartado se muestra un conjunto de graficas realizadas con los datos de los análisis de las 6 plantas del invernadero. Representando así de forma visual el desarrollo de las plantas en condiciones estables y controladas.

7.4.1 Comportamiento de Temperatura en la Prueba.

Para apreciar las condiciones de la Temperatura se muestra en las Figura 7.1 a la 7.6 la temperatura promedio por día de la estación de trabajo en relación a la temperatura promedio por día de cada una de las 6 plantas y finalmente la Humedad Relativa del ambiente dentro del Invernadero.

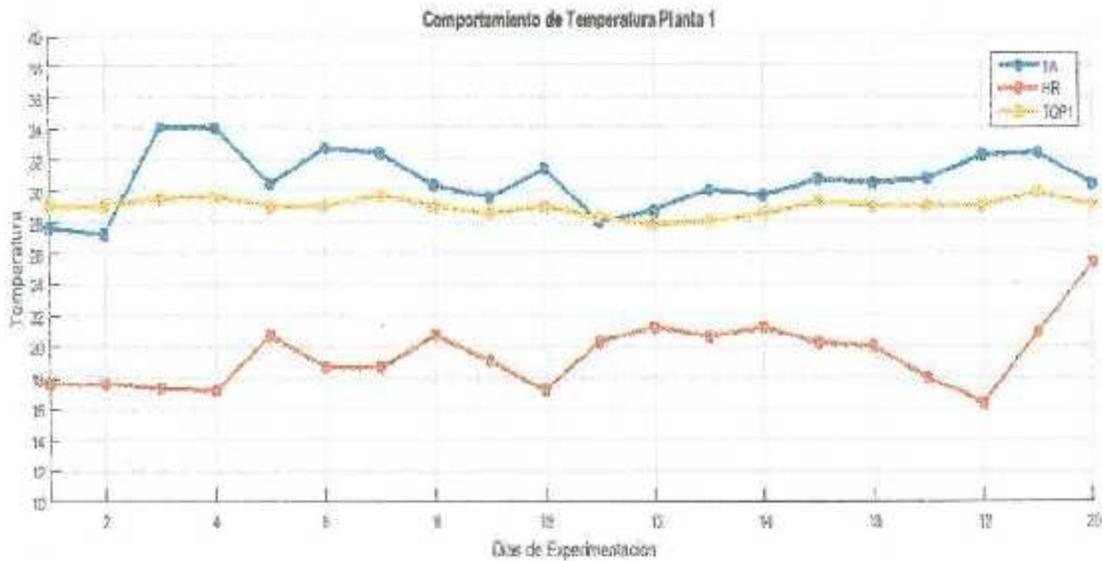


Figura 7.1 Temperatura Planta 1.

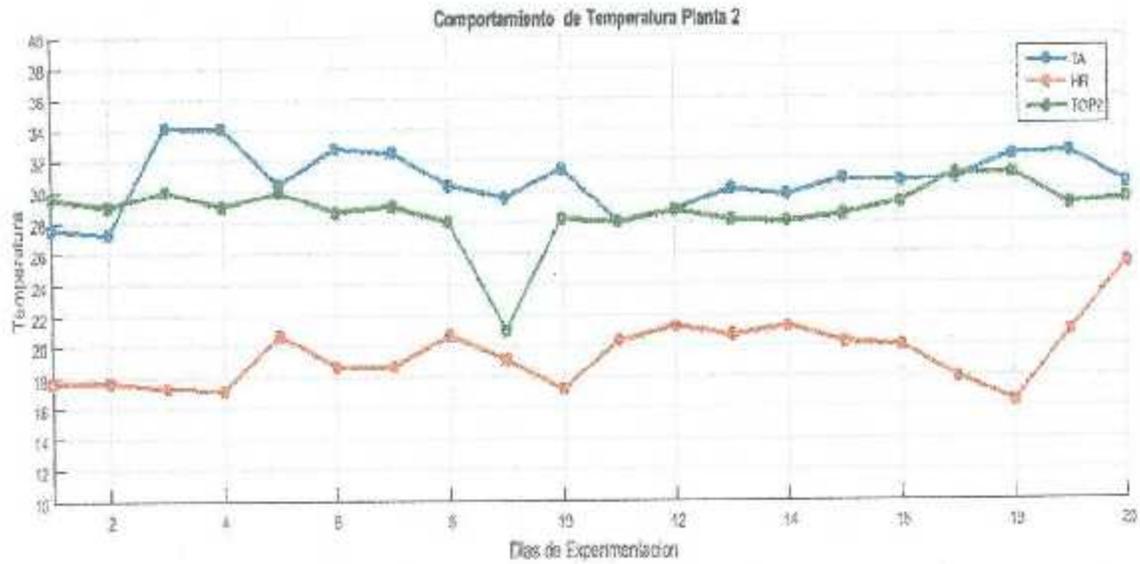


Figura 7.2 Temperatura Planta 2.

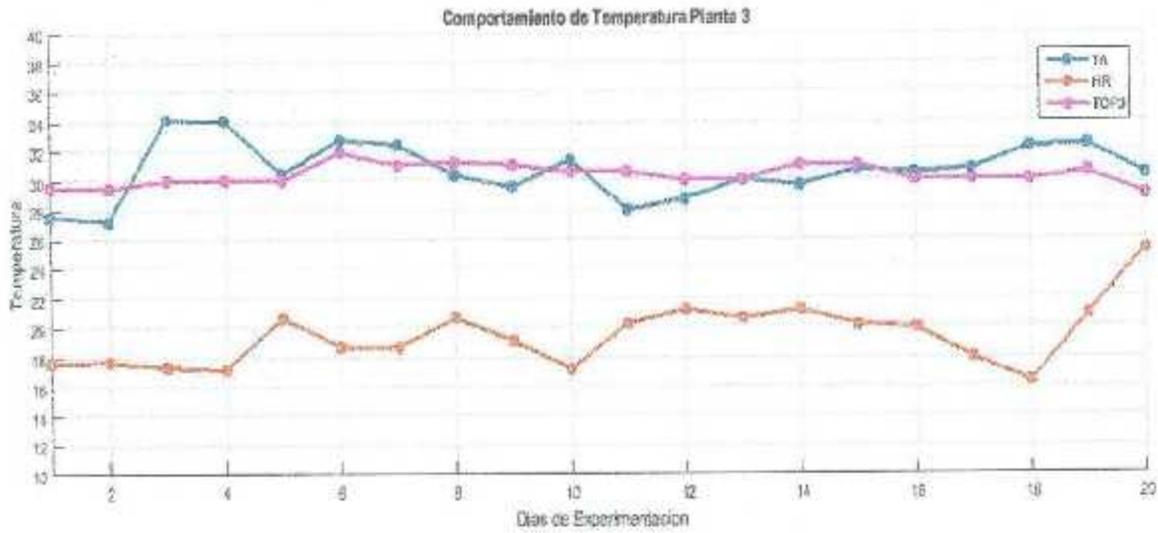


Figura 7.3 Temperatura Planta 3.

EXPERIMENTACION Y RESULTADOS

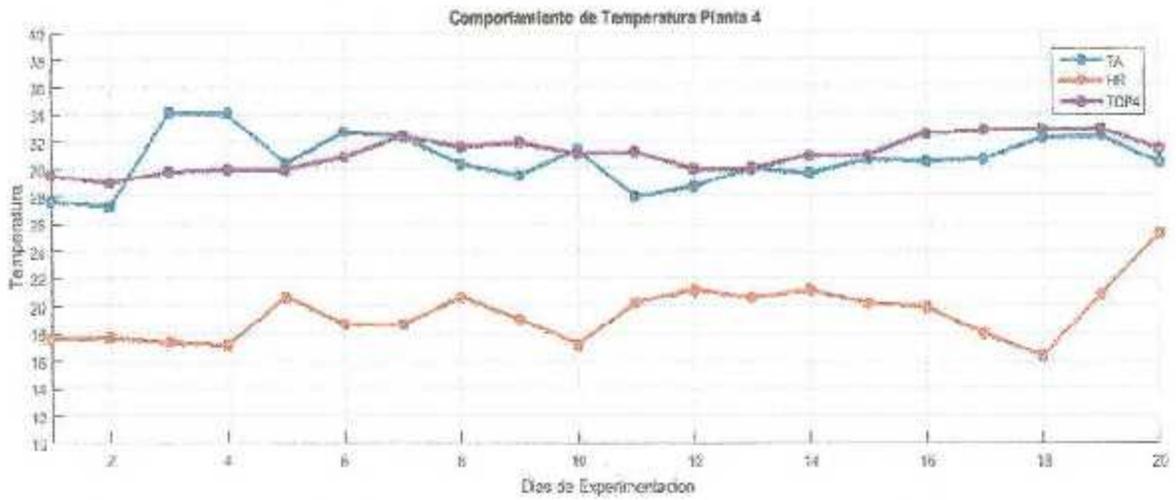


Figura 7.4 Temperatura Planta 4.

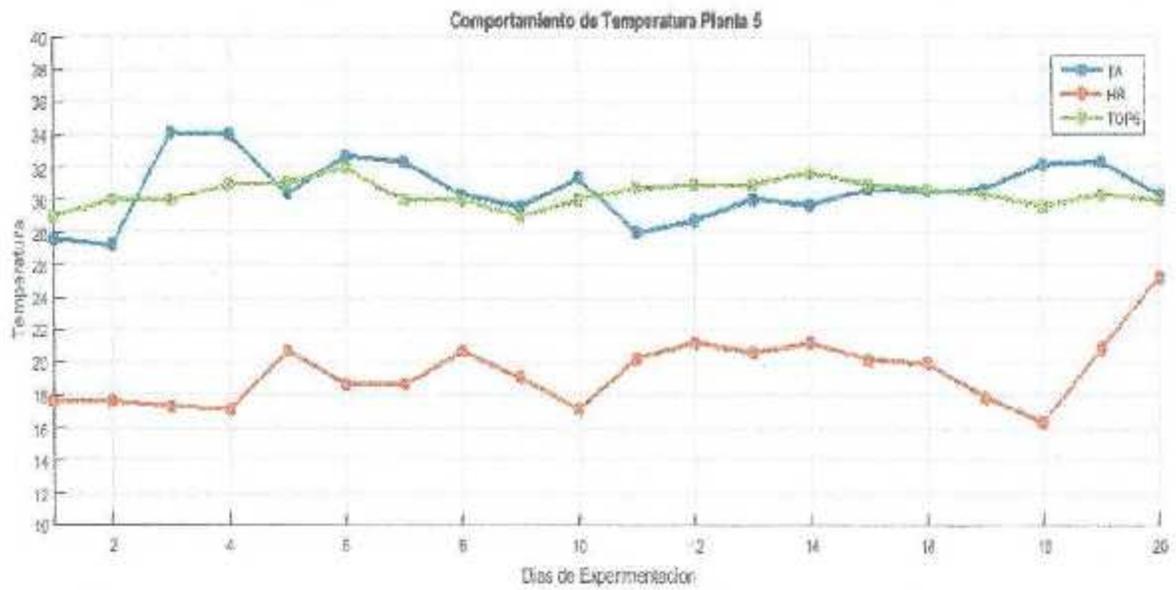


Figura 7.5 Temperatura Planta 5.

EXPERIMENTACION Y RESULTADOS

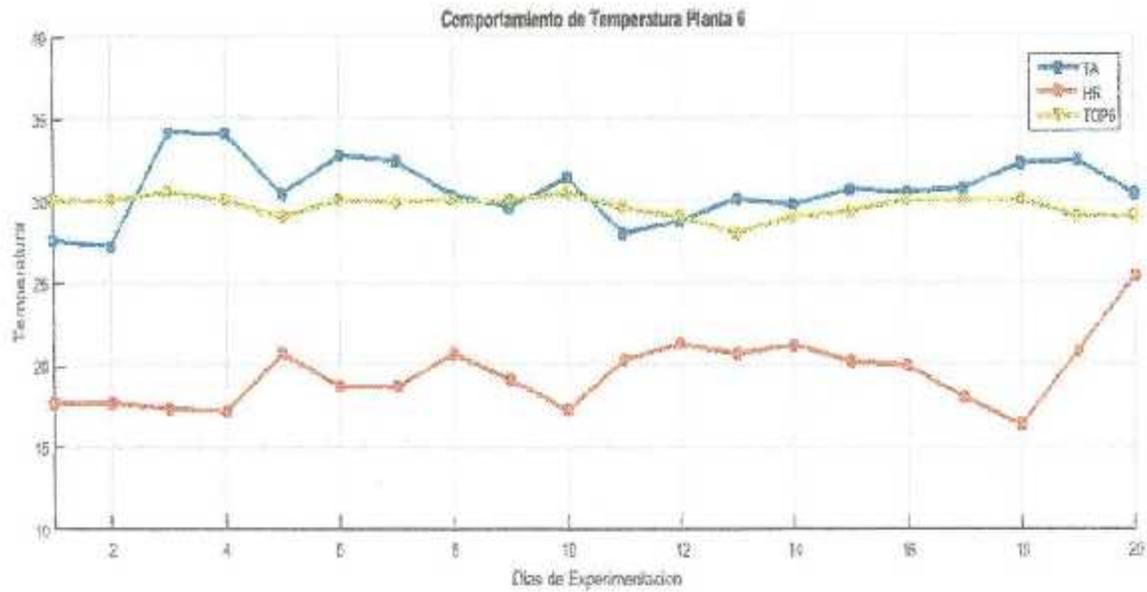


Figura 7.6 Temperatura Planta 6.

Y en la Figura 7.7 se muestra la comparación de la temperatura promedio de las 6 plantas con la temperatura del ambiente promedio.

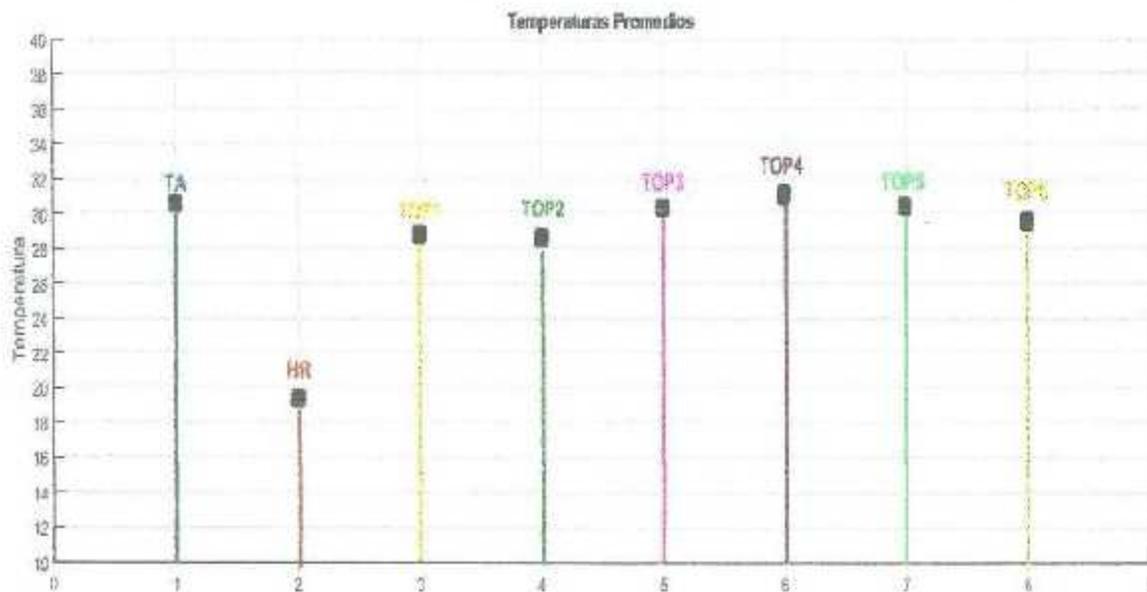


Figura 7.7 Promedios de Temperaturas.

7.4.2 Comportamiento de Humedad en Suelo.

En este apartado se muestra el promedio de humedad que hubo en las plantas por los días del experimento según el riego suministrado. En la figura 7.8 se muestra la gráfica con los datos correspondientes.

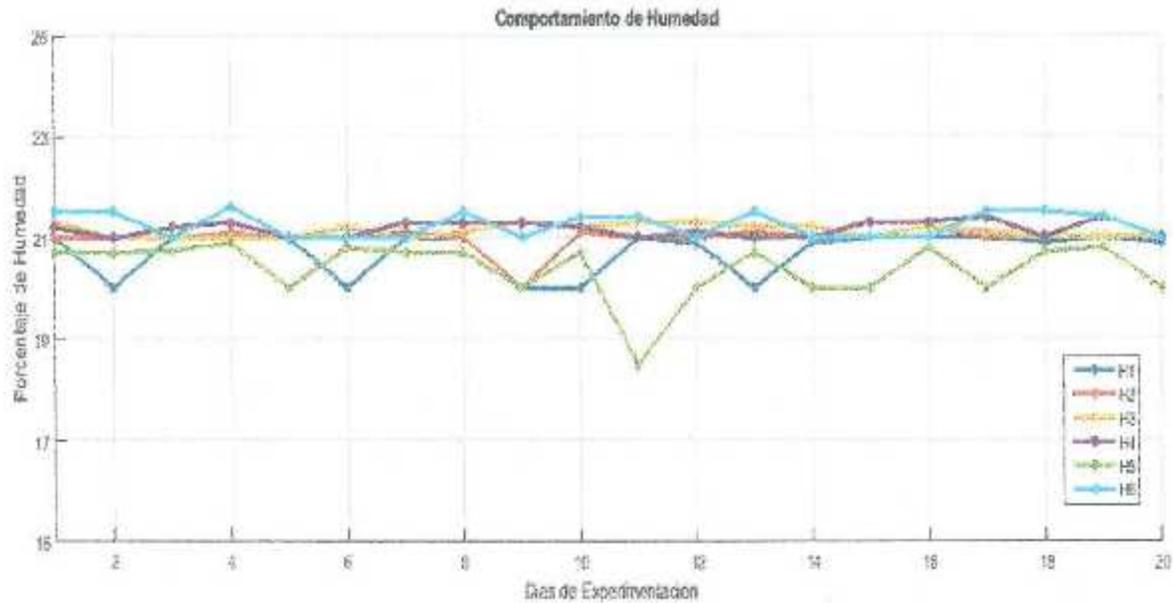


Figura 7.8 Comportamiento de Humedad en Suelo en Plantas.

De la Figura 7.8 se puede observar que la humedad en el suelo de las plantas se mantuvo estable en aproximadamente un 21% lo que representa que la planta esta hidratada en sus valores requeridos, a excepción de la planta 5 que tuvo una ligera disminución el día 11 pero se recuperó al siguiente día por lo que no afecta en su desarrollo.

7.4.3 Crecimiento de las Plantas.

En este apartado se muestra en las figuras 7.9 a 7.11 el crecimiento de las plantas, es decir el promedio de los pixeles analizados por día de experimentación de cada una de las plantas agrupadas según su sección de riego y finalmente en la figura 7.12 se muestra el promedio del porcentaje de la planta que se encuentra en buen estado durante los días de análisis.

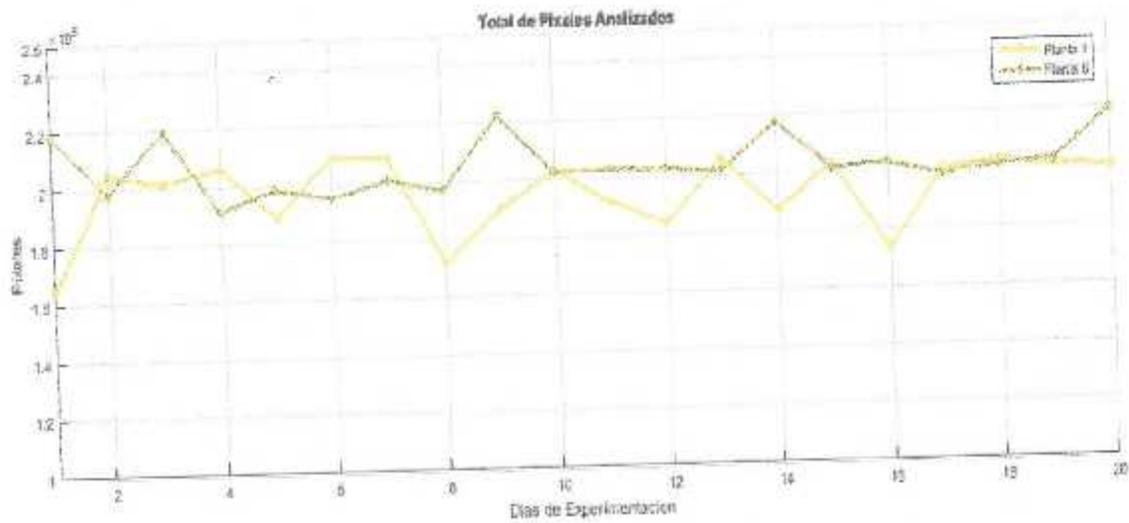


Figura 7.9 Tamaño de Plantas 1 y 6.

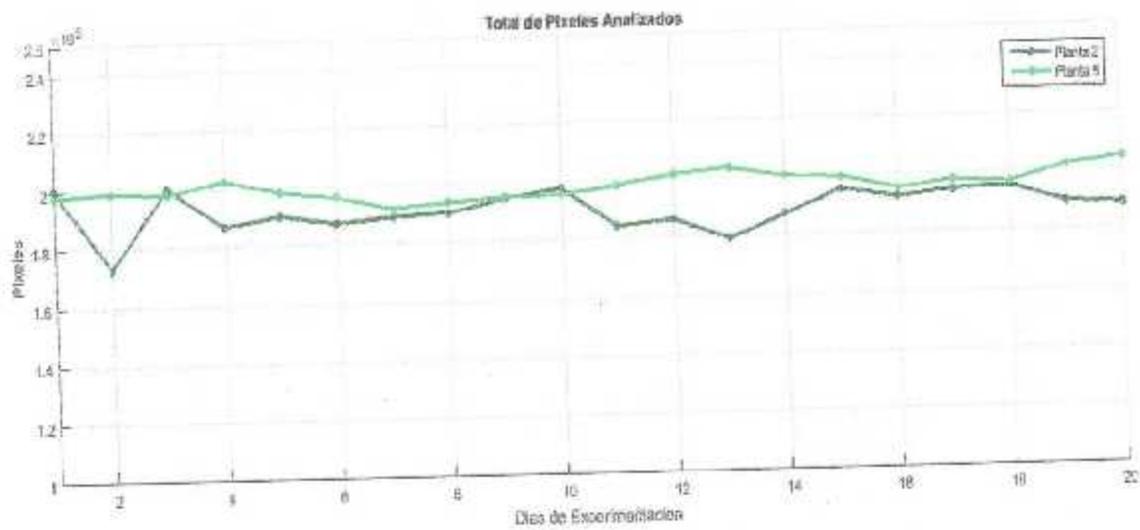


Figura 7.10 Tamaño de Plantas 2 y 5.

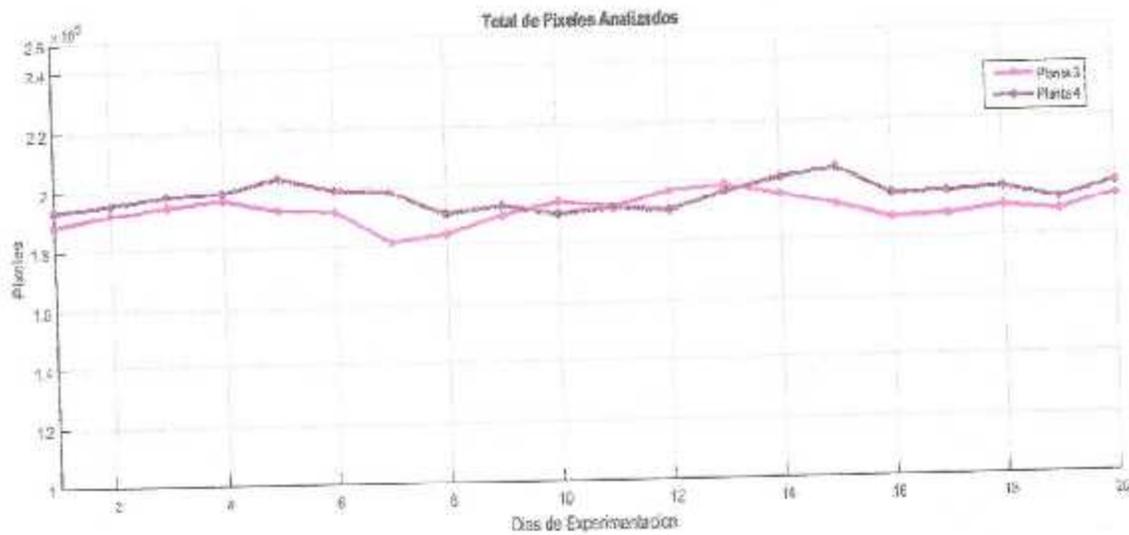


Figura 7.11 Tamaño de Plantas 3 y 4.

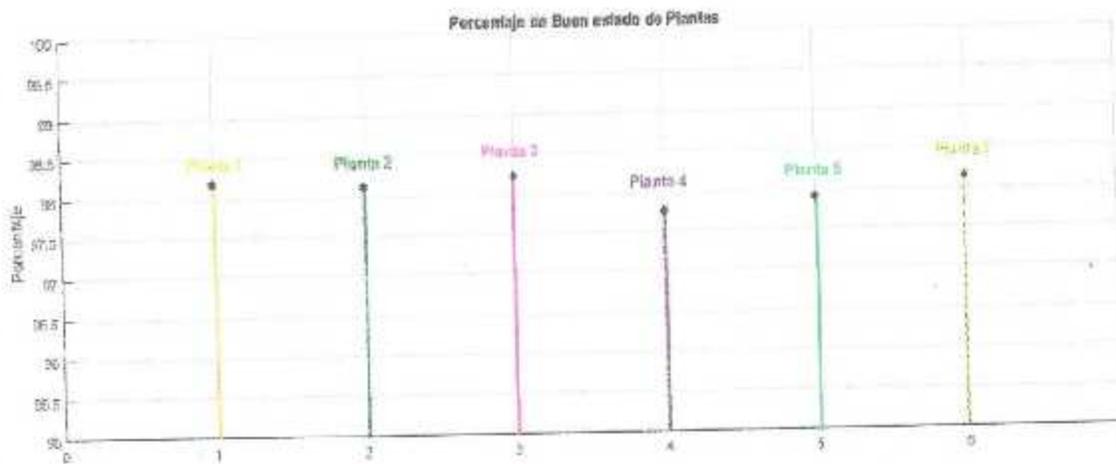


Figura 7.12 Promedio del Porcentaje de Buen estado de las Plantas.

Lo que nos permite concluir que de las Figura 7.1 a 7.6 se observa que se mantuvo un rango promedio de 28 a 32°C de temperatura en las plantas, y manteniendo un riego estable de 60 ml, las plantas mostraron un promedio de humedad de 21%. Lo cual nos lleva a la gráfica de la figura 7.12 donde se demostró que las plantas mantuvieron un 98% de estado favorable y optimo desarrollo.

7.5 Comprobación de Red Neuronal Artificial (RNA) para Control de Riego.

Con los datos obtenidos del Experimento 3 donde las plantas tienen un desarrollo favorable en condiciones estables, se utilizaron para simular las redes neuronales del control de riego y Temperatura

7.5.1 Simulación de RNA de control de Riego en sección 1.

Tomando los datos de la humedad en suelo y el porcentaje de estado bueno de las plantas 1 y 6 como entradas para la red neuronal de la sección 1 del Riego se procesaron los 20 casos y se obtuvo la siguiente respuesta de la red, representada en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2 Respuesta de la RNA para el Riego de la Sección 1 del Invernadero.

Caso	Entrada 1 Humedad en Suelo Planta 1	Entrada 2 Humedad en Suelo Planta 6	Entrada 3 Porcentaje Bueno de la Planta 1	Entrada 4 Porcentaje Bueno de la Planta 6	Salida Deseada	Salida de la Red
1	21	21.5	98.75	98.1	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable
2	20	21.5	98.69	98.27	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable
3	21	21	98.27	97.91	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable
4	22	21.6	98.59	98.4	0 0 1 = Humedad Excesiva	0 1 0 = Humedad Estable
5	21	21	98.4	98.1	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable

EXPERIMENTACION Y RESULTADOS

6	20	21	98.17	98.34	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
7	21	21	97.99	98.29	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
8	21	21.5	98.25	98.43	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
9	20	21	98.18	97.86	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
10	20	21.4	98.06	98.23	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
11	21	21.4	98.12	98.2	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
12	20.9	21	98.25	98.16	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
13	20	21.5	97.94	98.18	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
14	20.9	21	98.11	97.84	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
15	21	21	97.91	98.37	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable

EXPERIMENTACION Y RESULTADOS

16	21	21	98.33	98.34	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable
17	21	21.5	97.93	98.29	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable
18	20.9	21.5	97.7	98.03	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable
19	21	21.4	98.01	98.16	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable
20	20.9	21	97.98	97.51	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable

De la tabla 7.2 se muestra que en la sección de Riego 1 del invernadero la red da un 5% de error en su salida.

7.5.2 Simulación de RNA de control de Riego en sección 2.

Tomando los datos de la humedad en suelo y el porcentaje de estado bueno de las plantas 2 y 5 como entradas para la red neuronal de la sección 2 del Riego se procesaron los 20 casos y se obtuvo la siguiente respuesta de la red, representada en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3 Respuesta de la RNA para el Riego de la Sección 2 del Invernadero.

Caso	Entrada 1 Humedad en Suelo Planta 2	Entrada 2 Humedad en Suelo Planta 5	Entrada 3 Porcentaje Bueno de la Planta 2	Entrada 4 Porcentaje Bueno de la Planta 5	Salida Deseada	Salida de la Red
1	21	20.7	98	97.87	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable
2	21	20.7	98.51	97.77	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable
3	21	20.74	97.99	97.77	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable
4	21.1	20.9	98.07	97.81	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable
5	21	20	97.59	97.91	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable
6	21	20.8	98.1	97.84	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable
7	21.1	20.7	98.02	97.64	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable
8	21	20.7	98.11	97.9	0 1 0 = Humedad Estable	0 1 0 = Humedad Estable

EXPERIMENTACION Y RESULTADOS

9	20	20	98.37	97.87	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
10	21.1	20.7	97.76	97.92	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
11	21	18.5	98.35	97.85	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
12	21	20	98.31	98.11	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
13	21.1	20.7	98.46	98.07	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
14	21	20	97.52	98.13	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
15	21	20	98.06	98.08	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
16	21.2	20.8	98.37	98.1	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
17	21	20	98.33	97.9	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
18	21	20.7	98.25	97.8	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable

EXPERIMENTACION Y RESULTADOS

19	21	20.8	98.25	97.95	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
20	21	20	98.3	98.05	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable

De la tabla 7.3 se muestra que en la sección de Riego 2 del invernadero la red fue 100% asertiva en su salida.

7.5.3 Simulación de RNA de control de Riego en sección 3.

Tomando los datos de la humedad en suelo y el porcentaje de estado bueno de las plantas 3 y 4 como entradas para la red neuronal de la sección 3 del Riego se procesaron los 20 casos y se obtuvo la siguiente respuesta de la red, representada en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4 Respuesta de la RNA para el Riego de la Sección 3 del Invernadero.

Caso	Entrada 1 Humedad en Suelo Planta 3	Entrada 2 Humedad en Suelo Planta 4	Entrada 3 Porcentaje Bueno de la Planta 3	Entrada 4 Porcentaje Bueno de la Planta 4	Salida Deseada	Salida de la Red
1	21.3	21.2	98.28	97.6	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
2	21	21	98.1	97.78	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
3	21	21.2	98.4	97.87	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable

EXPERIMENTACION Y RESULTADOS

4	21	21.3	98.52	98.04	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
5	21	21	98.54	97.72	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
6	21.2	21	98.36	97.5	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
7	21	21.3	98.45	97.92	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
8	21.1	21.3	98.45	97.95	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
9	21.3	21.3	98.34	97.79	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
10	21.2	21.2	98.1	97.84	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
11	21.28	21	98.12	97.83	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
12	21.3	21.1	98.29	97.86	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
13	21.2	21	98.04	97.82	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable

EXPERIMENTACION Y RESULTADOS

14	21.2	21	97.99	98.01	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
15	21	21.3	98.28	97.89	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
16	21.2	21.3	98.25	97.29	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
17	21.1	21.4	98.32	97.41	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
18	21	21	98.4	98.02	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
19	21	21.4	97.67	97.54	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable
20	21	21	98.09	97.76	010 = Humedad Estable	010 = Humedad Estable

De la tabla 7.4 se muestra que en la sección de Riego 3 del invernadero la red fue 100% asertiva en su salida.

Tomando en consideración las tres secciones, se puede concluir que la RNA del control de Riego tiene un margen de error del 1.67%

7.6 Comprobación de Red Neuronal Artificial (RNA) para Control de Temperatura.

Tomando los datos de la temperatura objeto de las 6 plantas y la temperatura ambiente y humedad relativa de la estación de trabajo como entradas para la RNA del control de temperatura se procesaron los 20 casos y se obtuvo la siguiente respuesta de la red, representada en la Tabla 7.5.

Tabla 7.5 Respuesta de la RNA para la Temperatura del Invernadero.

#	TOP1	TOP2	TOP3	TOP4	TOP5	TOP6	TA	HR	Salida Deseada	Salida de la Red
1	29	29.51	29.6	29.5	29	30	27.58	17.64	0 1 0 = T. Estable	0 1 0 = T. Estable
2	29	29	29.5	29	30	30	27.24	17.66	0 1 0 = T. Estable	0 1 0 = T. Estable
3	29.5	30	30	29.8	30	30.56	34.13	17.34	0 1 0 = T. Elevada	1 0 0 = T. Elevada
4	29.6	29	30	30	31	30	34.06	17.16	0 1 0 = T. Elevada	1 0 0 = T. Elevada
5	29	29.9	30	30	31.1	29	30.42	20.67	0 1 0 = T. Estable	0 1 0 = T. Estable
6	29	28.67	31.82	30.9	32	30	32.71	18.7	0 1 0 = T. Estable	0 1 0 = T. Estable
7	29.7	29	31	32.4	30	29.9	32.39	18.66	0 1 0 = T. Estable	1 0 0 = T. Elevada
8	29	28	31.2	31.6	30	30	30.34	20.65	0 1 0 = T. Estable	0 1 0 = T. Estable
9	28.5	21	31	31.9	29	30	29.56	19.08	0 1 0 = T. Estable	0 1 0 = T. Estable
10	29	28.2	30.5	31.1	30	30.5	31.37	17.2	0 1 0 = T. Estable	0 1 0 = T. Estable
11	28.3	28	30.5	31.2	30.77	29.5	28	20.28	0 1 0 = T. Estable	0 1 0 = T. Estable

EXPERIMENTACION Y RESULTADOS

12	27.8	28.7	30	30	31	29	28.73	21.21	010 = T. Estable	010 = T. Estable
13	28	28.1	30	30	31	28	30.05	20.61	010 = T. Estable	010 = T. Estable
14	28.5	28	31	31	31.7	29	29.68	21.18	010 = T. Estable	010 = T. Estable
15	29.2	28.4	31	31	31	29.3	30.68	20.19	010 = T. Estable	010 = T. Estable
16	29	29.2	30	32.6	30.7	30	30.49	19.95	010 = T. Estable	010 = T. Estable
17	29	31	30	32.8	30.33	30	30.73	17.95	010 = T. Estable	010 = T. Estable
18	29	31	30	32.8	29.6	30	32.2	16.34	010 = T. Estable	100 = T. Elevada
19	29.8	29	30.5	32.9	30.3	29	32.35	20.85	010 = T. Estable	100 = T. Elevada
20	29	29.33	29	31.4	30	29	30.39	25.3	010 = T. Estable	010 = T. Estable

De la tabla 7.5 se muestra que según los datos del experimento 3 la RNA tiene 3 errores por lo que se puede concluir que la RNA del control de Temperatura tiene un margen de error del 15%.

Capítulo 8

Conclusiones y Trabajos a Futuro.

Las conclusiones se presentan en tres apartados para hacer énfasis en los puntos desarrollados en el proyecto de tesis. Los cuales se dividen en Sistema de Sensores de Humedad en suelo, la Modulación de los sistemas de la estación de trabajo y el Control Inteligente. Finalmente se presentan los trabajos a futuro.

8.1 Sistema de Sensores de Humedad en Suelo.

El objetivo de este apartado era alargar la vida útil de los Sensores de Humedad en Suelo YL-69 para lo cual luego de las modificaciones realizadas y mencionadas en el capítulo 3 se obtuvo que se aumentó la vida del sensor aproximadamente en un 167%. Por lo que no es necesario cambiar el tipo de sensor y se puede continuar utilizando este.

8.2 Modulación de Estación de Trabajo Invernadero.

La aplicación Labview se utiliza como una interfaz gráfica permitiendo la comunicación directa con las placas de arduino así como para establecer la hora de riego, y la iluminación o algún análisis manual de las plantas por medio del usuario. Originalmente se encontraba todo contenido en una sola aplicación por lo que se realizó la modulación para así solo montar la parte requerida en el invernadero y hacerlo más accesible tanto en programación como en costo.

Se tuvieron algunos detalles en este punto debido a que en un principio se pensó en la modulación quedando de la siguiente manera:

- Módulo Base
 - 1) Posicionador Mecánico
 - 2) Ventilación
 - 3) Iluminación
 - 4) Procesamiento de Imagen
- Módulo Sensores
 - 1) Sensor de Humedad en Suelo YL-69
 - 2) Sensor de Temperatura Infrarrojo MLX90614
 - 3) Sensor de Humedad Relativa HIH-4030

- **Módulo Riego**
 - 1) Electroválvula 2P025-08
 - 2) Bomba sumergible DC30A-1230
 - 3) Ductos y Conexiones
 - 4) Módulo de relevadores para Arduino HL-545

Se realizó esa modulación pero al momento de implementar las redes backpropagation se notó que se necesitaban ciertas variables en cada red que no se encontraban en el módulo correspondiente por lo que se reorganizó la distribución de elementos y se desarrolló nuevamente la modulación quedando de la siguiente manera:

- **Módulo Base**
 - 1) Posicionador Mecánico
 - 2) Iluminación
 - 3) Procesamiento de Imagen
- **Módulo Sensores**
 - 1) Sensor de Temperatura Infrarrojo MLX90614
 - 2) Sensor de Humedad Relativa HIH-4030
 - 3) Ventilación
- **Módulo Riego**
 - 1) Sensor de Humedad en Suelo YL-69
 - 2) Electroválvula 2P025-08
 - 3) Bomba sumergible DC30A-1230
 - 4) Ductos y Conexiones
 - 5) Módulo de relevadores para Arduino HL-545

8.3 Control con Inteligencia Artificial.

El objetivo principal de la tesis es diseñar e implementar un control inteligente a la estación de trabajo invernadero, el cual se encargue de realizar un riego eficiente y mantener una temperatura estable para mejorar el desarrollo de los cultivos, sin tener que estar pendiente las 24hrs del invernadero para realizar los cambios manualmente. La implementación del control inteligente permite:

- Un control del sistema de riego en el cual según el estado de humedad de la planta es la cantidad de agua que suministra, si la planta se encuentra normal sigue con la misma cantidad (60ml) si la planta está deshidratada aumenta la cantidad de agua hasta que la planta se regula a su estado estable y si la planta se encuentra sobre hidratada disminuye la cantidad de agua suministrada hasta que la planta vuelva a estar en condiciones estables.
- Un control de la temperatura del invernadero, tomando medidas cada 3 horas para mantener un rango de temperaturas óptimas para el desarrollo de las plantas.
- Visualizar las últimas imágenes de las seis plantas capturadas por la cámara web y las seis imágenes después del procesamiento de imagen, permitiendo conocer el estado actual de las plantas de forma visual.
- Obtener un historial de análisis de cada planta a través de reportes los cuales son guardados en tablas de Excel. Con los reportes se puede observar las lecturas de los sensores como lo son la temperatura ambiente, temperatura directa, humedad relativa y humedad de agua en suelo, además de los resultados arrojados por el procesamiento de imagen, las fechas y horas de análisis.

8.4 Trabajos a Futuro.

Como trabajos a Futuro se tiene en cuenta lo siguiente:

Implementar un sistema de calefacción.

Incorporar una iluminación con focos incandescentes o fluorescentes especiales para cultivos que requieren luz artificial.

Desarrollar e implementar un control para la iluminación del cultivo.

Referencias Bibliográficas.

- [1] Bielinski M. Santos, Henner A. Obregón, Teresa P. Salamé, "Producción de Hortalizas en Ambientes Protegidos: Estructuras para la Agricultura Protegida", Publicación del Departamento de Horticultural Sciences, UF/IFAS Estension University of Florida, Agosto 2010.
- [2] Asociación Mexicana de Horticultura Protegida (AMHPAC), "Agricultura Protegida en México 2015". Consultado en Marzo 2016. [Documento en línea] Disponible: <http://www.amhpac.org/es/index.php/homepage/agricultura-protegida-enmexico>.
- [3] Secretaria de Desarrollo Rural del Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, "Programa Estatal de Desarrollo Rural 2011-2017, Saltillo, Coahuila, México, Septiembre 2012. Consultado en Marzo 2016. [Documento en línea] Disponible: <http://coahuila.gob.mx/archivos/pdf/Publicaciones/DESARROLLO%20RURAL.pdf>.
- [4] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA), "Agricultura Protegida 2016". Consultado en Marzo 2017. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.gob.mx/siap/documentos/agricultura-protegida>.
- [5] Dr. Porfirio Juárez López, Dr. Rubén Bugarín Montoya, Dr. Rogelio Castro Brindis, M.C. Ana Luisa Sánchez-Monteón, Dra. Elia Cruz-Craspo, Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete, Dr. Gelacio Alejo Santiago, Dr. Rosendo Balois Morales, "Estructuras utilizadas en la agricultura protegida," Revista Fuente Año 3 No. 8, ISSN 2007 – 0713, 2011.
- [6] Ortega Martínez, Ocampo Mendoza, Sandoval Castro, Martínez Valenzuela, Huerta De La Peña, Jaramillo Villanueva, "Caracterización y funcionalidad de invernaderos en Chignahuapan, Puebla, México," Revista Bio Ciencias Colegio de Postgraduados Campus Puebla, ISSN 2007-3380, 2014.
- [7] José Pacheco Abraham, "Producción de hortalizas bajo invernadero: Fundamentos técnicos para el diseño y construcción de Invernaderos," Fundación produce Sinaloa A.C, Sinaloa, México, 2006.
- [8] VICENÇ TORRA, Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial (CSIC), "La Inteligencia Artificial," Lychnos, Vol. 7, ISSN: 2171-6463, 2011.
- [9] Luis Alberto García Fernández, "Usos y aplicaciones de la inteligencia artificial," Revista de divulgación científica y tecnológica de la universidad veracruzana, volumen 17, 2004.
- [10] Ramírez Q. Juan A., Chacón M. Mario I, "Redes neuronales artificiales para el procesamiento de imágenes, una revisión de la última década," RIEE&C, REVISTA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN, Vol. 9 No. 1, ISSN 1870 – 9532, 2011.
- [11] Sotolongo, G., Guzmán, "Aplicaciones de las redes neuronales. El caso de la bibliometría.," Ciencias de la Información, 2001.
- [12] Yemil Avilés de León, "Estación de Trabajo Automática para el Monitoreo de Plantas," Tesis de maestría, ISSN: 0188-9060, Instituto Tecnológico de la laguna, Torreón, Coahuila, México, 2014.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [13] Sitio web Alibaba, Partes Mecánicas y Servicios de Fabricación. Consultado en Marzo 2017. Disponible: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/plastic-solenoid-valve-2p025-08-06-2-way-12v-24v-dc-or-110v-220v-ac-water-air-gas-oil-391397416.html>
- [14] Big World Technology staff, DC30A Series. Consultado en Abril 2016. Disponible: <http://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/DC30A-1215.pdf>
- [15] Galicia Reyes Jorge Iván, "Aplicación para control vía remota, integración de sensores y sistema de riego a invernadero de pruebas automático para el monitoreo de plantas," Tesis de maestría, ISSN: 0188-9060, Instituto Tecnológico de la laguna, Torreón, Coahuila, México, 2015.
- [16] Sitio web Talos electronic, Consultado en Marzo 2017. Disponible: <https://www.taloselectronics.com/producto/sensor-de-humedad-del-suelo/>
- [17] Sitio web tdrobotica, Consultado en Marzo 2017. Disponible: <http://tdrobotica.co/termometro-infrarrojo-mlx90614/>
- [18] Sitio web carrod, Consultado en Marzo 2017. Disponible: <https://www.carrod.mx/products/sensor-de-humedad-breakout-hih-4030>
- [19] Sitio web allDatasheet, Consultado en Abril 2016. Disponible: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/9130/NSC/LMC662CN>
- [20] Christopher Sullivan, "Herbs," 09 in collage Seminar 235, Food For Thought: The Science, Culture, & Politics of Food, 2009.
- [21] Gilberto Vega Marrero, Ma Cristina Escandón, Rafaela Soto, Alicia Mendoza, "INSTRUCTIVO TECNICO DEL CULTIVO DE LA ALBAHACA (*Ocimum basilicum L*) en Cuba," Estación Experimental de Aceites Esenciales. Unión de Jabonería y Perfumería .SUCHEL. Industria Ligera.
- [22] María de la Cruz Paredes Aguilar, María Guadalupe Gastélum Franco, Ramón Silva Vázquez, Guadalupe Virginia Nevárez Moorillón, "ANTIMICROBIAL EFFECT OF MEXICAN OREGANO (*LIPPIA BERLANDIERI Schauer*) AND ITS ESSENTIAL OIL AGAINST FIVE VIBRIO SPECIES," Rev. Fitotec, Vol. 30 pp. 261 – 267, 2007.
- [23] ARGUELLO, "Sistema de producción y cadena de valor del cultivo de Orégano (*Origanum sp.*) en la Provincia de Córdoba Argentina," Phytón B. Aires, vol.81, n.1 pp. 23-34, ISSN 1851-5657, 2012.
- [25] Sotolongo, Suárez, Guzmán, "Modular Bibliometrics Information System with Proprietary Software (MOBIS-ProSoft): a versatile approach to bibliometric research tools," Library and Information Science Electronic Journal (LIBRES), 2000.
- [26] Ramón Benítez, Daniel Cattani, Ivo Benítez, Anastacio Arce, "Aplicación de Redes Neuronales Artificiales en la Previsión del Suministro Energético de la Central Hidroeléctrica de Itaipú al Sistema Eléctrico Paraguayo," Universidad Nacional del Este - Facultad Politécnica.
- [27] Marco Antonio Valencia Reyes, Cornelio Yáñez Márquez, Luis Pastor Sánchez Fernández, "Algoritmo Backpropagation para Redes Neuronales: conceptos y aplicaciones," INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN. No. 125 Serie: VERDE, 2006.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [28] Sitio web tecamb, Consultado en Marzo 2017. Disponible: <http://totalsapiens.com/total/invernaderos-e-inteligencia-artificial/>.
- [29] Sitio web National Instrument, Consultado en Marzo 2017 Disponible: <http://www.ni.com/es-mx/shop/labview.html>.
- [30] Sitio web National Instruments, Buscar "Complementos para LabVIEW," Consultado en Marzo 2017. Disponible: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/212595>.
- [31] Sitio web National Instruments, Buscar "LabVIEW Math Script RT module," Consultado en Marzo 2017. Disponible: <http://www.ni.com/labview/mathscript/esa/>.
- [32] MENDES, Vilson B, Fabiana R, Laercio B, "Detección de Posición Angular de Embarcaciones, utilizando Técnicas de Visión Computacional y Redes Neuronales Artificiales," SciELO, Vol.21, n.6, pp.177-188, 2010.

ANEXO A

Código tarjeta Arduino mega 2560 para el sistema de sensores.

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
Adafruit_MLX90614 TempInfr = Adafruit_MLX90614();
float TempObjetoL = 0; // Declaración e inicialización a cero del valor de la variable en la cual se guardara la
lectura de la temperatura de las plantas (directo al objeto debido al infrarrojo)
float TempObjetoR = 0; // Promedio de los valores tomados de la temperatura de las plantas.
float TempAmbienteL = 0; // Declaración e inicialización a cero del valor de la variable en la cual se guardara
la lectura de la temperatura (ambiente infrarrojo)
float TempAmbienteR = 0; // Promedio de los valores tomados de la temperatura ambiente.
int sensrh=A9; // Pin sensor analógico de humedad
int rh; // Variable lectura RH
float rhreal; // Valor real RH
float rhsum; // Suma valores RH
float rh_prom; // Valor promedio de RH
int d_rh; // Divisor de RH
int rx;
int confrx;
int VENT=34; // Definición de variables y asignación de pines
long x[8]={0,0,0,0,0,0,0,0}; //vector auxiliar para guardar entradas del sistema
int i; //variable para ciclo for
int j; //variable para ciclo for
long accum=0; //variable para acumular, auxiliar para operacion para la red
long accum2=0; //Variable para capa oculta
long ysinhardlim[3]={0,0,0}; //Vector de salidas de la red sin funcion hardlim
long ycapaoculta[5]={0,0,0,0,0}; //Vector de capas ocultas
long bo[5]={-6.9010,-20.3696,26.4135,352.2088,1.4812}; //bias capas ocultas
long b[3]={5.8465,-0.9477,0.3541}; //bias obtenido de matlab para salidas
long mat[5][8]={
  {4.1567,4.8948,-5.0710,6.2864,-0.1805},
  {4.1610,6.9650,9.4044,-0.1575,0.6725},
  {-7.7140,2.2567,-5.6496,-45.9549,-1.2143},
  {-0.73,-5.1881,5.0656,21.6141,-0.1206},
  {3.2962,-2.2290,-7.8246,-2.1982,0.7642},
  {-3.9125,-1.5561,3.3864,4.5554,-0.3197},
  {-0.6550,0.4669,0.0075,0.4368,-0.1231},
  {0.9724,-4.7808,-0.6621,2.7858,0.1476},
}; //matriz de pesos sinapticos capa oculta
long mat2[3][5]={
  {7.0154,-3.1858,0},
  {-0.7378,0,-0},
  {0.0005,-2.9890,3.3515},
  {-3.5290,-2.9890,-0},
  {-3.9606,2.2383,-2.9974},
}; //matriz de pesos sinapticos salida
void setup() {
  pinMode(VENT,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  TempInfr.begin();

```

```

Serial.flush(); // Limpieza del buffer del puerto serie
}

void loop() {
  rx = Serial.read();
  delay(100);
  switch(rx){
  case 103: // g
    //Serial.println("-----Temperatura Objeto-----");
    delay(100);
    Temperatura_InfrarojoO();
    Serial.print("G");
    while(Serial.available()<1)//Espera que pida enviar la humedad, debe recibir una g
    {
    }
    confrx = Serial.read();//Lee la g
    delay(100);
    Serial.println(TempObjetoR);
    break;
  case 104: // h
    //Serial.println("-----Temperatura Ambiente-----");
    delay(100);
    Temperatura_InfrarojoA();
    Serial.print("H");
    while(Serial.available()<1)//Espera que pida enviar la humedad, debe recibir una h
    {
    }
    confrx = Serial.read();//Lee la h
    delay(100);
    Serial.println(TempObjetoR);
    break;
  case 104: // i
    //Serial.println("-----Humedad Relativa-----");
    delay(100);
    rx=Serial.read();//Lee la l
    delay(100);
    humedad_relativa();//Calcula la humedad relativa, manda llamar subrutina
    Serial.print("I");//Termina proceso de cálculo, envía una F
    while(Serial.available()<1)//Espera que pida enviar la humedad, debe recibir una H
    {
    }
    rx=Serial.read();//Lee la l
    delay(100);
    Serial.print(rhreal);//Envía el dato de la humedad relativa
    break;
  }
  delay(500);
}
RedBackCapaOcu();
RedBackPTemp();
Ventilacion();
}

```

```

void Temperatura_InfrarojoO() {
  float Sumatoria = 0;
  float Divisor = 0;
  TempObjetoR = 0;
  Serial.flush();
  for(int l=0;l<20;l++)
  {
    TempObjetoL = TempInf.readObjectTempC();
    Sumatoria = Sumatoria + TempObjetoL;
    Divisor = l+1;
    delay(100);
  }
  TempObjetoR = Sumatoria / Divisor;
}

void Temperatura_InfrarojoA() {
  float Sumatoria = 0;
  float Divisor = 0;
  TempObjetoR = 0;
  Serial.flush();
  for(int l=0;l<20;l++)
  {
    TempObjetoL = TempInf.readAmbientTempC();
    Sumatoria = Sumatoria + TempObjetoL;
    Divisor = l+1;
    delay(100);
  }
  TempObjetoR = Sumatoria / Divisor;
}

void humedad_relativa(){//Subrutina de cálculo de humedad
  rhsum=0;
  Serial.flush();
  for(int k=0;k<20;k++)
  {
    rh=analogRead(sensrh);
    rhsum=rhsum+rh;
    d_rh=k+1;
    delay(100);
  }
  rh_prom=rhsum/d_rh;
  rhreal=(((rh_prom-164)*0.1577));//Factor de conversión
}

void RedBackCapaOcu()
{
  for (i=0; i<8; i++){//ciclo for para recorrer las columnas de la matriz de pesos
  {
    acum2=0;//poner acumulador en cero cada vez que se cambie de columna, osea para cada neurona
    for (j=0; j<5; j++){//ciclo for para recorrer los renglones de la matriz de pesos y las posiciones del vector de
    entarda
    {

```

```

    accum2= accum2 + (x[j]*(mat[j][i]));//Suma ponderada de la entrada por su peso correspondiente
  }
  ycapaoculta[i]=accum2-bo[i];//Salida obtenida de la red igual a la suma ponderada menos el bias
correspondiente
  if (ycapaoculta[i]>=0.7)//funcion de hardlim, si el valor es mayor o igual a cero entonces
  y[i]=1;//la salida es 1
  else
  y[i]=0;// de lo contrario, si el valor es menor a cero la salida es 0.
  }
}
}

void RedBackTemp()
{
  for (i=0; i<5; i++)//ciclo for para recorrer las columnas de la matriz de pesos
  {
    accum=0;//poner acumulador en cero cada vez que se cambie de columna, osea para cada neurona
    for (j=0; j<3; j++)//ciclo for para recorrer los renglones de la matriz de pesos y las posiciones del vector de
entarda
    {
      accum= accum + (ycapaoculta[j]*(mat[j][i]));//Suma ponderada de la entrada por su peso correspondiente
    }
    ysinhardlim[i]=accum-b[i];//Salida obtenida de la red igual a la suma ponderada menos el bias
correspondiente
    if (ysinhardlim[i]>=0.7)//funcion de hardlim, si el valor es mayor o igual a cero entonces
    y[i]=1;//la salida es 1
    else
    y[i]=0;// de lo contrario, si el valor es menor a cero la salida es 0.
  }
}
}

void Ventilacion()
{
  if (y[0]==1 && y[1]==0 && y[2]==0)//Si la salida de la red es "100" entonces
  {
    digitalWrite(VENT,HIGH);
    //Apagar Calefaccion encaso de haber
  }
  else if (y[0]==0 && y[1]==1 && y[2]==0)//Si el vector de salidas de la red es "010" entonces
  {
    digitalWrite(VENT,LOW);
    //Apagar Calefaccion en caso de haber
  }
  else if (y[0]==0 && y[1]==0 && y[2]==1)//Si el vector de salidas de la red es "001" entonces
  {
    digitalWrite(VENT,LOW);
    //Encender Calefaccion
  }
  else //Si no es ningun caso de los anteriores entonces
  digitalWrite(VENT,LOW);
  //Apagar calefaccion
}
}

```

ANEXO B

Código tarjeta Arduino mega 2560 para el sistema de riego.

```

#include<Keypad.h>
#include <LiquidCrystal.h>

//-----Teclado matricial-----
const byte filas = 4;
const byte columnas = 3;
byte pinsFilas[filas] = {22, 23, 24, 25}; // Pines para las columnas (en orden): F1, F2,
F3, F4
byte pinsColumnas[columnas] = {26, 27, 28}; // Pines para las columnas (en orden):
C1, C2, C3

char teclas[filas][columnas] = {
  {'1','2','3'},
  {'4','5','6'},

  {'7','8','9'},
  {'*','0','#'}
};
Keypad teclado = Keypad( makeKeymap(teclas), pinsFilas, pinsColumnas, filas, columnas ); //Se crea un objeto
llamado teclado
char tecla;

//-----Declaracion de pines-----
int SwitchAM_pin = 37;
int BS1_pin = 39;
int BS2_pin = 41;
int BS3_pin = 43;
int BBomba_pin = 45;
int Bomba = 49;
int S1 = 50;
int S2 = 51;
int S3 = 52;

//-----Variables-----
int SwitchAM = 0;
int BS1 = 0;
int BS2 = 0;
int BS3 = 0;
int BBomba = 0;

int aux_num = 0;
long numero_teclado;
int cadena_teclado[20];
int numeroT[20];
int contT = 0;
int XT = 0;
int i = 0;
int j = 0;

```

```

int rx;
long tiempo;
int cadena_datos[10];
int cont = 0;
int X = 0;
int numero[10];
//-----Pantalla LCD 16x2-----

LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7);
//-----RED Neuronal-----
long x1[4]={0,0,0,0}; //vector auxiliar para guardar entradas del sistema
long x2[4]={0,0,0,0};
long x3[4]={0,0,0,0};
int i; //variable para ciclo for
int j; //variable para ciclo for
long accum2=0; //variable para acumular, auxiliar para operacion para la red
long accum=0; //Variable para capa oculta
long ysinhardlim[3]={0,0,0}; //Vector de salidas de la red sin funcion hardlim
long ycapaoculta[5]={0,0,0,0,0}; //Vector de capas ocultas
long bo[5]={ -0.4913,26.5989,4.1703,302.3157,0.4922}; //bias capas ocultas
long b[3]={0.3350,-0.3691,1.3742}; //bias obtenido de matlab para salidas
long mat[5][4]={
  {0.7883,-48.9292,-0.4672,-10.3932,0.097},
  {0.5679,-65.3366,-0.3540,-10.1542,0.6870},
  {0.2192,26.7116,-0.5899,-0.3842,-1.1031},
  {0.6127,-2.0727,-0.7671,0.6488,-0.7731},
}; //matriz de pesos sinapticos capa oculta
long mat2[3][5]={
  {0.0274,-0.1749,1.0538},
  {-0.0029,0.9160,-0.7258},
  {-0.4573,0.0724,1.1694},
  {1.2501,-0.9689,-0.0191},
  {-0.4276,-0.6606,0.5140},
}; //matriz de pesos sinapticos salida

//-----
void setup()
{
  pinMode(SwitchAM_pin, INPUT);
  pinMode(BS1_pin, INPUT);
  pinMode(BS2_pin, INPUT);
  pinMode(BS3_pin, INPUT);
  pinMode(BBomba_pin, INPUT);
  pinMode(Bomba, OUTPUT);
  pinMode(S1, OUTPUT);
  pinMode(S2, OUTPUT);
  pinMode(S3, OUTPUT);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("Modulo: S. Riego");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" ITL ");
  digitalWrite(Bomba,HIGH);
}

```

```

digitalWrite(S1,HIGH);
digitalWrite(S2,HIGH);
digitalWrite(S3,HIGH);
Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  SwitchAM = digitalRead(SwitchAM_pin);
  BS1 = digitalRead(BS1_pin);
  BS2 = digitalRead(BS2_pin);
  BS3 = digitalRead(BS3_pin);
  BBomba = digitalRead(BBomba_pin);
  if ( SwitchAM == HIGH) {
    j = 0;
    if (BS1 == HIGH && BS2 == LOW && BS3 == LOW && BBomba == LOW && SwitchAM == HIGH){
      digitalWrite(S1,LOW);
      digitalWrite(S2,HIGH);
      digitalWrite(S3,HIGH);
      digitalWrite(Bomba,LOW);
    }
    else if (BS1 == LOW && BS2 == HIGH && BS3 == LOW && BBomba == LOW && SwitchAM == HIGH){
      digitalWrite(S1,HIGH);
      digitalWrite(S2,LOW);
      digitalWrite(S3,HIGH);
      digitalWrite(Bomba,LOW);
    }
    else if (BS1 == LOW && BS2 == LOW && BS3 == HIGH && BBomba == LOW && SwitchAM == HIGH){
      digitalWrite(S1,HIGH);
      digitalWrite(S2,HIGH);
      digitalWrite(S3,LOW);
      digitalWrite(Bomba,LOW);
    }
    else if (BS1 == LOW && BS2 == LOW && BS3 == LOW && BBomba == HIGH && SwitchAM == HIGH){
      digitalWrite(Bomba,LOW);
      digitalWrite(S3,LOW);
      digitalWrite(S3,LOW);
      digitalWrite(S3,LOW);
    }
  }
  else {
    digitalWrite(S1,HIGH);
    digitalWrite(S2,HIGH);
    digitalWrite(S3,HIGH);
    digitalWrite(Bomba,HIGH);
    tecla = teclado.getKey();
    if (tecla != NO_KEY) {
      aux_num = tecla - 48;
      if ((aux_num >= 0)&&(aux_num <= 9)){
        lcd.clear();
        lcd.begin(16, 2);
        lcd.print("Tp de regado...");
        lcd.setCursor(0,2);
      }
    }
  }
}

```

```

    lcd.print(" En milisegundos ");
    cadena_teclado[i] = tecla - 48;
    numeroT[i] = cadena_teclado[i];
    contT = contT + 1;
    XT = contT;
    i = i + 1;
}
else if (aux_num == -13){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Tiempo de regado");
    lcd.setCursor(0,1);
    Concatenar_tiempo_teclado();
    numero_teclado = numero_teclado;
    lcd.print(numero_teclado);
    contT = 0;
    i = 0;
    Concatenar_tiempo_teclado();
    numero_teclado = numero_teclado;
    digitalWrite(Bomba,LOW);
    delay(1000);
    digitalWrite(S1,LOW);
    delay(numero_teclado);
    digitalWrite(S1,HIGH);
    digitalWrite(S2,LOW);
    delay(numero_teclado);
    digitalWrite(S2,HIGH);
    digitalWrite(S3,LOW);
    delay(numero_teclado);
    digitalWrite(S3,HIGH);
    digitalWrite(Bomba,HIGH);
}
}
}
}
else {
    //SwitchAM = digitalRead(SwitchAM_pin);
    if (j == 0) {
        lcd.clear();
        lcd.begin(16, 2);
        lcd.print("Modulo: S. Riego");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print(" Jorge Galicia ");
        delay(1000);
        Serial.print("X");
        delay(1000);
        Serial.flush();
        j = 1;
    }
    rx = Serial.read();//Lee la R
    delay(100);
    switch(rx){

```

```
case 97: //a
delay(2000);
Serial.print("A");
delay(3000);
if (Serial.available())
{
  for (int i=0; i < 10; i++)
  {
    cadena_datos[i] = Serial.read();
    delay(100);
    if (((cadena_datos[i] - 48) >= 0)&&{(cadena_datos[i] - 48) <= 9})
    {
      numero[i] = cadena_datos[i];
      cont = cont + 1;
      X = cont;
    }
  }
  Concatenar_tiempo_regado();
  tiempo = tiempo;
  digitalWrite(Bomba,LOW);
  delay(1000);
  digitalWrite(S1,LOW);
  delay(tiempo);
  digitalWrite(S1,HIGH);
  digitalWrite(S2,LOW);
  delay(tiempo);
  digitalWrite(S2,HIGH);
  digitalWrite(S3,LOW);
  delay(tiempo);
  digitalWrite(S3,HIGH);
  digitalWrite(Bomba,HIGH);
  Serial.print("t");
  Serial.flush();
  cont = 0;
}
break;
case 98: //b
delay(2000);
Serial.print("B");
delay(3000);
if (Serial.available())
{
  for (int i=0; i < 10; i++)
  {
    cadena_datos[i] = Serial.read();
    delay(100);
    if (((cadena_datos[i] - 48) >= 0)&&{(cadena_datos[i] - 48) <= 9})
    {
      numero[i] = cadena_datos[i];
      cont = cont + 1;
      X = cont;
    }
  }
}
```

```
}
Concatenar_tiempo_regado();
tiempo = tiempo;
digitalWrite(Bomba,LOW);
delay(1000);
digitalWrite(S1,LOW);
delay(tiempo);
digitalWrite(S1,HIGH);
digitalWrite(Bomba,HIGH);
Serial.print("t");
Serial.flush();
cont = 0;
}
break;
case 99: //c
delay(2000);
Serial.print("C");
delay(3000);
if (Serial.available())
{
for (int i=0; i < 10 ; i++)
{
cadena_datos[i] = Serial.read();
delay(100);
if (((cadena_datos[i] - 48) >= 0)&&((cadena_datos[i] - 48) <= 9))
{
numero[i] = cadena_datos[i];
cont = cont + 1;
X = cont;
}
}
Concatenar_tiempo_regado();
tiempo = tiempo;
digitalWrite(Bomba,LOW);
delay(1000);
digitalWrite(S2,LOW);
delay(tiempo);
digitalWrite(S2,HIGH);
digitalWrite(Bomba,HIGH);
Serial.print("t");
Serial.flush();
cont = 0;
}
break;
case 100: //d
delay(2000);
Serial.print("D");
delay(3000);
if (Serial.available())
{
for (int i=0; i < 10 ; i++)
{
```

```

cadena_datos[i] = Serial.read();
delay(100);
if (((cadena_datos[i] - 48) >= 0) && ((cadena_datos[i] - 48) <= 9))
{
    numero[i] = cadena_datos[i];
    cont = cont + 1;
    X = cont;
}
}
Concatenar_tiempo_regado();
tiempo = tiempo;
digitalWrite(Bomba, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(S3, LOW);
delay(tiempo);
digitalWrite(S3, HIGH);
digitalWrite(Bomba, HIGH);
Serial.print("t");
Serial.flush();
cont = 0;
}
break;
}
}
}

void Concatenar_tiempo_regado()
{
    switch(X){
    case 1:
        tiempo = (numero[0]-48);
        break;
    case 2:
        tiempo = (numero[0]-48)*10 + (numero[1]-48);
        break;
    case 3:
        tiempo = (numero[0]-48)*100 + (numero[1]-48)*10 + (numero[2]-48);
        break;
    case 4:
        tiempo = (numero[0]-48)*1000 + (numero[1]-48)*100 + (numero[2]-48)*10 + (numero[3]-48);
        break;
    case 5:
        tiempo = (numero[0]-48)*10000 + (numero[1]-48)*1000 + (numero[2]-48)*100 + (numero[3]-48)*10 +
        (numero[4]-48)*1;
        break;
    case 6:
        tiempo = ((numero[0]-48)*100000 + (numero[1]-48)*10000 + (numero[2]-48)*1000 + (numero[3]-
        48)*100 + (numero[4]-48)*10 + numero[5]-48)*1;
        break;
    default:
        Serial.println("No entro");
        break;
    }
}

```

```

}
}

void Concatenar_tiempo_teclado()
{
switch(XT){
case 1:
numero_teclado = numeroT[0];
break;
case 2:
numero_teclado = numeroT[0]*10 + numeroT[1];
break;
case 3:
numero_teclado = numeroT[0]*100 + numeroT[1]*10 + numeroT[2];
break;
case 4:
numero_teclado = numeroT[0]*1000 + numeroT[1]*100 + numeroT[2]*10 + numeroT[3];
break;
case 5:
numero_teclado = numeroT[0]*10000L + numeroT[1]*1000L + numeroT[2]*100L + numeroT[3]*10L +
numeroT[4]*1L;
break;
case 6:
numero_teclado = numeroT[0]*100000L + numeroT[1]*10000L + numeroT[2]*1000L + numeroT[3]*100L +
numeroT[4]*10L + numeroT[5]*1L;
break;
default:
Serial.println("No entro");
break;
}
}
}

void RedBackCapaOcu1()
{
for (i=0; i<4; i++)//ciclo for para recorrer las columnas de la matriz de pesos
{
accum2=0;//poner acumulador en cero cada vez que se cambie de columna, osea para cada neurona
for (j=0; j<5; j++)//ciclo for para recorrer los renglones de la matriz de pesos y las posiciones del vector de
entarda
{
accum2= accum2 + (x1[j])*(mat[j][i]);//Suma ponderada de la entrada por su peso correspondiente
}
ycapaoculta[i]=accum2-bo[i];//Salida obtenida de la red igual a la suma ponderada menos el bias
correspondiente
if (ycapaoculta[i]>=0.7)//funcion de hardlim, si el valor es mayor o igual a cero entonces
y[i]=1;//la salida es 1
else
y[i]=0;// de lo contrario, si el valor es menor a cero la salida es 0.
}
}
}

void RedBackCapaOcu2()
{

```

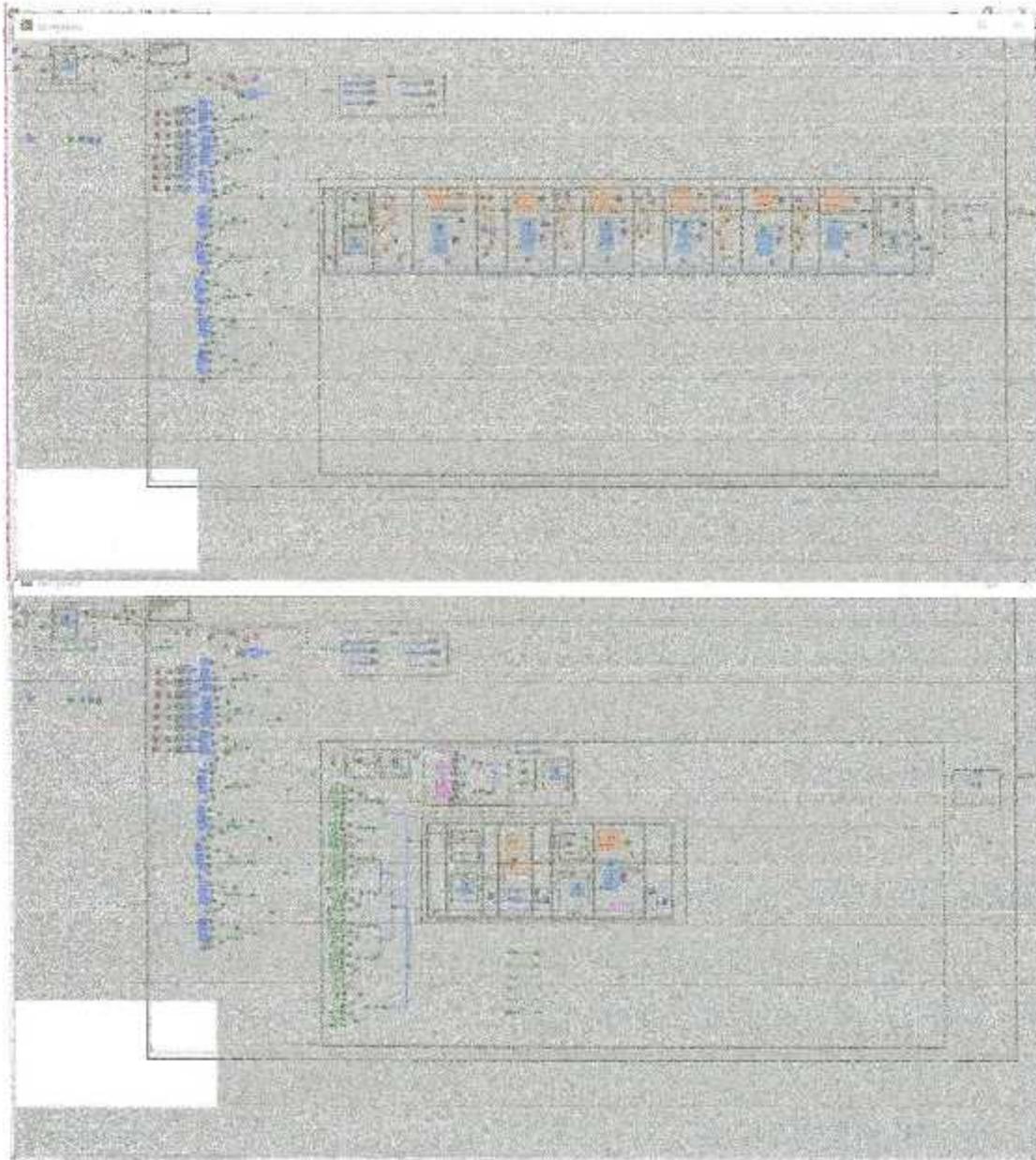
```

for (i=0; i<4; i++)//ciclo for para recorrer las columnas de la matriz de pesos
{
  accum2=0;//poner acumulador en cero cada vez que se cambie de columna, osea para cada neurona
  for (j=0; j<5; j++)//ciclo for para recorrer los renglones de la matriz de pesos y las posiciones del vector de
  entarda
  {
    accum2= accum2 + (x2[j]*(mat[j][i]));//Suma ponderada de la entrada por su peso correspondiente
  }
  ycapaoculta[i]=accum2-bo[i];//Salida obtenida de la red igual a la suma ponderada menos el bias
  correspondiente
  if (ycapaoculta[i]>=0.7)//funcion de hardlim, si el valor es mayor o igual a cero entonces
  y[i]=1;//la salida es 1
  else
  y[i]=0;// de lo contrario, si el valor es menor a cero la salida es 0.
  }
}
}
void RedBackCapaOcu3()
{
  for (i=0; i<4; i++)//ciclo for para recorrer las columnas de la matriz de pesos
  {
    accum2=0;//poner acumulador en cero cada vez que se cambie de columna, osea para cada neurona
    for (j=0; j<5; j++)//ciclo for para recorrer los renglones de la matriz de pesos y las posiciones del vector de
    entarda
    {
      accum2= accum2 + (x3[j]*(mat[j][i]));//Suma ponderada de la entrada por su peso correspondiente
    }
    ycapaoculta[i]=accum2-bo[i];//Salida obtenida de la red igual a la suma ponderada menos el bias
    correspondiente
    if (ycapaoculta[i]>=0.7)//funcion de hardlim, si el valor es mayor o igual a cero entonces
    y[i]=1;//la salida es 1
    else
    y[i]=0;// de lo contrario, si el valor es menor a cero la salida es 0.
    }
  }
}
void RedBackTemp()
{
  for (i=0; i<5; i++)//ciclo for para recorrer las columnas de la matriz de pesos
  {
    accum=0;//poner acumulador en cero cada vez que se cambie de columna, osea para cada neurona
    for (j=0; j<3; j++)//ciclo for para recorrer los renglones de la matriz de pesos y las posiciones del vector de
    entarda
    {
      accum= accum + (ycapaoculta[j]*(mat[j][i]));//Suma ponderada de la entrada por su peso correspondiente
    }
    ysinhardlim[i]=accum-b[i];//Salida obtenida de la red igual a la suma ponderada menos el bias
    correspondiente
    if (ysinhardlim[i]>=0.7)//funcion de hardlim, si el valor es mayor o igual a cero entonces
    y[i]=1;//la salida es 1
    else
    y[i]=0;// de lo contrario, si el valor es menor a cero la salida es 0.
  }
}

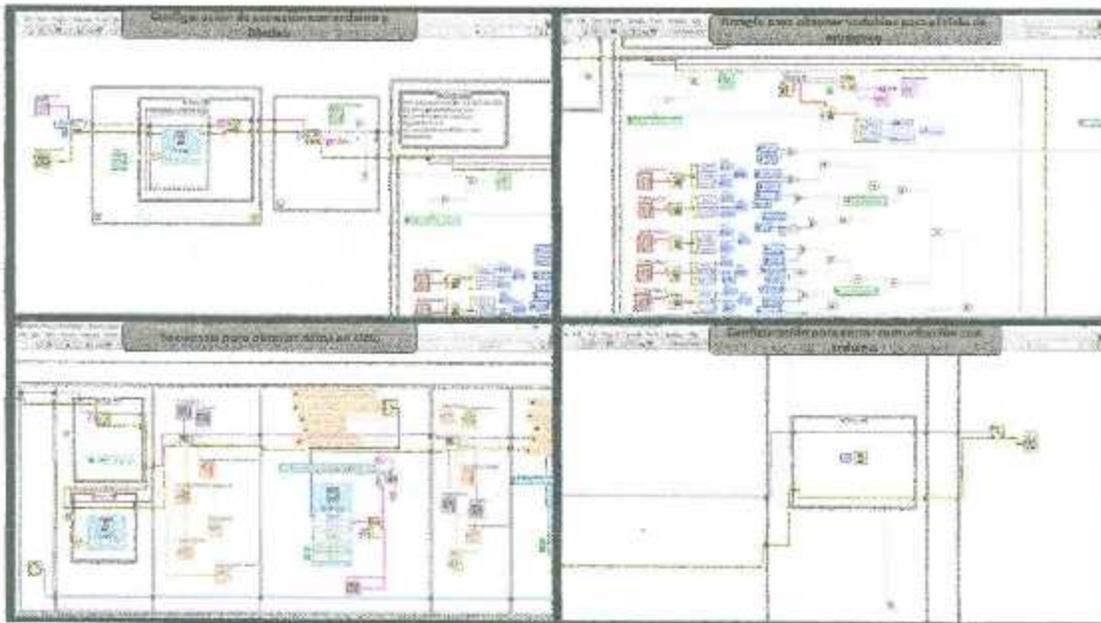
```

ANEXO C

Diagrama de Bloques LabVIEW Modulo Base.

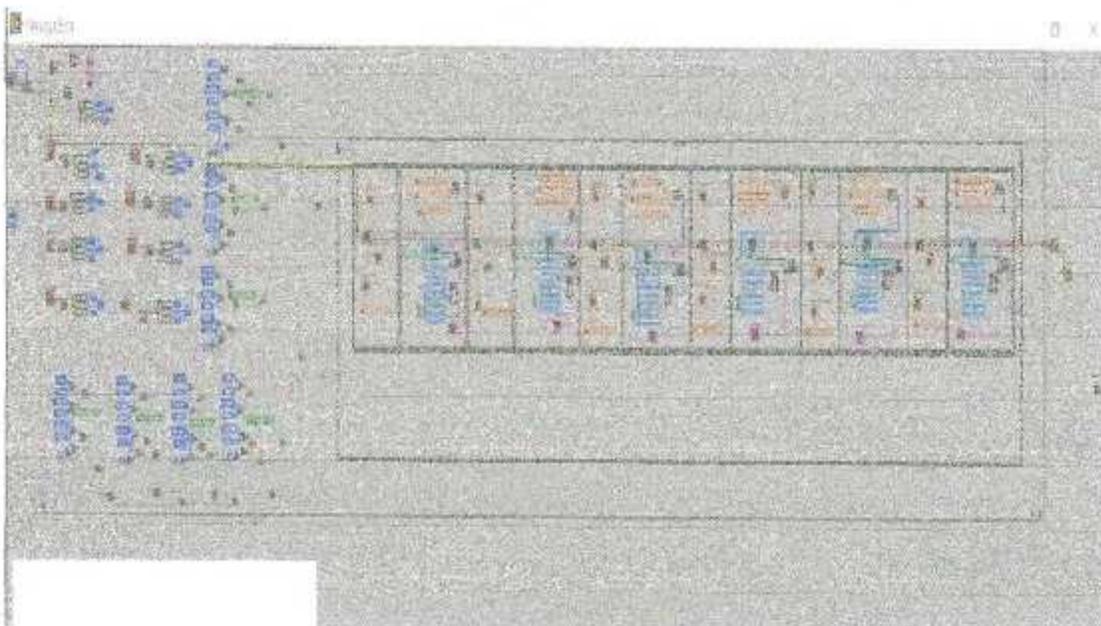


ANEXOS



ANEXO D

Diagrama de Bloques LabVIEW Modulo Sensores.





ANEXO E

Diagrama de Bloques LabVIEW Modulo Riego.



ANEXO F

Base de Datos de Planta 1 Experimento 3.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Malo	Total de Píxeles
1	27.58	17.64	29	21	98.75	1.25	164134
2	27.24	17.66	29	20	98.69	1.31	204192
3	34.13	17.34	29.5	21	98.27	1.73	201215
4	34.06	17.16	29.6	22	98.59	1.41	205959
5	30.42	20.67	29	21	98.4	1.6	188555
6	32.71	18.7	29	20	98.17	1.83	209037
7	32.39	18.66	29.7	21	97.99	2.01	208366
8	30.34	20.65	29	21	98.25	1.75	171750
9	29.56	19.08	28.5	20	98.18	1.82	189807
10	31.37	17.2	29	20	98.06	1.94	202879
11	28	20.28	28.3	21	98.12	1.88	191354
12	28.73	21.21	27.8	20.9	98.25	1.75	183456
13	30.05	20.61	28	20	97.94	2.06	205510
14	29.68	21.18	28.5	20.9	98.11	1.89	187259
15	30.68	20.19	29.2	21	97.91	2.09	203110
16	30.49	19.95	29	21	98.33	1.67	172870
17	30.73	17.95	29	21	97.93	2.07	200386
18	32.2	16.34	29	20.9	97.7	2.3	202723
19	32.35	20.85	29.8	21	98.01	1.99	200907
20	30.39	25.3	29	20.9	97.98	2.02	200559

ANEXO G

Base de Datos de Planta 2 Experimento 3.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Malo	Total de Pixeles
1	27.58	17.64	29.51	21	98	2	200306
2	27.24	17.66	29	21	98.51	1.49	173265
3	34.13	17.34	30	21	97.99	2.01	200485
4	34.06	17.16	29	21.1	98.07	1.93	187220
5	30.42	20.67	29.9	21	97.59	2.41	190467
6	32.71	18.7	28.67	21	98.1	1.9	187784
7	32.39	18.66	29	21.1	98.02	1.98	189540
8	30.34	20.65	28	21	98.11	1.89	190551
9	29.56	19.08	21	20	98.37	1.63	185058
10	31.37	17.2	28.2	21.1	97.76	2.24	198104
11	28	20.28	28	21	98.35	1.65	184682
12	28.73	21.21	28.7	21	98.31	1.69	186518
13	30.05	20.61	28.1	21.1	98.46	1.54	179577
14	29.68	21.18	28	21	97.52	2.48	187457
15	30.68	20.19	28.4	21	98.06	1.94	195694
16	30.49	19.95	29.2	21.2	98.37	1.63	192732
17	30.73	17.95	31	21	98.33	1.67	194767
18	32.2	16.34	31	21	98.25	1.75	195746
19	32.35	20.85	29	21	98.25	1.75	189776
20	30.39	25.3	29.33	21	98.3	1.7	188931

ANEXOS

ANEXO H

Base de Datos de Planta 3 Experimento 3.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Malo	Total de Plántulas
1	27.58	17.64	29.6	21.3	98.28	1.72	188177
2	27.24	17.66	29.5	21	98.1	1.9	191712
3	34.13	17.34	30	21	98.4	1.6	194435
4	34.06	17.15	30	21	98.52	1.48	196229
5	30.42	20.67	30	21	98.54	1.46	192757
6	32.71	18.7	31.82	21.2	98.36	1.64	191767
7	32.39	18.66	31	21	98.45	1.55	181364
8	30.34	20.65	31.2	21.1	98.45	1.55	183727
9	29.56	19.06	31	21.3	98.34	1.66	189515
10	31.37	17.2	30.5	21.2	98.1	1.9	193881
11	28	20.28	30.5	21.28	98.12	1.88	191997
12	28.73	21.21	30	21.3	98.25	1.71	196887
13	30.05	20.61	30	21.2	98.04	1.96	198256
14	29.68	21.18	31	21.2	97.99	2.01	195235
15	30.68	20.19	31	21	98.28	1.72	191122
16	30.49	19.95	30	21.2	98.25	1.75	186630
17	30.73	17.95	30	21.1	98.32	1.68	187347
18	32.2	16.34	30	21	98.4	1.6	189608
19	32.35	20.85	30.5	21	97.67	2.33	188026
20	30.39	25.3	29	21	98.09	1.91	193255

ANEXOS

ANEXO I

Base de Datos de Planta 4 Experimento 3.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Malo	Total de Pivales
1	27.58	17.64	29.5	21.2	97.6	2.4	193334
2	27.24	17.66	29	21	97.78	2.22	195325
3	34.13	17.34	29.8	21.2	97.87	2.13	197843
4	34.06	17.16	30	21.3	98.04	1.96	198970
5	30.42	20.67	30	21	97.72	2.28	203401
6	32.71	18.7	30.9	21	97.5	2.5	199220
7	32.39	18.66	32.4	21.3	97.92	2.08	198216
8	30.34	20.65	31.6	21.3	97.95	2.05	190440
9	29.56	19.08	31.9	21.3	97.79	2.21	192992
10	31.37	17.2	31.1	21.2	97.84	2.16	189621
11	28	20.28	31.2	21	97.83	2.17	191554
12	28.73	21.21	30	21.1	97.86	2.14	190238
13	30.05	20.61	30	21	97.82	2.18	196267
14	29.69	21.18	31	21	98.01	1.99	200638
15	30.68	20.19	31	21.3	97.89	2.11	203576
16	30.49	19.95	32.6	21.3	97.29	2.71	194661
17	30.73	17.95	32.3	21.4	97.41	2.59	195109
18	32.2	16.34	32.8	21	98.02	1.98	196181
19	32.35	20.85	32.9	21.4	97.54	2.46	192359
20	30.39	25.3	31.4	21	97.76	2.24	197239

ANEXOS

ANEXO J

Base de Datos de Planta 5 Experimento 3.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en Suelo	% Bueno	% Malo	Total de Pixeles
1	27.58	17.64	29	20.7	97.87	2.13	197887
2	27.24	17.66	30	20.7	97.77	2.23	199002
3	34.13	17.34	30	20.74	97.77	2.23	198312
4	34.06	17.16	31	20.9	97.81	2.19	202662
5	30.42	20.67	31.1	20	97.91	2.09	198553
6	32.71	18.7	32	20.8	97.84	2.16	196560
7	32.39	18.66	30	20.7	97.64	2.36	192349
8	30.34	20.65	30	20.7	97.9	2.1	194093
9	29.56	19.08	29	20	97.87	2.13	195391
10	31.37	17.2	30	20.7	97.92	2.08	195819
11	28	20.28	30.77	18.5	97.85	2.15	198471
12	28.73	21.21	31	20	98.11	1.89	201799
13	30.05	20.61	31	20.7	98.07	1.93	203408
14	29.68	21.18	31.7	20	98.13	1.87	200405
15	30.68	20.19	31	20	98.08	1.92	199674
16	30.49	19.95	30.7	20.8	98.1	1.9	195617
17	30.73	17.95	30.33	20	97.9	2.1	197844
18	32.2	16.34	29.6	20.7	97.8	2.2	196853
19	32.35	20.85	30.3	20.8	97.95	2.05	202100
20	30.39	25.3	30	20	98.05	1.95	204773

ANEXOS

ANEXO K

Base de Datos de Planta 6 Experimento 3.

Día	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en suelo	% Bujando	% Majo	Total de Fijales
1	27.58	17.64	30	21.5	98.1	1.9	218457
2	27.24	17.66	30	21.5	98.27	1.73	197772
3	34.13	17.34	30.56	21	97.91	2.09	219477
4	34.06	17.16	30	21.6	98.4	1.6	191274
5	30.42	20.67	29	21	98.1	1.9	198563
6	32.71	18.7	30	21	98.34	1.66	195247
7	32.39	18.66	29.9	21	98.29	1.71	200737
8	30.34	20.65	30	21.5	98.43	1.57	197022
9	29.56	19.08	30	21	97.86	2.14	222479
10	31.37	17.2	30.5	21.4	98.23	1.77	202288
11	28	20.28	29.5	21.4	98.2	1.8	202898
12	28.73	21.21	29	21	98.16	1.84	202655
13	30.05	20.61	28	21.5	98.18	1.82	201433
14	29.68	21.18	29	21	97.84	2.16	217722
15	30.68	20.19	29.3	21	98.37	1.63	201659
16	30.49	19.95	30	21	98.34	1.66	202901
17	30.73	17.95	30	21.5	98.29	1.71	198857
18	32.2	16.34	30	21.5	98.03	1.97	201516
19	32.35	20.85	29	21.4	98.16	1.84	202937
20	30.39	25.3	29	21	97.51	2.49	219716

