



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
**“Aplicación para Control vía Remota, Integración
de Sensores y Sistema de Riego a Invernadero
de Pruebas Automático para el Monitoreo
de Plantas ”**

POR
Ing. Jorge Iván Galicia Reyes

TESIS

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

DIRECTOR DE TESIS
M.C. Martín Vázquez Rueda

ISSN: 0188-9060



RIITEC: (10)-TMCIE-2015

Torreón, Coahuila. México
Septiembre 2015



"2015, Año del Generalísimo José María Morelos y Pavón"

Torreón, Coah., 08/Septiembre/2015
 Dependencia: DEPI/CPCIE
 Oficio: DEPI/CPCIE/165/2015
 Asunto: Autorización de impresión
 de tesis.

C. Jorge Iván Galicia Reyes
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA.
PRESENTE

Después de haber sometido a revisión su trabajo de tesis titulado:

**"Aplicación para control vía remota, integración de sensores y sistema de riego a
 invernadero de pruebas automático para el monitoreo de plantas."**

Habiendo cumplido con todas las indicaciones que el jurado revisor de tesis hizo, se le comunica que se le concede la autorización con número de registro **RJITEC: (10)-TMCIE-2015**, para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE
 EDUCACIÓN TECNOLÓGICA FUENTE DE INNOVACION

DR. JOSÉ LUIS MEZA MEDINA
 Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación
 del Instituto Tecnológico de la Laguna



SECRETARÍA DE
 EDUCACIÓN PÚBLICA
 INSTITUTO TECNOLÓGICO
 de la Laguna
 División de Estudios de Posgrado
 e Investigación

JLM
 J. L. MEZA MEDINA



Bvta. Revolución y Cda. Cuauhtémoc S/N Col. Centro C.P. 27000
 Torreón, Coah. Tel: 705 1313, e-mail: jmaster@italaguna.edu.mx
www.italaguna.edu.mx



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA LAGUNA

DR. JOSE LUIS MEZA MEDINA
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:

"Aplicación para control vía remota, integración de sensores y sistema de riego a invernadero de pruebas automático para el monitoreo de plantas."

Desarrollado por el **C. Jorge Iván Galicia Reyes**, con número de control **M1313074** 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 G. Vázquez Rueda
Asesor/Director de Tesis

M.C. Sergio F. Salas Huerta
Coesesor de Tesis

Dr. Francisco Flores García
Comité Tutorial

Dr. Juan Sifuentes Mijares
Comité Tutorial

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a mi madre Silvia Reyes Herrera y a mi padre Rafael Galicia Aguilar por apoyarme en cada una de mis decisiones personales y profesionales, brindándome incondicionalmente su amor, protección, aliento, paciencia y compañía en todo momento.

A mi hermano Edgar por ser el ejemplo que siempre ha sido para mí y que siempre seguiré. Agradezco sus consejos y ayudas que sirvieron como aporte para el desarrollo de este trabajo.

A monita por acompañarme, apoyarme, quererme y preocuparse por mí en todo momento a lo largo de esta experiencia.

Agradezco al M.C. Martín Vázquez Rueda por brindarme la oportunidad de trabajar a su lado, por su guía, consejos, paciencia y enseñanzas brindadas.

A mis compañeros y profesores de posgrado, que me brindaron su apoyo para desarrollar y culminar el proyecto de tesis.

Al Instituto Tecnológico de la Laguna por ser el lugar en donde me forme como profesional.

Finalmente a CONACYT por el apoyo económico brindado y otorgarme la posibilidad de ser una persona mejor preparada.

RESUMEN

Se desarrolló una aplicación Android que permite controlar a un invernadero de pruebas de forma inalámbrica. Haciendo uso de un dispositivo Android, la aplicación permite analizar las plantas, desplegar reportes de datos obtenidos del análisis por planta, observar la condición de las plantas en imágenes, controlar el encendido y apagado de la ventilación e iluminación, establecer condiciones de riego para las plantas y toma de lecturas de sensores.

La aplicación LabVIEW se encarga de controlar al invernadero de forma local, la cual también permite la comunicación vía remota, conectándose a una base de datos y un servicio web que es consumido por la aplicación Android.

El sistema proporciona el estado sano y dañado del follaje superior de la planta en porcentajes, además del tamaño expresado en píxeles. El invernadero cuenta con un sistema de sensores, obteniendo lecturas de temperatura ambiental, temperatura de la planta, humedad relativa y humedad en suelo, además de un sistema de riego que suministra cantidades de agua con un error del 5.43% por cada 100 mililitros.

Se concluye en base al experimento realizado con duración de 44 días para el análisis de plantas de albahaca (*Ocimum Basilicum*) que el invernadero es una buena herramienta de análisis para la planta en cuestión, funcionando de forma automática con condiciones establecidas desde la aplicación Android y la aplicación LabVIEW. Se determinó el tiempo aproximado de vida de la planta, el cual es de 16 días sin suministro de agua y se encontró que hay una relación positiva en el desarrollo de la planta si la cantidad de agua y frecuencia de riego aumentan. Las plantas crecieron en promedio 24% con un suministro de 30 ml y un 99% con 60 ml.

Palabras clave: Invernadero, Android, servicio web, base de datos, LabVIEW, automática, riego, *ocimum basilicum*.

ABSTRACT

An Android application that lets you control a greenhouse wirelessly was developed. Using an Android device, the application allows to analyze the plants, deploy data reports obtained from the analysis per plant, observe the condition of the plants in images, on-off control of ventilation and lighting, set conditions for irrigation plants and taking sensor readings.

The LabVIEW application is responsible for controlling the greenhouse locally, which also enables communication remotely by connecting to a database and a web service that is consumed by the Android application.

The system provides healthy and damaged percentages of the upper foliage of the plant and the size in pixels. The greenhouse has a sensor system, obtaining readings of ambient temperature, ground temperature, relative humidity and soil moisture, also has an irrigation system that supplies water quantities with an error of 5.43% per 100 milliliters.

Based on the experiment lasting 44 days for the analysis of basil plants (*Ocimum basilicum*), it was concluded that the greenhouse is a good tool of analysis for the plant in question, operating automatically with conditions from the Android application and the LabVIEW application. The approximate lifetime of the plant was determined, which is 16 days without water supply and found that there is a positive relationship in the development of the plant if the amount of water and frequency of watering increase. The plants grew on average 24% with 30 ml and 99% with 60 ml.

Keywords: Greenhouse, Android, web services, database, LabVIEW, automatic irrigation, *Ocimum basilicum*.

ÍNDICE GENERAL

Índice general	i
Índice de figuras.....	v
Índice de tablas.....	viii
Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Descripción del proyecto.....	8
1.2 Objetivos.....	10
1.2.1 Objetivo General	10
1.2.2 Objetivos Específicos	10
1.3 Antecedentes del proyecto.....	11
1.4 Estructura de la tesis	12
Capítulo 2: Invernadero de pruebas	13
2.1 Sistema base	14
2.1.1 Estructura del posicionador mecánico	14
2.1.2 Motores a pasos y su sistema de transmisión de movimiento	14
2.1.3 Cámara web LifeCam HD-6000	15
2.1.4 Iluminación y ventilación	16
2.1.5 Sensor de humedad relativa HIH-4030.....	16
2.2 Sistema de riego.....	17
2.2.1 Ductos y conexiones	18
2.2.2 Charola para el sistema de riego.....	19
2.2.3 Electroválvula 2P025-08	20
2.2.4 Bomba sumergible DC30A-1230.....	22
2.2.5 Módulo de relevadores para Arduino HI -54S.....	23
2.2.6 Tarjeta PCB para control manual del sistema de riego	24
2.2.7 Medición del gasto	29
2.3 Sistema de sensores.....	33
2.3.1 Sensor de temperatura infrarrojo MLX90614.....	34
2.3.2 Sensor de humedad en suelo YL-69	35
2.3.3 Método gravimétrico para caracterización del sensor YL-69	36

2.3.4 Distribución de los sensores	39
2.3.5 Tarjeta PCB para control manual del sistema de sensores.....	41
Capítulo 3.- Comunicación vía remota	44
3.1 Bluetooth y Wi-fi	45
3.2 Factores a tomar en cuenta en la comunicación vía remota del invernadero.....	46
3.3 Comunicación entre aplicación Android, Servidor y Arduino.....	47
Capítulo 4.- Base de datos	50
4.1 Sistema gestor de bases de datos.....	51
4.1.1 Modelo relacional.....	51
4.1.2 Terminología relacional	51
4.1.3 Registros de una tabla.....	52
4.2 MySQL	53
4.2.1 Características de MySQL.....	54
4.3 MySQL Workbench.....	54
4.3.1 Instalación y configuración	55
4.3.2 Entorno de trabajo de MySQL Workbench 6.1 CE	56
4.4 Conexión a servidor MySQL.....	57
4.5 Base de datos "invernadero" mediante el modelo EER.....	58
4.5.1 Tablas de la base de datos Invernadero	59
4.5.2 Tabla Estación	60
4.5.3 Tablas para almacén de reportes	61
4.5.4 Tabla fecha y hora	62
4.5.5 Tabla riego	63
4.6 Consultas a la base de datos.....	63
4.6.1 Consulta <i>insert</i>	64
4.6.2 Consulta <i>select</i>	64
4.6.3 Consulta <i>update</i>	65
4.6.4 Consulta <i>delete</i>	66
4.6.5 <i>Script</i> para cargar un archivo Excel a una tabla	66
Capítulo 5.- Servicio web.....	67
5.1 Tecnología web service	68
5.1.1 Protocolo estándar SOAP y WSDL	68

5.1.2 Función del servicio web en el proyecto	70
5.1.3 Plataforma Visual Studio .NET para el servicio web	71
5.1.4 Publicación del servicio Web en IIS	75
Capítulo 6.- Aplicación android	78
6.1 Android	78
6.1.1 Arquitectura de Android	79
6.1.2 Versiones de Android	80
6.2 Eclipse	81
6.3 Android development tools	82
6.4 Creación de un proyecto Android	82
6.5 Estructura del proyecto Android	83
6.5.1 Actividades de la aplicación Android	84
6.5.2 Relación entre archivos Java y XML	86
6.6 Aplicación Android invernadero	87
6.6.1 Pantalla de Inicio	88
6.6.2 Pantalla menú principal.	89
6.6.3 Pantalla control de estación.....	92
6.6.4 Pantalla Planta: Análisis y Reporte	94
6.6.5 Pantalla reporte del historial de análisis.....	96
6.6.6 Pantalla de riego.....	99
6.6.7 Pantalla galería de imágenes	101
Capítulo 7.- Aplicación labview	104
7.1 Plataforma LabVIEW	104
7.1.1 Funcionamiento de la plataforma LabVIEW	105
7.1.2 Complementos para LabVIEW	107
7.1.3 Módulo LabVIEW MathScript RT	107
7.1.4 LabVIEW Database Connectivity Toolkit	108
7.2 Aplicación LabVIEW	111
7.2.1 Pestaña de control	112
7.2.2 Pestaña de riego	115
7.2.3 Pestañas de monitoreo	117
7.2.4 Pestaña de lecturas de estación	120

Capítulo 8.- EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS	121
8.1 Planta experimental: Albahaca, Ocimum Basilicum.....	121
8.1.1 Descripción botánica y cultivo	121
8.1.2 Aspectos médicos.....	122
8.2 Metodología y consideraciones previas del experimento.....	122
8.2.1 Sensores usados en el experimento	124
8.2.2 Procesamiento de imagen	124
8.2.3 Ciclos de muestreo	125
8.2.4 Encendido de iluminación y ventilación	126
8.3 Datos recopilados y observaciones.....	127
8.4 Interpretación de datos obtenidos y resultados del experimento	139
8.4.1 Planta 1	139
8.4.2 Planta 2	143
8.4.3 Planta 3	148
8.4.4 Planta 4	152
8.4.5 Planta 5	156
8.4.6 Planta 6	160
8.4.7 Grupo 1	164
8.4.8 Grupo 2	164
8.4.9 Grupo 3	165
8.4.10 Temperaturas.....	166
8.4.11 Humedad en suelo.....	168
8.5 Desempeño de la Aplicación Android y procesos del invernadero.....	168
Capítulo 9.- Conclusiones y trabajos a futuro	173
9.1 Conclusiones	173
9.1.1 Aplicación Android	173
9.1.2 Aplicación LabVIEW	175
9.1.3 Tiempos de respuesta.....	175
9.1.4 Sistema de riego.....	176
9.1.5 Sistema de sensores.....	176
9.1.6 Control manual del sistema de sensores y sistema de riego	176
9.1.7 Experimento con plantas de albahaca.....	177

9.2 Trabajos a futuro.....	179
ANEXO A.....	180
ANEXO B.....	183
ANEXO C.....	186
ANEXO D.....	188
ANEXO E.....	190
ANEXO F.....	194
ANEXO G.....	195
Referencias.....	202

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Porcentajes de Agricultura protegida en México, SAGARFA 2015 [3].....	2
Figura 1.2 Invernaderos [2].	3
Figura 1.3 Macrotúnel para producción de tomate y pimiento [?].	3
Figura 1.4 Casa sombra [7].	4
Figura 1.4 Microtúnel para producción de plántulas de hortalizas en Ahuacatlán, Nayarit [4].....	4
Figura 2.1 Vista frontal del invernadero de pruebas.	13
Figura 2.2 Posicionador mecánico [4].	14
Figura 2.3 Cámara web LifeCam HD-6000.	15
Figura 2.4 Iluminación y ventilación.	16
Figura 2.5 sensor HIH-4030.	16
Figura 2.6 Grupos de riego.	17
Figura 2.7 Electroválvulas de los grupos del sistema de riego.	17
Figura 2.8 Bomba sumergible.	18
Figura 2.9 Charola del sistema de riego.	19
Figura 2.10 Distribución de mangueras sobre la charola.....	19
Figura 2.11 Tapas de charola. a) No pintadas, b) Pintadas.	20
Figura 2.12 Electroválvula 2P025-08.....	20
Figura 2.13 Dimensiones electroválvula 2P025-08 [5].	21
Figura 2.14 Bomba sumergible DC30A-1230.	22
Figura 2.15 Dimensiones de bomba sumergible DC30A-1230 [11].	22
Figura 2.16 Módulo de cuatro relevadores para Arduino HL-545.	23
Figura 2.17 Conexión del módulo con Arduino, válvulas y bomba.....	24
Figura 2.18 Tarjeta PCB para control manual del sistema de riego.....	25
Figura 2.19 Pantalla LCD. a) Al introducir tiempo de regado, b) tiempo establecido.....	26
Figura 2.20 Circuito de la tarjeta para el control manual del sistema de riego.	27
Figura 2.21 Sensor de temperatura MXL90614. a) Aspecto, b) configuración de terminales.	34
Figura 2.22 Conexión SMBus para el sensor MXL90614 [11, p.33].	35

Figura 2.23 Sensor YL-39 y módulo YL-38.	36
Figura 2.24 Configuración de terminales del módulo YL-38.	36
Figura 2.25 Curva característica del sensor de humedad en tierra YL-38.....	39
Figura 2.26 Posición del sensor FC-28 en la maceta de la planta.....	40
Figura 2.27 Posición del sensor MXL90514.aa	40
Figura 2.28 Tarjeta PCB para el sistema de sensores.....	41
Figura 2.29 Botones para solicitud de lecturas de sensores.	42
Figura 2.30 Conexión Arduino y sensores.	42
Figura 2.32 Despliegue de lecturas a través de la pantalla LCD.	43
Figura 3.1 Estructura de la comunicación inalámbrica entre elementos del proyecto.....	48
Figura 3.2 Tecnologías de comunicación entre los bloques y sus elementos.....	49
Figura 4.1 Tipos de configuraciones de MySQL.....	55
Figura 4.2 Permisos de cuentas en MySQL.....	56
Figura 4.3 Interfaz de MySQL Workbench 6.1 CE.....	56
Figura 4.4 Parámetros de la conexión Tecnológico de la Laguna.....	57
Figura 4.5 Permiso para conexión al servidor.....	58
Figura 4.6 Diseño de la base de datos a través de un diagrama EER.....	58
Figura 4.7 Tablas de la base de datos invernadero.....	59
Figura 4.8 Tablas de la base de datos invernadero en el modelo EER.....	59
Figura 4.9 Tabla estación.....	60
Figura 4.10 Tabla planta 1.....	61
Figura 4.11 Tabla fecha y hora.....	62
Figura 4.12 Tabla para cantidades de agua.....	63
Figura 4.13 Tabla estación.....	64
Figura 4.14 Resultado de ejecutar la consulta select.....	65
Figura 4.15 Valor actualizado de la tabla estación.....	65
Figura 5.1 Estructura SOAP.....	69
Figura 5.2 Esquema del funcionamiento del servicio web.....	70
Figura 5.3 Creación del servicio web en visual studio.....	72
Figura 5.4 ADO.Net driver for MySQL.....	72
Figura 5.5 Método para actualizar el campo de una tabla de la base de datos.....	73
Figura 5.6 Tabla estación.....	74
Figura 5.7 Método para cargar los registros del reporte de la planta 1.....	74
Figura 5.8 Servicio web publicado en el IIS del servidor.....	75
Figura 5.9 Método del servicio web desde el navegador del servidor.....	76
Figura 5.10 Métodos del servicio web desde el navegador de un dispositivo externo.....	77
Figura 6.1 Capas de la arquitectura Android.....	79
Figura 6.2 Creación de proyecto Android.....	83
Figura 6.3 Explorador del proyecto de la aplicación.....	84
Figura 6.4 Librería ksoap2.jar.....	84
Figura 6.5 Archivo JAVA y XML de las actividades del proyecto maestriaV2.....	86
Figura 6.6 Código XML de un botón (visual).....	87

Figura 6.7 Pantalla de inicio de la aplicación.....	88
Figura 6.8 Pantalla menú principal.....	90
Figura 6.9 Barra superior de las pantallas.....	91
Figura 6.10 Descripción de opciones.....	92
Figura 6.11 Pantalla control estación, encendido y apagado de iluminación y ventilación.....	93
Figura 6.12 Toma de lectura de temperatura y humedad relativa.....	93
Figura 6.13 Pantalla “Planta 1: Análisis y Reporte”.....	94
Figura 6.14 Pantalla para acciones por planta.....	95
Figura 6.15 Pantalla reporte al cargar los datos.....	96
Figura 6.16 Pantallas de los reportes de las plantas.....	98
Figura 6.17 Pantalla para el regado de plantas.....	99
Figura 6.18 Dialogo estableciendo datos de regado.....	100
Figura 6.19 Dialogo al no haber conexión con el servidor.....	101
Figura 6.20 Pantalla galería de imágenes (planta 1 y planta 2).....	102
Figura 6.21 Pantalla galería de imágenes (planta 3 y planta 4).....	102
Figura 6.22 Pantalla galería de imágenes (planta 5 y planta 6).....	103
Figura 7.1 Instrumento virtual: panel frontal y diagrama de bloques.....	106
Figura 7.2 a) Paleta de controles, b) Paleta de funciones.....	106
Figura 7.3 Paleta de herramientas.....	107
Figura 7.4 MATLAB script node.....	108
Figura 7.5 Paleta Database.....	109
Figura 7.6 Paleta Advanced.....	109
Figura 7.7 Configuración de la conexión a MySQL y específicamente a la fuente de los datos.....	110
Figura 7.8 Configuración de la conexión a MySQL.....	110
Figura 7.9 Pestaña de control.....	113
Figura 7.10 Control de ciclo de análisis y control de ventilación e iluminación.....	113
Figura 7.11 a) Controles de análisis por planta, b) establecimiento de horas de análisis.....	114
Figura 7.12 SubVI de las seis plantas.....	114
Figura 7.13 SubVI de la planta 1.....	115
Figura 7.14 Pestaña para regado de plantas.....	116
Figura 7.15 Condiciones de riego desde aplicación LabVIEW.....	116
Figura 7.16 Condiciones de riego desde aplicación Android.....	117
Figura 7.17 Pestaña para monitorear la planta 1.....	118
Figura 7.18 Visor de imágenes y datos arrojados por el análisis de imagen.....	119
Figura 7.19 Indicadores de la pestaña planta.....	119
Figura 7.20 Pestaña lectura de estación.....	120
Figura 8.1 Grupos de riego para el experimento.....	122
Figura 8.2 Desarrollo de la planta 1 basándose en pixeles analizados.....	140
Figura 8.3 Porcentajes de la condición de la planta 1 y humedad relativa.....	141
Figura 8.4 Temperatura ambiente del invernadero y temperatura de la planta 1.....	142
Figura 8.5 Humedad en suelo de la planta 1.....	143
Figura 8.6 Desarrollo de la planta 2 basándose en pixeles analizados.....	145

Figura 8.7 Porcentajes de la condición de la planta 2 y humedad relativa.....	146
Figura 8.8 Temperatura ambiente del invernadero y temperatura de la planta 2.....	147
Figura 8.9 Humedad en suelo de la planta 2.....	148
Figura 8.10 Desarrollo de la planta 3 basándose en píxeles analizados.....	150
Figura 8.11 Porcentajes de la condición de la planta 3 y humedad relativa.....	151
Figura 8.12 Temperatura ambiente del invernadero y temperatura de la planta 3.....	151
Figura 8.13 Humedad en suelo de la planta 3.....	152
Figura 8.14 Desarrollo de la planta 4 basándose en píxeles analizados.....	154
Figura 8.15 Porcentajes de la condición de la planta 3 y humedad relativa.....	155
Figura 8.16 Temperatura ambiente del invernadero y temperatura de la planta 4.....	155
Figura 8.17 Humedad en suelo de la planta 4.....	156
Figura 8.18 Desarrollo de la planta 5 basándose en píxeles analizados.....	158
Figura 8.19 Temperatura ambiente del invernadero y temperatura de la planta 5.....	159
Figura 8.20 Temperatura ambiente del invernadero y temperatura de la planta 5.....	159
Figura 8.21 Humedad en suelo de la planta 5.....	160
Figura 8.22 Desarrollo de la planta 6 basándose en píxeles analizados.....	161
Figura 8.23 Temperatura ambiente del invernadero y temperatura de la planta 6.....	162
Figura 8.24 Temperatura ambiente del invernadero y temperatura de la planta 6.....	163
Figura 8.25 Humedad en suelo de la planta 6.....	163
Figura 8.26 Clase <code>System.nanoTime()</code> para medir tiempo transcurrido en Android.....	169
Figura 8.27 Tiempo transcurrido en un proceso en LabVIEW.....	170
Figura 8.28 Distancias entre plantas.....	171
Figura 8.29 Desplazamiento de un ciclo de muestreo.....	172

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características electroválvula 2P025 08.....	21
Tabla 2.2 Características bomba sumergible.....	22
Tabla 2.3 Regado manual con botones push.....	28
Tabla 2.4 Muestras de la cantidad de agua por planta en 30 segundos.....	29
Tabla 2.5 Muestras de la cantidad de agua por planta en 60 segundos.....	29
Tabla 2.6 Muestras de la cantidad de agua por sección en 30 segundos.....	30
Tabla 2.7 Muestras de la cantidad de agua por sección en 60 segundos.....	30
Tabla 2.8 Cantidad de agua para plantas en 30 segundos.....	31
Tabla 2.9 Cantidad de agua para plantas en 60 segundos.....	31
Tabla 2.10 Rangos de cantidades de agua por plantas.....	32
Tabla 2.11 Error al suministrar cantidades de agua por planta.....	32
Tabla 2.12 Porcentaje de crecimiento del error.....	33
Tabla 2.13 Descripción de terminales de sensor MLX90614.....	35
Tabla 2.14 Valores promedio obtenidos de las tres muestras.....	38
Tabla 3.1 Clasificación de bluetooth debido a su potencia de transmisión [14].....	45

Tabla 3.2 Familias de wi-fi.	45
Tabla 4.1 Representación de una tabla en el modelo relacional [23, p.12].	52
Tabla 4.2 La tabla invernadero.	52
Tabla 6.1 Uso de versiones Android según google play store [41].	81
Tabla 8.1 Clasificación científica de la albahaca.	121
Tabla 8.2 Orden de datos almacenados en los archivos Excel.	125
Tabla 8.3 Horas establecidas para el ciclo de muestreo.	125
Tabla 8.4 Promedio de datos obtenidos de análisis de la planta 1.	128
Tabla 8.5 Promedios de datos obtenidos de análisis de la planta 2.	130
Tabla 8.6 Promedios de datos obtenidos de análisis de la planta 3.	131
Tabla 8.7 Promedios de datos obtenidos de análisis de la planta 4.	134
Tabla 8.8 Promedios de datos obtenidos de análisis de la planta 5.	136
Tabla 8.9 Promedios de datos obtenidos de análisis de la planta 6.	138
Tabla 8.10 Imágenes recopiladas de la planta 1 durante el experimento.	139
Tabla 8.11 Desarrollo por periodos en porcentajes de la planta 1.	141
Tabla 8.12 Imágenes recopiladas de la planta 2 durante el experimento.	143
Tabla 8.13 Desarrollo por periodos en porcentajes de la planta 2.	146
Tabla 8.14 Imágenes recopiladas de la planta 3 durante el experimento.	148
Tabla 8.15 Desarrollo por periodos en porcentajes de la planta 3.	150
Tabla 8.16 Imágenes recopiladas de la planta 4 durante el experimento.	152
Tabla 8.17 Desarrollo por periodos en porcentajes de la planta 4.	154
Tabla 8.18 Imágenes recopiladas de la planta 5 durante el experimento.	156
Tabla 8.19 Desarrollo por periodos en porcentajes de la planta 5.	158
Tabla 8.20 Imágenes recopiladas de la planta 6 durante el experimento.	160
Tabla 8.21 Desarrollo por periodos en porcentajes de la planta 6.	162
Tabla 8.22 Desarrollo por periodos en porcentajes de grupo 1.	164
Tabla 8.23 Desarrollo por periodos en porcentajes del grupo 2.	165
Tabla 8.24 Desarrollo por periodos en porcentajes del grupo 3.	166
Tabla 8.25 Temperatura horas de día (iluminación encendida).	166
Tabla 8.26 Temperaturas horas de noche (iluminación apagada).	167
Tabla 8.27 Tiempo de respuesta de la aplicación Android en XperiaZ Ultra C6833 con el servidor. ...	169
Tabla 8.28 Tiempo de desplazamiento de la camara web entre prosiciones.	171

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El variante clima en una región y condiciones climatológicas no aptas para el desarrollo de ciertos cultivos ha ayudado a un creciente uso de alternativas de trato y producción agrícola. Durante las últimas décadas la agricultura ha experimentado una tendencia hacia la producción anticipada o fuera de estación, en condiciones diferentes a las tradicionales de donde un cultivo normalmente es producido a campo abierto [1]. Esta tendencia y necesidades han derivado al 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”[2].

En México, la agricultura protegida está en amplio crecimiento y desarrollo. En el año de 1980 se reportaron 300 hectáreas con este sistema de producción, y actualmente existen alrededor de 18,500 hectáreas, presentando un crecimiento de entre 20 y 25% anual. Según datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA), hay un total de 35926 instalaciones activas de agricultura protegida, tales como invernaderos, microtúneles, casa sombra, microtúneles, techo sombra y pabellón [3]. Los tipos de estructuras de agricultura protegida reparten su presencia a nivel nacional como se muestra en la figura 1.1.

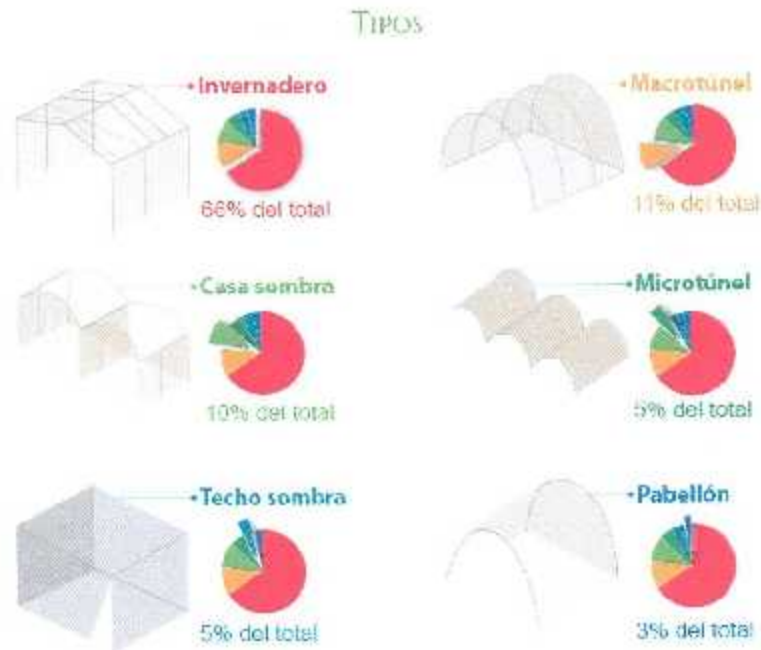


Figura 1.1 Porcentajes de Agricultura protegida en México, SAGARPA 2015 [3].

Los invernaderos, microtúneles y casa sombra son el tipo de instalaciones de agricultura protegida con más presencia en el país, los cuales se diferencian en su función, estructura y cosecha de cultivos.

Invernadero: es una construcción agrícola con una cubierta traslúcida que tiene por objetivo reproducir o simular condiciones climáticas adecuadas para el crecimiento y desarrollo de plantas de cultivo establecidas en su interior, con cierta independencia del medio exterior. 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 [4, p.22]. Los principales cultivos en invernaderos son el tomate, pepino, pimientos, berenjenas, melón, chiles, lechuga, flores y follajes. El invernadero es el elemento cualitativamente más importante del sistema de producción en agricultura protegida, debido a que de él depende en gran medida la capacidad productiva [5]. En la figura 1.2 se muestra un invernadero de tecnología media-alta.



Figura 1.2 Invernaderos [2].

Macrotúnel: 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 [4, p.24]. Los principales cultivos en macrotúneles son las Fresas, zarzamoras, frambuesas, arándanos, flores y nopales. En la figura 1.3 se muestra la estructura típica del macrotúnel.

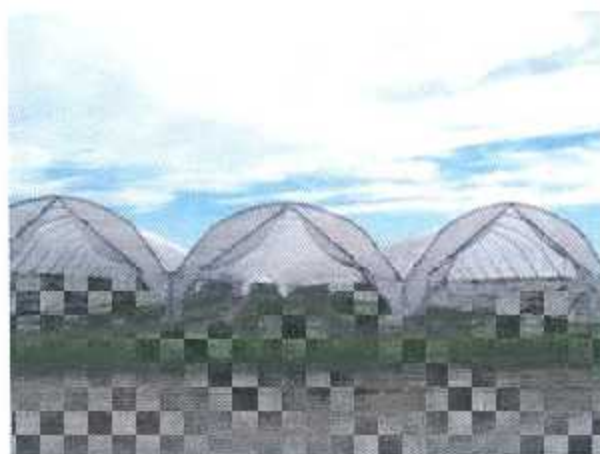


Figura 1.3 Macrotúnel para producción de tomate y pimiento [2].

Casa sombra: es una protección para mejorar las condiciones climáticas de un área de cultivo en donde el elemento fundamental son las mallas que se utilizan como cubierta y puede variar la densidad de sombra, e inclusive se pueden utilizar mallas anti insectos. Se puede utilizar este tipo de estructura en lugares donde el daño causado por viento es muy importante, reduce la

evapotranspiración y evita el ingreso de gran cantidad de insectos [6, p.14]. Los principales cultivos en casas sombra son tomates, pepinos, pimientos, berenjenas, melones, chiles, lechugas, flores y follajes. En la figura 1.4 se muestra la estructura denominada casa sombra.



Figura 1.4 Casa sombra [7].

Microtúnel: son pequeñas estructuras, sencillas, de fácil instalación y económicamente accesibles, que soportan la malla o pantalla que provee protección temporal al cultivo. 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. En general son utilizados para proteger los cultivos en sus primeras etapas, contra los agentes climáticos, plagas y enfermedades [5, p.2]. En la figura 1.5 se muestra la estructura microtúnel.



Figura 1.4 Microtúnel para producción de plántulas de hortalizas en Ahuacatlán, Nayarit [4].

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 [8, p.27]. 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 en la laguna, Coahuila y en la república mexicana.

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% [2].

Para la producción en invernaderos, la tecnología, investigaciones y formas de investigar han sufrido cambios en el mundo. Por lo que hay una gran necesidad de investigación local con relación a cultivos bajo condiciones de invernaderos, especialmente en países como México, donde este tipo de tecnología de producción es relativamente nueva para los agricultores.

En relación al nivel de tecnificación de invernaderos en México, la mayoría de éstos se consideran de baja y media tecnología, en función de lo siguiente [4, p.22]:

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 semi-climatizadas, 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, 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.

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. Con esto se ha logrado aumentar los rendimientos agrícolas a niveles superiores a los alcanzados en campo abierto mediante cualquiera de los sistemas de producción tradicional de la agricultura mecanizada.

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 [6, p.7]. El desarrollo de tecnologías aplicadas a invernaderos fomenta el aumento de calidad y conocimiento respecto a los cultivos. El poder monitorear y analizar la condición de los cultivos en un invernadero puede resultar de gran utilidad, especialmente para establecer controles de calidad y estandarización para el cuidado de un determinado cultivo. Si el monitoreo y análisis se realizan de forma amigable y automática crea una herramienta importante a incluir a las características de un invernadero de alta tecnología, que permitirá no solo 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 herramientas tecnológicas aplicadas a invernaderos para el análisis de cultivos que permitan la obtención de conocimiento. Desarrollando una estación de trabajo automática y sistemas computacionales que permitan la administración remota y local de un invernadero de pruebas, el cual permita el análisis de plantas, determinando la condición en la que se encuentran y visualizando los resultados a través

de dispositivos comunes tales como celulares, tabletas y computadoras, todo esto en condiciones de laboratorio.

Como lo es en un invernadero comercial de alta tecnología, dentro de la estación desarrollada es de vital importancia monitorear la mayoría de las variables que afectan el desarrollo de una planta, al realizar esto se podrá ejecutar una acción si los datos arrojados por el monitoreo no son los deseados, aumentando la autonomía de la estación al ejecutar diferentes procesos. La temperatura dentro del ambiente de trabajo de la estación, la humedad de la planta y la humedad relativa son variables indispensables a medir y de las cuales es importante mantener monitorizadas, al igual que el suministro de agua mediante riego.

El instrumentar y automatizar un sistema, en este caso un invernadero de pruebas, siempre es importante debido a los beneficios que esto engloba, pero al igual, una parte vital es la forma de representar los datos medidos y resultados obtenidos de los análisis de las plantas y en general el control que se tiene de la estación de trabajo desarrollada, haciendo uso de tecnologías que se adecuen a los tiempos actuales. Una comunicación vía remota con dispositivos portátiles como celulares y tabletas son aspectos que se ven todos los días en la actualidad, debido a su creciente uso, en donde aplicaciones se encuentran constantemente en comunicación con servicios y otros dispositivos. Poder controlar y monitorear la estación desarrollada o un invernadero de alta tecnología haciendo uso de un dispositivo móvil resulta en una herramienta útil y principalmente beneficiosa al realizar pruebas y estar al tanto de procesos realizados por el invernadero. La incorporación de esta característica genera una estructura aún más robusta para el análisis de plantas dentro de un invernadero.

1.1 Descripción del proyecto

Se cuenta con una estructura la cual emula a un invernadero, desarrollada para analizar y determinar el estado de las plantas dentro de ella, el invernadero cuenta con diversos sistemas estructurales, electrónicos y computacionales para su funcionamiento, los cuales permiten el control del invernadero y visualización de datos arrojados por los análisis y lecturas de sensores. El invernadero está diseñado para analizar hasta un total de seis plantas en sus respectivas macetas. Se tienen tres sistemas implementados en el invernadero, los cuales son los siguientes:

- Sistema base.
- Sistema de riego.
- Sistema de sensores.

El primer sistema engloba al posicionador mecánico, el cual es el encargado de posicionar una cámara web sobre una determinada planta que se encuentre en el invernadero, permitiendo el análisis de las plantas. El módulo además permite el encendido y apagado de la ventilación e iluminación del invernadero. El sistema se controla a través del servidor o de forma remota con la aplicación Android.

El sistema de riego se encarga de suministrar una determinada cantidad de agua a las plantas, las cantidades de agua pueden variar y ser establecidas desde el servidor o la aplicación Android. El módulo cuenta con tres válvulas solenoides 2/2, conexiones rápidas, ductos, bomba, y contenedor de agua. El sistema se controla de forma manual a través de una tarjeta PCB, de forma presencial con el servidor y remotamente con la aplicación Android.

El sistema de sensores engloba a los seis sensores de humedad enterrados en las seis diferentes plantas, además del sensor de temperatura infrarrojo que proporciona la temperatura ambiente y temperatura objeto. El módulo puede ser controlado mediante la interacción manual a través de una tarjeta PCB, de forma presencial con el servidor y de forma remota con la aplicación Android.

Todos los sistemas se encuentran dentro de una estructura de madera, sellado por hule nylon transparente como paredes, conformando así la estación de trabajo o invernadero de prueba.

El invernadero de prueba se monitorea y controla mediante una aplicación para dispositivos Android. La aplicación se comunica con una base de datos desarrollada en MySQL mediante un servicio Web desarrollado en Visual C#, estos alojados en una PC que tiene la función de servidor. Dentro del servidor además se encuentra la aplicación LabVIEW la cual es una interfaz gráfica que permite el control y monitoreo del invernadero de pruebas desde la PC; la aplicación LabVIEW está en permanente comunicación con la base de datos, permitiendo la comunicación con la aplicación Android. La aplicación LabVIEW es la encargada de comunicarse con las tarjetas controladoras, las cuales son tres Arduinos Mega. La primera se encarga de controlar el sistema base, la segunda controla el sistema de riego y la tercera controla el sistema de sensores.

Se realizaron pruebas con plantas pequeñas de albahaca durante 44 días, con el fin de poner a prueba las capacidades del invernadero de pruebas, los sistemas implementados y la comunicación vía remota.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Controlar el invernadero de pruebas y monitorear el estado de las plantas y variables de forma remota mediante el uso de una aplicación.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar una aplicación para celulares inteligentes y tabletas Android para el control del invernadero y monitoreo inalámbrico de la condición de las plantas, temperatura y humedad en el invernadero.
- Desarrollar una interfaz gráfica en LabVIEW para el control local del invernadero y monitoreo de la condición de la planta, temperatura y humedad en el invernadero.
- Comunicar la aplicación Android con la aplicación LabVIEW.
- Ampliar la instrumentación del invernadero creando un sistema de sensores, incorporando toma de lecturas de temperatura ambiental, temperatura directa de la planta y humedad de agua en tierra.
- Adecuar la estructura del invernadero, para la inclusión de un sistema de riego el cual permita el suministro de agua a las plantas en diferentes cantidades.
- Incorporar controles manuales para los sistemas incorporados.
- Realizar análisis de plantas, toma de lectura de sensores y riegos de forma automática.

1.3 Antecedentes del proyecto

Para la realización de este trabajo se dio continuidad a la implementación de una versión previa del invernadero de pruebas. De la versión previa se retomó la estructura ortoédrica de 120 cm de largo, 90 cm de alto y 80 cm de ancho, construida de madera y cubierta con plástico nylon transparente, dando forma al cuerpo principal del invernadero. La estructura contaba con un sistema de iluminación con dos focos ahorradores de luz blanca de 23 W, cuatro ventiladores de 12V, un sensor de humedad relativa HHH-4030 [9, pp.7-10], y una cámara web LifeCam HD-6000 de Microsoft [9, pp.51-52].

Dentro de la estructura de madera se encuentra un posicionador mecánico de tres ejes construido principalmente de aluminio, sobre la cual se encuentran tres motores a pasos (uno para cada eje) con sus respectivos sistemas de transmisión mecánicos. El posicionador cuenta con tres interruptores (uno para cada eje) para determinar el inicio de carrera de los ejes [9, pp.17-19]. La activación de los tres interruptores determina la posición home y establece una condición de inicio, permitiendo posteriormente que la parte móvil del posicionador mecánico alcanzar una determinada posición, siendo un sistema es de lazo abierto.

Una placa Arduino Mega 2560 permite el control del posicionador mecánico, el encendido y apagado de la iluminación y ventilación, además de la toma de lectura de un sensor de humedad relativa.

La versión previa del invernadero se controlaba con una interfaz gráfica realizada en LabVIEW [9, p.120], que al ejecutarse permitía analizar cuatro plantas de forma secuencial hasta terminar. El análisis se centraba en el procesamiento de una captura fotográfica digital realizada a la parte superior del follaje de la planta, la fotografía se analizaba por un algoritmo de procesamiento de imagen RGB realizado en Matlab. El análisis arroja un porcentaje del estado sano y el estado dañado del follaje superior de la planta, además de la cantidad de píxeles analizados lo que permitía conocer las variaciones en el aumento o disminución del follaje de la planta [9, p. 115].

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 [9].

1.4 Estructura de la tesis

El capítulo 2 presenta lo referente al invernadero de pruebas también nombrada estación de trabajo, se expone su estructura y sistemas que lo conforman desde un punto de vista estructural y electrónico.

El capítulo 3 muestra una visión general de la comunicación vía remota, presentando la estructura de comunicación inalámbrica usada para el control del invernadero y monitoreo de las plantas.

El capítulo 4 trata sobre la base de datos alojada en el servidor, la cual sirve como intermediaria para la comunicación entre la aplicación Android y LabVIEW.

El capítulo 5 muestra el servicio web, el cual altera valores de la base de datos a través de sus métodos y consumo de estos a través de la aplicación Android.

En el capítulo 6 se muestra la aplicación Android desarrollada la cual controla y monitorca al invernadero de forma remota.

En el capítulo 7 se describe la aplicación LabVIEW desarrollada la cual controla y monitorea al invernadero de forma local desde el servidor.

El capítulo 8 describe el experimento realizado, el cual expone el funcionamiento de los sistemas del invernadero en conjunto.

En el capítulo 9 se presentan las conclusiones y se hace mención de posibles trabajos a futuro.

La sección de anexos contiene los códigos desarrollados para las placas Arduino Mega, base de datos, servicio web, aplicación Android, LabVIEW y muestras de los datos del experimento.

CAPÍTULO 2

INVERNADERO DE PRUEBAS

El invernadero de pruebas hace referencia a una estación de trabajo la cual permite el análisis de plantas bajo condiciones de laboratorio, con la ayuda de sistemas con determinadas funciones que conforman en un todo al invernadero.

El capítulo trata sobre los sistemas que conforman al invernadero desde un punto de vista estructural, electrónico y funcional. Tres sistemas conforman al invernadero los cuales son denominados sistema base, de riego y de sensores. El sistema base se retomó en su mayoría de un trabajo previo, mientras que los sistemas de riego y de sensores se incorporaron al entorno del invernadero de pruebas. En la figura 2.1 se muestra el invernadero desde una vista frontal.



Figura 2.1 Vista frontal del invernadero de pruebas.

Los sistemas son controlados por tarjetas Arduino Mega independientes. A continuación se describen los tres sistemas.

2.1 Sistema base

El sistema se conforma por el posicionador mecánico de tres ejes, la iluminación y ventilación del invernadero de pruebas, además se encarga de realizar la toma de lecturas de un sensor de humedad relativa. Se le denomina sistema base ya que estas características se retomaron, dando seguimiento a una primera versión del invernadero de pruebas y a su estructura. El sistema base hace uso de una tarjeta Arduino Mega 2560 la cual se comunica con la PC para su control.

2.1.1 Estructura del posicionador mecánico

Es un sistema mecánico de tres ejes (x, y, z) el cual tiene la función de trasladar una parte móvil a determinada posición en la cual se encuentra la planta a analizar. Es una estructura de metal, en su mayoría de aluminio, en la cual se encuentran montados tres motores a pasos y sus respectivos sistemas de transmisión. En la figura 2.2 se muestra la estructura del posicionador mecánico, especificando los ejes y motores.

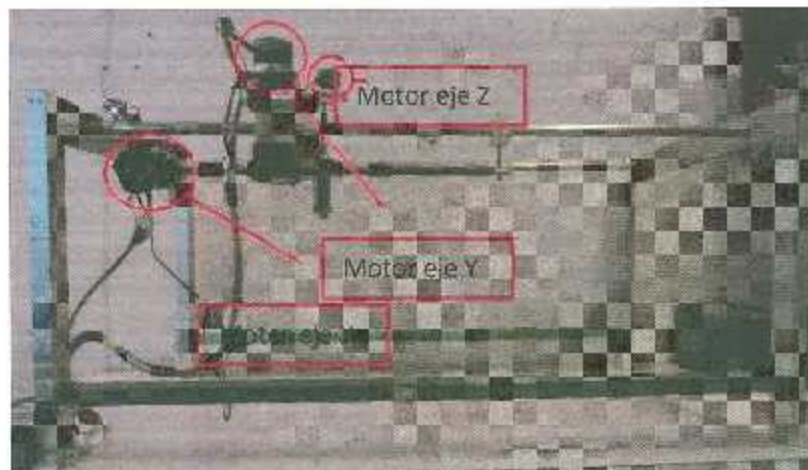


Figura 2.2 Posicionador mecánico [4].

2.1.2 Motores a pasos y su sistema de transmisión de movimiento

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 [9, p.16].

El motor del eje X se alimenta con 12V y trabaja a una frecuencia de 350Hz. Cuenta con un sistema de transmisión de movimiento basado en un tornillo sin fin a lo largo del eje [9, p.17].

El motor del eje Y se alimenta con 5V y trabaja a una frecuencia de 250Hz. Cuenta con un sistema de transmisión de movimiento por correa (banda dentada) con sus respectivos engranes como poleas [9, p.17].

El motor del eje Z se alimenta con 12V y trabaja a una frecuencia de 350Hz. Cuenta con un sistema de transmisión de movimiento basado en engranes y tornillo sin fin [9, p.18].

2.1.3 Cámara web LifeCam HD-6000

Si bien esta no se controla con la tarjeta Arduino Mega, su función y objetivo si está relacionada con el movimiento del posicionador mecánico. El posicionador mecánico es el encargado de trasladar la cámara web a determinada posición aérea, para que se realice la captura de imagen de la planta y posteriormente se analice. La cámara LifeCam HD-6000 se muestra en la figura 2.3.



Figura 2.3 Cámara web LifeCam HD-6000.

La cámara 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.

2.1.4 Iluminación y ventilación

Para iluminar el invernadero de pruebas se emplean seis focos de luz blanca de 23 W y cuatro ventiladores de 12V. En la figura 2.4 se muestra su distribución, marcados en recuadros rojos los focos y en círculos azules los ventiladores.

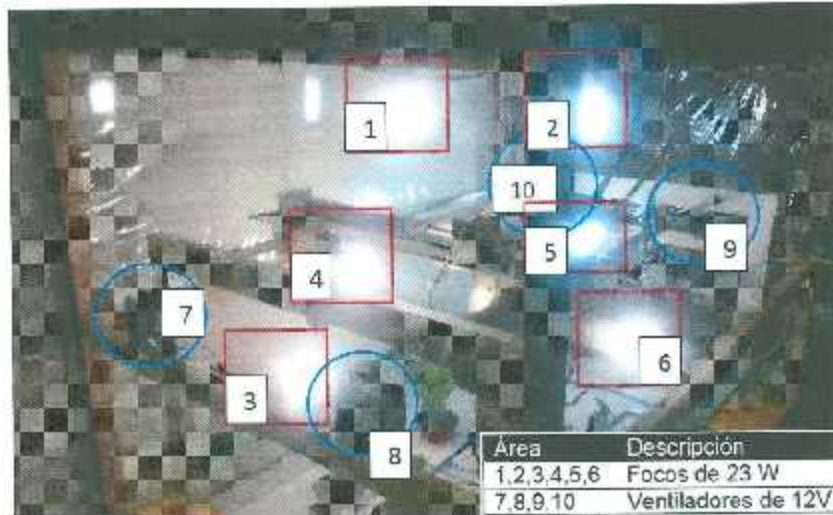


Figura 2.4 Iluminación y ventilación.

La iluminación al igual que la ventilación cuentan con un circuito ON-OFF para su control, el cual se basa en relevadores de 12V y su funcionamiento depende de las señales enviadas por la tarjeta Arduino Mega [9, p.8].

2.1.5 Sensor de humedad relativa HIH-4030

Es un sensor con salida analógica casi lineal con respecto a la variable física, su voltaje de alimentación es de 5V y el rango de medición de la variable de humedad relativa va de 0 a 100% [9, p.9]. En la figura 2.5 se muestra el sensor.



Figura 2.5 sensor HIH-4030.

2.2 Sistema de riego

El sistema suministra una determinada cantidad de agua a las plantas, establecida desde la aplicación LabVIEW, aplicación Android o desde un control manual a través de una tarjeta de circuito impreso PCB encontrado afuera del invernadero por la parte frontal.

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. En la figura 2.6 se observa las tres secciones de riego y las plantas que las conforman.



Figura 2.6 Grupos de riego.

Para cada sección se utilizó una electroválvula 2/2 con solenoide simple, las cuales controlan en base a tiempo de encendido la cantidad de agua suministrada a cada grupo y por ende a cada planta. En la figura 2.7 se observan las electroválvulas del sistema de riego.

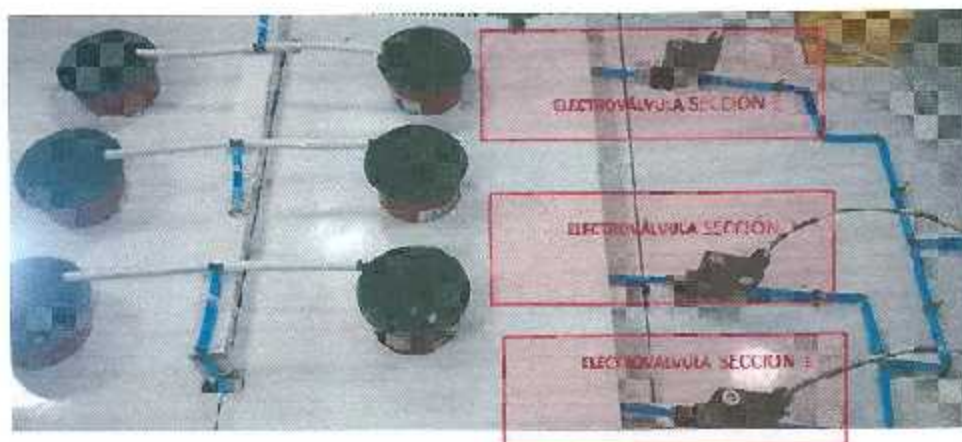


Figura 2.7 Electroválvulas de los grupos del sistema de riego.

Las electroválvulas controlan el paso del agua propiciada por una bomba sumergible que suministra agua a todo el sistema de riego. En la figura 2.8 se muestra la bomba sumergible.



Figura 2.8 Bomba sumergible.

2.2.1 Ductos y conexiones

Se utilizan ductos y conexiones para realizar las vías que suministran agua a las tres secciones, dando forma y distribución al sistema de riego. Para todo el sistema se utilizaron aproximadamente 5.5 metros de manguera neumática de 8 mm, FESTO PUN -8 X 1.25.

Se utilizaron conectores económicos en forma de codos y en 'T' especiales para sistemas de riego pequeños, de la marca Orbit Dripmaster. Estos conectores de 1/4" (6mm), entran a presión en la manguera neumática. En total se utilizaron 5 conectores del tipo T y 20 del tipo codo.

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.

2.2.2 Charola para el sistema de riego

La charola permite colocar las plantas en su respectivo lugar de análisis y retiene el agua excedente del regado de las plantas, teniendo en cuenta que el invernadero se encuentra en un espacio cerrado. En la figura 2.9 se muestra la charola para las plantas.



Figura 2.9 Charola del sistema de riego.

Sobre la charola se colocaron las vías que dirige el agua a las plantas, como se puede observar en la figura 2.10.

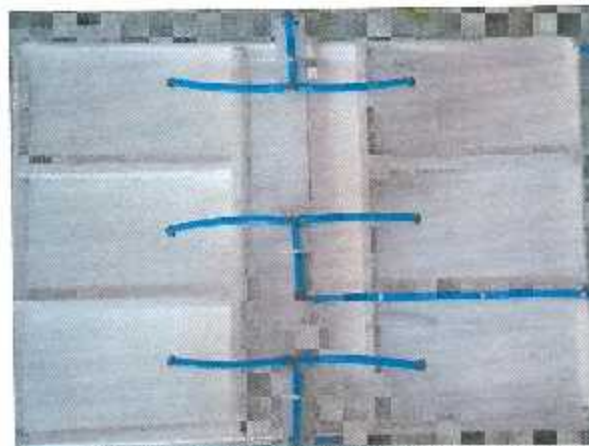


Figura 2.10 Distribución de mangueras sobre la charola.

Inicialmente la charola se diseñó con divisiones para cada planta como se puede observar en las figura 2.9 y la figura 2.10, realizando pruebas con el algoritmo de procesamiento de imagen se observó que las sombras de la charola generaban interferencia en el análisis de imagen, obteniendo errores en los resultados arrojados. Se optó por agregar cuatro focos más de 23 W de luz blanca al invernadero e iluminar de diferentes ángulos el área de análisis con el fin de eliminar las sombras. Una vez agregados estos focos se volvió a realizar pruebas obteniendo

resultados mejores pero no aceptables. Para solucionar el problema se crearon dos tapas que cubren en su totalidad a la charola, esta se muestra en la figura 2.11. Cada tapa cuenta con orificios con un diámetro tal en el cual solo se acoplen las macetas con la planta a analizar.



Figura 2.11 Tapas de charola. a) No pintadas, b) Pintadas.

Las tapas se pintaron de blanco ya que el algoritmo de procesamiento de imagen discrimina fácilmente el color blanco [9, p.79]. Las tapas son removibles al igual que casi todo el sistema de riego.

El algoritmo de procesamiento digital de imagen utilizado para el análisis de las plantas se puede encontrar ampliamente explicado en el capítulo 3 de la tesis llamada “Estación de Trabajo Automática para el Monitoreo de Plantas” [9, p.38].

2.2.3 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 voltios de corriente directa. En la figura 2.12 se muestra la electroválvula 2P025-08.



Figura 2.12 Electroválvula 2P025-08.

La electroválvula soporta fluidos como aire, agua o aceite, por lo tanto no hubo problema para su uso. Cuenta con puertos NPT hembra de 1/4 de pulgada (rosca recta) para la entrada y salida de la válvula. En la tabla 2.1 se muestran las características de esta electroválvula [10].

Tabla 2.1 Características electroválvula 2P025-08.

Electroválvula 2P025-08	
Fluido:	Aire, Agua, Aceite, Gas
Puertos:	1/4" 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

Las dimensiones de las electroválvulas tipo 2P025-06 y 2P025-08 se muestran en la figura 2.13, la diferencia entre ambas es el diámetro de los puertos de entrada y salida de la válvula, siendo de 1/8 de pulgada los puertos de la electroválvula tipo 2P025-06 mientras que la de tipo 2P025-08 son de 1/4 de pulgada.

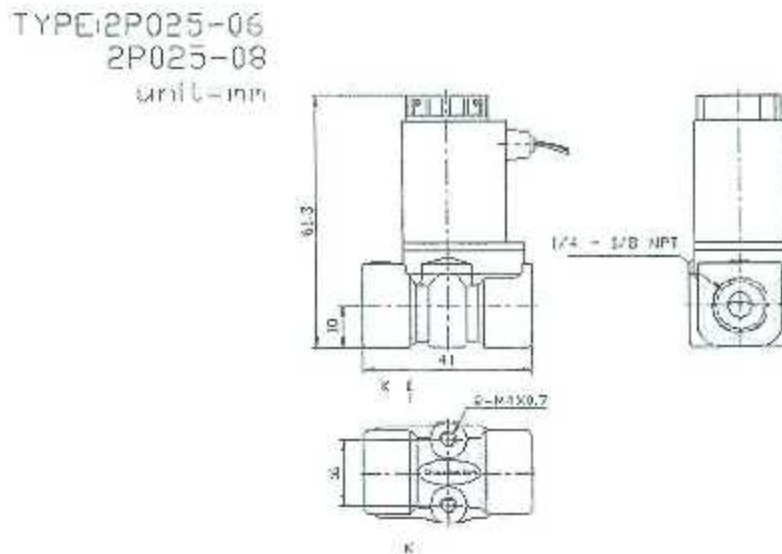


Figura 2.13 Dimensiones electroválvula 2P025-08 [5].

2.2.4 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 2.14 se muestra la bomba.



Figura 2.14 Bomba sumergible DC30A-1230.

En la tabla 2.2 se muestra sus características [11].

Tabla 2.2 Características bomba sumergible.

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

Las dimensiones de la bomba se muestran en la figura 2.15.

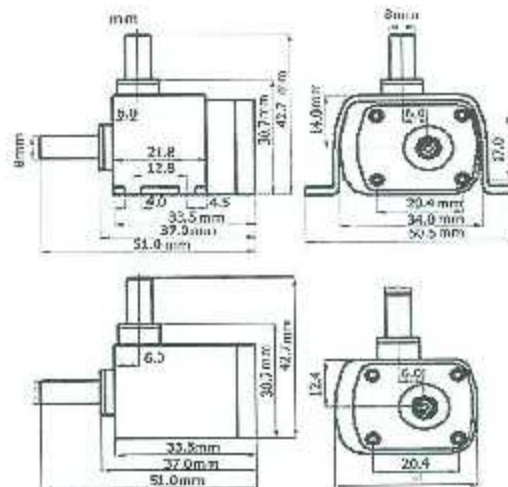


Figura 2.15 Dimensiones de bomba sumergible DC30A-1230 [11].

2.2.5 Módulo de relevadores para Arduino HL-54S

Se utilizó un módulo de cuatro relevadores para Arduino de bajo costo para el sistema de riego. 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 2.16 se muestra el módulo utilizado.

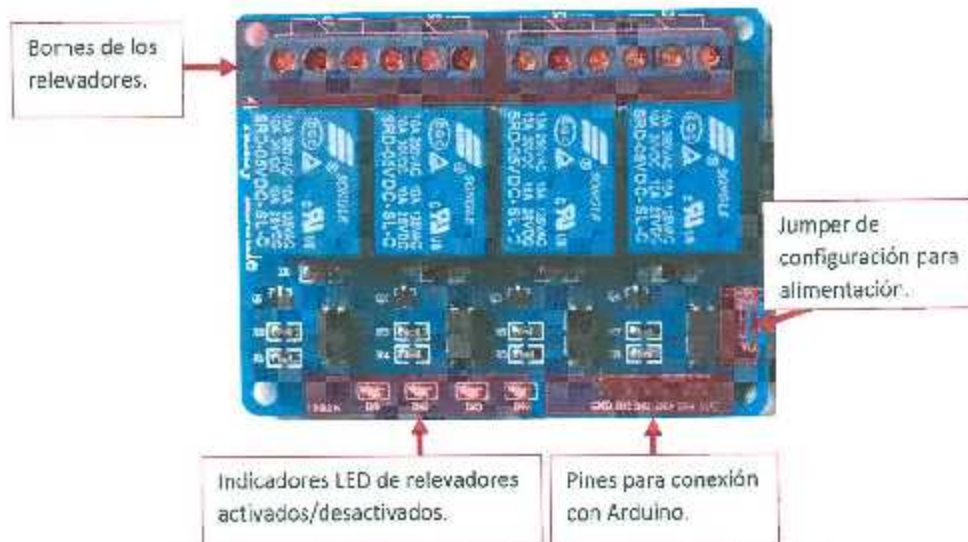


Figura 2.16 Módulo de cuatro relevadores para Arduino HL-54S.

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

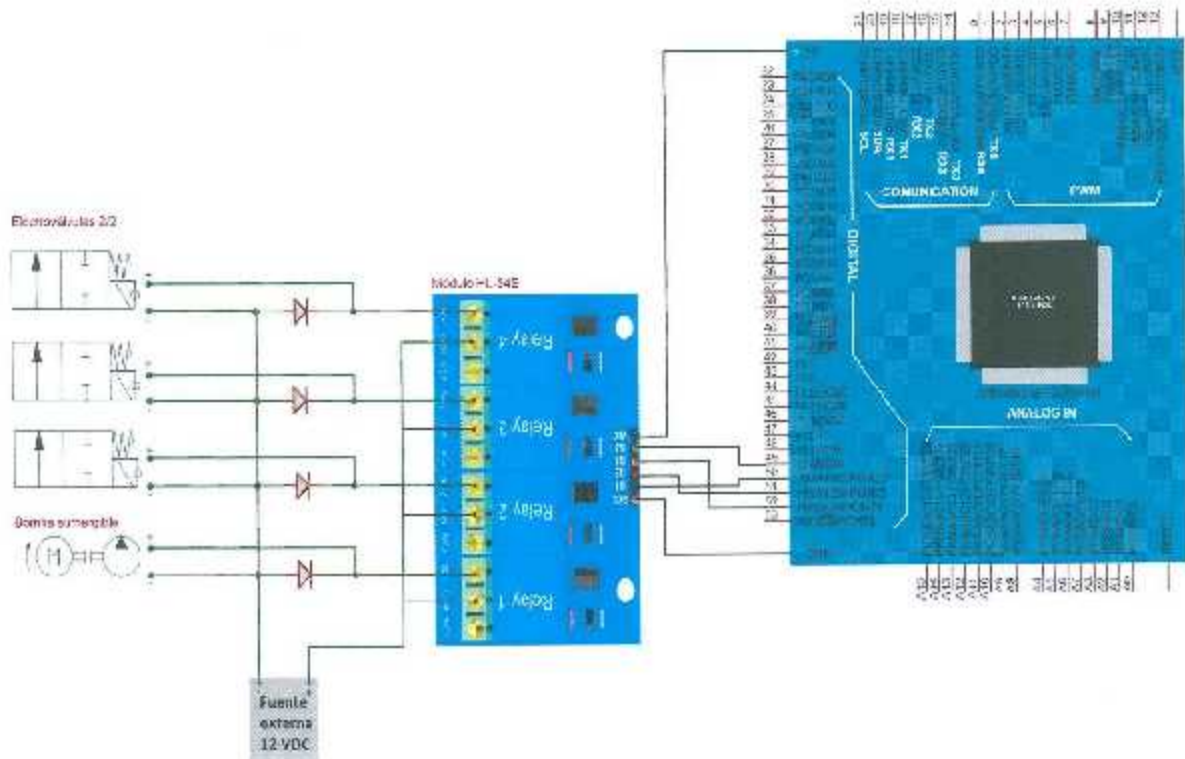


Figura 2.17 Conexión del módulo con Arduino, válvulas y bomba.

2.2.6 Tarjeta PCB para control manual del sistema de riego

La tarjeta PCB del sistema de riego permite el control manual de los actuadores, dando otra alternativa al control por medio de la PC. Se manipula el sistema de riego mediante la interacción con elementos electrónicos de entrada como lo son un teclado matricial y botones de presión, la información establecida por el teclado matricial se despliega en una pantalla LCD, que se encuentra también en esta tarjeta desarrollada. En la figura 2.18 se muestra la tarjeta y sus componentes.

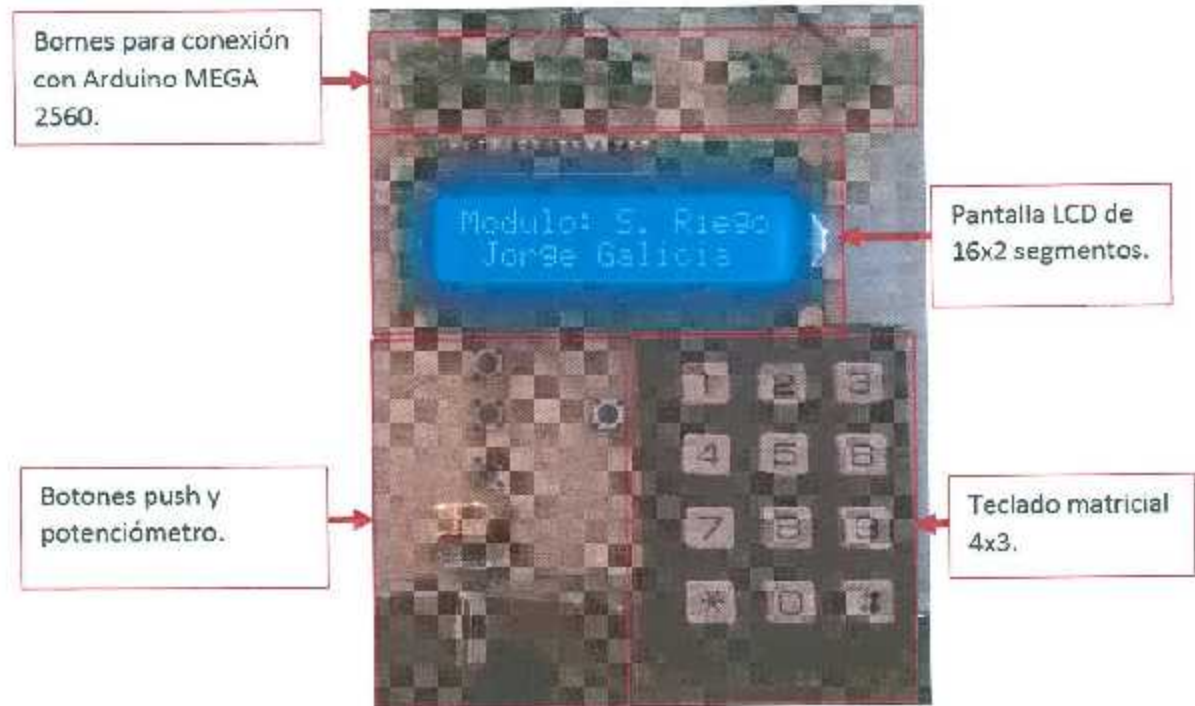


Figura 2.18 Tarjeta PCB para control manual del sistema de riego.

La tarjeta cuenta con una pantalla LCD retroiluminada 1602A (QC1602A V2.0) de 16x2 segmentos con LED azul, en la que se despliega información del tiempo en el cual las electroválvulas y la bomba sumergible estarán encendidas, el tiempo se introduce por medio del teclado matricial 4x3. Cierta tiempo corresponde a determinada cantidad de agua. Para variar el contraste de la pantalla LCD se utilizó un potenciómetro de 10 K Ohm.

El teclado matricial cuenta con teclas estilo teléfono, los cuales representan caracteres numéricos individuales del cero al nueve y dos caracteres signo, siendo estos últimos los caracteres asterisco (*) y numeral (#).

La tarjeta para el control manual permite regar las tres secciones con la misma cantidad de agua, proporcionando el tiempo de activación de las electroválvulas, en milisegundos. Cada sección de riego se activa secuencialmente, empezando por la sección uno y terminando por la sección tres.

El riego es individual por sección ya que la presión de agua en el sistema sería muy baja si se activan las tres electroválvulas al mismo tiempo. Los tiempos correspondientes a cierta cantidad de agua se obtuvieron con el encendido de la bomba y el encendido de una sola electroválvula. En la figura 2.19 inciso a) se muestra la pantalla LCD cuando se está tecleando la cantidad de tiempo de regado, mientras que en el inciso b) se observa la pantalla LCD una vez ya establecido.



Figura 2.19 Pantalla LCD. a) Al introducir tiempo de regado, b) tiempo establecido.

El tiempo de regado que se muestra en la figura 2.19 es de 10 segundos por sección por lo tanto todo el proceso de regado de las plantas durara un total de 30 segundos.

La tarjeta cuenta además con cuatro botones de presión, tres de ellos riegan una determinada sección, mientras el botón se encuentre presionado, el cuarto botón riega las tres secciones simultáneamente. El regado mediante los botones son opciones de regado en las cuales no interesa la cantidad de agua a suministrar a las plantas, además permiten saber si el sistema se encuentra trabajando de forma correcta.

En la figura 2.20 se muestra el circuito de la tarjeta para el control manual del sistema de riego.

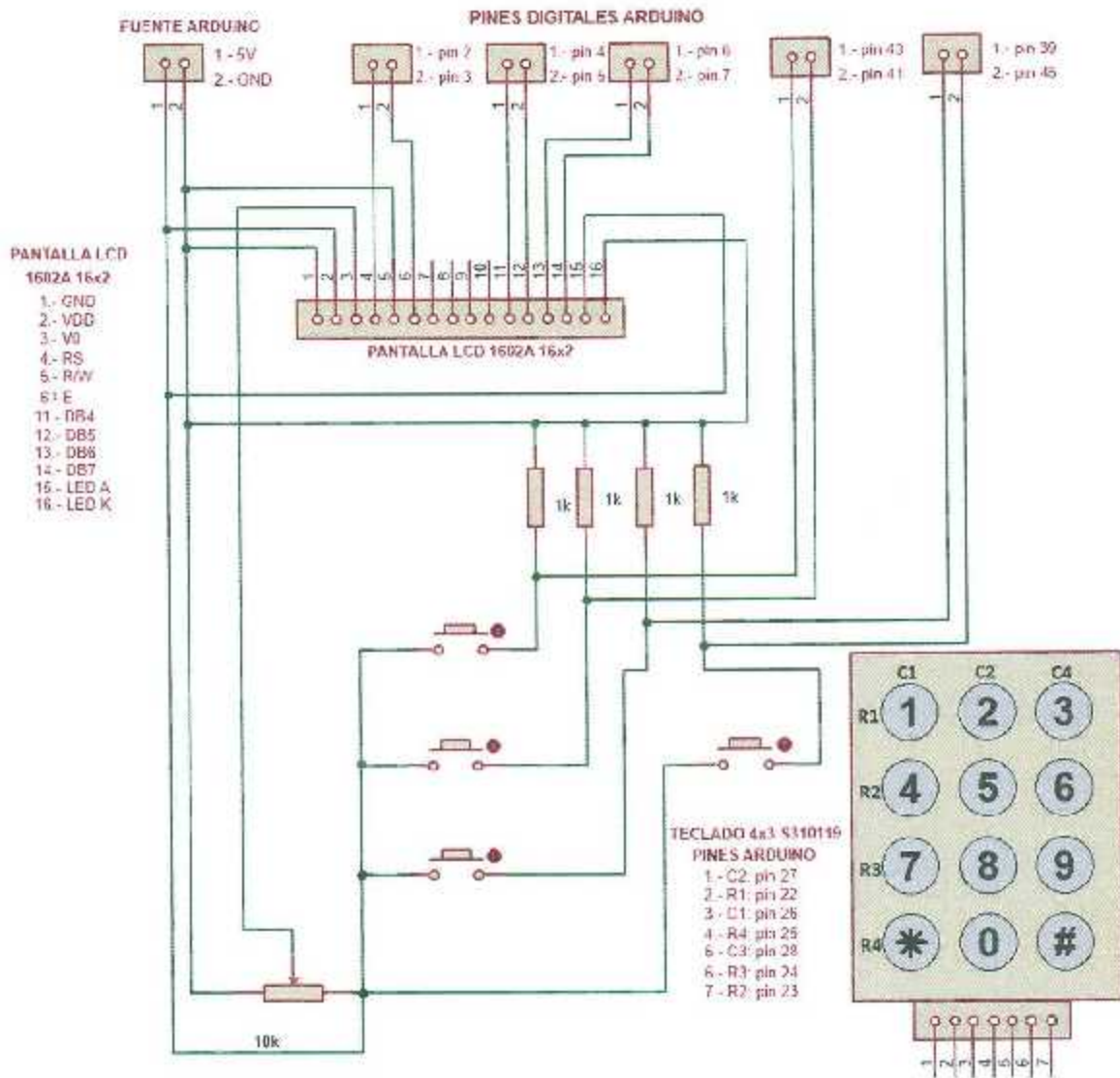



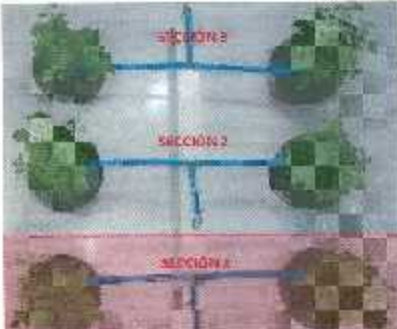

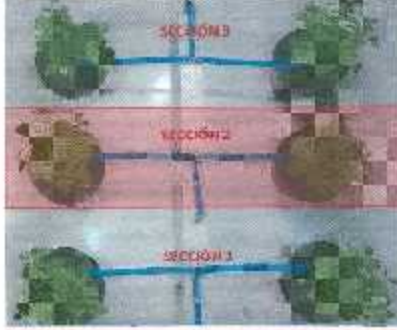




Figura 2.20 Circuito de la tarjeta para el control manual del sistema de riego.

El circuito anterior muestra las conexiones de la tarjeta PCB con la tarjeta Arduino Mega. La Arduino mega que se muestra en el circuito es la misma Arduino de la figura 2.17, correspondiente al sistema de riego.

El código del programa cargado a la tarjeta Arduino del sistema de riego con nombre "Sistema_de_riego.ino" se muestra en el Anexo A.

En la tabla 2.3 se especifica mediante imágenes el botón presionado y las secciones de riego activadas.

Tabla 2.3 Regado manual con botones push.

Botón presionado	Sección de riego.
	
	
	
	

2.2.7 Medición del 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 riego 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.

Para realizar las mediciones del gasto la activación de las electroválvulas se realizó por sección de forma secuencial. Si las tres secciones de riego se activan al mismo tiempo las mediciones que se muestran a continuación no serían las mismas.

Se tomaron cinco 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. Los datos de las cinco muestras medidas por planta se muestran en la tabla 2.4 y tabla 2.5, mientras que por sección se muestran en la tabla 2.6 y tabla 2.7.

Tabla 2.4 Muestras de la cantidad de agua por planta en 30 segundos.

Fecha y Hora	Tiempo (Seg)	SECCIÓN 1 (Cantidad)		SECCIÓN 2 (Cantidad)		SECCIÓN 3 (Cantidad)	
		Planta 1 (ml)	Planta 6 (ml)	Planta 2 (ml)	Planta 5 (ml)	Planta 3 (ml)	Planta 4 (ml)
02/12/2014 05:46 p.m.	30	51	44	50	50	52	49
02/12/2014 05:55 p.m.	30	50	48	50	50	51	49
05/03/2015 06:45 p.m.	30	47	48	48	50	50	48
05/03/2015 07:00 p.m.	30	52	50	55	50	55	48
05/03/2015 07:17 p.m.	30	50	50	50	55	57	47

Tabla 2.5 Muestras de la cantidad de agua por planta en 60 segundos.

Fecha y Hora	Tiempo (Seg)	SECCIÓN 1 (Cantidad)		SECCIÓN 2 (Cantidad)		SECCIÓN 3 (Cantidad)	
		Planta 1 (ml)	Planta 6 (ml)	Planta 2 (ml)	Planta 5 (ml)	Planta 3 (ml)	Planta 4 (ml)
02/12/2014 6:05 p.m.	60	100	97	100	100	107	97
05/03/2015 07:25 p.m.	60	96	107	99	108	108	94
05/03/2015 07:35 p.m.	60	97	109	98	107	111	91
05/03/2015 07:42 p.m.	60	99	105	99	105	107	95
05/03/2015 07:50 p.m.	60	99	105	102	104	105	98

Tabla 2.6 Muestras de la cantidad de agua por sección en 30 segundos.

Fecha y Hora	Tiempo (Seg)	SECCIÓN 1 (ml)	SECCIÓN 2 (ml)	SECCIÓN 3 (ml)
02/12/2014 05:46 p.m.	30	95	100	101
02/12/2014 05:55 p.m.	30	98	100	100
05/03/2015 06:45 p.m.	30	95	98	98
05/03/2015 07:00 p.m.	30	102	105	103
05/03/2015 07:17 p.m.	30	100	105	104

Tabla 2.7 Muestras de la cantidad de agua por sección en 60 segundos.

Fecha y Hora	Tiempo (Seg)	SECCIÓN 1 (ml)	SECCIÓN 2 (ml)	SECCIÓN 3 (ml)
02/12/2014 6:05 p.m.	60	197	200	204
05/03/2015 07:25 p.m.	60	203	207	202
05/03/2015 07:35 p.m.	60	206	205	203
05/03/2015 07:42 p.m.	60	205	204	202
05/03/2015 07:50 p.m.	60	204	206	203

Los conjuntos de datos obtenidos en las mediciones de cada planta y sección son datos no agrupados, siendo muestras menores a 20 y no estar clasificadas [12]. La desviación estándar para datos no agrupados se calcula a partir de la siguiente ecuación.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_N - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (2.1)$$

Donde X_N son las muestras o elementos medidos y \bar{X} es el promedio (media) de la suma de las muestras. La desviación estándar se obtiene a partir de la varianza, esta se calcula con la siguiente ecuación.

$$\sigma^2 = \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_N - \bar{X})^2}{N-1} \quad (2.2)$$

Donde la varianza es σ^2 .

La desviación estándar mide cuanto se separan los datos dentro de un conjunto. En otras palabras es una medida de dispersión, que nos indica cuánto pueden alejarse los valores respecto al promedio (media) o un determinado valor [12, p.59]. Con esto se busca saber que tanta cantidad de agua puede variar en determinado tiempo de regado. En las tablas 2.8 y 2.9 se muestran el conjunto de datos medidos, con su respectivo promedio, varianza y desviación

estándar. Además se muestra la varianza y desviación estándar respecto a un valor seleccionado como promedio en referencia también a cada conjunto de datos.

Tabla 2.8 Cantidad de agua para plantas en 30 segundos.

Fecha y Hora	Tiempo (Seg)	SECCIÓN 1 (Cantidad)		SECCIÓN 2 (Cantidad)		SECCIÓN 3 (Cantidad)	
		Planta 1 (ml)	Planta 6 (ml)	Planta 2 (ml)	Planta 5 (ml)	Planta 3 (ml)	Planta 4 (ml)
02/12/2014 05:46 p.m.	30	51	44	50	50	52	49
02/12/2014 05:55 p.m.	30	50	48	50	50	51	49
05/03/2015 06:45 p.m.	30	47	48	48	50	50	48
05/03/2015 07:00 p.m.	30	52	50	55	50	55	48
05/03/2015 07:17 p.m.	30	50	50	50	55	57	47
PROMEDIO:		50	48	50.6	51	53	48.2
VARIANZA:		3.5	6	6.8	5	8.5	0.7
DESVIACION ESTANDAR:		1.87082809	2.44948974	2.60768096	2.23606798	2.91547595	0.83666003
VALOR SELECCIONADO:		50	50	50	50	50	50
VARIANZA:		3.5	11	7.25	6.25	19.5	4.75
DESVIACION ESTANDAR:		1.87082869	3.31662479	2.6925824	2.5	4.410972	2.17944972

Tabla 2.9 Cantidad de agua para plantas en 60 segundos.

Fecha y Hora	Tiempo (Seg)	SECCIÓN 1 (Cantidad)		SECCIÓN 2 (Cantidad)		SECCIÓN 3 (Cantidad)	
		Planta 1 (ml)	Planta 6 (ml)	Planta 2 (ml)	Planta 5 (ml)	Planta 3 (ml)	Planta 4 (ml)
02/12/2014 6:05 p.m.	60	100	97	100	100	107	97
05/03/2015 07:25 p.m.	60	96	107	99	108	108	94
05/03/2015 07:35 p.m.	60	97	109	98	107	112	91
05/03/2015 07:42 p.m.	60	99	106	99	105	107	95
05/03/2015 07:50 p.m.	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
DESVIACION ESTANDAR:		1.64315767	4.60434577	1.51657509	3.1144823	2.58843582	2.73861279
VALOR SELECCIONADO:		100	100	100	100	100	100
VARIANZA:		6.75	50	2.5	38.5	82.75	36.75
DESVIACION ESTANDAR:		2.59807671	7.07106781	1.58113883	6.20485682	9.0967077	6.06217783

Las dos tablas anteriores muestran la desviación estándar respecto al promedio de cada conjunto de datos por planta y tiempo. Lo ideal es seleccionar el promedio de cantidad de agua por planta y en base a esto obtener la relación de tiempo con cantidad de agua, mientras que la desviación estándar mostraría la dispersión de estos datos respecto al promedio.

Para ejemplificar se tiene la planta 2 de la tabla 2.8, correspondiente a la cantidad de agua en 30 segundos. Los datos nos dicen que si la bomba y la electroválvula de la sección dos de riego se encuentran encendidas durante 30 segundos la planta 2 se regará aproximadamente 50.6 ml (promedio del conjunto de datos) con una desviación estándar de 2.607 ml, es decir la planta 2 se regaría entre un rango de 47.99 a 53.20 ml de agua en 30 segundos. El inconveniente

de esto es que el promedio del conjunto de datos de la planta 2 y la planta 5 correspondientes a la sección dos, son diferentes. La relación para el suministro de agua no puede obtenerse en base a una planta, ya que la cantidad de agua que se suministra no es en específico para una planta, sino que es para una sección de riego (dos plantas).

Observando los valores promedio de la cantidad de agua de las planta se tiene que cada 30 segundos de regado en una sección, aproximadamente se suministran 50 ml de agua a cada planta, esto aplica para las tres secciones de riego y por lo tanto a las seis plantas. Sabiendo esto se optó por elegir la siguiente relación:

$$30 \text{ seg} = 50 \text{ ml} \div 0.6 \text{ seg} = 1 \text{ ml}$$

En la tabla 2.10 se muestran los rangos de valores en mililitros establecidos por la desviación estándar por planta tomando como promedio 50 ml y 100 ml (para tiempos de 30 y 60 segundos respectivamente), los cuales se pueden observar también en la tabla 2.8 y 2.9.

Tabla 2.10 Rangos de cantidades de agua por plantas.

Tiempo	GRUPO 1		GRUPO 2		GRUPO 3	
	Planta 1	Planta 5	Planta 2	Planta 5	Planta 3	Planta 4
30 Seg	48.13 a 51.87 ml	46.68 a 53.37 ml	47.30 a 52.69 ml	47.5 a 52.5 ml	45.56 a 54.44 ml	47.82 a 52.18 ml
60 seg	97.40 a 102.60 ml	92.93 a 107.07 ml	98.42 a 101.58 ml	93.79 a 106.20 ml	90.91 a 109.09 ml	93.93 a 106.62 ml

En la tabla 2.11 se muestran los errores en mililitros y en porcentajes por planta de acuerdo a las mediciones realizadas.

Tabla 2.11 Error al suministrar cantidades de agua por planta.

Planta	Suministro de 50 ml		Suministro de 100 ml	
	Error en mililitros	Error en porcentaje	Error en mililitros	Error en porcentaje
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%

El promedio de error por cada 50 ml suministrado es del 5.66%, mientras que el error por cada 100 ml es en promedio de 5.435%.

En la tabla 2.12 se muestra el porcentaje de crecimiento del error que se tiene al suministrar de 50 ml a 100 ml.

Tabla 2.12 Porcentaje de crecimiento del error.

Planta	Porcentaje de crecimiento de error de 50 a 100 ml
1	38.87%
2	-41.28%
3	36.41%
4	317.39%
5	148.19%
6	113.20%

Por último, la bomba sumergible DC30A-1230 proporciona un gasto de 3.6 L/min, según el fabricante [11]. Realizando mediciones se obtuvo que la bomba sin conectar al sistema proporciona un gasto de 2 L/min. Observando las mediciones realizadas ya con el sistema de riego conectado a la bomba sumergible, por cada 60 segundos aproximadamente se suministra un total de 200 ml de agua a una sección de riego, equivalente a 0.2 L/min. En otras palabras la bomba suministra a una sección de riego el 10% de su capacidad de gasto.

2.3 Sistema de sensores

Se implementó con el fin de mantener el control y lecturas de los sensores de forma independiente del control de otro sistema del invernadero (sistema base y sistema de riego). El sistema se controla a través de la PC y manualmente a través de una tarjeta de circuito impreso PCB que se encuentra en el invernadero por la parte de afuera. El módulo controla y toma lecturas a un total de seis sensores de humedad en suelo y un sensor de temperatura infrarrojo que proporciona la temperatura ambiente del invernadero y la temperatura directa a un objeto, si es apuntado a cierta dirección.

2.3.1 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. Es un sensor de bajo costo y pequeñas dimensiones, con diseño y encapsulado tipo TO-39, dentro del cual se encuentra el chip *IR thermopile* MLX81101 que permite la conversión de energía térmica a energía eléctrica y el acondicionador de señal ASSP MLX90302 [13]. El sensor fue desarrollado y manufacturado por Melexis Microelectronic Integrated System. Se muestra el sensor MLX90614 en la figura 2.20.



Figura 2.21 Sensor de temperatura MXL90614. a) Aspecto, b) configuración de terminales.

Entre sus principales características se encuentran las siguientes:

- Calibrado de fábrica para rangos de -40 a 125 °C para temperaturas ambiente y -70 a 380 °C para temperaturas objeto.
- Precisión de ± 0.5 °C para temperaturas ambiente y objeto.
- El valor de la medida es el promedio de todo el campo de visión del sensor.
- Establecido de fábrica con protocolo de comunicación SMBus (con resolución de 0.02 °C) para las lecturas de la temperatura.
- Personalizable para lecturas a través de una salida PWM 10-bit.
- Disponible en versiones de 3V y 5V.
- Cuenta con un modo ahorrador para reducir el consumo de energía.

En la tabla 2.13 se muestra la descripción de terminales del sensor.

Tabla 2.13 Descripción de terminales de sensor MLX90614.

Nombre de la terminal	Función
SCL	Entrada de reloj serial para el protocolo de comunicación SMBus
SDA	Entrada o salida digital, para el protocolo SMBus configurado automáticamente como drenaje abierto NMOS.
VDD	Fuente Externa de voltaje
VSS	Tierra

En la figura 2.22 se muestra la configuración de conexión utilizada, la cual es la configuración típica de conexión del sensor MLX90614 utilizando el protocolo de comunicación SMBus.

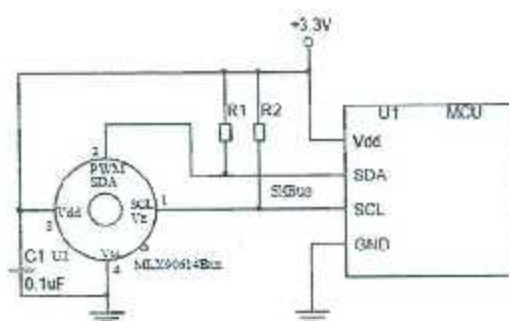


Figura 2.22 Conexión SMBus para el sensor MLX90614 [11, p.33].

La empresa Adafruit desarrolló una librería de Arduino para el sensor de temperatura MLX90614 en específico, el código de esta librería es abierto y se puede descargar desde la página de internet de Adafruit. La librería fue desarrollada por Limor Fried [14]. De la librería se usaron funciones para obtener la temperatura ambiente y objeto, las cuales se incluyen en el programa o *sketch* desarrollado en Arduino para el sistema de sensores.

2.3.2 Sensor de humedad en suelo YL-69

El sensor tiene la capacidad de medir la humedad que se encuentra en el suelo. Cuenta con dos terminales para pasar una corriente a través de la tierra, obteniendo una determinada resistencia que se traduce en el nivel de humedad. Si hay más agua en la tierra la conducción eléctrica a través de sus terminales es mayor y por lo tanto la resistencia es menor, si la tierra se encuentra seca la conducción eléctrica es baja y por lo tanto la resistencia es mayor. El sensor YL-69 cuenta con un módulo YL-38. El sensor y el módulo se pueden observar en la figura 2.23.

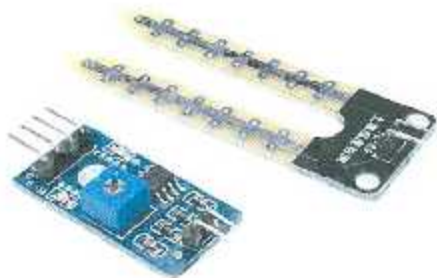


Figura 2.23 Sensor YL-39 y módulo YL-38.

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. El sensor no cuenta con una hoja de especificaciones en donde se muestre la ecuación característica y curva de comportamiento, por lo tanto se optó por hacer uso del método gravimétrico.



Figura 2.24 Configuración de terminales del módulo YL-38.

2.3.3 Método gravimétrico para caracterización del sensor YL-69

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. Lo anterior se expresa en la siguiente ecuación [15, p.59]:

$$w = \left(\frac{w_w}{w_s} \right) * 100 \quad (2.3)$$

Donde:

W = Contenido de humedad expresado en porciento.

Ww = Peso de agua, existente en la masa de suelo.

Ws = 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 [16].

El material utilizado para poder realizar el método gravimétrico fue un horno de laboratorio modelo 05015-54 de la marca Cole Parmer, báscula electrónica WH-B11 de 1g a 5000g, malla para cernir arena con abertura de 2mm, tres recipientes de plástico de 11g, jeringa de 5 ml, un multímetro digital modelo UT33A de la marca UNI-T, una Arduino Mega 2560, un sensor YL-69 con su módulo YL-38 y una computadora.

A continuación se describen el proceso para la caracterización del sensor YL-69 basado en el método gravimétrico [15, p.62].

1. La tierra es cernida con la malla de alambre con aberturas de 2mm, con el fin de homogenizar las partículas y librar 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 esta 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.

El procedimiento se realiza con las tres muestras de 250 gramos. Con los resultados de cada muestra se obtiene una tabla promedio. En la tabla 2.14 se muestra los valores promedio de las tres muestras.

Tabla 2.14 Valores promedio obtenidos de las tres muestras.

Índice	Volumen de Agua (ml)	Peso de la muestra seca	Peso total de la muestra	Peso del agua	Voltaje de salida del sensor	bits	W (%)
1	0	250	250.00	0.00	4.995	1023.00	0.00
2	5	250	255.00	5.00	4.989	1021.67	2.00
3	10	250	259.67	9.67	4.862	995.67	3.87
4	15	250	264.67	14.67	4.619	946.00	5.87
5	30	250	269.67	19.67	4.359	892.67	7.87
6	35	250	274.33	24.33	4.038	827.00	9.73
7	40	250	279.33	29.33	3.717	761.33	11.73
8	45	250	283.33	33.33	3.644	746.33	13.33
9	50	250	288.00	38.00	3.465	709.67	15.20
10	55	250	293.33	43.33	3.125	640.00	17.33
11	60	250	297.33	47.33	2.402	492.00	18.93
12	65	250	302.00	52.00	1.532	313.67	20.80
13	70	250	306.33	56.33	1.051	215.33	22.53
14	75	250	311.00	61.00	0.794	162.57	24.40
15	80	250	315.33	65.33	0.767	157.00	26.13
16	90	250	320.00	70.00	0.778	159.33	28.00
17	95	250	324.33	74.33	0.768	157.33	29.73
18	100	250	328.67	78.67	0.796	163.00	31.47

De la tabla anterior se puede observar que a partir de 25% de humedad en tierra (W), los valores a la salida del sensor y los registrados por la Arduino, varían ligeramente o ya no varían, por esta razón se considera que el sensor a llegado a su punto de saturación. En la figura 2.25 se muestra la respuesta de voltaje en el sensor contra el valor de humedad de tierra.

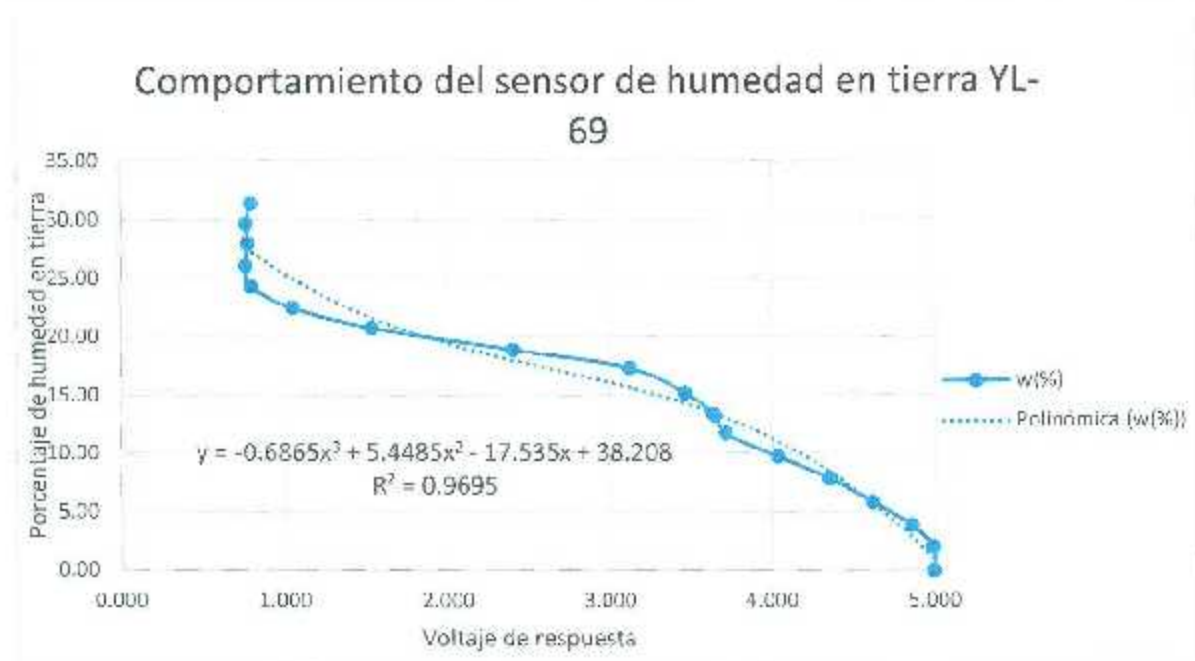


Figura 2.25 Curva característica del sensor de humedad en tierra YL-69.

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:

$$y = -0.6865x^3 + 5.4485x^2 - 17.535x + 38.208 \quad (2.4)$$

Donde

y = Porcentaje de humedad en tierra.

x = Voltaje de respuesta del sensor.

2.3.4 Distribución de los sensores

Los sensores están distribuidos en el invernadero, en total el sistema de sensores toma lecturas de siete sensores. Seis sensores son de humedad en suelo YL-69 y un sensor de temperatura infrarrojo MXL90614.

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, como se puede observar en la figura 2.26. Los electrodos de la sonda del sensor de humedad YL-69 se entierran por completo, para cubrir mayor área de tierra.



Figura 2.26 Posición del sensor FC-28 en la maceta de la planta.

La decisión de colocar los sensores de humedad en la posición mencionada, fue por el hecho de que estos quedaran 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.

El sensor de temperatura infrarrojo MXL90614 se colocó a la par de la cámara web, los cuales se encuentran en la parte móvil del posicionador mecánico, obteniendo que el sensor de temperatura se desplace a lo largo y ancho del área de análisis del invernadero de pruebas y por ende a la posición específica de cada planta al igual que la cámara web. El sensor se encuentra apuntando en dirección a las plantas y evitando el campo de visión de la cámara web, una vez que se encuentra en una posición específica se obtiene la lectura de temperatura directa a la que se encuentra la planta. La colocación del sensor de temperatura infrarrojo MXL90614 se observa en la figura 2.27. La lectura de temperatura ambiente se obtiene también del sensor MXL90614.



Figura 2.27 Posición del sensor MXL90614.aa

2.3.5 Tarjeta PCB para control manual del sistema de sensores

La tarjeta se desarrolló para que el sistema de sensores contara con un control manual además del control a través de la PC. La tarjeta permite obtener las lecturas provenientes de los sensores, solicitadas a través de botones y la información desplegada en una pantalla LCD. La tarjeta cuenta con un total de ocho botones de presión, los cuales solicitan ocho diferentes lecturas correspondientes a los seis valores de humedad en suelo de las seis plantas provenientes de los sensores YL-69 y la lectura de temperatura ambiente y objeto del sensor de temperatura infrarrojo MXL90614. La tarjeta cuenta con los bornes para la alimentación de los sensores, para las conexiones a las terminales de los sensores y para las conexiones hacia la tarjeta Arduino Mega, la cual es la encargada exclusivamente del control del sistema. En la figura 2.28 se muestra la distribución y componentes de la tarjeta PCB desarrollada.

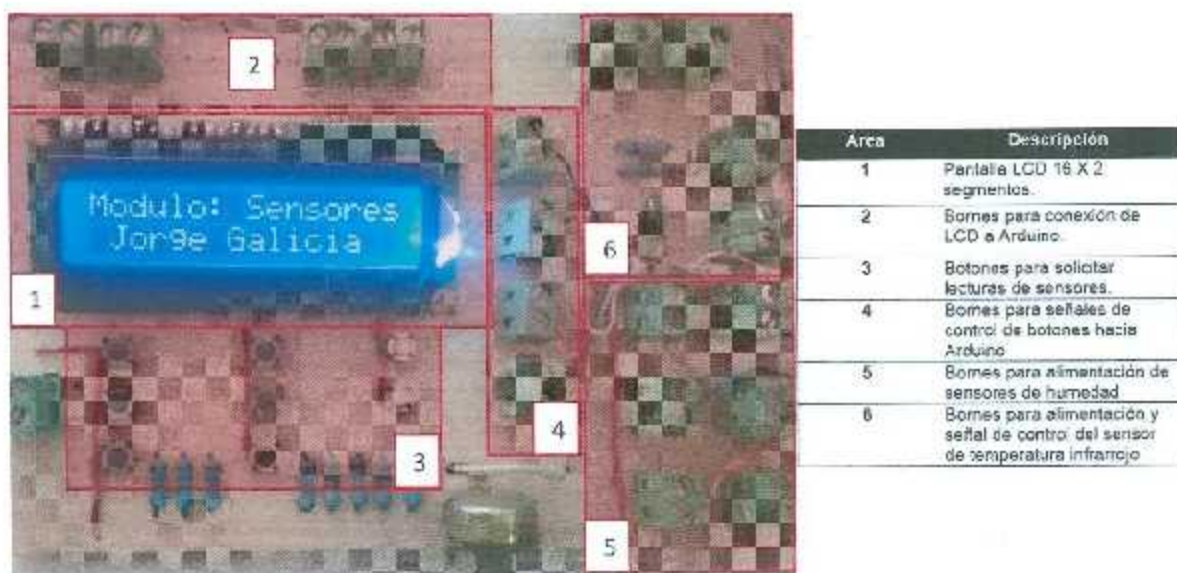


Figura 2.28 Tarjeta PCB para el sistema de sensores.

Los botones de presión están colocados de tal manera que se asemeja a la posición en la cual se encuentran las plantas dentro del invernadero, resultando más intuitivo. En la figura 2.29 se observan los botones para la toma de lecturas de los sensores.

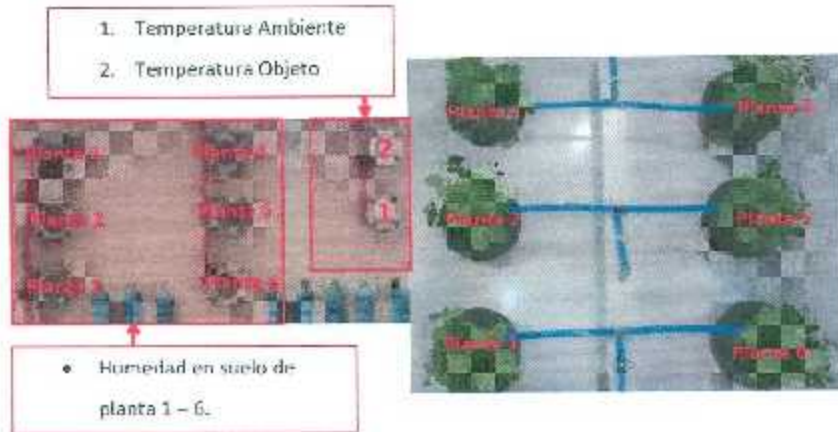


Figura 2.29 Botones para solicitud de lecturas de sensores.

En la figura 2.30 se muestra la conexión de los sensores a la tarjeta Arduino Mega.

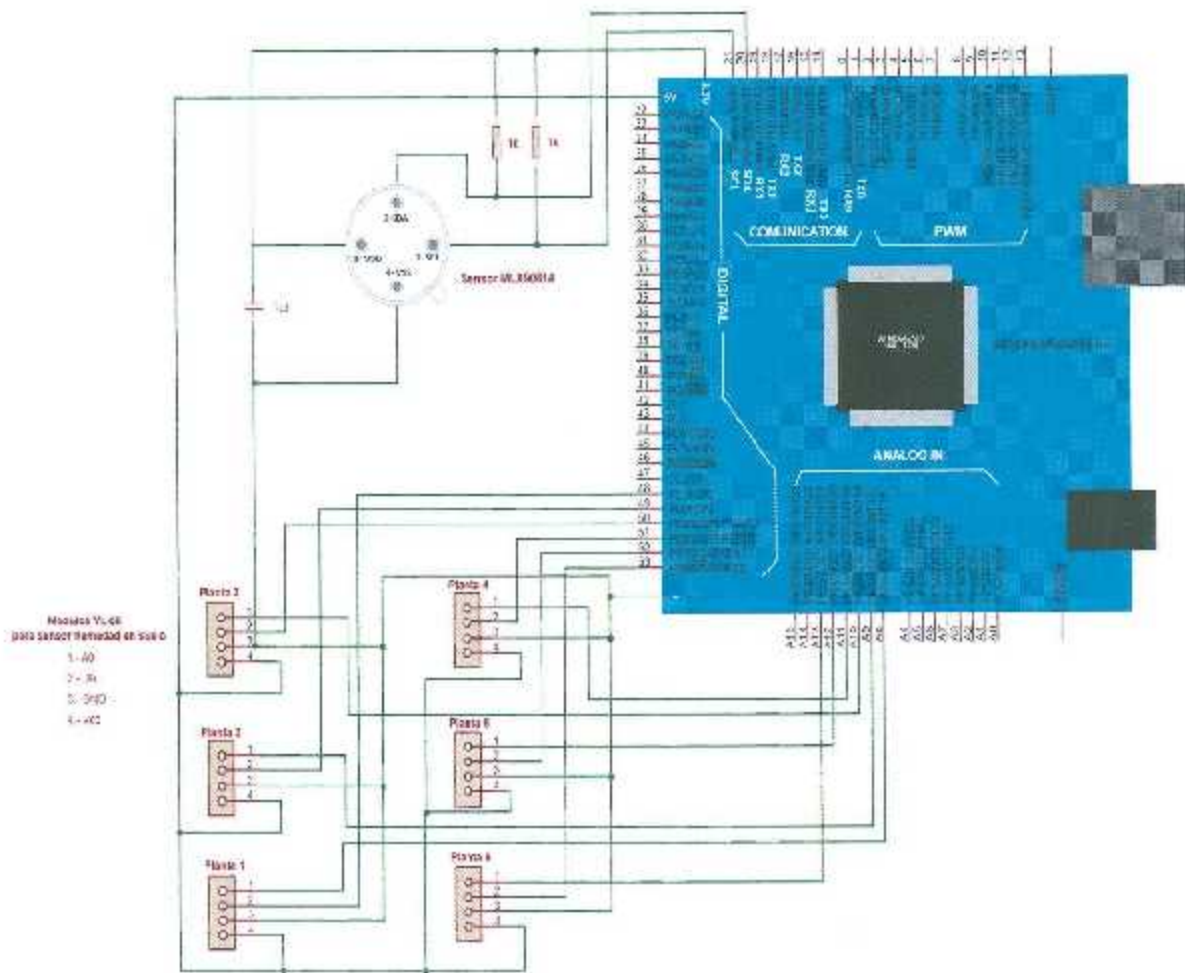


Figura 2.30 Conexión Arduino y sensores.

En la figura 2.31 se muestra el circuito de la tarjeta PCB y la conexión con la tarjeta Arduino Mega.

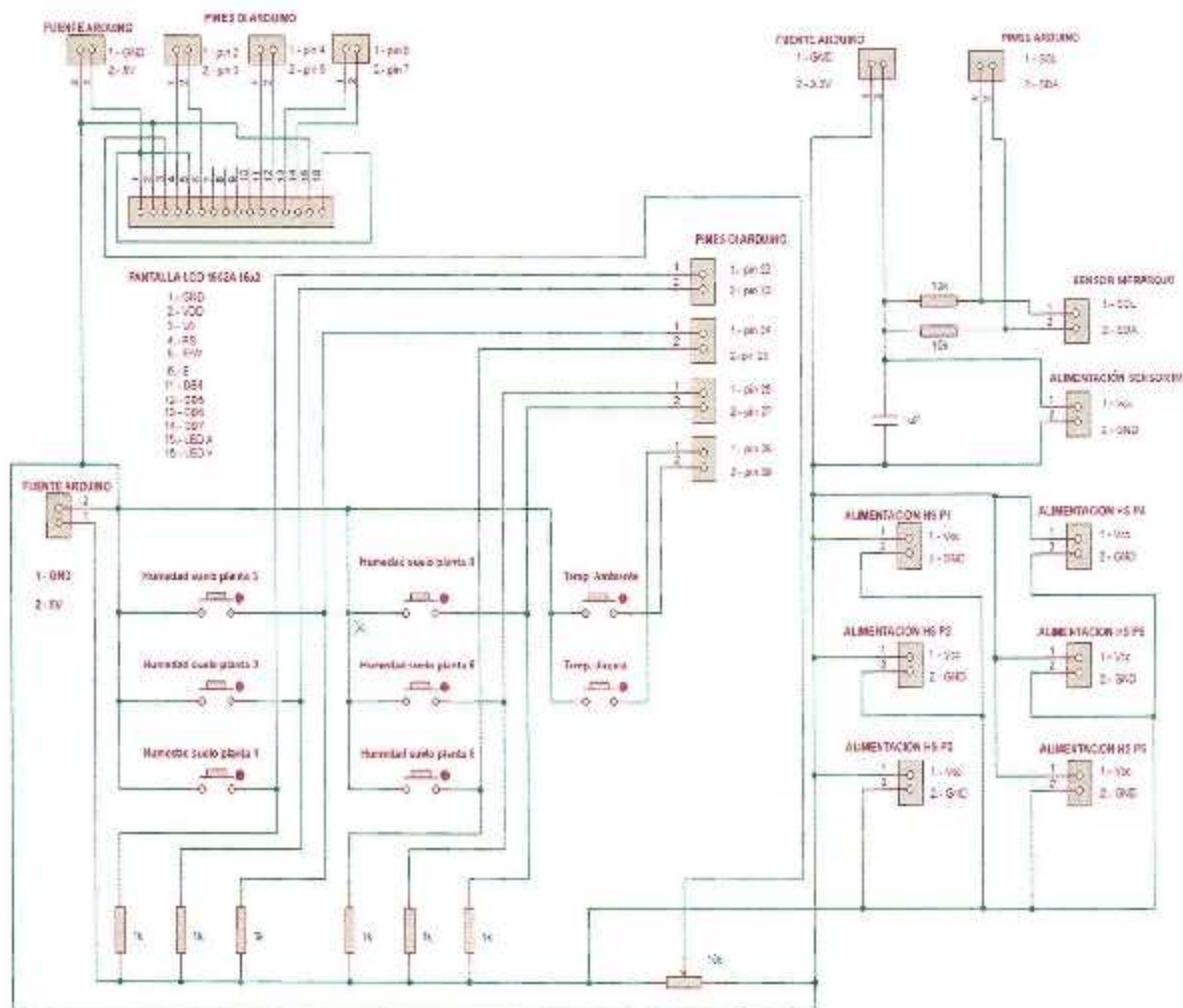


Figura 2.31 Circuito de la tarjeta para el control manual del sistema de riego.

En la figura 2.32 se observa el despliegue de la información de las lecturas de los sensores a través de la pantalla LCD.



Figura 2.32 Despliegue de lecturas a través de la pantalla LCD

El código del programa cargado a la tarjeta Arduino del sistema de sensores con nombre "Sistema_de_sensores.ino" se muestra en el Anexo B.

CAPÍTULO 3

COMUNICACIÓN VÍA REMOTA

En el capítulo se muestra en términos generales el establecimiento de la comunicación vía remota para el control del invernadero y monitoreo del estado de las plantas a través del uso de la aplicación Android desarrollada. Se menciona el funcionamiento del entorno de comunicación entre los diferentes elementos que conforman al proyecto, además de mostrar alternativas las cuales no se adaptaron a las necesidades del mismo.

La comunicación inalámbrica a través de un dispositivo móvil resulta de gran interés en términos de practicidad y eficiencia para el monitoreo, control y recopilación de datos referentes a un invernadero. La aplicación permite mantener contacto permanente con el invernadero de forma no presencial, simplificando la realización de análisis y pruebas.

En particular para lograr una comunicación vía remota con el invernadero es necesario lograr la comunicación directa o indirecta con las tarjetas controladoras, todos los sistemas que conforman al invernadero son controlados por tarjetas de desarrollo Arduino los cuales permiten entablar una comunicación con una gran gama de dispositivos ya sea de forma alámbrica o inalámbrica, los dispositivos pueden ser PC, dispositivos móviles, microcontrolador u otra tarjeta de adquisición de datos.

Hay diferentes alternativas para entablar una comunicación inalámbrica entre una tarjeta Arduino y un dispositivo móvil Android. La mayoría de los celulares denominados Smartphone de gama baja, media y alta cuentan con tecnologías para transmisión de datos de manera inalámbrica a través del uso de protocolos de comunicación, siendo los más comunes bluetooth y wifi. Las tarjetas Arduino a su vez cuentan con módulos externos de bluetooth o wifi diseñados específicamente para el uso con estos protocolos de comunicación. Con esto es posible entablar

una comunicación de forma inalámbrica directa entre el dispositivo móvil Android y las tarjetas controladoras de los sistemas del invernadero.

3.1 Bluetooth y Wi-fi

Bluetooth es una tecnología de comunicación inalámbrica para redes de área personal (WPAN) para la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos que utilicen esta protocolo de comunicación, trabajando bajo una radiofrecuencia en la banda ISM de los 2.4 GHz [17]. El bluetooth se caracteriza principalmente por entablar conexiones con poco gasto de energía, alta seguridad mediante cifrado de datos, soporta voz y datos, permite crear pequeñas redes inalámbricas, bajo costo de producción y elimina cables y conectores. Los dispositivos bluetooth se clasifican en tres diferentes clases dependiendo de su potencia de transmisión, las cuales se especifican en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Clasificación de bluetooth debido a su potencia de transmisión [14].

Clase	Potencia máxima permitida (mW)	Potencia máxima permitida (dBm)	Alcance (metros aproximados)
Clase 1	100	20	100
Clase 2	2.5	4	5 – 10
Clase 3	1	0	1

Wi-fi dentro de las redes de área local inalámbrica (WLAN, en inglés) es la de mayor renombre e importancia y se puede definir como un mecanismo de conexión inalámbrica para el intercambio de información entre diferentes dispositivos electrónicos la cual trabaja bajo el protocolo IEEE 802.11x el cual define sus estándares [18]. El Wi-fi se distingue por tener una compatibilidad absoluta entre dispositivos que cuentan con la marca Wi-fi, con un punto de acceso se puede generar una red Wi-fi y permite conexión a internet de forma inalámbrica. Bajo los estándares de la IEEE el Wi-fi se clasifica en familias, como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Familias de Wi-fi.

Familia	Descripción
802.11a	Permite hasta 54 Mbps en las bandas no licenciadas a 5 GHz
802.11b	Permite hasta 11 Mbps en la banda no licenciada a 2.4 GHz
802.11g	Permite hasta 54 Mbps en la banda no licenciada a 2.4 GHz
802.11n	Permite hasta 600 Mbps en la banda no licenciada a 2.4 GHz y 5 GHz

Comercialmente las familias 802.11 tienen un alcance de hasta 100 metros, dependiendo de la ubicación y obstáculos en el camino entre el punto de acceso y el dispositivo [19].

Ambas tecnologías cuentan con APIs para su manejo en proyectos para la plataforma Android. Android soporta bluetooth y proporciona acceso a sus diferentes funciones a través de las APIs Android Bluetooth [20]. En cuanto a Wi-fi, Android cuenta con APIs como WifiManager y ConnectivityManager, las cuales proporcionan funciones y clases para el manejo del Wi-Fi del dispositivo [21].

3.2 Factores a tomar en cuenta en la comunicación vía remota del invernadero

Al inicio del desarrollo del proyecto de tesis se contempló el uso de una comunicación inalámbrica directa entre el bluetooth o Wi-Fi de un dispositivo Android (haciendo uso de las APIs que la plataforma Android) y las tarjetas de desarrollo Arduino a través de la incorporación de los módulos o *shields*. Si bien utilizando los métodos antes mencionados se puede lograr el control del invernadero de forma inalámbrica, su uso e implementación conllevan varios inconvenientes al tratar de adaptarse a las necesidades del proyecto, teniendo en cuenta aspectos relacionados con los procesos que ejecuta el invernadero.

La principal limitante del uso de una comunicación inalámbrica directa entre el dispositivo Android y las tarjetas Arduino es que en términos generales se busca que el invernadero pueda ser controlado y monitoreado de forma no presencial, es decir no verse limitados por el área de cobertura de las señales de conectividad en el uso del bluetooth o Wi-fi, la cual está relacionada con la potencia proporcionada por sus componentes electrónicos, en donde se alcanzan hasta 10 metros para tecnologías bluetooth y hasta 100 metros para Wi-fi en una red de área local.

Controlar el invernadero resulta una tarea robusta en términos de procesamiento computacional. El control de los diferentes sistemas que conforman al invernadero aunado al procesamiento de imagen para el análisis de las plantas y generación de reportes en tiempos de ejecución pueden resultar tareas demandantes para una estructura de comunicación inalámbrica conformada solamente por el dispositivo móvil Android y las tarjetas de desarrollo Arduino, limitando el procesamiento de la información a las capacidades de las tarjetas Arduino y la

aplicación Android, generando procesos lentos y limitados. No es recomendable que una aplicación Android realice procesos altamente demandantes ya que puede afectar el rendimiento de la aplicación y el equipo, entregando con esto una experiencia frustrante en el uso de la aplicación.

Aunado a lo anterior se debe tener en cuenta las herramientas que ejecutan los procesos necesarios para lograr el análisis de las plantas así como también los procesos para toma de lecturas y despliegue de información. Como ya se ha mencionado el invernadero hace el uso de un algoritmo de análisis de imagen para determinar el estado en el que se encuentra la planta, esto junto con el monitoreo de variables y uso de reportes son características que se ejecutan con mayor facilidad a través de softwares especializados que cuentan con herramientas y funciones que son encontradas para su uso robusto a través de una PC, haciendo uso de programas como los son Matlab, LabVIEW, Excel etc. No resulta conveniente prescindir de las herramientas de software y con el fin de proseguir con el trabajo realizado anteriormente a este trabajo de tesis, se optó por lograr una comunicación con la PC, el cual realice la función de servidor. El servidor será el encargado de ejecutar y procesar la mayor parte de la información, sirviendo como intermediario entre la aplicación en el dispositivo Android y las tarjetas controladoras Arduino.

3.3 Comunicación entre aplicación Android, Servidor y Arduino

Una vez elegida la opción del uso de un servidor el cual permita el manejo de las herramientas de software necesarias para la ejecución de los procesos del invernadero aunado a una capacidad de procesamiento mayor, se buscó la manera de entablar una comunicación entre el dispositivo Android mediante el uso de una aplicación y el servidor, en particular con LabVIEW, el cual interactúa con las Arduinos de los sistemas del invernadero. El invernadero contaba al inicio del desarrollo del proyecto de tesis con una aplicación desarrollada en LabVIEW, partes de este programa fueron retornados con el propósito de contar con una base de inicio, dándole seguimiento para posteriormente realizar una aplicación más robusta, aumentando las capacidades de la aplicación LabVIEW y permitir la comunicación con la aplicación Android.

Para lograr el intercambio de datos entre la aplicación Android y LabVIEW, y este a su vez con Arduino, se emplearon programas que mediante el uso de sus herramientas de desarrollo

y el consumo de tecnologías que estos proporcionan, permitió generar un entorno de comunicación inalámbrica. Se hizo uso de una base de datos y un Servicio Web para comunicar la aplicación Android y la aplicación LabVIEW.

La tecnología denominada Servicio Web fue diseñada específicamente para el intercambio de datos entre aplicaciones haciendo uso de un conjunto de protocolos y estándares.

Un Servicio Web puede ser publicado en una red local o en internet, para que pueda ser consumido, el Servicio Web se encuentra montado en la PC que hace la función de servidor. En aspectos generales el servicio web entabla una comunicación directa con una base de datos montada también en el servidor, en realidad es el encargado de modificar valores de la base de datos a través de la aplicación Android, a su vez la base de datos es leída y modificada por la aplicación LabVIEW la cual manda instrucciones a las tarjetas de desarrollo Arduino, para que se ejecuten los movimientos de los motores, activen el sistema de riego, controlen el encendido y apagado de la iluminación y ventilación o realicen lecturas de los sensores que se encuentran esparcidos en el invernadero. En la figura 3.1 se muestra una representación en bloques de los principales componentes de la comunicación inalámbrica.



Figura 3.1 Estructura de la comunicación inalámbrica entre elementos del proyecto.

En el primer bloque se encuentra el dispositivo Android, en el segundo el servidor y por último un tercer bloque correspondiente al invernadero. Los bloques intercambian información entre sí usando al servidor como un intermediario. La aplicación Android fue desarrollada para ser compatible con cualquier dispositivo Android ya sea celular o tableta con un sistema operativo Froyo (versión 2.2) como mínimo, la aplicación se elaboró utilizando el entorno de desarrollo integrado IDE llamado eclipse haciendo uso del plugin Android ADT. En el servidor se encuentra montado el servicio web desarrollado en visual studio con el lenguaje y compilador C#, la base de datos creada en MySQL y la aplicación LabVIEW la cual usa una interfaz con Matlab para el procesado de imagen. En la figura 3.2 se muestran los tres bloques, especificando las tecnologías de comunicación utilizadas y los elementos que conforman a los bloques.



Figura 3.2 Tecnologías de comunicación entre los bloques y sus elementos.

Los tres bloques están comunicados entre sí mediante el servidor, utilizando el servicio web para la comunicación entre la aplicación del dispositivo Android y el servidor, mientras que para la comunicación entre el invernadero y el servidor se utilizan cables USB para dos tarjetas Arduino y una Arduino a través de Xbee, además de una cámara web (conectada al servidor) a través de un cable USB. En realidad la aplicación Android no tiene una comunicación directa con el invernadero, la aplicación se comunica a un servidor y este a su vez al invernadero y viceversa.

CAPÍTULO 4

BASE DE DATOS

En el capítulo se muestran aspectos referentes de la base de datos alojada en el servidor, se especifica su función, su estructura y la relación con otras aplicaciones del proyecto para lograr el entorno de comunicación, además se especifica el gestor de base de datos utilizado, los motivos de su selección e instrucciones SQL para su modificación.

Una base de datos tiene como finalidad el servir de la mejor manera a una o varias aplicaciones externas, en la cual datos son almacenados para su posterior acceso a ellos de forma rápida y estructurada a través de estas aplicaciones. Los datos resultan independientes de los programas externos y gestionados únicamente por un sistema gestor de bases de datos. Dentro del proyecto de tesis la base de datos cuenta con varias funciones; la primera y principal función es servir como un intermediario entre las acciones realizadas en la aplicación Android y la aplicación LabVIEW, es decir la aplicación Android a través del Web Service realiza consultas a la base de datos modificando determinados valores; mientras que la aplicación LabVIEW interpreta estos valores y ejecuta una acción en el invernadero, y viceversa, en base a la función descrita se puede decir que la base de datos almacena un conjunto de valores que funcionan como banderas binarias, las cuales son modificadas por acciones e interpretadas por ambas aplicaciones. La segunda función es la de almacenar la información proveniente de las hojas de cálculo Excel, los reportes contienen información sobre las lecturas de sensores, fechas de análisis y el procesado de imagen de cada planta individual. El archivo Excel es leído y almacenado en la base de datos, posteriormente mediante el servicio Web es consumido y visualizada en la aplicación Android. Por último hay una tercera función en la cual la base de datos almacena fechas, horas y cantidades de agua, establecidas desde la aplicación Android para el riego de las plantas.

Hay diferentes tipos de bases de datos y a su vez diferentes gestores de estos, para el proyecto se utilizó MySQL el cual es software libre, potente, amigable y muy utilizado.

4.1 Sistema gestor de bases de datos

También conocido por las siglas SGBD, consiste en una interrelación y un conjunto de programas para acceder a datos. La colección de datos, normalmente denominada base de datos. Su objetivo principal es proporcionar una forma de almacenar y recuperar la información de una base de datos de manera que sea tanto práctica como eficiente. La gestión de los datos implica tanto la definición de estructuras para almacenar la información como la provisión de mecanismos para la manipulación de la información. Además, los sistemas de bases de datos deben proporcionar la fiabilidad de la información almacenada, a pesar de las caídas del sistema o los intentos de acceso sin autorización [22, p.1]. El gestor de bases de datos usado es MySQL, el cual utiliza el modelo relacional.

4.1.1 Modelo relacional

En el modelo relacional se utiliza un grupo de tablas para representar los datos y las relaciones entre ellos. Las tablas se representan gráficamente como una estructura rectangular formada por filas y columnas. Cada una de las columnas almacena información sobre una determinada propiedad de la tabla (también llamada atributo), nombre, apellidos, edad o fecha, temperatura, humedad, etc. Mientras que cada fila posee una ocurrencia o ejemplar de la instancia o relación representada por la tabla (a las filas también se le conocen como tuplas).

4.1.2 Terminología relacional

En resumen el modelo relacional se basa en tablas conformadas por:

- **Atributos:** Cada columna de la tabla.
- **Tuplas:** Cada fila de la tabla (cada ejemplar que la tabla representa).
- **Grado:** Numero de atributos de la tabla.
- **Cardinalidad:** Numero de tuplas de una tabla.
- **Dominio:** Conjunto valido de valores representables por un atributo.

En la tabla 4.1 se muestra la estructura de una tabla en el modelo relacional.

Tabla 4.1 Representación de una tabla en el modelo relacional [23, p.12].

Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	...	Atributo n	
Valor 1,1	Valor 1,2	Valor 1,3	...	Valor 1,n	← Tupla 1
Valor 2,1	Valor 2,2	Valor 2,3	...	Valor 2,n	← Tupla 2
...	
Valor m,1	Valor m,2	Valor m,3	...	Valor m,n	← Tupla m

Otros términos importantes dentro de un modelo relacional son las denominadas claves, que principalmente se encuentran cuatro tipos.

- **Clave candidata:** Conjunto de atributos de una tabla que identifican unívocamente cada tupla de la tabla.
- **Clave primaria:** Clave candidata que se escoge como identificador de las tuplas.
- **Clave alternativa:** Cualquier clave candidata que no sea primaria.
- **Clave externa o secundaria:** Atributo de una tabla relacionado con una clave de otra tabla.

Las claves se utilizan para facilitar el acceso a los datos de las tablas, se puede decir que son referencias elegidas que identifican filas, columnas o tablas.

4.1.3 Registros de una tabla.

El modelo relacional es un ejemplo de un modelo basado en registros. Un modelo basado en registros se denomina así porque la base de datos se estructura en registros de formato fijo de varios tipos. Es decir cada tabla contiene registros de un tipo en particular y cada tipo de registro define un número fijo de campos, o atributos. En la tabla 4.2 se muestra un ejemplo de las tablas de una base de datos relacional.

Tabla 4.2 La tabla invernadero.

Id-Invernadero	Fecha-Invernadero	Temperatura-Invernadero	Humedad-Invernadero
1	12/12/2014	15.7	20
2	24/12/2014	14.2	80
3	02/02/2015	19.1	56
4	18/03/2015	21	99

La tabla `invernadero` contiene cuatro columnas, la primera es el `id-invernadero` el cual es un atributo con tipo de dato entero (INT), aquí se almacena el número de registros. La segunda columna es el atributo de tipo de dato fecha (DATE) que almacena las fechas de los registros. La tercer columna es el atributo temperatura con tipo de dato doble (DOUBLE) la cual almacena el valor de las temperaturas registradas en cada registro. La cuarta columna es el atributo humedad con tipo de dato entero (INT) la cual almacena el valor de humedad registradas en cada registro. Para cada atributo puede variar la longitud de datos.

Si se establece como clave primaria la columna `Id-Invernadero`, el valor de la columna identificara de forma única a cada fila de la tabla `invernadero`. Es decir hay cuatro identificadores de renglón y no puede haber dos filas en una tabla que tenga la misma clave primaria. Haciendo uso de estas referencias se facilita el acceso a cualquier valor de una tabla, los cuales nos permitirá realizar consultas a la base de datos ya sea para seleccionar, insertar y borrar valores.

El modelo de datos relacional es el modelo de datos más ampliamente usado, y una amplia mayoría de sistemas de bases de datos actuales se basan en este modelo.

4.2 MySQL

Es el gestor de base de datos seleccionado para el almacenamiento de información e intermediario para la comunicación entre aplicaciones del proyecto, MySQL hace uso del modelo relacional es multihilo y multiusuario.

MySQL es un sistema gestor de bases de datos (SGBD) el cual permite crear, administrar y usar bases de datos. Es ampliamente conocido y usado por su simplicidad y notable rendimiento, es una herramienta atractiva ya sea para aplicaciones comerciales o entretenimiento entre otras, esto precisamente por su facilidad de uso y tiempo reducido para su puesta en marcha. Aunado a esto cuenta con libre distribución en internet bajo la licencia GPL otorgándole beneficios adicionales. GPL son las siglas en inglés de licencia pública general, la cual garantiza a los usuarios finales (personas, organizaciones o compañías) la libertad de usar, estudiar, compartir, copiar y modificar el software. MySQL cuenta con un licenciamiento dual bajo la licencia GPL ya que el uso es compatible con la licencia siempre y cuando una empresa quiera incorporarlo en productos comerciales privados.

4.2.1 Características de MySQL

MySQL tiene una serie de características las cuales lo hacen una opción atractiva y popular, estas se listan a continuación [24, p.7].

- Desarrollado en C/C++.
- Se distribuye ejecutables para cerca de diecinueve plataformas diferentes.
- La API se encuentra disponible en C, C++, Eiffel, Java, Perl, PHP, Python, Ruby y TCL.
- Optimizado para equipos de múltiples procesadores.
- Velocidad de respuesta estable.
- Se puede utilizar como cliente-servidor o incrustado en aplicaciones.
- Cuenta con un rico conjunto de tipos de datos.
- Soporta múltiples métodos de almacenamiento de las tablas.
- Su administración se basa en usuarios y privilegios.
- Se tiene constancia de casos en los que maneja cincuenta millones de registros, sesenta mil tablas y cinco millones de columnas.
- Sus opciones de conectividad abarcan TCP/IP, *sockets* UNIX y *sockets* NI, además de soportar completamente ODBC.
- Es altamente confiable en cuanto a estabilidad se refiere.

La base de datos MySQL desarrollada se conecta a través de ODBC (*Open database connectivity*), el cual es un estándar de acceso a las bases de datos, con este es posible acceder desde cualquier aplicación, sin importar que sistema de gestión de bases de datos (SGBD) es utilizado.

4.3 MySQL Workbench

MySQL Workbench es una herramienta gráfica que permite trabajar con servidores MySQL y bases de datos. MySQL Workbench soporta servidores MySQL 5.1 y superiores, siendo la versión 6.1 usada en el proyecto

MySQL Workbench incluye un conjunto de programas para la administración gráfica robusta de bases de datos, servidores y conexiones. MySQL Workbench se encuentra para su

descarga a través de la página web MySQL, sin ningún tipo de costo para la versión MySQL Community [25], la instalación es simple y automática haciendo uso de su instalador.

4.3.1 Instalación y configuración

El instalador prepara a la PC para la instalación de MySQL, dando a elegir diferentes tipos de instalaciones las cuales permiten seleccionar herramientas específicas o un paquete completo que incluye un conjunto de herramientas más robusto. MySQL permite configurar el tipo de máquina en la cual se encontrará alojado el servidor con las bases de datos dependiendo de las necesidades del proyecto. Permite configurar la PC en tres tipos como se aprecia en la figura 4.1.



Figura 4.1 Tipos de configuraciones de MySQL.

Los recursos asignados a cada tipo de configuración son distintos. La base de datos creada para el proyecto no es compleja y no es necesario asignar elevados recursos para su ejecución, por lo que basta con configurar la máquina como máquina de desarrollo. El mismo instalador de MySQL configura al servidor, usuarios y servicios de forma automática. Una parte importante del manejo del gestor de bases de datos MySQL, es que se administra mediante el uso de usuarios. MySQL proporciona un usuario administrador con el nombre convencional *root*, usuario que posee todos los derechos en todos los modos dentro de MySQL. En la figura 4.4 se muestra la asignación de la contraseña la cual es “1234” para el usuario *root*, otros

usuarios pueden ser agregados y las contraseñas pueden ser cambiadas posteriormente si es necesario.

Accounts and Roles

Root Account Password

Enter the password for the root account. Please remember to store this password in a secure place.

Current Root Password: ●●●●

MySQL Root Password: ●●●●

Repeat Password: ●●●●

Figura 4.2 Permisos de cuentas en MySQL.

Es importante mencionar el uso de la cuenta de usuario ya que a través de esta y su contraseña se podrá tener una conexión al servidor y se tendrá acceso a las bases de datos a través de MySQL u otras aplicaciones.

4.3.2 Entorno de trabajo de MySQL Workbench 6.1 CE

MySQL Workbench 6.1 CE permite crear conexiones a servidores, modelos esquemáticos, modelos mediante lenguaje SQL, manejo de usuarios y migración de bases de datos [26]. Todo mediante un ambiente gráfico y amigable. Con MySQL Workbench se crearon las tablas de la base de datos a través de un modelo esquemático y se creó una conexión al servidor. En la figura 4.3 se muestra la interfaz de MySQL Workbench CE.



Figura 4.3 Interfaz de MySQL Workbench 6.1 CE.

Las conexiones permiten el acceso a las bases de datos con tablas creadas en los modelos esquemáticos, para la conexión se especifica el usuario administrador y el esquema de la base de datos (modelo).

4.4 Conexión a servidor MySQL

Se creó una conexión MySQL con el nombre de Tecnológico de la laguna, la conexión se conecta con la base de datos llamada Invernadero la cual contiene las tablas creadas en el modelo esquemático llamado Proyecto Maestría.

La conexión creada utiliza el método de conexión TCP/IP estándar, hace referencia al nombre IP del host del servidor. La conexión es administrada por el usuario root y por defecto se encuentra la base de datos de nombre Invernadero. En la figura 4.4 se muestra los parámetros de conexión Tecnológico de la Laguna.

The screenshot shows the MySQL connection configuration interface. At the top, the 'Connection Name' is 'Tecnológico de la Laguna'. Below it, there are tabs for 'Connection', 'Remote Management', and 'System Profile'. The 'Connection Method' is set to 'Standard (TCP/IP)'. Under the 'Parameters' tab, the following fields are visible: 'Hostname' (127.0.0.1), 'Port' (3306), 'Username' (root), 'Password' (with 'Store in Vault...' and 'Clear' buttons), and 'Default Schema' (invernadero). Each field has a descriptive tooltip on the right.

Figura 4.4 Parámetros de la conexión Tecnológico de la Laguna.

Dentro del contexto de redes TCP/IP la dirección IP 127.0.0.1 hace referencia al localhost dentro del protocolo de internet IPv4 [27]. Localhost es el nombre reservado (hostname) que todas las computadoras o dispositivos tienen. El servidor se encuentra en la misma computadora en donde se desarrolló y el cual servirá como host, es por esto que se hace referencia a la dirección IP 127.0.0.1 o localhost. Si el servidor se encuentra en otra máquina la conexión debe hacer referencia a ese equipo. El puerto que utiliza MySQL por defecto es el 3306. Para la conexión al servidor se necesita el permiso de la cuenta usuario root, como se aprecia en la figura 4.5.



Figura 4.5 Permiso para conexión al servidor.

4.5 Base de datos “invernadero” mediante el modelo EER

Para el diseño de la base de datos llamada “invernadero” se utilizó el modelo *Enhanced entity relationship* (EER, por sus siglas en inglés), el cual nos permite describir de forma abstracta los datos e información que finalmente se implementarían en la base de datos. Los principales componentes de los modelos EER son las entidades y las relaciones que pueden existir entre ellos [28].

El diagrama EER nos permite diseñar las tablas de las bases de datos y las relaciones que pueden existir o no entre ellas. La creación del diagrama EER se realiza en un ambiente visual, como se puede observar en la figura 4.6.

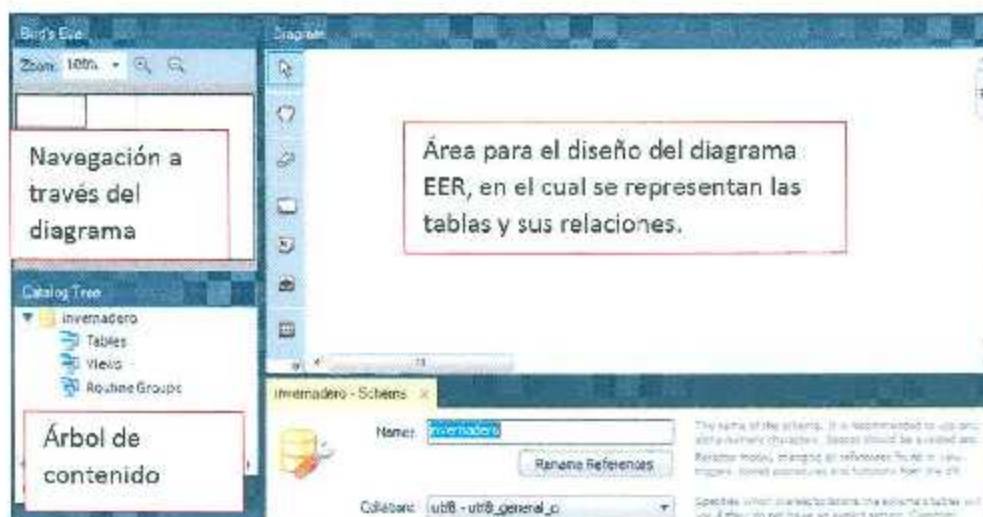


Figura 4.6 Diseño de la base de datos a través de un diagrama EER.

4.5.1 Tablas de la base de datos Invernadero

Se crearon en total 9 tablas las cuales conforman a la base de datos con el nombre invernadero, las tablas no tiene ninguna relación entre ellas. Se enfocan principalmente en guardar información para reportes de cada planta, para el manejo de valores que funcionen como banderas binarias y establecer condiciones de riego. Las tablas de la base de datos invernadero se muestra en la figura 4.7.



Figura 4.7 Tablas de la base de datos invernadero.

En la figura 4.8 se muestran el diseño de las tablas en de la base de datos invernadero expresados en esquema.

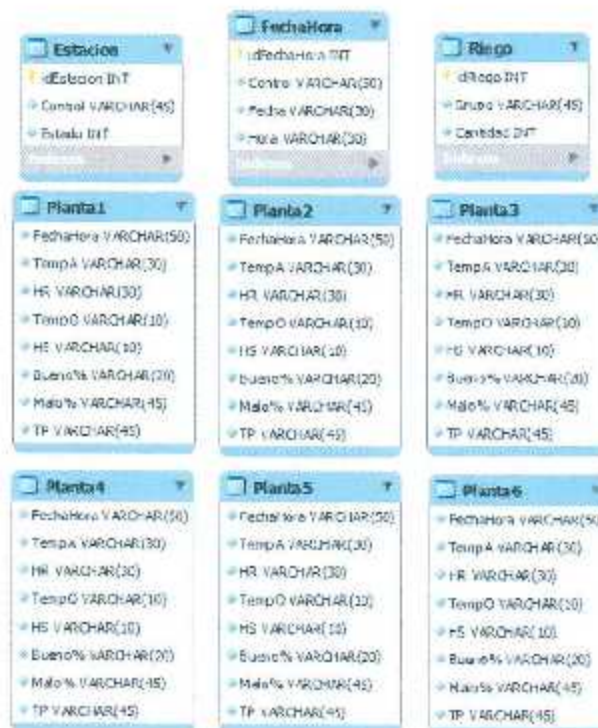


Figura 4.8 Tablas de la base de datos invernadero en el modelo EER.

MySQL cuenta con una opción denominada *Forward Engener* la cual permite crear el *script* en lenguaje SQL diseñado en el modelo esquemático EER. El script SQL creado mediante la opción mencionada expresa la creación de las tablas, objetos y el motor de la base de datos entre otras especificaciones, sin la necesidad de contar con un nivel alto de conocimiento del lenguaje SQL. Posterior a esto las tablas de la base de datos invernadero están listas para ser manipuladas mediante consultas, mejor conocidas como *queries* en lenguaje SQL.

4.5.2 Tabla Estación

La tabla estación cuenta con los campos que se actualizarán cuando se desee realizar alguna interacción con el invernadero, la tabla se puede considerar como un contenedor de banderas que almacena los estados con valores de ceros y unos, que irán cambiando a partir de la interacción de la aplicación Android y el programa LabVIEW. La tabla estación se muestra en la figura 4.9.



Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	BIN	UN	ZF	AI	Default
idEstacion	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Control	VARCHAR(45)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estado	INT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 4.9 Tabla estación.

La tabla cuenta con tres columnas las cuales son idEstacion, Control y Estado. El tipo de dato para las columnas idEstado y Estado son de tipo entero, mientras que para la columna Control es del tipo de dato varchar. La tabla estación cuenta con una llave primaria (PK) la cual es la columna idEstacion. Cada campo de la columna de la tabla estación corresponde al valor que un botón actualiza en la aplicación Android o cuando termina un proceso en LabVIEW.

4.5.3 Tablas para almacén de reportes

Las seis tablas de nombre planta seguidas de un número (planta1, planta2, etc.) corresponden a tablas que almacenan los reportes de cada una de las plantas, los reportes contienen valores que provienen de cada análisis que se le realizan a las plantas. Los reportes son un historial de análisis y se actualizan y generan en LabVIEW, almacenados en un archivo Excel con extensión csv (archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel). Los valores del archivo Excel son guardados en una tabla de la base de datos para cada planta. Todas las tablas cuentan con las mismas columnas (para cada valor o variable medida), en total cada tabla contiene ocho columnas, sin llave primaria. La tabla de la base de datos que almacena el reporte de la planta 1 se muestra en la figura 4.10.

Planta1 Table

Table Name: Schema: **invernadero**

Column Name	Data type	PK	NN	UQ	BIN	UN	ZF	AI	Default
FechaHora	VARCHAR(50)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
TempA	VARCHAR(30)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
HR	VARCHAR(30)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
TempO	VARCHAR(30)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
HS	VARCHAR(30)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Bueno%	VARCHAR(10)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Malo%	VARCHAR(10)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
TP	VARCHAR(20)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 4.10 Tabla planta 1.

Las ocho columnas de la tabla son las siguientes:

- **FechaHora:** Almacena la fecha y hora del análisis realizado en formato fecha y hora corta.

- **TempA:** Almacena el valor de la temperatura ambiental leída en el análisis.
- **HR:** Almacena el valor de la humedad relativa leída en el análisis.
- **TempO:** Almacena el valor de la temperatura objeto leído en el análisis.
- **HHS:** Almacena el valor de la humedad en suelo leída en el análisis.
- **Bueno%:** Almacena el valor del porcentaje en buen estado del follaje de la planta a partir del procesamiento de imagen.
- **Malo%:** Almacena el valor del porcentaje en mal estado del follaje de la planta a partir del procesamiento de imagen.
- **TP:** Almacena el total de pixeles a partir del procesamiento de imagen.

Todos los campos de la tabla son del tipo varchar, variando en algunos solamente la longitud de datos que soportara cada campo.

4.5.4 Tabla fecha y hora

La tabla almacena la fecha y hora establecida en la aplicación Android para el riego de las plantas. La fecha y hora son condiciones que se almacenan en la base de datos y retomadas por la aplicación LabVIEW, cuando la fecha y hora establecida desde la aplicación Android coincidan con la fecha y hora de la aplicación LabVIEW se regaran las plantas. En la figura 4.11 se muestra la tabla que almacena la fecha y hora.

Column Name	Datatype	PK	NN	UQ	BIN	UN	ZF	AI	Default
IdFechaHora	INT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Control	VARCHAR(30)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fecha	VARCHAR(30)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hora	VARCHAR(30)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 4.11 Tabla fecha y hora.

La tabla cuenta con un campo identificador del tipo entero y tres campos del tipo varchar, el formato de fecha (dd/mm/yyyy) y hora (hh:mm:ss) se establece desde su escritura en la aplicación Android.

4.5.5 Tabla riego

En la tabla riego se almacenan las cantidades de agua en mililitros para cada grupo de plantas y establecidas desde la aplicación Android, las cantidades se suministraran en la fecha y hora almacenadas en la tabla Fecha y Hora de la base de datos. En la figura 4.12 se muestra esta.

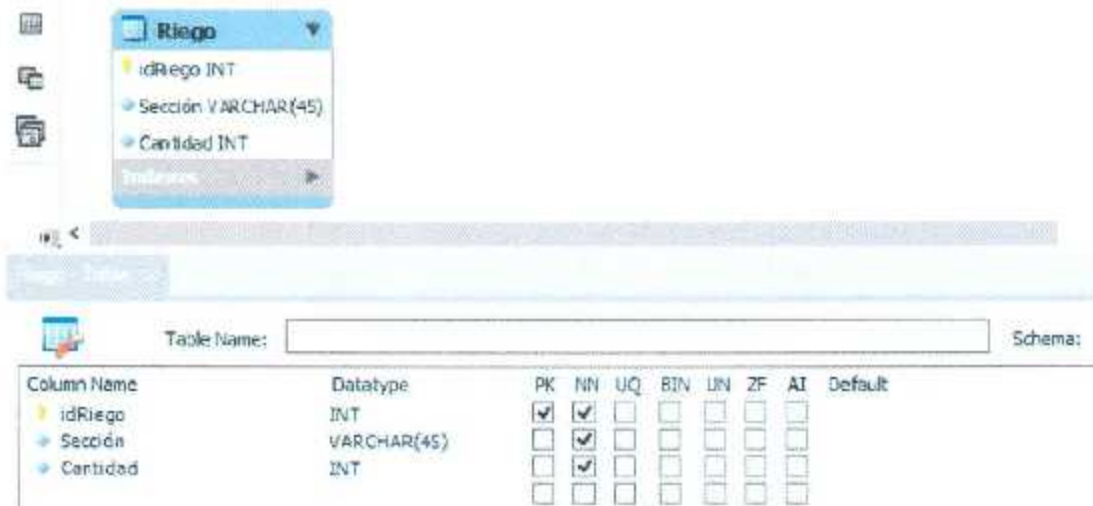


Figura 4.12 Tabla para cantidades de agua.

La tabla cuenta con un campo identificador de tipo entero, un campo llamado Sección de tipo varchar donde se especifica la sección de riego y un último campo de tipo entero en donde se almacenan las cantidades de agua en mililitros.

4.6 Consultas a la base de datos

MySQL o cualquier otra aplicación que se encuentre usando la base de datos invernadero, puede modificar los valores de las tablas mediante el uso de consultas. Hay una gran cantidad de consultas que realizan una función en particular, las más usadas principalmente son las de insertar, seleccionar, eliminar y actualizar.

4.6.1 Consulta *insert*

La consulta insertar permite anexar datos a las tablas, con esta consulta se llenan los renglones especificando las columnas.

```
insert estacion(idEstacion, Control, Estado)
values (11, "Regar", 0)
```

La consulta anterior inserta a la tabla estación los valores de un renglón, para sus tres columnas con las que cuenta. En la figura 4.13 se muestra la tabla estación de la base de datos y el renglón insertado con la consulta *insert*.

idEstacion	Control	Estado
1	home	1
2	Ciclo	0
3	Lamparas	1
4	Ventilacion	1
5	APlant1	1
6	APlant2	0
7	APlant3	0
8	APlant4	0
9	APlant5	0
10	APlant6	0
11	Regar	0

Renglón insertado

Figura 4.13 Tabla estación.

Cada renglón insertado de la tabla estación principalmente hace referencia a un botón en la aplicación Android o LabVIEW, el cual ejecuta una acción en el invernadero, ya sea movimiento, analizar, regar, encender lámparas etc. Los únicos campos que cambia de valor son los de la columna “Estado” los cuales funcionan como banderas.

4.6.2 Consulta *select*

La consulta select permite seleccionar todos los valores de una tabla, o seleccionar un valor en específico de esta.

```
select Control from estacion where idEstacion = 1;
```


La consulta anterior selecciona la columna Control de la tabla estación cuando la columna con la llave primaria idEstacion es igual a 1. En la figura 4.14 se muestra el resultado de ejecutar la consulta *select*.

Control
Home
1111

Figura 4.14 Resultado de ejecutar la consulta *select*.

Seleccionar al igual que actualizar un campo determinado de una tabla es posible debido al establecimiento de una clave primaria, la cual facilita la ubicación del campo el cual será afectado.

4.6.3 Consulta *update*

La consulta *update* permite actualizar un valor de un campo en específico de una tabla.

```
update estacion set Estado = 0 where idEstacion = 11
```

La consulta anterior actualizará la columna Estado con el valor cero cuando la columna con la llave primaria idEstacion es igual a 11, estas columnas correspondientes a la tabla estación. En la figura 4.15 se muestra la tabla estación con el valor actualizado.

idEstacion	Control	Estado
1	Home	1
2	Cido	0
3	Lamparas	1
4	Ventilacion	1
5	APlanta1	1
6	APlanta2	0
7	APlanta3	0
8	APlanta4	0
9	APlanta5	0
10	APlanta6	0
11	Regar	0

Valor actualizado

Figura 4.15 Valor actualizado de la tabla estación.

Los valores de la columna estado cambiarán de 1 a 0 usando la consulta *update* en la aplicación Android o LabVIEW. Usando consulta *update* en cualquier aplicación nos permitirá conocer cual instrucción se ejecutara.

4.6.4 Consulta *delete*

La consulta *delete* al ser ejecutada borra todos los valores insertados de una tabla.

```
delete from estacion
```

4.6.5 Script para cargar un archivo Excel a una tabla

MySQL permite cargar los datos de un archivo específico dentro de una tabla en una base de datos, en este caso un archivo Excel. Los archivos Excel contienen los datos de análisis a cada planta, generado por LabVIEW.

```
load data infile "/Rutas de proyecto/ReportePlanta4.csv" into table planta4  
fields terminated by ','  
lines terminated by '\n';
```

Al ejecutar el script anterior todos los datos del archivo Excel llamado ReportePlanta4.csv son cargados a la tabla planta4 de la base de datos. Se almacena la información porque la aplicación Android cargara los datos desde la base de datos y no desde el archivo Excel.

Los consultas y script mencionados anteriormente son herramientas que se utilizaron para dar forma a las tablas de la base de datos (llenarla con información), además las consultas *update* y *select* son usadas en otras aplicaciones para interactuar con la base de datos, la cual como ya se menciona es la intermediaria para lograr la comunicación entre aplicaciones.

El código SQL de la base de datos invernadero que contiene las tablas mencionadas se puede observar en el Anexo C.

CAPÍTULO 5

SERVICIO WEB

En el capítulo se muestran aspectos de la tecnología denominada servicios web, la cual permite el intercambio de información entre la aplicación Android y la base de datos en MySQL, el servicio web fue desarrollado en la plataforma de desarrollo Microsoft Visual Studio 2013 haciendo uso del lenguaje y compilador de alto nivel C#. El servicio web se encuentra publicado en el *Internet Information Services* (IIS) del servidor y es posible acceder a este desde cualquier dispositivo Android u otra PC.

Hay diferentes tecnologías que permiten el intercambio de datos a través de internet, con sus respectivos protocolos y estándares para lograrlo. Tecnologías tales como *Windows Communication Foundation* [29], el uso de *sockets*, servicios web mediante servicios REST (*Representational State Transfer*) [30], *Common Object Request Broken Architecture* (CORBA) [31], entre otras.

Se eligió usar un servicio web, bajo el protocolo SOAP al ser una herramienta ampliamente utilizada, además de acoplarse adecuadamente a las necesidades de la aplicación Android desarrollada y la base de datos. Su uso resulta práctico al aportar una gran independencia entre las aplicaciones que consumen al servicio y el propio servicio. Aunado a que es un método flexible en cuanto aspecto de desarrollo, al poder ser creados (o consumidos) en casi cualquier plataforma de desarrollo de software independientemente del lenguaje de programación que se use.

5.1 Tecnología web service

Es una tecnología que utiliza un conjunto de protocolos y estándares que sirven para intercambiar datos entre aplicaciones. Aplicaciones de software distintas, desarrolladas y ejecutadas en lenguajes de programación y compiladores diferentes pueden consumir los servicios web con el fin de intercambiar datos en redes como internet. Se puede definir a los servicios web como sistemas software diseñados para soportar una interacción interoperable máquina a máquina sobre una red (principalmente Internet) y son ejecutados en el sistema que los aloja [32]. La interoperabilidad se consigue mediante la adopción de estándares abiertos.

La definición abarca muchos tipos de sistemas, pero en este caso específicamente se refiere a clientes y servidores que se comunican mediante mensajes XML que sigue el estándar SOAP. Cabe mencionar que un servicio web puede trabajar bajo estándares diferentes a SOAP.

[La *Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS)* y la *World Wide Web Consortium (W3C)* son los comités responsables de la arquitectura y reglamentación de los servicios Web.

La *W3C Web Services Architecture Working Group* define a la estructura de un servicio web como una interfaz descrita en un formato de máquina procesable (específicamente WSDL). Donde otros sistemas interactúan con el servicio web en una forma descrita utilizando SOAP, normalmente transmitida mediante HTTP con una serialización XML junto con otros estándares relacionados con la Web [32].

5.1.1 Protocolo estándar SOAP y WSDL

El estándar *Simple Object Access Protocol (SOAP)* es un protocolo basado en XML, que permite la interacción entre varios dispositivos y que tiene la capacidad de transmitir información compleja. Los datos pueden ser transmitidos a través de HTTP, SMTP, etc. SOAP especifica el formato de los mensajes [32]. En otras palabras mediante el protocolo SOAP dos objetos en diferentes procesos pueden comunicarse por medio del intercambio de datos XML. El protocolo fue creado por Microsoft, IBM entre otros y está actualmente auspiciado por W3C. El estándar cubre las siguientes características:

- Diseñado para Internet.

- Extiende el protocolo HTTP.
- Es una herramienta fundamental en los servicios web.
- Permite intercambio de documentos o llamada a procesamientos remotos (RPC).
- No se encuentra atado a ningún sistema operativo ni ningún lenguaje de programación.
- Es la técnica más purista para implementar un servicio Web.

Mediante un servicio web los mensajes en formato SOAP son movidos de un sistema a otros utilizando HTTP. El sistema recibe el mensaje, hace lo que tiene que hacer y devuelve una respuesta también en formato SOAP. El mensaje SOAP está compuesto por un elemento denominado "Envelope" cuya estructura engloba a un elemento opcional denominado "Header" y un elemento requerido denominado "Body". La estructura de los mensajes SOAP se muestra en la figura 5.1.



Figura 5.1 Estructura SOAP.

El "Envelope" es el elemento raíz de todo mensaje SOAP e identifica un documento XML como un mensaje SOAP.

WSDL (Lenguaje de Descripción de Servicios Web), permite que un servicio y un cliente establezcan un acuerdo en lo que se refiere a los detalles de transporte de mensajes y su contenido, a través de un documento procesable por dispositivos. WSDL representa una especie de contrato entre el proveedor y el que solicita. WSDL especifica la sintaxis y los mecanismos de intercambio de mensajes.

Un equipo cliente que se conecta a un Servicio Web puede leer ese fichero WSDL para determinar qué funciones están disponibles en el servidor. Los tipos de datos especiales se incluyen dentro del archivo WSDL en forma de XML y el cliente utiliza SOAP para hacer la llamada a una de las funciones listadas en el WSDL. [32].

5.1.2 Función del servicio web en el proyecto

Básicamente el servicio web es una herramienta intermediaria la cual se encarga de ejecutar peticiones provenientes de la aplicación Android para afectar y tomar valores almacenados en la base de datos del invernadero. El servicio web es el encargado de mandar consultas a la base de datos, mediante el empleo de métodos web, los cuales son invocados desde la aplicación Android. La aplicación Android no afecta directamente a ningún valor de la base de datos.

El dispositivo Android se conecta a internet o a una red de área local a través de su tarjeta de red. El dispositivo y la aplicación Android funcionan como cliente y busca consumir el servicio web alojado y publicado en el servidor. La comunicación se realiza mediante el intercambio de mensajes XML bajo el protocolo SOAP, el cliente manda una solicitud SOAP al servicio web y después de ejecutar procesos y afectar a la base de datos manda una respuesta SOAP al cliente. El WSDL permite un acuerdo para el transporte de mensajes entre el cliente y el servicio web. En la figura 5.2 se muestra en forma de esquema el funcionamiento del servicio web.

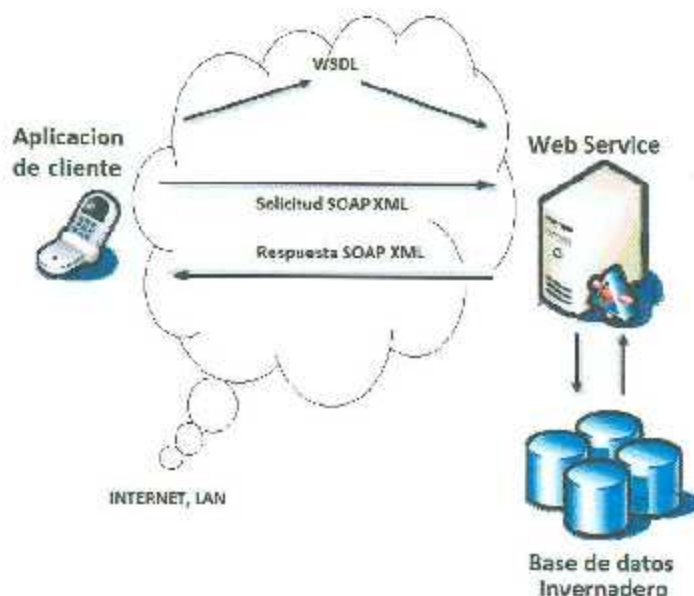


Figura 5.2 Esquema del funcionamiento del servicio web.

5.1.3 Plataforma Visual Studio .NET para el servicio web

Las plataformas para el desarrollo de servicios web son programas que proporcionan herramientas que permiten desarrollar, invocar y publicar un servicio web, haciendo uso de un lenguaje de programación. Microsoft permite el desarrollo e implementación de un servicio web a través de Visual Studio.NET, haciendo uso de su *framework* y tecnologías es capaz de generar todo el protocolo SOAP y el fichero WSDL sin la necesidad de escribir el código en XML. El Servicio web se puede crear en cualquier lenguaje de programación que soporta Visual Studio.

El servicio web se desarrolló en la plataforma Microsoft Visual Studio 2013 con *framework* .NET 4.5.1. Haciendo uso del lenguaje de programación orientado a objetos C#. Microsoft ofrece la versión *Express 2013 for web de Free visual studio* en su página oficial [33].

Un servicio web basa su estructura y funcionamiento específico en métodos web (*WebMethod*). Los métodos del servicio web constituyen una parte fundamental de la estructura de mensajería empleada por los servicios. Es decir como ya se mencionó, un cliente y un servicio web se comunican de forma predeterminada con mensajes SOAP. Los clientes envían una solicitud SOAP a un servicio web y un método del servicio web es el encargado de devolver una respuesta SOAP. En los servicios web se define el tipo de mensajes que se aceptan mediante operaciones definidas en el WSDL. Las operaciones se correlacionan con cada uno de los métodos que se encuentran alojados en el servicio web, con esto se puede saber cuál método del servicio web se ejecutara [34]. Los métodos del servicio web pueden ser consumidos a través de la web (Internet o LAN).

En base a lo anterior se muestra el proyecto creado en Visual Studio y los métodos implementados del servicio web y como se logró la comunicación con la base de datos. Visual Studio ofrece crear un servicio web mediante la creación de un proyecto de este tipo, denominado Web Service (ASMX) con Visual C#, el nombre del proyecto se asignó arbitrariamente como WSMYSQL. En la figura 5.3 se muestra el tipo de proyecto creado en Visual Studio.



Figura 5.3 Creación del servicio web en visual studio.

En el proyecto se crearon los métodos del servicio web necesarios para realizar consultas a la base de datos desarrollada en MySQL.

Para lograr la comunicación entre MySQL y el proyecto del servicio web se utilizó el driver llamado MySQL.data como se puede observar en la figura 5.4. El conector se descargó desde la página oficial de MySQL en el apartado referente a conectores, en específico con la plataforma .NET [35].



Figura 5.4 ADO.Net driver for MySQL.

La aplicación del servicio web cuenta con 23 métodos y cada método tiene una función específica. Un método en particular es consumido desde la aplicación Android cuando un botón es presionado o se necesita cargar datos.

Los métodos utilizan clases y funciones que permiten lograr una comunicación con la base de datos, y específicamente a determinados campos de una tabla de la base de datos. Los métodos web envían una cadena de caracteres en formato *string* en forma de consultas en lenguaje SQL, mediante el uso del *driver* conector ya mencionado, y ejecutadas en el servidor MySQL. Las consultas consisten en líneas de código SQL que tienen la función, entre las más comunes de insertar, seleccionar, actualizar y borrar valores que se encuentran en las tablas de la base de datos.

En la figura 5.5 se muestra un método que tiene la función de actualizar un campo dentro de una tabla de la base de datos. Cuando se dice actualizar, se hace referencia a que este método es el encargado de enviar la consulta *Update* en SQL a la base de datos, en formato *String*.

```
[public void] descripcion = "Actualiza el estado del control linea";

public void UpdateLinea(int value)
{
    try
    {
        baseDatos = new BaseDatos("Server=(local);Database=127.0.0.1;User=root;Password=123456");
        int resultado = 0;
        resultado = baseDatos.executeStatement("UPDATE estación SET Estado = " + value + " WHERE idEstacion = 1");
        return resultado;
    }
    catch
    {
        return -1;
    }
}
```

Figura 5.5 Método para actualizar el campo de una tabla de la base de datos.

En el método se especifica el nombre de la base de datos que contiene la tabla y se actualizara el valor de uno de sus campos, además de especificar el nombre del host, el nombre del usuario y la contraseña para entablar la conexión. La base de datos se llama *invernadero* y el usuario *root* con su respectiva contraseña. La tabla se llama *estación* y el campo el cual se actualizara se encuentra en la columna llamada *Estado*, cuando el renglón de la columna *idEstacion* es igual a 1, de esta forma se sabe la ubicación exacta del campo a actualizar. La tabla *estación* se muestra en la figura 5.6.

idEstacion	Control	Estado
1	Home	0
2	Ciclo	0
3	Lamparas	1
4	Ventilación	1
5	APlanta1	0
6	APlanta2	0

Valor a actualizar

Figura 5.6 Tabla estación.

El valor a actualizar del campo mencionado de la columna Estado se establece desde la aplicación Android (valores de 0 o 1) y que mediante el método del servicio web se actualizara el campo de la tabla. El proceso mencionado permite la interacción entre la aplicación Android y la base de datos, que posteriormente lo hará con LabVIEW y el invernadero a través de las tablas. Para cada valor de la columna Estado hay un método web.

El servicio web cuenta con otros métodos los cuales se encargan de cargar los datos de los reportes del análisis de las plantas. Los reportes son generados en primera instancia por la aplicación LabVIEW en formato Excel.csv, el archivo es cargado a una tabla de la base de datos y posteriormente por un método del servicio web, el método es consumido por la aplicación Android y desplegado visualmente. Para cada planta se genere un reporte, por lo tanto hay seis archivos Excel, seis tablas en la base de datos y seis métodos web con este fin. En la figura 5.7 se muestra el método web del reporte de la planta 1.

```

[WebService(Description = "Regresa todos los registros de la tabla planta 1...")]
Namespace
<Imports DataSet=System.Data>
Public DataSet cargarPlanta1()
{
    BaseADO conexion = new BaseADO();
    DataSet tablaset = new DataSet();

    (conexion.cargarTodos("1"))

    tablaset.Tables.Add(conexion.tabla);
}
Else
{
    tablaset = null;
}
Return tablaset;
}
    
```

Figura 5.7 Método para cargar los registros del reporte de la planta 1.

El método mostrado en la figura 5.7 hace uso de las clases llamadas baseDAO y DataSet; la clase BaseDAO se conecta a la base de datos, proporcionando el nombre, el usuario, contraseña, servidor etc., además de realizar la consulta en SQL. La clase DataSet permite el almacén en memoria de los datos provenientes de las tablas de la base de datos, que serán consumidos del servicio web [36].

En el servicio web se almacenan las imágenes procesadas y no procesadas por el algoritmo para el procesamiento de imagen, permitiendo poder visualizarlas en la aplicación Android. LabVIEW almacena las imágenes en el servicio web publicado.

El código de tres métodos web y sus clases se encuentran en el Anexo D.

5.1.4 Publicación del servicio Web en IIS

El servicio web se publicó en el IIS (por sus siglas en inglés de Servicios de información de internet) del servidor, el servicio es instalado regularmente desde el propio sistema operativo, ya sea Windows XP, 7 u 8. El servicio web publicado en el servidor se llama Maestría como se puede observar en la figura 5.8.

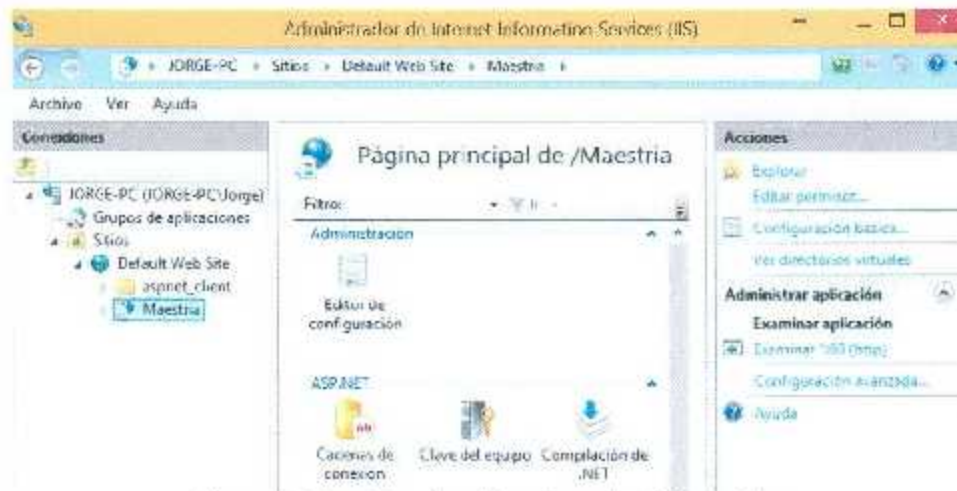


Figura 5.8 Servicio web publicado en el IIS del servidor.

Desde cualquier navegador web se puede tener acceso a los métodos del servicio web Maestría haciendo referencia al servidor, pero solo pueden ser consumidos por un dispositivo

Android con la aplicación desarrollada. En la figura 5.9 se muestran los métodos del servicio web en el navegador web del servidor.



Figura 5.9 Método del servicio web desde el navegador del servidor.

En la figura 5.10 se muestran los métodos desde el navegador de un dispositivo, teniendo acceso a través de la dirección IP del servidor en donde se encuentra el servicio web.

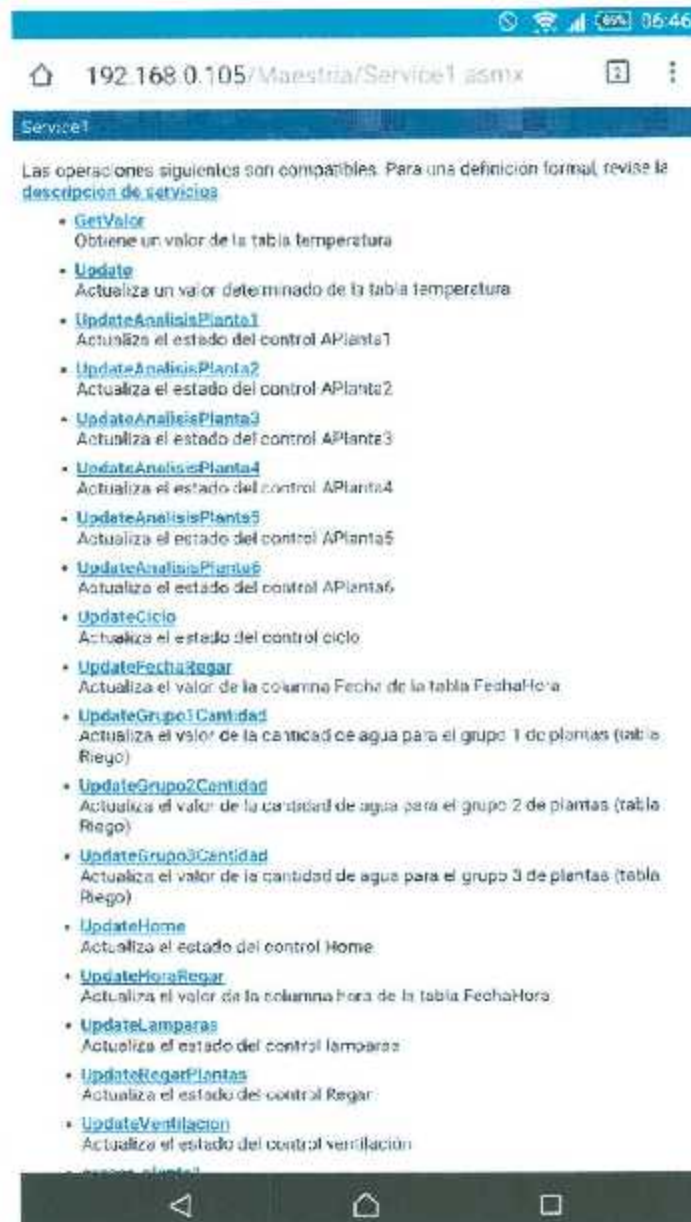


Figura 5.10 Métodos del servicio web desde el navegador de un dispositivo externo.

El servicio web puede ser consumido por la aplicación en el dispositivo Android que se encuentre conectado a la misma red de área local en la cual se encuentra conectado el servidor. El servicio web puede ser consumido a través de internet si se cuenta con un dominio en internet en donde se publique, los cuales son de paga.

CAPÍTULO 6

APLICACIÓN ANDROID

El capítulo trata aspectos referentes a la plataforma Android como sistema operativo y se muestra la aplicación Android desarrollada, la cual controla el invernadero y monitorea el estado de las plantas y variables dentro del invernadero. Se especifica las herramientas de software usadas para su desarrollo y sus principales características, además de la interacción con el servicio web. Se especifica la función de cada pantalla de la aplicación y la estructura de archivos que conforman al proyecto Android y la aplicación.

Para la elaboración de la aplicación Android se hizo uso del entorno de desarrollo integrado eclipse y la implementación del plugin *Android development tools* ADT. Eclipse se descarga desde el sitio web oficial de eclipse [37]. El plugin ADT se descarga desde el sitio oficial de Android Developers [38].

6.1 Android

Android es un sistema operativo y una plataforma de software basado en Linux, diseñado especialmente para dispositivos móviles con pantalla táctil como teléfonos inteligentes o *tablets*. Aunque también se pueden encontrar en reproductores de música, notebooks, PC, televisores, automóviles y más recientemente en relojes inteligentes.

Android fue desarrollado por la empresa Android Inc., la cual fue comprada por Google en el año 2005 después de un periodo de respaldo económico que esta le proporciono. Pero no fue hasta el año 2008 cuando la plataforma se popularizo debido a la unión con el proyecto de *Open Handset Alliance*, el cual es un consorcio formado por empresas de *software*, *hardware* y telecomunicaciones, los cuales promocionan el uso del software libre.

6.1.1 Arquitectura de Android

Dado que Android está basado en el núcleo de Linux, tiene acceso a sus recursos gracias al núcleo kernel sobre el cual trabaja, pudiendo con esto gestionar y acceder a recursos directos como controladores de pantalla, cámara, memoria flash etc. En la figura 6.1 se muestra la arquitectura del sistema operativo Android distribuida en cuatro capas [39].

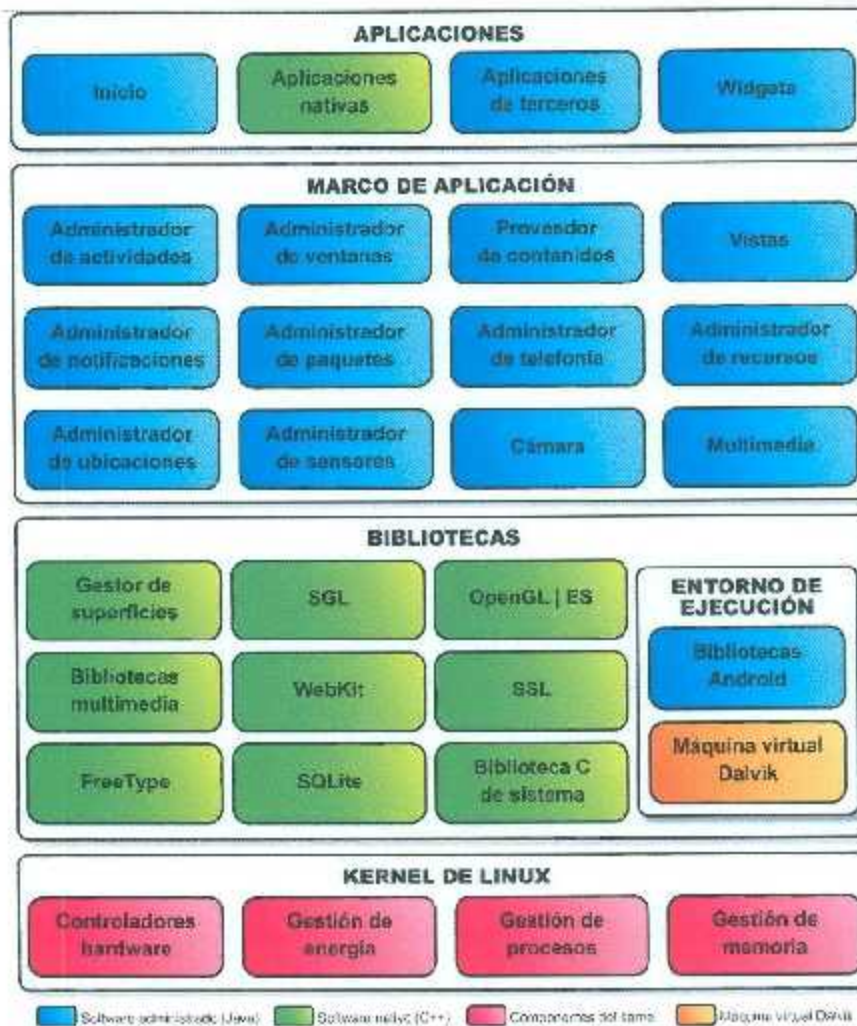


Figura 6.1 Capas de la arquitectura Android.

La primera capa es el referente al kernel de Linux o núcleo, en el cual se hace la gestión de la memoria y de procesos, a través del cual se tiene acceso a controladores, modelos de seguridad y pila de red del dispositivo. El núcleo actúa como capa de abstracción entre el *hardware* y el resto del *software*, permitiendo que se pueda acceder a componentes sin la

necesidad de conocer el modelo o característica en específico de un dispositivo. En la segunda capa se encuentran las bibliotecas nativas de Android, estas están escritas en C o C++ y compiladas para la arquitectura hardware específica del dispositivo Android, tareas que normalmente realiza el fabricante. En la tercera capa se encuentran los diferentes administradores de recursos en donde se encuentran todas las clases y recursos que utilizan directamente las aplicaciones para realizar sus funciones, la mayoría de componentes en este nivel son bibliotecas Java que acceden a recursos a través de la máquina virtual Dalvik y por último en la cuarta capa se encuentran las aplicaciones del dispositivo, tanto las que tienen interfaz de usuario como las que no, tanto las nativas (programadas en C o C++) como las administradas (programadas en Java) [39].

6.1.2 Versiones de Android

A cada versión de Android posterior a la 1.5 se le asocia con un nombre de un postre en inglés. El postre elegido empieza por una letra distinta siguiendo un orden alfabético. A continuación se listan las versiones a partir de la versión 1.5 [40]:

- Cupcake: Android Versión 1.5
- Donut: Android Versión 1.6
- Eclair: Android Versión 2.0 - 2.1
- Froyo: Android Versión 2.2
- Ginger Bread: Android Versión 2.3
- Honey Comb: Android Versión 3.0 – 3.1
- Ice Cream Sandwich: Android Versión 4.0
- Jelly Bean: Android Versión 4.1
- KitKat: Android Versión 4.4
- Lollipop: Android Versión 5.0 – 5.1

La aplicación Android desarrollada puede instalarse en dispositivos con versiones superiores a la 2.2 Froyo y hasta la última versión 5.1 Lollipop, lo cual corresponde al 99% de dispositivos Android en el mercado según el sitio oficial de Android [41]. En la tabla 6.1 se muestra el uso de versiones Android.

Tabla 6.1 Uso de versiones Android según google play store [41].

Version	Codename	API	Distribution
2.2	Froyo	8	0.3%
2.3.3 - 2.3.7	Gingerbread	10	5.6%
4.0.3 - 4.0.4	Ice Cream Sandwich	15	5.1%
4.1.x	Jelly Bean	16	14.7%
4.2.x		17	17.5%
4.3		18	5.2%
4.4	KitKat	19	39.2%
5.0	Lollipop	21	11.6%
5.1		22	0.8%

Los datos de la tabla 6.1 corresponden a datos obtenidos en junio del 2015 a través de servicio google play store y no incluye versiones con uso menores al 0.1%. Para el año 2013 las versiones anteriores de Android 2.2 representaron alrededor del 1 % de los dispositivos que se comprueban en los servidores de Google [41].

6.2 Eclipse

Eclipse es un entorno de desarrollo integrado o IDE por sus siglas en inglés de *Integrated Development Environment*, es particularmente conocido por su uso del lenguaje Java, aunque también soporta C/C++ y PHP. El IDE eclipse cuenta con una gran cantidad de paquetes que amplían las herramientas y posibilidades, eclipse cuenta con una gran versatilidad para su modificación de entorno de trabajo y el anexo de extensiones. Esta plataforma ofrece un conjunto de herramientas de programación que es de código abierto y multiplataforma [42].

Eclipse fue desarrollado originalmente por IBM y actualmente es administrado por *Eclipse Foundation*, la cual es una organización independiente sin ánimo de lucro la cual fomenta una comunidad de código abierto y ofrece complementos, servicios y capacitaciones.

6.3 Android development tools

El IDE eclipse permite integrar herramientas para el desarrollo de aplicaciones Android, mediante el *plugin* ADT. Un *plugin* es un componente de software que permite agregar características a un software ya existente, en este caso eclipse. El *plugin* ADT modifica el entorno eclipse permitiendo el acceso a herramientas para el desarrollo de aplicaciones Android, agregando librerías basadas en los diferentes *frameworks* API de Android, además de permitir depurar y simular amigablemente las aplicaciones en desarrollo utilizando las herramientas proporcionadas por el kit de desarrollo de software (SDK) [43].

6.4 Creación de un proyecto Android

El IDE eclipse con el ADT permite crear un proyecto Android al cual se le asignan requisitos necesarios para dar comienzo al desarrollo de la aplicación, los datos proporcionados servirán como punto de partida para el desarrollo de la aplicación y permitirán configurar automáticamente el ambiente para el desarrollo de la aplicación, creando archivos, carpetas y direcciones necesarias. En la figura 6.2 se muestran las ventanas para crear una aplicación Android, con las cuales se asignan los atributos con los que se reconocerá, información como el nombre de la aplicación, el nombre del proyecto, el nombre del paquete, la ubicación del proyecto, el target SDK son asignados, además de especificar el nombre de la actividad y el layout con las que se partirá, estos dos últimos son de vital importancia para conocer la estructura básica de una aplicación Android.

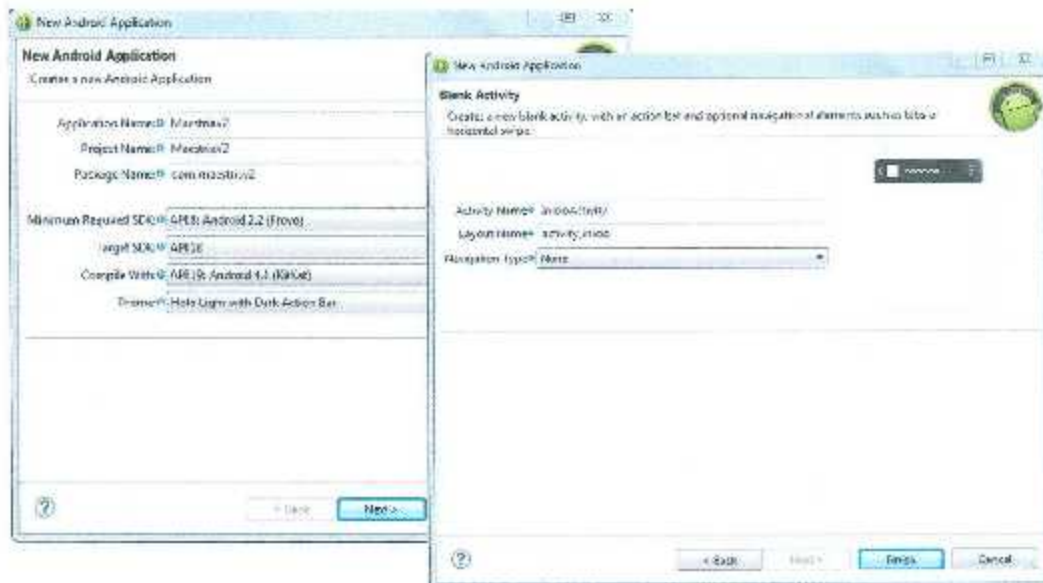


Figura 6.2 Creación de proyecto Android.

6.5 Estructura del proyecto Android

Al crear un proyecto Android se generan los archivos fuente y el espacio en memoria para agregar recursos audiovisuales, de texto u otro tipo de recursos que consumirá la aplicación, además de la inclusión de librerías que agregaran funciones específicas en base a las necesidades de la aplicación. Comúnmente las aplicaciones Android hacen uso de características propias de un dispositivo celular inteligente como lo es el acceso a mensajes, hacer uso de bocinas, bluetooth, ubicación, acceso a internet etc., para dar los permisos necesarios se hace uso de un manifiesto Android, el cual es un archivo XML llamado AndroidManifest, este y archivo otros son generados al crear un proyecto Android y forman parte de la estructura básica de un proyecto Android, que en conjunto forman un ecosistema que facilita la creación de la aplicación. En la figura 6.3 se muestra el explorador del proyecto para la aplicación Android, en los cuales se encuentran todos los recursos, librerías, referencias, permisos etc. de la aplicación desarrollada.



Figura 6.3 Explorador del proyecto de la aplicación.

La aplicación Android se comunica exclusivamente con el servicio web, y por lo tanto debe haber una componente que permita la interacción entre ambas partes. Para lograr esta comunicación entre la aplicación Android y el servicio web desarrollado en Visual Studio se utilizó un conector, el cual es una librería.jar llamada ksoap2. La librería correspondiente a la versión 2.1.2 se muestra en la figura 6.4 y se puede descargar desde el sitio koslan [44].



Figura 6.4 Librería ksoap2.jar.

Si existe una interacción con algún componente o proceso dentro de la aplicación Android que busque consumir un método web del servicio web, será posible gracias a la librería ksoap2.

Una aplicación Android se maneja bajo el principio de pantallas, cada pantalla tiene una función específica o despliega cierta información, a las pantallas también se le conocen como actividades y son las partes más prominentes y comunes dentro de una aplicación Android.

6.5.1 Actividades de la aplicación Android.

Las actividades son la parte con la que el usuario interactúa y consume información, tienen forma de ventana que ocupa generalmente toda la pantalla del celular, es por esto que a las

actividades también se les conocen como pantallas. Las actividades interactúan con el usuario a través de controles visuales que al ser presionados ejecutan una función o te dirigen a otra actividad (o ambas). Por lo tanto cada pantalla visual que tiene una aplicación, es una actividad dentro de la aplicación Android.

Una actividad está conformada básicamente por dos partes, una es la parte lógica la cual está descrita por un archivo en lenguaje java y una parte gráfica descrita en un archivo en lenguaje XML. La parte lógica se encarga de ejecutar los procesos internos de la aplicación, define la función de cada actividad de la aplicación interactuando con componentes (gráficos o no gráficos), la parte gráfica es la forma visual de los componentes denominados generalmente vistas, es el diseño y aspecto visual de una actividad. Dentro de una actividad hay una interacción constante entre un componente visual y la función que ejecuta. La parte gráfica consta de un archivo.xml en el cual se encuentran todos los elementos que se ven en una pantalla como lo son botones, imágenes, tablas, menús, cuadros de texto etc., están declarados o etiquetados para que el código en java (la parte lógica) pueda encontrarlos y manipularlos. Por lo general para cada parte lógica hay una parte gráfica.

El proyecto Android creado tiene como nombre MaestriaV2 y el nombre de la aplicación es Invernadero. La aplicación cuenta con 18 actividades, es decir 18 archivos JAVA y 18 archivos XML. Los archivos se pueden localizar en el explorador de paquetes de la aplicación, como se muestran en la figura 6.5.

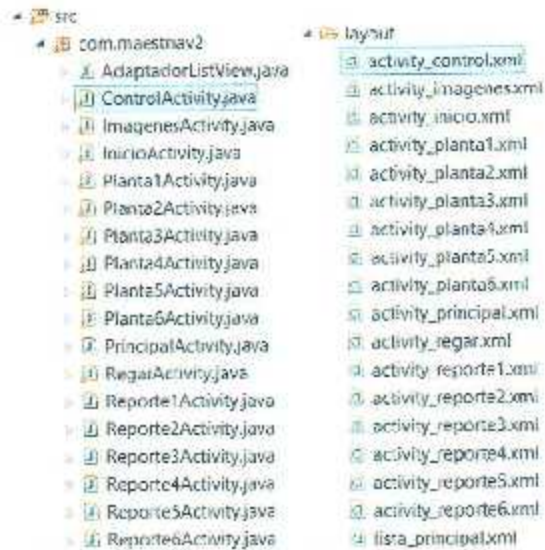


Figura 6.5 Archivo JAVA y XML de las actividades del proyecto maestriaV2.

Dentro de la estructura del proyecto, los archivos que definen a las actividades en su forma lógica y gráfica se encuentran en diferentes contenedores. Los archivos java de las actividades se encuentran en la carpeta *src (source)*, dentro del paquete *com.maestriav2*, mientras que los archivos XML se encuentran en la carpeta *res (resource)*, dentro de la carpeta *layout*.

6.5.2 Relación entre archivos Java y XML

Para observar la relación entre los dos archivos se ejemplifica con el funcionamiento de un botón en la aplicación Android. Un botón visualmente está definido por un fragmento de código en XML llamado *vista*, la *vista* cuenta con diferentes parámetros que determinan el aspecto físico del botón y aspectos de identificación, es decir los parámetros determinan el tamaño del botón, el tamaño de la fuente si es que el botón cuenta con texto, el color de la fuente, espacios entre otras vistas, permite asignarle un nombre identificador a la vista, etc. El aspecto visual de un botón y su código en XML se muestra en la figura 6.6.

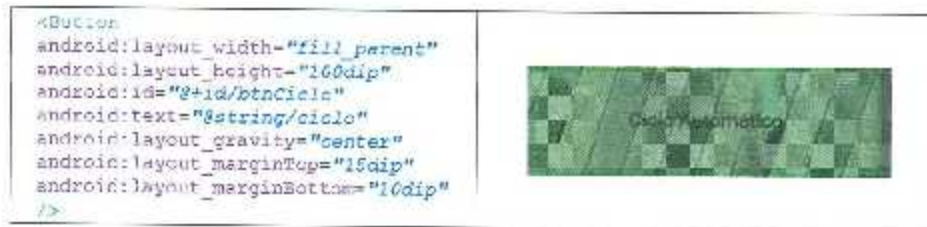


Figura 6.6 Código XML de un botón (visual).

En la clase Java se hace relación entre la variable botón que se usara en el código en Java con el botón visual en XML, como se aprecia en la siguiente línea de código en Java:

```
btnCiclo = (Button) findViewById(R.id.btnCiclo);
```

Cuando se da un toque al botón se ejecuta una función determinado por la clase Java en el apartado del botón. En particular si se presiona el botón *btnCiclo*, el invernadero comenzara a realizar un ciclo automático para el análisis de las seis plantas, para lograrlo se hace un llamado al servicio web y se consume un método web en particular. Para consumir el método web se especifica la URL, el nombre del método que se consumirá, el *namespace* al que pertenece el método entre otros aspectos, las variables para la conexión al método web que se consume al presionar el botón *btnCiclo* se muestra en el siguiente fragmento de código en Java:

```

private static String resCiclo;
private static String NAMESPACECICLO = "http://tempuri.org/";
private static String URLCICLO = "http://192.168.1.1/Maestria/Service1.asmx";
private static String METHOD_NAME_CICLO = "UpdateCiclo";
private static String SOAP_ACTION_CICLO = "http://tempuri.org/UpdateCiclo";
                    
```

El método web modificara un valor en específico en una tabla de la base de datos, que será traducido por la aplicación LabVIEW para el comienzo del análisis de las seis plantas.

6.6 Aplicación Android invernadero

La aplicación fue diseñada específicamente para interactuar con la aplicación LabVIEW a través del servicio web y la base de datos encontrados en el servidor. El aspecto visual de cada pantalla de la aplicación es consistente, y se especifica mediante texto las posibles funciones a ejecutar al seleccionar alguna opción. La aplicación se diseñó para que su uso resulte intuitivo, funciones comunes como regresar a la pantalla anterior, información de la aplicación y gestos con la

pantalla touch fueron se utilizan, además del uso de iconos, imágenes (colecciones de imágenes) y tablas para mostrar la información de forma amigable.

6.6.1 Pantalla de Inicio

La aplicación Invernadero inicia con una pantalla de presentación al proyecto, la cual cuenta con información en texto, un botón y una colección de imágenes. En la figura 6.7 se muestra la pantalla de inicio de la aplicación, desplegándose cada vez que se abra la aplicación. La visualización de la pantalla se permite en modo vertical y horizontal. La pantalla de presentación muestra información básica respecto del proyecto de tesis tales como el nombre del proyecto, quien elaboro la aplicación Android y el nombre del asesor. Cuenta además con el despliegue de una colección de imágenes que se deslizan de derecha a izquierda mediante un toque de forma horizontal sobre las imágenes, las imágenes dan una visión general del aspecto del invernadero.



Figura 6.7 Pantalla de inicio de la aplicación.

En la parte central de la pantalla se encuentra el botón de inicio, con aspecto cuadrado y con una imagen/icono tipo casa. El botón tiene dos funciones, la primera es abrir y desplegar otra pantalla con un menú de opciones, la segunda función del botón es mandar a home el posicionador mecánico del invernadero, con el fin de tener una referencia de posición para el inicio de movimientos, como ya se mencionó anteriormente no se cuenta con una retroalimentación para conocer la posición exacta en donde se encuentra el posicionador mecánico, siendo un sistema de lazo abierto, por lo tanto es necesario una referencia de partida, siendo la posición home. Cabe mencionar que el botón se incorporó como método de seguridad por si es necesaria la referencia de posición, si la aplicación LabVIEW se encuentra en ejecución quiere decir que el posicionador mecánico ya tiene una referencia de posición y no es necesario mandar a home, siendo este el caso más habitual al tener en cuenta que la aplicación LabVIEW junto con los demás programas en el servidor se deben encontrar siempre en ejecución. Si en cualquier momento durante el uso de la aplicación se regresa a la pantalla de inicio y se presiona el botón de inicio, no ocurrirá movimiento alguno y solo se limitara nuevamente a dar inicio a las opciones con las que cuenta la aplicación.

6.6.2 Pantalla menú principal.

La pantalla despliega un menú con las principales funciones que se pueden realizar para el control y monitoreo del invernadero, el menú se visualiza en forma de listado y cuenta con un icono por ítem. En la figura 6.8 se muestra el aspecto de la pantalla principal y las nueve opciones listadas del menú de selección. Por medio de esta actividad se tiene acceso a todas las opciones posibles que se tiene en la aplicación.



Figura 6.8 Pantalla menú principal.

Al seleccionar la primera opción llamada Control de la estación se despliega una pantalla que contiene los controles básicos para el control del invernadero, tales como el control de iluminación y ventilación, realizar ciclo de análisis y toma de lecturas de temperatura y humedad.

La segunda opción llamada “Planta 1: Análisis y Reporte” al ser seleccionada despliega una pantalla referente solamente a la planta 1 que se encuentra dentro del invernadero, donde podremos analizar la planta, observar el reporte del historial de análisis de la planta y visualizar imágenes de la planta.

De la tercer opción del menú llamada “Planta 2: Análisis y Reporte” hasta la opción 7 del menú llamada “Planta 6: Análisis y Reporte”, corresponden a opciones que desplegaran pantallas similares a la segunda opción pero referentes a las otras plantas que se encuentran dentro del invernadero.

La opción “Regar plantas” al ser seleccionada despliega una pantalla que permite el riego de las seis plantas, estableciendo instrucciones y parámetros para realizarlo.

La última opción llamada “Galería: Imágenes de análisis” despliega una pantalla donde se puede encontrar doce imágenes con vista aérea de las seis plantas, seis imágenes normales y seis imágenes de estas ya procesadas por el algoritmo de análisis.

En la parte superior izquierda de la pantalla al lado izquierdo del nombre de la aplicación “Invernadero” se encuentra la opción de regresar a la pantalla anterior, la opción se representa por una flecha en color gris que apunta hacia la izquierda. En la parte superior derecha se encuentra un icono de información de la aplicación, al presionar la opción se despliega la información de la aplicación. La barra superior se encuentra en casi todas las pantallas, excepto en la pantalla de inicio. En la figura 6.9 se muestra la barra superior.



Figura 6.9 Barra superior de las pantallas.

Cada opción del listado del menú permite el gesto de mantener toque, el cual consiste en mantener presionada la opción durante un instante, si se realiza el gesto se despliega un mensaje de descripción referente a la opción presionada. En la parte inferior de esta pantalla se encuentra un texto, que hace saber esta característica. En la figura 6.10 se muestra la pantalla principal mostrando los mensajes de descripción.



Figura 6.10 Descripción de opciones.

6.6.3 Pantalla control de estación

La pantalla permite el control de encendido y apagado de los seis focos para la iluminación del invernadero y los cuatro ventiladores, además permite realizar un ciclo automático para el análisis de las seis plantas y mandar al posicionado mecánico a home. También permite obtener las lecturas de los sensores de temperatura ambiente y humedad relativa del invernadero. En la

figura 6.11 se muestra el aspecto visual de esta pantalla, además del cambio visual de las imágenes.

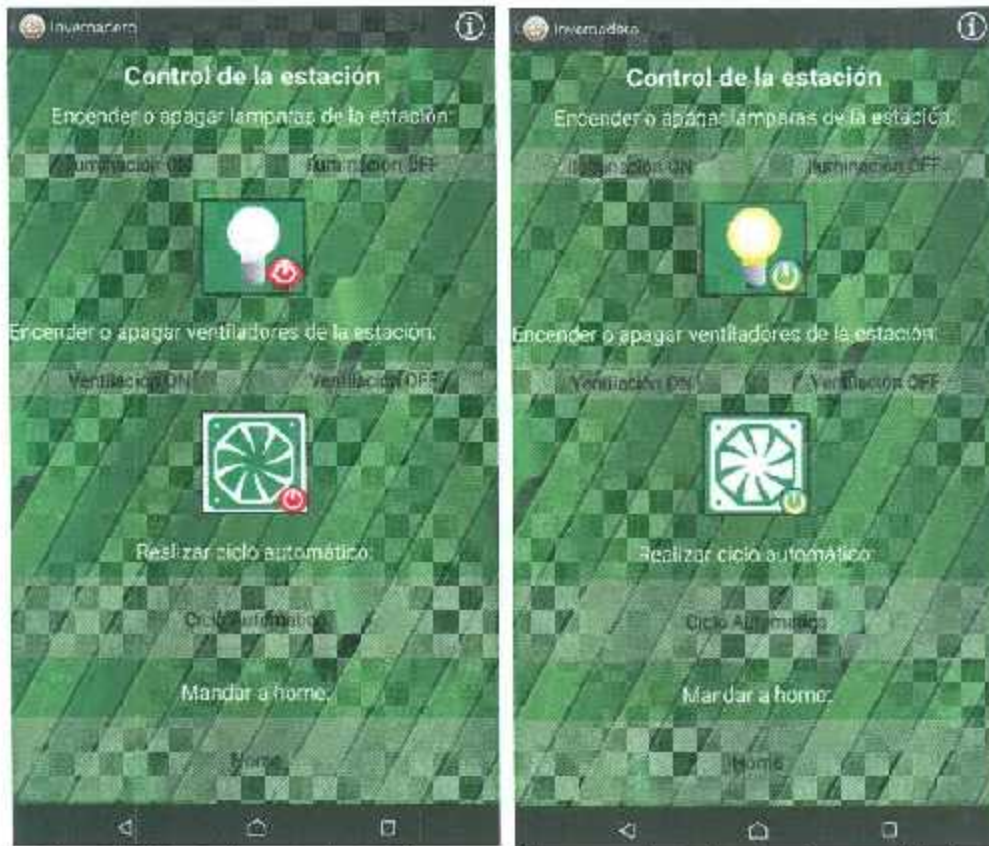


Figura 6.11 Pantalla control estación, encendido y apagado de iluminación y ventilación.

Deslizando la pantalla hacia abajo se observa el apartado de toma de lecturas para los sensores de temperatura ambiental y humedad relativa. Esto se muestra en la figura 6.12.



Figura 6.12 Toma de lectura de temperatura y humedad relativa.

6.6.4 Pantalla Planta: Análisis y Reporte

Hay un total de seis pantallas similares en aspecto visual, donde cada una de las pantallas corresponde a una planta en particular. En cada pantalla lleva la planta a la que se refiere, se especifican las dimensiones de la maceta que contiene a la planta y la ubicación de esta dentro del invernadero. La pantalla correspondiente a la “planta 1: Análisis y Reporte” se muestra en la figura 6.13.

Esta pantalla permite analizar solamente la planta en cuestión, permite además el despliegue de otra pantalla con el historial de análisis de la planta en forma de reporte.

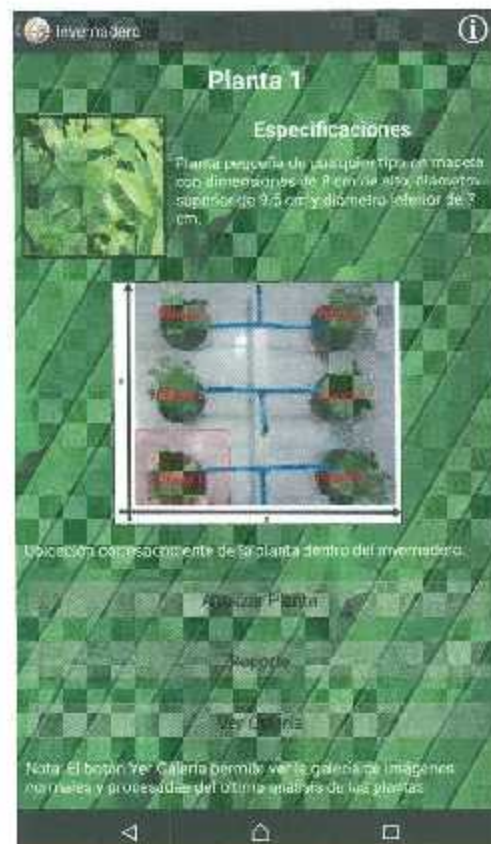


Figura 6.13 Pantalla “Planta 1: Análisis y Reporte”.

El botón “Ver Galería” al ser presionado despliega una pantalla que contiene una galería de imágenes normales y procesadas del último análisis de las plantas realizado, esta pantalla que contenga la galería de imágenes se puede acceder también desde la pantalla menú principal. En la figura 6.14 se muestran las pantallas de la planta 2, 3, 4, 5 y 6.



Figura 6.14 Pantalla para acciones por planta.

En el Anexo E se muestra el código Java y XML de la pantalla con diseño y funciones mas común de la aplicación Android, la cual es la pantalla para el analisis de una planta. En particular se muestra el código referente a la planta 1.

6.6.5 Pantalla reporte del historial de análisis

La pantalla reporte muestra en forma de tabla el historial de análisis de cada planta, los datos que conforman al reporte se cargan desde el servicio web que a su vez se conecta a la base de datos y extrae los datos de una tabla en particular, la tabla obtiene los datos de un archivo Excel.csv creado en la aplicación LabVIEW. En la figura 6.15 se muestra el momento en el que se despliega un diálogo con la etiqueta de cargando datos, para que posteriormente se muestre el reporte de la planta. La pantalla reporte solo se puede visualizar en posición horizontal para que todas las columnas de la tabla logren verse adecuadamente, el cambio de posición de visualización de vertical a horizontal se hace automáticamente.



Figura 6.15 Pantalla reporte al cargar los datos.

Si el servidor no se encuentra funcionando, la tabla no se generará. En la figura 6.16 se muestran las pantallas de los reportes de las seis plantas una vez que los datos han sido cargados correctamente. La tabla generada cuenta con 8 columnas correspondientes a la fecha y hora (en el mismo campo), temperatura ambiente, humedad relativa, temperatura objeto, humedad suelo, porcentaje en estado bueno de la planta, porcentaje en estado malo de la planta y total de píxeles analizados.

Reporte planta 1							
Fecha	TempA	HR	TempO	HS	%Bueno	%Malo	TP
19/03/201 5 17:08	30.32	35.75	25.2	28	95.26	4.74	27546
19/03/201 5 17:29	30.86	35.29	25.5	28	97.2	2.8	35476
20/03/201 5 00:04	25.92	44.01	23.3	275	95.46	4.54	27853
20/03/201 5 05:04	25.02	44.24	22	264	96.53	3.47	28092
20/03/201 5 13:20	26.9	39.55	24.7	281	97.32	2.68	36731
20/03/201 5 15:04	31.15	36.53	25	273	93.51	6.49	25953
20/03/201							25952

Reporte planta 2							
Fecha	TempA	HR	TempO	HS	%Bueno	%Malo	TP
02/04/201 5 3:05:58	29.73	30.79	26.40	787.00	97.98	2.02	22026.00
02/04/201 5 3:17:52	31.64	28.55	26.00	787.00	90.70	9.30	17908.00
02/04/201 5 6:06:00	29.14	31.33	25.00	785.00	98.03	1.97	22538.00
02/04/201 5 6:17:55	31.03	29.09	26.00	784.00	91.09	8.91	17918.00
02/04/201 5 9:05:59	32.20	27.17	26.80	785.00	85.66	14.34	15680.00
02/04/201 5 9:17:53	32.05	27.03	26.00	785.00	87.09	12.91	16404.00
02/04/201							17838.00

Reporte planta 3							
Fecha	TempA	HR	TempO	HS	%Bueno	%Malo	TP
07/04/201 5 6:17:56	33.18	29.44	28.50	60.80	87.99	12.01	18457.00
07/04/201 5 9:05:59	34.86	27.63	29.00	64.00	97.79	2.21	27217.00
07/04/201 5 9:17:54	34.69	28.13	29.10	63.30	94.68	5.32	22636.00
07/04/201 5 12:05:59	35.52	27.67	29.00	63.00	95.82	4.18	25796.00
07/04/201 5 12:17:54	35.33	28.04	29.00	67.00	94.67	5.13	25887.00
07/04/201 5 15:55:05	35.28	28.10	30.00	81.50	98.04	1.96	29979.00
07/04/201							23710.00

Reporte planta 4

Fecha	TempA	HR	TempO	HS	%Bueno	%Malo	TP
31/03/2015 16:00:25	33.05	29.29	28.90	557.00	97.29	2.71	59473.00
31/03/2015 16:24:47	34.28	28.09	29.00	755.00	97.46	2.54	62783.00
31/03/2015 18:10:02	35.99	24.14	29.00	754.00	98.39	1.61	69037.00
31/03/2015 18:21:57	36.01	24.41	29.00	755.00	97.85	2.15	56517.00
31/03/2015 21:10:01	33.42	26.11	28.00	740.00	98.91	1.09	73167.00
31/03/2015 21:21:55	34.37	25.56	29.00	738.00	97.66	2.34	58653.00
01/04/2015							65455.00

Reporte planta 5

Fecha	TempA	HR	TempO	HS	%Bueno	%Malo	TP
10/04/2015 15:22:59	36.06	28.13	30.00	47.00	99.15	0.85	78284.00
10/04/2015 18:11:01	36.40	26.01	31.00	37.00	99.27	0.73	70638.00
10/04/2015 18:22:58	36.62	26.89	31.00	35.00	99.13	0.87	70986.00
10/04/2015 21:11:03	33.62	29.92	30.00	45.50	98.94	1.06	46549.00
10/04/2015 21:23:01	34.62	29.88	30.30	37.80	99.09	0.91	65155.00
11/04/2015 3:11:01	31.91	35.06	28.00	47.30	98.90	1.10	55038.00
11/04/2015							39811.00

Reporte planta 6

Fecha	TempA	HR	TempO	HS	%Bueno	%Malo	TP
14/04/2015 09:12	30.3	31.07	26	2.4	32.36	67.64	5801
14/04/2015 09:24	30.32	30.95	26.2	0.7	34.38	65.62	3711
14/04/2015 12:12	31.73	30.5	27.2	1.1	34.35	65.65	6297
14/04/2015 12:24	31.36	30.16	27.34	1.7	35.24	64.76	3996
14/04/2015 15:11	32	29.45	28	1.2	29.24	70.76	7267
14/04/2015 15:23	33.05	29.68	28.4	1.3	34.95	65.05	3594
14/04/2015							3417

Figura 6.16 Pantallas de los reportes de las plantas.

6.6.6 Pantalla de riego

La pantalla permite establecer los parámetros para el regado de las seis plantas del invernadero a través de las tres secciones de riego, permite determinar cantidades de agua a suministrar y el momento en el que se regaran. En la figura 6.17 se muestra el aspecto visual de la pantalla para el regado de las plantas.



Figura 6.17 Pantalla para el regado de plantas.

La pantalla cuenta con una imagen que permite conocer la distribución de las plantas en el invernadero. La cantidad de agua se especifica en mililitros y será suministrada a las dos plantas que conforman la sección. Permite además establecer el día y la hora en que se realizara el regado de las plantas (se ejecutara el día y la hora que marca el servidor, ya que la aplicación LabVIEW es la encargada de obtener las condiciones establecidas en la aplicación Android). La fecha al igual que la hora escritos en sus cajas de texto solo soportan el formato fecha (dd/mm/yyyy) y hora (hh:mm:ss), si se trata de poner otro carácter diferente, la aplicación no lo

permite. Al presionar el botón de establecer los parámetros de riego se despliega un diálogo con la leyenda "Estableciendo datos..." como se muestra en la figura 6.18.



Figura 6.18 Dialogo estableciendo datos de regado.

Si los parámetros son establecidos y mandados correctamente a la base de datos con la ayuda del servicio web, el dialogo se quitara. Si la comunicación no se logró debido a un error de conexión, se desplegara otro dialogo con la leyenda "No conexión, valores no establecidos", esto se puede apreciar en la figura 6.19.



Figura 6.19 Dialogo al no haber conexión con el servidor.

6.6.7 Pantalla galería de imágenes

La pantalla despliega una colección de imágenes de las seis plantas, la cual nos permite observar las imágenes obtenidas en el último análisis realizado. Las imágenes se consumen del servicio web, las cuales son creadas en Matlab cuando se ejecuta el algoritmo de procesamiento de imagen. La pantalla se puede visualizar en forma vertical u horizontal. En las figuras 6.20, 6.21 y 6.22 se muestran el aspecto visual de la pantalla, las tres figuras corresponden a la misma pantalla de galería de imágenes.

En cada posición correspondiente a una planta se puede visualizar la imagen normal y la imagen procesada, logrando esto mediante el desliz del dedo hacia la izquierda o derecha para cambiar de imagen.

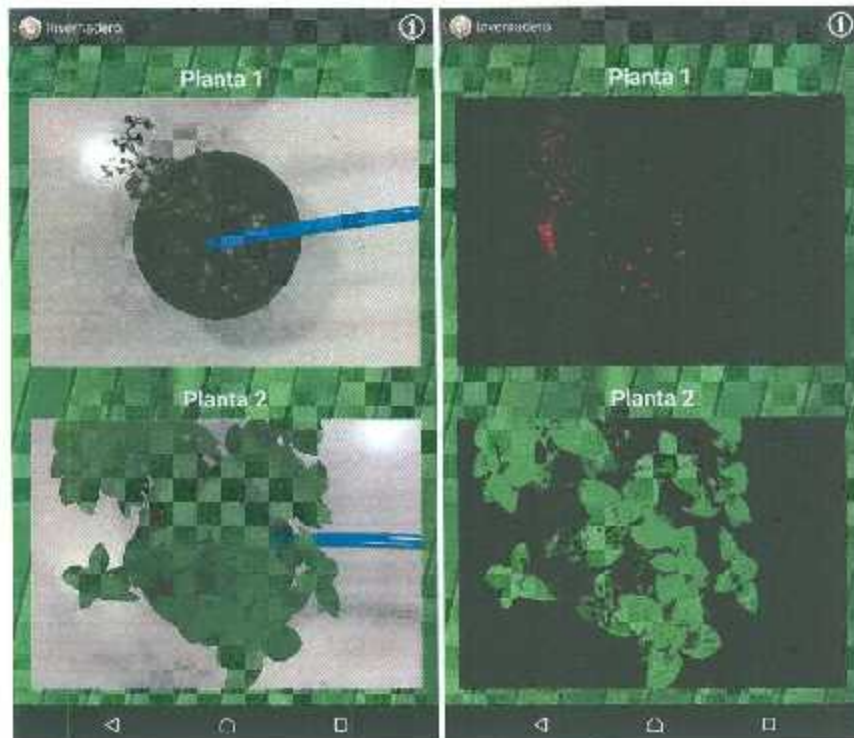


Figura 6.20 Pantalla galería de imágenes (planta 1 y planta 2).

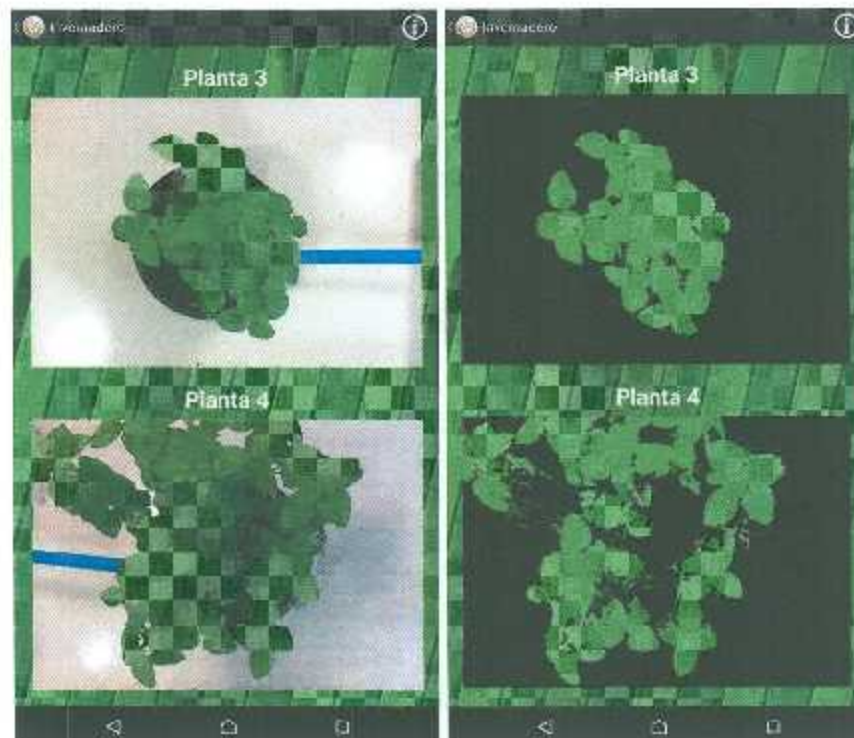


Figura 6.21 Pantalla galería de imágenes (planta 3 y planta 4).

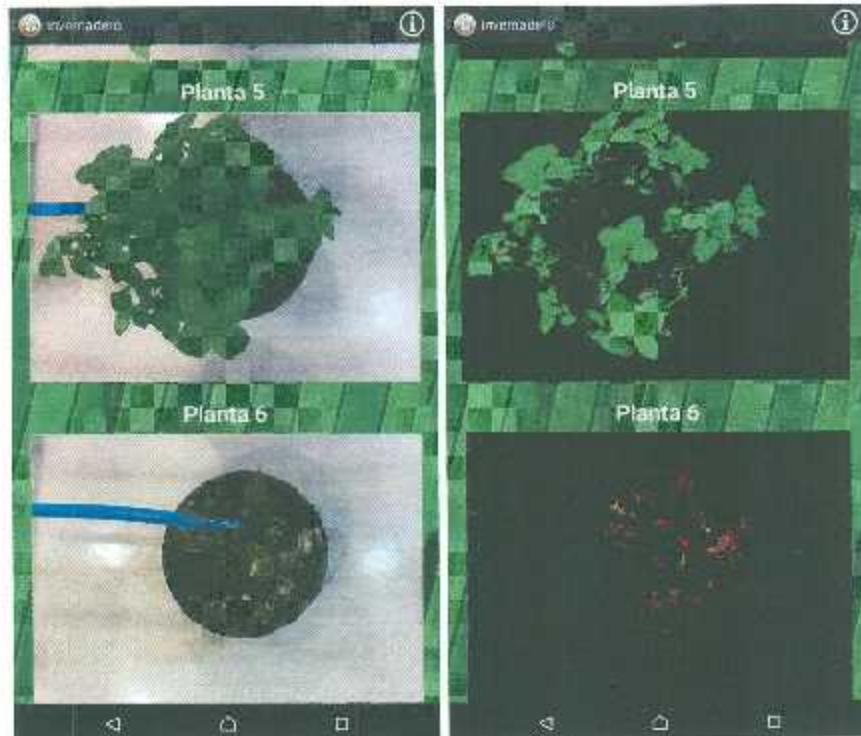


Figura 6.22 Pantalla galería de imágenes (planta 5 y planta 6).

CAPITULO 7

APLICACIÓN LABVIEW

A lo largo del capítulo se tratan aspectos referentes a la plataforma de desarrollo visual LabVIEW y la aplicación desarrollada. El invernadero se conforma por tres sistemas, los cuales determinan las características y funciones que esta posee, cada sistema es controlado por una tarjeta Arduino, las cuales interactúan con la aplicación LabVIEW. La aplicación interactúa directamente con la base de datos del invernadero, y al igual que la base de datos la aplicación LabVIEW es almacenada y ejecutada por el servidor. A través de la modificación de la base de datos hay un intercambio de información entre la aplicación Android y la aplicación LabVIEW.

7.1 Plataforma LabVIEW

LabVIEW es una plataforma que integra herramientas para el desarrollo de sistemas de medición y control, haciendo uso de un lenguaje de programación gráfico conocido como lenguaje G. LabVIEW está orientado a desarrollar aplicaciones para instrumentación que integra una serie de librerías para comunicación con instrumentos electrónicos como GPIB, RS232 o RS485 con tarjetas de adquisición de datos, sistemas de adquisición y acondicionamiento como VXI o SCXI, comunicación en redes TCP/IP, UDP o en estándares de software COM, OLE, DDE, DLI, o ActiveX para Windows, así como AppleEvents para MacOS o PIPE para UNIX [45].

LabVIEW fue creado por National Instruments en el año de 1976 para funcionar sobre máquinas con MacOS, saliendo al mercado hasta el año 1986. Actualmente se encuentra disponible en Windows, MAC, UNIX y GNU/Linux.

7.1.1 Funcionamiento de la plataforma LabVIEW

Los programas realizados 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. Los VIs cuentan con funciones encontradas regularmente en lenguajes de programación convencionales, funciones como while, for, switch cases entre muchos otros tienen su representación gráfica y su forma específica de empleo, las funciones permiten el desarrollo lógico y delimitan el funcionamiento de un instrumento virtual, como lo hiciera un lenguaje de programación convencional. Todo VI tiene una estructura modular y hereditaria que permite realizar programas por niveles o hacer programas con otros programas. 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 y facilitar el entendimiento de un programa complicado, 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 gráfica a un determinado problema de programación, el diagrama de bloques es código fuente de un VI. En la tabla 7.1 se expresa en resumen las dos partes que conforman un instrumento virtual.

Tabla 7.1. Función del panel frontal y diagrama de bloques de un instrumento virtual.

Panel frontal	Diagrama de bloques
En él se diseña la interfaz con el usuario.	Se relacionan los elementos utilizados en la interfaz mediante operaciones que determinan en sí cómo funciona el programa o el sistema, es la parte donde se ejecutan las instrucciones.

En la figura 7.1 se muestra el panel de control y su diagrama de bloques.

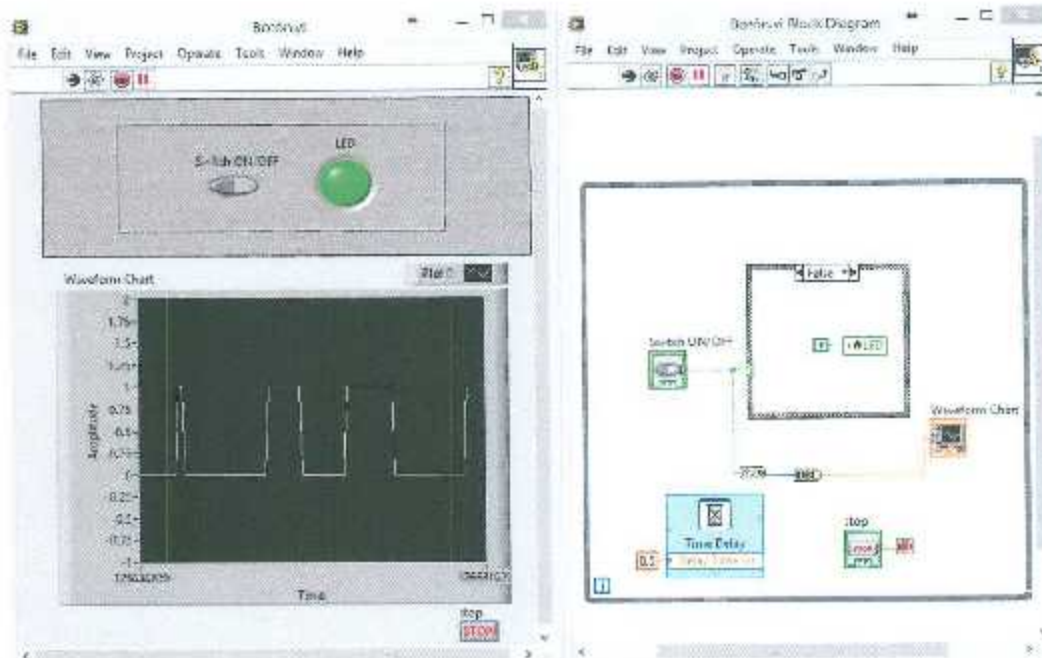


Figura 7.1 Instrumento virtual: panel frontal y diagrama de bloques.

Tanto la ventana panel de control como la del diagrama de bloques cuentan con paletas para su manipulación en tiempo de desarrollo. La paleta de controles mostrada en la figura 7.2 inciso a contiene los componentes visuales que permitirán la interacción entre el usuario y el VI. En la figura 7.2 inciso b se muestra la paleta de funciones en donde se encuentran las herramientas y estructuras que permitirán generar el código fuente en lenguaje G.

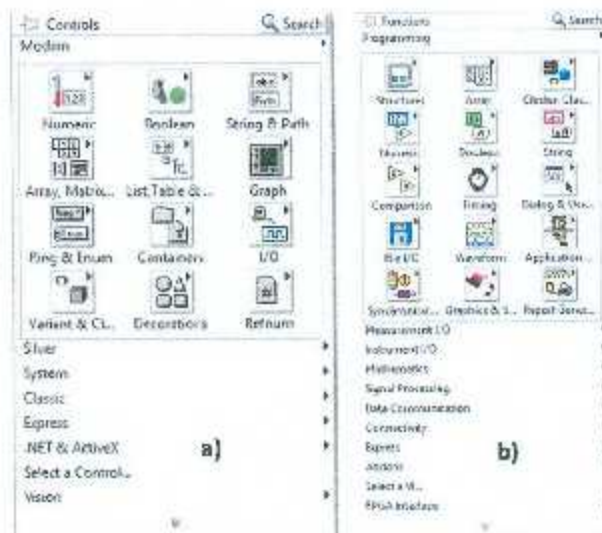


Figura 7.2 a) Paleta de controles, b) Paleta de funciones.

LabVIEW al programarse en un lenguaje gráfico ofrece una paleta de herramientas que facilita la interacción con todos los componentes, funciones gráficas y los controles, la paleta de herramientas se muestra en la figura 7.3.



Figura 7.3 Paleta de herramientas.

La paleta de herramientas permite editar y depurar los objetos tanto del panel frontal como del diagrama de bloques.

7.1.2 Complementos para 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 [46].

Para el desarrollo de la aplicación LabVIEW se hizo uso de los complementos llamados LabVIEW MathScript RT module [47] y LabVIEW Database Connectivity Toolkit [48].

7.1.3 Módulo LabVIEW MathScript RT

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 píxeles 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. En la

figura 7.4 se muestra el nodo Matlab script el cual permite realizar una interfaz directa con Matlab.

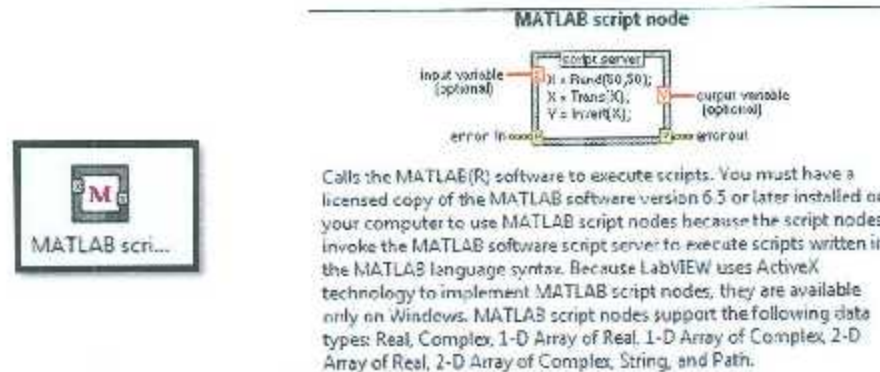


Figura 7.4 MATLAB script node.

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; ambos se encuentran instalados en el servidor.

7.1.4 LabVIEW Database Connectivity Toolkit

Para lograr la conexión y la manipulación de las tablas de la base de datos en MySQL, se hace uso del complemento llamado LabVIEW Database Connectivity Toolkit, el cual permite realizar conexiones rápidas a base de datos locales o remotos. El complemento cuenta con funciones avanzadas para el manejo de la base de datos, permitiendo el uso de consultas en lenguaje SQL. El toolkit necesita el driver ODBC con el cual se realiza la conexión al servidor MySQL del proyecto, el cual se descarga desde la página oficial de MySQL. [49]. En la figura 7.5 se muestra la paleta de VIs principal para el manejo y administración de una base de datos.



Figura 7.5 Paleta Database.

La aplicación LabVIEW no crea o elimina tablas de la base de datos ni agrega renglones o columnas, las cuales ya están establecidas. La aplicación LabVIEW se limita a consumir y modificar datos en campos ya establecidos de determinadas tablas. El consumo y modificación de datos en campos específicos se realiza mediante el envío de cadenas de caracteres en lenguaje SQL a la base de datos, a través de VIs que se encuentran en la paleta *Advanced* que se muestra en la figura 7.6.

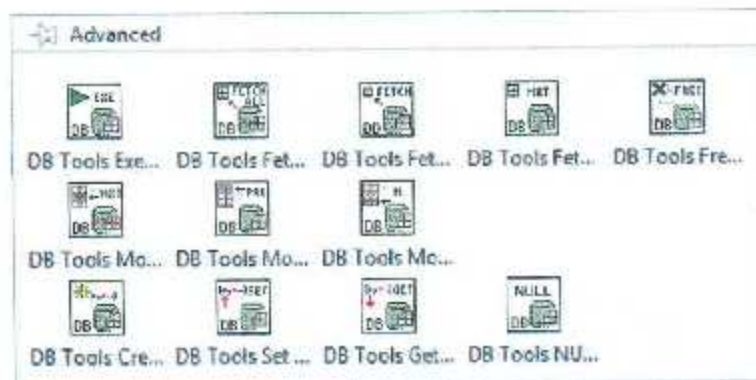


Figura 7.6 Paleta Advanced.

Para tener acceso a la base de datos se necesita crear una conexión, con el driver MSQL connector ODBC instalado. Al crear esta conexión se especifican las credenciales para tener acceso al servidor y a la base de datos. En la figura 7.7 se muestra la configuración para la conexión que se usa en el código gráfico de LabVIEW.



Figura 7.7 Configuración de la conexión a MySQL y específicamente a la fuente de los datos.

En la figura 7.8 se muestran los VIs del toolkit utilizados en la aplicación LabVIEW del proyecto.

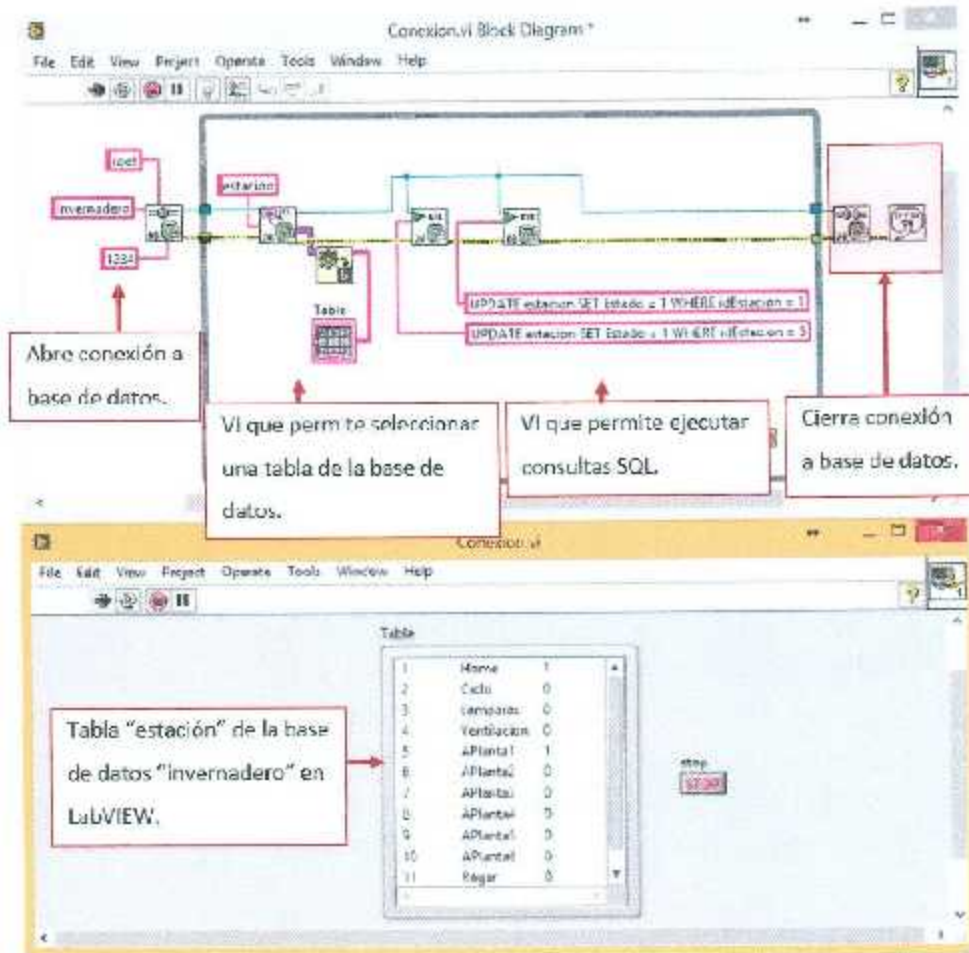


Figura 7.8 Configuración de la conexión a MySQL.

El programa de la figura 7.8 abre la conexión con el servidor MySQL, la cual contiene la base de datos “invernadero”, se especifica el usuario administrador y la contraseña en el VI que permite abrir la conexión. Para alterar los campos de la base de datos se ejecuta de una cadena de caracteres en forma de consulta *Update* en lenguaje SQL. Las consultas *update*, *select*, y *load data* se utilizan en la aplicación LabVIEW del proyecto. El programa de la figura 7.8 permite observar las herramientas que se utilizaron del toolkit en la aplicación LabVIEW.

7.2 Aplicación LabVIEW

La aplicación LabVIEW permite controlar al invernadero a través de una interfaz gráfica con el usuario, teniendo control del invernadero de forma presencial y a su vez permite el control remoto con la aplicación Android.

Partes del programa en LabVIEW se retomó del trabajo anterior descrito en la tesis “Estación de Trabajo Automática para el Monitorco de Plantas” [9, p.62]. 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 cuatro plantas y tomaba lecturas de los sensores de temperatura y humedad relativa. 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 [9, p.115]. La aplicación mostraba las imágenes tomadas por la cámara web y la imagen procesada por el algoritmo, además de generar un archivo Excel.csv con el historial de los análisis de las cuatro plantas. Partiendo de este programa se llegó a la elaboración de la aplicación LabVIEW que a continuación se presenta.

La aplicación LabVIEW final tiene la capacidad de analizar un total de seis plantas distribuidas en el invernadero, permite el riego en diferentes cantidades y toma lecturas de un total de nueve sensores, además controla la iluminación y la ventilación. Es posible determinar las horas específicas de análisis de las plantas, así como el momento exacto de regado especificando hora, fecha y cantidades. La aplicación controla tres Arduinos Mega, una para cada sistema que conforman al invernadero.

La aplicación genera un archivo Excel.csv por planta, generando un total de seis archivos, los cuales son cargados en tablas de la base de datos.

La interfaz gráfica de la aplicación se diseñó para que contara con diferentes secciones para su fácil comprensión, evitando con esto la sobreinformación en un espacio reducido.

La aplicación LabVIEW cuenta con funciones con las que la aplicación Android no cuenta, siendo la aplicación LabVIEW más robusta para el control del invernadero, sin embargo la aplicación Android cuenta con funciones para hacerla autosuficiente, en donde no sea necesario utilizar la interfaz gráfica de la aplicación LabVIEW.

7.2.1 Pestaña de control

La pestaña de control permite realizar ciclos de análisis para las seis plantas en un ciclo automático, el ciclo se puede realizar en cualquier momento al activarlo manualmente o se puede realizar en horas establecidas. Dentro de la pestaña control se permite también el análisis individual por planta, activando un control. Se muestra la hora y fecha actual en todo momento de ejecución, las cuales son tomadas del servidor.

El encendido y apagado de la iluminación y ventilación se controlan en la pestaña, así como la opción de mandar a home. La pestaña controla básicamente las acciones de análisis y control de iluminación y ventilación, además se especifican los tres puertos COM de las tarjetas Arduino Mega.

En la figura 7.9 se muestra la pestaña de control.

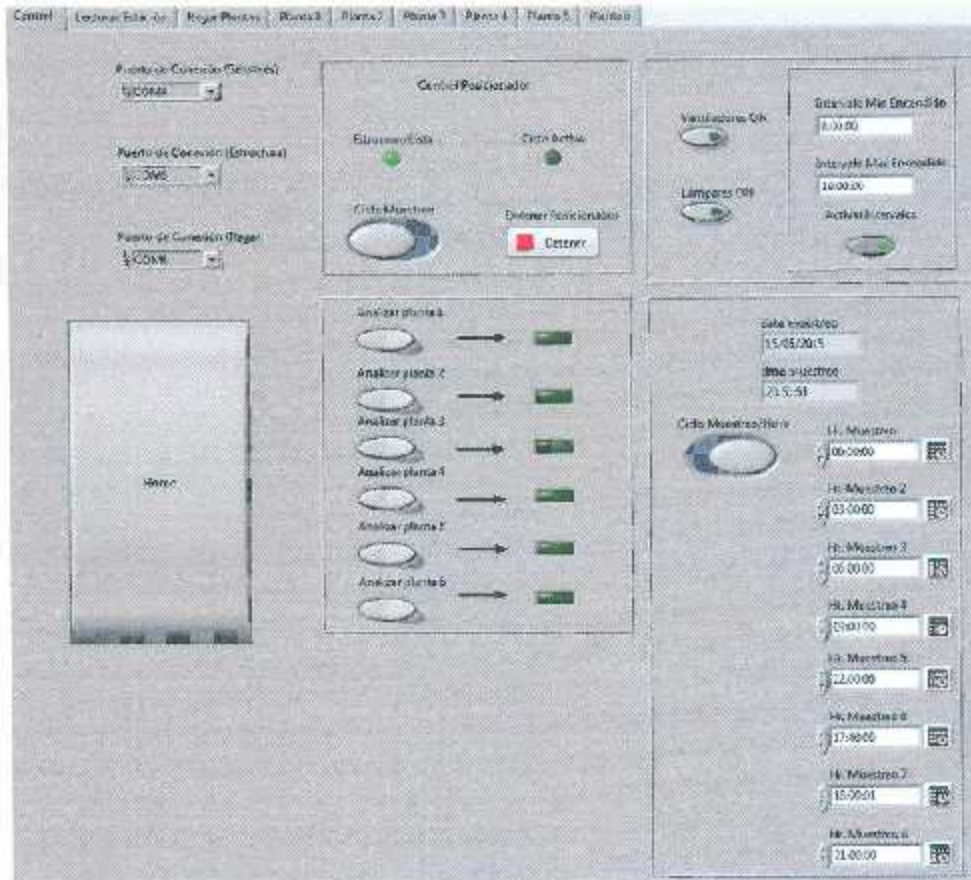


Figura 7.9 Pestaña de control.

En la figura 7.10 se muestra en la parte izquierda el *switch* que permite realizar un ciclo para el análisis de las seis plantas. la parte derecha muestra el control para la ventilación e iluminación.

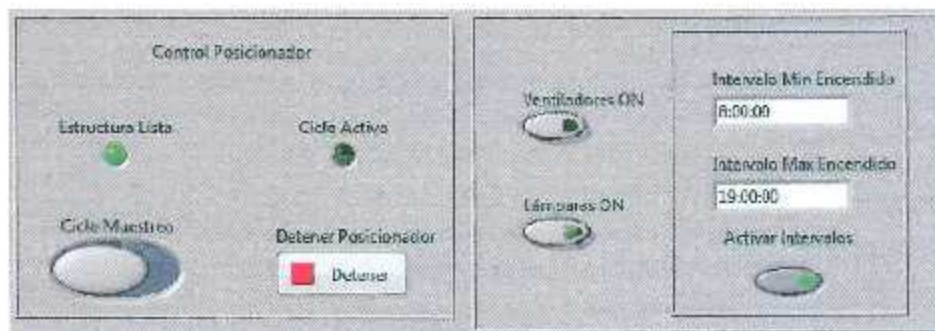


Figura 7.10 Control de ciclo de análisis y control de ventilación e iluminación.

En la figura 7.11 inciso a se muestran los controles para realizar el análisis individuales a cada planta y en el inciso b se muestran las horas establecidas para ciclos de análisis.



a)



b)

Figura 7.11 a) Controles de análisis por planta, b) establecimiento de horas de análisis.

Cuando cualquier control de análisis se activa o la instrucción proviene de la aplicación Android, en la parte del diagrama de bloques se ejecutan SubVI específicos para cada planta, la apariencia de los SubVIs se muestran en la figura 7.12 mientras que su estructura de conexiones se muestra en la figura 7.13.



Figura 7.12 SubVI de los seis plantas.

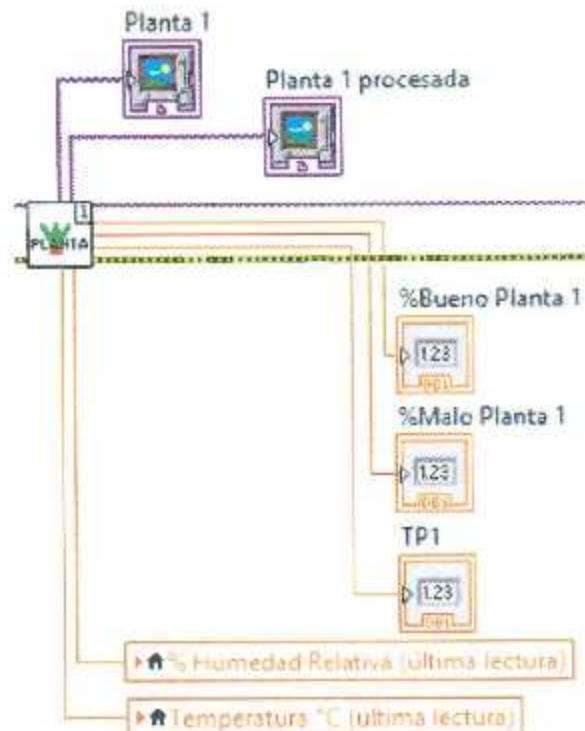


Figura 7.13 SubVI de la planta 1.

Los SubVIs por planta se crearon para simplificar el código de la aplicación LabVIEW y contienen instrucciones para ubicar al posicionador mecánico en la posición de cada planta, ejecuta el algoritmo de análisis de la imagen y arroja los valores de los sensores de temperatura y humedad relativa.

7.2.2 Pestaña de riego

Permite regar las plantas del invernadero especificando las cantidades de agua en mililitros, por sección de riego. El regado de las plantas se realiza en la fecha y hora establecidas, con lo que se mantiene un control de regado de las plantas en cantidad de agua y momento de regado. La pantalla de regado de plantas se muestra en la figura 7.14. La figura 7.15 y 7.16 muestran las secciones de la pestaña de la figura 7.14.

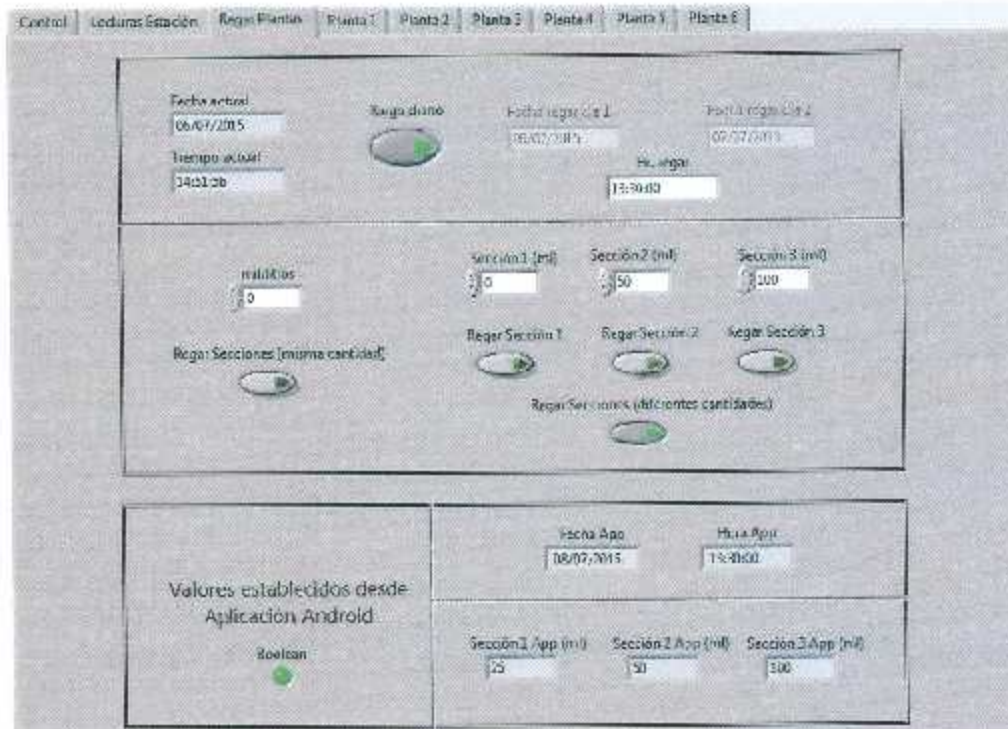


Figura 7.14 Pestaña para riego de plantas.

La hora y fecha actual de ejecución se muestra en el extremo izquierdo superior de la figura 7.15, mientras que en extremo derecho superior se muestran las fechas y hora establecidas para el riego de las plantas. Además se tiene la opción de riego diario.

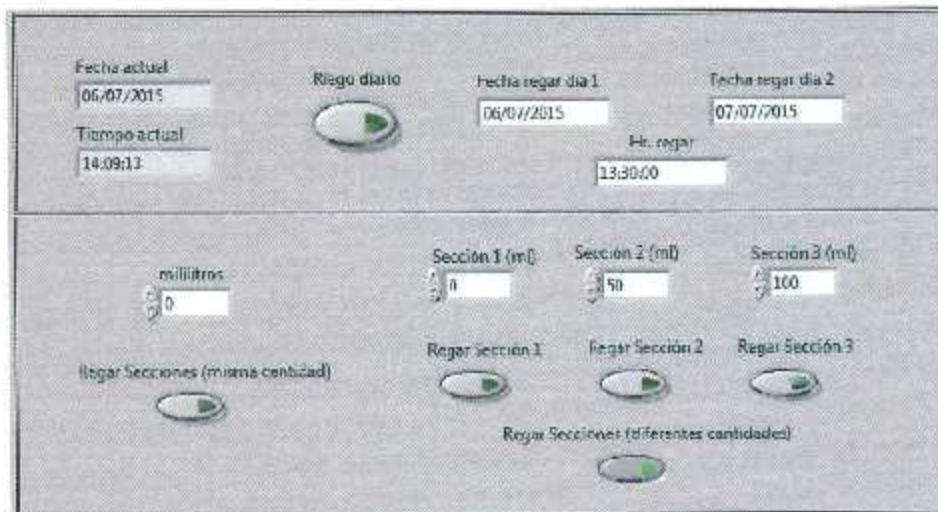


Figura 7.15 Condiciones de riego desde aplicación LabVIEW.

En la parte inferior de la figura 7.15 se muestra la sección en donde las cantidades de agua a regar se establecen. Hay diferentes configuraciones para regar las plantas, es posible regar simplemente una sección de riego en específico, regar con cantidades de agua diferentes a cada sección o regar las tres secciones con las mismas cantidades de agua.

En la figura 7.16 se muestran las condiciones de riego establecidas desde la aplicación Android, el riego se ejecutara la fecha y hora establecida. Los valores pueden ser modificados desde la aplicación Android.


Valores establecidos desde Aplicación Android Boolean 	Fecha App <input type="text" value="18/07/2015"/>	Hora App <input type="text" value="13:30:00"/>
	Sección 1 App (ml) <input type="text" value="25"/>	Sección 2 App (ml) <input type="text" value="50"/>

Figura 7.16 Condiciones de riego desde aplicación Android.

7.2.3 Pestañas de monitoreo

Hay un total de seis pestañas que permiten monitorear a cada planta de forma individual, cada pestaña muestra los datos referentes a la planta. Las seis pestañas tienen un diseño y distribución similar.

Cada pestaña permite observar las lecturas proporcionadas por los sensores de humedad en suelo y temperatura directa a la planta, además de los resultados arrojados por el análisis de imagen de la planta. La pestaña para el monitoreo de la planta 1 se muestra en la figura 7.17.

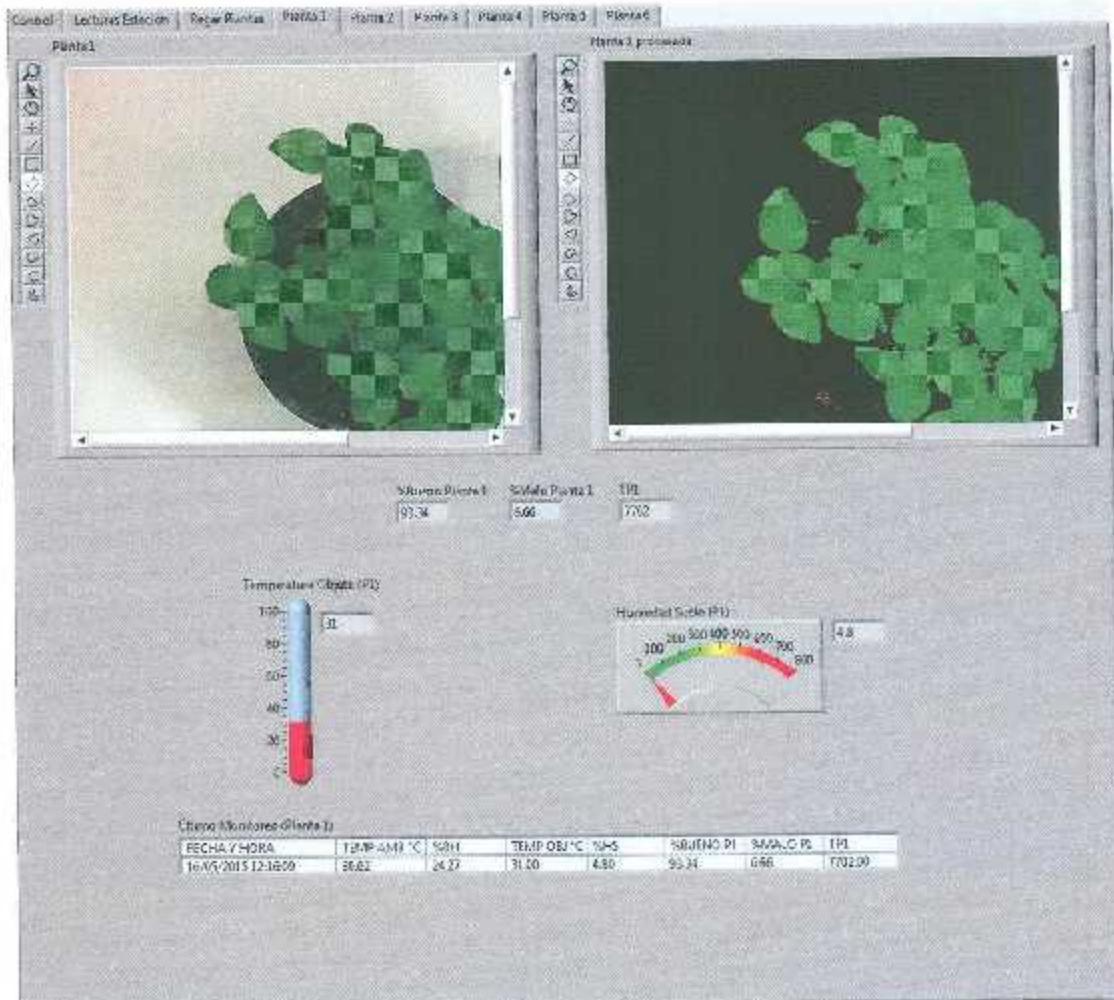


Figura 7.17 Pestaña para monitorear la planta 1.

La pestaña cuenta con dos visores de imágenes las cuales muestran la imagen capturada por la cámara web y la imagen procesada por el algoritmo de análisis. Permite observar el porcentaje en buen estado, en mal estado y la cantidad de píxeles analizados del follaje de la planta.

Como se mencionó anteriormente la pestaña que se muestra en la figura 7.17 es una de las seis pestañas que contiene la aplicación LabVIEW con igual diseño y distribución de componentes, cada una de las pestañas hacen alusión a una planta en específico, por lo tanto no se mostraran las otras cinco pestañas al ser similares.

En las figuras 7.18 y 7.19 se muestra en secciones la pestaña mostrada en figura 7.17. La figura 7.18 muestra los visores de imágenes y los datos obtenidos del análisis de imagen.

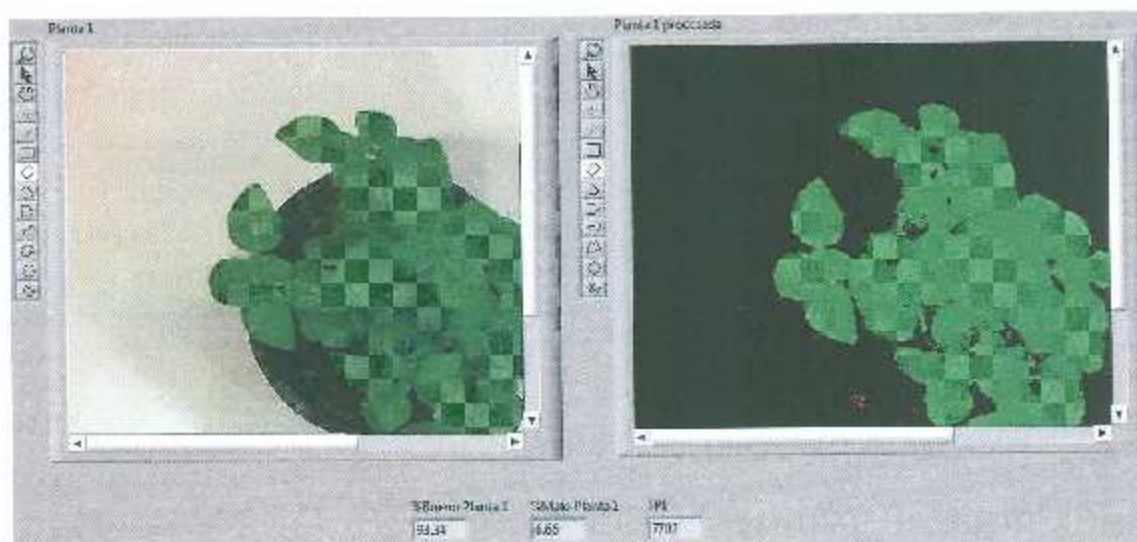


Figura 7.18 Visor de imágenes y datos arrojados por el análisis de imagen.

Las imágenes mostradas en los visores se almacenan en el servidor y se publican en el servicio web, las cuales se consumen por la aplicación Android. En la figura 7.19 se muestran los indicadores de lecturas de temperatura de la planta y la lectura del sensor de humedad en suelo. En la parte inferior de la figura se muestra un registro de cuando se realizó el último análisis al igual que los valores de las lecturas.

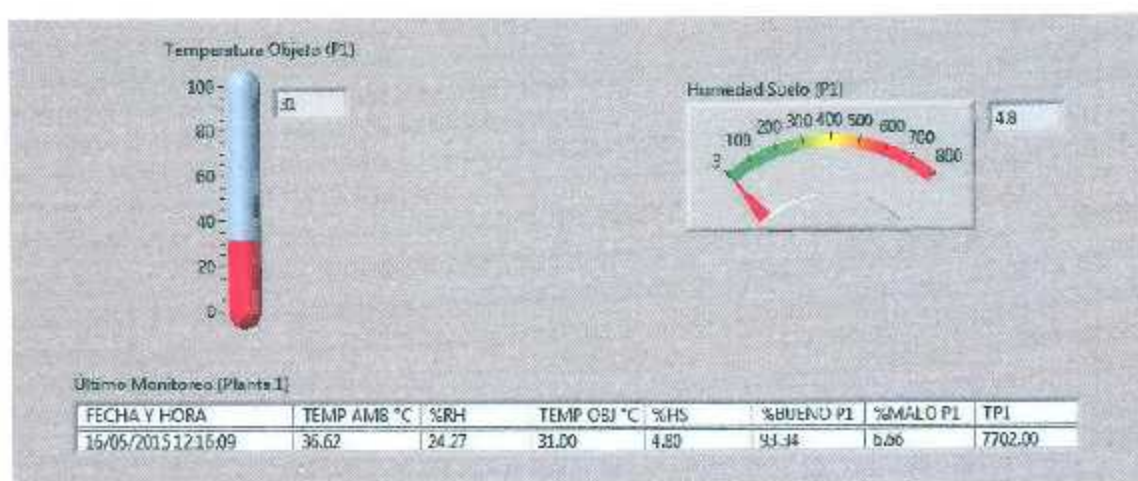


Figura 7.19 Indicadores de la pestaña planta.

7.2.4 Pestaña de lecturas de estación

La pestaña contiene dos indicadores gráficos que corresponden a las lecturas de temperatura ambiente y humedad relativa, las cuales corresponden a condiciones dentro del invernadero. Las lecturas de las variables no son específicas de una planta, es decir son condiciones ambientales del invernadero. En la figura 7.20 se muestra la pestaña con los dos indicadores, el indicador del lado izquierdo corresponde a la lectura de humedad relativa y el indicador del lado derecho corresponde a la de temperatura ambiental.

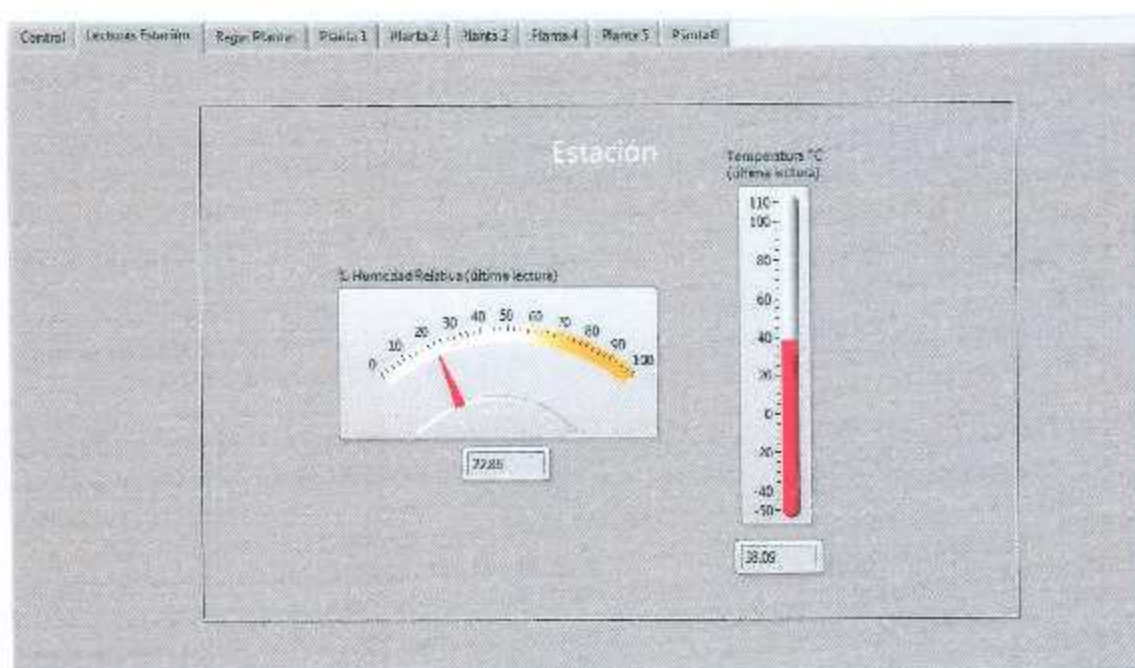


Figura 7.20 Pestaña lectura de estación.

En el anexo F se muestra una vista general del diagrama de bloques de la aplicación LabVIEW.

CAPÍTULO 8

EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

En el capítulo se describe el experimento realizado con plantas de albahaca (*Ocimum Basilicum*) y el invernadero de pruebas, el cual expone mediante el análisis de las planas el funcionamiento de los sistemas implementados, permitiendo llegar a conclusiones de los análisis realizados y capacidades del invernadero.

8.1 Planta experimental: Albahaca, *Ocimum Basilicum*

La albahaca es una hierba aromática anual de la familia lamiáceas, nativa de Asia y África. El nombre científico de la albahaca es *ocimum basulicum* y el origen de su significado etimológico no está claro, normalmente se hace referencia a esta planta como el “rey de las hierbas” derivado del griego *basileus*, que significa rey o del latín *basilisk* que significa dragón, mientras que *ocimum* es el nombre genérico que deriva del griego *okino* usado para referirse a una hierba aromática. En la tabla 8.1 se muestra la clasificación científica de la albahaca [50, p.1].

Tabla 8.1 Clasificación científica de la albahaca.

Reino	Plantas
Filo	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Lamiales
Familia	lamiácea
Genero	<i>Ocimum</i>
Especie	<i>O. basilicum</i>

8.1.1 Descripción botánica y cultivo

Es una hierba de crecimiento bajo, de entre los 30 y 60 cm de alto con hojas ovales, dentadas, de textura sedosa y con un verde lustroso que miden de 3 a 11 cm de largo por 1 a 6 cm de ancho. Emite espigas florales tubulares de color blanco y se eliminan comúnmente al desarrollarse la planta [50, p.2].

La albahaca es muy sensible a las heladas y por lo tanto deben ser protegidas de temperaturas cercanas a las de congelación. Se cultivan únicamente por semillas, que se pueden sembrar en semilleros o en macetas en un invernadero. La albahaca prefiere climas de primavera o verano, preferentemente a sol directo, aunque en climas de veranos muy calurosos se recomienda algo de sombra. Para evitar enfermedades de marchitamiento fúngico o “damping off” no se debe sobrepasar en la cantidad de agua suministrada a la albahaca. Los suelos deben ser fértiles, permeables y húmedos. En inviernos la albahaca debe ser cultivada en ambientes cerrados y controlados.

8.1.2 Aspectos médicos

La albahaca se ha utilizado como un remedio popular para un número alto de enfermedades o dolencias tales como la convulsiones, sordera, diarrea, epilepsia, hipo, cáncer, náuseas, dolor de garganta y tos. Se ha reportado además que la albahaca es una hierba potente para repeler de insectos [50, p.3].

8.2 Metodología y consideraciones previas del experimento

El experimento consto del análisis de seis plantas de albahaca divididas en tres grupos, cada grupo correspondió a una sección del sistema de riego. Por lo tanto para el experimento se realizó la división en tres grupos denominados “grupo 1”, “grupo 2” y “grupo 3”. El grupo 1 se conformó por la “planta 1” y “planta 6”, el grupo 2 se conformó por la “planta 2” y “planta 5” mientras que el grupo 3 se conformó por la “planta 3” y “planta 4”. En la figura 8.1 se muestra la distribución de las plantas o sujetos en sus respectivos grupos.



Figura 8.1 Grupos de riego para el experimento.

La división por grupos se especifica ya que la cantidad de agua suministrada a cada planta de un grupo es la misma y por lo tanto las dos plantas obtendrán la misma cantidad de agua y el mismo trato durante el experimento.

Se utilizaron un total de seis plantas de albahaca verde cultivadas y distribuidas para su venta por la empresa floramundo la cual las ofrece en macetas de cuatro pulgadas [51]. 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. Una vez seleccionadas las seis plantas los grupos se crearon de forma indiscriminada (creando los tres grupos).

A cada planta (de un mismo grupo) se le suministro una determinada cantidad de agua en lapsos de tiempos establecidos, con el fin de observar su comportamiento en base a los análisis realizados por el invernadero a lo largo del experimento. El regado de plantas durante el experimento consistió en dos etapas, variando en la frecuencia de regado por etapa.

Primer etapa de riego: Al grupo 1 no se le suministró agua durante esta etapa y ni durante todo el experimento, al grupo 2 se le suministró 30 ml de agua tres veces a la semana y al grupo 3 se le suministró 60 ml de agua tres veces a la semana. El riego sugerido por la empresa floramundo para plantas de este tipo es de 3 veces por semana (no especifican cantidad) por lo cual para la primera etapa del experimento se seleccionaron los días martes, jueves y sábados para el regado de las plantas, efectuándose a las 13:30:00 horas [51].

Segunda etapa de riego: Al grupo 1 no se le suministró agua, al grupo 2 se le suministró 30 ml de agua a diario y al grupo 3 se le suministró 60 ml de agua a diario. Con esta segunda etapa se buscó aumentar la cantidad de agua suministrada a las plantas, aumentando la frecuencia de riego y no alterando las cantidades de agua.

El regado de las plantas se realizaba de forma automática, estableciendo las condiciones de regado (días, hora y cantidades) a través de la aplicación LabVIEW o la aplicación Android. El experimento se inició el día 11 de marzo del 2015 y culminó el día 23 de abril del 2015, tardando un total de 44 días. La primer etapa de regado abarco los días del 11 de marzo al 06 de

abril del 2015, con un total de 27 días. La segunda etapa de riego se realizó del día 07 de abril al 23 de abril del 2015, siendo un total de 17 días.

8.2.1 Sensores usados en el experimento

El invernadero cuenta con sensores de humedad en suelo, temperatura y humedad relativa. Las lecturas de las variables se toman al momento de realizar el análisis de una planta.

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 en porcentaje.

El sensor de temperatura infrarrojo MXL90614 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 [11].

El sensor de humedad relativa HHH-4030 entrega valores de 0.8V a 3.9V escalados en porcentajes (0% a 100%) [9].

8.2.2 Procesamiento de imagen

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 [9, p.79]:

- El color de fondo alrededor de la planta a analizar debe 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.

8.2.3 Ciclos de muestreo

El ciclo de muestreo consistió en el análisis de las seis plantas de forma automática, es decir una secuencia en donde se analizaban las seis plantas individualmente. En cada ciclo de muestreo y por cada planta se almacenaban datos referentes a esta en un archivo Excel.csv, los datos almacenados corresponden a las lecturas de los sensores de humedad en suelo y relativa, además de las temperaturas ambiente y directa para cada planta. Se almacenaban además los datos provenientes del procesamiento de imagen como lo son el porcentaje en buen estado y mal estado de follaje superior de la planta y la totalidad de píxeles analizados. En cada ciclo de muestreo se afectaban y agregaban los datos analizados a los seis archivos Excel.csv, uno por planta. Además de los datos almacenados ya mencionados se agregaba la fecha y hora exacta en la que una planta fue analizada. En la tabla 8.2 se muestra el orden de las columnas de los datos almacenados en los archivos Excel en cada ciclo de muestreo.

Tabla 8.2 Orden de datos almacenados en los archivos Excel.

Fecha y hora	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Temperatura Objeto	Humedad en suelo	%Bueno	%Malo	Total de píxeles
--------------	----------------------	------------------	--------------------	------------------	--------	-------	------------------

Del día 11 de marzo del 2015 al 17 de marzo del 2015 los ciclos de muestreo se realizaron a horas indistintas entre las horas 12:00:00 a 20:00:00. Durante estos siete días los ciclos de muestreo se establecían directamente con la interacción del programa LabVIEW o la aplicación Android. Posteriormente a partir del día 18 de marzo hasta el fin del experimento, el día 23 de abril, los ciclos de muestreo se realizaron automáticamente ocho veces por día. En la tabla 8.3 se muestran las horas de análisis.

Tabla 8.3 Horas establecidas para el ciclo de muestreo.

12 am	3 am	6 am	9 am	12 pm	3 pm	6 pm	9 pm
-------	------	------	------	-------	------	------	------

Cada ciclo de muestreo tarda en ejecutarse aproximadamente 12 minutos. En total se recopilaron un total de 326 muestras para cada planta a lo largo de los 44 días que duro el experimento.

8.2.4 Encendido de iluminación y ventilación

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 8:00 am a 8:00 pm dando un total de 12 horas de iluminación y exposición directa de luz a las seis plantas. La empresa floramundo recomienda una exposición directa de sol durante todo el día [51]. 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. Para conocer la intensidad luminosa dentro del invernadero se utilizó un sensor de bajo costo denominado *Active air three-way meter* de la marca Hydrofarm, el sensor cuenta con una escala de 0 a 2000 (s/u), en donde rangos de 0 a 500 indican bajos niveles de luz y de 700 a 2000 indican altos niveles de luz [52]. Con las luces encendidas a cualquier hora del día se registraron valores de entre 200 y 300, mientras que con las luces apagadas se registró 0. Cabe mencionar que el sensor de iluminación a luz solar directa a cualquier hora de día arroja valores de 2000.

La ventilación se encendió y apago esporádicamente de forma manual, la cual no se controló sistemáticamente durante el transcurso del experimento.

8.3 Datos recopilados y observaciones

Sujeto de análisis: Planta 1

Total de muestras: 326

Grupo: 1

Periodo de análisis: 11 de marzo del 2015 al 23 de abril del 2015

Días de experimento: 44

Días de análisis: 42

Observaciones: Los días domingo 15 de marzo y lunes 16 de marzo no se realizaron análisis debido al desprendimiento de la cámara de su posición de análisis, el problema se solucionó y se reanudo el experimento el día 17 de marzo (Durante el transcurso del inconveniente la planta se rego de forma normal).

Horas de análisis: 12 am, 3 am, 6 am, 9 am, 12 pm, 3 pm, 6 pm, 9 pm

Hora de regado: 13:30:00 horas.

Cantidad de agua suministrada: 0 mililitros.

Los datos recopilados para la planta 1 son demasiados para ser presentados de forma completa, a modo de solución en el Anexo G se presenta una muestra de los datos originales, tal cuales fueron recopilados. En la tabla 8.4 se muestran los promedios de los valores de los datos recopilados por día, donde en cada día se realizaban varios análisis.

Experimentación y Resultados

Tabla 8.4 Promedio de datos obtenidos de análisis de la planta 1.

Promedio de datos planta 1								
Fecha	Numero de Análisis	Temperatura Ambiente	Humedad relativa (%)	Temperatura Objeto	Humedad en suelo (%)	Bueno (%)	Malo (%)	Total de pixeles
11/03/2015	6	26.058	41.115	22.400	20.229	97.742	2.258	55371.500
12/03/2015	3	27.687	33.457	23.267	17.900	97.720	2.280	42020.667
13/03/2015	1	30.440	29.930	24.000	17.105	95.950	4.050	27300.000
14/03/2015	3	23.757	45.037	21.433	16.728	98.570	1.430	47034.667
17/03/2015	9	24.964	50.173	21.189	15.510	96.459	3.541	39914.556
18/03/2015	8	23.726	52.371	21.129	14.721	96.823	3.177	37363.143
19/03/2015	9	27.369	42.771	23.444	13.862	96.213	3.787	31945.556
20/03/2015	6	27.527	41.928	24.000	13.261	95.738	4.262	29882.500
21/03/2015	8	25.648	48.659	22.650	12.267	95.854	4.146	29453.375
22/03/2015	6	24.658	45.958	22.017	11.496	93.888	6.102	26351.667
23/03/2015	11	28.610	36.694	24.664	10.687	94.285	5.715	26110.091
24/03/2015	14	31.781	31.689	27.204	9.963	90.547	9.453	22582.429
25/03/2015	8	30.743	32.745	26.550	8.953	83.498	16.503	17652.250
26/03/2015	8	31.003	27.878	26.839	7.550	78.903	21.098	12665.625
27/03/2015	8	29.831	28.871	25.808	5.542	63.115	36.885	7079.250
28/03/2015	8	30.594	27.496	25.830	3.557	59.378	40.623	5207.625
29/03/2015	8	30.668	27.160	26.113	2.213	49.380	50.620	5122.875
30/03/2015	8	32.005	25.883	27.055	1.916	40.489	59.511	5193.500
31/03/2015	8	32.738	26.844	28.513	1.985	39.484	60.506	5187.250
01/04/2015	8	32.340	27.546	27.938	2.071	33.755	66.245	4476.000
02/04/2015	8	32.428	27.404	28.000	1.997	30.268	69.733	4467.250
03/04/2015	8	33.368	25.720	28.900	1.944	33.106	66.894	4172.000
04/04/2015	8	33.495	30.045	29.513	2.040	29.038	70.963	4301.000
05/04/2015	8	32.415	31.813	28.563	2.249	27.084	72.916	4466.000
06/04/2015	8	32.478	29.998	28.900	2.576	27.916	72.084	4147.125
07/04/2015	8	34.360	29.590	29.900	2.959	32.804	67.196	3994.750
08/04/2015	8	34.503	29.798	30.188	2.692	32.061	67.939	3253.000
09/04/2015	8	34.289	32.649	30.100	2.966	31.453	68.548	3383.500
10/04/2015	8	34.114	30.463	29.548	2.394	30.039	69.961	3402.625
11/04/2015	8	32.915	33.386	28.900	2.084	32.519	67.481	3614.500
12/04/2015	8	31.118	37.439	27.525	2.152	30.476	69.524	3657.250
13/04/2015	8	28.481	38.623	26.050	1.687	31.301	68.699	3365.625
14/04/2015	8	31.045	32.426	27.100	1.171	27.738	72.263	3535.500
15/04/2015	8	31.136	34.336	27.236	1.186	31.253	68.748	3509.750
16/04/2015	8	31.920	30.736	27.988	1.161	29.235	70.765	3264.875
17/04/2015	8	32.521	28.740	28.213	1.161	27.969	72.031	3212.750
18/04/2015	8	32.409	26.816	28.263	1.176	28.923	71.078	3405.250
19/04/2015	8	32.340	24.528	28.263	1.185	28.058	71.943	3168.375
20/04/2015	8	31.964	24.116	27.898	1.220	27.896	72.104	3447.125
21/04/2015	6	34.825	27.822	30.200	1.286	27.898	72.102	3803.500
22/04/2015	14	34.598	27.173	30.257	1.270	27.102	72.898	3706.571
23/04/2015	6	32.373	27.963	28.603	1.295	24.660	75.340	3777.500

Sujeto de análisis: Planta 2

Total de muestras: 326

Grupo: 2

Periodo de análisis: 11 de marzo del 2015 al 23 de abril del 2015

Días de experimento: 44

Días de análisis: 42

Observaciones: Los días domingo 15 de marzo y lunes 16 de marzo no se realizaron análisis debido al problema con la cámara web ya mencionado.

Horas de análisis: 12 am, 3 am, 6 am, 9 am, 12 pm, 3 pm, 6 pm, 9 pm

Hora de regado: 13:30:00 horas.

Cantidad de agua suministrada: 30 mililitros.

Observación: Se cambió el sensor de humedad en suelo en dos ocasiones la primera el día 26 de marzo del 2015 a las 13:00 horas y el segundo sensor se cambió el día 31 de marzo a las 15:47 horas.

Una muestra de los datos originales recopilados de los análisis de la planta 2 se presenta en el Anexo G a modo de solución por el espacio. En la tabla 8.5 se muestran los promedios de los valores de los datos recopilados por día, donde en cada día se realizaban varios análisis. En la tabla 8.5 se muestran los promedios de los valores de los datos recopilados por día, donde en cada día se realizaban varios análisis.

Experimentación y Resultados

Tabla 8.5 Promedios de datos obtenidos de análisis de la planta 2.

Promedios de datos planta 2								
Fecha	Numero de Análisis	Temperatura ambiente	Humedad relativa (%)	Temperatura objeto	Humedad en suelo (%)	Buena (%)	Mala (%)	Total de pixeles
11/03/2015	5	26.235	41.452	22.200	21.501	98.603	1.397	67307.500
12/03/2015	3	28.003	33.453	23.100	21.376	98.800	1.200	70483.333
13/03/2015	1	30.440	29.850	24.000	21.731	98.640	1.360	67831.000
14/03/2015	3	24.587	44.977	20.367	19.191	98.590	1.410	71376.000
17/03/2015	9	25.348	50.504	21.121	17.529	98.442	1.558	68136.667
18/03/2015	8	24.048	51.651	21.043	18.560	98.201	1.799	69505.143
19/03/2015	9	27.696	42.757	23.000	17.248	98.232	1.768	68389.889
20/03/2015	6	27.923	41.812	23.983	18.199	98.102	1.898	67923.167
21/03/2015	8	26.056	48.459	22.538	16.928	98.223	1.778	68410.875
22/03/2015	5	25.118	45.552	21.983	15.301	98.175	1.825	66465.000
23/03/2015	11	29.202	35.963	24.336	10.621	98.524	1.476	67977.091
24/03/2015	14	32.170	31.816	27.266	6.449	98.215	1.785	69297.714
25/03/2015	8	31.750	31.794	26.885	5.911	98.056	1.944	68368.625
26/03/2015	8	31.855	26.785	27.088	11.146	98.126	1.874	65679.375
27/03/2015	8	30.395	28.421	25.738	14.959	98.103	1.898	65327.875
28/03/2015	8	30.693	27.039	25.675	15.482	98.213	1.788	63839.500
29/03/2015	8	31.470	26.405	26.953	16.248	98.041	1.959	63117.375
30/03/2015	8	32.375	25.628	26.950	16.199	98.596	1.404	63487.000
31/03/2015	8	33.271	26.469	28.788	18.296	98.736	1.264	65569.250
01/04/2015	8	32.779	27.226	27.675	17.648	98.721	1.279	64254.875
02/04/2015	8	32.401	27.378	27.938	15.278	98.660	1.340	62329.375
03/04/2015	8	33.201	25.858	28.776	12.043	98.794	1.206	63735.250
04/04/2015	8	33.836	30.004	29.525	8.353	98.663	1.338	59113.375
05/04/2015	8	32.870	31.196	28.650	4.275	98.343	1.658	53142.250
06/04/2015	8	33.270	30.028	28.750	5.600	97.471	2.529	52530.500
07/04/2015	8	34.826	28.256	29.888	3.969	98.441	1.559	60967.750
08/04/2015	8	35.243	29.343	30.288	6.041	98.413	1.588	55894.500
09/04/2015	8	34.340	32.403	29.875	6.366	98.736	1.264	63685.500
10/04/2015	8	33.815	30.736	29.488	4.764	98.760	1.240	66258.750
11/04/2015	8	33.100	33.160	29.013	4.389	98.796	1.204	68876.375
12/04/2015	8	30.930	37.791	27.375	5.213	98.885	1.115	69481.000
13/04/2015	8	28.296	38.626	25.738	4.756	98.989	1.011	70614.375
14/04/2015	8	31.134	32.340	26.725	5.174	98.983	1.018	76832.625
15/04/2015	8	31.633	33.584	27.320	6.953	98.908	1.093	78227.750
16/04/2015	8	32.123	30.239	27.800	5.608	98.686	1.314	77938.875
17/04/2015	8	32.676	28.658	28.100	5.644	98.875	1.125	79546.375
18/04/2015	8	32.323	26.979	27.800	3.029	99.130	0.870	83845.250
19/04/2015	8	32.839	24.269	28.325	1.697	98.965	1.035	86327.000
20/04/2015	8	31.999	24.103	27.738	1.520	99.151	0.849	89605.875
21/04/2015	6	34.950	27.810	30.150	2.237	99.855	1.145	88396.500
22/04/2015	14	34.716	27.101	30.082	2.625	99.149	0.851	95016.786
23/04/2015	6	32.657	27.752	28.817	4.745	99.182	0.818	98677.833

Sujeto de análisis: Planta 3

Total de muestras: 326

Grupo: 3

Periodo de análisis: 11 de marzo del 2015 al 23 de abril del 2015

Días de experimento: 44

Días de análisis: 42

Observaciones: Los días domingo 15 de marzo y lunes 16 de marzo no se realizaron análisis debido al problema con la cámara web ya mencionado.

Horas de análisis: 12 am, 3 am, 6 am, 9 am, 12 pm, 3 pm, 6 pm, 9 pm

Hora de regado: 13:30:00 horas.

Cantidad de agua suministrada: 60 mililitros.

Observación: Se cambió el sensor de humedad en suelo en dos ocasiones la primera el día 24 de marzo del 2015 a las 20:10 horas y el segundo sensor se cambió el día 31 de marzo a las 16:00 horas.

Una muestra de los datos originales recopilados de los análisis de la planta 3 se presenta en el Anexo G a modo de solución por el espacio. En la tabla 8.6 se muestran los promedios de los valores de los datos recopilados por día, donde en cada día se realizaban varios análisis.

Experimentación y Resultados

Tabla 8.6 Promedios de datos obtenidos de análisis de la planta 3.

Promedios de datos planta 3								
Fecha	Numero de Análisis	Temperatura ambiente	Humedad relativa (%)	Temperatura objeto	Humedad en suelo (%)	Bueno (%)	Malo (%)	Total de pixeles
11/03/2015	6	26.302	41.435	22.332	20.137	98.022	1.978	46050.667
12/03/2015	3	28.380	33.583	23.100	20.567	97.603	2.397	47260.333
13/03/2015	1	30.490	29.780	24.100	20.790	95.730	4.270	44143.000
14/03/2015	3	24.712	45.120	20.700	17.899	98.643	1.357	47438.667
17/03/2015	9	25.598	50.242	20.667	16.642	97.224	2.776	45498.556
18/03/2015	8	24.559	51.304	21.071	18.197	97.047	2.953	46762.714
19/03/2015	9	27.856	42.450	22.976	18.196	97.074	2.926	45054.667
20/03/2015	6	28.177	41.460	23.983	17.831	96.630	3.370	45181.333
21/03/2015	8	26.431	48.034	22.600	19.634	96.466	3.534	44717.125
22/03/2015	6	25.530	44.938	21.950	19.169	94.655	5.345	41119.833
23/03/2015	11	29.401	35.825	24.373	12.403	96.555	3.445	38511.545
24/03/2015	14	32.573	31.494	27.221	11.999	96.981	5.019	30826.857
25/03/2015	8	32.445	30.903	26.719	21.057	93.494	6.506	25269.125
26/03/2015	8	31.016	26.763	26.038	23.000	93.348	6.652	21561.625
27/03/2015	8	30.881	27.913	25.713	23.230	91.300	8.700	19155.625
28/03/2015	8	30.431	27.533	25.125	23.290	94.573	5.428	21432.875
29/03/2015	8	31.523	26.516	25.800	17.731	92.553	7.448	19446.875
30/03/2015	8	31.643	26.130	26.313	8.707	94.289	5.711	20354.250
31/03/2015	8	32.528	27.354	28.175	17.646	94.861	5.139	20731.500
01/04/2015	8	33.356	26.286	27.999	23.915	93.551	6.449	18798.125
02/04/2015	8	32.775	27.270	27.438	24.031	91.781	8.219	18493.875
03/04/2015	8	33.098	25.284	28.363	20.873	95.129	4.871	20498.250
04/04/2015	8	33.844	28.888	29.025	22.751	94.369	5.631	19213.375
05/04/2015	8	33.264	31.195	28.563	20.387	93.341	6.659	19859.625
06/04/2015	8	33.360	29.888	28.575	9.139	94.475	5.525	21586.875
07/04/2015	8	34.386	28.636	29.430	5.311	94.819	5.181	22931.000
08/04/2015	8	34.819	29.609	30.075	6.428	92.646	7.354	24570.000
09/04/2015	8	34.503	32.071	29.725	5.489	96.113	3.888	28868.375
10/04/2015	8	33.960	30.395	28.963	6.443	96.590	3.410	30724.125
11/04/2015	8	32.863	33.490	28.463	6.736	94.731	5.269	32328.750
12/04/2015	8	31.560	36.979	27.125	8.031	94.704	5.296	35458.875
13/04/2015	8	29.104	38.108	25.375	7.400	94.050	5.950	37058.625
14/04/2015	8	30.896	32.364	26.175	8.442	98.283	1.718	41650.250
15/04/2015	8	31.539	33.749	26.800	10.009	98.685	1.315	43607.750
16/04/2015	8	32.033	30.601	27.288	4.819	97.890	2.110	44941.500
17/04/2015	8	32.293	29.304	27.963	8.500	98.665	1.335	47924.125
18/04/2015	8	32.355	27.186	27.750	6.626	98.316	1.684	48973.125
19/04/2015	8	32.730	24.453	27.888	9.975	98.714	1.286	51773.625
20/04/2015	8	32.190	23.663	27.613	9.646	98.580	1.420	53503.500
21/04/2015	6	34.847	27.793	29.967	10.706	98.722	1.278	56241.000
22/04/2015	14	34.857	27.051	29.779	8.135	98.709	1.291	58648.786
23/04/2015	6	32.828	27.655	28.683	17.736	98.803	1.197	59680.500

Sujeto de análisis: Planta 4

Total de muestras: 326

Grupo: 3

Periodo de análisis: 11 de marzo del 2015 al 23 de abril del 2015

Días de experimento: 44

Días de análisis: 42

Observaciones: Los días domingo 15 de marzo y lunes 16 de marzo no se realizaron análisis debido al problema con la cámara web ya mencionado.

Horas de análisis: 12 am, 3 am, 6 am, 9 am, 12 pm, 3 pm, 6 pm, 9 pm

Hora de regado: 13:30:00 horas.

Cantidad de agua suministrada: 60 mililitros.

Observación: Se cambió el sensor de humedad en suelo el día 26 de marzo del 2015 a las 13:40 horas.

Una muestra de los datos recopilados de los análisis de la planta 4 se presenta en el Anexo G a modo de solución por el espacio. En la tabla 8.7 se muestran los promedios de los valores de los datos recopilados por día, donde en cada día se realizaban varios análisis.

Experimentación y Resultados

Tabla 8.7 Promedios de datos obtenidos de análisis de la planta 4.

Promedios de datos planta 4								
Fecha	Numero de Analisis	Temperatura ambiente	Humedad relativa (%)	Temperatura objeto	Humedad en suelo (%)	Bueno (%)	Malo (%)	Total de pixeles
11/03/2015	6	26.567	41.688	21.783	19.784	97.983	2.017	61010.000
12/03/2015	3	28.830	33.760	22.933	19.173	97.808	2.200	64884.333
13/03/2015	1	30.560	30.220	23.000	19.253	98.170	1.830	62855.000
14/03/2015	3	24.747	43.253	20.800	16.469	98.173	1.827	68716.000
17/03/2015	9	26.432	49.821	20.978	14.909	97.590	2.410	65877.556
18/03/2015	8	25.726	49.977	21.257	15.592	97.247	2.753	62471.143
19/03/2015	9	28.492	41.894	23.178	16.368	97.197	2.803	63216.111
20/03/2015	5	28.885	41.105	23.900	18.061	97.508	2.492	64209.167
21/03/2015	8	27.213	47.038	22.513	18.278	97.791	2.209	66621.250
22/03/2015	6	26.683	43.530	22.300	18.978	97.158	2.842	64730.500
23/03/2015	11	30.043	35.344	21.982	18.326	97.420	2.580	65170.727
24/03/2015	14	31.095	31.394	32.850	18.520	97.936	2.064	69161.429
25/03/2015	8	31.905	31.781	26.413	16.330	97.415	2.585	64869.875
26/03/2015	8	32.288	26.705	26.913	14.084	97.811	2.189	64239.125
27/03/2015	8	30.940	28.195	25.613	17.709	97.484	2.516	64162.250
28/03/2015	8	31.300	26.836	25.450	13.102	97.418	2.583	63442.500
29/03/2015	8	31.934	26.336	25.750	5.611	97.521	2.479	62943.000
30/03/2015	8	32.471	25.659	26.563	4.527	97.625	2.375	62831.375
31/03/2015	8	33.268	26.735	27.963	15.592	97.474	2.526	59106.250
01/04/2015	8	33.139	26.905	27.538	21.048	97.833	2.168	64771.500
02/04/2015	8	33.164	26.913	27.871	18.733	97.161	2.839	60252.625
03/04/2015	8	33.965	25.441	28.586	15.556	98.023	1.978	65417.375
04/04/2015	8	34.399	29.493	29.363	15.865	97.626	2.374	63459.250
05/04/2015	8	33.361	31.061	28.563	14.474	97.571	2.429	62063.375
06/04/2015	8	33.668	29.551	28.913	16.575	97.169	2.831	56047.125
07/04/2015	8	34.955	28.041	29.600	20.581	97.543	2.458	64544.125
08/04/2015	8	35.454	29.298	29.988	20.413	97.380	2.620	66477.250
09/04/2015	8	35.053	31.798	29.975	18.280	97.611	2.389	70038.750
10/04/2015	8	34.233	30.510	29.100	15.792	97.798	2.203	73966.000
11/04/2015	8	33.458	32.975	28.600	15.507	97.453	2.548	75576.875
12/04/2015	8	31.253	37.266	27.288	15.191	97.506	2.494	76114.125
13/04/2015	8	28.986	38.095	25.583	13.029	97.439	2.561	80628.875
14/04/2015	8	31.509	32.039	26.463	7.849	97.929	2.071	86371.125
15/04/2015	8	31.961	33.578	27.125	7.949	98.296	1.704	94827.750
16/04/2015	8	32.598	29.963	27.550	5.663	98.106	1.894	91136.375
17/04/2015	8	32.841	28.583	27.975	5.458	98.564	1.436	97897.375
18/04/2015	8	32.703	26.795	27.550	3.578	98.709	1.291	98584.000
19/04/2015	8	33.144	24.054	28.163	3.664	98.703	1.298	100086.750
20/04/2015	8	32.548	23.614	27.775	3.646	98.754	1.246	102468.750
21/04/2015	6	35.322	27.663	29.800	6.004	98.810	1.190	103194.833
22/04/2015	14	35.060	26.837	29.755	5.649	98.794	1.206	103579.857
23/04/2015	6	33.212	27.520	28.617	5.111	98.783	1.217	104848.333

Sujeto de análisis: Planta 5

Total de muestras: 326

Grupo: 2

Período de análisis: 11 de marzo del 2015 al 23 de abril del 2015

Días de experimento: 44

Días de análisis: 42

Observaciones: Los días domingo 15 de marzo y lunes 16 de marzo no se realizaron análisis debido al problema con la cámara web ya mencionado.

Horas de análisis: 12 am, 3 am, 6 am, 9 am, 12 pm, 3 pm, 6 pm, 9 pm

Hora de riego: 13:30:00 horas.

Cantidad de agua suministrada: 30 mililitros.

Observación: Se cambió el sensor de humedad en suelo el día 24 de marzo del 2015 a las 20:15 horas.

Una muestra de los datos recopilados de los análisis de la planta 5 se presenta en el anexo G a modo de solución por el espacio. En la tabla 8.8 se muestran los promedios de los valores de los datos recopilados por día, donde en cada día se realizaban varios análisis.

Experimentación y Resultados

Tabla 8.8 Promedios de datos obtenidos de análisis de la planta 5.

Promedios de datos planta 5								
Fecha	Numero de Analisis	Temperatura ambiente	Humedad relativa (%)	Temperatura objeto	Humedad en suelo (%)	Buena (%)	Mala (%)	Total de pixeles
11/03/2015	6	26.630	41.680	22.265	17.115	98.375	1.625	51284.333
12/03/2015	3	28.593	33.843	23.000	22.582	98.493	1.507	53981.000
13/03/2015	1	30.510	30.220	24.100	5.568	97.390	2.610	50875.000
14/03/2015	3	25.080	43.760	21.300	19.869	97.850	2.150	57572.000
17/03/2015	9	26.398	49.521	21.289	17.389	98.388	1.612	58059.333
18/03/2015	8	25.834	49.906	21.400	18.278	97.560	2.440	55681.143
19/03/2015	9	28.577	41.729	23.544	18.393	98.487	1.513	60039.222
20/03/2015	6	28.883	41.325	24.187	16.764	98.265	1.735	57910.667
21/03/2015	8	27.160	47.040	22.438	15.158	98.478	1.523	57218.250
22/03/2015	6	26.662	43.550	22.367	11.432	98.277	1.723	57310.667
23/03/2015	11	30.015	35.328	24.682	6.223	98.290	1.710	56219.182
24/03/2015	14	33.017	31.554	27.314	6.414	98.377	1.623	55334.857
25/03/2015	8	32.420	30.659	27.075	13.887	98.685	1.315	56222.500
26/03/2015	8	31.978	26.535	26.928	14.412	98.200	1.800	50249.750
27/03/2015	8	30.743	28.254	25.838	13.737	97.959	2.041	42443.500
28/03/2015	8	30.933	27.166	25.544	14.867	98.206	1.794	43865.375
29/03/2015	8	31.280	26.786	26.000	15.681	98.975	1.025	54084.875
30/03/2015	8	32.135	26.006	26.900	15.226	99.069	0.931	57197.250
31/03/2015	8	33.279	26.253	28.650	16.318	98.238	1.763	49054.125
01/04/2015	8	32.866	27.388	27.925	16.338	98.886	1.114	56623.750
02/04/2015	8	32.999	27.151	27.938	14.052	99.301	0.699	63581.875
03/04/2015	8	33.553	25.740	28.678	11.320	98.838	1.163	54600.875
04/04/2015	8	34.334	29.570	29.675	11.859	98.371	1.629	48791.750
05/04/2015	8	33.458	30.849	29.013	9.969	98.336	6.664	26724.750
06/04/2015	8	33.599	29.815	28.861	12.788	91.085	8.915	30182.250
07/04/2015	8	34.925	28.444	30.100	15.013	98.504	1.496	54949.125
08/04/2015	8	35.464	29.026	30.575	13.497	98.636	1.364	54298.250
09/04/2015	8	34.716	31.955	29.888	6.923	98.749	1.251	54143.000
10/04/2015	8	34.226	30.028	29.425	4.941	98.816	1.184	57752.000
11/04/2015	8	33.455	32.693	28.975	3.891	98.821	1.179	61018.000
12/04/2015	8	31.718	36.978	27.675	4.889	98.481	1.519	64087.500
13/04/2015	8	29.044	37.954	25.863	4.425	97.073	2.928	52446.875
14/04/2015	8	31.326	32.384	27.025	2.688	98.633	1.368	50907.125
15/04/2015	8	31.991	33.689	27.313	2.705	98.563	1.438	53369.750
16/04/2015	8	32.650	30.229	27.900	2.204	98.616	1.384	57960.000
17/04/2015	8	32.960	28.531	28.175	1.756	98.240	1.760	57563.250
18/04/2015	8	32.623	26.921	27.925	1.989	98.418	1.583	59203.500
19/04/2015	8	32.959	24.274	28.300	1.845	98.328	1.673	70180.625
20/04/2015	8	32.576	23.770	28.063	1.456	98.741	1.259	68335.625
21/04/2015	6	35.135	27.655	30.100	1.694	98.545	1.455	75129.833
22/04/2015	14	35.124	26.837	30.239	1.540	98.606	1.304	76022.500
23/04/2015	6	33.325	27.455	29.100	1.449	98.728	1.272	83147.667

Sujeto de análisis: Planta 6

Total de muestras: 326

Grupo: 1

Periodo de análisis: 11 de marzo del 2015 al 23 de abril del 2015

Días de experimento: 44

Días de análisis: 42

Observaciones: Los días domingo 15 de marzo y lunes 16 de marzo no se realizaron análisis debido al problema con la cámara web ya mencionado.

Horas de análisis: 12 am, 3 am, 6 am, 9 am, 12 pm, 3 pm, 6 pm, 9 pm

Hora de regado: 13:30:00 horas.

Cantidad de agua suministrada: 0 mililitros.

Una muestra de los datos recopilados de los análisis de la planta 6 se presenta en el anexo G a modo de solución por el espacio. En la tabla 8.9 se muestran los promedios de los valores de los datos recopilados por día, donde en cada día se realizaban varios análisis.

Tabla 8.9 Promedios de datos obtenidos de análisis de la planta 6.

Promedios de datos planta 6								
Fecha	Numero de Análisis	Temperatura ambiente	Humedad relativa (%)	Temperatura objeto	Humedad en suelo (%)	Bueno (%)	Malo (%)	Total de pixeles
11/03/2015	6	26.495	41.777	22.560	20.811	98.258	1.742	60154.167
12/03/2015	3	28.697	35.817	23.067	20.152	97.610	2.390	51706.000
13/03/2015	1	30.100	30.360	24.100	20.211	97.210	2.790	42577.000
14/03/2015	3	25.783	43.790	21.367	18.623	93.867	6.133	29834.333
17/03/2015	9	25.493	49.339	21.389	16.642	82.979	17.021	15041.111
18/03/2015	8	25.926	49.429	21.571	17.369	80.331	19.669	13493.857
19/03/2015	9	28.600	41.529	23.522	16.738	77.076	22.924	10999.111
20/03/2015	6	28.815	40.915	24.150	15.556	72.747	27.253	9210.167
21/03/2015	8	27.185	46.720	22.688	14.344	71.574	28.426	8193.625
22/03/2015	6	26.738	43.135	22.800	13.513	69.733	30.267	7778.333
23/03/2015	11	30.072	35.174	24.909	12.572	70.425	29.575	6994.182
24/03/2015	14	33.008	31.408	27.574	9.777	57.854	42.146	4666.286
25/03/2015	8	32.351	30.884	27.125	7.742	56.796	43.204	4519.125
26/03/2015	8	32.315	26.523	27.313	6.793	49.474	50.526	4597.000
27/03/2015	8	31.255	27.776	26.200	3.120	44.028	55.973	4627.375
28/03/2015	8	30.846	27.041	25.923	2.983	43.586	56.414	4937.000
29/03/2015	8	31.625	26.464	26.238	2.614	42.335	57.665	4442.625
30/03/2015	8	32.136	25.944	27.069	2.064	40.611	59.389	5115.000
31/03/2015	8	33.504	26.558	28.675	1.913	40.499	59.501	4342.750
01/04/2015	8	32.799	27.169	28.013	1.899	39.670	60.330	4853.750
02/04/2015	8	32.861	26.968	28.100	1.807	38.279	61.721	5806.250
03/04/2015	8	33.425	26.676	28.950	1.726	39.580	60.420	5089.500
04/04/2015	8	34.098	29.764	29.538	1.867	38.241	61.759	5273.625
05/04/2015	8	33.459	30.779	29.000	2.105	39.631	60.369	4624.000
06/04/2015	8	33.450	29.870	28.925	2.375	37.465	62.535	4635.875
07/04/2015	8	34.918	28.005	30.088	2.814	36.360	63.640	4572.125
08/04/2015	8	35.473	28.888	30.525	2.545	33.609	66.391	4466.125
09/04/2015	8	34.831	31.663	30.150	2.824	34.070	65.930	3960.000
10/04/2015	8	34.235	30.069	29.755	2.253	31.721	68.279	5189.000
11/04/2015	8	33.166	33.098	29.125	1.947	31.636	68.364	4765.625
12/04/2015	8	31.396	37.234	27.868	1.999	30.136	69.864	5667.875
13/04/2015	8	29.105	37.499	26.275	1.466	32.244	67.756	4154.750
14/04/2015	8	31.435	31.968	27.255	0.996	34.676	65.323	3670.500
15/04/2015	8	31.941	33.383	27.625	1.000	33.921	66.079	3980.750
16/04/2015	8	32.738	29.688	28.288	0.989	33.564	66.436	4138.250
17/04/2015	8	32.886	28.084	28.525	1.012	32.031	67.969	4075.125
18/04/2015	8	32.663	26.761	28.025	1.012	30.641	69.359	4088.875
19/04/2015	8	33.025	24.095	28.400	0.991	30.091	69.909	5138.125
20/04/2015	8	32.621	23.604	28.150	1.012	31.265	68.735	4980.000
21/04/2015	6	35.058	27.462	30.150	1.000	27.567	72.433	5406.833
22/04/2015	14	35.119	26.906	30.457	1.001	27.189	72.815	5203.143
23/04/2015	6	33.267	27.128	29.067	0.996	26.657	73.343	5525.167

8.4 Interpretación de datos obtenidos y resultados del experimento

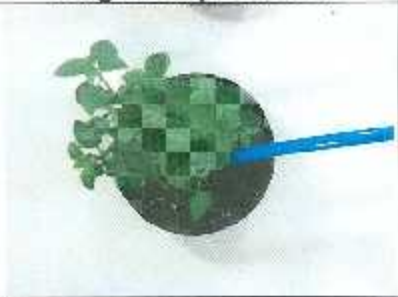

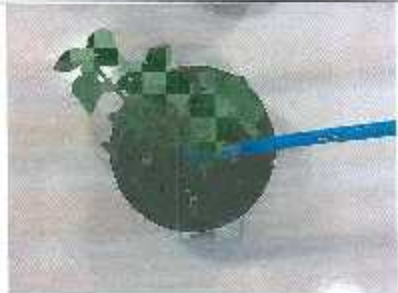

A continuación se presentan un conjunto de gráficas obtenidas de las tablas 8.4 a la tabla 8.9 correspondientes a los datos de los análisis de cada planta, las gráficas representan de forma visual el comportamiento de cada variable medida, obtenidas de los sensores y del procesamiento de imagen. Además se presentan imágenes de las plantas recopiladas a lo largo del experimento, las cuales ayudaran a visualizar de mejor manera los datos obtenidos.

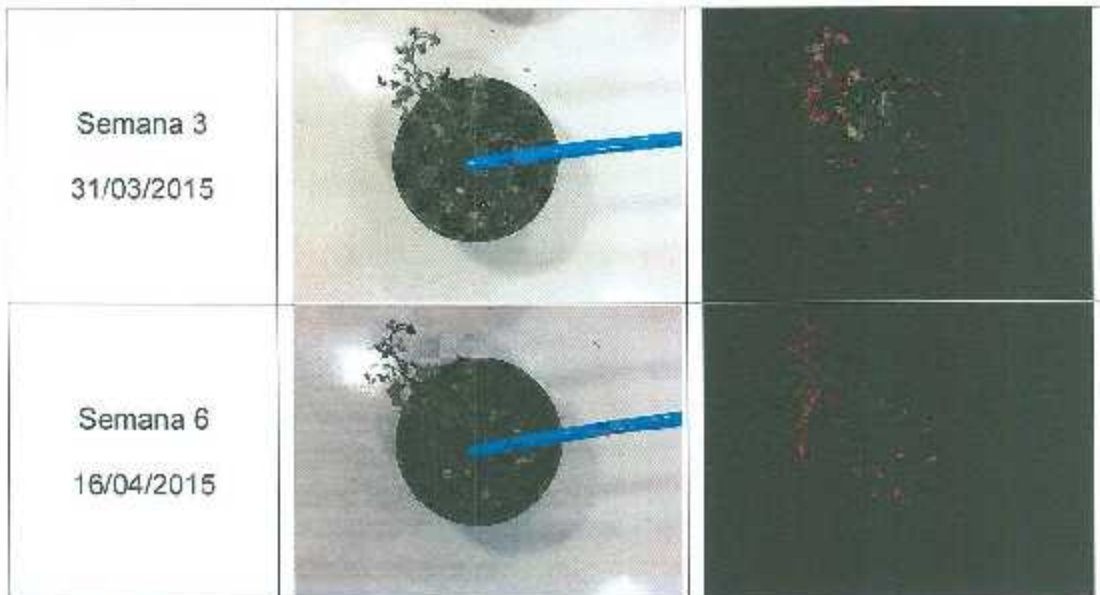
Posteriormente se analiza el comportamiento de las plantas por grupo, además se analizaran aspectos específicos en cuanto al comportamiento de las temperaturas y lecturas de los sensores de humedad en suelo.

8.4.1 Planta 1

La tabla 8.10 permite apreciar con la ayuda de imágenes el comportamiento de la planta 1 durante el experimento. La tabla contiene la imagen original capturada por la cámara web y la imagen resultante del procesamiento de imagen, además se especifica en que semana y día del experimento fueron tomadas y procesadas.

Tabla 8.10 Imágenes recopiladas de la planta 1 durante el experimento.

Fecha	Imagen no procesada	Imagen procesada
Semana 1 17/03/2015		
Semana 2 23/03/2015		



Las imágenes de la tabla 8.10 nos permite apreciar el deterioro que se produjo en la planta 1 debido al inexistente suministro de agua durante todo el experimento. En la figura 8.2 se puede apreciar la disminución de la cantidad de píxeles analizados a lo largo del experimento.



Figura 8.2 Desarrollo de la planta 1 basándose en píxeles analizados.

La disminución de píxeles se debe a la disminución de follaje visible en la imagen capturada, lo cual indica que la planta 1 disminuyó en tamaño debido al marchitamiento de sus hojas y posterior muerte de la planta. La planta 1 tardó en marchitarse totalmente y morir aproximadamente 17 días. A partir de la cuarta semana los valores permanecieron prácticamente

constantes en cantidad de píxeles analizados, una vez que la planta se encontraba totalmente seca. Con valores promedios semanales se obtuvo que de la semana uno a la semana tres (11 de marzo al 31 de abril) la cantidad de píxeles disminuyeron en un 80.37%. De la semana 4 a la semana 6 se redujo en un 18.67%. En la tabla 8.11 se muestran las variaciones de porcentajes entre semanas.

Tabla 8.11 Desarrollo por periodos en porcentajes de la planta 1.

PERIODO	PIXELES	PORCENTAJES	
semana 1:	42308.278	-80.3792618 %	-91.7547797 %
semana 2:	29099.823		
semana 3:	8301.196		
semana 4:	4289.161	-18.6691536 %	
semana 5:	3487.429		
semana 6 + 2 días:	3488.411		

Los porcentajes son en base a cantidades de píxeles iniciales y finales (en este caso de semanas), comparándose con la cantidad de píxeles de inicio, con esto se puede saber qué porcentaje aumento o disminuyo de un periodo a otro.

La figura 8.3 muestra tres variables las cuales varían en valores del 0 al 100%, dos variables representan la condición buena o mala en la que se encuentra la planta y la tercera variable corresponde a la humedad relativa que se encuentra en el invernadero.



Figura 8.3 Porcentajes de la condición de la planta 1 y humedad relativa.

La variable en color verde de la gráfica representa el buen estado de la planta mientras que la variable de color rojo representa el mal estado de la planta. Con esto se puede apreciar que la planta 1 al inicio del experimento, el análisis arrojaba valores de 98% en buen estado y 2% en mal estado, durante la primera semana y media los valores en buen estado se mantuvieron arriba del 90% y valores menores al 10% de mal estado. Para el día 28 de marzo los valores arrojaban el 50% aproximadamente en buen y mal estado. Posterior a este día el deterioro aumentó. La humedad relativa dentro del invernadero se mantuvo entre valores del 24% y 52% teniendo una media de 32.969%, durante todo el experimento, cabe mencionar que la humedad relativa representa la cantidad de agua en el aire dentro del invernadero, por lo tanto los valores de esta variable resultaran prácticamente iguales en los datos obtenidos para todas las plantas.

La figura 8.4 muestra las temperaturas en grados Celsius recopiladas a lo largo del experimento, las temperaturas en anaranjado representan la temperatura ambiente a la que se encuentre el invernadero mientras que el grafico en amarillo representa la temperatura directa de la planta 1.

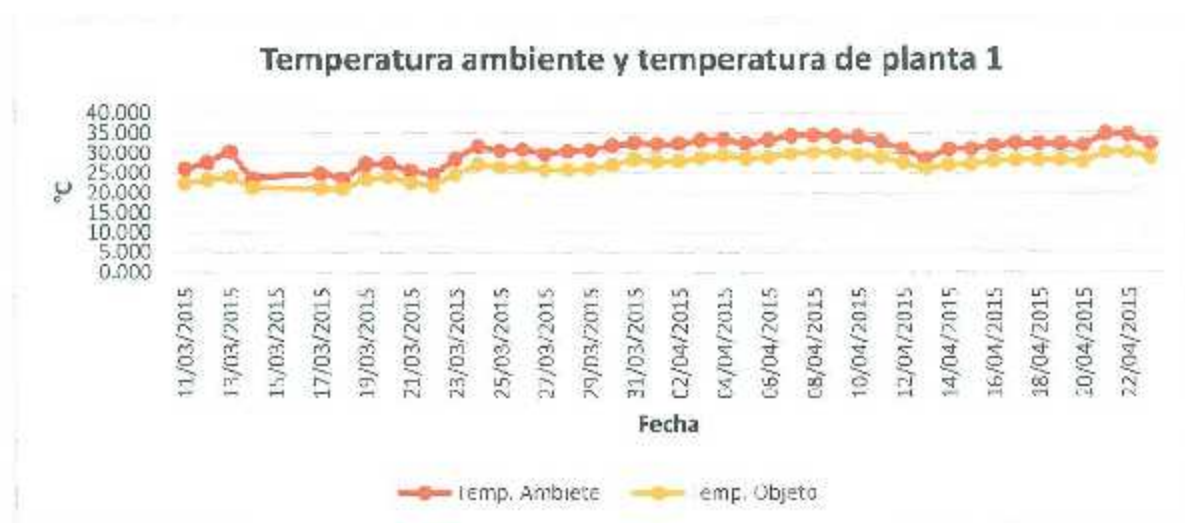


Figura 8.4 Temperatura ambiente del invernadero y temperatura de la planta 1.

Como se puede observar el comportamiento de ambas temperaturas es similar como es de esperarse, obteniendo la media para ambas temperaturas se puede observar que la temperatura ambiente en términos generales fue 4 °C mayor a las lecturas directas de la planta. La media de la temperatura ambiente durante el experimento fue de 30.772 °C mientras que la de temperatura

directa fue de 26.721 °C. La figura 8.5 muestra los valores de humedad en suelo de la planta 1, como se podría esperar al no suministrarse agua durante todo el experimento el grafico muestra una disminución en los valores medidos por el sensor.



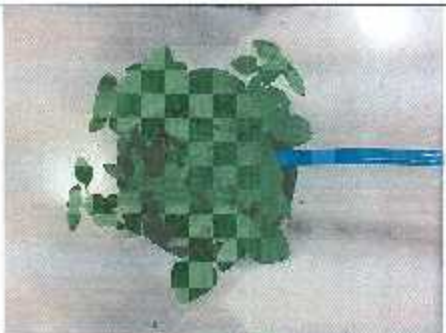

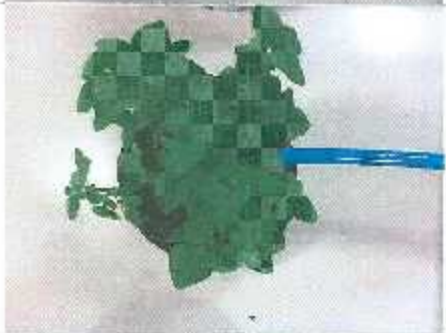

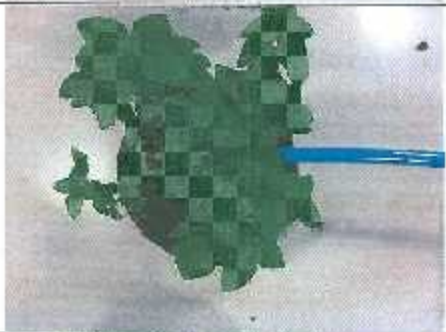



Figura 8.5 Humedad en suelo de la planta 1.

8.4.2 Planta 2

La tabla 8.12 muestra las imágenes de la planta 2 obtenidas de los análisis a través del transcurso del experimento.

Tabla 8.12 Imágenes recopiladas de la planta 2 durante el experimento.

Fecha	Imagen no procesada	Imagen procesada
Semana 1 17/03/2015		

<p>Semana 2 23/03/2015</p>		
<p>Semana 3 31/03/2015</p>		
<p>Semana 4 07/04/2015</p>		
<p>Semana 5 13/04/2015</p>		



Como se aprecia en las imágenes de la tabla 8.13 la planta incremento de tamaño durante el experimento. La figura 8.6 muestra el desarrollo de la planta 2, se puede observar que durante poco más de tres semanas las variaciones de pixeles analizados fueron pocos, manteniéndose similares pero con un pequeño decremento (primera etapa de regado). Posteriormente hasta el fin del experimento la planta se desarrolló positivamente, después de un regado diario (segunda etapa de regado). Posterior a la semana cinco una parte de la planta salía del campo de visión de la imagen.



Figura 8.6 Desarrollo de la planta 2 basándose en pixeles analizados.

En la tabla 8.13 se muestra el desarrollo de la planta en porcentajes.

Tabla 8.13 Desarrollo por periodos en porcentajes de la planta 2.

RIEGO	PERIODO	PIXELES	PORCENTAJES	
Primera etapa	Semana 1:	69020.900	- 13.882529%	25.1766162 %
	Semana 2:	68281.268		
	Semana 3:	65055.571		
	Semana 4:	59439.054		
Segunda etapa	Semana 5:	67463.304	45.3556575 %	
	Semana 6 + 2 días:	86398.027		

En la figura 8.7 se muestra como la condición de la planta se encontró en buen estado arriba del 97% durante todo el experimento y en mal estado en valores menores de 3%. En cuanto a la humedad relativa se mantuvo menor al 51.651% y mayor al 25.628% con una media de 32.753 % con datos durante todo el experimento.

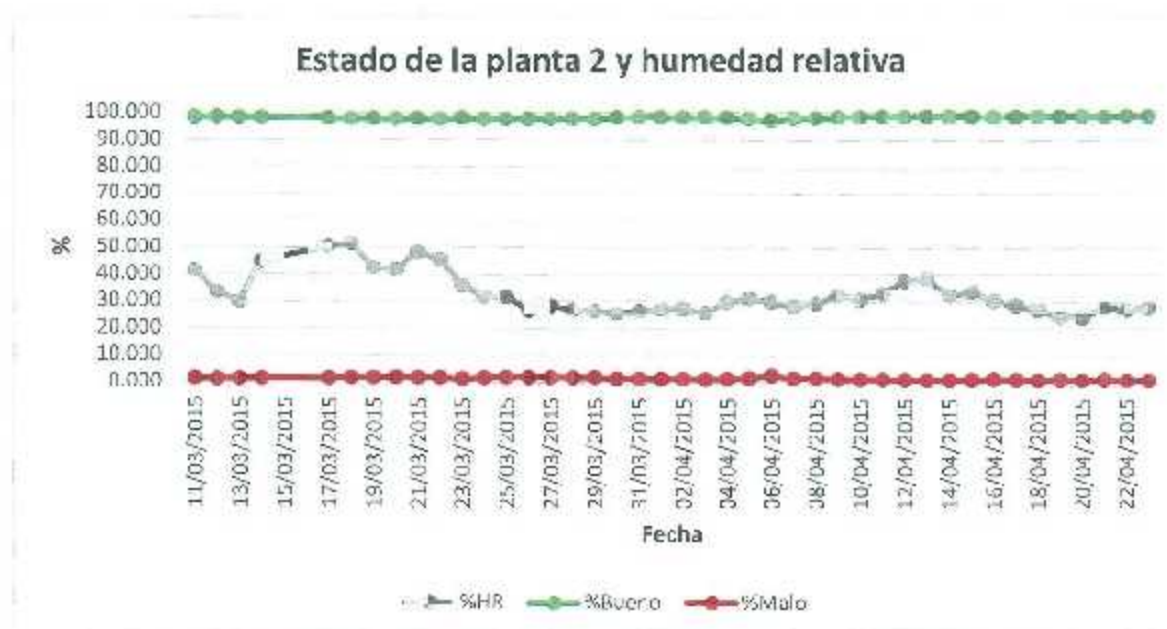


Figura 8.7 Porcentajes de la condición de la planta 2 y humedad relativa.

En la figura 8.8 se muestran las temperaturas y la humedad relativa en porcentajes.

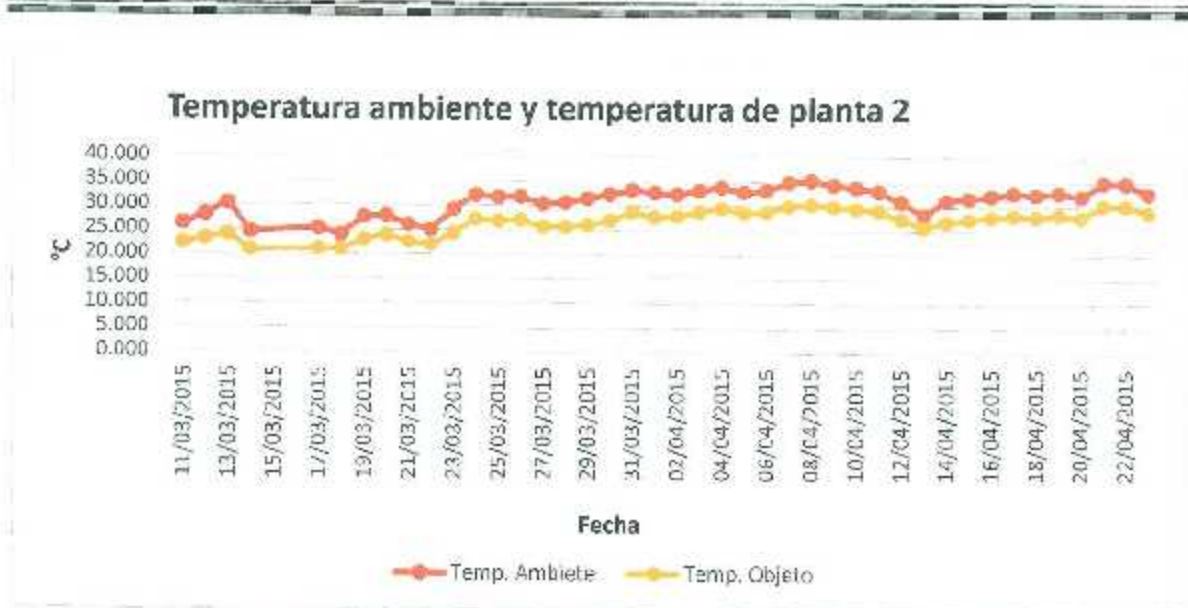


Figura 8.8 Temperatura ambiente del invernadero y temperatura de la planta 2.

Como se puede esperar las temperaturas tienen un comportamiento similar, en promedio durante todo el experimento la temperatura ambiente fue de 31.058 °C y la temperatura de la planta 2 fue de 26.630 °C, con una diferencia de 4.428 °C.

La figura 8.9 muestra el comportamiento del sensor de humedad en suelo de la planta 2. Como se puede observar el comportamiento del sensor no fue el esperado, la gráfica muestra un comportamiento de los valores que tiende a disminuir aunque a la planta (al suelo) se le suministre agua, los picos que se muestran el día 26 y 31 de marzo se debe a que se cambiaron los sensores. El comportamiento esperado durante la primera etapa de riego en la cual se regaba la planta tres veces a la semana, sería una especie de gráfico en forma de sierra en donde aumentarían los valores debido al suministro de agua y disminuirían los días que no se suministró agua, esto de forma. Para la segunda etapa de riego al ser un regado diario los valores se deberían mantener visiblemente más constantes.



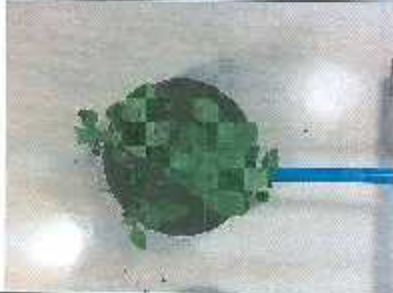







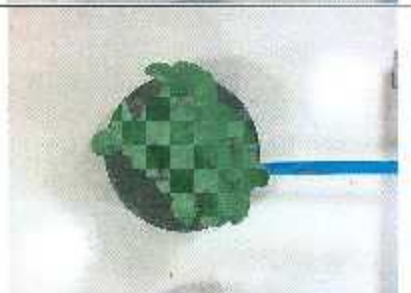

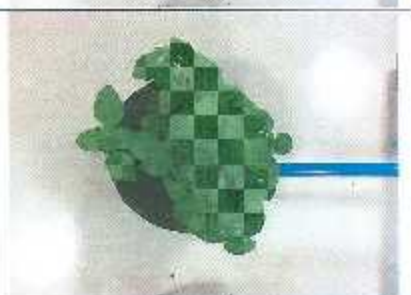

Figura 8.9 Humedad en suelo de la planta 2.

8.4.3 Planta 3

La tabla 8.14 muestra las imágenes de la planta 3 obtenidas de los análisis a través del transcurso del experimento.

Tabla 8.14 Imágenes recopiladas de la planta 3 durante el experimento.

Fecha	Imagen no procesada	Imagen procesada
Semana 1 17/03/2015		
Semana 2 23/03/2015		

<p>Semana 3 31/03/2015</p>		
<p>Semana 4 07/04/2015</p>		
<p>Semana 5 13/04/2015</p>		
<p>Semana 6 20/04/2015</p>		

Las imágenes de la planta 3 durante el experimento muestran cómo la planta en la semana 3 cambió de posición debido a que se cambió el sensor de humedad en suelo el día 24 de marzo y no se colocó de forma adecuada nuevamente como anteriormente se encontraba, por lo tanto los valores de las dos semanas iniciales no representan de forma fiel el comportamiento de la planta durante el experimento. Posterior a esto se puede observar que la planta creció durante el experimento, lo cual se puede apreciar en la figura 8.10.



Figura 8.10 Desarrollo de la planta 3 basándose en pixeles analizados

En la tabla 8.15 se muestra como se comportó la planta 3 mediante porcentajes. La semana uno y dos no se tomaron en cuenta debido a lo ya mencionado.

Tabla 8.15 Desarrollo por periodos en porcentajes de la planta 3.

RIEGO	PERIODO	PIXELES	PORCENTAJES	
Primera etapa	Semana 1:	46078.244	X	X
	Semana 2:	41739.154		
	Semana 3:	21135.982	-4.44046417 %	144.603364 %
	Semana 4:	20197.446		
Segunda etapa	Semana 5:	32951.429	155.969603 %	
	Semana 6 + 2 días:	51699.323		

Los porcentajes mayores a 100 se deben a que la planta aumentó de tamaño a más del doble respecto al valor inicial. Se puede observar que del día 24 de marzo al 9 de abril (periodo de la primera etapa de regador, quitando las dos semanas mencionadas), la planta disminuyó un 4.4% en tamaño, posteriormente (segunda etapa de regado) aumento un 155.96% en tamaño.

La figura 8.11 muestra que la planta 3 se mantuvo en buen estado arriba de los 91.3% durante todo el experimento y en mal estado en valores menores de 8.7%.

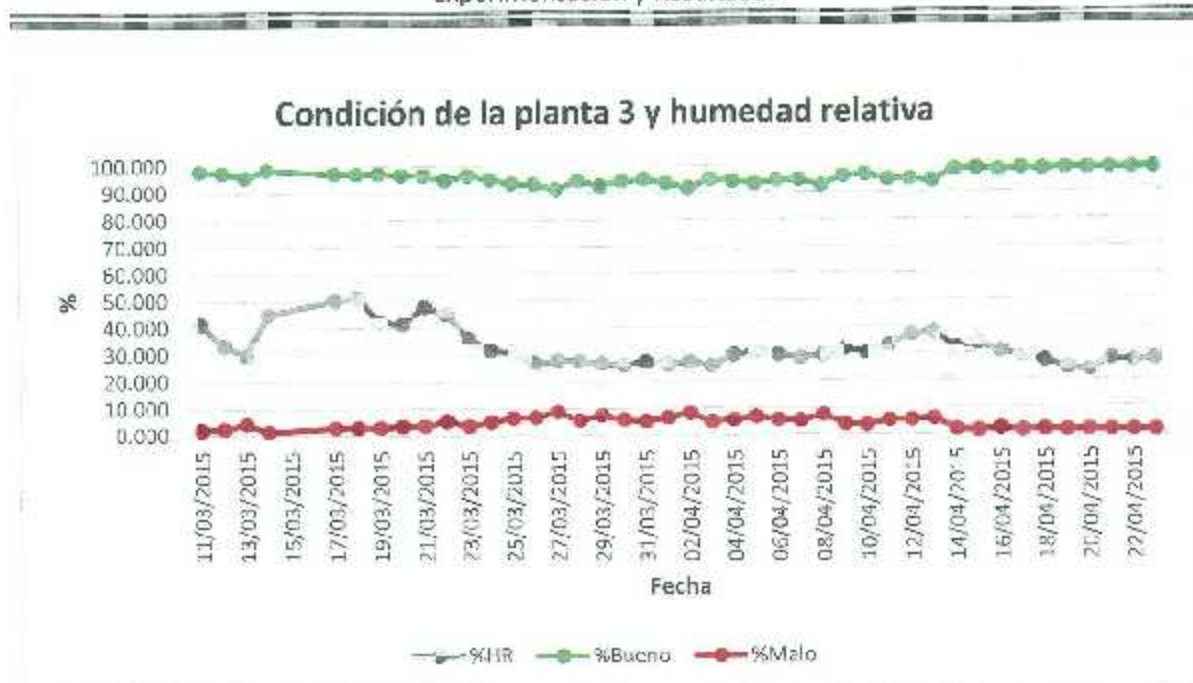


Figura 8.11 Porcentajes de la condición de la planta 3 y humedad relativa.

En cuanto a la humedad relativa se mantuvo menor al 51.304% y mayor al 23.663% con una media de 32.668 % con datos durante todo el experimento.

En la figura 8.12 se muestran las temperaturas correspondientes a la planta 3 y ambiental.

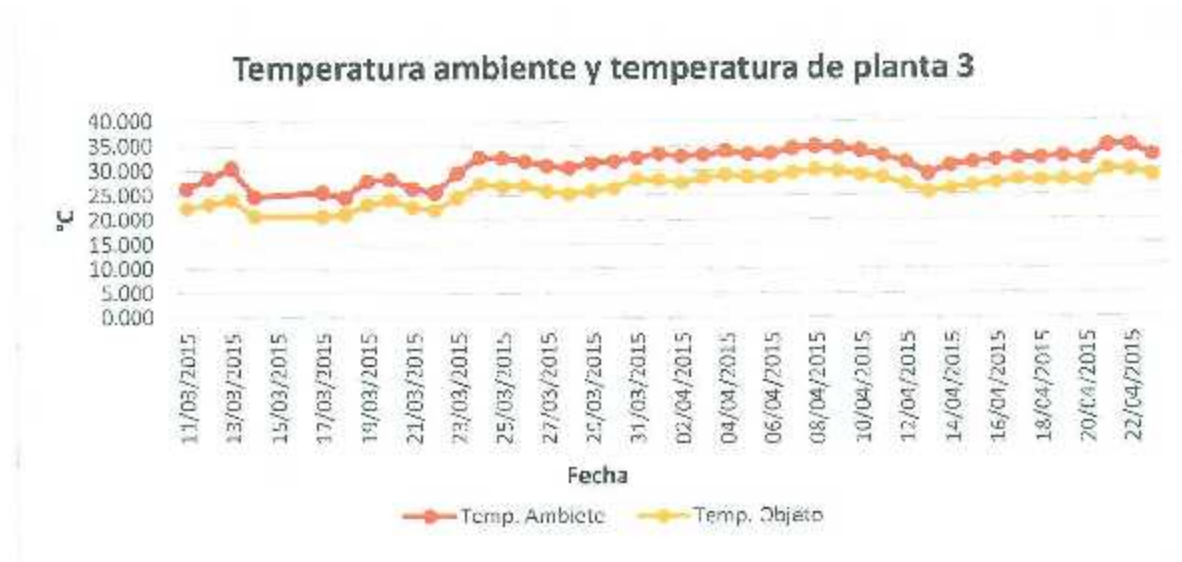


Figura 8.12 Temperatura ambiente del Invernadero y temperatura de la planta 3.

Como se puede esperar las temperaturas tienen un comportamiento similar, en promedio durante todo el experimento la temperatura ambiente fue de 31.165 °C y la temperatura de la planta 3 fue de 26.397 °C, con una diferencia de 4.768 °C entre ambas temperaturas. En la figura 8.13 se muestra el comportamiento del sensor de humedad en suelo para la planta 3, al igual que la planta 2 se cambió dos veces el sensor de humedad, el primero el día 24 y el segundo el día 31, ambos el mes de marzo.













Figura 8.13 Humedad en suelo de la planta 3.

8.4.4 Planta 4

La tabla 8.16 muestra las imágenes de la planta 4 obtenidas de los análisis a través del transcurso del experimento.

Tabla 8.16 Imágenes recopiladas de la planta 4 durante el experimento.

Fecha	Imagen no procesada	Imagen procesada
Semana 1 17/03/2015		

<p>Semana 2 23/03/2015</p>		
<p>Semana 3 31/03/2015</p>		
<p>Semana 4 07/04/2015</p>		
<p>Semana 5 13/04/2015</p>		
<p>Semana 6 20/04/2015</p>		

Las imágenes de la tabla 8.16 muestran como la planta aumento visiblemente de tamaño a lo largo de las seis semanas y dos días que duro el experimento. Para la semana cinco una parte de la planta salía del campo de visión de la cámara. En la figura 8.14 se muestra el comportamiento de la planta en cuanto a la cantidad de pixeles analizados durante todo el experimento.

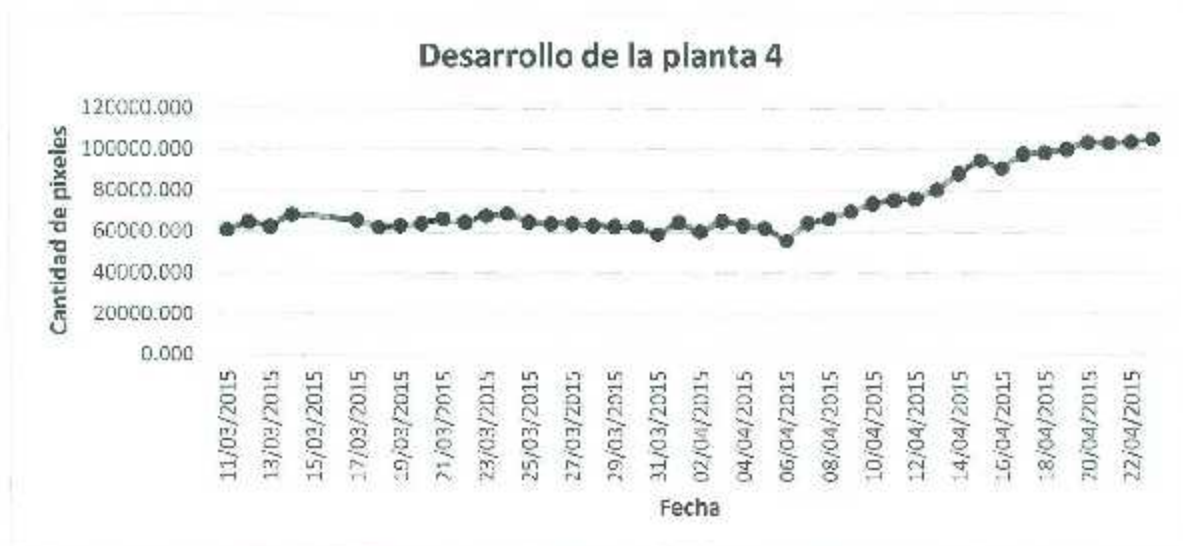


Figura 8.14 Desarrollo de la planta 4 basándose en pixeles analizados.

En la tabla 8.17 se muestra como se comportó la planta expresándolo en porcentajes basados en la cantidad de pixeles analizados en determinados periodos de tiempo.

Tabla 8.17 Desarrollo por periodos en porcentajes de la planta 4.

RIEGO	PERIODO	PIXELES	PORCENTAJES	
Primera etapa	Semana 1	64668.578	- 3.56204556 %	54.226374 %
	Semana 2	65511.475		
	Semana 3	63084.911		
	Semana 4	62365.054		
Segunda etapa	Semana 5	75881.857	59.9229006 %	
	Semana 6 + 2 días	99736.003		

En la primera etapa de riego se puede observar que el tamaño de la planta disminuyo un 2.44% y la segunda etapa de riego aumento un 59.92%. Durante todo el experimento la planta aumento en tamaño un 54.22%, es decir se incrementó aproximadamente la mitad del

tamaño de la planta con la que se inició. La figura 8.15 muestra que la planta se mantuvo en buen estado arriba de los 97.167% y en mal estado en valores menores de 2.839%. En cuanto a la humedad relativa se mantuvo menor al 49.971% y mayor al 23.614% con una media de 32.363 %.



Figura 8.15 Porcentajes de la condición de la planta 3 y humedad relativa.

En la figura 8.16 se muestran las temperaturas correspondientes a la planta 4 y ambiental, además de la humedad relativa en porcentajes. Como se puede esperar y como ya se ha mencionado estas tienen un comportamiento similar, en promedio durante todo el experimento la temperatura ambiente fue de 31.601 °C y la temperatura de la planta 4 fue de 26.448 °C, con una diferencia de 5.153 °C entre ambas temperaturas.

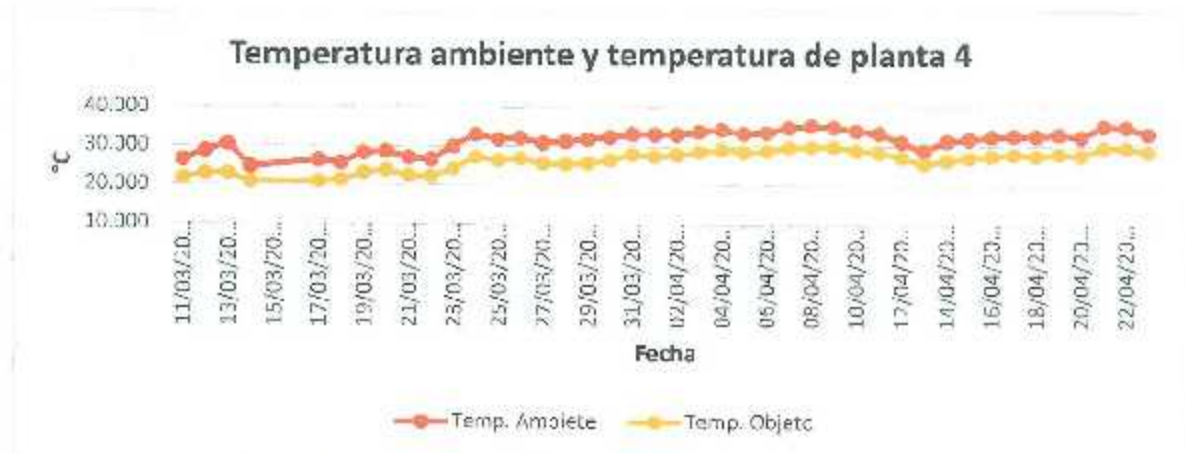


Figura 8.16 Temperatura ambiente del invernadero y temperatura de la planta 4.

En la figura 8.17 se muestra el comportamiento del sensor de humedad en suelo para la planta 4, al igual que la planta 2 y 3 se cambió dos veces el sensor de humedad, el primero el día 26 y el segundo el día 31, ambos el mes de marzo. Solo los dos días mencionados se realizaron el cambio de sensores, el pico del día 7 de abril no se debió a un cambio de sensor.




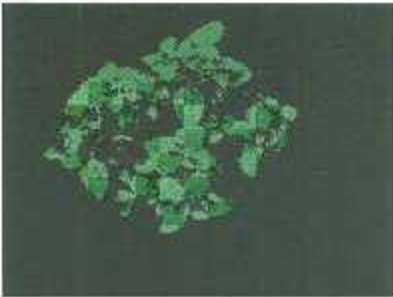








Figura 8.17 Humedad en suelo de la planta 4.

8.4.5 Planta 5

La tabla 8.18 muestra las imágenes de la planta 5 obtenidas de los análisis a través del transcurso del experimento.

Tabla 8.18 Imágenes recopiladas de la planta 5 durante el experimento.

Fecha	Imagen no procesada	Imagen procesada
Semana 1 17/03/2015		

Semana 2 23/03/2015		
Semana 3 31/03/2015		
Semana 4 07/04/2015		
Semana 5 13/04/2015		
Semana 6 20/04/2015		

Como se puede observar en la tabla 8.18 la planta aumento en tamaño durante el transcurso del experimento. En la figura 8.18 se muestra el comportamiento de la planta en cuanto a la cantidad de pixeles analizados durante todo el experimento.



Figura 8.18 Desarrollo de la planta 5 basándose en pixeles analizados.

En la tabla 8.19 se muestra como se comportó la planta expresándolo en porcentajes basados en la cantidad de pixeles analizados en determinados periodos de tiempo.

Tabla 8.19 Desarrollo por periodos en porcentajes de la planta 5.

RIEGO	PERIODO	PIXELES	PORCENTAJES	
Primera etapa	Semana 1	54354.333	-11.8339778 %	22.8385655 %
	Semana 2	57101.998		
	Semana 3	50588.196		
	Semana 4	47922.054		
Segunda etapa	Semana 5	56378.964	39.3264236 %	
	Semana 6 + 2 días	66768.083		

En la primera etapa de regado se puede observar que el tamaño de la planta disminuyo un 6.928% y la segunda etapa de regado aumento un 39.32%. Durante todo el experimento la planta aumento en tamaño un 22.83%. La gráfica 8.18 muestra que la planta 5 se mantuvo en buen estado arriba de los 91.161% y en mal estado con valores menores de 8.915%. Cabe destacar que los días 5 y 6 de marzo la cantidad de pixeles y los porcentajes de buen y mal

estado variaron en gran medida respecto al comportamiento de los otros días, esto se puede apreciar en la graficas 8.17 y 8.18 sin tener un motivo claro de porque sucedió esto. En cuanto a la humedad relativa se mantuvo menor al 49.906% y mayor al 23.770% con una media de 32.394 %.

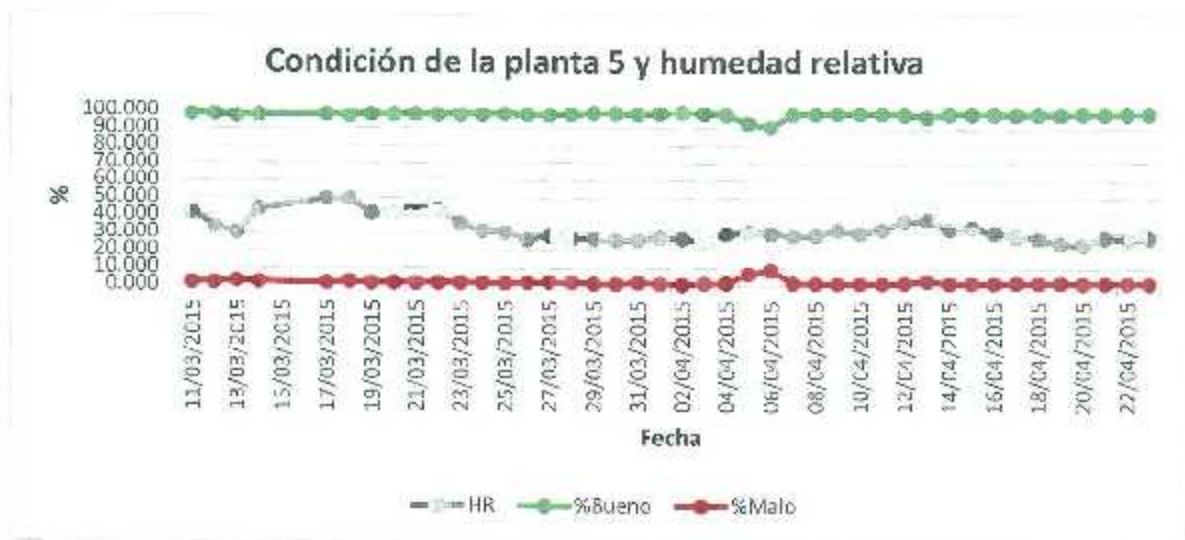


Figura 8.19 Temperatura ambiente del invernadero y temperatura de la planta 5.

En la figura 8.20 se muestran las temperaturas correspondientes a la planta 5 y ambiental, además de la humedad relativa en porcentajes. En promedio durante todo el experimento la temperatura ambiente fue de 31.551 °C y la temperatura de la planta 4 fue de 26.756 °C, con una diferencia de 4.795 °C entre ambas temperaturas.

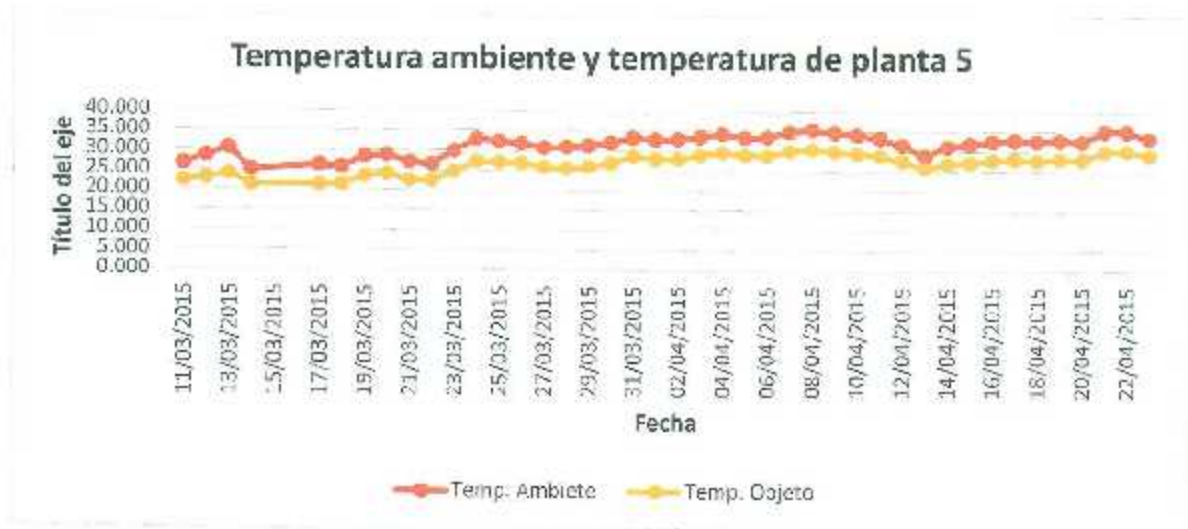


Figura 8.20 Temperatura ambiente del invernadero y temperatura de la planta 5.

En la figura 8.21 se muestra el comportamiento del sensor de humedad en suelo para la planta 5, al igual que los demás sensores de humedad este no se comportó de la forma esperada, el sensor se cambió una sola vez el día 24 de marzo.







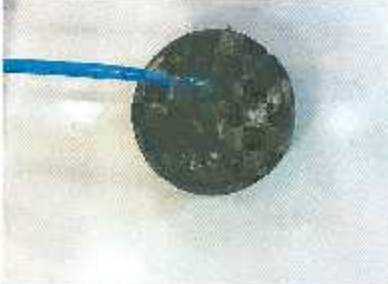

Figura 8.21 Humedad en suelo de la planta 5.

8.4.6 Planta 6

La tabla 8.20 muestra las imágenes de la planta 6 obtenidas de los análisis a través del transcurso del experimento.

Tabla 8.20 Imágenes recopiladas de la planta 6 durante el experimento.

Fecha	Imagen no procesada	Imagen procesada
Semana 1 17/03/2015		

<p>Semana 2 23/03/2015</p>		
<p>Semana 3 31/03/2015</p>		
<p>Semana 6 16/04/2015</p>		

Como se puede observar en las imágenes de la tabla 8.20 la planta se deterioró a lo largo del experimento. En la figura 8.22 se muestra el comportamiento de la planta en cuanto a la cantidad de píxeles analizados durante todo el experimento.



Figura 8.22 Desarrollo de la planta 6 basándose en píxeles analizados.

En la tabla 8.21 se muestra como se deterioró la planta expresando este en porcentajes basados en la cantidad de pixeles analizados en determinados periodos de tiempo.

Tabla 8.21 Desarrollo por periodos en porcentajes de la planta 6.

PERIODO	PIXELES	PORCENTAJES	
Semana 1	39862.522	-88.2876471 %	-88.140833 %
Semana 2	8762.223		
Semana 3	4668.839		
Semana 4	4993.518	-5.33000521 %	
Semana 5	4553.411		
Semana 6 + 2 días	4727.363		

Las primeras tres semanas de análisis la planta 6 disminuyó un 88.28% esta disminución se debe a la reducción del tamaño de la planta debido al marchitamiento y muerte de la planta por falta de agua, de la semana tres al fin del experimento la planta disminuyó solo un 5%, prácticamente igual durante estas semanas.

En la gráfica 8.23 se muestra la condición buena y mala de la planta, además de la humedad relativa.

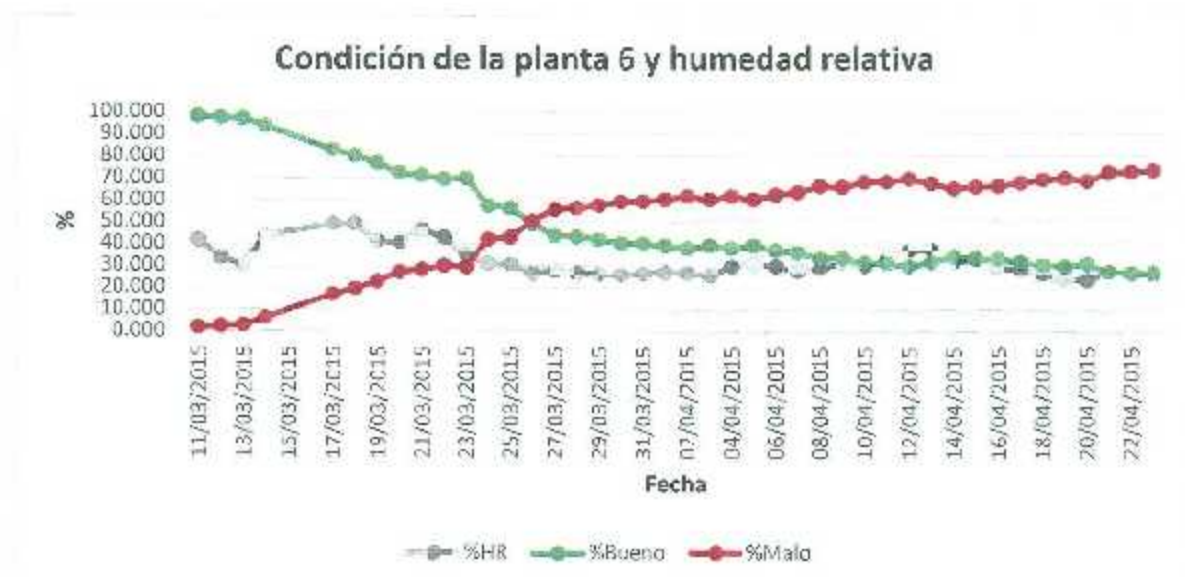


Figura 8.23 Temperatura ambiente del invernadero y temperatura de la planta 6.

La condición y deterioro de la planta se puede apreciar claramente en la gráfica 8.22 debido a la disminución del estado bueno (grafico verde) y el aumento del estado malo (grafico

rojo), para el día 26 de marzo la planta estaba en un 50% para ambos estados. En la figura 8.24 se muestran las temperaturas correspondientes a la planta 6 y ambiental, además de la humedad relativa en porcentajes.

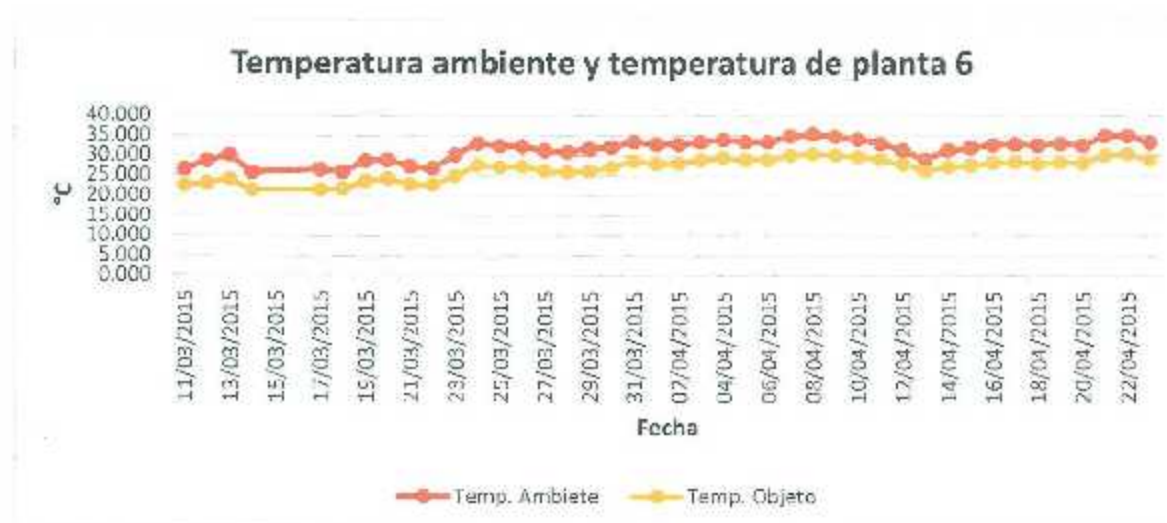


Figura 8.24 Temperatura ambiente del invernadero y temperatura de la planta 6.

En promedio durante todo el experimento la temperatura ambiente fue de 31.569 °C y la temperatura de la planta 4 fue de 26.912 °C, con una diferencia de 4.657 °C entre ambas temperaturas. La figura 8.25 muestra los valores de humedad en suelo de la planta 6, como se podría esperar al no suministrarse agua durante todo el experimento el grafico muestra una disminución en los valores medidos por el sensor.



Figura 8.25 Humedad en suelo de la planta 6.

8.4.7 Grupo 1

El grupo 1 conformado por las plantas 1 y 6 no se les suministro agua durante todo el experimento, los datos de ambas plantas se muestran en la tabla 8.22.

Tabla 8.22 Desarrollo por periodos en porcentajes de grupo 1.

GRUPO 1						
RIEGO	PERIODO	PLANTA 1		PLANTA 6		
		PIXELES	PORCENTAJES	PIXELES	PORCENTAJES	
No se rego	Semana 1:	42308.278		39862.522		
	Semana 2:	29099.823	-80.379 %	8762.223	-88.287 %	
	Semana 3:	8301.196		4668.839		
	Semana 4:	4289.161		4993.518		
	Semana 5:	3487.429	-18.669 %	4553.411	-5.330 %	
	Semana 6 + 2 días:	3488.411		4727.363		-88.140 %
			-91.754 %			

Las dos plantas tuvieron un comportamiento similar en cuanto a su deterioro, la planta 1 disminuyó en tamaño un 80.379% en las tres primeras semanas, mientras que la planta 6 disminuyó un 88.287% en tres semanas. Observando la figura 8.2 referente al desarrollo de la planta 1 se observa que tardó 17 días en secarse, mientras que la planta 6 en la figura 8.22 referente al desarrollo de esta planta se observa que tardó 14 días en secarse, en otras palabras las plantas tardaron entre dos semanas y dos semanas y media para alcanzar el punto en que la cantidad de pixeles se mantuvieron con los niveles más bajos una vez que ambas plantas se habían secado. La albahaca verde (*ocimum basilicum*) por lo tanto es bastante resistente en condiciones con poca agua, aguantando un tiempo considerable hasta morir.

8.4.8 Grupo 2

El grupo está conformado por las plantas 2 y 5, ambas plantas fueron regadas con 30 ml de agua durante dos etapas de riego. La primera etapa se regó ambas plantas tres veces por semana y posteriormente en la segunda etapa se regaron a diario. En la tabla 8.23 se muestra el desarrollo expresados en porcentajes de ambas plantas durante las dos etapas de riego.

Tabla 8.23 Desarrollo por periodos en porcentajes del grupo 2.

GRUPO 2						
RIEGO	PERIODO	PLANTA 2		PLANTA 5		
		PIXELES	PORCENTAJES	PIXELES	PORCENTAJES	
Primera etapa	Semana 1:	69020.900	-13.882 %	54354.333	-11.928 %	22.838 %
	Semana 2:	68281.268		57101.998		
	Semana 3:	65055.571		50588.196		
	Semana 4:	59439.054	47922.054			
Segunda etapa	Semana 5:	67463.304	45.355	56378.964	39.326	
	Semana 6 + 2 días:	86398.027	%	66768.083	%	

Durante la primer etapa de regado la planta 2 disminuyó un 13.882% y la planta 5 disminuyó un 11.928%. En la segunda etapa de regado la planta 2 aumentó su tamaño un 45.355% y la planta 6 aumentó un 39.326%. Ambas plantas en términos de desarrollo fueron muy similares, durante la primer etapa de regado disminuyeron en cantidad de pixeles analizados. Una vez suministrando la cantidad de agua a diario durante la segunda etapa de riego, ambas plantas tuvieron un notable aumentó en cantidad de pixeles analizados. El crecimiento promedio del grupo 2 durante el experimento fue de 24.007%.

8.4.9 Grupo 3

El grupo 3 conformado por las plantas 3 y 4 fueron regadas con 60 ml de agua en dos etapas al igual que el grupo 2. Ambas plantas fueron las que tuvieron la mayor tasa de crecimiento durante el experimento, pero ambas tuvieron una tasa de crecimiento algo dispar una de otra. La planta 3 fue la planta que más creció respecto a cómo inicio, alcanzando un crecimiento de pixeles del 144.60% (recordando que para esta planta las dos primeras semanas del experimento no se tomaron en cuenta). La planta 4 durante el transcurso del experimento creció un 54.22%. Ambas plantas coinciden en que en la primer etapa de regado disminuyeron menormente que las plantas del grupo 2 a las cuales se les suministro menos agua y para la segunda etapa de regado aumentaron más que las del grupo 2. El desarrollo de las dos plantas de este grupo se puede observar en la tabla 8.24.

Tabla 8.24 Desarrollo por periodos en porcentajes del grupo 3.

GRUPO 3						
RIEGO	PERIODO	PLANTA 3			PLANTA 4	
		PIXELES	PORCENTAJES		PIXELES	PORCENTAJES
Primera etapa	Semana 1:	46078.244			64668.578	
	Semana 2:	41739.154	X	X	65511.475	-3.562 %
	Semana 3:	21135.982	-4.440 %		63084.911	
	Semana 4:	20197.446		144.603 %	62365.054	
Segunda etapa	Semana 5:	32951.429	155.969 %		75881.857	59.922 %
	Semana 6:	51699.323	%		99736.003	%
	+ 2 días:					

El crecimiento promedio del grupo 3 durante el experimento fue de 99.414%.

8.4.10 Temperaturas

La albahaca *ocimum basilicum* es una planta que se cultiva principalmente en primavera y verano con temperaturas calurosas, la temperatura ambiental promedio en el transcurso del experimento fue alrededor de 31°C. Las temperaturas directas a cada planta por lo general eran de 4 °C a 5 °C menos que la temperatura ambiente, es decir aproximadamente 27 °C. Las temperaturas antes mencionadas son temperaturas promedio de todas las temperaturas medidas independientemente si la temperatura se midió de noche o día o si la iluminación del invernadero se encontraba encendida o apagada. Se tomó una muestra de los datos de la planta 2 correspondientes a tres días seguidos los cuales fueron el 10, 11 y 12 de abril. Los datos cuentan con la hora en la que se realizó el análisis y por lo tanto la hora en que se realizó la medición de las temperaturas. Los datos de día y noche respectivamente se muestran en la tabla 8.25 y 8.26.

Tabla 8.25 Temperatura horas de día (iluminación encendida).

FECHA-HORA	TEMPERATURA AMBIENTE °C	TEMPERATURA OBJETO °C
10/04/2015 09:17	34.52	29
10/04/2015 12:16	35	30
10/04/2015 15:05	36.08	30.4
10/04/2015 18:05	36.89	31.4
11/04/2015 09:17	33.98	29.1
11/04/2015 12:16	34	29.6
11/04/2015 15:16	34.23	29.9

11/04/2015 18:17	34.18	30
12/04/2015 09:05	32.25	27
12/04/2015 12:16	32.96	28
12/04/2015 15:17	33.71	28
12/04/2015 18:05	32.13	27.8
PROMEDIO:	34.16083333	29.1833333

Tabla &26 Temperaturas horas de noche (iluminación apagada).

FECHA-HORA	TEMPERATURA AMBIENTE °C	TEMPERATURA OBJETO °C
10/04/2015 00:05	30.46	28
10/04/2015 03:17	32.81	28.9
10/04/2015 06:05	30.39	28.2
10/04/2015 21:17	34.37	30
11/04/2015 00:05	30.42	28
11/04/2015 03:17	32.71	28
11/04/2015 06:17	32.37	28.3
11/04/2015 21:17	32.91	29.2
12/04/2015 00:05	28.93	27.2
12/04/2015 03:16	30.61	27.6
12/04/2015 06:05	28.71	26.8
12/04/2015 21:05	28.14	26.6
PROMEDIO:	31.06916667	28.0666667

Sin la necesidad de graficar y observando los promedios de las temperaturas en las horas de día y las horas de noche se observa lo siguiente:

- La temperatura ambiental durante las horas del día es 3.1 °C mayor aproximadamente que en las horas de noche.
- La temperatura objeto durante las horas del día es 1.1 °C mayor aproximadamente que en las horas de noche.
- Las temperaturas se comportan conforme a lo esperado, durante las horas del día resultan más calurosas, aunado además que los focos para la iluminación del invernadero se encuentran encendidos durante las horas del día y apagados durante las horas de noche.
- La temperatura recomendada para la albahaca es de entre 24-30 °C para el día y 16-20 °C durante la noche [53, p.2]. Sabiendo esto, durante el día la temperatura ambiental se

encontró 4 °C mayor y dentro del rango si se toma en cuenta la temperatura directa a la planta. Durante la noche, la temperatura ambiente se encontró 11 °C mayor al rango y la temperatura directa 8 °C.

8.4.11 Humedad en suelo

El sensor YI.-69 que se usó para determinar la humedad en suelos se caracterizó haciendo uso del método gravimétrico, ya que no contaba con hoja de datos. Mediante el método gravimétrico se obtuvieron los valores en porcentaje de humedad en tierra. El sensor se satura a una humedad de 25%, lo cual implica que su punto de saturación es bajo y este llega antes de que se tenga un aspecto acuso en la tierra. Las lecturas tomadas del sensor variaron a lo largo del experimento realizado, principalmente porque los sensores se remplazaron ya que era evidente la oxidación y desprendimiento de la lámina conductora en las sondas del sensor. El sensor no es para trabajo duro, es decir, para una aplicación de duración prolongada y constante al menos en las condiciones en las que se realizó el experimento, ya que presenta los signos de oxidación ya mencionada, arrojando resultados no reales de la cantidad de humedad en suelo.

8.5 Desempeño de la aplicación Android y procesos del invernadero.

La aplicación Android encargada del control del invernadero de forma inalámbrica depende de la PC (servidor), de un modem (red local) y la aplicación LabVIEW. La aplicación Android puede interactuar con el invernadero una vez que la aplicación LabVIEW se encuentre en ejecución, y que la PC y el dispositivo Android se encuentren conectados a la misma red local. Bajo las condiciones mencionadas, la interacción para el control vía remota del invernadero no se verá afectada. No obstante cabe mencionar que si el dispositivo Android o la PC o ambas no se encuentran conectados a la red local, no será posible la comunicación vía remota.

Durante el experimento no se presentó ningún tipo de problema con la comunicación vía remota a través de la aplicación Android, permitiendo observar los reportes de los análisis realizados, establecer condiciones de riego, observar las imágenes de las plantas, realizar análisis, etc.

Para medir el tiempo de respuesta en la interacción entre la aplicación Android y el servidor se usó la clase *System.nanoTime()*, la cual arroja el tiempo transcurrido de un proceso a otro en nanosegundos [54]. El tiempo medido es desde que se presiona un botón de la aplicación hasta que se consume un método del servicio web que altera a la base de datos. En la figura 8.26 se muestra la forma en que se usó la clase *System.nanoTime()*.

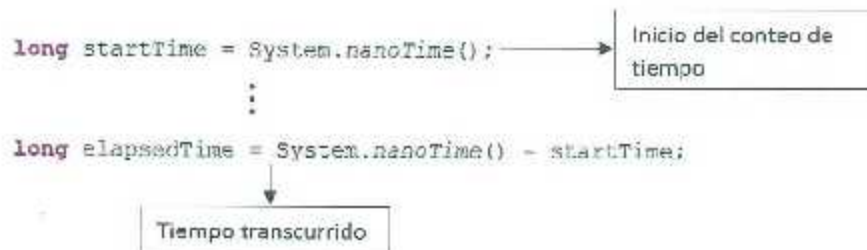


Figura 8.26 Clase *System.nanoTime()* para medir tiempo transcurrido en Android.

Se midió el tiempo de respuesta para dos botones de la aplicación Android, los cuales se encargan de encender y apagar la iluminación del invernadero. La tabla 8.27 muestra cinco tiempos medidos en nanosegundos para cada botón.

Tabla 8.27 Tiempo de respuesta de la aplicación Android en Xperia Z Ultra C6833 con el servidor.

Tiempo de respuesta en nanosegundos	
Iluminación ON	Iluminación OFF
2425677	1847864
822552	3350104
3725052	1183073
668386	1910260
2587395	1572760
Promedio por botón:	2045812.4
Promedio tiempo de respuesta:	2009312.3

El tiempo de respuesta promedio de la aplicación Android es de 2009312.3 nanosegundos, equivalente a 2.009 milisegundos.

Para medir el tiempo transcurrido en un proceso en la aplicación LabVIEW se usó el VI *Tick Count (ms)*, el cual regresa el valor en milisegundos de un timer [55]. En la figura 8.27 se

muestra el uso del *VI Tick Count (ms)* para medir el tiempo transcurrido en un proceso en LabVIEW.

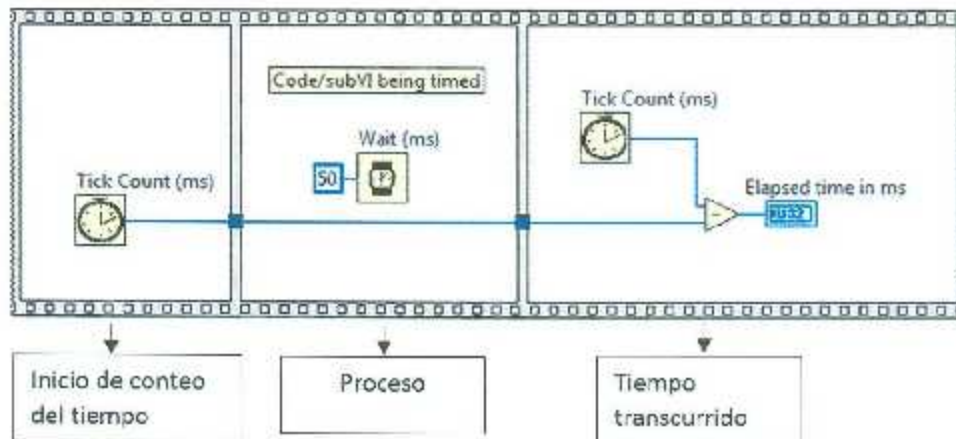


Figura 8.27 Tiempo transcurrido en un proceso en LabVIEW [55].

La aplicación LabVIEW interactúa con las placas Arduino Mega mediante el envío de caracteres por comunicación serial. Cada que se envía un carácter a la Arduino Mega va seguido de un retardo de 500 milisegundos, por lo tanto si en el caso de que se encienda la iluminación del invernadero, las lámparas tardaran aproximadamente 500 milisegundos en encender. Así igual si se apagan las lámparas, se encienda o apague la ventilación, se inicie el análisis de las plantas u otra instrucción.

Con lo anterior se entiende que al presionar el botón de la aplicación Android para encender la iluminación del invernadero, se tardara aproximadamente 502.009 ms en encender la luz.

Dentro del invernadero las plantas se colocan en una determinada posición, donde cada planta se encuentra separada una de otra 30 cm en el eje X, mientras que en el eje Y se separan 15 cm. En la figura 8.28 se muestran las distancias entre plantas desde una vista superior.

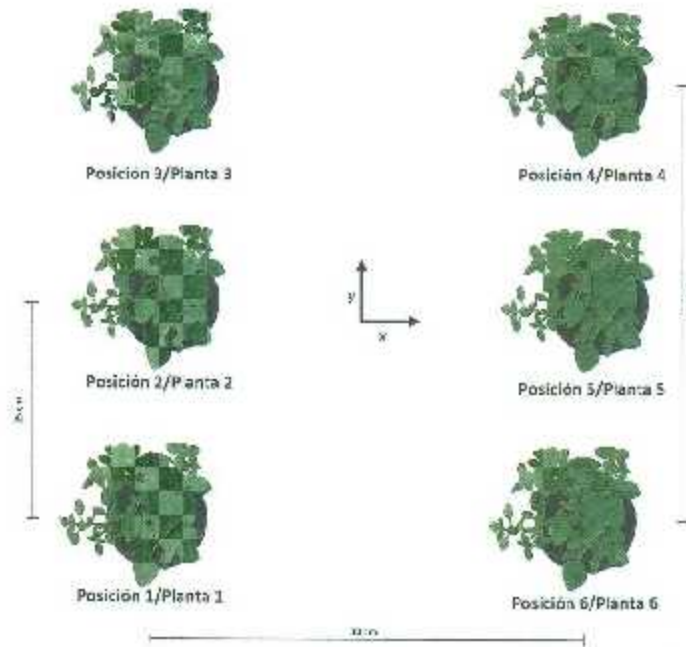


Figura 8.28 Distancias entre plantas.

La cámara web se desplaza sobre las plantas y dependiendo del eje es el tiempo que se tarda en alcanzar una posición. El desplazamiento sobre el eje Y es más rápido que el desplazamiento sobre el eje X. Para el eje X, el desplazamiento de la posición 1 a la posición 6 (30 cm) tarda 200086 ms. Para el eje Y, el desplazamiento de la posición 1 a la posición 3 (30 cm) tarda en realizarse 22473 ms y la mitad del tiempo si se desplaza de la posición 1 a la posición 2 (15 cm). Lo anterior se aprecia mejor en la tabla 8.28.

Tabla 8.28 Tiempo de desplazamiento de la cámara web entre posiciones.

Eje	Distancia (cm)	Posición inicial	Posición final	Tiempo (ms)	Tiempo
x	30	Posición 1	Posición 6	200086	3.33 min
y	30	Posición 1	Posición 3	22473	22.4 seg
y	15	Posición 1	Posición 2	14197	14.19 seg

Un ciclo de muestreo hace referencia al desplazamiento, análisis de imagen de las seis plantas y la toma de lectura de todos los sensores en el invernadero, en secuencia. En la figura 8.29 se muestra el recorrido realizado para un ciclo de muestreo.

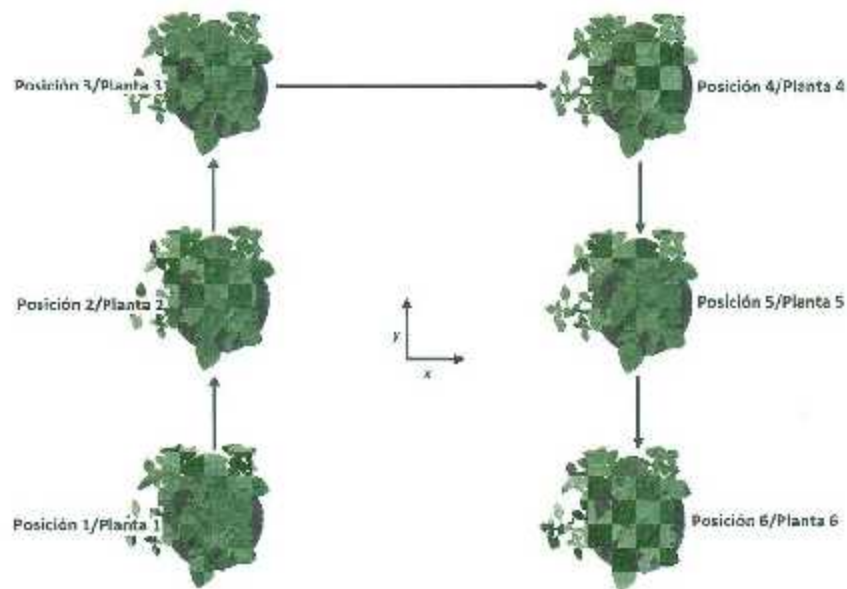


Figura 8.28 Desplazamiento de un ciclo de muestreo.

Un ciclo de muestreo se realiza en 532779 ms, equivalente a 8.87 minutos. Mientras que el ciclo de muestreo y el regreso a la posición 1 se realiza en 732865 ms, equivalente a 12.21 minutos.

El análisis de una sola planta, sin desplazamiento es en promedio de 51720 ms equivalente 51.72 segundos, es decir es el tiempo que transcurre en realizar el análisis de imagen y toma de lecturas de sensores estando en una posición, sin desplazarse. El tiempo para realizar el proceso de análisis de imagen es de 40936 ms, mientras que la toma de lectura de los sensores en 10784 ms.

El invernadero de pruebas trabajó de forma automática durante 44 días que duró el experimento, realizando procesos establecidos desde la aplicación LabVIEW o aplicación Android.

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y TRABAJOS A FUTURO

9.1 Conclusiones

Las conclusiones se presentan en diferentes apartados, para facilitar el enfoque a determinados puntos que se realizaron durante el proyecto de tesis. Las conclusiones se dividen en Aplicación Android, Aplicación LabVIEW, sistema de riego, sistema de sensores, control manual del sistema de riego, control manual del sistema de sensores y experimento realizado. Por último se presentan los trabajos a futuro, en donde se especifican los puntos de mejora.

9.1.1 Aplicación Android

El objetivo principal del trabajo de tesis es realizar una aplicación que permita controlar vía remota al invernadero, es decir controlar el posicionador mecánico, el sistema de riego y la toma de lecturas de sensores y además monitorear la condición de las plantas y variables medidas. La comunicación inalámbrica se realizó haciendo uso de cualquier celular o Tablet con un sistema operativo Android y una aplicación Android. La aplicación Android logra lo siguiente:

- Establece una comunicación inalámbrica con el servidor a través de un servicio web, el cual modifica y carga información de una base de datos. La base de datos permite a su vez la interacción con la aplicación LabVIEW, encargada de controlar los sistemas del invernadero.
- Analizar una planta en específico, lo cual conlleva al control del posicionador mecánico, tomas de lecturas de sensores y ejecución del algoritmo de procesamiento de imagen.
- Realizar ciclos de muestreo completos, esto se refiere al análisis de las seis plantas de forma secuencial.
- Control del encendido y apagado de la ventilación e iluminación del invernadero.

- Visualizar el historial de análisis de cada planta a través de reportes. 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.
- Obtener y visualizar los valores de temperatura ambiente y humedad relativa desde la aplicación Android.
- Control del sistema de riego, la cual permite establecer la fecha, hora y cantidades de agua a suministrar en mililitros por sección de riego.
- 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.
- La estructura en cómo se realiza la comunicación vía remota resulta principalmente beneficioso en términos de rendimiento de la aplicación Android ya que la mayoría de los procesos los realiza el servidor.
- La aplicación Android cuenta con un diseño visual y funcional apegado al grueso de las aplicaciones Android de la actualidad, la cual contiene menús desplazables, galería de imágenes, cuenta con botón para regreso a la pantalla anterior y permite gestos de toque, además cuenta con leyendas e imágenes que ilustran las acciones posibles a realizar, permitiendo un desplazamiento por la aplicación de una forma familiar.
- Una vez en ejecución la aplicación LabVIEW y el servidor en general, la interacción de la aplicación Android con el invernadero se realiza sin interrupciones.
- La aplicación puede ser instalada en versiones superiores a la 2.0 hasta la actual 5.1, siendo el 99% de los dispositivos Android en junio del 2015[41].
- Si el servicio web es publicado en un dominio en internet, la aplicación Android no tendría límite de distancias de comunicación, a diferencia del uso de módulos bluetooth o wifi.

En base a lo anterior mencionado, se concluye lo siguiente:

La comunicación vía remota para el control y monitoreo del estado de la planta y variables físicas del invernadero se logró a través de una aplicación Android la cual es

compatible con el 99% de dispositivos Android en el mercado. La aplicación permite realizar análisis por planta, realizar ciclos de análisis, regado de plantas, encender y apagar la iluminación y ventilación del invernadero, así como también visualizar el historial de análisis a través de un reporte con datos como porcentaje en buen y mal estado de la planta, cantidad de pixeles analizados, valores de la temperatura ambiente, temperatura de la planta, humedad relativa y humedad en suelo, la aplicación además permite observar mediante imágenes del último análisis la condición actual de la planta.

9.1.2 Aplicación LabVIEW

La aplicación LabVIEW permite la comunicación inalámbrica a través de la aplicación Android, la aplicación LabVIEW se encuentra alojado en el servidor y proporciona una alternativa más robusta para el control del invernadero pero de una forma local haciendo uso de una interfaz gráfica. El uso de la aplicación LabVIEW permite lo anterior mencionado con la aplicación Android, agregando lo siguiente:

- Comunicación directa con las placas Arduino.
- Ingresar y establecer fechas y horas de ciclos de análisis.
- Establecer intervalos para el encendido y apagado de la iluminación del invernadero.
- Se muestran indicadores gráficos propios de LabVIEW para la presentación de las lecturas de los sensores.

9.1.3 Tiempos de respuesta

En base a las mediciones realizadas para calcular los tiempos de respuesta de los diferentes procesos realizados por los sistemas se menciona lo siguiente:

- El tiempo de respuesta promedio de comunicación entre la aplicación Android y la base de datos del servidor es de 2.009 milisegundos.
- El tiempo de respuesta al seleccionar una opción en la aplicación Android y ser ejecutada por LabVIEW e invernadero es de 502.009 milisegundos.
- Un ciclo de muestreo se realiza en 532779 milisegundos, equivalente a 8.87 minutos.
- El análisis de una sola planta, sin desplazamiento en promedio se realiza en 51720 milisegundos, equivalente 51.72 segundos.

- El recorrer en su totalidad el eje X (30 cm) tarda 200086 milisegundos, equivalente a 3.3 minutos.
- El recorrer en su totalidad el eje Y (30 cm) tarda 22473 milisegundos, equivalente a 22.4 segundos.

9.1.4 Sistema de riego

En base a las mediciones realizadas para calcular el gasto del sistema de riego se menciona lo siguiente:

- Por cada 50 ml suministrados a una planta el error promedio es del 5.66%, expresado en cantidad de agua es el ± 2.834 ml de error.
- Por cada 100 ml suministrados a una planta el error promedio es de 5.435%, expresado en cantidad de agua es el ± 4.401 ml de error.

Con esto se puede concluir que el suministro de agua a las plantas es preciso, con un error pequeño, resultando en un sistema de riego confiable para su uso.

9.1.5 Sistema de sensores

El sensor de temperatura infrarrojo MLX90614 proviene calibrado de fábrica para rangos de -40 a 125 °C para temperaturas ambiente y -70 a 380 °C para temperaturas objeto, teniendo una resolución de 0.02 °C [13]. Por lo cual lo hace un sensor confiable, de alta precisión y altamente recomendable.

El sensor de humedad en suelo YI-69 no cuenta con hoja de datos y se limita a proporcionar un voltaje a la salida dependiendo de la humedad detectada. Por lo cual el sensor se caracterizó haciendo uso del método gravimétrico, el cual es el tradicional para obtener un porcentaje de humedad en una muestra de tierra, basándose en el peso del agua y el peso de una muestra representativa de tierra en las macetas usadas.

9.1.6 Control manual del sistema de sensores y sistema de riego

La tarjeta PCB realizada para el control manual del sistema de sensores permite controlar la toma de lecturas de los diferentes sensores distribuidos en el invernadero y mostrarlas en una pantalla LCD. Mientras que la tarjeta PCB realizada para el control manual del sistema de riego

permite introducir la cantidad de agua a suministrar a las seis plantas, mostrando la información en una pantalla LCD. Lo anterior mencionado se realiza sin la necesidad de hacerlo con la aplicación Android ni la aplicación LabVIEW, aportando otra alternativa para la interacción con el invernadero permitiendo tener acceso rápido al riego de las plantas y toma de lecturas de los sensores.

9.1.7 Experimento con plantas de albahaca

En base al experimento realizado con las seis plantas de albahaca (*Ocimum Basilicum*) se puede mencionar lo siguiente:

- Al grupo 1 de plantas no se les suministró agua durante el experimento, obteniendo un tiempo de vida aproximado de la planta denominada científicamente como *Ocimum Basilicum*, el cual va de 14 a 17 días aproximadamente para secarse y morir, el tamaño de la planta se redujo en más del 80% en tres semanas de iniciado el experimento.
- Al grupo 2 de plantas se le suministró 30 ml de agua en dos etapas de frecuencias de riego, la primer etapa de riego se suministró agua tres veces por semana y la segunda etapa se regaron a diario. Durante la primera etapa, ambas plantas reaccionaron de forma similar, reduciendo su tamaño en un -13.882 % y -11.928% (planta 2 y planta 5 respectivamente), mientras que en la segunda etapa ambas plantas aumentaron su tamaño en forma similar, en un 45.355% y 39.326% (planta 2 y planta 5, respectivamente). Con esto se concluye que para 30 ml de agua suministrada tres veces a la semana no es suficiente ya que se redujo el tamaño mientras que aumentando la frecuencia a un riego diario, la planta reacciona satisfactoriamente creciendo adecuadamente.
- Al grupo 3 de plantas se le suministró 60 ml de agua en dos etapas de frecuencia de riego, la primera etapa de riego se suministró agua tres veces por semana y la segunda etapa se regaron a diario. Durante la primera etapa, ambas plantas reaccionaron de forma similar reduciendo su tamaño, con un -4.440% y -3.562% (planta 3 y planta 4, respectivamente), mientras que en la segunda etapa ambas plantas aumentaron su tamaño, en un 144.603% y 59.922% (planta 3 y planta 4, respectivamente).

- Con los datos obtenidos del grupo 2 y grupo 3 se concluye que durante la primera etapa de riego las plantas del grupo 2 disminuyeron más en tamaño que las plantas del grupo 3, debido a que al grupo 3 se le suministró más cantidad de agua, mientras que durante la segunda etapa de riego, el grupo 3 tuvo la tasa de crecimiento mayor, debido también a la mayor cantidad de agua y al aumento de frecuencia de riego. El crecimiento promedio del grupo 2 durante el experimento fue de 24.007%, mientras que el grupo 3 en promedio creció un 99.414%, por lo tanto si hay una relación directa entre la cantidad de agua suministrada, la frecuencia con la que se riega y el desarrollo de la planta en cuanto a crecimiento.
- Las lecturas de temperatura ambiental así como las temperaturas directas a las plantas proporcionadas por el sensor infrarrojo MXL90614, tuvieron un comportamiento esperado a lo largo del experimento, la temperatura ambiental en promedio fueron mayores durante las horas de día y menores durante las horas de noche (34.16 °C y 31.06 °C, respectivamente), al igual que la temperatura directa a una planta (29.18 °C en el día y 28.06 °C por la noche). Con lo anterior se puede concluir que la temperatura ambiente es mayor y fluctúa más en el día y noche que la temperatura de la planta, esta última manteniéndose más constante. Además hubo una relación en comportamiento entre ambas temperaturas durante todo el experimento, es decir las temperaturas aumentaban o disminuían simultáneamente, siendo lo esperado.
- El sensor de humedad en tierra YL-69 se satura a humedades cercanas al 25%, el cual es un punto de saturación bajo y siendo alcanzado con diferentes cantidades de agua suministrada. El sensor se corroe con facilidad arrojando valores erróneos al poco tiempo de uso, haciéndolo un sensor no recomendable para aplicaciones de duración prolongada y constantes. El sensor YL-69 no resulta confiable para proporcionar el porcentaje de humedad en tierra existente pero si para verificar si la tierra se encuentra seca y necesita agua o si se encuentra suficientemente húmedo para no requerir el suministro de agua.
- Con los datos del experimento se llega a la conclusión que de las diferentes condiciones de riego, las condiciones del grupo 3 en la segunda etapa de riego son las más adecuadas, específicamente suministrar 60 ml de agua a diario la planta se desarrollara de mejor forma y el crecimiento será mayor que las otras condiciones vistas en el experimento.

Teniendo en cuenta además las temperaturas cercanas a los 30 °C durante el experimento y humedades relativas mayores al 32 %.

- El invernadero de pruebas trabajó de forma autónoma y sistemática durante 44 días que duro el experimento. Se puede concluir que el invernadero analiza, ejecuta instrucciones y genera información de forma automática, información que puede ser visualizada desde la aplicación Android y la aplicación LabVIEW. Al igual las instrucciones de ejecución de un proceso se establecen desde ambas aplicaciones.

9.2 Trabajos a futuro

A continuación se presenta un listado de mejoras en cuanto a la aplicación Android:

- Agregar una advertencia cuando la aplicación no encuentra conexión al servidor.
- Agregar la opción de especificar la hora y fecha de análisis de las plantas, la opción solo se encuentra disponible en la aplicación LabVIEW.
- Obtener lecturas de todos los sensores del invernadero, actualmente permite solamente la obtención de los sensores de humedad relativa y temperatura ambiente. Cabe mencionar que todas las lecturas de los sensores y resultados del procesamiento de imagen pueden ser vistos desde la aplicación a través del reporte.
- Poder especificar la hora de encendido y apagado de la iluminación y ventilación.
- Agregar una advertencia cuando el invernadero está ejecutando una acción.
- Publicar el servicio web en un dominio en internet.

Para poder realizar experimentos más robustos, es necesario lo siguiente:

- Implementar un sistema automático de calefacción.
- Hacer uso de focos fluorescentes e incandescentes especiales para cultivos con luz artificial, los cuales puedan ser controlados.
- Incorporar sensores de radiación solar y/o cantidad de luz.
- Incorporar o probar alternativas con el uso de sensores de humedad en suelo, que se adecuen a aplicaciones de uso prolongado.

ANEXO A

Código tarjeta Arduino mega 2560 para el sistema de sensores

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
#include <LiquidCrystal.h>

Adafruit_MLX90614 TempInf = Adafruit_MLX90614();

float HSLPin1 = A8; //Pin analógico para la lectura de la humedad en suelo de la planta 1
float HSLPin2 = A9; //Pin analógico para la lectura de la humedad en suelo de la planta 2
float HSLPin3 = A10; //Pin analógico para la lectura de la humedad en suelo de la planta 3
float HSLPin4 = A11; //Pin analógico para la lectura de la humedad en suelo de la planta 4
float HSLPin5 = A12; //Pin analógico para la lectura de la humedad en suelo de la planta 5
float HSLPin6 = A13; //Pin analógico para la lectura de la humedad en suelo de la planta 6
float HSL1 = 0; // Variable en la cual se guardara la lectura de la humedad del suelo de la planta 1
float HSL2 = 0; // Variable en la cual se guardara la lectura de la humedad del suelo de la planta 2
float HSL3 = 0; // Variable en la cual se guardara la lectura de la humedad del suelo de la planta 3
float HSL4 = 0; // Variable en la cual se guardara la lectura de la humedad del suelo de la planta 4
float HSL5 = 0; // Variable en la cual se guardara la lectura de la humedad del suelo de la planta 5
float HSL6 = 0; // Variable en la cual se guardara la lectura de la humedad del suelo de la planta 6
float HSR = 0; // Resultado de humedad en suelo
float TempObjetoL = 0; // Variable para la lectura de la temperatura directa de las plantas
float TempObjetoR = 0; // Promedio de los valores tomados de la temperatura ambiente de las plantas
float TempAmbienteL = 0; // 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 rx; int confix;
int BH1_pin = 22; //Pin para el boton correspondiente a la planta 1, humedad en suelo
int BH2_pin = 23; //Pin para el boton correspondiente a la planta 2, humedad en suelo
int BH3_pin = 24; //Pin para el boton correspondiente a la planta 3, humedad en suelo
int BH4_pin = 25; //Pin para el boton correspondiente a la planta 4, humedad en suelo
int BH5_pin = 26; //Pin para el boton correspondiente a la planta 5, humedad en suelo
int BH6_pin = 27; //Pin para el boton correspondiente a la planta 6, humedad en suelo
int BTA_pin = 28; //Pin para el boton correspondiente a la toma de lectura de la temperatura del objeto
int BTO_pin = 29; //Pin para el boton correspondiente a la toma de lectura de la temperatura ambiente
int VBH1 = 0; int VBH2 = 0; int VBH3 = 0; int VBH4 = 0; int VBH5 = 0; int VBH6 = 0; int VBTA = 0;
int VBTO = 0; LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7);

void setup() {
  pinMode(BH1_pin,INPUT); pinMode(BH2_pin,INPUT); pinMode(BH3_pin,INPUT);
  pinMode(BH4_pin,INPUT); pinMode(BH5_pin,INPUT); pinMode(BH6_pin,INPUT);
  pinMode(BTA_pin,INPUT); pinMode(BTO_pin,INPUT); lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("Modulo: Sensores"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print(" Jorge Galicia ");
  Serial.begin(9600); TempInf.begin();
}

void loop() {
  VBH1 = digitalRead(BH1_pin); VBH2 = digitalRead(BH2_pin); VBH3 = digitalRead(BH3_pin);
  VBH4 = digitalRead(BH4_pin); VBH5 = digitalRead(BH5_pin); VBH6 = digitalRead(BH6_pin);
  VBTA = digitalRead(BTA_pin); VBTO = digitalRead(BTO_pin);
  if (VBH1 == 1)
    { Humedad_Suelo1(); lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Humedad Planta 1");

```

```

    lcd.setCursor(0,1); lcd.print(HSR);
  }
  else if (VBH2 == 1)
  { Humedad_Suelo2(); lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Humedad Planta 2");
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print(HSR);
  }
  else if (VBH3 == 1)
  { Humedad_Suelo3(); lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Humedad Planta 3");
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print(HSR);
  }
  else if (VBH4 == 1)
  { Humedad_Suelo4(); lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Humedad Planta 4");
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print(HSR);
  }
  else if (VBH5 == 1)
  { Humedad_Suelo5(); lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Humedad Planta 5");
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print(HSR);
  }
  else if (VBH6 == 1)
  { Humedad_Suelo6(); lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Humedad Planta 6");
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print(HSR);
  }
  else if (VBTA == 1)
  { Temperatura_InfrarojoA(); lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Temp. Ambiente");
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print(TempObjetoR);
  }
  else if (VBTO == 1)
  { Temperatura_InfrarojoO(); lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Temp. Objeto");
    lcd.setCursor(0,1); lcd.print(TempObjetoR);
  }
  else
  {
    rx = Serial.read(); delay(100);
  }
  switch(rx){
    case 97: // ----- Letra "a", Planta 1: Humedad Suelo -----";
      delay(100); Humedad_Suelo1(); Serial.print("A");
      while(Serial.available()<1) //Espera que pida enviar la humedad, debe recibir una a
      {}
      conrx = Serial.read(); delay(100); Serial.println(HSR); break;
    case 98: // ----- Letra "b", Planta 2: Humedad Suelo -----";
      delay(100); Humedad_Suelo2(); Serial.print("B");
      while(Serial.available()<1) //Espera que pida enviar la humedad, debe recibir una b
      {}
      conrx = Serial.read(); delay(100); Serial.println(HSR); break;
    case 99: // ----- Letra "c", Planta 3: Humedad Suelo -----";
      delay(100); Humedad_Suelo3(); Serial.print("C");
      while(Serial.available()<1) //Espera que pida enviar la humedad, debe recibir una c
      {}
      conrx = Serial.read(); delay(100); Serial.println(HSR); break;
    case 100: // ----- Letra "d", Planta 4: Humedad Suelo -----";
      delay(100); Humedad_Suelo4(); Serial.print("D");
      while(Serial.available()<1) //Espera que pida enviar la humedad, debe recibir una d
      {}
      conrx = Serial.read(); delay(100); Serial.println(HSR); break;
  }

```

```

case 101: // ----- Letra "e", Planta 5; Humedad Suelo -----");
  delay(100); Humedad_Suelo5(); Serial.print("E");
  while(Serial.available() < 1) //Espera que pida enviar la humedad, debe recibir una e
  {}
  confRx = Serial.read(); delay(100); Serial.println(HSR); break;
case 102: // ----- Letra "f", Planta 6; Humedad Suelo -----");
  delay(100); Humedad_Suelo6(); Serial.print("F");
  while(Serial.available() < 1) //Espera que pida enviar la humedad, debe recibir una f
  {}
  confRx = Serial.read(); delay(100); Serial.println(HSR); break;
case 103: // ----- Letra "g", 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(); delay(100); Serial.println(TempObjetoR); break;
case 104: // ----- Letra "h", 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(); delay(100); Serial.println(TempObjetoR); break;
} delay(500);
}
}
void Temperatura_InfrarojoO() {
  float Sumatoria = 0; float Divisor = 0; TempObjetoR = 0; Serial.flush();
  for(int i=0; i<20; i++)
  { TempObjetoL = TempInf.readObjectTempC(); Sumatoria = Sumatoria + TempObjetoL;
    Divisor = i+1; delay(100);
  } TempObjetoR = Sumatoria / Divisor;
}
void Temperatura_InfrarojoA() {
  float Sumatoria = 0; float Divisor = 0; TempObjetoR = 0; Serial.flush();
  for(int i=0; i<20; i++)
  { TempObjetoL = TempInf.readAmbientTempC(); Sumatoria = Sumatoria + TempObjetoL;
    Divisor = i+1; delay(100);
  } TempObjetoR = Sumatoria / Divisor;
}
void Humedad_Suelo1() {
  float Sumatoria = 0; float Divisor = 0; HSR = 0; Serial.flush();
  for(int i=0; i<20; i++)
  { HSL1 = analogRead(HSLPin1); HSL1 = map(HSL1, 1023, 0, 0, 1023);
    Sumatoria = Sumatoria + HSL1; Divisor = i+1; delay(100);
  } HSR = Sumatoria / Divisor;
}
void Humedad_Suelo2() {
  float Sumatoria = 0; float Divisor = 0; HSR = 0; Serial.flush();
  for(int i=0; i<20; i++)
  { HSL2 = analogRead(HSLPin2); HSL2 = map(HSL2, 1023, 0, 0, 1023);
    Sumatoria = Sumatoria + HSL2; Divisor = i+1; delay(100);
  }
  HSR = Sumatoria / Divisor;
}
void Humedad_Suelo3() {
  float Sumatoria = 0; float Divisor = 0; HSR = 0; Serial.flush();

```

```

for(int l=0;l<20;l++)
{ HSL3 = analogRead(HSLPin3); HSL3 = map(HSL3, 1023, 0, 0, 1023);
  Sumatoria = Sumatoria + HSL3; Divisor = l+1; delay(100);
} HSR = Sumatoria / Divisor;
}
void Humedad_Suelo4() {
float Sumatoria = 0; float Divisor = 0; HSR = 0; Serial.flush();
for(int l=0;l<20;l++)
{ HSL4 = analogRead(HSLPin4); HSL4 = map(HSL4, 1023, 0, 0, 1023);
  Sumatoria = Sumatoria + HSL4; Divisor = l+1; delay(100);
} HSR = Sumatoria / Divisor;
}
void Humedad_Suelo5() {
float Sumatoria = 0; float Divisor = 0; HSR = 0; Serial.flush();
for(int l=0;l<20;l++)
{ HSL5 = analogRead(HSLPin5); HSL5 = map(HSL5, 1023, 0, 0, 1023);
  Sumatoria = Sumatoria + HSL5; Divisor = l+1; delay(100);
} HSR = Sumatoria / Divisor;
}
void Humedad_Suelo6() {
float Sumatoria = 0; float Divisor = 0; HSR = 0; Serial.flush();
for(int l=0;l<20;l++)
{
  HSL6 = analogRead(HSLPin6); HSL6 = map(HSL6, 1023, 0, 0, 1023);
  Sumatoria = Sumatoria + HSL6; Divisor = l+1; delay(100);
}
HSR = Sumatoria / Divisor;
}
}

```

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);
//-----Declaracion de pines y variables-----
int SwitchAM_pin = 37; int SwitchAM = 0; int Bomba = 49; long numero_teclado;
int BS1_pin = 39; int BS1 = 0; int S1 = 50; int cadena_teclado[20];
int BS2_pin = 41; int BS2 = 0; int S2 = 51; int numeroT[20];
int BS3_pin = 43; int BS3 = 0; int S3 = 52; int contT = 0;
int BBomba_pin = 45; int BBomba = 0; int aux_num = 0; int XT = 0;

```

```

int i = 0;           long tiempo;       int numero[10];
int j = 0;           int cadena_datos[10];
int rx;             int cont = 0;
//-----Pantalla LCD 16x2-----
LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7);
void setup()
{
  pinMode(SwitchAM_pin, INPUT); pinMode(Bomba, OUTPUT); pinMode(BS1_pin, INPUT);
  pinMode(BS2_pin, INPUT);      pinMode(BS3_pin, INPUT);  pinMode(BBomba_pin, INPUT);
  pinMode(S1, OUTPUT);          pinMode(S2, OUTPUT);     pinMode(S3, OUTPUT);
  lcd.begin(16, 2);              lcd.print("Modulo: S. Riego"); lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" Jorge Galicia ");  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); delay(2000); digitalWrite(Bomba,HIGH);
    }
  }
  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_datos[i] = tecla - 48;
        numeroT[i] = cadena_datos[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 {
  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(); 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("L"); 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("C"); 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("I"); 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)*10000L + (numero[1]-48)*1000L + (numero[2]-48)*100L + (numero[3]-48)*10L + (numero[4]-48)*1L; break;
  case 6: tiempo = ((numero[0]-48)*100000L + (numero[1]-48)*10000L + (numero[2]-48)*1000L + (numero[3]-48)*100L + (numero[4]-48)*10L + numero[5]-48)*1L; 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;
  }
}
}

```

ANEXO C

Código SQL de la base de datos

```

SET @OLD_UNIQUE_CHECKS=@UNIQUE_CHECKS, UNIQUE_CHECKS=0;
SET @OLD_FOREIGN_KEY_CHECKS=@FOREIGN_KEY_CHECKS, FOREIGN_KEY_CHECKS=0;
SET @OLD_SQL_MODE=@SQL_MODE, SQL_MODE='TRADITIONAL,ALLOW_INVALID_DATES';

```

```

----- Schema invernadero -----
CREATE SCHEMA IF NOT EXISTS `invernadero` DEFAULT CHARACTER SET utf8 COLLATE
utf8_general_ci ;
USE `invernadero` ;
----- Table `invernadero`.`Temperatura` -----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `invernadero`.`Temperatura` (
  `idTemperatura` INT NOT NULL, `Estado` INT NOT NULL, `Grados` DOUBLE NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`idTemperatura`))
ENGINE = InnoDB;
----- Table `invernadero`.`Planta1` -----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `invernadero`.`Planta1` (
  `FechaHora` VARCHAR(50) NOT NULL, `TempA` VARCHAR(30) NOT NULL, `HR` VARCHAR(30) NOT
  NULL,
  `TempO` VARCHAR(10) NOT NULL, `HS` VARCHAR(10) NOT NULL, `Bueno%` VARCHAR(20) NOT
  NULL,
  `Malo%` VARCHAR(45) NOT NULL, `TP` VARCHAR(45) NOT NULL)
ENGINE = InnoDB;
----- Table `invernadero`.`Estacion` -----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `invernadero`.`Estacion` (
  `idEstacion` INT NOT NULL, `Control` VARCHAR(45) NOT NULL, `Estaco` INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`idEstacion`))
ENGINE = InnoDB;
----- Table `invernadero`.`Planta2` -----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `invernadero`.`Planta2` (
  `FechaHora` VARCHAR(50) NOT NULL, `TempA` VARCHAR(30) NOT NULL, `HR` VARCHAR(30) NOT
  NULL,
  `TempO` VARCHAR(10) NOT NULL, `HS` VARCHAR(10) NOT NULL, `Bueno%` VARCHAR(20) NOT
  NULL,
  `Malo%` VARCHAR(45) NOT NULL, `TP` VARCHAR(45) NOT NULL)
ENGINE = InnoDB;
----- Table `invernadero`.`Planta3` -----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `invernadero`.`Planta3` (
  `FechaHora` VARCHAR(50) NOT NULL, `TempA` VARCHAR(30) NOT NULL, `HR` VARCHAR(30) NOT
  NULL,
  `TempO` VARCHAR(10) NOT NULL, `HS` VARCHAR(10) NOT NULL, `Bueno%` VARCHAR(20) NOT
  NULL,
  `Malo%` VARCHAR(45) NOT NULL, `TP` VARCHAR(45) NOT NULL)
ENGINE = InnoDB;
----- Table `invernadero`.`Planta4` -----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `invernadero`.`Planta4` (
  `FechaHora` VARCHAR(50) NOT NULL, `TempA` VARCHAR(30) NOT NULL, `HR` VARCHAR(30) NOT
  NULL,
  `TempO` VARCHAR(10) NOT NULL, `HS` VARCHAR(10) NOT NULL, `Bueno%` VARCHAR(20) NOT
  NULL,
  `Malo%` VARCHAR(45) NOT NULL, `TP` VARCHAR(45) NOT NULL)
ENGINE = InnoDB;
----- Table `invernadero`.`Planta5` -----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS `invernadero`.`Planta5` (
  `FechaHora` VARCHAR(50) NOT NULL, `TempA` VARCHAR(30) NOT NULL, `HR` VARCHAR(30) NOT
  NULL,
  `TempO` VARCHAR(10) NOT NULL, `HS` VARCHAR(10) NOT NULL, `Bueno%` VARCHAR(20) NOT
  NULL,
  `Malo%` VARCHAR(45) NOT NULL, `TP` VARCHAR(45) NOT NULL)
ENGINE = InnoDB;

```

```

----- Table 'invernadero'. 'Planta6' -----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS 'invernadero'. 'Planta6' (
  'FechaHora' VARCHAR(50) NOT NULL, 'TempA' VARCHAR(30) NOT NULL, 'HR' VARCHAR(30) NOT
  NULL,
  'TempO' VARCHAR(10) NOT NULL, 'HS' VARCHAR(10) NOT NULL, 'Bueno%' VARCHAR(20) NOT
  NULL,
  'Malo%' VARCHAR(45) NOT NULL, 'TP' VARCHAR(45) NOT NULL)
ENGINE = InnoDB;

----- Table 'invernadero'. 'Riego' -----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS 'invernadero'. 'Riego' (
  'idRiego' INT NOT NULL, 'Grupo' VARCHAR(45) NOT NULL, 'Cantidad' INT NOT NULL, PRIMARY
  KEY ('idRiego'))
ENGINE = InnoDB;

----- Table 'invernadero'. 'FechaHora' -----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS 'invernadero'. 'FechaHora' (
  'idFechaHora' INT NOT NULL, 'Control' VARCHAR(30) NOT NULL, 'Fecha' VARCHAR(30) NOT NULL,
  'Hora' VARCHAR(30) NOT NULL, PRIMARY KEY ('idFechaHora'))
ENGINE = InnoDB;
SET SQL_MODE=@OLD_SQL_MODE;
SET FOREIGN_KEY_CHECKS=@OLD_FOREIGN_KEY_CHECKS;
SET UNIQUE_CHECKS=@OLD_UNIQUE_CHECKS;

```

ANEXO D

Código servicio web en C# visual studio

Se presentan tres métodos web, los cuales realizan funciones distintas en el servicio web.

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Web;
using System.Web.Services;
using System.Data;

namespace WSMysql
{
  [WebService(Namespace = "http://tempuri.org/")]
  [WebServiceBinding(ConformsTo = WsiProfiles.BasicProfile1_1)]
  [System.ComponentModel.ToolboxItem(false)]
  public class Service1 : System.Web.Services.WebService
  {
    /* Método empleado para cargar los datos procedentes del archivo excel.csv de la planta 1, los cuales son
    consumidos por la aplicación Android. Como este existen cinco métodos más*/
    [WebMethod(Description = "Regresa todos los registros de la tabla planta 1...")]
    public DataSet cargar_planta1()
    {
      baseDAO conexion = new baseDAO();
      DataSet tablas = new DataSet();
      if (conexion.cargartodosPI())
      { tablas.Tables.Add(conexion.table);
      }
      else
    }
  }
}

```

```

        { tablas = null;
        }
        return tablas;
    }
}
/* Método empleado para actualizar un valor en específico de una tabla en la base de datos, envía la consulta
SQL, update para que esta se ejecute. Para cada boton de la aplicación existe un metodo similar al que a
continuación se presenta. Como este existen 15 metodos similares/
[WebMethod(Description = "Actualiza el estado del control Home")]
public int UpdateHome(int valor)
{
    try
    {
        baseDAO datos = new baseDAO(string.Format("Server={0};Database={1};Uid={2};Pwd={3};",
"127.0.0.1", "invernadero", "root", "1234"));
        int resultado = 0;
        resultado = datos.ExecuteNonQuery("UPDATE estacion SET Estado = " + valor.ToString() + "
WHERE idEstacion = 1");
        return resultado;
    }
    catch
    {
        return -1;
    }
}
}
/* Método empleado para obtener un valor en específico de una tabla dentro de la base de datos, como este hay
otro metodo similar*/
[WebMethod(Description = "Obtiene un valor de la tabla temperatura")]
public int GetValor()
{
    try
    {
        baseDAO datos = new baseDAO(string.Format("Server={0};Database={1};Uid={2};Pwd={3};",
"127.0.0.1", "invernadero", "root", "1234"));
        return Convert.ToInt32(datos.GetDatosScalar("select Grados from temperatura where idTemperatura=
1"));
    }
    catch
    {
        return -1;
    }
}
}
}
}

```

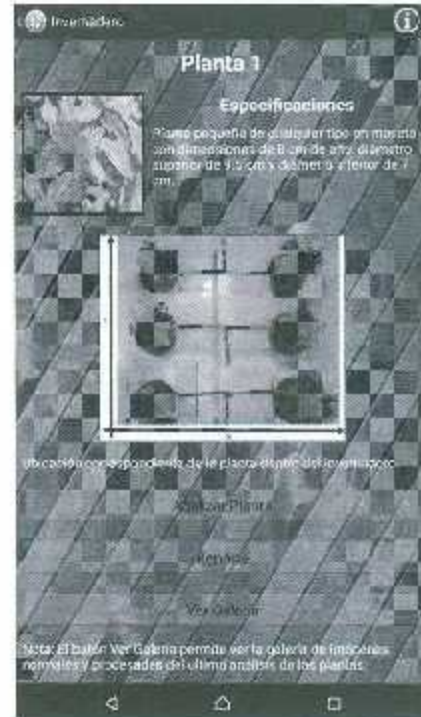
ANEXO E

Código java de aplicación Android para pantalla planta 1

```

package com.maestriav2;
import java.io.IOException;
import org.ksoap2.SoapEnvelope;
import org.ksoap2.serialization.SoapObject;
import org.ksoap2.serialization.SoapPrimitive;
import org.ksoap2.serialization.SoapSerializationEnvelope;
import org.ksoap2.transport.HttpTransportSE;
import org.xmlpull.v1.XmlPullParserException;
import android.annotation.SuppressLint;
import android.app.ActionBar;
import android.app.Activity;
import android.content.Intent;
import android.os.Bundle;
import android.util.Log;
import android.view.Menu;
import android.view.MenuItem;
import android.view.View;
import android.view.View.OnClickListener;
import android.widget.Button;
import android.widget.Toast;
public class Planta1Activity extends Activity implements
OnClickListener {
    Button btnRPlanta1;
    Button btnAPlanta1;
    Button btnVerImágenes;
    private static String res;
    private static String SOAP_ACTION = "http://tempuri.org/UpdateAnálisisPlanta1";
    private static String NAMESPACE = "http://tempuri.org/";
    private static String METHOD_NAME = "UpdateAnálisisPlanta1";
    private static String URL = "http://192.168.0.2/Maestria/Service1.asmx";
    //----Metodo en donde se especifican los botones de la pantalla de la aplicación, busca su vista XMI----
    public void BuscarControles(){
        btnRPlanta1 = (Button) findViewById(R.id.btnRPlanta1);
        btnAPlanta1 = (Button) findViewById(R.id.btnAPlanta1);
        btnVerImágenes = (Button) findViewById(R.id.btnVerImágenes);
    }
    //-----Metodo que se ejecuta al crearse la pantalla de la aplicación-----
    @SuppressWarnings("NewApi") @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState); setContentView(R.layout.activity_planta1);
        ActionBar actionBar = getActionBar(); actionBar.setDisplayHomeAsUpEnabled(true);
        BuscarControles();
        btnRPlanta1.setOnClickListener(this); btnAPlanta1.setOnClickListener(this);
        btnVerImágenes.setOnClickListener(this);
    }
    @Override
    public boolean onCreateOptionsMenu(Menu menu) {

```



```

        super.onCreateOptionsMenu(menu); CreaMenu(menu); return true;
    }
    @SuppressWarnings("NewApi") private void CreaMenu(Menu menu) {
        MenuItem item1 = menu.add(0, 0, 0, "Item 1");
        {
            item1.setIcon(R.drawable.informacion_icon);
            item1.setShowAsAction(MenuItem.SHOW_AS_ACTION_IF_ROOM);
        }
    }
    @Override
    public boolean onOptionsItemSelected(MenuItem item) { return MenuSelecina(item);
    }
// -----Metodo para saber que item se ha pulsado-----
    private boolean MenuSelecina(MenuItem item)
    {
        switch (item.getItemId()){
        case 0:
            Toast.makeText(this, "Has pulsado informacion de la app", Toast.LENGTH_SHORT).show();
            return true;
        case android.R.id.home:
            Intent IR = new Intent (PlantalActivity.this, PrincipalActivity.class);
            startActivity(IR);
            Toast.makeText(this, "Has pulsado regresar", Toast.LENGTH_SHORT).show();
            return true;
        } return false;
    }
// -----Metodo que se ejecuta al presionar un botón-----
    @Override
    public void onClick(View boton) {
        switch(boton.getId()){
        case R.id.btnAPlanta1: Thread threadLampOn = new Thread() {
        @Override
        public void run()
        {
            SoapObject request = new SoapObject(NAMESPACE, METHOD_NAME);
            request.addProperty("valor", 1);
            SoapSerializationEnvelope envelope = new SoapSerializationEnvelope(SoapEnvelope.VERSION1);
            envelope.dotNet = true; envelope.setOutputSoapObject(request);
            HttpTransportSE transporte = new HttpTransportSE(URL);
            try
            { transporte.call(SOAP_ACTION, envelope);
              SoapPrimitive resultado_xml = (SoapPrimitive) envelope.getResponse();
              resultado_xml.toString(); res = resultado_xml.toString();
            } catch (IOException e)
            { Log.e("Error: ", e.getMessage());
            } catch (XmlPullParserException e)
            { Log.e("Error: ", e.getMessage());
            }
            }
            runOnUiThread(new Runnable() {
            @Override
            public void run() {
            }
            });
        }
    }
};

```

```

threadLampOn.start(); break;
    case R.id.btnRPlanta1:
        Intent I1 = new Intent(Planta1Activity.this, Reporte1Activity.class);
        startActivity(I1); break;
    case R.id.btnVerImágenes:
        Intent I2 = new Intent(Planta1Activity.this, ImágenesActivity.class);
        startActivity(I2); break;
    }
}
}
}

```

Código xml de aplicación android para pantalla planta 1

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<ScrollView xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    android:layout_width="fill_parent"
    android:layout_height="fill_parent">
<RelativeLayout
    android:id="@+id/relative_main"
    android:layout_width="fill_parent"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:background="@drawable/fondo_planta">
<TextView
    android:id="@+id/main" android:layout_width="fill_parent"
    android:layout_height="wrap_content" android:text="@string/titulo_planta1"
    android:gravity="center" android:layout_marginTop="10dip"
    android:layout_marginBottom="10dip" android:textColor="@color/white"
    android:textSize="24sp" android:textStyle="bold" />
<RelativeLayout
    android:layout_width="fill_parent" android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_below="@+id/main" android:id="@+id/lay_descripcion">
    <ImageView
        android:id="@+id/imgplant" android:layout_width="160dip"
        android:layout_height="160dip" android:background="@drawable/menta2"
        android:layout_marginTop="10dip" android:layout_marginBottom="10dip"
        android:layout_marginLeft="10dip"
        android:contentDescription="@string/Imagenmenta" />
    <TextView
        android:id="@+id/plant_name" android:layout_width="fill_parent"
        android:layout_height="wrap_content" android:text="@string/spec"
        android:layout_toRightOf="@+id/imgplant" android:layout_marginTop="10dip"
        android:gravity="center" android:textColor="@color/white"
        android:textSize="20sp" android:textStyle="bold" />
    <TextView
        android:id="@+id/plant_description" android:layout_width="fill_parent"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:text="@string/descripcionplanta"
        android:layout_toRightOf="@+id/imgplant"
        android:layout_below="@+id/plant_name" android:layout_marginTop="10dip"
        android:layout_marginBottom="10dip" android:layout_marginLeft="10dip"
        android:layout_marginRight="10dip" android:textColor="@color/white"
        android:textSize="15sp" android:maxLines="5" />
</RelativeLayout> <LinearLayout
    android:layout_width="fill_parent" android:layout_height="wrap_content"

```



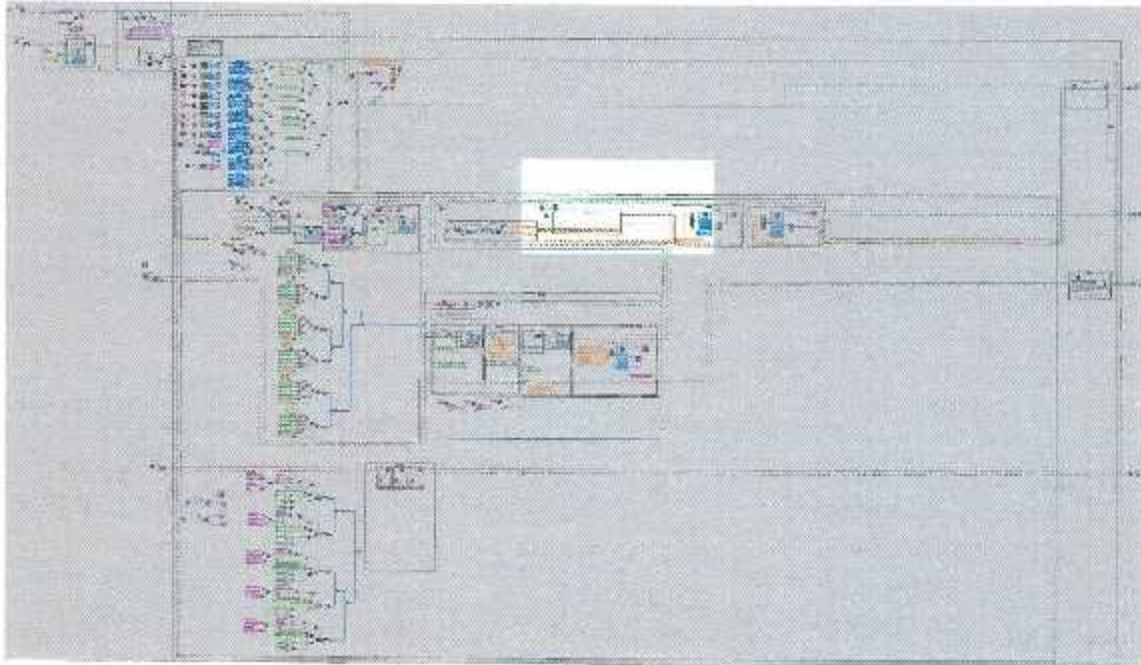
```

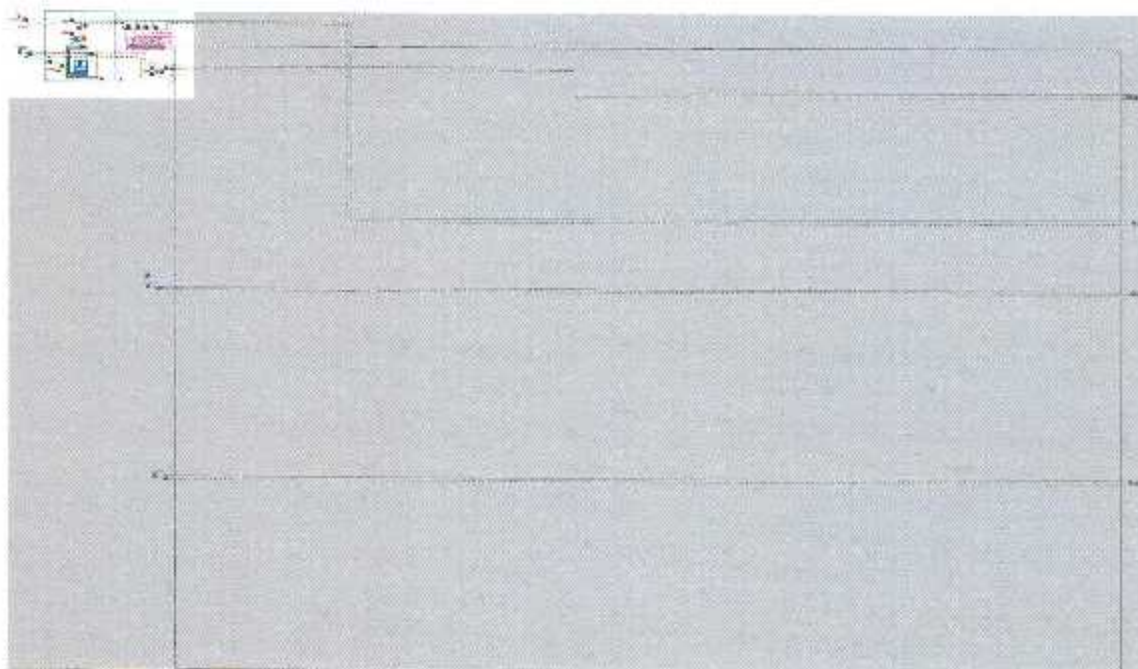
android:layout_below="@+id/lay_descripcion"
android:orientation="vertical" android:id="@+id/lay_buttons">
<ImageView
android:layout_width="320dip" android:layout_height="270dip"
android:layout_gravity="center" android:layout_marginTop="15dip"
android:layout_marginBottom="10dip"
android:background="@drawable/plant1_position"
android:id="@+id/typosicionp1"
android:contentDescription="@string/imagenposicionp1" />
<TextView
android:id="@+id/plant_posdes" android:layout_width="fill_parent"
    android:layout_height="wrap_content" android:layout_gravity="center"
    android:text="@string/posicionplanta" android:layout_marginTop="5dip"
    android:layout_marginBottom="10dip" android:layout_marginLeft="10dip"
    android:layout_marginRight="10dip" android:textColor="#ffffff"
    android:textSize="15sp" android:maxLines="3" />
<Button
android:layout_width="fill_parent" android:layout_height="wrap_content"
android:layout_marginTop="10dip" android:layout_marginBottom="10dip"
    android:layout_marginLeft="10dip" android:layout_marginRight="10dip"
    android:text="@string/analizarplanta" android:textSize="17sp"
    android:id="@+id/btnAPlanta" />
<Button
android:layout_width="fill_parent" android:layout_height="wrap_content"
android:layout_marginTop="10dip" android:layout_marginBottom="10dip"
    android:layout_marginLeft="10dip" android:layout_marginRight="10dip"
    android:text="@string/reporeplanta" android:textSize="17sp"
    android:id="@+id/btnRPlanta" />
<Button
android:layout_width="fill_parent" android:layout_height="wrap_content"
android:layout_marginTop="10dip" android:layout_marginBottom="10dip"
    android:layout_marginLeft="10dip" android:layout_marginRight="10dip"
    android:text="@string/verimagenesplantas" android:textSize="17sp"
    android:id="@+id/btnVerImagenes" />
<TextView android:id="@+id/nota" android:layout_width="fill_parent"
    android:layout_height="wrap_content" android:layout_gravity="center"
    android:text="@string/nota" android:layout_marginTop="5dip"
    android:layout_marginBottom="10dip" android:layout_marginLeft="10dip"
    android:layout_marginRight="10dip" android:textColor="#ffffff"
    android:textSize="15sp" android:maxLines="3" />
<LinearLayout> <RelativeLayout
    android:layout_width="wrap_content" android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_below="@+id/lay_buttons" android:layout_marginTop="45dip"
    android:id="@+id/lay_encapsulado"> <RelativeLayout> <RelativeLayout>
</ScrollView>

```

ANEXO F

Diagrama de bloques en LabVIEW





ANEXO G

Muestra de datos de la planta I obtenidos del experimento

Fecha	Temperatura Ambiente	HR	Temp. Objeto	HS	%Bueno	%Malo	TP
11/03/2015 12:32	22.43	51.11	20	19.33	98.02	1.98	57333
11/03/2015 13:36	24.72	41.04	22.2	19.70	97.72	2.28	56615
11/03/2015 16:34	29.39	37.5	23	20.37	97.44	2.56	48771
11/03/2015 17:30	29.19	38.42	23.7	20.55	98.05	1.95	59020
11/03/2015 18:04	24.14	40.46	23	20.65	97.02	2.98	48788
11/03/2015 21:00	26.48	38.16	22.5	20.94	98.2	1.8	62002
12/03/2015 12:04	27.17	35.26	22	20.37	98.08	1.92	55128
12/03/2015 18:08	25.5	34.57	23.8	16.92	98.82	1.18	46847
12/03/2015 21:04	30.39	30.54	24	16.86	96.26	3.74	24087
13/03/2015 00:04	30.44	29.93	24	17.10	95.95	4.05	27200
25/03/2015 00:05	28.29	38.84	26	9.33	86.65	13.35	20230
25/03/2015 03:05	27.34	38.6	25.4	9.21	85.6	14.4	20988
25/03/2015 06:05	26.9	37.42	24	8.95	81.7	18.3	19177
25/03/2015 09:05	31.51	31.45	26	8.91	85.51	14.49	19633
25/03/2015 12:25	32.71	28.81	27	8.95	77.83	22.17	18303
25/03/2015 15:05	33.86	27.06	28	8.91	76.79	23.21	14256
25/03/2015 18:05	25.11	26.77	29	8.82	83.45	16.55	13274
25/03/2015 21:05	30.22	33.01	27	8.51	87.45	12.55	15157
26/03/2015 00:05	28.56	35.46	26	8.15	86.2	13.8	15212
26/03/2015 03:05	28.29	34.12	26	8.01	86.59	13.41	15320
26/03/2015 06:05	27.36	34.91	25	7.73	80.58	19.42	13140
26/03/2015 09:24	31.71	27	26.8	7.59	78.37	21.63	14190
26/03/2015 12:05	32.27	27.5	27.31	7.49	81.76	18.24	13232
26/03/2015 15:05	34.03	22.3	28	7.34	71.41	28.59	10911
26/03/2015 15:24	33.79	22.54	28	7.29	81.32	18.68	11526

Anexos

26/03/2015 21:24	32.05	24.19	27.6	6.74	64.99	35.01	7794
27/03/2015 00:05	27.39	29.8	25	6.43	68.9	31.1	7824
27/03/2015 03:05	26.63	34.15	25	6.06	67.15	32.85	7848
27/03/2015 06:24	24.37	37.16	25	5.79	62.72	37.28	7526
27/03/2015 09:05	30.02	28.86	25	5.68	63.63	36.37	6703
27/03/2015 12:24	31.51	27.5	26	5.40	52.54	47.46	6021
27/03/2015 15:05	32	25.49	27.2	5.23	52.96	47.04	6343
27/03/2015 18:05	33.22	24.12	27	5.00	64.02	35.98	6000
27/03/2015 21:05	28.56	28.89	26.26	4.61	73	27	7579
19/04/2015 00:04	28.66	30.17	27	1.35	30.88	69.12	3271
19/04/2015 03:16	31.44	27.77	27	1.34	26.43	73.57	3140
19/04/2015 06:16	30.68	27.53	27	1.17	27.96	72.04	3283
19/04/2015 09:16	33	25.54	28.1	1.37	29.13	70.87	3151
19/04/2015 12:04	33.59	21.59	28.7	1.14	30.51	69.49	2822
19/04/2015 15:04	34	20.69	29.4	1.18	24.04	75.96	3440
19/04/2015 18:04	35.86	19.05	30	1.26	30.4	69.6	2375
19/04/2015 21:04	31.49	22.98	28.9	1.27	25.11	74.89	3385
20/04/2015 00:04	29.05	26.4	27	1.26	25.79	74.21	3734
20/04/2015 03:16	31.86	24.7	28	1.25	27.4	72.6	3350
20/04/2015 06:04	28.8	26.87	26	1.23	33.52	66.48	3350
20/04/2015 06:16	31.34	24.56	27	1.26	27.1	72.9	3446
20/04/2015 09:04	32.57	22.88	28	1.23	29.3	70.7	3345
20/04/2015 09:16	32.91	22.74	28	1.26	26.08	73.92	3225
20/04/2015 12:04	34.64	22.42	29.7	1.16	27.87	72.13	3082
20/04/2015 12:16	34.54	22.36	29	1.13	25.63	74.37	3445
21/04/2015 12:00	34.03	30.36	29	1.25	32.29	67.71	4748
21/04/2015 12:12	34.52	29.97	29.8	1.28	28.9	71.1	3076
21/04/2015 18:00	36.47	26	31.4	1.22	32.18	67.82	4294
21/04/2015 18:12	36.6	25.47	31	1.28	28.11	71.89	2970
21/04/2015 21:04	32.49	28.65	30	1.37	22.34	77.66	3822
21/04/2015 21:16	34.84	26.48	30	1.30	25.57	76.43	3911

Muestra de datos de la planta 2 obtenidos del experimento

Fecha	Temp. Ambiente	HR	Temp. Objeto	H5	%Bueno	%Malo	TP
11/03/2015 12:33	23.01	31.02	23.3	19.80	98.39	1.61	63523
11/03/2015 13:37	25.5	41.16	21	20.77	98.68	1.32	67101
11/03/2015 16:35	29.05	38.68	23	22.08	98.45	1.55	66344
11/03/2015 17:31	29.41	38.38	23.5	22.19	98.72	1.28	70597
11/03/2015 18:05	24.06	40.73	23	22.22	98.49	1.51	66246
11/03/2015 21:01	26.38	38.74	22.4	22.38	98.89	1.11	69534
12/03/2015 12:05	26.97	35.1	22	21.79	98.94	1.06	70612
12/03/2015 18:09	26.65	34.73	23	21.77	98.72	1.28	72271
12/03/2015 21:05	30.39	30.53	24.3	21.62	98.74	1.26	68477
13/03/2015 00:05	30.44	29.85	24	21.73	98.64	1.36	67631
25/03/2015 00:07	28.95	38.05	25.2	6.38	98.41	1.59	73310
25/03/2015 03:07	31.15	34.21	25.1	5.79	98.31	1.69	69765
25/03/2015 06:07	27.95	36.74	24	4.42	98.56	1.44	74437
25/03/2015 09:27	31.25	31.04	26.09	4.77	97.64	2.36	68861
25/03/2015 12:07	32.49	28.46	27	5.34	97.38	2.62	65120
25/03/2015 15:27	33.71	27.91	28.4	7.25	97.69	2.31	65332
25/03/2015 18:27	35.08	26.96	29	6.89	98.46	1.54	67605
25/03/2015 21:27	33.42	30.38	28.3	6.22	98	2	62519
26/03/2015 00:27	31.91	31.28	27.3	5.92	98.4	1.6	64534
26/03/2015 03:27	31.39	30.22	26.8	5.84	98.58	1.42	66094
26/03/2015 06:07	28.17	33.53	25.7	5.95	98.22	1.78	65577
26/03/2015 09:27	31.76	27.57	26	5.84	98.29	1.71	65711

Anexos

26/03/2015 12:27	32.25	22.16	27.2	5.73	97.85	2.15	67687
26/03/2015 15:27	33.52	22.53	28.2	16.12	97.95	2.01	69827
26/03/2015 18:07	33.98	22.14	28	15.97	98.25	1.75	65482
26/03/2015 21:27	31.86	24.85	27.5	15.85	97.43	2.57	60523
27/03/2015 00:07	28.12	28.66	25.8	15.63	97.83	2.17	63276
27/03/2015 03:07	27.53	33.33	25.1	15.41	98.19	1.81	65102
27/03/2015 06:27	29.36	31.94	25	15.19	98.14	1.86	65504
27/03/2015 09:07	30.1	28.82	25	14.98	98.01	1.99	67457
27/03/2015 12:07	31.37	27.35	26	14.90	98.48	1.52	66397
27/03/2015 15:07	31.98	25.56	26	14.53	97.84	2.16	64819
27/03/2015 18:27	33.32	25.11	27	14.44	98.12	1.88	62622
27/03/2015 21:27	31.39	25.6	26	14.48	98.21	1.79	67446
19/04/2015 00:05	29.41	29.78	27.2	1.77	99.14	0.86	81227
19/04/2015 03:17	31.76	28.26	27	1.39	99.42	0.58	90111
19/04/2015 06:17	30.81	27.39	27.3	1.32	99.20	0.71	78884
19/04/2015 09:17	33.05	24.77	27.9	1.60	98.72	1.28	84556
19/04/2015 12:17	33.54	21.53	28.4	1.41	98.34	1.66	82140
19/04/2015 15:17	34.57	20.78	29.2	2.24	99.43	0.57	95149
19/04/2015 18:05	35.81	20.21	30.1	2.27	99.5	0.5	104999
19/04/2015 21:17	33.76	21.43	29.5	1.95	97.88	2.12	72250
20/04/2015 03:05	29.61	26.83	27	1.59	99.46	0.54	107467
20/04/2015 03:17	31.81	24.64	27.9	1.50	98.54	1.41	84582
20/04/2015 06:05	29.22	26.38	26	1.51	99.08	0.92	104583
20/04/2015 06:17	31.37	24.63	27	1.43	99.29	0.71	86604
20/04/2015 09:05	31.44	22.48	28	1.43	99.21	0.79	85894
20/04/2015 09:17	31.74	23.08	28	1.46	99.04	0.96	82568
20/04/2015 12:05	34.28	22.41	29	1.50	99.36	0.64	84176
20/04/2015 12:17	34.52	22.57	29	1.74	99.18	0.82	80973
21/04/2015 12:01	33.93	30.3	29	2.20	99.07	0.93	105212
21/04/2015 12:13	34.45	30.22	29.3	2.22	99.02	0.98	79555
21/04/2015 18:01	36.33	25.74	31.1	2.34	99.08	0.92	102178
21/04/2015 18:13	36.55	25.68	31	2.34	98.64	1.36	75333
21/04/2015 21:05	32.83	38.17	30	2.12	98.87	1.13	98091
21/04/2015 21:17	35.01	20.75	30.5	2.21	98.45	1.55	70010

Muestra de datos de la planta 3 obtenidos del experimento

Fecha	Temp. Ambiente	HR	Temp. Objeto	HS	%Bueno	%Malo	TP
11/03/2015 12:34	22.77	50.77	20.69	19.52	97.95	2.05	43559
11/03/2015 13:38	25.99	41.44	21.7	19.74	98.6	1.4	48120
11/03/2015 16:36	29.39	35.29	23	20.30	97.54	2.46	44156
11/03/2015 17:32	29.41	37.53	23.2	20.41	98.87	1.13	49609
11/03/2015 18:06	29.67	40.39	23.2	20.41	96.84	3.16	43529
11/03/2015 21:02	26.58	38.79	22.2	20.48	98.33	1.67	46631
12/03/2015 12:06	27.51	34.96	21.8	20.48	98	2	46110
12/03/2015 18:10	27.17	34.98	23.4	20.41	98.56	1.44	51185
12/03/2015 21:06	30.46	30.21	24.1	20.81	96.25	3.75	44486
13/03/2015 00:06	30.49	29.78	24.1	20.79	95.73	4.27	44143
25/03/2015 00:29	31.54	34.32	26	23.05	94	6	28298
25/03/2015 03:29	31	33.86	26	23.28	96.04	3.97	27813
25/03/2015 06:29	30.54	33.76	25.5	23.52	96.02	3.98	27332
25/03/2015 09:09	31	31.38	25	23.77	93.31	6.69	25722
25/03/2015 12:09	32.98	29.4	26	23.90	91.1	8.9	23663
25/03/2015 15:29	33.88	27.27	28	24.14	91.39	8.61	22844
25/03/2015 18:29	35.13	27.27	29	24.18	95.58	4.42	23948
25/03/2015 21:29	33.49	29.96	28.25	5.79	90.52	9.48	22533
26/03/2015 00:29	32.1	30.9	27	23.49	93.19	6.81	22706

Anexos

26/03/2015 03:29	31.51	29.59	26.7	23.35	94.58	5.32	22434
26/03/2015 06:09	28.63	33.51	25	23.05	91.51	8.49	22052
26/03/2015 09:09	31.64	28.15	26	23.25	91.08	8.92	20338
26/03/2015 12:29	42.61	27.13	27	23.35	91.92	8.08	21334
26/03/2015 15:29	33.76	22.17	28	22.50	95.58	4.31	30764
26/03/2015 18:29	33.86	22.14	28	22.47	92.03	7.97	20172
26/03/2015 21:09	30.42	25.11	27	22.62	96.58	5.32	22693
27/03/2015 00:29	30.73	26.63	26.3	22.72	88.74	11.26	18082
27/03/2015 03:09	28.14	32.56	25	22.78	90.76	9.24	19367
27/03/2015 06:29	29.39	31.61	24	22.78	89.91	10.09	19058
27/03/2015 09:29	30.59	28.77	25	22.85	92.44	7.56	19349
27/03/2015 12:09	31.34	27.25	25.9	23.05	91.25	8.75	19388
27/03/2015 15:29	31.93	25.22	26	23.21	94.59	5.41	20148
27/03/2015 18:29	33.32	24.54	27	24.26	89.26	10.74	18443
27/03/2015 21:29	31.61	26.52	26.5	24.37	93.45	6.55	19370
15/04/2015 00:06	29.78	29.81	27	6.01	98.89	1.11	50783
15/04/2015 03:06	31.59	27.57	27	6.17	98.84	1.16	50251
15/04/2015 06:06	31.17	27.98	27	5.40	98.24	1.76	48986
15/04/2015 09:06	32.83	25.76	27.5	5.90	98.72	1.28	52609
15/04/2015 12:06	33.62	21.62	28	6.12	98.48	1.52	51980
15/04/2015 15:06	34.59	20	28	14.61	99	1	54861
15/04/2015 18:06	36.11	20.05	29.7	14.48	98.78	1.22	52862
15/04/2015 21:06	32.15	22.82	28.4	13.78	98.76	1.24	51859
20/04/2015 00:06	29.83	26.26	27	10.47	98.52	1.38	52474
20/04/2015 03:06	32.17	24.43	27.6	10.69	98.58	1.32	53472
20/04/2015 06:06	29.66	25.56	26.8	9.50	97.87	2.13	51537
20/04/2015 09:06	31.49	24.62	27	9.50	98.78	1.22	54071
20/04/2015 12:06	32.57	22.01	27.6	8.60	98.59	1.31	52992
20/04/2015 15:06	32.86	21.83	27	8.87	98.85	1.15	53144
20/04/2015 18:06	34.37	22.05	28.9	9.58	98.4	1.6	54396
20/04/2015 21:06	34.57	22.54	29	9.78	98.75	1.25	55942
21/04/2015 12:02	34.37	30.76	29	12.66	98.54	1.46	56834
21/04/2015 12:04	34.25	30.34	29.1	10.73	98.52	1.38	56282
21/04/2015 18:02	36	25.60	30.8	10.44	98.34	1.16	55926
21/04/2015 18:04	36.52	25.76	30.8	10.77	98.98	1.02	57493
21/04/2015 21:06	33.2	27.67	29.9	9.66	98.18	1.82	54281
21/04/2015 21:08	34.79	26.34	30.2	9.62	99.17	0.83	56630

Muestra de datos de la planta 4 obtenidos del experimento

Fecha	Temp. Ambiente	HR	Temp. Objeto	H5	%Bueno	%Malos	TP
11/03/2015 12:38	23.92	50.44	20	18.58	98.28	1.72	61097
11/03/2015 13:42	26.8	42.76	21.6	19.18	98.1	1.9	58092
11/03/2015 16:40	29.24	38.64	22	20.21	97.48	2.52	61621
11/03/2015 17:36	29.24	30.09	23.1	20.69	97.9	2.1	57705
11/03/2015 18:10	23.55	40.92	22	20.21	97.56	2.44	59896
11/03/2015 21:06	26.55	38.78	22	21.10	98.58	1.42	66649
12/03/2015 12:10	27.56	35.5	21.8	19.09	98.18	1.82	66526
12/03/2015 18:14	28.44	34.73	23	19.33	97.82	2.18	63681
12/03/2015 21:10	30.49	31.05	24	19.10	97.4	2.6	64246
13/03/2015 00:10	30.56	30.22	23	19.25	98.17	1.83	62855
25/03/2015 00:15	30.61	36.47	26.4	18.63	97.17	2.83	63610
25/03/2015 03:15	29.85	36.09	25	18.12	97.33	2.67	62543
25/03/2015 06:15	29.22	34.89	25	18.26	97.41	2.59	64119
25/03/2015 09:15	31.32	31.48	25	17.20	97.4	2.6	69264
25/03/2015 12:15	32.91	29.19	26	15.38	97.64	2.36	65048
25/03/2015 15:15	33.76	27.51	28	14.84	96.94	3.06	62270

Anexos

25/03/2015 18:34	35.13	27.34	29	13.76	98.31	1.69	69740
25/03/2015 21:15	32.44	31.28	27	12.77	97.12	2.88	61565
26/03/2015 00:34	32.52	30.72	27.1	11.88	98.1	1.9	66791
26/03/2015 03:15	30.46	32.44	25.4	10.80	97.09	2.91	61246
26/03/2015 06:34	31.2	30.33	26	7.49	98.75	1.75	64505
26/03/2015 09:15	31.64	28.13	25.3	6.43	97.7	2.3	65043
26/03/2015 12:34	32.76	22.35	27	5.46	98.04	1.96	67094
26/03/2015 15:15	33.44	22.46	27	18.54	97.47	2.53	62231
26/03/2015 18:15	33.91	22.32	28.2	19.01	98.28	1.72	65887
26/03/2015 21:34	32.37	24.89	27.3	18.96	97.56	2.44	60716
27/03/2015 00:15	29.9	28.06	26	18.58	97.56	2.44	63695
27/03/2015 03:34	30.56	30.63	25	18.5	97.43	2.57	62300
27/03/2015 06:15	28.49	32.67	24.6	17.95	97.34	2.66	63036
27/03/2015 09:15	30.32	29.28	25.1	17.76	97.74	2.26	66780
27/03/2015 12:34	31.73	27.09	25	17.54	97.08	2.92	63803
27/03/2015 15:15	32.72	25.66	26	17.42	97.08	2.92	63609
27/03/2015 18:15	33.44	25.11	27.2	17.27	98.42	1.58	68088
27/03/2015 21:15	30.86	27.06	26	17.06	97.22	2.78	61286
19/04/2015 00:10	30.81	28.81	27	2.93	99.02	0.98	105633
19/04/2015 03:22	31.91	27.2	27.6	2.93	98.23	1.77	87452
19/04/2015 06:22	31.12	27.23	27.2	2.84	98.71	1.29	100752
19/04/2015 09:22	32.86	24.94	27.6	2.86	98.75	1.25	99669
19/04/2015 12:10	33.57	21.75	28.2	2.60	98.86	1.14	100711
19/04/2015 15:10	34.69	20.96	23.8	6.59	98.87	1.18	104465
19/04/2015 18:10	35.94	19.97	29.7	5.29	99.09	0.91	113387
19/04/2015 21:22	34.25	21.57	29.2	4.42	98.14	1.86	88025
20/04/2015 03:10	31.2	25.45	27.4	3.81	97.89	2.11	85707
20/04/2015 03:22	32.5	24.15	27.7	3.81	98.93	1.07	108570
20/04/2015 06:10	30.81	25.47	27	3.75	98.84	1.16	108736
20/04/2015 06:22	31.73	24.01	27.3	3.84	98.77	1.23	105050
20/04/2015 09:10	32.81	22.44	27.7	3.69	98.95	1.05	111501
20/04/2015 09:22	32.79	22.34	27	3.61	99.08	0.92	111987
20/04/2015 12:10	34	22.33	29	3.34	98.81	1.19	100998
20/04/2015 12:22	34.54	22.72	29.1	3.31	98.76	1.24	95201
21/04/2015 12:06	34.47	30.41	29	6.72	99.11	0.89	113981
21/04/2015 12:18	34.79	30.17	29	6.54	99.06	0.94	111117
21/04/2015 16:06	36.5	25.86	30.8	6.27	99.03	0.97	103992
21/04/2015 18:18	36.89	25.34	30	6.11	98.67	1.33	93430
21/04/2015 21:10	34.2	27.35	30	5.17	98.99	1.01	111655
21/04/2015 21:22	35.08	25.82	30	5.14	98	2	84994

Muestra de datos de la planta 5 obtenidos del experimento

Fecha	Temp. Ambiente	HR	Temp. Objeto	HS	%Bueno	%Maln	TP
11/05/2015 12:39	24.31	50.46	20.79	21.90	98.32	1.68	52333
11/05/2015 13:43	27	41.85	21.7	18.04	98.1	1.7	49668
11/05/2015 16:41	29.1	39.35	23	20.62	98.54	1.46	52705
11/05/2015 17:37	29.15	38.68	23.4	21.84	98.24	1.76	47346
11/05/2015 18:11	23.62	41.22	22.7	21.96	98.03	1.97	48901
11/05/2015 21:07	26.56	38.52	22	22.31	98.82	1.18	56753
12/05/2015 12:11	26.92	35.24	22	22.22	98.86	1.14	57218
12/05/2015 18:15	28.44	35.29	23	22.88	98.65	1.35	53763
12/05/2015 21:11	30.42	31	24	22.66	97.97	2.03	50962
13/05/2015 00:11	30.51	30.77	24.1	22.53	97.39	2.61	50875
25/03/2015 00:36	32.08	33.53	26.9	13.83	97.81	2.19	49020
25/03/2015 08:37	31.56	33.27	26	13.90	98.8	1.2	50857
25/03/2015 06:36	30.71	32.9	25.7	13.78	98.73	1.27	53496

Anexos

25/03/2015 08:17	31.37	31.07	26	13.78	97.79	2.21	47013
25/03/2015 12:17	32.52	28.74	27	13.92	99.31	0.69	67726
25/03/2015 15:17	31.57	27.52	28	13.99	99.29	0.71	68298
25/03/2015 18:37	35.03	27.16	29	13.97	98.47	1.53	48073
25/03/2015 21:17	32.52	31.1	28	13.90	99.28	0.72	65296
26/03/2015 00:37	32.32	30.85	27.4	13.46	98.35	1.65	43141
26/03/2015 03:36	31.73	29.6	26	13.28	98.15	1.85	46204
26/03/2015 06:17	29.95	32.45	26	13.26	97.74	2.26	41539
26/03/2015 09:37	31.64	26.97	26	13.36	97.1	2.9	42050
26/03/2015 12:17	32	22.07	27.1	13.4	98.83	1.17	48691
26/03/2015 15:17	32.15	22.72	28	15.56	99.53	0.67	69777
26/03/2015 18:37	33.64	22.62	28	16.02	97.42	2.58	44115
26/03/2015 21:17	31.39	25	27	15.94	98.68	1.32	66481
27/03/2015 00:17	29.8	28.07	26	15.71	98	2	35719
27/03/2015 03:17	29.12	31.55	25.5	3.50	97.82	2.18	38843
27/03/2015 05:17	28.22	33.45	24	3.50	99.24	0.76	63307
27/03/2015 09:36	30.44	28.78	25	15.66	97.52	2.48	43505
27/03/2015 12:17	31.27	27.62	26.2	15.66	97.59	2.41	39456
27/03/2015 15:36	32.37	25.64	27	15.50	97.57	2.43	45250
27/03/2015 18:17	33.05	24.58	27	15.32	98.24	1.66	41747
27/03/2015 21:36	31.69	26.3	26	14.96	97.59	2.41	39721
19/04/2015 00:11	31.03	28.5	27	1.93	99.01	0.99	70723
19/04/2015 03:23	32.1	27.83	27.9	2.32	98.76	1.24	81712
19/04/2015 06:11	30.24	28.54	27	2.00	98.85	1.15	66852
19/04/2015 09:23	33.1	25	28	1.90	48.8	1.2	59818
19/04/2015 12:11	33.66	21.61	28	1.80	96.15	3.85	61574
19/04/2015 15:11	34.5	20.82	29.3	1.58	97.48	2.52	65774
19/04/2015 18:11	35.96	20.06	30.2	1.34	98.48	1.52	76584
19/04/2015 21:11	33.05	21.83	29	1.69	99.09	0.91	78408
20/04/2015 00:11	31.15	25.51	27.6	1.49	99.07	0.93	83079
20/04/2015 03:23	32.57	23.69	28	1.53	98.98	1.02	70039
20/04/2015 06:11	30.81	25.61	27.2	1.47	98.41	1.59	69725
20/04/2015 09:23	31.64	24.16	27	1.36	98.78	1.22	63752
20/04/2015 12:11	32.54	22.82	28.1	1.38	99	1	73087
20/04/2015 15:23	32.91	22.66	28	1.36	99.03	0.97	73356
20/04/2015 18:11	34.52	22.65	29	1.52	98.0	1.4	60437
20/04/2015 21:23	34.47	23.06	29.6	1.45	98.06	1.94	53210
21/04/2015 12:07	34.18	29.95	29	1.47	99.01	0.99	81872
21/04/2015 12:19	34.28	30.07	29	1.62	98.86	1.14	79913
21/04/2015 18:07	36.52	26	31	1.93	97.85	2.15	68064
21/04/2015 18:19	36.77	25.74	31	1.64	98.17	1.83	57536
21/04/2015 21:11	33.91	27.51	30	1.66	98.33	1.67	79095
21/04/2015 21:23	35.15	26.66	30.6	1.84	99.05	0.95	84799

Muestra de datos de la planta 6 obtenidos del experimento

Fecha	Temp. Ambiente	HR	Temp. Objeto	HS	%Bueno	%Malo	TP
11/03/2015 12:40	23.84	50.19	20.76	22.22	98.52	1.48	59783
11/03/2015 13:44	26.82	42.3	22.1	19.52	98.44	1.56	58697
11/03/2015 16:42	29.27	39.16	23.4	20.79	98.52	1.48	61739
11/03/2015 17:38	29.1	38.74	23.6	20.86	98.38	1.62	55848
11/03/2015 18:12	23.53	41.71	23	20.86	97.46	2.54	58533
11/03/2015 21:08	26.41	38.56	22.5	20.89	98.23	1.77	66725
12/03/2015 12:11	27.41	35.62	22	21.09	98.33	1.67	68644
12/03/2015 18:16	28.46	35.09	23	19.23	97.1	2.6	43319
12/03/2015 21:12	30.77	30.74	24.2	20.28	97.1	2.9	43135
13/03/2015 00:12	30.1	30.36	24.1	20.21	97.21	2.79	42577

Anexos

25/03/2015 00:39	32.03	34	27	9.46	60.21	39.79	3242
25/03/2015 03:39	31.27	33.05	25	1.93	62.87	37.13	3585
25/03/2015 06:19	29.83	34.86	25.5	9.17	57.12	42.88	5685
25/03/2015 09:19	31.1	31.1	25	9.17	56.94	43.06	3351
25/03/2015 12:19	32.88	28.92	27	9.21	57.52	42.48	5546
25/03/2015 15:19	34.03	27.27	28.5	9.29	55.5	46.5	5654
25/03/2015 18:19	34.98	26.96	29	9.25	55.2	46.8	4925
25/03/2015 21:19	32.69	30.91	28	1.86	53.01	46.99	4961
26/03/2015 00:30	32.57	30.96	27.5	8.95	52.09	47.91	5352
26/03/2015 03:19	30.83	31.79	26.5	8.78	53.31	46.19	4973
26/03/2015 06:39	31.51	30.33	25	8.47	42.57	57.43	3352
26/03/2015 09:19	31.64	27.99	26.7	8.38	49.76	50.24	5422
26/03/2015 12:19	32	22.24	27.3	8.29	52.18	47.82	3030
26/03/2015 15:19	33.79	22.42	28	3.54	49.39	50.61	5756
26/03/2015 18:39	33.47	21.6	28.5	3.03	51.66	48.34	3200
26/03/2015 21:39	32.71	24.85	27.4	3.10	44.33	55.67	5691
27/03/2015 00:39	31.39	27.35	26.3	3.37	41.57	58.43	3185
27/03/2015 03:39	30.76	30.14	26.1	3.12	40.68	59.32	3483
27/03/2015 06:30	29.93	31.85	25	2.93	44.35	55.05	5546
27/03/2015 09:39	30.27	28.49	23	3.02	49.92	50.08	3017
27/03/2015 12:39	31.59	27.13	26	3.03	44.66	55.34	4953
27/03/2015 15:19	32.05	25.41	27	2.93	44.87	55.13	5482
27/03/2015 18:39	33.1	24.79	27	3.57	43.28	56.72	5520
27/03/2015 21:19	30.95	27.05	26.7	3.17	42.29	57.71	5833
19/04/2015 00:11	30.83	28.47	27.6	0.97	30.68	60.32	5169
19/04/2015 03:23	37	27.58	28	1.00	26.35	73.65	6724
19/04/2015 06:24	31.72	27.15	27.6	0.94	32.34	67.66	4480
19/04/2015 09:12	32.70	24.58	28	1.01	29.65	70.35	3872
19/04/2015 12:12	33.76	21.46	28	0.89	31.55	68.45	4244
19/04/2015 15:12	34.28	20.82	29	1.02	31.07	68.93	4573
19/04/2015 18:12	35.94	20.52	30	1.08	28.97	71.03	5754
19/04/2015 21:12	33.18	22.38	29	1.02	30.12	69.88	6289
20/04/2015 03:12	31.27	25.95	27.7	1.05	31.78	68.22	6474
20/04/2015 03:24	32.37	24.14	28	1.01	30.7	69.3	5072
20/04/2015 06:12	30.9	25.21	27.4	1.03	35.06	64.94	4623
20/04/2015 06:24	32.05	23.92	27	0.94	30.75	69.25	4482
20/04/2015 09:12	32.79	22.28	28.3	1.02	29.75	70.27	5375
20/04/2015 09:24	32.79	22.44	28	1.02	30.7	69.3	5446
20/04/2015 12:12	34.52	22.55	29.8	0.98	29.54	70.46	4231
20/04/2015 12:24	34.28	22.54	29	1.06	31.86	68.14	3938
21/04/2015 12:08	33.84	30.1	29	1.04	26.25	73.75	6144
21/04/2015 12:20	34.23	30.05	29	1.05	27.1	72.9	5512
21/04/2015 18:08	36.5	25.74	31	1.00	28.03	71.97	4357
21/04/2015 18:20	36.67	25.7	31.5	0.99	29.59	70.41	3488
21/04/2015 21:12	34.68	26.84	30.4	0.99	25.88	74.12	5374
21/04/2015 21:24	35.63	26.36	30	0.93	26.55	71.45	6371

REFERENCIAS

- [1] Aurelio Bastida Tapia, "Los invernaderos y la agricultura protegida en México". Serie de publicaciones Agribot, Departamento de preparatoria agrícola, Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México, 2013.
- [2] 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.
- [3] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la SAGARPA, "Superficie cubierta y número de instalaciones de agropecuaria protegida (2014)". [Documento en línea]. Disponible: <http://catalogo.datos.gob.mx/dataset/superficie-cubierta-y-numero-de-instalaciones-de-agricultura-protegida-siap/resource/5cd1ba48-c532-44bc-877b-d0bd16dd804>
- [4] Porfirio Juárez, Ruben Bugarin, Rogelio Castro, Ana Sanchez, Elia Cruz, Cecilia Juárez, Gelacio Alejo, Rosendo Balois, "Estructuras utilizadas en la agricultura protegida", Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Chapingo, ISSN 2007 – 0713, Revista fuente Año 3 No. 8 Julio – Septiembre 2011.
- [5] Ortega Martínez, Ocampo Mendoza, Sandoval Castro, Martínez Valenzuela, Huerta De La Peña, Jaramillo Villanueva, "Caracterización y funcionalidad de invernaderos en Chignahuapan, Puebla, México", Colegio de Postgraduados Campus Puebla, Revista Bio Ciencias, ISSN 2007-3380, Cholula, Puebla, Mexico, Enero 2014.
- [6] 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. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.fps.org.mx/divulgacion/attachments/article/865/Produccion%20de%20hortalizas%20bajo%20invernadero.pdf>
- [7] Imagen tomada del sitio web Panorama Agrario, Buscar "casas sombra. [En línea, 2015] Disponible: <http://panoramaagrario.com/2014/05/tipos-de-invernaderos-y-tecnologias/>
- [8] Secretaría de Desarrollo Rural del Gobierno de Estado de Coahuila de Zaragoza, "Programa Estatal de Desarrollo Rural 2011-2017, Saltillo, Coah., México, Septiembre de 2012. [Documento en línea]. Disponible: <http://coahuila.gob.mx/archivos/pdf/Publicaciones/DESARROLLO%20RURAL.pdf>
- [9] 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, Coah, MX, 2014.
- [10] Sizto Tech Corporation staff, 2P025 Series Solenoid Valve, Palo Alto, CA, USA, 2012. [En línea]. Disponible: <https://www.stcvalve.com/STC-DOWNLOAD/2P025.pdf>
- [11] Big World Technology staff, DC30A Series. [En línea]. Disponible: <http://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/DC30A-1215.pdf>
-

Referencias

- [12] V. Córdova, A. Cortes, "Probabilidad y Estadística I", Vol. 3, Colegio de Bachilleres del Estado de Sonora, Hermosillo, Son, MX, 2008. [En línea]. Disponible: http://www.hacienda.go.cr/cifh/sidovih/cursos/material_de_apoyo-f-c-cifh/1materialdcapoyocursoscifh/4estad%C3%ADsticabasica/probabilidadyestadistica.pdf
- [13] Melexis Microelectronic Integrated Systems Staff, MLX90614 family Single and Dual Zone Infra Red Thermometer in TO-39, DataSheet 390190614, Rev 005, Feb. 30, 2009. [En línea]. Disponible: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/SI/N-09570-datasheet-3901090614M005.pdf>
- [14] Limor Fried, Arduino Adafruit MLX90614 Library. [Descarga en línea, 2015]. Disponible: <https://learn.adafruit.com/using-melexis-mlx90614-non-contact-sensors/wiring-and-test>
- [15] Adriana García Soto, "Sistema de instrumentación para el monitoreo de plantas en una estación de trabajo", Tesis de maestría, ISSN: 0188-9060, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah, MX, Septiembre, 2013.
- [16] González Murillo Carlos Alberto, "Unidad 2. Contenido de humedad del agua en suelo". [Documento en línea, 2015] Disponible: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/raspa/und_2/pdf/und2.pdf
- [17] Sitio web oficial Bluetooth, Buscar "Bluetooth Basics". [Consulta en línea, 2014] Disponible: <http://www.bluetooth.com/Pages/Basics.aspx>
- [18] Hernández Aquino, "Diseño, simulación y construcción de antenas tipo parche para bluetooth y WI-FI, bandas 2.4 ghz y 5.8 ghz", Tesis licenciatura, Ingeniería en Electrónica y Comunicación, Universidad Américas Puebla, Puebla, MX, 2008. [Documento en línea, 2014] Disponible: http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_a_t/capitulo1.pdf
- [19] Las tecnologías WIFI y WIMAX [Documento en línea, 2014] Disponible: http://www.dip-badajoz.es/agenda/tablon/jornadaWIFI/doc/tecnologias_wifi_wmax.pdf
- [20] Sitio Web Android Developers, Buscar "Bluetooth". [Consulta en línea, 2014] Disponible: <http://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth.html>
- [21] Sitio Web Android Developers, Buscar "wifi" y "wifi manager". [Consulta en línea, 2014] Disponible: <http://developer.android.com/reference/android/net/wifi/package-summary.html>
- [22] Abraham Silberschatz, Henry F. Korth, S. Sudarshan, "Fundamentos de bases de datos cuarta edición"; Editorial. Mc Graw Hill; ISBN: 0-07-228363-7; ISBN: 84-481-3654-3, Madrid, España, 2002.
- [23] Jorge Sánchez, "Principios sobre Bases de Datos Relacionales", Creative commons, [Documento en línea, 2014] Disponible: <http://www.jorgesanchez.net/bd/bdrelacional.pdf>
- [24] Luis Casillas, Marc Gibert, Oscar Pérez, "Bases de datos en MySQL", P06/M2109/02151, [Documento en línea, 2015] Disponible: http://ocw.uoc.edu/computer-science-technology-and-multimedia/bases-de-datos/bases-de-datos/P06_M2109_02151.pdf
- [25] Sitio Web MySQL. [Descarga en línea, 2014] Disponible: <https://dev.mysql.com/downloads/>
-

Referencias

- [26] Sitio Web MySQL, Buscar "MySQL Workbench General Information". [Consulta en línea, 2014] Disponible: <http://dev.mysql.com/doc/workbench/en/wb-intro.html>
- [27] Sitio Web Wikipedia, Buscar "localhost" [Consulta en línea] Disponible: <https://en.wikipedia.org/wiki/Localhost>
- [28] Sitio Web YouTube, Buscar "Curso Bases de Datos en MySQL - 7: Modelado Workbench (1/2)" [Video en línea] Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=IKOyn5FzLcl&index=7&list=PLeK-6tE3StTCcWZTx0BcyJYRhhdxYwoG>
- [29] Microsoft staff, "Introducing Windows Communication Foundation", 2010. [Documento en línea, 2014] Disponible: http://download.microsoft.com/download/C/2/5/C2549372-D37D-4F55-939A-74F1790D4963/Introducing_WCF_in_NET_Framework_4.pdf
- [30] Rafael Navarro Marsel, "REST vs Web Services", ELP-DSIC-UPV, Modelado, Diseño e Implementación de Servicios Web 2006-07. [Documento en línea, 2014] Disponible: <http://users.dsic.upv.es/~rnavarro/NewWeb/docs/RestVsWebServices.pdf>
- [31] Object Management Group, Inc, "The Common Object Request Broker: Architecture and Specification", Julio, 1999 [Documento en línea] Disponible: <http://www.inf.fu-berlin.de/lehre/SS02/corba/dec/98-12-01.pdf>
- [32] Sitio Web W3C, "Guía Breve de Servicios Web". [Consulta en línea, 2014] Disponible: <http://www.w3c.es/Divulgacion/GuiasBreves/ServiciosWeb>
- [33] Sitio Web Microsoft, Buscar "Express 2013 for web". [Descarga en línea, 2014] Disponible: <https://www.visualstudio.com/en-us/products/visual-studio-express-vs.aspx>
- [34] Sitio web Microsoft Developer Network, Buscar "Definir métodos de servicio web XML". [Consulta en línea] Disponible: <https://social.msdn.microsoft.com/Search/es-ES?query=Definir%20metodos%20de%20servicio%20web&emptyWatermark=true&ac=5>
- [35] Sitio web MySQL, Buscar "Download Connector/Net". [Descarga en línea, 2014] Disponible: <http://dev.mysql.com/downloads/connector/net/1.0.html>
- [36] Sitio web YouTube, Buscar "Consumir wsbasedatos primera parte". [Video en línea] Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=QKCEX7iUpss>
- [37] Sitio web eclipse, Buscar "eclipse downloads". [Descarga en línea, 2014] Disponible: <https://eclipse.org/downloads/>
- [38] Sitio web Android Developers, Buscar "ADT" [Descarga en línea, 2014] Disponible: <http://developer.android.com/sdk/installing/installing-adt.html>
- [39] Oscar Ávila Mejía, "Android", Departamento de Ingeniería Eléctrica, UAM-I. [Documento en línea, 2015] Disponible: <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/revista/83/pdfs/android.pdf>
- [40] Manuel Báez, Álvaro Borrego, Jorge Cordero, Luis Cruz, Miguel Gonzales, Francisco Hernández, "Introducción a Android", ISBN: 978-84-96285-39-5, E.M.E Editorial, Madrid, E.S.P. [Documento en línea, 2015] Disponible: <http://perdientedemigracion.uec.es/info/tecnomovil/documentos/android.pdf>
- [41] Sitio Android Developers, Buscar "Dashboards". [Consulta en línea, 2015] Disponible: <http://developer.android.com/about/dashboards/index.html#112012>
-

Referencias

- [42] Sitio Web eclipse, Buscar "IDE and Tools". [Consulta en línea, 2014] Disponible: <http://www.eclipse.org/ide/>
- [43] Sitio Web Android Developers, Buscar "Android Development Tools| Android Developers". [Consulta en línea, 2014] Disponible: <https://developer.android.com/tools/help/adt.html>
- [44] Sitio Web Koslan, Buscar "Ksoap2 2.1.2". [Descarga en línea] Disponible: <https://code.google.com/p/koslan/downloads/detail?name=ksoap2-j2se-full-2.1.2.jar&can=2&q=>
- [45] German Holguín, Sandra Pérez, Álvaro Orozco. "Curso Básico LabVIEW 6i", ISBN: 958-8065-33-X, Universidad tecnológica de Pereira, Pereira, Risaralda, COL, 2002. [Documento en línea, 2015] Disponible: <http://www.ie.itcr.ac.cr/einteriano/control/Labview/ParaAprender/Curso%20LabVIEW6i.pdf>
- [46] Sitio Web National Instruments, Buscar "Complementos para LabVIEW". [Consulta en línea, 2015] Disponible: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/212595>
- [47] Sitio web National Instruments, Buscar "LabVIEW MathScript RT module". [Descarga en línea 2014] Disponible: <http://www.ni.com/labview/mathscript/esa/>
- [48] Sitio web National Instruments, Buscar "LabVIEW Database Connectivity Toolkit". [Descarga en línea 2014] Disponible: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209060>
- [49] Sitio web MySQL, Buscar "Download Connector/ODBC". [Descarga en línea, 2014] Disponible: <https://dev.mysql.com/downloads/connector/odbc/5.1.html>
- [50] Christopher Sullivan, "Herbs", 09 in collage Seminar 235, Food For Thought: The Science, Culture, & Politics of Food, Spring 2009. [Documento en línea]. Disponible: http://academics.hamilton.edu/foodforthought/our_research_files/herbs.pdf
- [51] Sitio Web floramundo, Buscar "albahaca minet". [Consulta en línea, 2015] Disponible: https://www.floramundo.com.mx/index.php?route=product/product&product_id=51&search=albahaca
- [52] hydrofarm corporation staff, "Active Air three-way mater instructions", Petaluma, CA USA. [Documento en línea]. Disponible: http://media.hydroponics.net/documents-hf/23577_MGMLP3way_instr.pdf
- [53] Albahaca (*Ocimum basilicum* L.). [Documento en línea, 2015] Disponible: http://www.empresario.com.co/recursos/page_flip/MEGA/mega_albahaca/files/ficha%20albahaca.pdf
- [54] Sitio Adroid Developers, Buscar "nanotime". [Consulta en línea, 2015] Disponible: <http://developer.android.com/reference/java/lang/System.html>
- [55] Sitio Web National Instruments, Buscar "Measure Elapsed Time Using Tick". [Consulta en línea, 2015] Disponible: <http://digital.ni.com/public.nsf/allcb/6F6B9F4E149C80578625652800784764>
-