



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN.**

**TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL
AUTOMÁTICO CON MONITOREO A TRAVÉS DE LA WEB PARA
LA PRODUCCIÓN DE TOMATE RIÑÓN VARIEDAD DANIELA
BASADO EN LA AGRICULTURA HIDROPÓNICA Y CONTROL DE
RIEGO DE AGUA POR GOTEO EN EL INVERNADERO
LOCALIZADO EN EL BARRIO SAN GERARDO DE LA CIUDAD
DE LATACUNGA**

AUTORES: KEVIN DAVID BEDÓN ÁLVAREZ

ANDREA YAJAIRA TOVAR HERRERA

DIRECTOR: Ph.D. VÍCTOR HUGO ANDALUZ ORTIZ

LATACUNGA

2016



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación. “**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO CON MONITOREO A TRAVÉS DE LA WEB PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE RIÑÓN VARIEDAD DANIELA BASADO EN LA AGRICULTURA HIDROPÓNICA Y CONTROL DE RIEGO DE AGUA POR GOTEO EN EL INVERNADERO LOCALIZADO EN EL BARRIO SAN GERARDO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA**” realizado por el señor **Kevin David Bedón Álvarez** y la señorita **Andrea Yajaira Tovar Herrera**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **Kevin David Bedón Álvarez** y la señorita **Andrea Yajaira Tovar Herrera** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 25 de Mayo del 2016

PhD. Víctor Hugo Andaluz Ortiz

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Kevin David Bedón Álvarez**, con cédula de identidad N°0503182743 y **Andrea Yajaira Tovar Herrera**, con cédula de identidad N°0503805301, declaramos que este trabajo de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO CON MONITOREO A TRAVÉS DE LA WEB PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE RIÑÓN VARIEDAD DANIELA BASADO EN LA AGRICULTURA HIDROPÓNICA Y CONTROL DE RIEGO DE AGUA POR GOTEO EN EL INVERNADERO LOCALIZADO EN EL BARRIO SAN GERARDO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 25 de Mayo del 2016

Kevin David Bedón Alvarez
C.C: 0503182743

Andrea Yajaira Tovar Herrera
C: 0503805301



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Kevin David Bedón Álvarez** y **Andrea Yajaira Tovar Herrera**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO CON MONITOREO A TRAVÉS DE LA WEB PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE RIÑÓN VARIEDAD DANIELA BASADO EN LA AGRICULTURA HIDROPÓNICA Y CONTROL DE RIEGO DE AGUA POR GOTEO EN EL INVERNADERO LOCALIZADO EN EL BARRIO SAN GERARDO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 25 de Mayo del 2016

Kevin David Bedón Alvarez
C.C: 0503182743

Andrea Yajaira Tovar Herrera
C: 0503805301

DEDICATORIA

A Dios por haberle dado la vida a mi querida madre Anita Álvarez quien me ha apoyado incondicionalmente en toda mi vida y en mis proyectos. A mis hermanos y amigos quien con un abrazo han llenado mi vida de alegrías y en especial a mi padre Patricio Bedón por ser mi ejemplo de superación y por su apoyo infinito.

Kevin

DEDICATORIA

A Dios por otorgarnos la salud y la vida, a mi querido padre Stalin Tovar y a mi mejor amiga e incondicional madre Inés Herrera que con su apoyo, su ejemplo y mi dedicación la culminación de este proyecto se ha realizado con éxito. A mi Blanquita por el cariño brindado, a mi hermano Joao Tovar y a mi novio Kevin David, quienes con un abrazo y un beso han llenado mi vida de alegrías.

Andrea

AGRADECIMIENTO

A Dios por la salud y la vida de toda mi familia.

A mí querida familia que con sus palabras de aliento han logrado que mejore cada día más.

Al mi padre Patricio Bedón quien fue el que financio este proyecto y que con su experiencia se pudo cumplir con los objetivos planteados.

A mis amigos Sebastián Panchi, Roberto Garzón, Jonathan Pacheco.

De la misma manera nuestro tutor de tesis PhD. Víctor Hugo Andaluz por compartir sus conocimientos y su amistad.

Kevin

AGRADECIMIENTO

A Dios por la salud y la vida de toda mi familia.

A mí querida familia que con sus palabras de aliento han logrado que mejore cada día más.

Al señor Patricio Bedón quien fue el que financio este proyecto y que con su experiencia se pudo cumplir con los objetivos planteados.

De la misma manera nuestro tutor de tesis PhD. Víctor Hugo Andaluz por compartir sus conocimientos y su amistad.

Andrea

ÍNDICE DE CONTENIDOS	
PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1.	Antecedentes.....	1
1.2.	Justificación e Importancia.....	2
1.3.	Objetivos.....	4
1.3.1.	Objetivo General.....	4
1.3.2.	Objetivos Específicos.....	4
1.4.	Agricultura Tradicional.....	5
1.5.	Agricultura de Precisión.....	8
1.5.1.	El Ciclo Completo de la Agricultura de Precisión.....	11
1.6.	Agricultura Hidropónica.....	12
1.6.1.	Ventajas de la Agricultura Hidropónica.....	14
1.7.	Requerimientos del Sistema Hidropónico.....	17
1.7.1.	Localización.....	17
1.7.2.	Invernaderos.....	18
1.7.3.	Sustrato.....	28

1.7.4.	Contenedor.....	30
1.7.5.	Solución Nutritiva.....	30
1.7.6.	Material vegetal.....	31
1.7.7.	Agua de Riego.....	32
1.8.	Control de riego del recurso hídrico	32
1.8.1.	Riego por inundación	33
1.8.2.	Riego por Drenaje	34
1.8.3.	Riego Localizado.....	34
1.8.4.	Riego por aspersión.....	35
1.8.5.	Riego por difusores.....	36
1.8.6.	Riego por nebulización	36
1.8.7.	Riego por goteo.....	37
1.9.	Control de la Solución Nutritiva.....	38
1.10.	Cultivo de Tomate Riñón en Invernadero	39
1.11.	Requerimientos Físicos para el Cultivo de Tomate Riñón	40
1.11.1.	Temperatura.....	40
1.11.2.	Humedad Relativa.....	40
1.11.3.	PH	41
1.11.4.	Conductividad Eléctrica	41
1.11.5.	Riego.....	42
1.12.	Desórdenes Fisiológicos	42
1.12.1.	Rajado Radial	43
1.12.2.	Rajaduras Concéntricas	43
1.12.3.	Partido.....	43
1.12.4.	Cara De Gato (Catfacing)	44
1.13.	Automatización de un sistema.....	44
1.13.1	Parte Operativa	44
1.13.2.	Parte de Mando.....	45
1.14.	Sensores	45
1.14.1.	Tipos de sensores	45

1.15.	Sensores en Agricultura	46
1.15.1.	Sensor De Temperatura Del Suelo	47
1.15.2.	Sensor De Humedad	47
1.15.3.	Sensor De Humedad Del Suelo	49
1.15.4.	Sensor De Ph Del Suelo.....	50
1.15.5.	Sensor De Conductividad Eléctrica Del Suelo	51
1.16.	Actuadores	52
1.16.1.	Tipos De Actuadores	53
1.17.	Arduino	56
1.18.	Modbus	58
1.19.	Monitoriza For Arduino-Scada Acimut	59

CAPÍTULO II

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

2.1.	Descripción del Proyecto.	61
2.2.	Diseño e Implementación del Invernadero	62
2.3.	Diseño e Implementación del Sistema de Control de Riego	68
2.4.	Extracción De Recurso Hídrico Para El Riego.....	71
2.5.	Solución Nutritiva para el Riego.	71
2.6.	Preparación de la Solución Nutritiva	72
2.6.1.	Solución Nutritiva Solucat 10-52-10	73
2.6.2.	Solución Nutritiva Havest More 5-5-45.....	73
2.7.	Construcción de los Contenedores para el Cultivo Hidropónico.....	74
2.8.	Colocación De Los Sustratos Para El Cultivo	75
2.8.1.	Colocación Del Sustrato De Cascarilla De Arroz	76
2.8.2.	Colocación Del Sustrato Bmpro.....	76
2.8.3.	Colocación Del Sustrato Bm2.....	77
2.9.	Implementación del Control de Riego.....	79
2.10.	Control De Riego Por Goteo De Recurso Hídrico	80
2.11.	Control De Riego Por Goteo De Solución Nutritiva	81
2.12.	Electrobomba De Agua Hidros Qb-60	83

2.13.	Electroválvula	84
2.13.1.	Electroválvula Serie 200.....	85
2.14.	Elemento De Conmutación.....	86
2.14.1.	Módulo Relé 5V dos Canales	86
2.15.	Arduino Uno	87
2.16.	Arduino Ethernet Shield.....	88
2.17.	Trasplante de las Plantas de Tomate Riñón Variedad Daniela.	90
2.18.	Análisis de las Variables Físicas	91
2.19.	Selección De Componentes	91
2.20.	Selección De Sensores	91
2.20.1.	Sensor De Temperatura.....	92
2.20.2.	Sensor De Humedad.....	93
2.20.3.	Sensor De Ph	94
2.20.4.	Sensor De Conductividad Eléctrica	96
2.21.	Diagrama De Flujo Del Sistema De Control.....	99
2.22.	Controlador Tarjeta Arduino Uno.....	100
2.23.	Automatización de la Planta.....	100
2.24.	Adquisición de Señales de los Sensores	100
2.25.	Diseño De La HMI	102
2.25.1.	Instalación Del Software.....	102
2.25.2.	Configuración del Software Monitoriza	106
2.25.3.	Configuración Pantalla de Inicio	117
2.25.4.	Pantalla Principal (Proceso).....	118
2.25.5.	Pantalla Monitoreo de Temperatura	119
2.25.6.	Pantalla Monitoreo de Humedad	120
2.25.7.	Pantalla Monitoreo de Ph.....	121
2.25.8.	Pantalla Monitoreo de Conductividad Eléctrica.....	123
2.26.	Diseño del monitoreo a través de la Web.....	124
2.26.1.	Creación de la base de datos	125

CAPÍTULO III

Experimentación en campo y resultados obtenidos.....	129
--	-----

CAPÍTULO IV

Conclusiones.....	137
-------------------	-----

Referencias Bibliográficas.....	139
---------------------------------	-----

Anexos.....	141
-------------	-----

Anexo 1. Colocación de los Sensores.

Anexo 2. Código de programación en Arduino para el control de Riego

Anexo 3. Código de programación en PHP para comunicación con la Base

Anexo 4. Código de programación en PHP para envío de Datos

Anexo 5. Código de programación en HTML para graficar los Datos en la Web.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Utilización del Azadón en la agricultura tradicional.....	6
Figura 2:	Abono casero fabricado de residuos de alimentos.	6
Figura 3:	Uso de animales y maquinaria en la agricultura tradicional.	7
Figura 4:	Sensor óptimo de mano.....	10
Figura 5:	Ciclo completo de la Agricultura de precisión.	11
Figura 6:	Producción de tomate riñón hidropónico.....	13
Figura 7:	Invernadero plano o tipo parral.	24
Figura 8:	Invernadero tipo raspa y amagado.	25
Figura 9:	Invernadero asimétrico.	26
Figura 10:	Invernadero tipo capilla.	26
Figura 11:	Invernadero tipo túnel	27
Figura 12:	Invernadero de cristal.	28
Figura 13:	Riego por inundación.	33
Figura 14:	Técnica NFT para riego en hidroponía.	34
Figura 15:	Riego por aspersión.....	35
Figura 16:	Riego por difusores.....	36
Figura 17:	Riego por nebulización.	37
Figura 18:	Riego por goteo.	38
Figura 19:	Sensores de humedad.....	48
Figura 20:	Funcionamiento de los sensores de humedad del suelo.	49
Figura 21:	Sensor de humedad del suelo variando la capacitancia.	50
Figura 22:	Actuadores electrónicos.....	54
Figura 23:	Actuadores hidráulicos.....	54
Figura 24:	Actuadores neumáticos.	55
Figura 25:	Actuadores eléctricos.....	56
Figura 26:	Tarjeta Arduino Uno.....	57
Figura 27:	Interfaz de programación en Arduino.....	58
Figura 28:	Vista lateral del invernadero.	63
Figura 29:	Vista superior del invernadero.	64
Figura 30:	Formación de arcos con tubos PVC para el invernadero.....	65
Figura 31:	Colocación de los tubos cuadrados de ½ pulgada.	66
Figura 32:	Colocación tubo circular de ½ pulgada, para inveranadero.	66
Figura 33:	Estructura final del invernadero tipo túnel.....	67
Figura 34:	Construcción final del invernadero tipo túnel.	68
Figura 35:	Diseño del Sistema de control de riego por goteo implementado.	70
Figura 36:	Extracción del recurso hídrico.....	71
Figura 37:	Colocación del tanque reservorio de solución nutritiva.	72
Figura 38:	Ubicación del plástico negro en cada contenedor.	75

Figura 39:	Hileras cubiertas de cascarilla de arroz.	76
Figura 40:	Colocación del sustrato BmPro.	77
Figura 41:	Colocación del sustrato Bm2.	79
Figura 42:	Colocación de las cintas de goteo para riego.	80
Figura 43:	Línea principal de riego.	80
Figura 44:	Colocación del actuador para el control de recurso hídrico.	81
Figura 45:	Colocación del tanque de solución nutritiva.	82
Figura 46:	Colocación del actuador para el control de solución nutritiva.	82
Figura 47:	Electrobomba de agua HIDROS QB-60.	83
Figura 48:	Electroválvula serie 200.	85
Figura 49:	Relé de dos canales 5V.	87
Figura 50:	Tarjeta Arduino uno	88
Figura 51:	Arduino Ethernet Shield.	89
Figura 52:	Trasplante de la planta de tomate riñón variedad Daniela.	90
Figura 53:	Sensor de temperatura.	92
Figura 54:	Sensor de humedad.	94
Figura 55:	Sensor de PH.	95
Figura 56:	Sensor de conductividad eléctrica.	96
Figura 57:	Esquema del sistema de control y monitoreo implementado.	98
Figura 58:	Diagrama de flujo del sistema de control.	99
Figura 59:	Condiciones de instalación	103
Figura 60:	Descarga del NET Framework 3.5 SP1.	103
Figura 61:	Instalación del software	104
Figura 62:	Instalación personalizada del software.	104
Figura 63:	Fin de instalación	105
Figura 64:	Interfaz de usuario del Editor.	106
Figura 65:	Configuración del servidor	106
Figura 66:	Configuración del puerto de conexión.	107
Figura 67:	Configuración para declaración de variables.	107
Figura 68:	Creación de la variable temperatura.	108
Figura 69:	Creación de las variables del sistema.	108
Figura 70:	Configuración de la variable humedad.	109
Figura 71:	Configuración de la variable conductividad.	109
Figura 72:	Configuración de la variable Ph.	110
Figura 73:	Grupo de variables creadas en el Editor de Monitoriza.	110
Figura 74:	Creación de nombres e indicadores visuales de cada variable. .	111
Figura 75:	Asignación de la variable temperatura para el indicador.	112
Figura 76:	Asignación de la variable humedad para el indicador.	112
Figura 77:	Asignación de la variable conductividad para el indicador.	113
Figura 78:	Asignación de la variable conductividad para el indicador.	113
Figura 79:	Verificación de la conexión entre monitoriza y arduino.	114

Figura 80:	Creación de botones y tendencias en el Editor de Monitoriza. ...	115
Figura 81:	Asignación de una variable humedad al grafico de tendencias. .	116
Figura 82:	Visualización de datos en la gráfica tendencias.	117
Figura 83:	Pantalla de inicio del sistema.....	118
Figura 84:	Pantalla principal del proceso	119
Figura 85:	Pantalla de monitoreo de temperatura.....	120
Figura 86:	Pantalla de monitoreo de Humedad.....	121
Figura 87:	Pantalla de monitoreo de PH.	122
Figura 88:	Pantalla de monitoreo de Conductividad Eléctrica.....	123
Figura 89:	Sitio web para descargar MYSQL Server.	124
Figura 90:	Pantalla para ingresar a PHPMyAdmin.....	125
Figura 91:	Pantalla de inicio de PHPMyAdmin.....	125
Figura 92:	Creación de la Base de Datos Sensores.	126
Figura 93:	Creación tabla Valores con 6 columnas.....	126
Figura 94:	Creación de los campos de la Base de Datos	127
Figura 95:	Experimento 1.....	130
Figura 96:	Experimento 2.....	130
Figura 97:	Crecimiento de la planta a los 7 días del trasplante.	131
Figura 98:	Crecimiento de la planta a los 12 días del trasplante.....	132
Figura 99:	Obtención de frutos verdes después de un mes con tres días. ...	132
Figura 100:	Primer Fruto rojo obtenido a los dos meses y nueve días.	133
Figura 101:	Planta de tomate riñón variedad Daniela trasplantada en suelo. .	134
Figura 102:	Máximo crecimiento de la planta de tomate cultivada en tierra. .	135
Figura 103:	Crecimiento de la planta con mayor tamaño y frutos	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Datos del Diseño del Invernadero.....	63
Tabla 2	Materiales utilizados para la construcción del invernadero.....	64
Tabla 3	Composición química de la solución nutritiva SOLUCAT 10-52-10. ...	73
Tabla 4	Composición química de la solución nutritiva	74
Tabla 5	Análisis de las variables físicas.....	91

RESUMEN

El control de riego y el monitoreo de las variables involucradas en el crecimiento de la planta, son acciones que los agricultores deben poner en práctica en sus cultivos; con el fin de ahorrar recurso hídrico y evaluar el crecimiento de la planta de tomate riñón variedad Daniela, en este trabajo se presenta el control de riego por goteo aplicado a la agricultura hidropónica, para lo cual se desarrolla una interface humano maquina en un software libre que permite el monitoreo continuo de la humedad, pH, temperatura y conductividad eléctrica del suelo a través de los sensores alojados en la zona radicular del cultivo, en el HMI se muestra simulaciones, tendencias y las alarmas de cada una de las variables ya mencionadas, en la web se puede monitorear en tiempo real el comportamiento y los históricos de los cuatro procesos, para el envío de los datos se utilizó una tarjeta Ethernet Shield y una dirección IP privada, además el controlador realiza el acondicionamiento de los sensores y el control de los actuadores para el riego de recurso hídrico y solución nutritiva. La implementación en campo del sistema se efectúa en un invernadero tipo túnel, diseñado bajo los requerimientos de un sistema hidropónico. Finalmente para mostrar los resultados se evaluaron dos experimentos: *Experimento 1*: Determinar los requerimientos hídricos y nutritivos que necesita el cultivo en base al monitoreo de variables físicas. *Experimento 2*: Evaluar en qué tipo de sustrato el fruto de tomate tiene un mayor peso y diámetro.

PALABRAS CLAVE:

- **HIDROPÓNIA**
- **CONTROL DE RIEGO POR GOTEO**
- **SOFTWARE LIBRE**
- **MONITOREO**

ABSTRACT

The irrigation control and monitoring of the variables involved in plant growth, are actions that farmers must implement in their crops; in order to save water resources and assess the growth of the tomato plant kidney variety Daniela, this paper control drip irrigation applied to hydroponic agriculture, for which a human machine interface is developed in a free software presents which allows continuous monitoring of moisture, pH, temperature and electrical conductivity of the soil through hosted sensors in the root zone of the crop in the HMI simulations, trends and alarms for each of the variables mentioned above is shown, on the web you can monitor real-time performance and historical of the four processes for sending data Ethernet Shield card and a private IP address is used, plus the controller performs the conditioning of the sensors and control actuators for water resources and irrigation nutrient solution. The field implementation of the system is carried out in a tunnel type greenhouse, designed under the requirements of a hydroponics system. Experiment 1: To determine water and nutrient requirements need cultivation based on the monitoring of physical variables to display results finally two experiments were evaluated. Experiment 2: Assess what kind of substrate the tomato fruit has greater weight and diameter.

KEYWORDS:

- **HYDROPONICS**
- **CONTROL DRIP IRRIGATION**
- **FREE SOFTWARE**
- **MONITORING**

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. Antecedentes

La agricultura suministra alimentos hoy en día para más de 7 mil millones de personas a nivel mundial. Dada la tasa de crecimiento en el mundo de 60 millones por año, para el 2020 se espera una población cercana a los 8 mil millones (Mundial, 2016), es por esto que los agricultores han tenido que hacer ajustes a sus políticas económicas y agrícolas, así como de responder a los cambios en los mercados y a las nuevas tecnologías que mejoran su producción. En Ecuador el sector agrícola es una parte vital y dinámica del país, por lo que se considera como la mayor proporción de fuerza laboral, proveyendo una fuente de ingresos de dinero en el país.

Los avances tecnológicos más notables de los últimos años en diferente grado son: 1) *La siembra directa*, que produce cambios en el ambiente donde se desarrolla el cultivo, influyendo sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; 2) *Generación de agroquímicos*, que incluye a los fertilizantes y los plaguicidas; 3) *La biotecnología*, considerada como el gran salto de la agricultura, donde se incorpora la ingeniería genética al mejoramiento vegetal; finalmente 4) *La agricultura de precisión*, que es el uso de la tecnología de la información y las telecomunicaciones que permiten la gerencia localizada de cultivos. (García & Flego, 2010). Esta nueva tecnología permite satisfacer una de las exigencias de la agricultura moderna; el manejo óptimo de grandes extensiones que a diferencia de la agricultura tradicional ocasionan erosión y pérdida de minerales en el suelo debido a la falta de aplicación de nuevas tecnologías. (Agropecuaria, 2007)

Por lo mencionado anteriormente nace el cultivo Hidropónico donde las plantas crecen sin necesidad del suelo y en su lugar utiliza un medio inerte tal como: la grava, vermiculita, piedra pómez o serrín, a los cuales se les añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales necesarios por la planta para su normal crecimiento y desarrollo. La agricultura hidropónica tiene relación con la agricultura de precisión ya que permiten al productor medir, controlar y supervisar la producción de alimentos gracias al uso de las nuevas tecnologías de la información y las telecomunicaciones (Antillón, 2006). Entre las ventajas de esta tecnología se puede enunciar: el control más preciso sobre la nutrición de la planta; simplifica enormemente los sistemas de riego, porque elimina la esterilización del suelo, maximiza el contacto directo de las raíces con solución nutritiva, por lo que el crecimiento de los productos es acelerado siendo posible obtener en el año más producción.

Por lo descrito, este Proyecto de Titulación se realizará con el objetivo aumentar y mejorar la producción de hortalizas en nuestro país, utilizando nuevas tecnologías en el campo para la producción de tomate riñón hidropónico en un invernadero, optimizando tiempo, recursos y obteniendo un producto de mayor calidad, más sano libre de fertilizantes y de menor costo.

1.2. Justificación e Importancia

La agricultura es una actividad fundamental para el desarrollo autosuficiente y riqueza del Ecuador. Todas las actividades económicas que abarca la agricultura tienen su fundamento en la explotación del suelo o de los recursos que este origina en forma natural por la acción del hombre.

Tener cultivos bajo invernadero, evita los cambios bruscos del clima como la variación de temperatura, la escasez o exceso de humedad debido al calentamiento global de hoy en día. Por este motivo existe un notable interés

en los sistemas hidropónicos para el cultivo de alimentos, donde se utiliza otro tipo de material tales como: la grava, vermiculita, piedra pómez o serrín, a los cuales se les añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales necesarios para que la planta tenga un crecimiento normal, el esfuerzo se lo centrará en transmitir metodologías probadas, cuyos resultados, garanticen el éxito de los cultivos, con bajos costos de producción, una mínima dedicación por parte del cultivador y que ayude a conservar el medio ambiente.

Este Proyecto de titulación tiene como finalidad cultivar tomate riñón variedad Daniela basado en la agricultura hidropónica con sustrato en el invernadero localizado en el barrio san Gerardo donde no existe la implementación de este tipo de sistemas, utilizando soluciones nutritivas de acuerdo a las etapas de crecimiento del tomate y determinando el comportamiento del crecimiento de la planta utilizando la electrónica y las telecomunicaciones. También se propone una nueva alternativa en relación al cultivo tradicional, por lo que los resultados pueden ser la obtención de productos de mejor calidad y una mayor producción en la cosecha e incrementando la economía.

El incremento del valor de los productos permite que el agricultor pueda invertir tecnológicamente en su explotación mejorando la estructura del invernadero. Al optimizar los recursos al máximo con la ayuda de la ingeniería electrónica se tiene un ahorro considerable de recursos humanos, materiales, de energía eléctrica y de agua, por eso es importante invertir en investigación y desarrollo de tecnologías. Es por esto que para el desarrollo económico de este país la inversión de invernaderos no es un lujo sino una necesidad.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Implementar un sistema de control automático con monitoreo a través de la web para la producción de tomate riñón variedad Daniela, basado en la agricultura hidropónica y control de riego de agua por goteo en el invernadero, localizado en el Barrio San Gerardo de la ciudad de Latacunga.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Investigar el control de riego para cultivos de hortalizas hidropónicas, además estudiar las características técnicas de sensores y actuadores que se utilizarán en el mencionado cultivo.
- Construir el invernadero tipo túnel en el que se implementará el cultivo de tomate riñón variedad Daniela, basada en agricultura hidropónica, además se realizará el acondicionamiento de sensores y actuadores para el control de riego por goteo de solución nutritiva y recurso hídrico.
- Desarrollar una HMI para monitorear la temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica del cultivo; y a su vez controlar los actuadores tanto para el control de riego de solución nutritiva y del recurso hídrico. El monitoreo se podrá realizar a través de la web.
- Sembrar y cosechar la hortaliza para evaluar el comportamiento del control hidropónico propuesto y su rentabilidad, en el cual se definirán las ventajas y desventajas con respecto a un cultivo tradicional.

1.4. Agricultura Tradicional

El Ecuador ha sido reconocido desde hace algunos años atrás, como un país productor, lo que lo ha llevado a ocupar una destaca participación en el ámbito internacional, habiendo recibido menciones que hablan de la calidad, sabor, aroma y color de sus productos agrícolas así como también de las condiciones climáticas, geográficas y edáficas donde se realizan los cultivos y que no tienen otros países. (Agronegocios y Tecnología , 2011).

La agricultura tradicional en el Ecuador plantea un sistema de uso de la tierra que ha sido desarrollado localmente durante largos años de experiencia empírica. Las técnicas agrícolas tradicionales permitieron mantener la sostenibilidad del hábitat y la seguridad alimentaria de sus pobladores ante la presencia constante de heladas, la escasez de agua, las pronunciadas pendientes y la fragilidad de los suelos son características de estos ecosistemas. (Tamayo, 2010).

Las técnicas utilizadas en la agricultura tradicional implicaban el manejo de remedios contra plagas y gusanos fabricados en forma casera a base de otras plantas locales, la preparación del terreno y el uso de herramientas como la yunta o azadón **(ver Figura 1)**.



Figura 1: Utilización del Azadón en la agricultura tradicional.

Fuente: (Tamayo, 2010)

Otros mecanismos a tomar en cuenta en la agricultura tradicional son: la asociación de cultivos, los abonos fabricados a partir de majado de animales como el cuy, residuos de alimentos, (**ver Figura 2**), la siembra en terrazas para evitar el arrastre de los suelos con las lluvias, el manejo de un calendario agrícola, con las fechas favorables para la siembra y cosecha de los productos, entre otros. (Tamayo, 2010).



Figura 2: Abono casero fabricado de residuos de alimentos.

Fuente: (Tamayo, 2010)

El uso de tractores y máquinas en la agricultura tradicional debió suponer un cambio de paradigma para los agricultores de la época. En poco tiempo pasaron de manejar animales domésticos y todo lo relacionado con su alojamiento, alimentación, sanidad, aparejos, herrajes etc., a familiarizarse con el uso de combustibles, filtros, volantes, engranajes etc., (ver **Figura 3**) necesarios para el manejo y mantenimiento de vehículos motorizados. (Tamayo, 2010).



Figura 3: Uso de animales y maquinaria en la agricultura tradicional.

Fuente: (Tamayo, 2010)

Por todo lo mencionado anteriormente se puede concluir los dos problemas más grandes de la agricultura tradicional tales como: 1) *La sobreutilización del Suelo*, que ocasiona erosión y pérdida de minerales del suelo; y 2) *El Recurso hídrico*, la cantidad de agua que se requiere para el riego en el sector agrícola a nivel mundial es del setenta por ciento en referencia a la cantidad de agua disponible en el planeta, de los cuales el ochenta por ciento es utilizado por países en desarrollo, donde es evidente el desperdicio. (Sumpsi, 2011).

Pero la demanda de productos agrícolas es cada vez más alta y sin embargo debido al calentamiento global, en nuestro país la producción agrícola es cada vez menor por lo que no es posible satisfacer las necesidades de los

ecuatorianos. Por este motivo nuestro país ha modificado sus políticas macroeconómicas con significativas reformas políticas, fiscales, monetarias, y comerciales que han estimulado el crecimiento del sector agrícola, por eso el sector hortícola en el Ecuador desarrolla actividades que estimulen a promover el desarrollo del mismo como fuente de alimentos de alta calidad, ingresos y empleo. Pero la creciente preocupación medioambiental a nivel mundial y la necesidad de producir alimentos de calidad de una manera sostenible y respetuosa con el entorno pone al sector agrícola en la mira de la sociedad, es por eso que nace en la década de 1970 la agricultura de precisión que retoma las prácticas tradicionales de producción, pero no descarta los avances tecnológicos, sino más bien los incorpora, adoptándolos a situaciones particulares. (García & Flego, 2010)

En este proyecto de titulación se implementa un control de riego por goteo de recurso hídrico y de solución nutritiva para la producción de tomate riñón variedad Daniela basada en la agricultura hidropónica tema que se tratara en el tercer ítem de este capítulo, además se realiza el monitoreo continuo de las variables físicas como humedad, pH, Temperatura y conductividad eléctrica del suelo a través de los sensores alojados en la zona radicular del cultivo en el invernadero de $72 m^2$ ubicado en la ciudad de Latacunga, parroquia Once de Noviembre del Barrio San Gerardo, esto se desarrolla con el objetivo de ahorrar recurso hídrico, mejorar y evaluar el crecimiento del cultivo, aprovechando así el terreno y aumentando la calidad del producto.

1.5. Agricultura de Precisión

La agricultura suministra alimentos hoy en día para más de 7 mil millones de personas a nivel mundial. Dada la tasa de crecimiento en el mundo de 60 millones de personas por año, para el 2020 se espera una población cercana a los 8 mil millones (Mundial, 2016), es por esto que los agricultores han tenido que hacer ajustes económicos y agrícolas, así como de responder a los

cambios en los mercados y a las nuevas tecnologías que mejoran la producción. En Ecuador el sector agrícola es una parte vital y dinámica del país, lo que se considera como la mayor proporción de fuerza laboral, proveyendo una fuente de ingresos de dinero para el país, es por esto que la aplicación de la agricultura de precisión se hace necesaria para maximizar la producción de cultivos y saber aplicar la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en lugar exacto.

La agricultura de precisión, es el uso de la tecnología de la información y las telecomunicaciones que permiten la gerencia localizada de cultivos, siendo su principal característica la integración de varias herramientas como: 1) *El sistema GPS*, que hace posible registrar la variabilidad de los datos, determinando la posición de forma correcta y continua. 2) *El sistema SIG*, que es un sistema de información geográfica, que permite la recolección, almacenamiento, análisis y procesamiento de información georreferenciada de un campo o cultivo definido; y finalmente 3) *La Instrumentación y la Electrónica*, para la recolección de datos en tiempo real sobre lo que sucede o sucedió en él cultivo, en este sistema se controla y monitorea electrónicamente las variables involucradas en el crecimiento de la planta como temperatura, PH, conductividad eléctrica y humedad, a través de la utilización de sensores colocados directamente en la planta. (García & Flego, 2010).

Varios técnicos han utilizado los indicadores visuales como una herramienta para evaluar la carencia de nutrientes o estrés hídrico en la planta. Actualmente, gracias a determinados sensores, es posible determinar estados de estrés previamente a que se manifiesten visualmente al ojo humano, de modo que se pueda actuar anticipadamente; la agricultura de precisión se encarga de estudiar todos estos métodos (García & Flego, 2010). Los sensores ópticos pueden estar montados en satélites, aviones, helicópteros, o estar colocados en el propio tractor o portarlo a mano un técnico agrícola (**ver Figura 4**). (Vega & Pérez Ruiz, 2010)



Figura 4: Sensor óptico de mano.

Fuente: (Vega & Pérez Ruiz, 2010)

La agricultura de precisión proporciona la capacidad de recopilar, interpretar y aplicar información específica de cultivos, transformando datos e información en conocimiento y rentabilidad, (**ver Figura 5**) este sistema posibilita una gestión agronómica más eficaz, aumentando la precisión de las labores y la eficiencia de los equipos. (García & Flego, 2010).



Figura 5: Ciclo completo de la Agricultura de precisión.

Fuente: (García & Flego, 2010)

1.5.1. El Ciclo Completo de la Agricultura de Precisión

El ciclo completo de la agricultura de precisión consiste en:

- Un sistema flexible de registro de datos para maquinaria agrícola, como por ejemplo, registro de datos de productividad georeferencial o la toma de muestra de suelo realizada en el campo.
- Software para generar mapas de productividad y registros de aplicación, traducir estos mapas para permitir usarlos en sistemas de control y monitoreo de implementos. La transferencia de datos entre el programa y los equipos del campo es realizada a través de una tarjeta de datos. Todos los datos relevados por el sistema flexible de registro de datos pueden ser exportados.

- Un sistema de control y monitoreo montado en el tractor es capaz de aplicar un producto automáticamente de acuerdo al mapa de aplicación predeterminado. También genera un registro de aplicación de la cantidad y lugar donde el producto fue aplicado.
- Reducción del impacto ambiental producido por las prácticas agrícolas.

Con el ciclo completo de la agricultura de precisión se satisface una de las exigencias de la agricultura moderna, que es el manejo óptimo de grandes extensiones que a diferencia de la agricultura tradicional donde la siembra continua ocasiona erosión y pérdida de minerales en el suelo, la aplicación de nuevas tecnologías ayudan a mejorar las cosechas debido a una mejora de los requerimientos y los insumos aplicados, además el productor pasa menos tiempo en el campo y cubrirá más terreno por día. (García & Flego, 2010).

Por lo descrito, en este proyecto de titulación se aplica la agricultura de precisión para aumentar y mejorar la producción de tomate riñón variedad Daniela basada en la agricultura hidropónica, se realiza el monitoreo continuo de variables físicas a través de la web y de forma local, utilizando sensores alojados en la zona radicular del cultivo, logrando optimizar tiempo, recursos y obteniendo un producto de mayor calidad, más sano, libre de fertilizantes y de menor costo.

1.6. Agricultura Hidropónica

Los nutrientes que necesita la planta de tomate riñón pueden variar en gran medida dependiendo de las condiciones de cultivo. Los sembríos tradicionales ocasionan erosión y pérdida de minerales del suelo que al tiempo llegan a convertirse en desérticas, por lo tanto el método de cultivos hidropónicos se convierte en una alternativa útil y de bajo costo. (Zárate, 2007)

Cada día son más costosos los alimentos, el acceso a ellos es cada vez más difícil y la adquisición de tierras para cultivos es excesivamente onerosa y restringida. Estos factores hacen que la alimentación de la población tenga cada vez menos calidad, es por esto que hoy en día nace como una nueva forma de cultivo la agricultura hidropónica.

La agricultura hidropónica nace con relación a la agricultura de precisión ya que permiten al productor medir, controlar y supervisar la producción de alimentos gracias al uso de las nuevas tecnologías de la información y las telecomunicaciones. Etimológicamente el concepto hidroponía deriva del griego hydro (agua) y ponos (labor, trabajo), que significa trabajo o cultivo en agua. En el cultivo Hidropónico las plantas crecen sin necesidad del suelo o tierra y en su lugar se utiliza un medio inerte tal como: la grava, vermiculita, piedra pómez o serrín, a los cuales se les añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales necesarios por la planta para su normal crecimiento y desarrollo (**ver Figura 6**). (Antillón, 2006).



Figura 6: Producción de tomate riñón hidropónico.

Fuente: (Agrotransfer, 2014)

Un cultivo hidropónico es un sistema aislado del suelo, utilizado para cultivar plantas cuyo crecimiento es posible gracias al suministro adecuado de los requerimientos hídrico-nutricionales, a través del agua y solución nutritiva. Con la técnica de cultivo sin suelo es posible obtener hortalizas de excelente calidad y sanidad, permitiendo un uso más eficiente del agua y de nutrientes. El desarrollo actual de la técnica de los cultivos hidropónicos, está basada en la utilización de mínimo espacio, mínimo consumo de agua y máxima producción y calidad. (Beltrano & Gimenez, 2015).

Entre las ventajas de esta tecnología se puede enunciar: la posibilidad de empleo en zonas que carecen tierras cultivables; el control más preciso sobre la nutrición de la planta; simplifica enormemente los sistemas de riego, porque elimina la esterilización del suelo; maximiza el contacto directo de las raíces con la solución nutritiva, por lo que el crecimiento de los productos es acelerado siendo posible obtener en el año más producción. (Antillón, 2006).

1.6.1. Ventajas de la Agricultura Hidropónica

- Permite un control más preciso sobre la nutrición de la planta.
- Simplifica enormemente los sistemas de riego, porque elimina la esterilización del suelo y asegura una cierta uniformidad entre los nutrientes de la plantas.
- Maximiza el contacto directo de las raíces con solución nutritiva, por lo que el crecimiento de los productos es acelerado siendo posible obtener en el año más producción.
- Si se maneja de la forma correcta el sistema, permite cultivar hortalizas de consumo en fresco y de alta calidad.

- En el sistema la recirculación de la solución nutritiva, permite evitar posibles deficiencias nutricionales.
- Las plantas cosechadas se remueven fácilmente.
- Un sistema pequeño puede soportar a una planta grande.
- Reducción de costos de producción en forma considerable.
- No se depende de los fenómenos meteorológicos.
- Permite producir cosechas fuera de estación (temporada).
- Se requiere mucho menor espacio y capital para una mayor producción.
- Increíble ahorro de recurso hídrico.
- Ahorro de fertilizantes e insecticidas.
- No se usa maquinaria agrícola (tractores, rastras, etc.).
- Mayor limpieza e higiene en el manejo del cultivo, desde la siembra hasta la cosecha.
- Cultivo libre de parásitos, bacterias, hongos y contaminación.
- Rápida recuperación de la inversión.
- Ayuda a eliminar parte de la contaminación.
- No provoca los riesgos de erosión que se presentan en la tierra.

- Soluciona el problema de producción en zonas áridas o frías.
- Se puede cultivar en ciudades.
- Se obtiene uniformidad en los cultivos.
- Permite ofrecer mejores precios en el mercado.
- Nos faculta para contribuir a la solución del problema de la conservación de los recursos.
- Es una técnica adaptable a tus conocimientos, espacios y recursos.
- No se abona con materia orgánica.
- Se utilizan nutrientes naturales y limpios.
- Se puede cultivar en aquellos lugares donde la agricultura normal es difícil o casi imposible. (Beltrano & Gimenez, 2015)

La hidroponía permite atender necesidades alimenticias de la planta, ya que se puede lograr cultivos hidropónicos en casa, en el jardín o en la azotea ya sean hortalizas, flores y hasta pequeños arbustos o frutillas, permitiendo obtener los productos para una alimentación saludable y con una buena forma de terapia ya que ayuda a bajar los altos niveles de estrés. Una de las ventajas que tiene la hidroponía sobre el cultivo en tierra es que permite una mayor concentración de plantas por metro cuadrado. Existe un control sobre la nutrición vegetal gracias al uso de soluciones nutritivas; permitiendo obtener un fruto estandarizado, de mejor tamaño y calidad. (Beltrano & Gimenez, 2015)

En muchos casos, el tiempo de desarrollo de la planta se acorta, como por ejemplo, en las lechugas, donde en tierra su ciclo antes del consumo es de aproximadamente 3.5 meses, cuando con la técnica hidropónica de raíz flotante se pueden cultivar en tan solo 1.5 meses a partir de su germinación. (Beltrano & Gimenez, 2015).

Un cultivo hidropónico consume una cantidad mucho menor de agua que un cultivo en tierra, ya que en el cultivo en tierra el 80 % del riego se infiltra a las capas inferiores del terreno y otro porcentaje del riego se evapora; mientras que en un cultivo hidropónico se evita totalmente la infiltración del agua así como gran parte de la evapotranspiración, ya que el cultivo se realiza en general en locales cerrados, con humedad relativa elevada. El producto hidropónico se coloca muy bien en cualquier mercado gracias a sus características distintas como color, sabor y tamaño. (Beltrano & Gimenez, 2015)

1.7. Requerimientos del Sistema Hidropónico

El cultivo hidropónico consiste básicamente en la plantación de plantas hortícolas sin la necesidad de suelo y con un aporte de soluciones minerales a partir del agua de riego. Esto supone un ahorro importante en el empleo de plaguicidas y del agua de riego, y se puede realizar tanto en la zona urbana como rural, por lo que supone una interesante técnica para la producción de alimentos tanto en invernaderos como en patios o jardines. (MC, 2012). Los requerimientos básicos se pueden clasificar como:

1.7.1. Localización

El cultivo hidropónico se puede realizar tanto en el ámbito urbano, en la terraza, patio, balcón incluso en el techo de las viviendas o en el ámbito rural mediante el empleo de invernaderos. Para escoger la localización óptima para

realizar un huerto hidropónico se deberá tener en cuenta una serie de características:

- Exposición solar mínima de 6 horas diarias
- Evitar en la plantación que se produzcan sombras mediante edificios o árboles que reduzcan el tiempo de exposición al sol.
- Escoger un lugar protegido de las condiciones climáticas adversas como lluvias intensas y vientos.
- Lugar con un acceso fácil para el agua de riego.
- En cuanto al cultivo en invernadero, éste tendrá que estar provisto de corriente eléctrica para mantener un adecuado control climático, riegos, ventilaciones.
- Una temperatura media entre 15 y 18 °C tanto en la parte de sustrato como aéreo y riego por goteo para contribuir con una mayor humedad ambiental.
- Para evitar la formación de sombras y una insolación uniforme en las filas del cultivo se recomienda una orientación Norte-Sur y para una ventilación adecuada una altura de los invernaderos de 3 metros que permita una buena tasa de renovación del aire. (Julio, 2013).

1.7.2. Invernaderos

Es toda aquella estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, que permiten la creación de un microclima específico que ayuda a cultivar plantas fuera de estación en condiciones óptimas, además brinda protección

contra algunos factores agresivos del clima como el viento, lluvias, bajas temperaturas, que afectan la existencia de las plantas. (Agrotransfer, 2014)

A diferencia del cultivo a campo abierto, donde el campesino se preocupa básicamente por mejorar las condiciones de nutrición de la planta a nivel del suelo, el manejo en ambientes protegidos permite aprovechar el potencial genético de la planta cuidando no solo la raíz, sino la parte aérea, con el fin de alcanzar una mayor rentabilidad económica. (Agrotransfer, 2014)

Los invernaderos requieren una serie de elementos complementarios que proporcionan a las plantas un clima artificial que puede ser controlado y modificado por el productor o el investigador. Algunos de los factores o elementos que deben ser controlados son: ventilación, calefacción, sombreado, riego, entre otras.

- **Estructura de un Invernadero:** puede estar constituido por diversos materiales, los más comunes son el metal y la madera. Actualmente, el costo entre estos dos materiales mantiene una relación de 3:1, es decir que una estructura de metal cuesta tres veces más que una de madera. Con respecto a la vida útil de estas estructuras, la de metal está estimada en 25 años, con un pequeño mantenimiento cada tres años; mientras que en madera podemos esperar una duración de 5 años, con mantenimiento cada dos años. (HYDRO ENVIROMENT, 2013)

La estructura del invernadero será uno de los factores más importantes a tener en cuenta, no solo porque mantendrá el invernadero en pie, sino que estará bien montado para captar la mayor parte de energía solar posible, sobre todo en el invierno. Por ello, adecuar la altura del invernadero, la ventilación, y el largo, será parte fundamental al querer generar un invernadero que funcione bien. Es importante, evaluando la estructura de invernaderos, analizar los elementos con los que se

montará, por dos cosas en particular: una de ellas es la utilidad, y fuerza con la cual sostendrán y mantendrán al invernadero en pie y, la segunda, será la vida útil de esta estructura. Por lo tanto algunas veces es necesario, o más práctico, decidirse por utilizar una buena estructura de invernadero, y así después no tener que renegar con algunas estructuras no útiles.

El montar una buena estructura de invernadero, en especial fuerte y duradera, podrá tener un costo alto al principio, pero seguramente se amortizará, debido a que el cuidado será menor y su resistencia hará que el mismo requiera de mucho menos mantenimiento, por lo cual se necesitará menos mano de obra para lograr tenerlo espléndido, y al mismo tiempo menos dinero. (Agrotransfer, 2014)

- **Características de un Invernadero:** están influenciadas principalmente por factores como: el volumen del aire y la posibilidad de mantener de un ambiente adecuado que permita controlar temperaturas extremas. De ellos dependen, en gran medida, el éxito o fracaso de un cultivo. Las características básicas que debe cumplir el diseño de un invernadero son:
 - Debe ser aislado termodinámicamente el sistema para detener la convección y la conducción térmica y de esta forma llegar a equilibrar la temperatura del interior del invernadero con la temperatura del ambiente.
 - Las dimensiones del invernadero, pueden ser variadas, sin embargo existen dimensiones que son recomendadas por diversas investigaciones técnicas; el largo del invernadero recomendado, para una explotación a nivel de pequeño agricultor oscila entre 10 y 40 metros; el ancho del invernadero, se

recomienda aplicar múltiplos de 3 o 3.5 metros, es decir se puede construir invernaderos de: 3, 6, 9, 12 metros; o de: 3.5, 7, 10.5, 14 metros. De todas formas el ancho estará determinado por: las medidas del polietileno, que permita una fácil instalación del mismo, la densidad del cultivo a establecer y el tipo de sistema de riego a emplear.

- Para la mayoría de los cultivos, no se requiere una altura superior a los 3.5 metros, considerando aspectos técnicos referidos a humedad y ventilación. Una altura recomendable puede oscilar entre 2.5 y 3.5 metros en la parte central y de 2 a 8 metros en los laterales. Los invernaderos de mayor altura presentan una masa mayor de aire, por lo que se calientan en forma más lenta durante el día y se enfrían lentamente en la noche, lo que permite otorgar una mayor estabilidad al microclima interno. (Agrotransfer, 2014)
- **Ventajas de los Invernaderos:** Un invernadero presenta varias ventajas para la producción agrícola como son:
 - **Intensificación de la producción:** Los invernaderos son estructuras que ayudan a intensificar la producción agrícola, al establecer las condiciones apropiadas para acelerar el desarrollo de los cultivos y permitir mayor productividad de la planta. (Pacheco, 2013)
 - **Posibilidad de cultivar todo el año:** Los invernaderos, diseñados, contruidos y equipados considerando las condiciones ambientales del lugar donde se ubican, de acuerdo a las necesidades de los cultivos y con un buen manejo, permiten el desarrollo de los cultivos en cualquier época del año, así como

la obtención de dos o más ciclos de cultivo al año, dependiendo de la especie. (Pacheco, 2013)

- **Producción en regiones con condiciones limitadas:** Los invernaderos permiten la obtención de cultivos en regiones donde el clima no es el apropiado para el establecimiento de los mismos. Por ejemplo la producción de tomate en zonas frías; el desarrollo de cultivos en zonas poco favorecidas climáticamente como las zonas áridas, donde se presentan variaciones drásticas de temperaturas que afectan la producción y en ocasiones son letales para los cultivos a campo abierto. (Pacheco, 2013)
- **Aumento de rendimiento por unidad de superficie:** Los rendimientos de los cultivos bajo invernadero directamente en el suelo aumentan de 2 a 3 veces, comparados con los cultivos a campo abierto. Utilizando sustratos y sistemas hidropónicos, los rendimientos pueden ser varias veces superiores a los obtenidos en el campo. La productividad, puede llegar a ser hasta 10 veces superior a la obtenida a campo abierto con los sistemas convencionales de mecanización y riego. (Pacheco, 2013)
- **Obtención de productos de alta calidad:** Los productos obtenidos en invernadero son de mejor calidad y tiene mejor presentación que los obtenidos al aire libre, ya que no están sometidos a los daños ocasionados por las inclemencias ambientales como las lluvias, el granizo, las heladas y los vientos. Con un buen sistema de riego y drenaje se evitan los problemas de estrés del cultivo provocado por sequías e inundaciones. (Pacheco, 2013)
- **Menor riesgo en la producción:** Los invernaderos son estructuras para proteger el cultivo permitiendo el desarrollo de

los mismos con pocos riesgos para la producción. A diferencia de los cultivos al aire libre donde están expuestos a las variaciones ambientales. (Pacheco, 2013)

- **Control de plagas, malezas y enfermedades:** Un invernadero bien construido facilita el control de los patógenos, las malezas y plagas. El cultivo en invernaderos facilita los tratamientos preventivos y permite realizar una programación adecuada para el control de parásitos y enfermedades empleando métodos de control integrales con mayor efectividad que en los cultivos a campo abierto. (Pacheco, 2013)

- **Comodidad y seguridad para realizar el trabajo:** Bajo la cubierta del invernadero es posible trabajar jornadas completas sin importar el tiempo prevaleciente en el exterior dando seguridad en la realización de todas las actividades programadas, sin los retrasos a que se expone la programación de actividades en los cultivos al aire libre por el mal tiempo ocasionado por lluvias, nevadas o vientos.

- **Desventaja:** La desventaja de usar invernaderos para la agricultura es la inversión inicial. La construcción de invernaderos representa una inversión relativamente alta, que en la actualidad sólo se justifica para cultivos altamente redituables como algunas hortalizas, especies ornamentales y algunos frutales. No son recomendables, por el momento, para los cultivos básicos o de poco valor comercial. (Pacheco, 2013)

- **Tipos De Invernaderos:** Según la conformación estructural, los invernaderos se pueden clasificar en:

- **Planos o tipo parral:** Este tipo de invernadero se utiliza en zonas poco lluviosas, aunque no es aconsejable su construcción. La estructura de estos invernaderos se encuentra constituida por dos partes claramente diferenciadas, una estructura vertical y otra horizontal, **(ver Figura 7)**. (Agrotransfer, 2014)



Figura 7: Invernadero plano o tipo parral.

Fuente: (Agrotransfer, 2014)

- **Tipo raspa y amagado:** Su estructura es muy similar al tipo parral pero varía la forma de la cubierta. Se aumenta la altura máxima del invernadero en la cumbre, la mayor desventaja es las diferencias de luminosidad entre la vertiente sur y la norte del invernadero, por lo que no aprovecha las aguas pluviales, dificultando el cambio del plástico de la cubierta y al tener mayor superficie desarrollada se aumentan las pérdidas de calor a través de la cubierta **(ver Figura 8)**. (HYDRO ENVIROMENT, 2013)



Figura 8: invernadero tipo raspa y amagado.

Fuente: (Agrotransfer, 2014)

- **Invernadero asimétrico:** Difiere de los tipo raspa y amagado en el aumento de la superficie en la cara expuesta al sur, con objeto de aumentar su capacidad de captación de la radiación solar. Para ello el invernadero se orienta en sentido este oeste, paralelo al recorrido aparente del sol, (**ver Figura 9**). La inclinación de la cubierta debe ser aquella que permita que la radiación solar incida perpendicularmente sobre la cubierta al mediodía solar durante el solsticio de invierno, época en la que el sol alcanza su punto más bajo. La desventaja más importante es la pérdida de calor a través de la cubierta debido a su mayor superficie desarrollada en comparación con el tipo plano. (Agrotransfer, 2014)



Figura 9: Invernadero asimétrico.

Fuente: (Agrotransfer, 2014)

- **Capilla:** Los invernaderos de capilla simple tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas. La anchura que suele darse a estos invernaderos es de 12 a 16 metros. La principal desventaja es que la ventilación es por ventanas frontales y laterales. Cuando se trata de estructuras formadas por varias naves unidas la ausencia de ventanas cenitales dificulta la ventilación (**ver Figura 10**). (Agrotransfer, 2014)



Figura 10: Invernadero tipo capilla.

Fuente: (Agrotransfer, 2014)

- **Tipo túnel o semicilíndrico:** El invernadero tipo túnel mostrado (ver Figura 11), se caracteriza por la forma de su cubierta semicilíndrica. El empleo de este tipo de invernadero se está extendiendo por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación al ser estructuras prefabricadas, tienen una buena ventilación, buena estanqueidad a la lluvia y al aire, permite la instalación de ventilación y facilita su accionamiento mecanizado, un buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero, su desventaja principal es su costo. (Agrotransfer, 2014)



Figura 11: Invernadero tipo túnel

Fuente: (Agrotransfer, 2014)

- **Invernadero de cristal o tipo véndelo:** Este tipo de invernadero, también llamado Venlo, es de estructura metálica prefabricada con cubierta de vidrio y se emplean generalmente en el Norte de Europa, (ver Figura 12). El techo de este invernadero industrial está formado por paneles de vidrio que descansan sobre los canales de recogida de pluviales y sobre un conjunto de barras transversales. La principal desventaja es la abundancia de

elementos estructurales implica una menor transmisión de luz y su elevado costo. (HYDRO ENVIROMENT, 2013)



Figura 12: Invernadero de cristal.

Fuente: (HYDRO ENVIROMENT, 2013)

1.7.3. Sustrato

Los sustratos son los medios donde se va a proceder para el desarrollo de las especies que queremos plantar en nuestro cultivo hidropónico y se caracterizan por ser inertes (de ahí que se conozcan como cultivos sin suelo) en relación a un aporte nutricional. (Julio, 2013). Puede haber de tres tipos de sustrato:

- **Sustrato sólido:** Dentro de éstos puede haber numerosos tipos de sustratos:
 - **Orgánico:** Son materiales biodegradables que con el paso del tiempo se descomponen como el carbón vegetal, fibra de coco, granza de arroz. Por este motivo no son convenientes emplearlos

en cultivos que presentan una producción a largo plazo y debe realizarse un buen lavado, principalmente en la fibra de coco, porque las sales pueden alterar la conductividad eléctrica.

- **Inorgánico:** Son materiales más sencillos de desinfectar pero con un manejo más complicado ya que según el material presenta diferentes distancias de siembra por la formación del bulbo húmedo y aportaciones de agua de riego y solución nutritiva. Los más empleados son la arcilla expandida, lana de roca y perlita.

- **Raíz flotante:** En este sistema para el cultivo hidropónico no se emplea ningún sustrato sólido, tan sólo se sumergen las raíces de las plantas en una solución nutritiva. Para el éxito de este sistema se debe oxigenar las raíces y la solución nutritiva se deberá calcular en función del volumen del contenedor.

- **Mezclas:** Todos los materiales mencionados se pueden utilizar solos. Sin embargo, algunas mezclas de ellos han sido probadas con éxito, en diferentes proporciones, para el cultivo de más de 30 especies de plantas. Las mezclas más recomendadas de acuerdo con los ensayos hechos en varios países de América Latina y el Caribe son:
 - 50% de cáscara de arroz con 50% de escoria de carbón
 - 80% de cáscara de arroz con 20% de aserrín
 - 60% de cáscara de arroz con 40% de arena de río
 - 60% de cáscara de arroz con 40% de escoria volcánica.

En el sistema con sustrato sólido, la raíz de la planta crece y absorbe agua y nutrientes que son aplicados diariamente a la mezcla de materiales sólidos. En el método de sustrato líquido o raíz flotante, el agua se usa con el mismo fin, permitiendo el desarrollo de las raíces, y la absorción de agua. (Julio, 2013)

1.7.4. Contenedor

Es el lugar donde se coloca el sustrato y se pueden emplear numerosos materiales desde materiales plásticos como tubos de PVC hasta bolsas para el cultivo. Se pueden utilizar diferentes materiales que se van a desechar y así favorecer al medio ambiente. Cuando se elabora un contenedor, se realiza de manera que se facilite la revisión de enfermedades y plagas además de la limpieza y el manejo del cultivo en la aplicación de la solución nutritiva y la posterior cosecha de la plantación. (Julio, 2013)

Las dimensiones (largo y ancho) de los contenedores pueden ser muy variables, pero su profundidad dependerá del desarrollo de las raíces de las plantas. Las dimensiones superiores implican mayores costos en materiales (madera, plástico, sustrato). Las dimensiones mínimas son muy variables, pues dependen de la disponibilidad de espacio, los materiales que se puedan conseguir a menor costo y de los objetivos de la huerta (aprendizaje, recreación, experimentación o producción para la venta).

1.7.5. Solución Nutritiva

Según el tipo de cultivo que se vaya a implementar y el estado de desarrollo en el que se encuentre (si se realiza por siembra directa o trasplante) se aplicará una solución madre u otra. En la solución nutritiva se debe hacer un aporte de 16 elementos esenciales para que el cultivo tenga un desarrollo adecuado pero los elementos en los que es primordial el cálculo son los macronutrientes (N, P, S, K, Ca, Mg) ya que los micronutrientes se proporcionan con preparados comerciales. (MC, 2012)

En la instalación hidropónica se debe controlar que la solución llegue correctamente al cultivo y que las características sean adecuadas:

- Conductividad eléctrica: Alrededor de 1.2 a 2.5 uS/cm
- Ph: Ligera acidez entre 5.5. y 6.4
- Temperatura: Alrededor de 18 °C

La frecuencia con la que se realicen los aportes de la solución nutritiva es un factor muy importante para el éxito de ese sistema, y se deberán ajustar lo máximo posible a la demanda que presente el cultivo. Se recomienda el control del riego y de solución a través de programadores con sensores ya que se ajustan a las características del sustrato midiendo el estado hídrico y en el caso de raíz flotante en función del estrés hídrico de la planta. (Julio, 2013)

1.7.6. Material vegetal

En cultivos hidropónicos se pueden utilizar numerosas especies. En invernaderos el factor geográfico no es determinante ya que se pueden regular las condiciones climáticas y adaptarlas al cultivo elegido.

En cuanto a hortalizas se suelen emplear numerosas familias, entre ellas cucurbitáceas, crucíferas, solanáceas, compuesta y se pueden realizar dos tipos de siembra:

- **Siembra directa:** Como su propio nombre indica se realiza a través de la incorporación de las semillas en los sustratos. Estas especies son: melón, pepino, fresa, sandía, entre otras.
- **Por trasplante:** Son plantas que necesitan un previo desarrollo en semilleros para su óptimo desarrollo al trasplantarse a los cultivos hidropónicos. Estas especies son perejil, apio, remolacha, espinaca, tomate, entre otras (MC, 2012)

1.7.7. Agua de Riego

Como ya se sabe el agua de riego puede contener numerosas sales disueltas, entre ellas nitratos, que en algunos sistemas puede ser beneficioso para el cultivo pero en este caso al encontrarnos en cultivos sin suelo puede condicionar la cantidad y calidad de la cosecha. Si no controlamos el agua de riego puede haber una sobre alimentación de las plantas. (Julio, 2013). El aporte continuo de agua es fundamental ya que las plantas no pueden estar más de unas horas sin agua sin que acabe teniendo consecuencias en el cultivo.

1.8. Control de riego del recurso hídrico

El riego consiste en aportar agua al sustrato, para que las plantas (hortalizas, partos, ornamentales, etc.) puedan crecer y desarrollarse. Esta es una actividad necesaria tanto en la hidroponía, como en la agricultura tradicional y la jardinería. Existen casos en los que el aporte de agua resulta sencillo o en que la lluvia proporciona el agua necesaria, pero por lo general no es así, por tal motivo la agricultura nació cerca de ríos y lagos para facilitar el riego. Pero la expansión de la civilización humana obligó a los antiguos pobladores a alejarse de los cuerpos de agua y a desarrollar diferentes técnicas de riego para sus cultivos. Algunas de ellas se siguen usando hoy en día. (J.B., 2005)

El control de riego se refiere, al conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas. El sistema consta de una serie de componentes. Sin embargo debe notarse que no necesariamente el sistema de riego debe constar de todas ellas, el conjunto de componentes dependerá de si se trata de riego, las técnicas de riego más utilizadas son:

1.8.1 Riego por inundación

Es el más tradicional y fue el más usado hasta finales del siglo XIX, cuando fue desplazado por el riego localizado y otras técnicas más modernas. Hoy se utiliza principalmente en los cultivos rurales de arroz en lugares como China, India o Indonesia. (J.B., 2005)

Para poder aplicar este sistema el terreno debe ser trabajado de tal forma que las áreas a ser irrigadas, o parte de estas, deben ser prácticamente horizontales, rodeadas por pequeños diquecitos que contienen el agua. En esta modalidad, una vez que la parcela se ha llenado de agua, se cierra la entrada a la misma, el agua no circula sobre el suelo, se infiltra o evapora (**ver Figura 13**).

Esta técnica tiene muchas deficiencias: un excesivo gasto de agua, compacta el suelo por lo que un segundo cultivo se dificulta si no se ara la tierra y el exceso de agua puede pudrir las raíces de nuestras plantas. Sin embargo esta técnica modificada se puede utilizar en la hidroponía, en lo que hoy se conoce como cultivo en raíz flotante, y al contrario del riego por inundación, es una de las técnicas hidropónicas que menos agua gasta y mayor rendimiento tiene



Figura 13: Riego por inundación.

Fuente: (J.B., 2005)

1.8.2. Riego por Drenaje

En este tipo de riego el agua se suministra por un tubo subterráneo, no es muy utilizado en agricultura porque es muy caro, sin embargo en la hidroponía hay una técnica similar que es el NFT en la que las planta se colocan en tubos llenos de agua circulante. **(ver Figura 14).**



Figura 14: Técnica NFT para riego en hidroponía.

Fuente: (J.B., 2005)

1.8.3. Riego Localizado

Este tipo de riego se divide en tres: nebulizado, aspersion, por difusores y por goteo, pero todos estos tienen las siguientes características:

- No moja todo el suelo.
- Son pequeñas dosis de agua, que se aplican muchas veces.
- Mantienen el suelo siempre húmedo.
- Van orientado a satisfacer las necesidades de la planta y no del suelo.

La diferencia del riego nebulizado, la micro aspersión y por goteo es como se aplica. El riego por goteo, como su nombre lo dice, es por gotas, el nebulizado en forma de neblina o partículas muy pequeñas de agua, la micro aspersión es en forma de lluvia y por difusores lo mismo pero para terreno más pequeño. (J.B., 2005)

Este tipo de riego localizado es muy utilizado en la hidroponía, a continuación se detallaran cada una de ellas.

1.8.4. Riego por aspersión

Los aspersores (**ver Figura 15**), por lo general tienen un alcance superior a 6 m., es decir, son capaces de repartir el agua de 6 metros en adelante, según tengan más o menos presión y el tipo de boquilla. Los aspersores se dividen en:

- **Emergentes:** Se levantan del suelo cuando se abre el riego y cuando el riego de detiene, los aspersores se retraen.
- **Móviles:** Se acoplan al extremo de una manguera y se van pinchando y moviendo de un lugar a otro.



Figura 15: Riego por aspersión.

Fuente: (J.B., 2005)

1.8.5. Riego por difusores

Son similares a los aspersores pero más pequeños. Reparten el agua a una distancia de entre 2 y 5 metros, según la presión y la boquilla que se utilice. El alcance se puede modificar abriendo o cerrando un tornillo que llevan muchos modelos en la cabeza del difusor. Se utilizan para zonas más estrechas. Por tanto, los aspersores para regar superficies mayores de 6 metros y los difusores para superficies pequeñas. Los difusores siempre son emergentes (**ver Figura 16**).



Figura 16: Riego por difusores.

Fuente: (J.B., 2005)

1.8.6. Riego por nebulización

Es cuando en el sistema, se expulsa agua en forma de neblina, a través de emisores colocados en la parte superior del cultivo, el cual además de suministrar agua o fertilizante, contribuye en cierta forma a disminuir temperatura y elevar el nivel de humedad relativa en el interior del invernadero (**ver Figura 17**).

El riego por nebulización (niebla) es el apropiado para el cultivo de esquejes tiernos, en la producción intensiva de forraje verde hidropónico, en la producción de hongos y en la producción de plántulas (germinación de plantas), donde, debido a la delicadeza de estos cultivos, las gotas grandes del riego podrían dañarlos. (J.B., 2005)



Figura 17: Riego por nebulización.

Fuente: (J.B., 2005)

1.8.7. Riego por goteo

Consiste en aportar el agua de manera localizada justo al pie de cada planta, **(ver Figura 18)**, el agua aplicada por este método de riego se infiltra hacia las raíces de las plantas irrigando directamente la zona de influencia de las raíces a través de un sistema de tuberías y emisores (goteros). (Shock & Welch, 2013) Al reducir el volumen de suelo mojado, y por tanto su capacidad de almacenamiento, se debe operar con una alta frecuencia de aplicación, a caudales pequeños, el riego por goteo tiene las siguientes ventajas:

- Ahorro de agua.

- Se mantiene un nivel de humedad en el suelo constante, sin encharcamiento.
- Se pueden usar aguas ligeramente salinas, ya que la alta humedad mantiene las sales más diluidas.
- Con el riego por goteo se puede aplicar fertilizantes disueltos y productos fitosanitarios directamente a la zona radicular de las plantas.



Figura 18: Riego por goteo.

Fuente: (Shock & Welch, 2013)

1.9. Control de la Solución Nutritiva

De la Solución Nutritiva depende la magnitud y calidad de la producción. Se define como un conjunto de compuestos y formulaciones que contienen los

elementos esenciales disueltos en el agua, que las plantas necesitan para su desarrollo.

1.10. Cultivo de Tomate Riñón en Invernadero

La producción de tomates en invernaderos ha atraído la atención en los últimos años, en parte debido a los “cultivos alternativos.” La atracción se basa en la percepción de que los tomates de invernaderos pueden ser más rentables que los cultivos agronómicos o los cultivos hortícolas convencionales. La fama puede ser debida a malos entendidos sobre cuán fácilmente se puede cultivar esta planta. Mientras el valor de los tomates de invernadero por unidad es alto, los costos son también altos. (Snyder, 2012) Se detallan los siguientes puntos para producción de tomate:

- Los tomates producidos en invernaderos requieren manejos únicos, distintos de los cultivos como soja y algodón, e inclusive ni similar a otros cultivos hortícolas. De hecho, un productor de tomates a campo abierto podría tener dificultades para cultivar tomates en invernaderos si no tomara un tiempo suficiente para aprender. Se debe entender que la producción de tomates en invernaderos es totalmente distinta de la producción de cultivos en el campo. (Snyder, 2012)
- Debido a los requisitos específicos de producción, los tomates de invernadero no pueden ser considerados como un cultivo “fácil.” Son uno de los cultivos hortícolas más difíciles de producir, con muchos procedimientos a seguir para asegurar plantas sanas y productivas.
- Por unidad, el tiempo necesario para el cultivo de tomates en invernadero es mucho mayor que cualquier cultivo hortícola de campo. Varias prácticas culturales semanales (poda, atado, polinización, rociamientos o pulverizaciones, etc.) Suman una cantidad tiempo significativo.

- Los tomates de invernadero necesitan atención regular. Diferente de muchos cultivos de campo que pueden ser plantados, pulverizados en base a fechas fijas, y luego cosechados después de ciertos días, los tomates deben ser examinados diariamente. Ya que el sistema de crecimiento es complejo, muchas cosas pueden no andar bien. El producir tomates en invernaderos puede ser más similar al mantenimiento de una manada de vacas lecheras que al cultivo de hortícolas en el campo.

1.11. Requerimientos Físicos para el Cultivo de Tomate Riñón Variedad Daniela en Invernaderos

1.11.1. Temperatura

Una temperatura del día entre 70 °F y 82 °F es la óptima, mientras que de noche la óptima para tomates de invernadero está entre 62 °F y 64 °F. Durante tiempo nublado, se prefiere una temperatura cerca de los valores más bajos, mientras que en tiempo soleado, las temperaturas cercanas a los valores más altos son las mejores. Por debajo de los 60 °F, puede ocurrir eficiencia de nutrientes ya que las plantas no pueden absorber algunos elementos a dichas temperaturas. (Snyder, 2012)

1.11.2. Humedad Relativa

La humedad relativa óptima para los invernaderos de tomates es entre el 60 y el 80 por ciento.

1.11.3. PH

Es una buena idea chequear el pH de la solución nutritiva todos los días. Por lo menos, revise el pH cada vez que usted prepara una solución fertilizante. El rango de pH óptimo para la solución de nutrientes es 5 a 8. (Snyder, 2012)

1.11.4. Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica (EC) es una medida de la habilidad de una solución de conducir electricidad; cuando más concentrada está la solución de fertilizante, más electricidad conducirá, y mayor será la lectura. La unidad general es el mho siendo el plural mhos. Mhos, el inverso de ohms, es la medida de la conductividad, más que de la resistencia. Existen dos unidades de mhos comúnmente usadas: micro-mhos (μmhos) y milli-mhos (mmhos). Algunos medidores portátiles de la conductividad eléctrica miden en micro-semens (μs). Estos son equivalentes a micro-mhos (μmhos), y son más comunmente usados en los países Europeos.

La mejor forma de entender el estado nutritivo de una solución de fertilizante y de comunicarlo a los demás, es saber cuántas partes por millón de cada elemento está aplicando. Partes por millón son las unidades usadas para medir la concentración de nitrógeno, o cualquier otro nutriente específico en la solución. Estas unidades están generalmente en el rango de 50 a 300 ppm de nitrógeno. Para el caso de plantas maduras en producción, se necesita entre 125 a 200 ppm de (N), dependiendo de circunstancias particulares. Esto no está directamente relacionado o puede ser directamente convertido en una medida exacta de conductividad eléctrica. Evite cambios bruscos en las condiciones de crecimiento, incluyendo el clima y la conductividad eléctrica (EC) de la solución nutritiva. (Snyder, 2012)

1.11.5. Riego

Con la excepción de los invernaderos usados como pasatiempo, el riego debería ser controlado automáticamente, con el uso de relojes o controles electrónicos. El volumen de agua variará dependiendo de la estación y del tamaño de las plantas. Los nuevos trasplantes necesitan 2 onzas (50 ml) por planta por día. A la madurez, en los días soleados, de todas maneras, las plantas pueden necesitar hasta 3 cuartos de galón (2,7 litros o 2.700 ml) de agua por planta y por día. Por lo general, 1/2 galón por planta por día es adecuado para un crecimiento completo o casi completo de las plantas. Revise las plantas detalladamente, especialmente durante las dos semanas después del trasplante, así el volumen de agua puede ser aumentado si es necesario. El agua debe ser aplicada a cada planta. Esto se realiza a través del sistema llamado “spaghetti tubing” (tubos finos) y de los goteros que llevan el agua desde las líneas principales a la base de cada planta. (Snyder, 2012)

El punto importante es que las plantas reciban la suficiente agua para que no se marchiten. La planta marchitada no crece. Si se alcanza el punto de marchitez permanente debido a un prolongado período sin agua, podría ocurrir que el punto de crecimiento esté muerto. Para estar seguro de que las plantas reciben la suficiente agua, riéguelas de tal forma que drene agua de la bolsa (10-20 %) después de cada riego. Sepa que después de un período nublado prolongado seguido por sol brillante, puede ocurrir marchitamiento severo. Esté atento a aumentar la cantidad de agua en esta situación. (Snyder, 2012)

1.12. Desórdenes Fisiológicos

Muchos problemas que tienen los tomates no son causados por insectos o enfermedades. Estos problemas se deben al ambiente (temperatura, humedad, luz, agua, etc.) o nutrición, y se los denomina “desórdenes fisiológicos.” A continuación se describen los desórdenes más comunes:

1.12.1. Rajado Radial

Estas son rajaduras que aparecen a partir del cáliz (extremo del tallo) de la fruta y continúa hacia abajo. Si la rajadura es menos de media pulgada y no es profunda, la fruta es todavía comerciable. Si las rajaduras son más largas, más profundas o más numerosas, la fruta no es comerciable. Estas rajaduras son debido al abastecimiento de agua excesivo, seguido por muy poca agua; muy rápido crecimiento con altas temperaturas y humedad; o debido a una gran diferencia entre las temperaturas del día y de la noche. También asegúrese de que el fertilizante se encuentre a un nivel adecuado, revise la conductividad eléctrica. (Snyder, 2012)

1.12.2. Rajaduras Concéntricas

Estas rajaduras se forman en círculos concéntricos, uno dentro de otro, alrededor del cáliz (parte final del tallo) de la fruta. Dependiendo en la severidad, la fruta puede o no ser comerciable. Esta rajadura es también causada por el problema de agua. Asegúrese de que el agregado del fertilizante sea el adecuado, revise la conductividad eléctrica. Estas rajaduras son causadas por demasiada agua seguido de poca agua; debido al rápido crecimiento con altas temperaturas y humedad; o debido a la gran diferencia de temperaturas entre el día y la noche. (Snyder, 2012)

1.12.3. Partido

Partido no es lo mismo que rajado. Cuando la fruta es expuesta a temperaturas muy altas, como las de muchos invernaderos, la piel de la fruta tiene una tendencia a abrirse, como resultado del estrés causado por las temperaturas. La partición puede también ocurrir cuando la temperatura

nocturna es muy baja, seguida de un día soleado. Asegúrese de que la temperatura de la noche no sea inferior a 64°F. (Snyder, 2012)

1.12.4. Cara De Gato (Catfacing)

Esta es una malformación, marcado o rajado de la fruta, que ocurre al final de la floración, algunas veces quedan “agujeros” en la fruta que exponen los lóculos de la misma. Este defecto es causado por las muy altas temperaturas o bajas temperaturas durante la formación de la fruta. (Snyder, 2012)

1.13. AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA

Se define como un sistema capaz de ejecutar acciones previamente establecidas en un espacio y tiempo determinado sin la necesidad de la intervención humana frente a ambientes agresivos y hostiles, mejorando la cadencia y el control de la producción.

La automatización se hace posible mediante los Sistemas de Control, mejorando el rendimiento en los procesos repetitivos, realizando tareas que implican desgaste físico importante en el ser humano y controlando procesos difícilmente controlables de forma manual. (Millán, 2010) Un sistema automatizado consta de dos partes principales.

1.13.1 Parte Operativa

La parte operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los Elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros de accionamiento; etc. Y los captadores como finales de carrera entre otros. (Millán, 2010)

1.13.2. Parte de Mando

En su mayoría suele ser un autómata programable, es decir, tecnología programada. En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable está en el centro del sistema. Siendo capaz de comunicarse con todos los constituyentes del sistema realizando operaciones específicas de forma secuencial. (Millán, 2010)

1.14. Sensores

Un sensor es un dispositivo diseñado para recibir información, también llamado transductor, trasforma un fenómeno físico en una señal eléctrica que se puede medir. Normalmente estos dispositivos se encuentran realizados mediante la utilización de componentes pasivos (resistencias variables, PTC, NTC, LDR, etc. todos aquellos componentes que varían su magnitud en función de alguna variable), y la utilización de componentes activos. (Albert, 2010)

1.14.1. Tipos de sensores

Los sensores son tan diversos como los principios físicos en los que se basan para realizar su medición. En la actualidad para medir cualquier variable física tenemos diversos tipos de sensores, que se detallan a continuación:

De acuerdo al tipo de acondicionamiento de señal utilizado se puede clasificar a los sensores en:

- **Sensores Resistivos:** La señal de salida que genera este tipo de sensores es resistiva. En los circuitos de acondicionamiento de este tipo de sensores, es fundamental la consideración de las impedancias así como la disipación de energía en el propio sensor y en la electrónica asociada. (Albert, 2010)

- **Sensores que Entregan Tensión:** A este grupo pertenecen todos los sensores que ya entregan una tensión proporcional al parámetro físico en cuestión. Su acondicionamiento está orientado a la amplificación de la señal, así como a la adaptación de las impedancias. (Albert, 2010)
- **Sensores que Entregan Corriente:** Para este tipo de sensores, el acondicionamiento está orientado a la obtención de convertidores corriente / tensión. Un acondicionador a destacar es el llamado bucle de corriente de 4 a 20mA en procesos de control que si bien no están asociados generalmente al sensor resulta una técnica de transmisión muy utilizada, debido a las ventajas que presenta. (Albert, 2010)
- **Sensores Digitales:** Este tipo de sensores entregan una información digital por lo que su acondicionamiento se orientará a la conexión a la familia lógica asociada. (Albert, 2010)

1.15. Sensores en Agricultura

La agricultura, a pesar de ser uno de los sectores más tradicionales, pero gracias a la actualización tecnológica se consiguen niveles de productividad que hace muy pocos años eran impensables.

Con la evolución de los cultivos y en muchos casos las nuevas funcionalidades que se les otorgan, como en el caso de los biocombustibles, aplicaciones farmacológicas, agricultura ecológica, llega la necesidad de monitorizar en tiempo real y en cualquier lugar lo que está pasando con las plantaciones para así tener la posibilidad de actuar de inmediato y realizar una toma de decisiones con la mayor información posible. Información que en lo sucesivo podrá ayudarnos a determinar las condiciones óptimas del cultivo, basándonos en el histórico de los datos registrados.

A continuación se detallará el principio de funcionamiento de los sensores que se van a utilizar en el presente proyecto de titulación.

1.15.1. Sensor De Temperatura Del Suelo

A menudo la temperatura se define como aquella propiedad que miden los termómetros. También se introduce la temperatura basándose en alguna propiedad termométrica, por ejemplo la expansión de un líquido, un gas, la resistencia de un conductor, la tensión eléctrica generada por un par termoeléctrico (termocupla), etc. En la práctica existen numerosos tipos de sensores de temperatura o termómetros que, según la aplicación específica, pueden ser los más adecuados. Sensor de temperatura del suelo permite medir la temperatura de la superficie.

1.15.2. Sensor De Humedad

La humedad es un fenómeno natural, que se presenta a nivel molecular y se encuentra básicamente relacionada con la cantidad de moléculas de agua presentes en una determinada sustancia, la cual puede estar en estado sólido o gaseoso. Para la medición de esta magnitud física se usan varios tipos de sensores, (**ver Figura 19**), entre los más utilizados se tiene los siguientes:

- **Mecánicos:** aprovechan los cambios de dimensiones que sufren cierto tipo de materiales en presencia de la humedad. Como por ejemplo: fibras orgánicas o sintéticas, el cabello humano. Basados en sales higroscópicas: deducen el valor de la humedad en el ambiente a partir de una molécula cristalina que tiene mucha afinidad con la absorción de agua.

- **Por conductividad:** la presencia de agua en un ambiente permite que a través de unas rejillas de oro circule una corriente. Ya que el agua es buena conductora de corriente. Según la medida de corriente se deduce el valor de la humedad.
- **Capacitivos:** se basan sencillamente en el cambio de la capacidad que sufre un condensador en presencia de humedad.
- **Infrarrojos:** estos disponen de 2 fuentes infrarrojas que lo que hacen es absorber parte de la radiación que contiene el vapor de agua.
- **Resistivos:** aplican un principio de conductividad de la tierra. Es decir, cuanta más cantidad de agua hay en la muestra, más alta es la conductividad de la tierra.



Figura 19: Sensores de humedad.

Fuente: (Albert, 2010)

1.15.3. Sensor De Humedad Del Suelo

Se utiliza la conductividad de la tierra, la cual va a ser mayor mientras más sea la cantidad de agua presente en ella. Se introducen dos electrodos separados por cierta distancia, para luego ser sometidos a una diferencia de potencial constante. La corriente circulante será entonces proporcional a la cantidad de agua presente en la tierra (**ver Figura 20**).

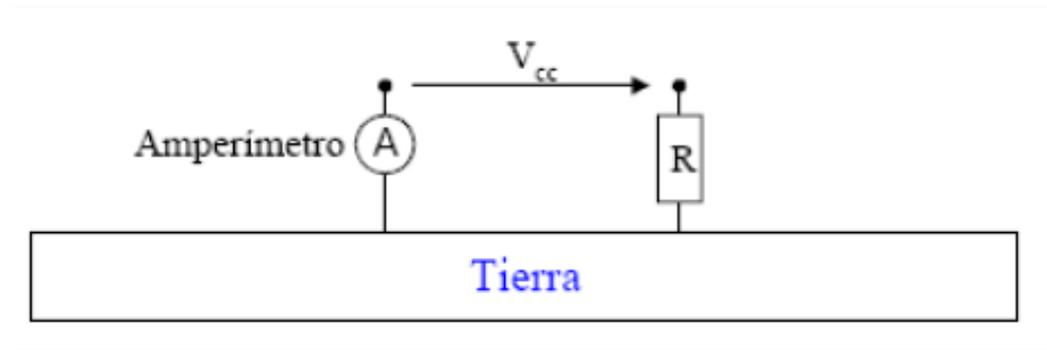


Figura 20: Funcionamiento de los sensores de humedad del suelo.

Fuente: (Albert, 2010)

R es sólo una medida de protección en caso de corto circuito. La desventaja de este método es que si se agregan fertilizantes, o cambia la constitución de la mezcla, se tendrá que volver a calibrar el instrumento. Se recomienda además aplicar tiempos de medición cortos, dado a que los electrodos se pueden deteriorar. O para prevenir esta situación utilizar voltajes alternos, sin embargo se requerirá transformar la corriente alterna medida a una señal continua, en vista que la mayoría de los sistemas de adquisición de datos trabajan en modo CC.

Otra forma es utilizar la tierra (con agua) como dieléctrico, en este caso se deberán introducir las placas del condensador paralelamente en la tierra. La constante dieléctrica de la mezcla será directamente proporcional a la cantidad de agua presente en ella, variando de esa manera el valor C del condensador.

Siguiendo el mismo procedimiento ya explicado, basta con transformar el cambio de C a una señal de voltaje (puentes, osciladores o circuitos resonantes), (**ver Figura 21**).

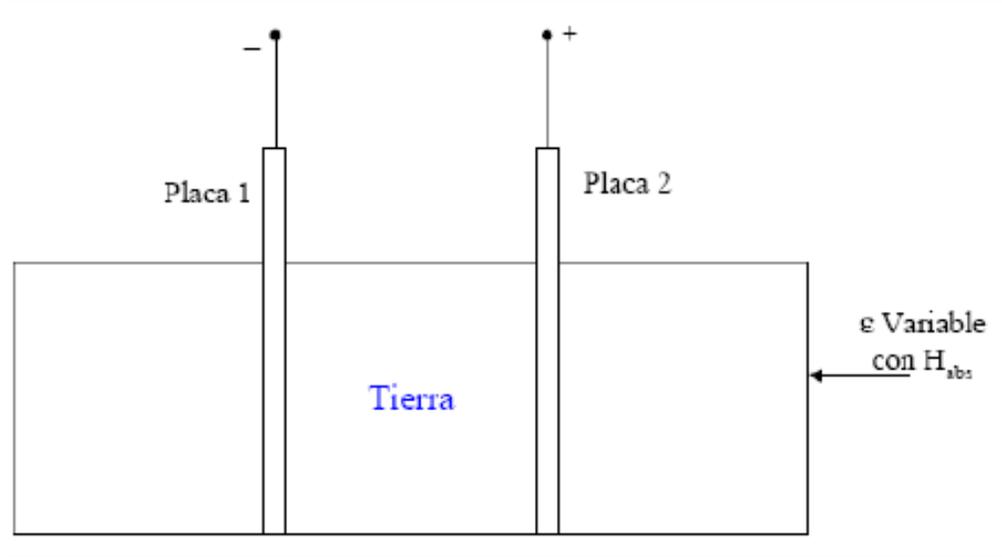


Figura 21: Sensor de humedad del suelo variando la capacitancia.

Fuente: (Albert, 2010)

1.15.4. Sensor De Ph Del Suelo

Es una medida de la acidez o alcalinidad en los suelos. El pH del suelo es considerado como una de las principales variables en los suelos, ya que controla muchos procesos químicos que en este tienen lugar. Afecta específicamente la disponibilidad de los nutrientes de las plantas, mediante el control de las formas químicas de los nutrientes. El rango de pH óptimo para la mayoría de las plantas oscila entre 5,5 y 7,0, sin embargo muchas plantas se han adaptado para crecer a valores de pH fuera de este rango. (Snyder, 2012)

Las tecnologías disponibles para la medición de pH pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- **Electroquímicos:** Son aquellos que utilizan dispositivos que transducen la actividad química del ión de hidrógeno en una señal eléctrica.
- **Ópticos:** Estos sensores se basan en "indicadores ópticos" de pH que cambian sus propiedades ópticas en función del analito. Dependiendo de la propiedad óptica que cambia, los sensores pueden clasificarse en:
 - **Sensores de absorbancia:** En los sensores de absorbancia la relación entre intensidad de la luz incidente y la luz reflejada están en directa relación con el valor del pH de la muestra.
 - **Sensores de luminiscencia:** En los sensores de luminiscencia la dependencia con el pH viene dada por el cambio en la longitud de onda entre la luz incidente y la reflejada.

1.15.5. Sensor De Conductividad Eléctrica Del Suelo

La conductividad eléctrica (CE) de una disolución puede definirse como la aptitud de ésta para transmitir la corriente eléctrica, y dependerá, además del voltaje aplicado, del tipo, número, carga y movilidad de los iones presentes y de la viscosidad del medio en el que éstos han de moverse. Según la ley de Ohm, cuando se mantiene una diferencia de potencial (E), entre dos puntos de un conductor, por éste circula una corriente eléctrica directamente proporcional al voltaje aplicado (E) e inversamente proporcional a la resistencia del conductor (R). $I=E/R$. (Snyder, 2012)

En disoluciones acuosas, la resistencia es directamente proporcional a la distancia entre electrodos (l) e inversamente proporcional a su área (A): $R=r \cdot l/A$. Donde r se denomina resistividad específica, con unidades W·cm, siendo su inversa (1/r), la llamada conductividad específica (k), con unidades W⁻¹·cm⁻¹ o mho/cm (mho, viene de ohm, unidad de resistencia, escrito al revés).

En términos agronómicos, cuando medimos la CE de un agua de riego, una disolución fertilizante, un extracto acuoso de un suelo, etc., determinamos la conductividad específica (k) de dicha disolución. Actualmente se emplea la unidad del SI, siemens (S), equivalente a mho; y para trabajar con números más manejables se emplean submúltiplos:

- $1 \text{ mS/cm} = 1000 \text{ } \mu\text{S/cm}$
- $1 \text{ dS / m} = 1 \text{ mS/cm}$
- $1 \text{ mho/cm} = 1000 \text{ milimhos/cm} = 1.000.000 \text{ micromhos/cm}$
- $1 \text{ mS/cm} = 1 \text{ milimho/cm}$
- $1 \text{ } \mu\text{S/cm} = 1 \text{ micromhos/cm}$

1.16. Actuadores

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento de control final. (Albert, 2010) Las características a considerar para el uso de actuadores son:

- Potencia
- Peso y volumen
- Precisión

- Velocidad
- Mantenimiento
- Costo

1.16.1. Tipos De Actuadores

Existen varios tipos de actuadores vinculados con las distintas aplicaciones que se requieren para el desarrollo de automatismos, entre ellos se tiene los siguientes:

Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren mucho equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

- **Actuadores Electrónicos:** Los actuadores electrónicos (**ver Figura 22**) también son muy utilizados en los aparatos mecatrónicos, como por ejemplo, en los robots. Los servomotores CA sin escobillas se utilizan como actuadores de posicionamiento preciso debido a la demanda de funcionamiento sin tantas horas de mantenimiento. (Albert, 2010)



Figura 22: Actuadores electrónicos.

Fuente: (Albert, 2010)

- **Actuadores Hidráulicos:** Los actuadores hidráulicos, (ver Figura 23), que son los de mayor antigüedad, pueden ser clasificados de acuerdo con la forma de operación, funcionan en base a fluidos a presión.



Figura 23: Actuadores hidráulicos.

Fuente: (Agropecuaria, 2007)

- **Actuadores Neumáticos:** A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos, (**ver Figura 24**). Aunque en esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, el rango de compresión es mayor en este caso, además de que hay una pequeña diferencia en cuanto al uso y en lo que se refiere a la estructura, debido a que estos tienen poca viscosidad. (Albert, 2010)

En esta clasificación aparecen los fuelles y diafragmas, que utilizan aire comprimido y también los músculos artificiales de hule, que últimamente han recibido mucha atención.



Figura 24: Actuadores neumáticos.

Fuente: (Albert, 2010)

- **Actuadores Eléctricos:** La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador (**ver Figura 25**).



Figura 25: Actuadores eléctricos.

Fuente: (Albert, 2010)

Existe una gran cantidad de modelos y es fácil utilizarlos con motores eléctricos estandarizados según la aplicación. En la mayoría de los casos es necesario utilizar reductores, debido a que los motores son de operación continua.

1.17. Arduino

Es una placa de hardware libre, que incorpora un microcontrolador reprogramable constituido de una serie de pines- hembra tanto analógicos como digitales, unidos internamente a las patillas de entrada/salida del microcontrolador, que permiten conectar de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores (**ver Figura 26**). (Arduino, 2016)

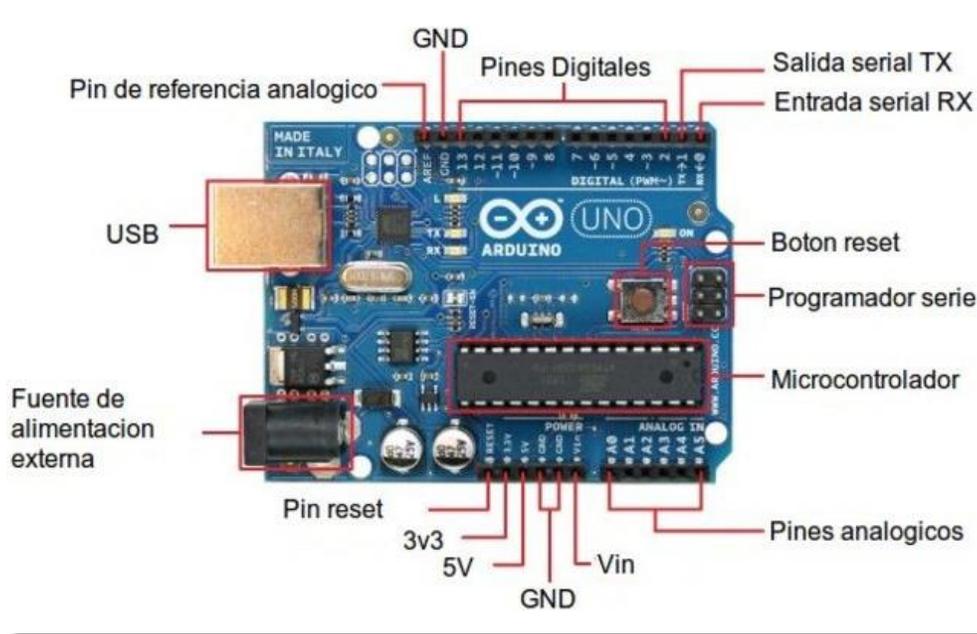
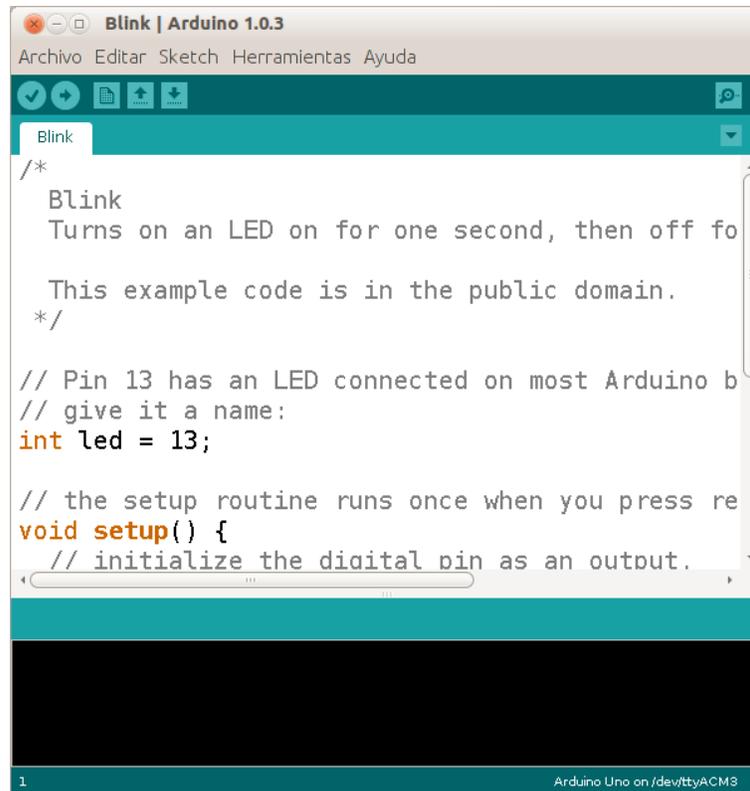


Figura 26: Tarjeta Arduino Uno.

Fuente: (Arduino, 2016)

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores más usados son el Atmega 168, Atmega 328, Atmega1280, y Atmega 8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños.

Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa. (Arduino, 2016). Se programa en el ordenador para que la placa controle los componentes electrónicos (**ver Figura 27**).



The image shows the Arduino IDE interface with the 'Blink' sketch open. The code is as follows:

```

/*
  Blink
  Turns on an LED on for one second, then off fo

  This example code is in the public domain.
  */

// Pin 13 has an LED connected on most Arduino b
// give it a name:
int led = 13;

// the setup routine runs once when you press re
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.

```

Figura 27: Interfaz de programación en Arduino.

Fuente: (Arduino, 2016)

Al ser open hardware, tanto su diseño como su distribución son libres. Es decir, pueden utilizarse libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin haber adquirido ninguna licencia.

1.18. Modbus

Es un protocolo de comunicación industrial de capa 7 del modelo OSI, basado en la arquitectura maestro-esclavo, diseñada en 1970 por MODICON para una gama de PLC. Se convierte en un protocolo estándar de la industria que tiene mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos industriales.

El sistema maestro/esclavo tiene un modo maestro que es encargado de enviar los comandos explícitos a cada uno de los nodos esclavos los cuales

procederán la respuesta requerida. Una característica de este tipo de bus de campo es que los nodos no transmiten información sin una petición del nodo maestro y además no se comunica con los demás nodos esclavos dentro de la red.

En el protocolo de comunicación MODBUS existen dos formas de intercambiar la información con los dispositivos de la red estas son:

- **Modbus RTU:** La unidad de Terminal Remota realiza la comunicación entre dispositivos enviando cada mensaje en un byte (8 bits) conteniendo dos caracteres hexadecimales de 4 bits y el mensaje se transmite en un flujo continuo. La ventajas de este modo es que entre mayor sea la densidad de caracteres permite un mejor rendimiento.
- **Modbus ASCII:** La comunicación mediante Modbus ASCII en donde cada byte de caracteres en un mensaje envía como dos caracteres ASCII. Este modo permite intervalos de tiempo de hasta un segundo durante la transmisión sin generar errores.

En cualquiera de los dos tipos de comunicación el usuario define el tipo de comunicación, así también como los parámetros de comunicación serial como velocidad, paridad, modo, etc., durante la configuración de cada controlador. Hay que tener en cuenta que el nodo y todos los parámetros deben ser los mismos para todos los dispositivos de una red MODBUS. (Albert, 2010)

1.19. Monitoriza For Arduino-Scada Acimut

Monitoriza es un sistema de monitorización y control SCADA que cubre los requerimientos de cualquier proyecto, tanto básicos como avanzados. Monitoriza permite crear soluciones para la captura de información en procesos industriales o de cualquier otro ámbito.

Consta de tres partes:

- Un editor de proyectos en el que se definen todos los elementos a tratar.
- Un servidor que ejecutará el proyecto y se ocupará de las comunicaciones con los procesos (adquisición de datos, establecimiento de parámetros del proceso, etc.)
- Un cliente que mostrará, de forma visual, la información de los procesos que se estén supervisando.

Monitoriza es un sistema flexible en cuanto a su configuración, ya que puede ejecutarse por varios usuarios simultáneamente. Puede funcionar sobre una infraestructura monopuesto o multipuesto, tanto en una red local como a través de puestos remotos conectados a través de internet.

CAPÍTULO II

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

2.1. Descripción del Proyecto.

El presente proyecto tiene como finalidad la implementación de un control de riego por goteo automático y el monitoreo continuo de variables físicas involucradas en el proceso de crecimiento de la planta de tomate variedad Daniela, basado en la agricultura hidropónica en un invernadero tipo túnel de $72m^2$ localizado en el Barrio San Gerardo de la Parroquia Once de Noviembre de la cantón Latacunga.

La propuesta tiene dos objetivos principales:

1) *Construcción del Hardware*, se incluirán elementos apropiados para este tipo de aplicaciones como sensores y actuadores para la adquisición de datos y control de riego por goteo de recurso hídrico y solución nutritiva para la planta de tomate variedad Daniela, además la implementación del invernadero tipo túnel con dimensiones de 6 metros de ancho y 12 metros de largo que se utiliza como protección de plagas y enfermedades en el cultivo.

2) *Desarrollo de la HMI*, el mismo que se realizará en software libre, y permitirá realizar el monitoreo continuo de las variables como humedad, pH, temperatura y conductividad eléctrica del suelo, a través de los sensores alojados en la zona radicular del cultivo; el monitoreo se podrá observar a través de la web, con el fin de observar el control del riego por goteo de recurso hídrico y solución nutritiva; además de la obtención de históricos y tendencias de las variables antes mencionadas.

Es importante indicar que el cultivo de tomate riñón variedad Daniela y la implementación del invernadero se basaran en los requerimientos de un sistema hidropónico, además se utilizarán como sustratos: 1) *BMPRO* y 2) *BM2*, con el fin de evaluar en qué tipo de sustrato el fruto de tomate hidropónico tiene un mayor peso y diámetro; además se utilizarán dos tipos de soluciones nutritivas: 1) *Solucat 10-52-10* en los 6 primeras semanas de crecimiento de la planta y 2) *Havest More 5-5-45* hasta la cosecha del tomate, el motivo de utilizar dos es porque estas deben ser modificadas en las etapas fenológicas de tomate; el control de riego por goteo de recurso hídrico y solución nutritiva que se realiza considera como entradas del algoritmo de control las variables: temperatura, humedad, pH, y conductividad eléctrica correspondientes a la planta.

A continuación se detallara el diseño y construcción del invernadero para el sistema hidropónico para el cultivo de tomate riñón variedad Daniela, así como también el control de riego por goteo de recurso hídrico y solución nutritiva.

2.2. Diseño e Implementación del Invernadero

Partiendo del estudio investigativo sobre los invernaderos convencionales que se realizó en el capítulo uno, se seleccionó el modelo de invernadero tipo túnel por todas sus características apropiadas para este proyecto. Este invernadero se utiliza como protección de plagas y enfermedades en el cultivo de tomate riñón basada en la agricultura hidropónica, este invernadero se localizada en el Barrio San Gerardo de la parroquia once de noviembre de la ciudad de Latacunga.

A continuación se detallara los datos para el diseño del invernadero (**ver Tabla 1**), a continuación (**ver Tabla 2**) se detallaran los materiales utilizados para la construcción del invernadero.

Tabla 1
Datos del Diseño del Invernadero

Características del modelo	Unidades (m)
Ancho	6
Largo	12
Altura a la cumbre	3
Separación entre arcos y anclajes	1,50
Puerta de ingreso	1 x 2,50

Diseño del invernadero realizado en AutoCAD vista lateral (ver Figura 28).

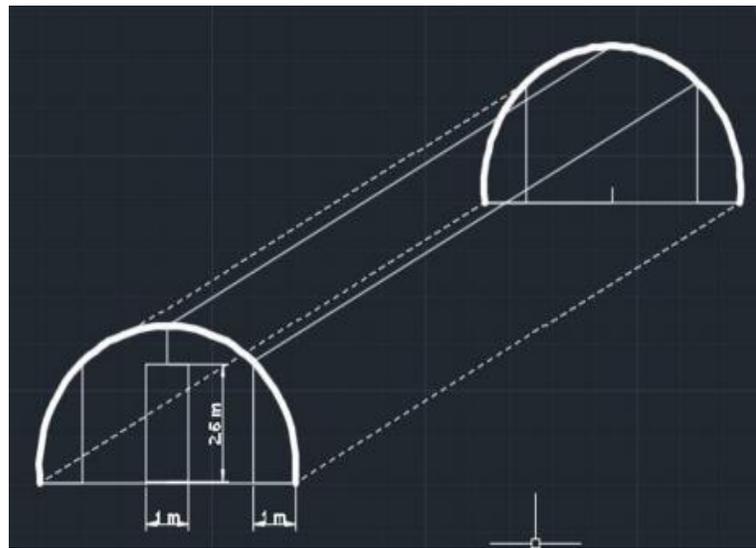


Figura 28: Vista lateral del invernadero.

Diseño del invernadero vista superior realizado en AutoCAD (ver Figura 29).

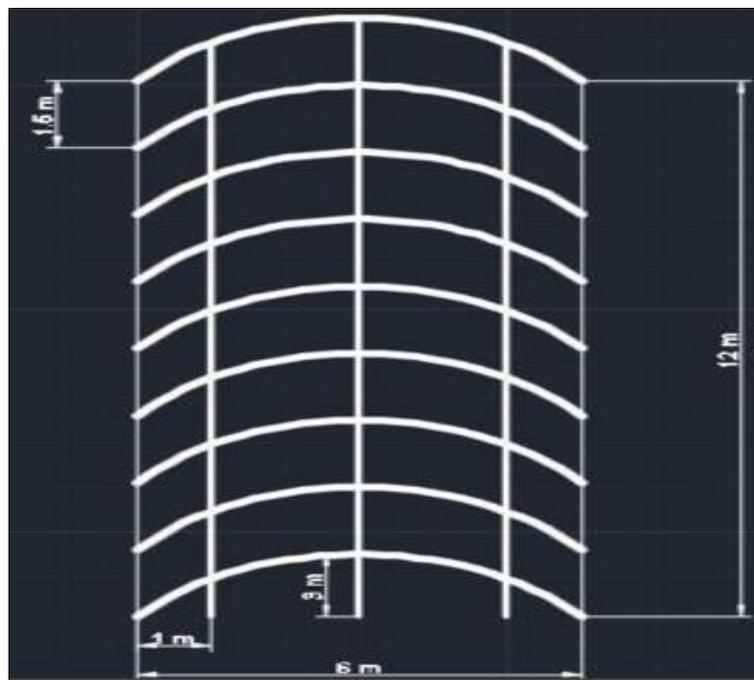


Figura 29: Vista superior del invernadero.

Tabla 2

Materiales utilizados para la construcción del invernadero.

Materiales para la construcción	
Tubo PVC 1 a 1/4 de pulgada	12 tubos de 6m de largo
Plástico para invernadero	60 m
Tubo cuadrado de 1/2 pulgada	13 tubos de 6m
Tubo redondo de 1/2 pulgada	4 tubos de 6m
Herramientas	Martillo, sierra, taladro, pernos auto roscantes, tairas, escalera.
Elementos de seguridad	Guantes, gafas, mascarilla.

Descrito ya los parámetros de diseño se procede a la construcción del invernadero siguiendo los siguientes ítems:

- Donde se va a construir el invernadero, con una cinta métrica, se diseñó un rectángulo de 6m por 12m en el suelo plano para definir la base del

invernadero. Dentro de este rectángulo, se señala la distancia de los arcos y anclajes cada metro cincuenta y se procede a la colocación del tubo PVC en forma de arco, anclándolos a la tierra (**ver Figura 30**).



Figura 30: Formación de arcos con tubos PVC para el invernadero.

- Se debe insertar tubos cuadros de $\frac{1}{2}$ pulgada desde los tubos de PVC en forma de arco hasta el suelo, partiendo de los lados opuestos del invernadero cada metro, en cada lado a lo largo del rectángulo desde la fachada, repitiendo este proceso hasta que alcanzar la parte final del invernadero (**ver Figura 31**).

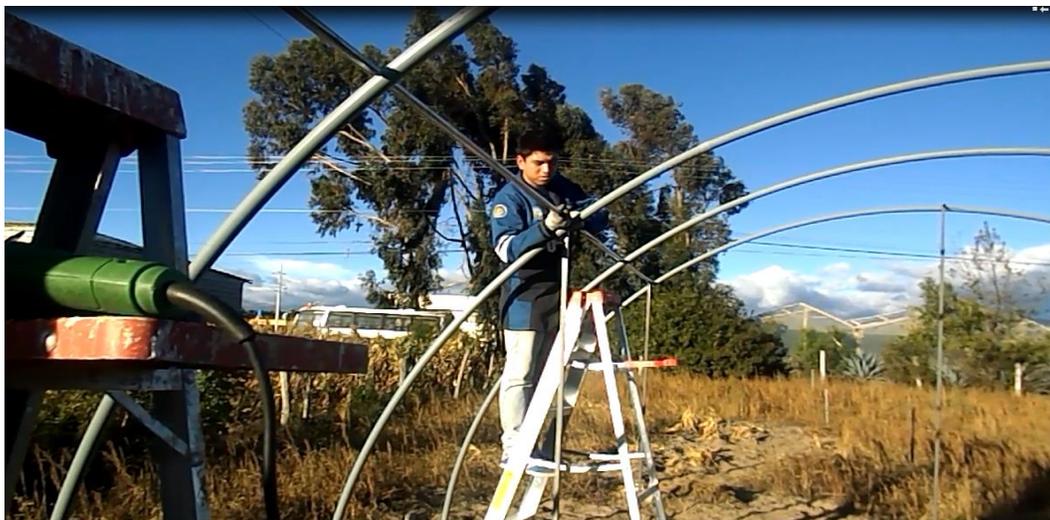


Figura 31: Colocación de los tubos cuadrados de ½ pulgada.

- Se unen dos tubos circulares de ½ pulgada, para ser colocados en la parte superior central del invernadero encima de los tubos de PVC en forma de arco, para de esta manera formar la cumbre del invernadero (ver Figura 32).



Figura 32: Colocación tubo circular de ½ pulgada, para la cumbre del invernadero.

- Finalmente la estructura del invernadero tipo túnel con la puerta en la fachada (**ver Figura 33**).



Figura 33: Estructura final del invernadero tipo túnel.

- Antes de colocar el plástico en el invernadero, se debe expandir y envolverlo como si se estuviera haciendo un rollo, para luego colocarlo con la ayuda de varias personas por encima del esqueleto del invernadero (**ver Figura 34**).

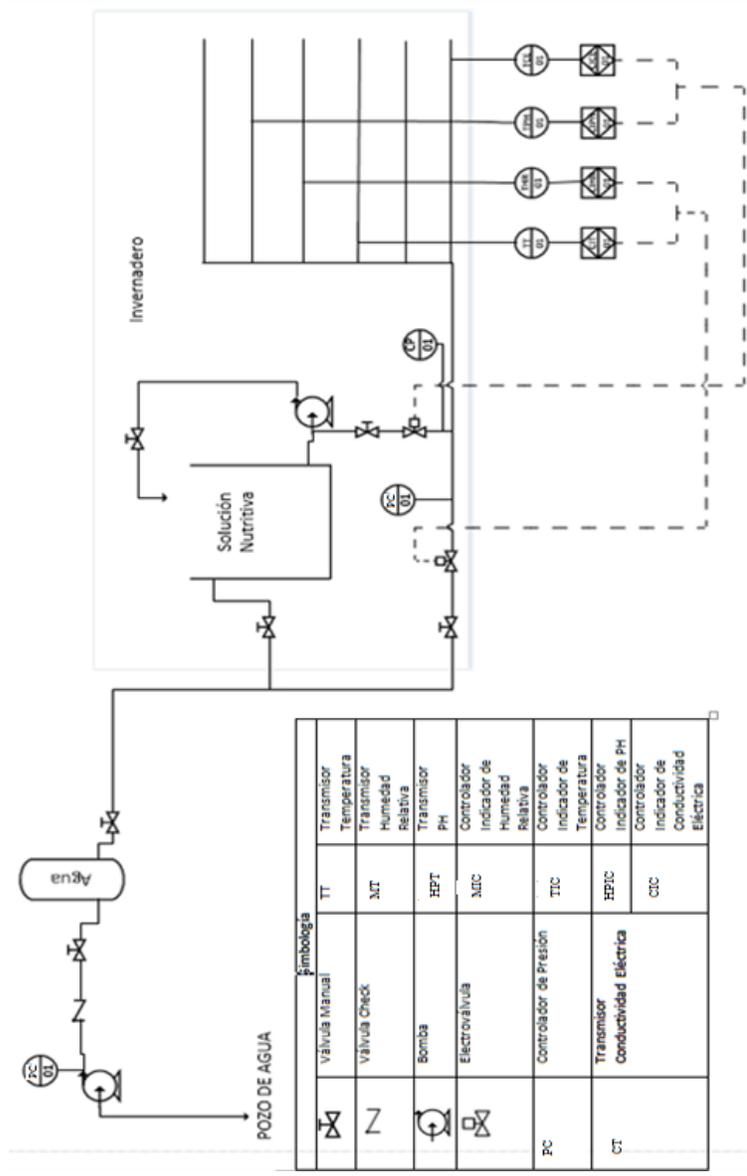


Figura 34: Construcción final del invernadero tipo túnel.

A continuación se detalla la implementación del sistema hidropónico en el interior del invernadero, para este diseño se tomó en cuenta los requerimientos de un sistema hidropónico detallado en el capítulo uno.

2.3. Diseño e Implementación del Sistema de Control de Riego por Goteo Automático.

A continuación se detallará la implementación del sistema de control de riego por goteo automático, los elementos y dispositivos seleccionados para el monitoreo de las variables físicas involucradas en el crecimiento de la planta de tomate variedad Daniela, **(ver Figura 35)**.



Simbología			
	Válvula Manual	TT	Transmisor Temperatura
	Válvula Check	MT	Transmisor Humedad Relativa
	Bomba	HPT	Transmisor PH
	Electroválvula	MIC	Controlador Indicador de Humedad Relativa
	Controlador de Presión	TIC	Controlador Indicador de Temperatura
	Transmisor Conductividad Eléctrica	HPIC	Controlador Indicador de PH
		CIC	Controlador Indicador de Conductividad Eléctrica

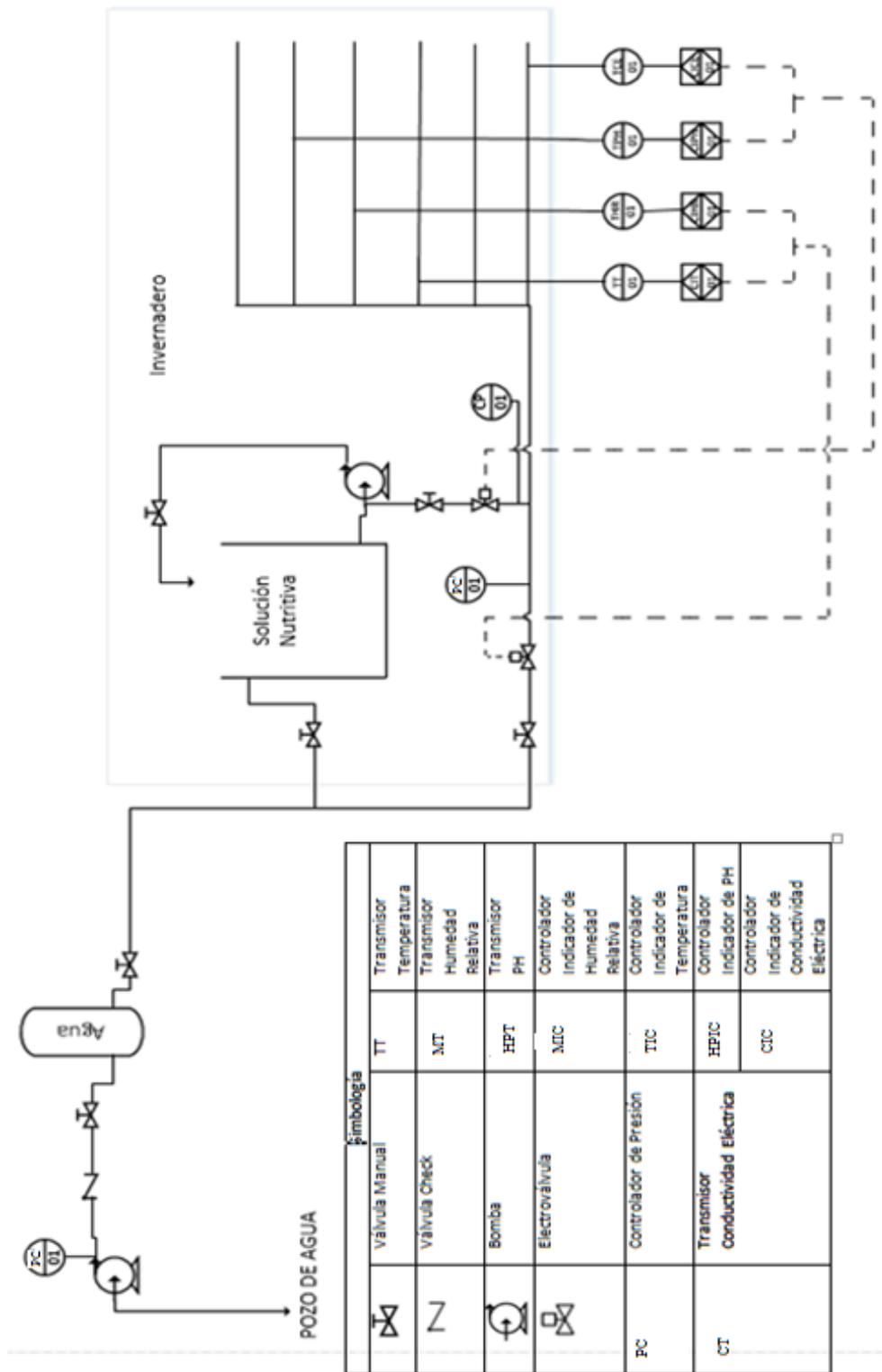


Figura 35: Diseño del Sistema de control de riego por goteo implementado.

2.4. Extracción De Recurso Hídrico Para El Riego.

En este proyecto el recurso hídrico para el riego es extraída de un pozo que se encuentra a un lado del cuarto de control con sus respectivos filtros al cual se le acoplo un tanque reservorio de agua y una bomba de 1hp que se utiliza para incrementar la presión del recurso hídrico, para que estos fluidos de una zona de menor presión pasen a otra de mayor presión y poder suministrar a la planta la cantidad necesaria (**ver Figura 36**).

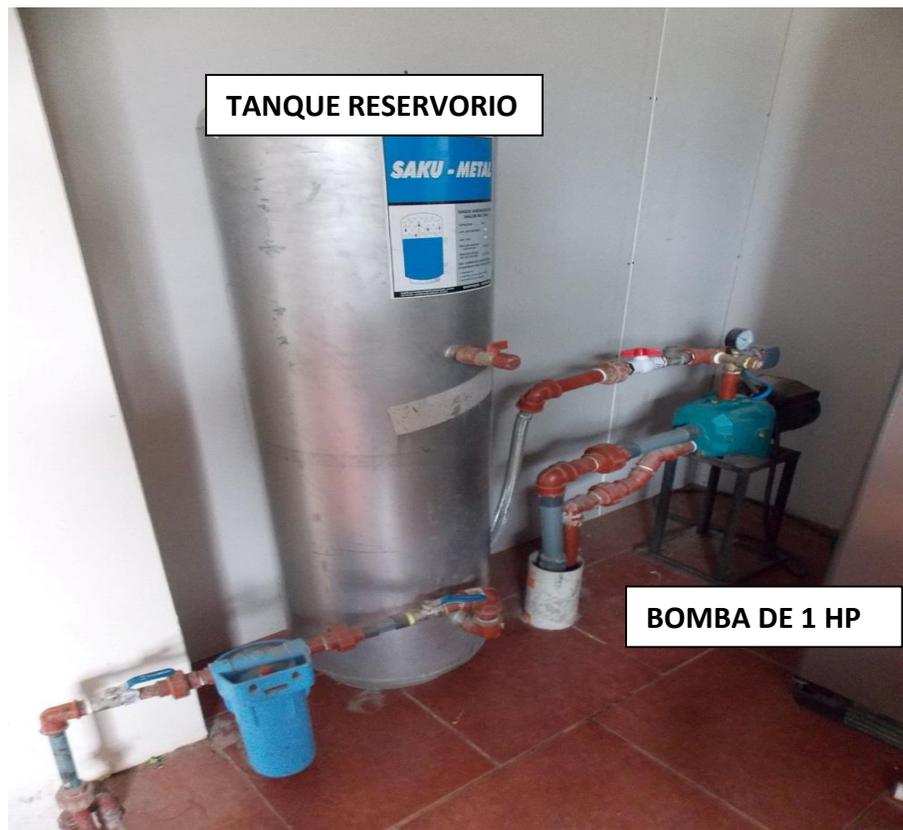


Figura 36: Extracción del recurso hídrico.

2.5. Solución Nutritiva para el Riego.

En este proyecto para el riego de solución nutritiva se implementó la colocación de un tanque reservorio de 500 litros en el interior del invernadero en el cual se colocara cada solución nutritiva preparada dependiendo de la

etapa de crecimiento del cultivo de tomate riñón variedad Daniela (**ver Figura 37**).



Figura 37: Colocación del tanque reservorio de solución nutritiva.

2.6. Preparación de la Solución Nutritiva

En este proyecto de titulación se utilizan dos tipos de soluciones nutritivas:

- SOLUCAT 10-52-10
- HAVEST MORE 5-5-45

2.6.1. Solución Nutritiva Solucat 10-52-10

En la primera etapa de crecimiento de la planta de tomate se utilizó la solución nutritiva Solucat 10-52-10 que favorece la precocidad, el rendimiento, el calibre y la coloración de los frutos (**ver Tabla 3**).

Tabla 3
Composición química de la solución nutritiva SOLUCAT 10-52-10.

Nitrógeno (N) total	10 %
Pentóxido de fósforo (P₂O₅)	52 %
Óxido de potasio (K₂O)	10 %
Hierro (Fe) EDTA	0,02 %
Manganeso (Mn) EDTA	0,01 %
Boro (B) soluble en agua	0,01 %
Cobre (Cu) EDTA	0,002 %
Zinc (Zn) EDTA	0,002 %

Uso del producto: Descompactar la funda con 60 litros de agua, mezclar bien hasta tener una mezcla homogénea.

2.6.2. Solución Nutritiva Havest More 5-5-45

En la segunda etapa del crecimiento de la planta se utilizó la solución nutritiva Havest More 5-5-45, que es un fertilizante con alto contenido de Potasio, especialmente formulado para movilizar los azúcares a los frutos y órganos de reserva. HARVEST MORE 5-5-45 contiene además todos los micronutrientes necesarios para la adecuada nutrición de los cultivos; 100% soluble en agua, es ideal para ser aplicado vía foliar o a través de sistemas de riego tecnificado en todo tipo de suelo y cultivos tanto anuales como perennes,

hortícola, frutales y otros, así como para plantas de invernadero y ornamentales (ver Tabla 4), Beneficios:

- Favorece la translocación de los azúcares en frutos y órganos de reserva.
- Incrementa el contenido de azúcares en los frutos.
- Favorece la fructificación, maduración y calidad de las cosechas.
- Mayor incremento del rendimiento de los cultivos.

Tabla 4
Composición química de la solución nutritiva HARVEST MORE 5-5-45.

Nitrógeno (N)	5 %
Fosforo (P₂O₅)	5 %
Potasio (K₂O)	45 %
Hierro (Fe)	0,02 %
Azufre (S)	1 %
Hierro (Fe)	0,01 %
Calcio (Ca)	0,05 %
Cobre (Cu)	0,05 %
Magnesio (Mg)	0,05%
Manganeso (Mn)	0,05%

2.7. Construcción de los Contenedores para el Cultivo Hidropónico

En el presente proyecto se realizó seis contenedores en el suelo, las dimensiones son: 32 pulgadas de ancho por 9 metros de largo y 40cm de profundidad, en el cual se colocó un plástico negro de calibre 0.30 para impermeabilizar el contenedor; su función es mantener el humedecimiento

concentrado en la cascarilla de arroz previamente lavada, e impedir que se pierdan los nutrientes rápidamente. El color negro es para evitar la formación de algas y para dar mayor oscuridad a la zona de las raíces. El plástico nunca debe colocarse sobre el piso, a menos que esté limpio. Al cortar el plástico las medidas deben ser mayores al contenedor y cortarse sostenido en el aire, luego se procede a colocarlo en el contenedor con mucho cuidado, para no romperlo ni perforarlo (**ver Figura 38**).

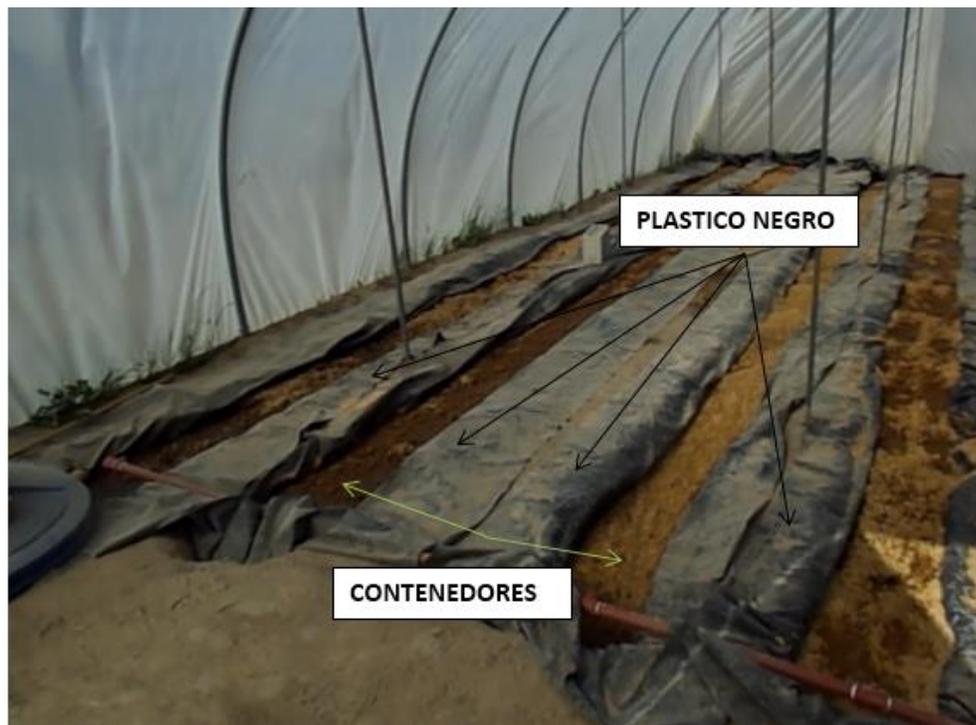


Figura 38: Ubicación del plástico negro en cada contenedor.

2.8. Colocación De Los Sustratos Para El Cultivo

En este proyecto de titulación se utiliza tres sustratos sólidos:

- Cascarilla de arroz
- BMPRO

- BM2

2.8.1. Colocación Del Sustrato De Cascarilla De Arroz

La cascarilla de arroz previamente lavada, tiene la capacidad de retención de humedad, este sustrato es colocado en la parte inferior de cada contenedor, para que la zona radicular de la planta de tomate riñón variedad Daniela se desarrolle de una forma adecuada (**Figura 39**).



Figura 39: Hilera cubiertas de cascarilla de arroz.

2.8.2. Colocación Del Sustrato Bmpro

Es un sustrato a base de turba esfagnacea canadiense, son los materiales más empleados en la elaboración de sustratos debido sus cualidades. Debido a su estructura posee una excelente porosidad y es buena receptora de soluciones nutritivas, proporcionando gran aireación a las raíces. Este sustrato

consiste en una turba pura de todo uso, que conviene tanto al acondicionamiento de suelos como para la preparación de sustratos de cultivo bien equilibrados

- **Componentes químicos:**

- Turba fina 100%
- PH 3.9
- Conductividad Eléctrica 0.1

Uso del producto: Descompactar la funda con 20 litros de agua, mezclar hasta tener una turba húmeda, pero no mojada. El sustrato BMPRO se colocara encima de la cascarilla de arroz en los todos los contenedores, exceptuando el quinto (**ver Figura 40**).

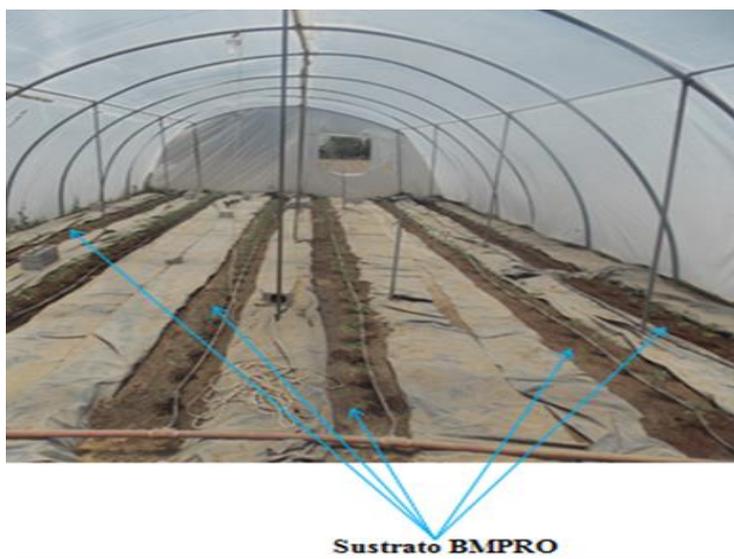


Figura 40: Colocación del sustrato BmPro.

2.8.3. Colocación Del Sustrato Bm2

Es un sustrato a base de turba esfagnacea canadiense, este sustrato consiste en una mezcla de fibras finas, vermiculita fina y perlita fina, diseñada especialmente para semilleros y bandejas convencionales o unicelulares, promueve una rápida y uniforme germinación, así como desarrollo de raíces.

- **Componentes químicos:**

- Turba fina 80%
- Perlita fina 10%
- Vermiculita 10%
- Cal dolomítica
- Cal calcítica
- Agente humectante no iónico
- Carga inicial de fertilizantes
- PH 5.41
- Conductividad Eléctrica 1,08
- Capacidad buffer en agua 12.1%
- Espacio de aire 20.7%

Uso del producto: Descompactar la funda con 20 litros de agua, mezclar bien hasta tener una turba húmeda, pero no mojada. El sustrato BM2 se colocara encima de la cascarilla de arroz en el quinto contenedor, (**ver Figura 41**), esto se realiza con el objetivo de evaluar en qué tipo de sustrato el tomate tiene un mayor peso y diámetro.



Figura 41: Colocación del sustrato Bm2.

2.9. Implementación del Control de Riego

En este proyecto de titulación se implementó el control de riego a través de cintas de goteo donde cada orificio está separado cada 30 cm, esto se coloca a lado de cada planta y por encima del sustrato solido en cada uno de los contenedores (**ver Figura 42**).



Figura 42: Colocación de las cintas de goteo para riego.

Cada cinta de goteo está conectada a línea principal de riego (ver Figura 43).



Figura 43: Línea principal de riego.

2.10. Control De Riego Por Goteo De Recurso Hídrico

Para el riego por goteo de recurso hídrico se utilizan las cintas de goteo, y la cantidad de recurso hídrico suministrada a la planta es controlada por un actuador, esto se realiza dependiendo de la necesidad de la planta cuando emitan las señales los sensores de humedad y temperatura que están alojados

en la zona radicular de las plantas de tomate riñón variedad Daniela (**ver Figura 44**).



Figura 44: Colocación del actuador para el control de recurso hídrico.

2.11. Control De Riego Por Goteo De Solución Nutritiva

Para el riego por goteo de solución nutritiva se utilizaron las mismas cintas de goteo que para el recurso hídrico, el tanque reservorio en el cual se coloca cada solución nutritiva dependiendo de la etapa de crecimiento del cultivo, está conectada mediante tuberías a una bomba de $\frac{1}{2}$ hp para mantener la presión de 15 psi, (**ver Figura 45**); la cantidad de solución nutritiva suministrada a la planta es controlada por un actuador independiente al de agua, esto se realiza dependiendo de la necesidad de la planta cuando emitan las señales los sensores de pH y conductividad eléctrica que están alojados en la zona radicular de las plantas de tomate riñón variedad Daniela (**ver Figura 46**).



Figura 45: Colocación del tanque de solución nutritiva.



Figura 46: Colocación del actuador para el control de solución nutritiva.

Se decidió utilizar dos electroválvulas de las mismas características tanto para el riego de recurso hídrico como para la solución nutritiva, ya que son apropiadas para su operación de acuerdo con las necesidades del proyecto.

Las características de la bomba y electroválvula utilizadas se detallan a continuación.

2.12. Electrobomba De Agua Hidros Qb-60

Para la selección de la bomba de agua, (**ver Figura 47**), se tomaron en cuenta los criterios mostrados a continuación: Es utilizada exclusivamente para bombear recurso hídrico y solución nutritiva independientemente, Esta electrobomba ha sido diseñada para el uso doméstico en la casa o en el jardín, para el drenaje de inundaciones, transferencia de líquidos, drenaje de tanques, toma de agua de pozos, drenaje de botes, sistemas de regadío, etc.



Figura 47: Electrobomba de agua HIDROS QB-60

Las características técnicas de la bomba de agua mostradas a continuación satisfacen las necesidades que requiere el sistema de riego para la implantación, por esta razón se escogió la Electrobomba de agua HIDROS QB-

60 para elevar la presión de agua y solución nutritiva en la línea principal de riego.

- **Características:**

- Uso Elevación y extracción
- Potencia 1 y 0.5 HP
- 0.37 KW
- Amperaje (1 – 220V) 1.9 A
- Velocidad del motor 2850 RPM
- Caudal máximo 40 litros / minuto
- Altura manométrica máxima 30 metros
- Capacidad máxima de succión 8 y 16 metros respectivamente
- Peso 5.5 Kg.

Para controlar las electroválvulas solenoides de 24 volts se utilizó el elemento de conmutación como se detallara a continuación:

2.13. Electroválvula

Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide. Generalmente no tiene más que dos posiciones: abierto y

cerrado, o todo y nada. Las electroválvulas se usan en multitud de aplicaciones para controlar el flujo de todo tipo de fluidos. No se debe confundir la electroválvula con válvulas motorizadas, en las que un motor acciona el mecanismo de la válvula, y permiten otras posiciones intermedias entre todo y nada. En este proyecto se utilizó la electroválvula serie 200

2.13.1. Electroválvula Serie 200

Válvulas de control hidráulicas/eléctricas de plástico para sistemas de riego residenciales, comerciales y agrícolas. Las válvulas de control de la Serie 200 de BERMAD se ofrecen en forma Globo ($\frac{3}{4}$ "-2") o Angular ($1\frac{1}{2}$ "-2"), (**ver Figura 48**), estas válvulas de control proporcionan excelentes prestaciones hidráulicas, acordes con las más avanzadas tecnologías en los sectores de hidráulica y materiales plásticos.



Figura 48: Electroválvula serie 200.

- **Características y ventajas:**

- Válvula plástica hidro-eficiente en forma de globo o angular
- Trayectoria de flujo sin obstrucciones

- Una sola pieza móvil o Alta capacidad de caudal
- Altamente duradera y resistente a las sustancias químicas y los daños por cavitación.
- Diafragma y junta hermética flexibles y balanceados
- Apertura total
- Cierre hermético a prueba de goteo.
- Cómoda para el usuario
- Fácil y sencilla inspección en línea.

2.14. Elemento De Conmutación

Para que los actuadores puedan realizar la acción de control, se utilizó un módulo de relé de dos canales que es el elemento de conmutación entre el arduino y las electroválvulas solenoides.

2.14.1. Módulo Relé 5V dos Canales

El módulo puede activarse con un valor alto o bajo seleccionable por jumper, tiene un LED indicador de energía e indicador de activación del relé (**ver Figura 49**). El voltaje de funcionamiento del módulo es de 5V. El módulo utiliza relés de calidad, carga máxima: CA 250V/10A, DC 30V/10^a.

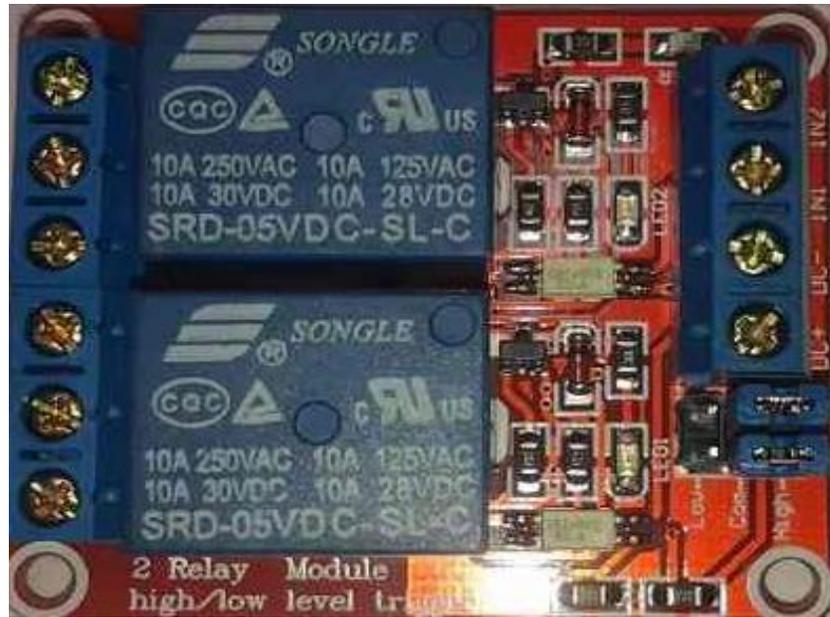


Figura 49: Relé de dos canales 5V.

- Interfaz del módulo:
 - DC+: Alimentación positiva (VCC 5V)
 - DC-: Tierra (GND)
 - IN1: Terminal de activación
 - IN2: Terminal de activación
 - S1 Y S2: Jumper para selección por nivel alto o bajo
 - Tamaño: 50x 41x 19 mm

2.15. Arduino Uno

En este proyecto de tesis el controlador es la tarjeta de Arduino Uno ya que contiene todas las características necesarias para realizar las operaciones y acciones para el sistema (**ver Figura 50**).

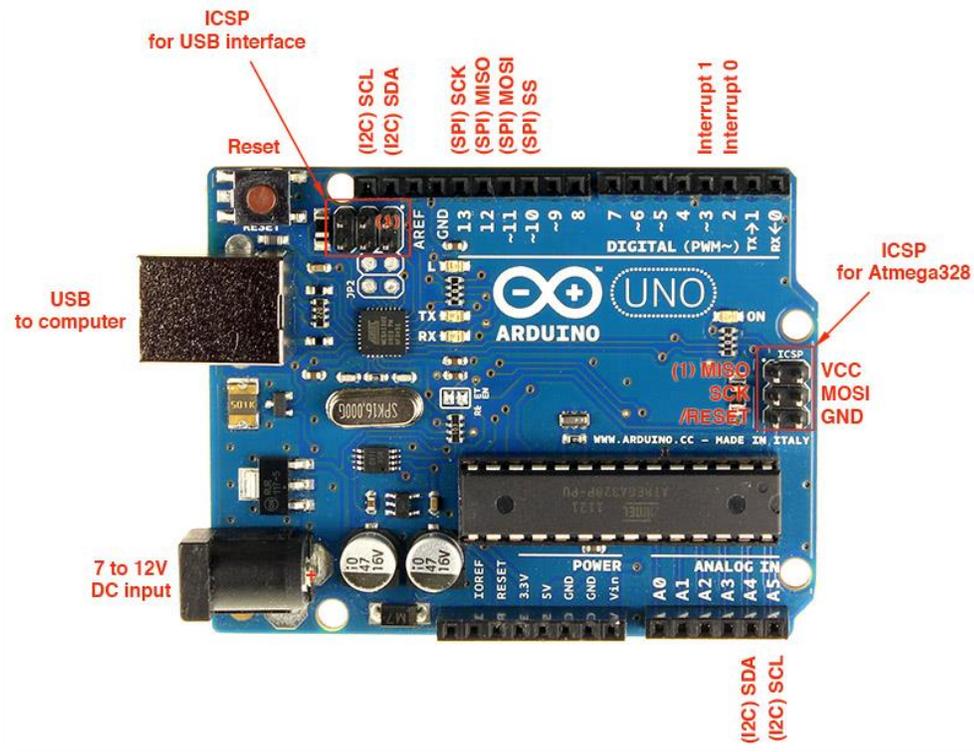


Figura 50: Tarjeta Arduino uno

Fuente: (Arduino, 2016)

Arduino es una placa electrónica basada en el ATmega328P, que cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; simplemente conectarlo a un ordenador con un cable USB o el poder con un adaptador de CA o la batería a CC.

2.16. Arduino Ethernet Shield

En este proyecto para el monitoreo a través de la web se utiliza la tarjeta para Arduino Ethernet Shield , es la encargada de asignar una IP al arduino para que luego conectarlo a la red con un cable y seguir algunas instrucciones sencillas para empezar a controlar a través de internet (**ver Figura 51**).

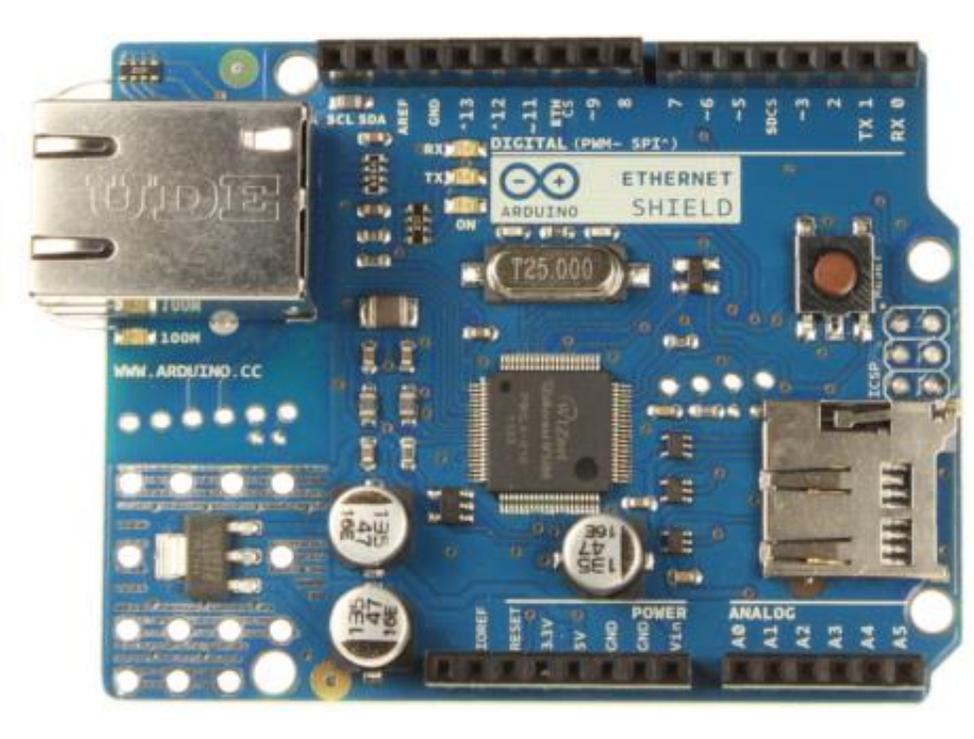


Figura 51: Arduino Ethernet Shield.

Fuente: (Arduino, 2016)

- **Especificaciones:**

- Compatible con IEEE802.3af
- Ondulación baja producción y el ruido (100mVpp)
- Entrada rango de voltaje de 36V a 57V

- Sobrecarga y corto circuito de protección
- 9V de salida

- Alta eficiencia convertidor DC / DC: typ 75% @ 50% de carga

- Aislamiento 1500V (entrada a la salida)

2.17. Trasplante de las Plantas de Tomate Riñón Variedad Daniela.

Tomando en cuenta las indicaciones detalladas en el capítulo uno en este proyecto se trasplanta plantas de tomate riñón variedad Daniela en cada contenedor, cada planta estará separada cada 30cm haciendo un total de 194 plantas, 33 en la primera, 34 en la segunda, 32 en la tercera, 30 en la cuarta, 34 en la quinta, 31 en el sexto contendor **(ver Figura 52)**.



Figura 52: Trasplante de la planta de tomate riñón variedad Daniela.

2.18. Análisis de las Variables Físicas

Las variables físicas que van a ser controladas para la automatización del riego de recurso hídrico y solución nutritiva deben cumplir con ciertas condiciones que se detalló en el capítulo uno. Serán tomadas en cuenta para la programación del controlador y además para la configuración de alarmas por nivel alto o bajo en las interfaces de la HMI (**ver Tabla 5**).

Tabla 5
Análisis de las variables físicas

VARIABLES	VALORES ÓPTIMOS
Temperatura	21- 26 °C
Humedad Relativa	60-80 %
PH	5-8
Conductividad eléctrica	1- 2.5 uS/cm

2.19. Selección De Componentes

Para la selección de componentes se establecieron los límites que debe manejar cada sensor, (**ver Tabla 5**), además estos tienen que ser capaces de estar en contacto con el suelo y agua.

2.20. Selección De Sensores

Se decidió utilizar los sensores VERNIER puesto que presenta las características técnicas para su operación de acuerdo con las necesidades del proyecto ya que se necesita que estén en contacto con la zona radicular del cultivo. Para realizar la instalación de los sensores se hace una perforación u orificio al costado de la planta seleccionada hasta descubrir las raíces del mismo en ese lugar se coloca el sensor y se rellena con parte del sustrato extraído en la

perforación. De esa manera el sensor queda perfectamente rodeado de sustrato sin generar cavidades huecas con aire, de suceder esto las lecturas del sensor serían incorrectas. **(ver Anexo 1)**

2.20.1. Sensor De Temperatura

La sonda de temperatura de acero inoxidable, de uso general accidentado. Está diseñado para ser utilizado de igual modo que un termómetro para experimentos de química, física, biología, ciencias de la Tierra, y la ciencia ambiental **(ver Figura 53)**.



Figura 53: Sensor de temperatura.

Fuente: (Vernier, 2016)

- **Especificaciones:**

- Rango de temperatura: -40 a 135 ° C (-40 a 275 ° F)
- La temperatura máxima que el sensor puede tolerar sin daño: 150 ° C

- Sensor de temperatura: 20 kW NTC Termistor
- Precisión: $\pm 0,2$ ° C a 0 ° C, $\pm 0,5$ ° C a 100 ° C
- Tiempo de respuesta (tiempo de cambio del 90% en la lectura):
 - 10 segundos (en el agua, con agitación)
 - 400 segundos (en aire quieto)
 - 90 segundos (en el aire en movimiento)
- Dimensiones de la sonda:
 - Longitud de la sonda (manejar el cuerpo más): 15.5 cm
 - Cuerpo de acero inoxidable: longitud 10,5 cm, diámetro 4,0 mm
 - Mango de la sonda: longitud 5,0 cm, diámetro de 1,25 cm

2.20.2. Sensor De Humedad

El sensor de humedad relativa se puede utilizar para medir la humedad relativa en los siguientes casos (**ver Figura 54**).

- Supervisar la humedad interior por razones de salud.
- Optimizar las condiciones de un invernadero o terrario.
- Determinar cuándo descargas eléctricas estáticas.

- Estudio de las tasas de transpiración de las plantas mediante el control de la humedad relativa.



Figura 54: Sensor de humedad.

Fuente: (Vernier, 2016)

- **Especificaciones:**
 - Rango: 0% a 95%.
 - Potencia: 200 μ @ 5 VDC.
 - Tiempo de respuesta (hora de un cambio del 90% en la lectura).
 - Resolución: 0,04% RH

2.20.3. Sensor De Ph

Utilice el sensor de pH tal como lo haría un medidor de pH tradicional con las ventajas adicionales de recogida automatizada de datos, gráficos, datos y análisis (**ver Figura 55**). Las actividades típicas que utilizan nuestro sensor de pH incluyen:

- Valoraciones ácido-base.
- Estudios de ácidos y bases para el hogar.
- Monitoreo cambio de pH durante las reacciones químicas o en un acuario como resultado de la fotosíntesis.
- Las investigaciones de la lluvia ácida y el almacenamiento en búfer.
- Análisis de la calidad del agua en los arroyos y lagos.



Figura 55: Sensor de PH.

Fuente: (Vernier, 2016)

- **Especificaciones:**
 - Tipo: Sellada, cuerpo epóxico relleno de gel, Ag / AgCl.
 - Diámetro del eje: 12 mm OD.
 - Tiempo de respuesta: 90% de la lectura final en 1 segundo.

- Rango de temperatura: 5 a 80 ° C.
- Rango: pH 0-14.
- Precisión: +/- 0,2 unidades de pH.
- PH Isopotencial: pH 7 (punto en el que la temperatura no tiene efecto).

2.20.4. Sensor De Conductividad Eléctrica

La sonda de conductividad tiene tres rangos, proporcionando una precisión óptima en cualquier rango dado (**ver Figura 56**). Los profesores de biología pueden usar esta sonda para demostrar difusión de iones a través de membranas. Estudiantes de la química son capaces de investigar rápidamente la diferencia entre compuestos iónicos y moleculares, ácidos fuertes y débiles, o compuestos iónicos que producen diferentes proporciones de iones. Estudiantes de ciencias ambientales utilizan para medir TDS, sólidos disueltos totales.



Figura 56: Sensor de conductividad eléctrica.

Fuente: (Vernier, 2016)

- **Especificaciones:**

- Bajo Rango: 0 a 200 S / cm (0 a 100 mg / L de SDT).
- Rango de mediana: 0 a 2,000 mS / cm (0 a 1000 mg / L TDS).
- Alto Rango: 0 a 20 000 S / cm (0 a 10.000 mg / l TDS).
- Precisión usando calibración de fábrica:
 - $\pm 8\%$ de la lectura a gran escala para la gama baja.
 - $\pm 3\%$ de la lectura a gran escala para la gama media.
 - $\pm 4\%$ de la lectura a gran escala para alta gama.
- Precisión usando calibración personalizada: $\pm 2\%$ de la lectura a gran escala para cada rango.
- Tiempo de respuesta: 98% de la lectura de escala completa en 5 segundos, el 100% de escala completa en 15 segundos.

Luego de haber seleccionado e implementado los elementos y dispositivos en campo para el control de riego por goteo automático de recurso hídrico y solución nutritiva. La **(Figura 57)** muestra el esquema general del sistema implementado para el control de riego por goteo automático y el monitoreo de forma local y remota de las variables humedad, temperatura, pH y conductividad eléctrica del suelo con los sensores Vernier alojados en la zona radicular del cultivo.

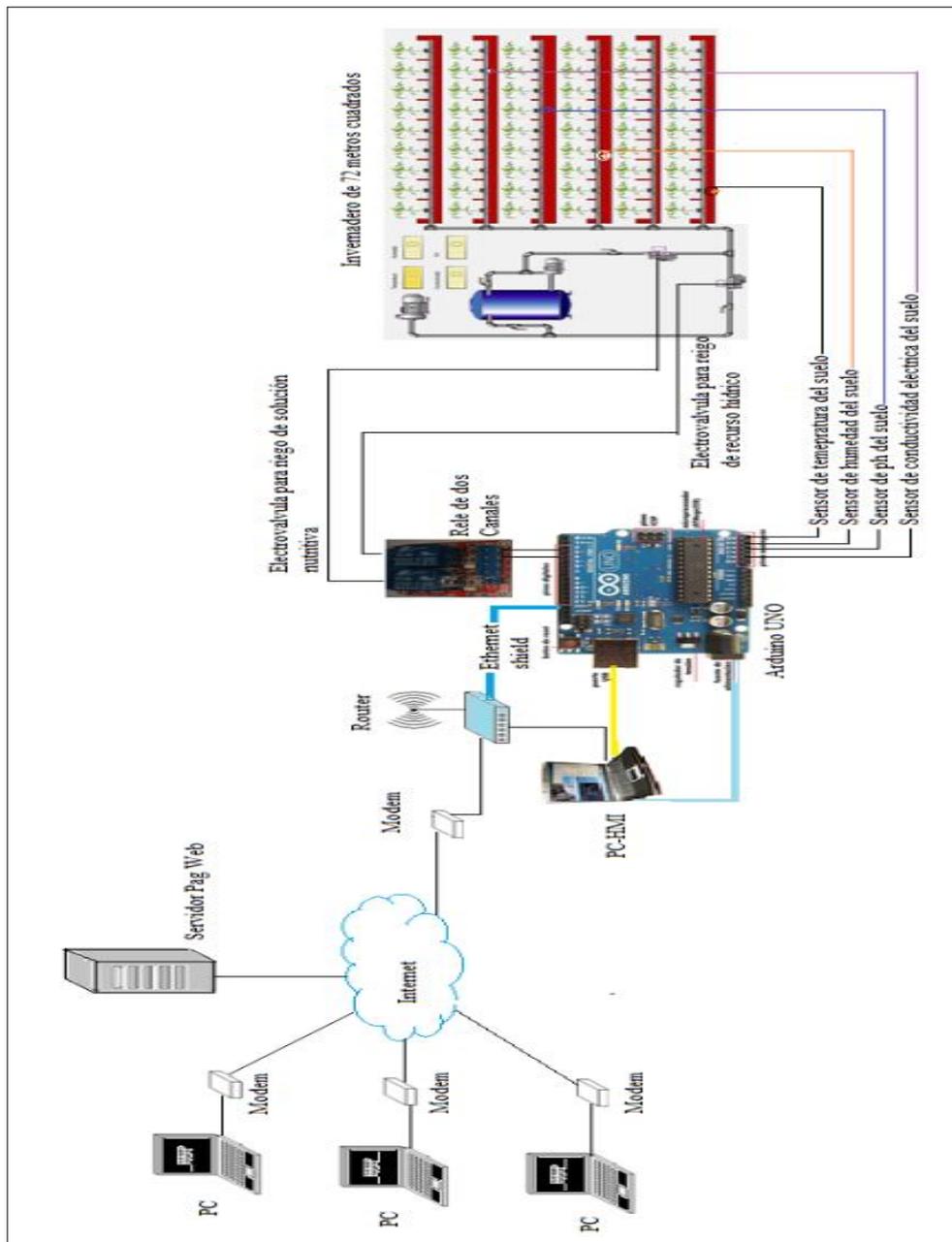


Figura 57: Esquema del sistema de control y monitoreo implementado.

La programación del controlador se efectúa conforme los requerimientos especificados en el funcionamiento del sistema y tomando en cuenta las características detalladas en las acciones de control.

2.21. Diagrama De Flujo Del Sistema De Control

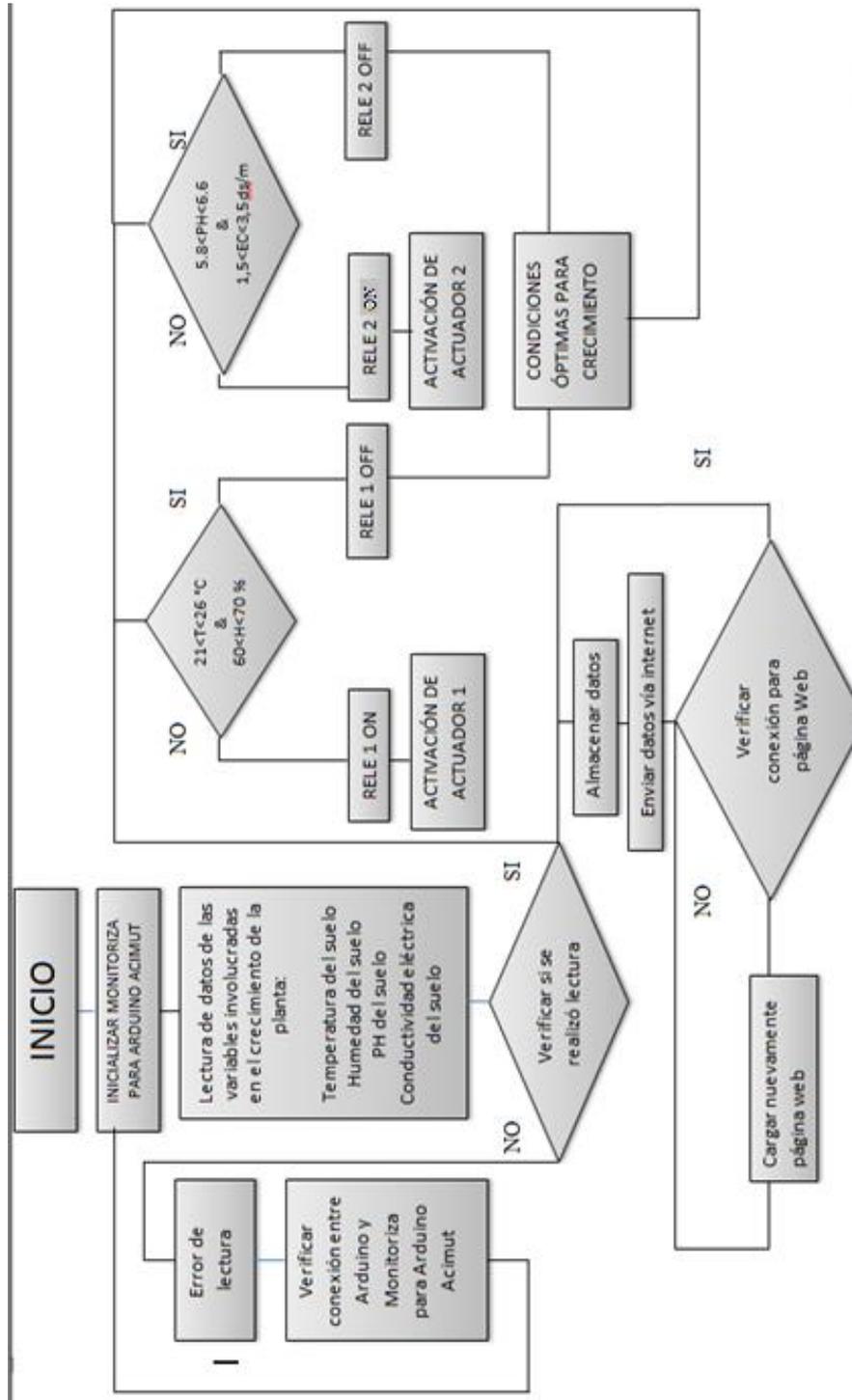


Figura 58: Diagrama de flujo del sistema de control.

Conforme con la estructura y funcionamiento del sistema, el algoritmo de control se compone de funciones y tareas que se detallan a continuación:

2.22. Controlador Tarjeta Arduino Uno

Esta tarjeta Arduino Uno estará encargada tanto de recibir y enviar las señales analógicas y digitales necesarias para activar o desactivar actuadores y dispositivos conectados a la tarjeta. Está ubicado dentro de la caja de control y las entradas analógicas del mismo están conectadas en paralelo a la tarjeta Arduino Leonardo con la Ethernet Shield para enviar los datos de los sensores hacia la base de datos.

2.23. Automatización de la Planta

En esta parte se enfoca principalmente a la parte de programación en la plataforma Arduino, luego de la construcción del invernadero, trasplante de las plantas de tomate variedad Daniela y de adicionar elementos de control y medida. Cada una de las etapas dispone de una tarjeta controladora que realiza un trabajo en paralelo optimizando recursos y reduciendo tiempos de producción.

A continuación se detallan los aspectos de programación en las tarjetas controladoras, como el manejo de actuadores y la adquisición de señales analógicas generadas por los sensores ubicados en la raíz de la planta para realizar el control que permita optimizar el recurso hídrico, el adecuado crecimiento y producción de la planta.

2.24. Adquisición de Señales de los Sensores

En esta etapa se inicia con la adquisición de señales analógicas las cuales serán acondicionadas ya que cada sensor produce una tensión de salida de 0 a 5VDC que varía con la medición de la humedad relativa, la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica de la zona radicular de la planta de tomate, por lo que se

utiliza la tarjeta Arduino Uno para ser procesadas, para esto se utiliza el comando **map** de arduino. Se declaran variables iniciales asignadas a entradas analógicas y a dos salidas digitales las mismas que nos permitirán activar los actuadores. Posteriormente se configura los pines digitales como entradas o salidas en la función “Void Setup” del código, luego se procede a encerrar las variables para inicializar el proceso.

La configuración del módulo RTC de arduino para que nos proporcione la hora y la fecha, se inicia la comunicación con el RTC y a continuación se establece la hora y la fecha del mismo esto se lo realiza en “Void Setup”. Una vez configurado nuestro módulo RTC procedemos a obtener la fecha y la hora del RTC llamando al RTC, a continuación se escala las señales analógicas de los sensores para poder ser visualizadas en el HMI, y tomar las acciones correctivas cuando sea necesario, además se tiene dos constantes por cada variable que indican el rango dentro de las que trabajan adecuadamente las mismas.

Una vez que se tiene acondicionadas las señales analógicas de cada uno de los sensores y especificados los rangos de trabajo de los mismos se procede a especificar las condiciones para activar o desactivar los actuadores que en este caso serán dos electroválvulas; una para el control de suministro de recurso hídrico que está directamente relacionado con la temperatura y la humedad relativa, otra electroválvula para el control de suministro de nutrientes el cual está directamente relacionado con la conductividad eléctrica y el Ph.

Por último cuando se active alguna de las electroválvulas se visualizará en el HMI la hora de inicio del riego, este inicio hará que se inicie un contador, una vez que se desactive la electroválvula se detendrá el contador, aparecerá la hora final del riego y por ende la duración del último riego, se puede visualizar el código de programación en el **Anexo 2**.

2.25. Diseño De La HMI

Una Interfaz Humano – Máquina es un conjunto de componentes que permiten al operador interactuar con un proceso por medio de imágenes que se relacionan con el proceso real. Las HMI que son desarrolladas en un computador necesitan un software que posibilite el monitoreo o el control de supervisión de un proceso. La información del proceso es conducida al HMI por medio de tarjetas de entrada/salida instaladas en el computador, PLCs u otros dispositivos que interactúan con un computador.

Para que la HMI sea una herramienta de control supervisorio se requiere: adquirir datos, visualizar y supervisar la secuencia del proceso, todo esto se realizará desde el monitor de un computador. En este proyecto se utilizó el software libre Monitoriza for arduino.

2.25.1. Instalación Del Software

Monitoriza tiene una instalación muy sencilla. Consta de dos ficheros, *setup.exe* e *Instalación Monitoriza.msi*. Haciendo un doble clic sobre *setup.exe* se inicia la instalación. Se lo pude descargar gratis en internet. Monitoriza requiere para instalarse el .Net Framework™ 3.5 SP1 de Windows™ en el caso que no se encuentre instalado nos aparecerá el siguiente dialogo (**ver Figura 59**).

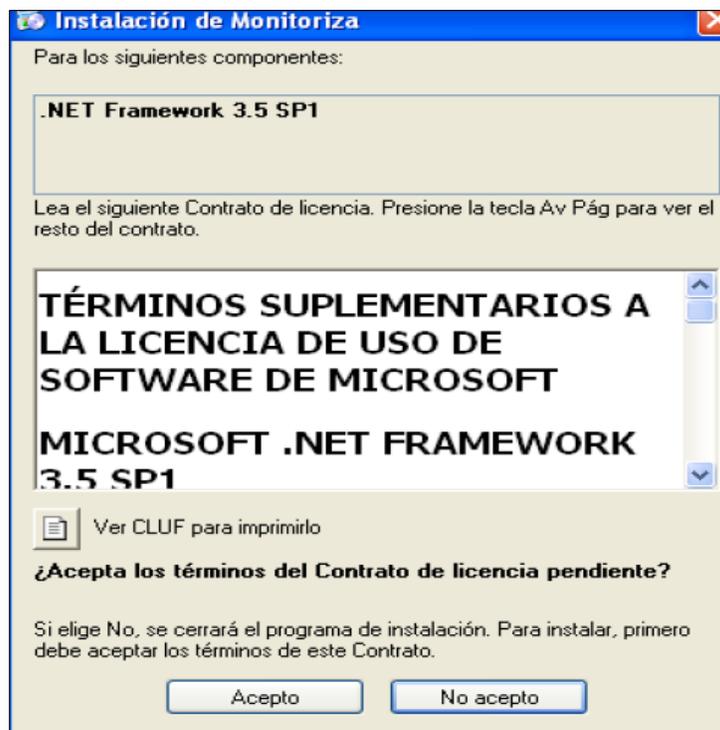


Figura 59: Condiciones de instalación

A continuación se procede a descargar desde la web de Microsoft el paquete correspondiente e instalarlo **(ver Figura 60)**.

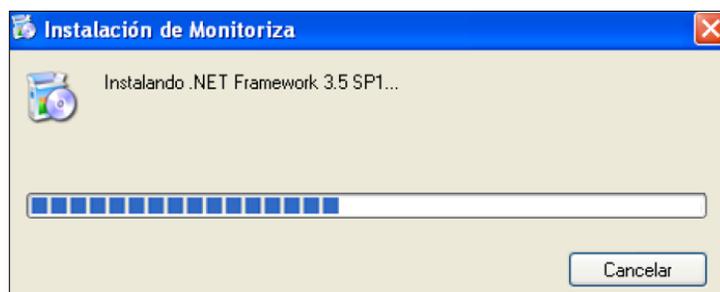


Figura 60: descarga del NET Framework 3.5 SP1.

Una vez instalado se inicia la instalación de Acimut Monitoriza propiamente dicha **(ver Figura 61)**.



Figura 61: Instalación del software

Pulsando sobre el botón *Siguiente* nos aparece la pantalla de instalación personalizada, en la que seleccionamos los elementos del sistema Acimut Monitoriza que se desea instalar. Estos elementos son el **Editor** que nos permite crear y modificar nuestros proyectos Scada (**ver Figura 62**), el **Cliente** mediante el cual establecemos el entorno de ejecución de los proyectos Scada y el **Servidor de Comunicaciones** a través del cual establecemos las comunicaciones tanto con los servidores OPC, como con las bases de datos y los autómatas.

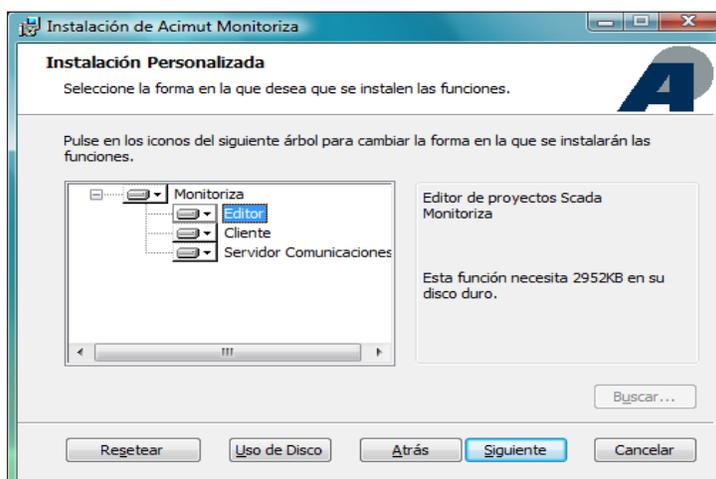


Figura 62: Instalación personalizada del software.

En la **(Figura 63)** pulsaremos sobre el botón Instalar para iniciar el proceso de instalación en sí.

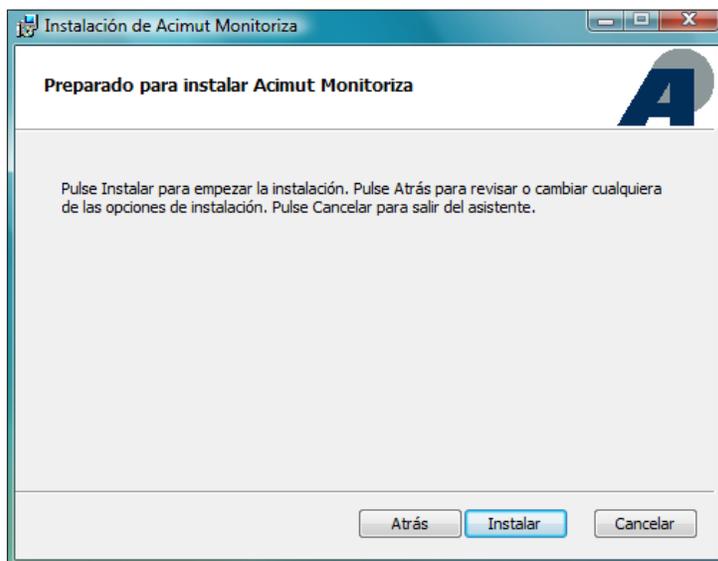


Figura 63: Fin de instalación

El Editor de Acimut Monitoriza es uno de los tres componentes principales del sistema, con el vamos a crear, diseñar y modificar nuestro proyecto que luego se ejecutaran a través del Servidor de Comunicaciones y del Cliente Scada.

Al crear o modificar un proyecto scada mediante el Editor podremos definir variables y alarmas, crear formularios para mostrar de forma gráfica los valores de las variables, guardar en base de datos los valores de las variables, mantener un histórico de alarmas, mostrar gráficas de los valores de variables almacenados, escribir variables sobre un autómatas (u otros dispositivos) y gestionar los usuarios que podrán acceder a los recursos del proyecto. La interfaz de usuario del Editor **(ver Figura 64)**.

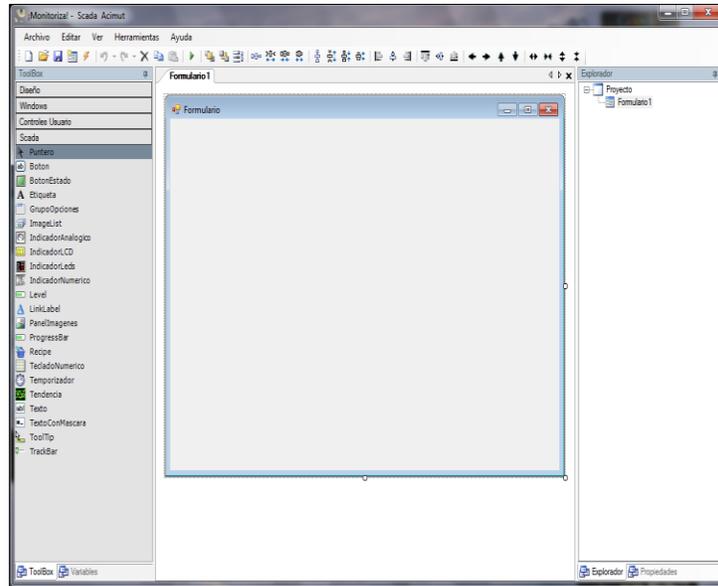


Figura 64: Interfaz de usuario del Editor.

2.25.2. Configuración del Software Monitoriza

Para comenzar a crear el diseño del HMI primero se debe configurar el servidor con el cual nos vamos a comunicar, se debe primero crear un nuevo proyecto, clic en servidores, escoger Modbus RTU (ver Figura 65).

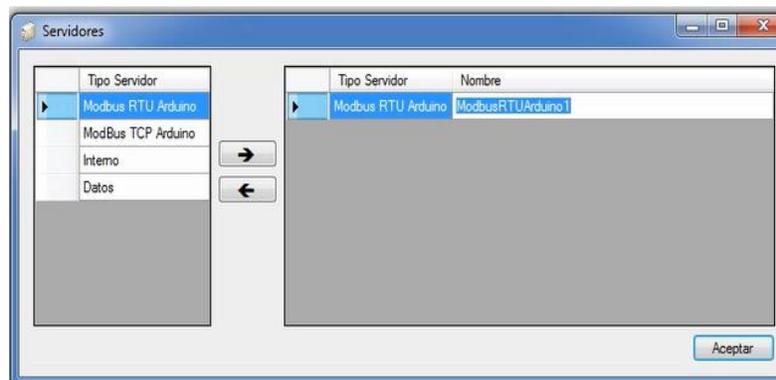


Figura 65: Configuración del servidor

La carpeta tesis será terminal remota del servidor Scada, (ver Figura 66), se debe configurar el puerto de conexión del arduino en este proyecto es el COM 17.

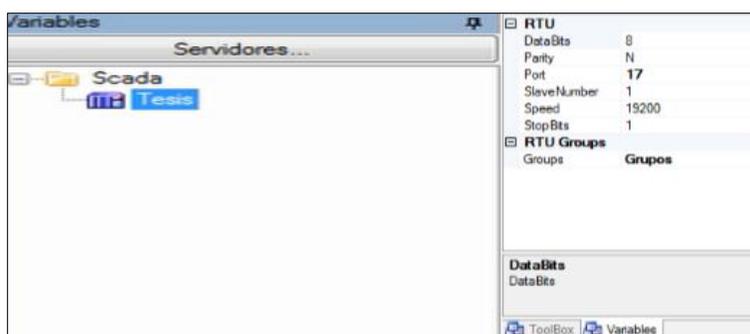


Figura 66: Configuración del puerto de conexión.

Para la creación de las variables, dar clic en grupos, escoger para arduino ReadHoldingRegisters, con un tiempo de 1 ms para actualización de datos (**ver Figura 67**).

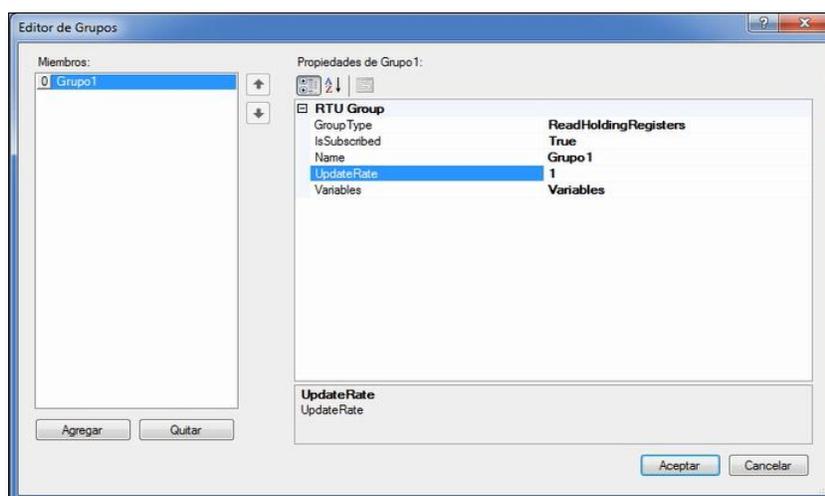


Figura 67: Configuración para declaración de variables.

Para comenzar la declaración de las variables dar clic en variables, en Name pone el nombre de la variable y en PLC variable, de acuerdo a la configuración del arduino y de forma jerárquica, en este caso se puso 0, porque fue la primera que se declaró, dar clic en aceptar y se crea la variable temperatura (**ver Figura 68**).

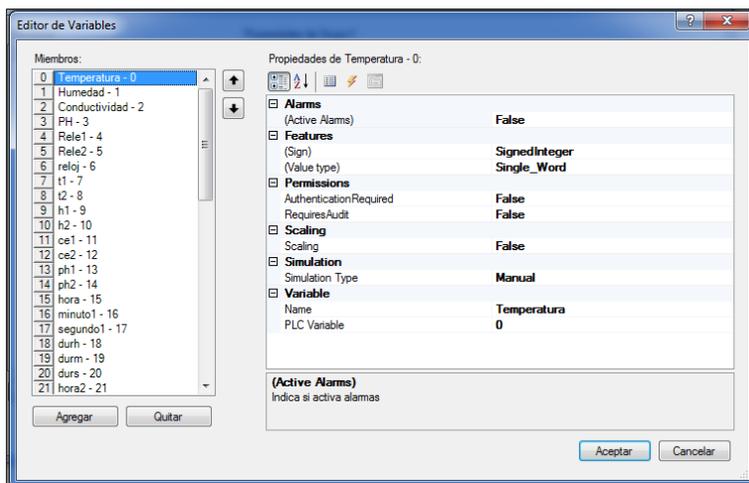


Figura 68: Creación de la variable temperatura.

Se repitió lo mismo para las demás variables pero con 1 para Humedad, 2 para conductividad eléctrica y 3 para pH (**ver Figura 69**).

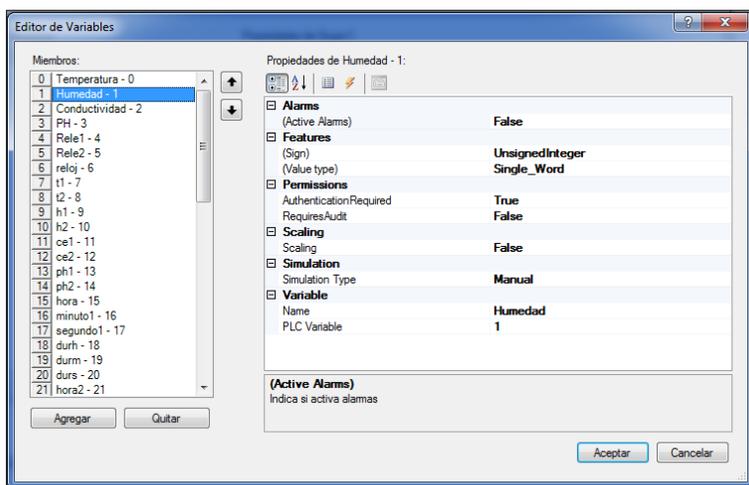


Figura 69: Creación de las variables del sistema.

A continuación el escalamiento de las variables la dejamos en False, en la parte de propiedades de la variable, ya que estos valores son los mismos que se configuro en arduino para la declaración y acondicionamiento de las señales (**ver Figura 70**).

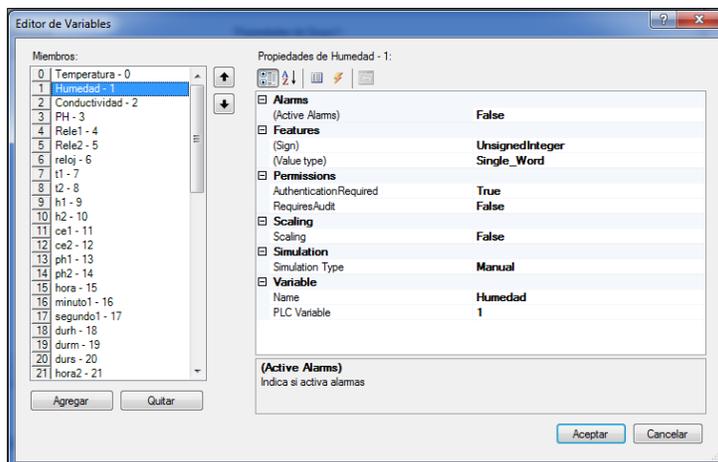


Figura 70: Configuración de la variable humedad.

Para configuración de la variable conductividad (ver Figura 71).

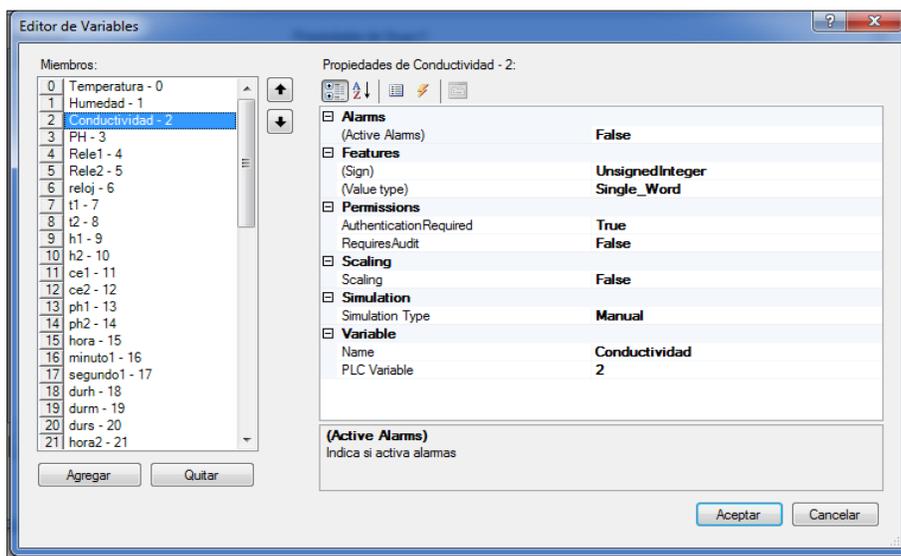


Figura 71: Configuración de la variable conductividad.

Para configuración de la variable pH (ver Figura 72).

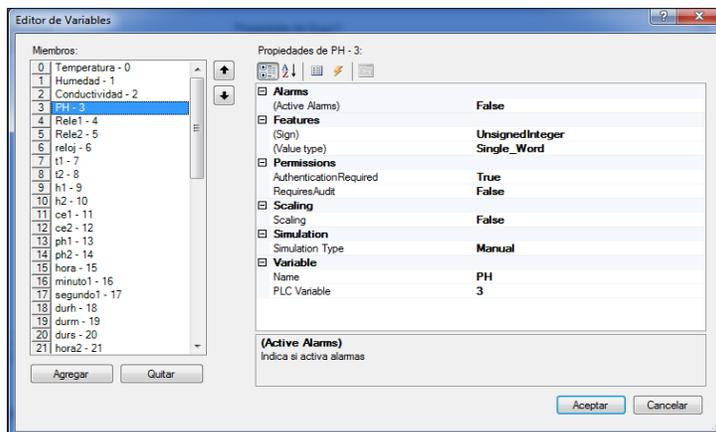


Figura 72: Configuración de la variable Ph.

Se crea el grupo de variables a controlar debajo del terminal remoto Tesis (**ver Figura 73**).

0	Temperatura - 0	18	durh - 18	36	horaph - 36
1	Humedad - 1	19	durm - 19	37	minutoph - 37
2	Conductividad - 2	20	durs - 20	38	segundoph - 38
3	PH - 3	21	hora2 - 21	39	hora2ph - 39
4	Rele1 - 4	22	minuto2 - 22	40	minuto2ph - 40
5	Rele2 - 5	23	segundo2 - 23	41	segundo2ph - 41
6	reloj - 6	24	durahh - 24	42	durahc - 42
7	t1 - 7	25	duramh - 25	43	duramc - 43
8	t2 - 8	26	durash - 26	44	durasc - 44
9	h1 - 9	27	horah - 27	45	horac - 45
10	h2 - 10	28	minutoh - 28	46	minutoc - 46
11	ce1 - 11	29	segundoh - 29	47	segundoc - 47
12	ce2 - 12	30	hora2h - 30	48	hora2c - 48
13	ph1 - 13	31	minuto2h - 31	49	minuto2c - 49
14	ph2 - 14	32	segundo2h - 32	50	segundo2c - 50
15	hora - 15	33	durahph - 33	51	Releh - 51
16	minuto1 - 16	34	duramph - 34	52	Relec - 52
17	segundo1 - 17	35	durasph - 35	53	ab
18	durh - 18	36	horaph - 36	54	ac

Figura 73: Grupo de variables creadas en el Editor de Monitoriza.

A continuación se desarrolla el diseño del HMI, es decir, la creación de botones, graficas, tendencias, históricos; para esto se da clic en archivo nuevo

formulario, clic en Toolbox, y se escoge los elementos necesarios para cada monitoreo de cada variables, en este caso para el inicio del proceso se escojo indicador LCD para mostrar el valor de medición, etiqueta para poner los nombres de cada variable (**ver Figura 74**).

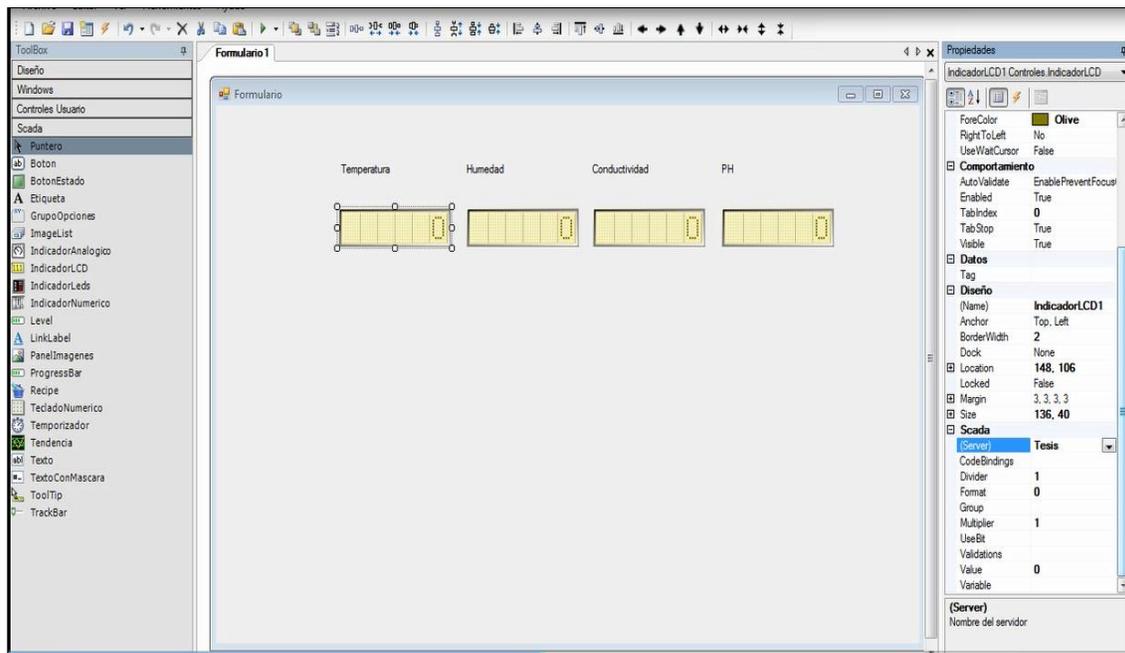


Figura 74: Creación de nombres e indicadores visuales de cada variable.

Para asociar las variables con el indicador, en propiedades en Server se coloca el nombre del servidor en este caso Tesis, en Group se escoge grupo 1 porque fue el que se creó en variable en nombre de la variables temperatura (**ver Figura 75**), humedad (**ver Figura 76**), conductividad eléctrica (**ver Figura 77**) y pH (**ver Figura 78**).

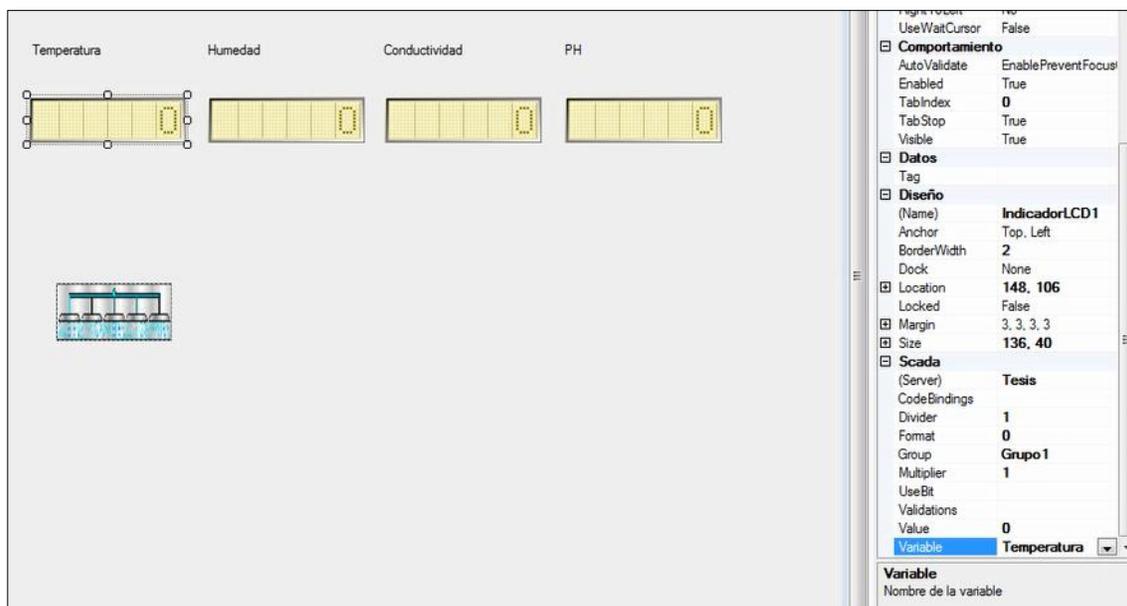


Figura 75: Asignación de la variable temperatura para el indicador.

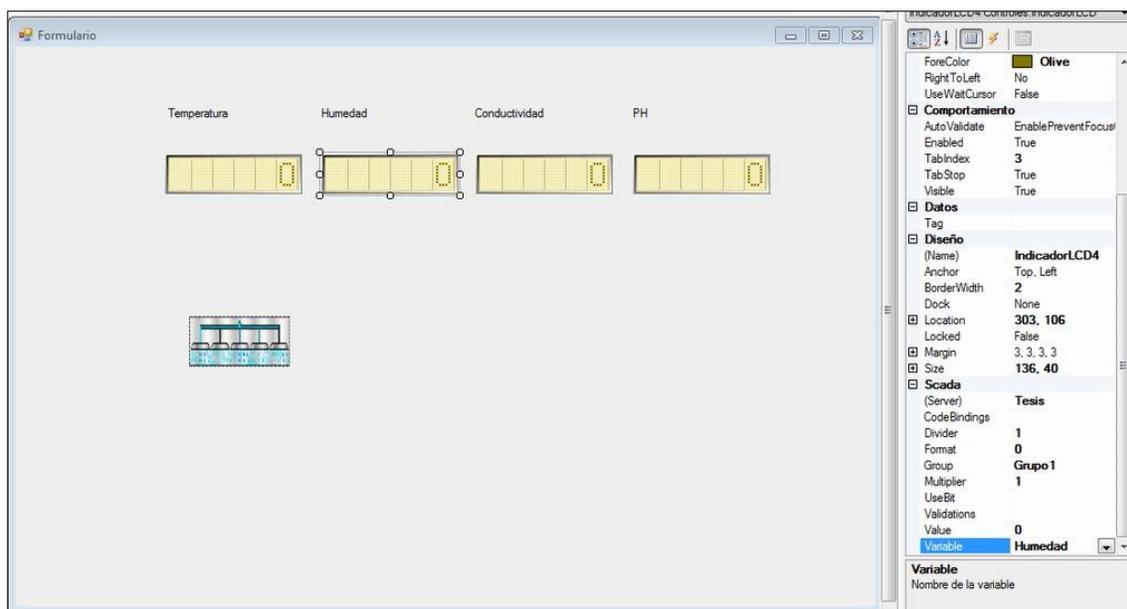


Figura 76: Asignación de la variable humedad para el indicador.

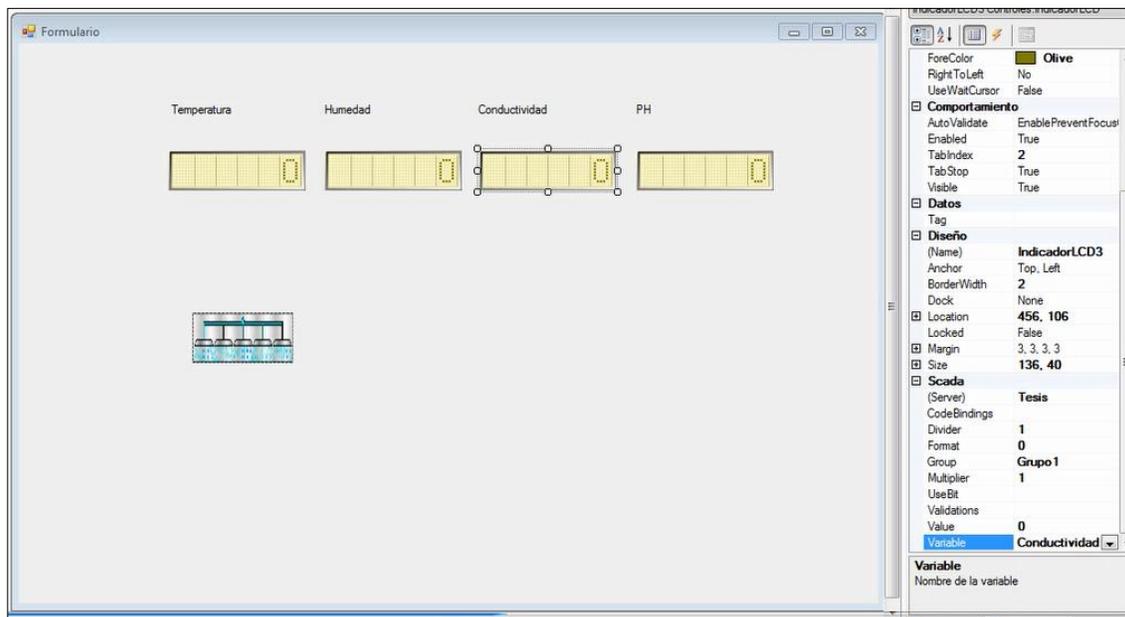


Figura 77: Asignación de la variable conductividad para el indicador.

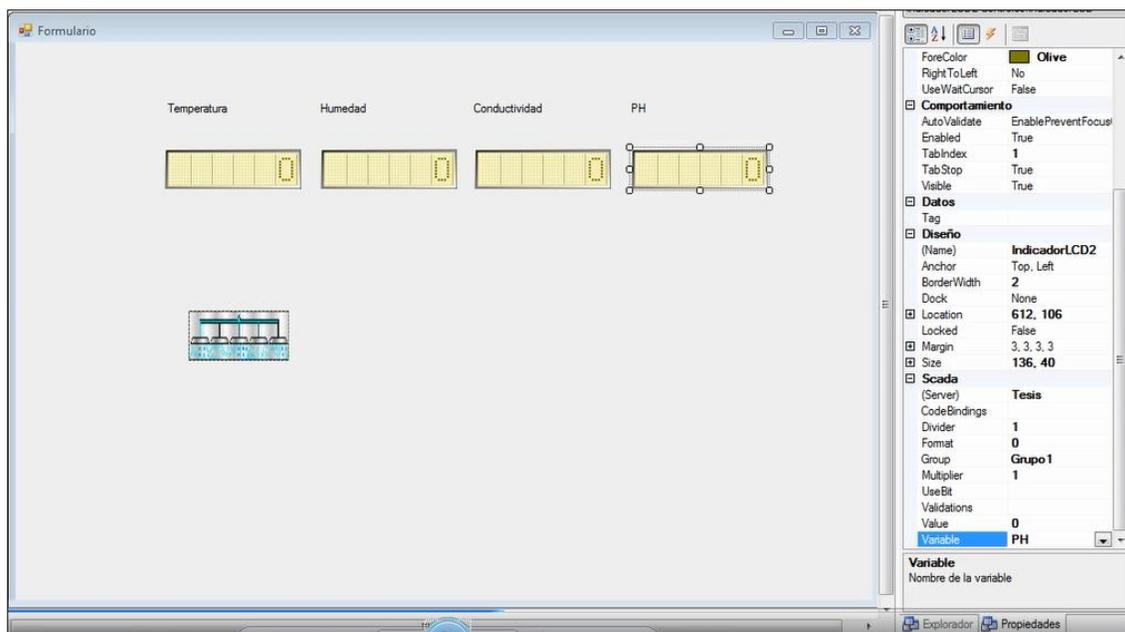


Figura 78: Asignación de la variable conductividad para el indicador.

A continuación para la simulación se debe dar clic en PLAY, guardar el proyecto y verificar la conexión si es de color verde esta correcta la comunicación sino es que hay error (**Figura 79**).

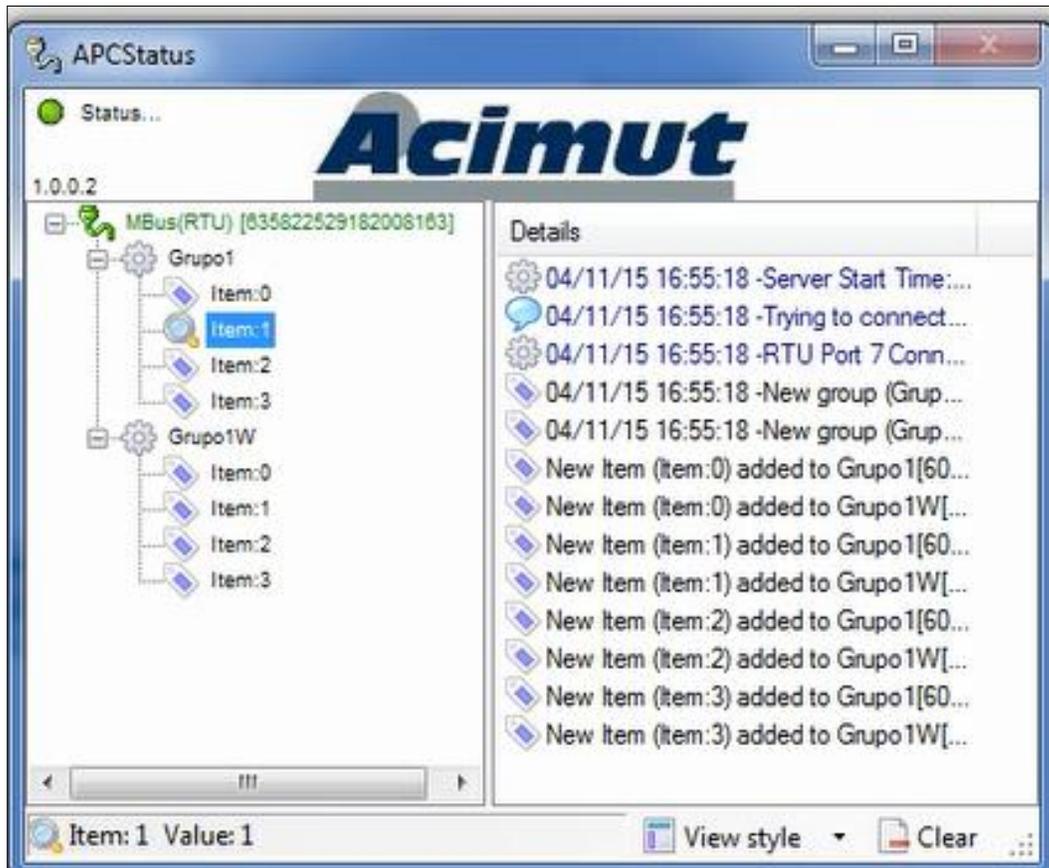


Figura 79: Verificación de la conexión entre monitoriza y arduino.

Para la creación de botones con dirección a otras pantallas, escoger en Toolbox botón, dar clic en Acción en la pantalla propiedades y escoger el nombre de la pantalla donde quiere que se dirija en el momento de dar clic; para crear una tendencias crear nuevo formulario y en Toolbox dar clic en Tendencias y se crea la gráfica que necesitamos (**ver Figura 80**).

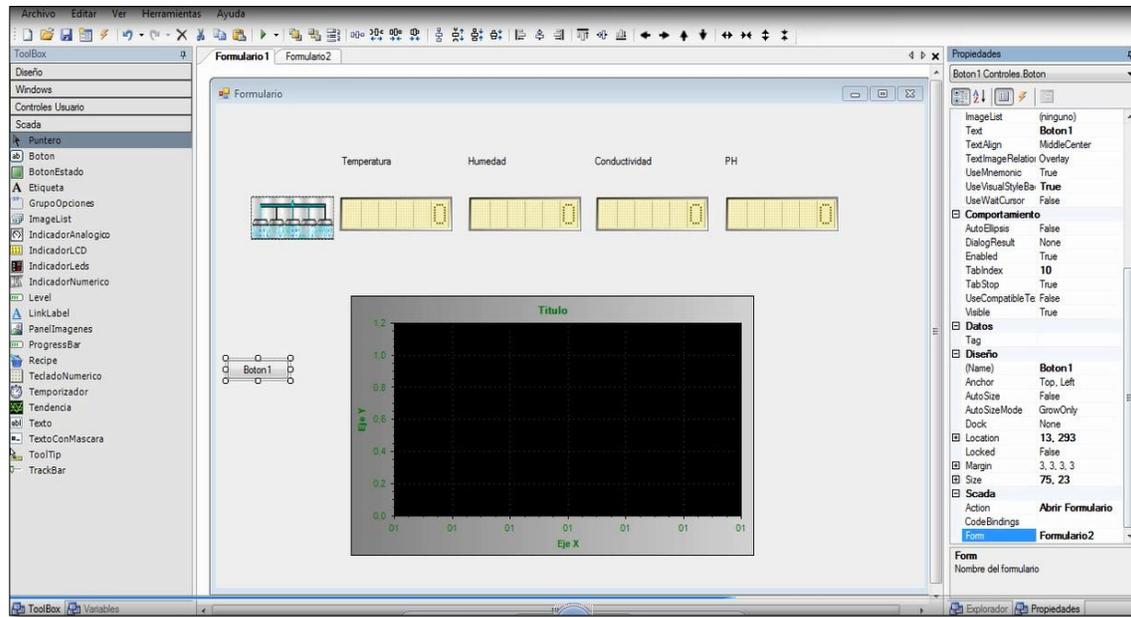


Figura 80: Creación de botones y tendencias en el Editor de Monitoriza.

Para asignar una variable al grafico tendencias, nos dirigimos a propiedades Series, y clic en Agregar, en Variable Type escoger Dinámica, en Server escoger Tesis, Group escoger Grupo 1 y en Variable escoger la que desea visualizar, en este proyecto son monitorea las cuatro variables, se repite la misma acción para las demás gráficas (ver Figura 81).

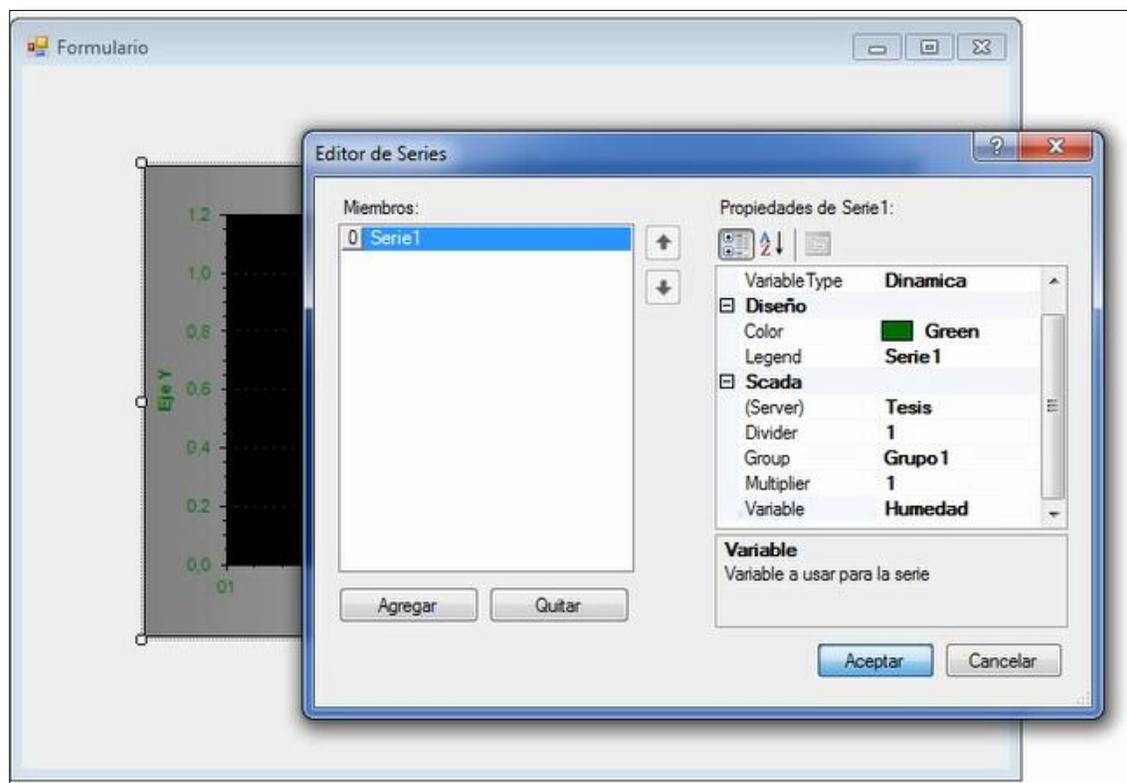


Figura 81: Asignación de una variable humedad al grafico de tendencias.

La (Figura 82), muestra el funcionamiento correcto de la asignación de la variable a la gráfica, se observa las oscilaciones en un tiempo determinado.

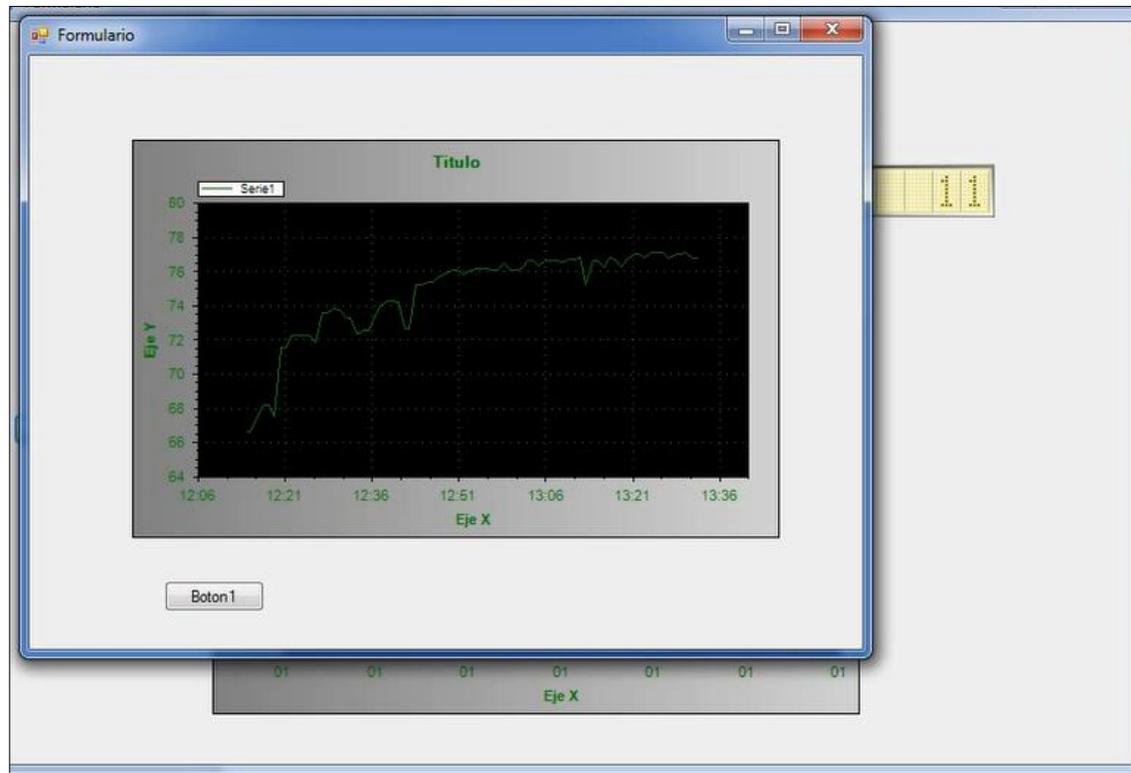


Figura 82: Visualización de datos en la gráfica tendencias.

A continuación se detallará el diseño completo del HMI en el Software Monitoriza for Arduino.

2.25.3. Configuración Pantalla de Inicio

En esta pantalla de inicio cuenta con distintos botones que permiten el acceso a pantallas secundarias en donde se muestra con más detalle el estado actual de los procesos de cada variable y otras opciones (**ver Figura 83**). Entre estas se tiene las siguientes:

- Monitoreo de Temperatura.
- Monitoreo de Humedad.

- Monitoreo de PH.
- Monitoreo de Conductividad eléctrica.
- Proceso.

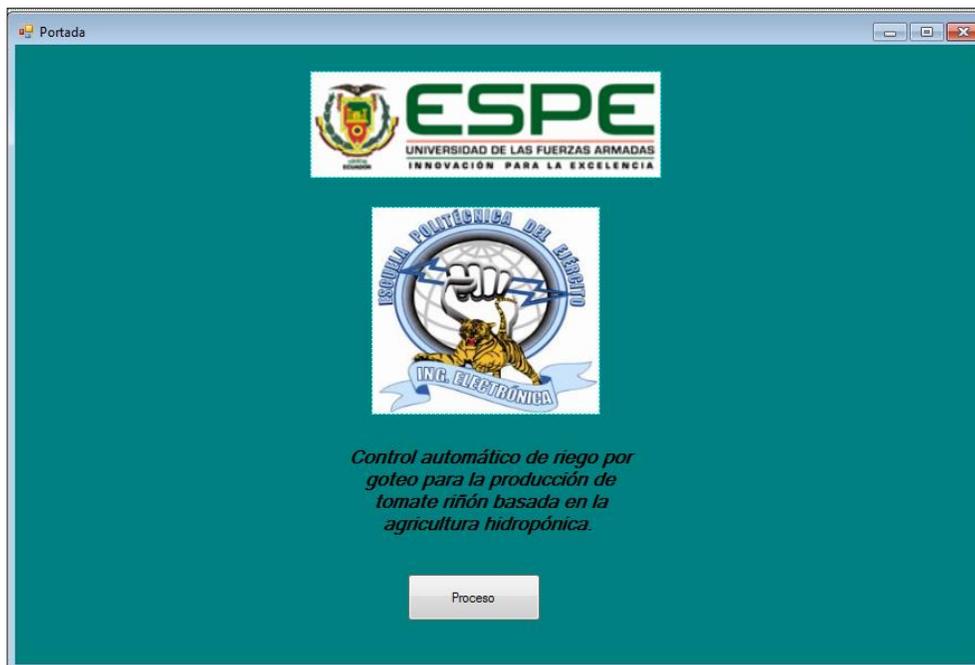


Figura 83: Pantalla de inicio del sistema.

2.25.4. Pantalla Principal (Proceso)

En esta pantalla se puede monitorear el curso actual del control de riego, donde se muestra el estado de electroválvulas, valor de las variables (temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica). La pantalla principal cuenta con distintos botones que permiten el acceso a pantallas secundarias en donde se muestra con más detalle el estado actual de los procesos de cada variable y otras opciones, **(ver Figura 84)**, entre estas se tiene las siguientes:

- Monitoreo de Temperatura.
- Monitoreo de Humedad.
- Monitoreo de PH.
- Monitoreo de Conductividad eléctrica.

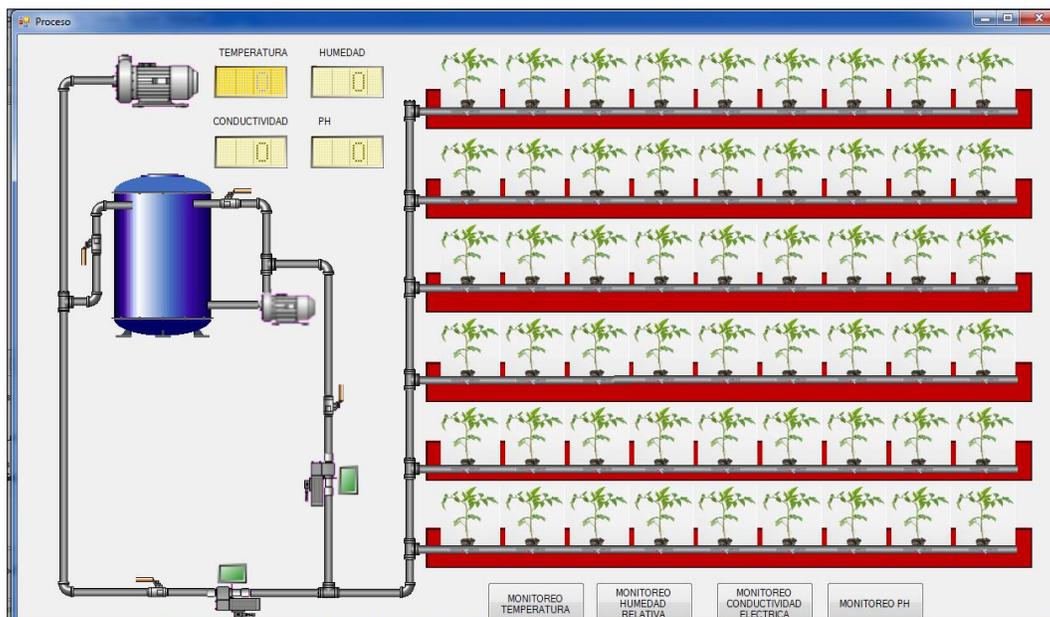


Figura 84: Pantalla principal del proceso

2.25.5. Pantalla Monitoreo de Temperatura

La pantalla de monitoreo de temperatura (**ver Figura 85**). Informa al usuario los valores de temperatura que están actualmente en las raíces de la planta de tomate, el tiempo de inicio, finalización y duración del último riego de recurso hídrico, la activación de la electroválvula y las alarmas de dicha variable. La pantalla cuenta con distintos botones que permiten el acceso a pantallas secundarias en donde se muestra con más detalle el estado actual de la variable y otras opciones, entre estas se tiene las siguientes:

- Monitoreo de Humedad.
- Monitoreo de PH.
- Monitoreo de Conductividad eléctrica.
- Proceso.

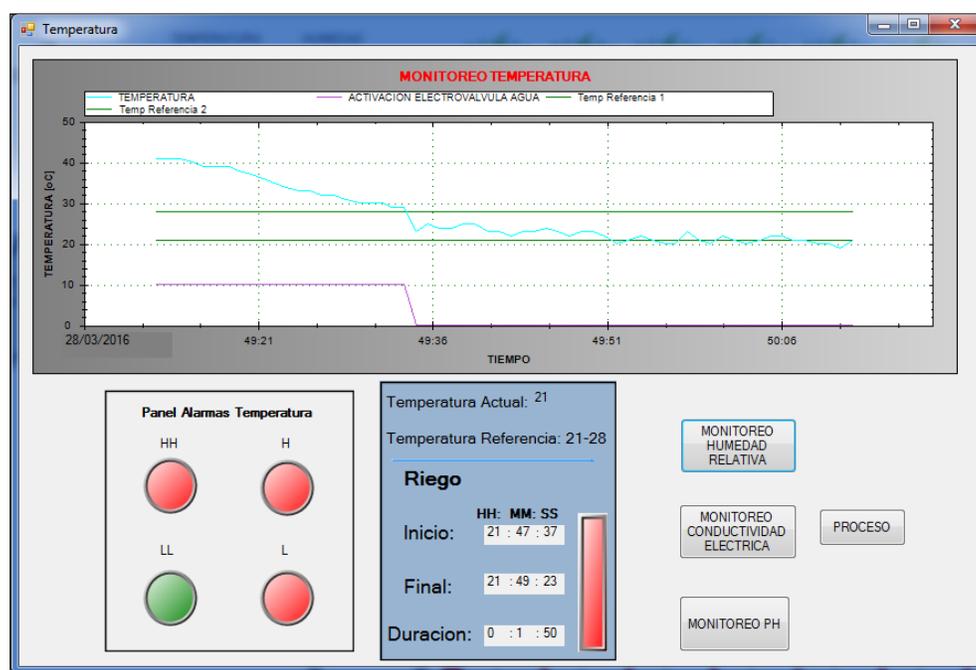


Figura 85: Pantalla de monitoreo de temperatura.

2.25.6. Pantalla Monitoreo de Humedad

La pantalla de monitoreo de Humedad (**ver Figura 86**). Informa al usuario los valores de humedad que están actualmente en las raíces de la planta de tomate, el tiempo de inicio, finalización y duración del último riego de recurso hídrico, la activación de la electroválvula y las alarmas de dicha variable. La pantalla cuenta con distintos botones que permiten el acceso a pantallas secundarias en donde se

muestra con más detalle el estado actual de la variable y otras opciones, entre estas se tiene las siguientes:

- Monitoreo de Temperatura.
- Monitoreo de PH.
- Monitoreo de Conductividad eléctrica.
- Proceso.

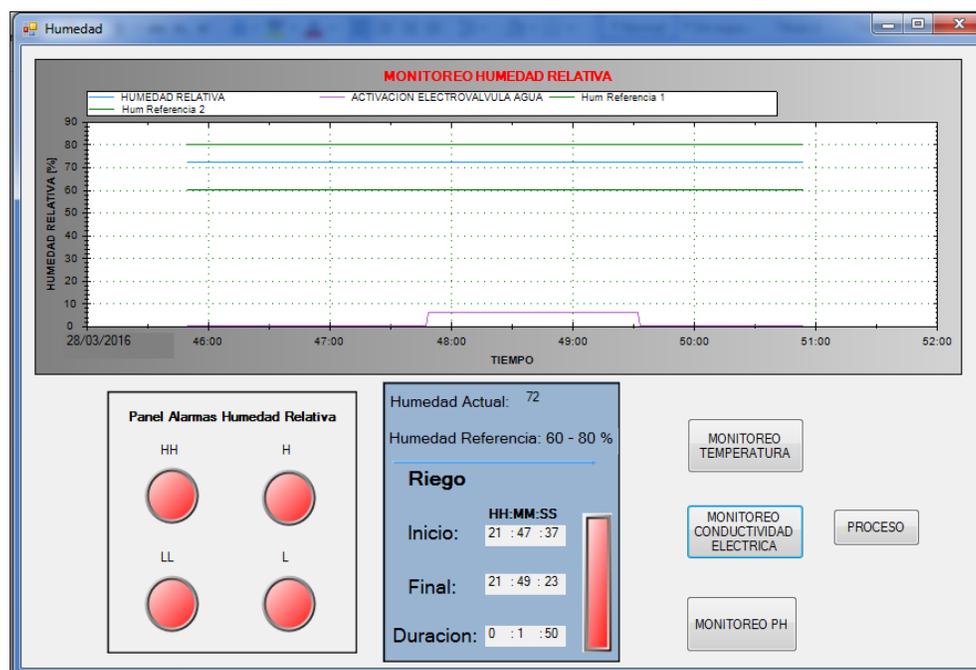


Figura 86: Pantalla de monitoreo de Humedad.

2.25.7. Pantalla Monitoreo de Ph

La pantalla de monitoreo de PH (ver **Figura 87**). Informa al usuario los valores de PH que están actualmente en las raíces de la planta de tomate, el tiempo de inicio, finalización y duración del último riego de solución nutritiva, la activación de

la electroválvula y las alarmas de dicha variable. La pantalla cuenta con distintos botones que permiten el acceso a pantallas secundarias en donde se muestra con más detalle el estado actual de la variable y otras opciones, entre estas se tiene las siguientes:

- Monitoreo de Humedad.
- Monitoreo de Temperatura.
- Monitoreo de Conductividad eléctrica.
- Proceso.

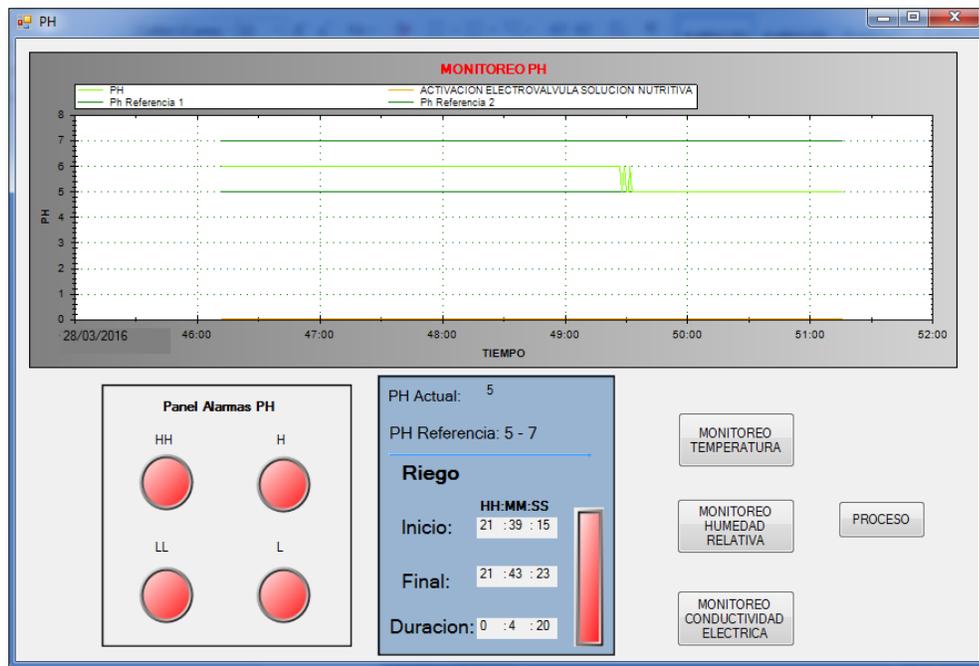


Figura 87: Pantalla de monitoreo de PH.

2.25.8. Pantalla Monitoreo de Conductividad Eléctrica

La pantalla de monitoreo de Conductividad eléctrica (**ver Figura 88**). Informa al usuario los valores de conductividad que están actualmente en las raíces de la planta de tomate, el tiempo de inicio, finalización y duración del último riego de solución nutritiva, la activación de la electroválvula y las alarmas de dicha variable. La pantalla cuenta con distintos botones que permiten el acceso a pantallas secundarias en donde se muestra con más detalle el estado actual de la variable y otras opciones, entre estas se tiene las siguientes:

- Monitoreo de Humedad.
- Monitoreo de PH.
- Monitoreo de Temperatura
- Proceso.

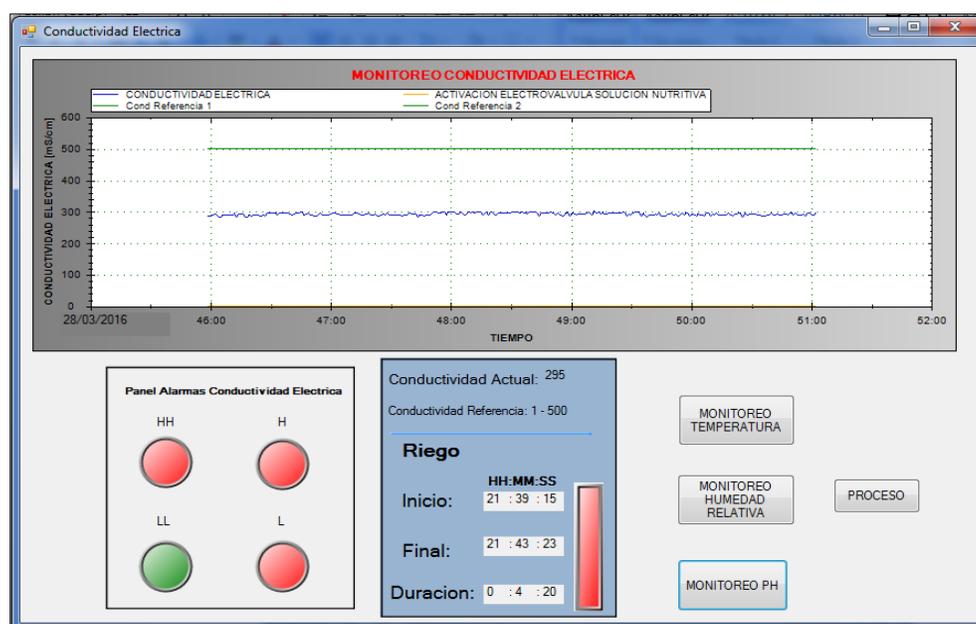


Figura 88: Pantalla de monitoreo de Conductividad Eléctrica.

2.26. Diseño del monitoreo a través de la Web.

Para el monitoreo a través de la web instalamos en la PC una máquina virtual con el sistema operativo Ubuntu debido a las facilidades que nos brinda al momento de crear un servidor, el mismo que utilizamos para crear la base de datos. Para la creación de la base de datos utilizamos el programa MYSQL, descargamos la carpeta contenedora en el siguiente link:

<https://dev.mysql.com/downloads/mysql/>

En la **(Figura 89)**, procedemos a descargar el archivo, descomprimos la carpeta y se procede a instalar.

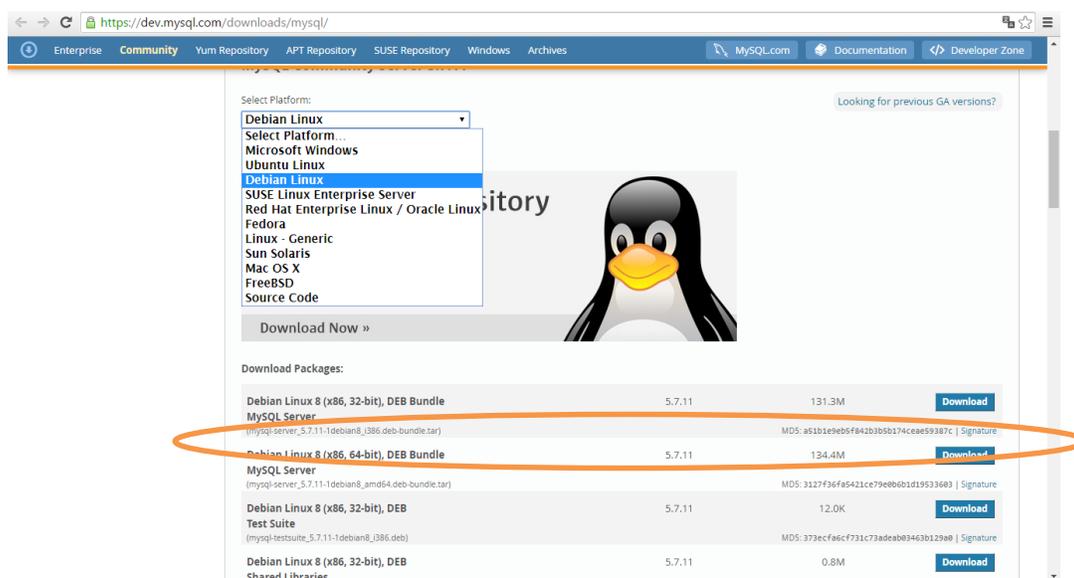


Figura 89: Sitio web para descargar MYSQL Server.

Una vez descargado e instalado MYSQL en el sistema operativo Debian, se procede a crear una base de datos en la cual se guardaran los datos de los valores de los sensores para poder ser graficados y monitoreados a través de la web.

2.26.1. Creación de la base de datos

Para la creación de la base de datos usaremos PHPMyAdmin, una vez instalado nos pedirá un usuario y una contraseña, una vez creado el usuario y la contraseña procedemos a introducir en el navegador de internet lo siguiente: <http://localhost/phpmyadmin/> y nos parece la pantalla (ver Figura 90).

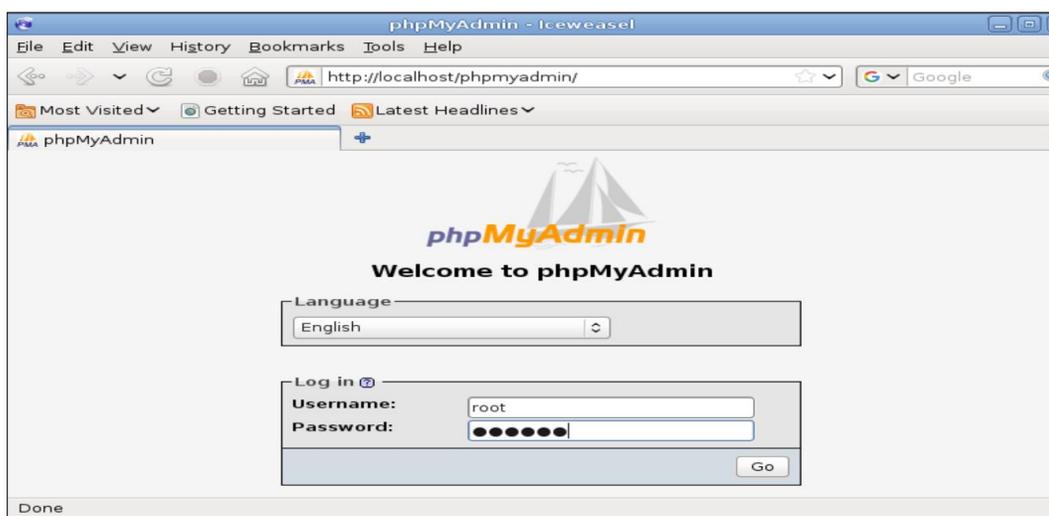


Figura 90: Pantalla para ingresar a PHPMyAdmin.

Al ingresar el usuario y la contraseña nos aparecerá una pantalla (ver Figura 91).

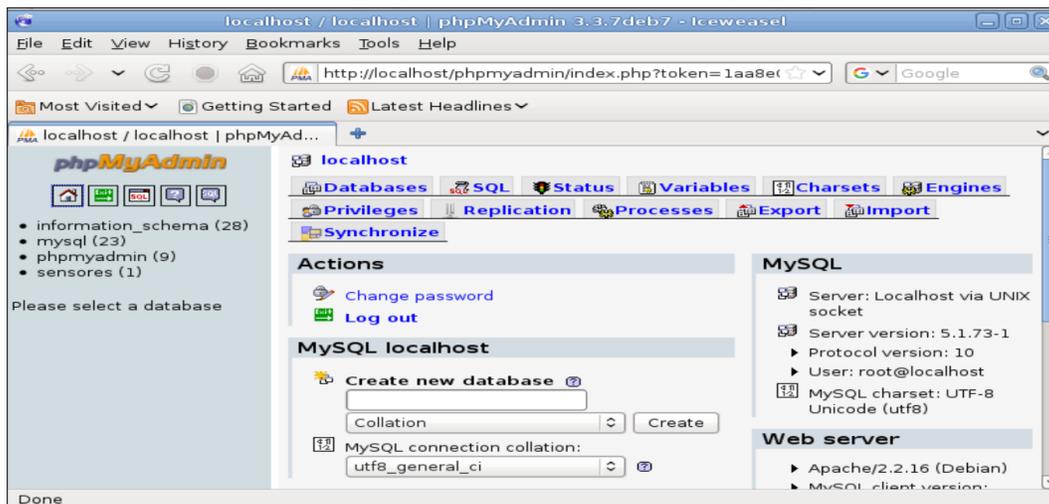


Figura 91: Pantalla de inicio de PHPMyAdmin.

Para crear una base de datos nueva damos click sobre Databases, introducimos el nombre de la base de datos y a continuación crear (ver Figura 92).

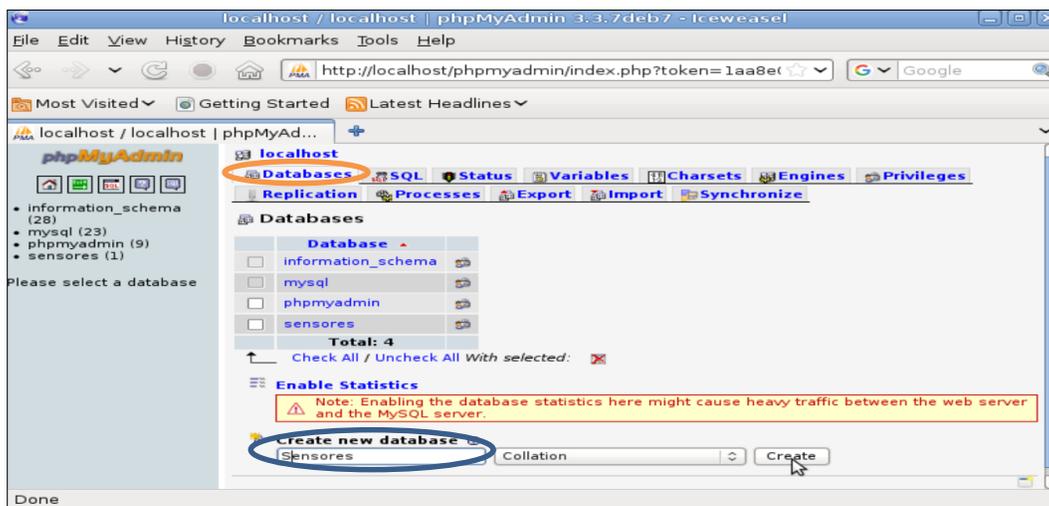


Figura 92: Creación de la Base de Datos Sensores.

Una vez creada la Base de Datos procedemos a crear una tabla en la cual se guardaran las variables, la tabla se llamará Valores y tendrá 6 columnas (ver Figura 93).

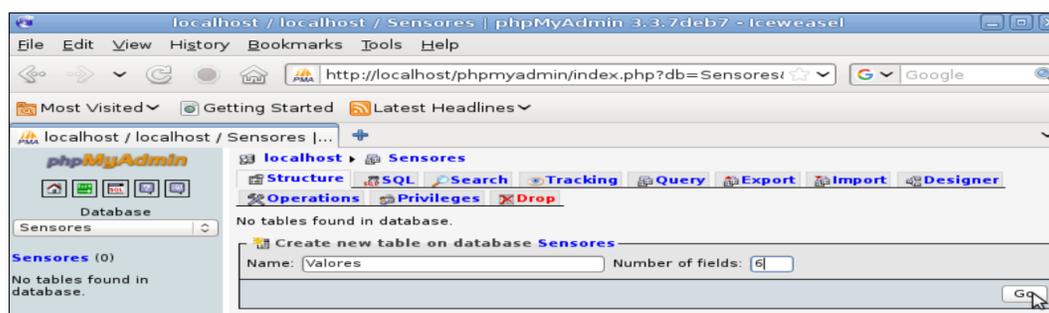


Figura 93: Creación tabla Valores con 6 columnas.

A continuación añadimos las columnas a la base de datos, para lo cual crearemos un campo llamado ID el cual será de tipo "int" de longitud 11 y auto

incrementable, seguidamente creamos 4 campos llamados Temperatura, Humedad, Conductividad, PH de tipo “double”, y creamos un último campo llamado Tiempo de tipo “timestamp” (ver Figura 94).

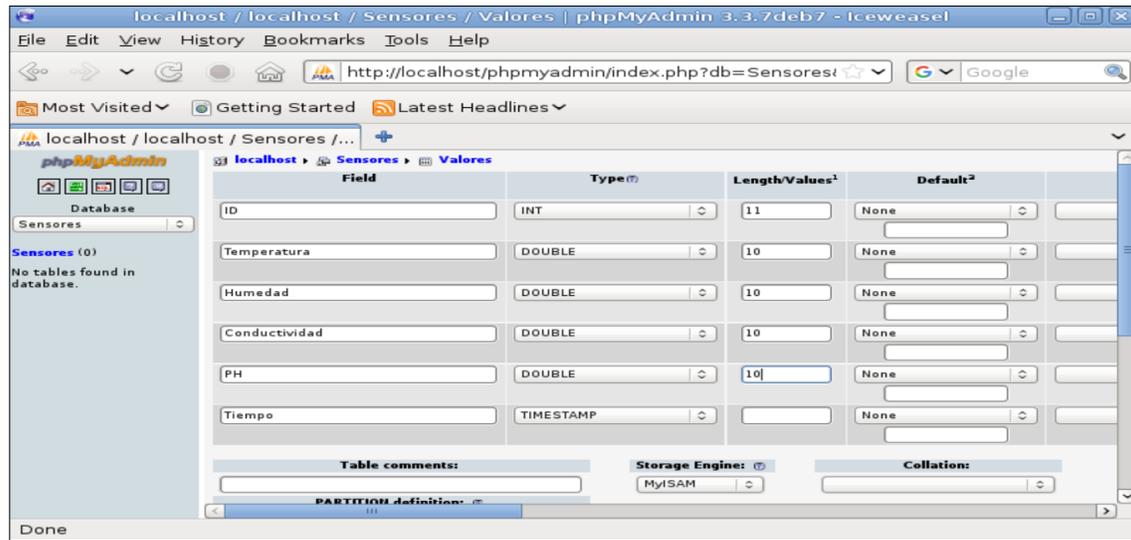


Figura 94: Creación de los campos en la tabla Valores de la Base de Datos Sensores.

Una vez creada nuestra Base de Datos en nuestro servidor, procedemos a escribir un script en PHP que nos permitirá conectarnos a la Base de Datos Sensores (ver Anexo 3), para nuestro caso para la conexión con la Base de Datos se crearon 4 scripts en PHP para temperatura, para humedad relativa, para conductividad eléctrica y para Ph, en cada uno de los scripts debe ir el nombre de la base de datos, nombre de usuario, contraseña para poder realizar la conexión (ver Anexo 4).

Se utilizó las librerías de HighCharts para poder graficar los valores de cada una de las variables en tiempo real en la web. Una vez que tenemos la comunicación entre el servidor, la base de datos, tenemos las librerías de HighCharts para graficar en la web, procedemos a realizar 4 scripts en código HTML para poder visualizar las tendencias en tiempo real cada una de las

variables como temperatura, humedad relativa, conductividad eléctrica y para Ph **(ver Anexo 5)**.

Una vez que tenemos la comunicación entre la base de datos y los scripts en php, se procede a realizar los códigos necesarios para poder graficar en la web esto se lo realizó gracias a la ayuda de HighCharts y de scripts en html, para ingresar a la web y observar el comportamiento de las variables tenemos que tener asignada una dirección IP privada para poder sacar a la nube los datos y que puedan ser observados desde cualquier parte del mundo, una vez que tengamos nuestra dirección IP privada, se abre el navegador y a continuación se escribe la siguiente dirección:

- **192.168.55.100/index.html**

Nos cargará en el navegador una pantalla en la que se podrá observar la gráfica de monitoreo en tiempo real de temperatura, además de tres botones que nos permiten saltar al monitoreo de humedad relativa, conductividad eléctrica y ph, el código respectivo de programación se muestran en el **Anexo 3**.

Para enviar los valores de las variables hacia la base de datos utilizamos un Arduino Leonardo y una Ethernet Shield que tiene asignada una dirección Ip y se configura la dirección Ip que tiene nuestro servidor para poder comunicarse con la Base de Datos en este caso 192.168.55.100, se puede visualizar el código utilizado en el **Anexo 6**.

CAPITULO III

3. EXPERIMENTACIÓN EN CAMPO Y RESULTADOS OBTENIDOS.

El Experimento 1: tiene por objetivo mantener las variables físicas como humedad, temperatura, pH y conductividad eléctrica en un determinado nivel de acuerdo a la (**ver Tabla 5**), para determinar los requerimientos hídricos y nutritivos que necesita la planta de tomate hidropónico variedad Daniela. En este experimento el operario define los límites de cada variable mínimas y máximas LOW-LOW, LOW, HIGH, HIGH-HIGH para la acción de control de los actuadores y determinación de alarmas del sistema. Para el riego por goteo de recurso hídrico se toma en cuenta la humedad y temperatura del suelo; para el riego de solución nutritiva se toma en cuenta el pH y conductividad eléctrica del suelo, permitiendo de esta manera el control de la cantidad de agua suministrada y de nutrientes aportada a la planta de tomate riñón variedad Daniela. Este punto se establece en un periodo de dos meses, tiempo en el que se obtuvo los primeros frutos rojos para obtener un promedio de la cantidad de agua suministrada así como la cantidad de solución nutritiva entregada a las plantas de tomate (**ver Figura 95**).

El Experimento 2: tiene por objetivo evaluar en qué tipo de sustrato al monitorear estas variables el fruto de tomate hidropónico tiene un mayor peso y diámetro. Para esto en el periodo de cosecha del tomate se realiza un promedio del peso y diámetro de tomate riñón variedad Daniela comparando el producto de dos contenedores, un contenedor con el sustrato BMPRO y otro con el sustrato BM2 (**ver Figura 96**).

En ambos experimentos, el controlador de riego toma como señal de entrada (o decisión) la medida entregada por los sensores.

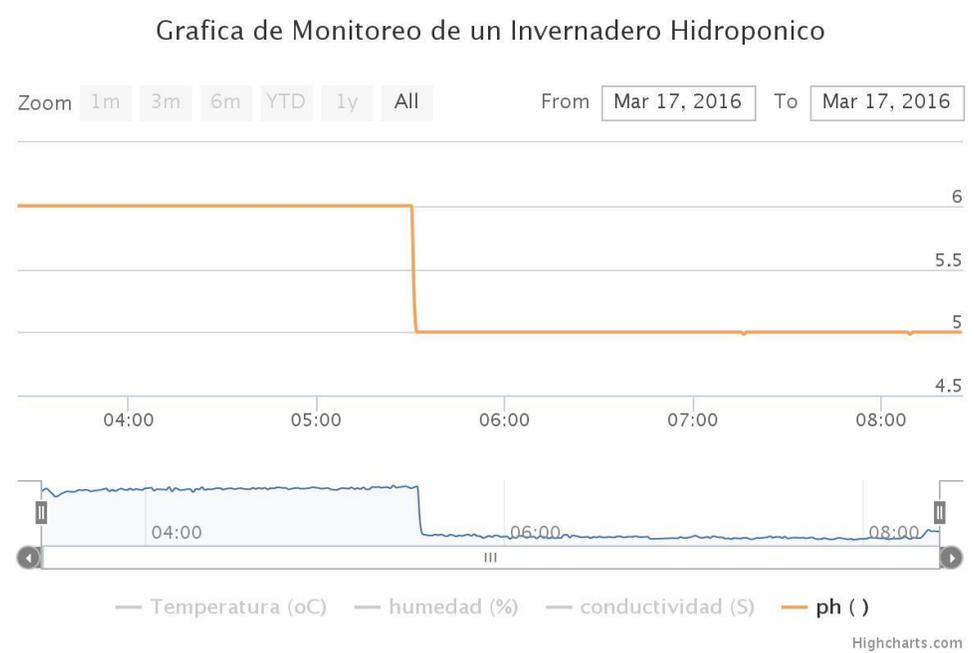


Figura 95: Experimento 1.

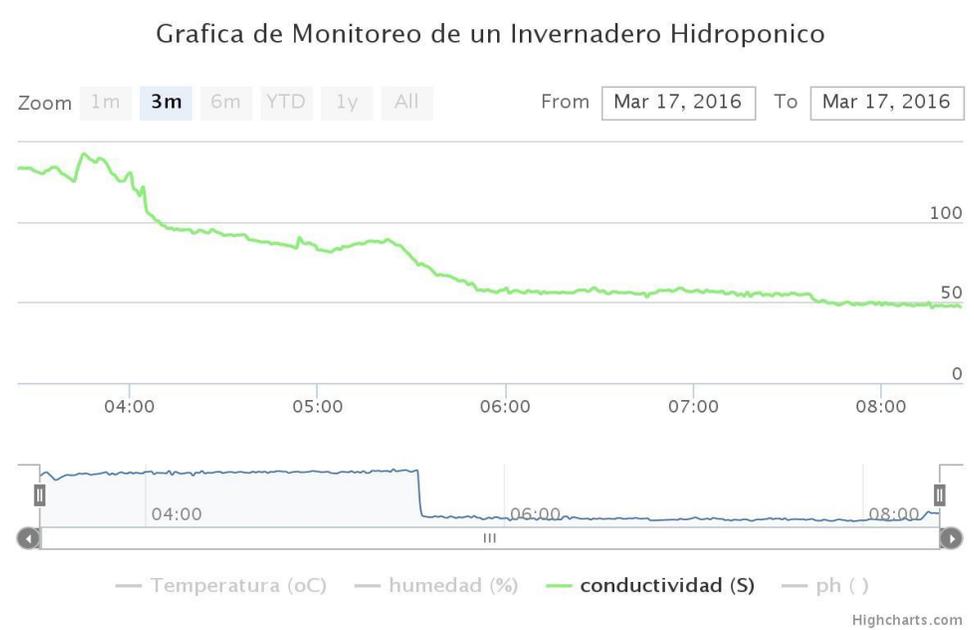


Figura 96: Experimento 2.

A continuación se muestra el crecimiento de las plantas de tomate riñón variedad Daniela efectuando el monitoreo de las variables humedad, temperatura,

pH, y conductividad eléctrica del suelo, y el control de riego por goteo de recurso hídrico y solución nutritiva, cabe mencionar que el trasplante de la planta se realizó el 7 de Septiembre del 2015. La **(Figura 97)** muestra el crecimiento de la planta a los 7 días del trasplante, correspondiente al 14 de Septiembre del 2015.



Figura 97: Crecimiento de la planta a los 7 días del trasplante.

La **(Figura 98)** muestra el crecimiento de la planta a los 12 días del trasplante, correspondiente al 19 de Septiembre del 2015.



Figura 98: Crecimiento de la planta a los 12 días del trasplante.

La **(Figura 99)** muestra los primeros frutos de las plantas al mes tres días desde su trasplante, correspondiente al 10 Octubre del 2015.



Figura 99: Obtención de frutos verdes después de un mes con tres días.

La **(Figura 100)** muestra la obtención del primer fruto rojo, a los dos meses y nueve días después del trasplante, correspondiente al 16 de Noviembre del 2015.



Figura 100: Primer Fruto rojo obtenido a los dos meses y nueve días.

La planta de tomate riñón variedad Daniela trasplantada en suelo, a cuatro metros del invernadero tipo túnel construido para este proyecto, rindió frutos a los ocho meses, pero es notable la plaga que está presente **(ver Figura 101)**.



Figura 101: Planta de tomate riñón variedad Daniela trasplantada en suelo.

La **(Figura 102)** muestra el mal crecimiento de la planta a pesar de tener ocho meses en proceso de crecimiento.



Figura 102: Máximo crecimiento de la planta de tomate cultivada en tierra.

La **(Figura 103)** muestra el crecimiento de la planta de tomate riñón bajo el sistema implementado, es evidente que la carga de frutos de Tomate y el tamaño de la planta es mayor en comparación con las plantas cultivadas en tierra.



Figura 103: Crecimiento de la planta con mayor tamaño y frutos a los tres meses.

En cuanto a los resultados: En el Experimento 1 se obtuvo que el riego de recurso hídrico en la mañana es de 10 minutos cada 3 horas, mientras que en la noche es de 3 minutos cada día; mientras que el riego de solución nutritiva en la mañana y la noche es de 8 minutos cada 5 horas; En el Experimento dos se obtuvo que los frutos de tomate riñón variedad Daniela tuvieron mejor peso y diámetro en el Sustrato BM2.

En este proyecto la inversión total neta fue de \$3000; en la primera cosecha la venta de tomate por semana sumo los \$100 ya que por cada hilera se obtuvo 6 cajas de tomate, es decir que en un promedio por mes los ingresos por la venta del producto fueron de \$105, anualmente el promedio total de ingreso neto es de

\$900. Esto quiere decir que la recuperación de la inversión realizada será al cabo de los 10 meses de implementación del proyecto; al cabo del año y medio, las ganancias será netas. Hay que tomar en cuenta que el precio de venta de este tomate no varía en ninguna época del año porque es un producto de alta calidad y netamente orgánico.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES

- Desde el aspecto tecnológico, se destaca el desarrollo de una herramienta capaz de monitorear y controlar eficazmente el sistema de riego por goteo en función de la medición continua de la temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica en el suelo utilizando sensores vernier en la zona radicular del cultivo. El sistema implementado presenta de manera amena, precisa y rápida, el comportamiento del sistema, brindando al operario de riego una herramienta de seguimiento y al agrónomo una base de datos.
- El controlador efectúa la programación del riego de manera efectiva, entregando la dosis de recurso hídrica necesaria para cubrir los requerimientos de la planta, evitando las dosis excesivas, además se controló la adecuada nutrición de la planta evitando enfermedades en el cultivo.
- En el control de riego por goteo automático se alcanzan los niveles deseados de humedad, temperatura, pH y conductividad eléctrica del suelo, logrando así el equilibrio correcto de agua, y nutrientes, lo cual es vital para un crecimiento saludable el cultivo. Debido a que el controlador opera en lazo cerrado, éste modifica de forma automática e inmediata el periodo y dosis de riego ante perturbaciones climáticas.

- Al realizar el control de las variables: temperatura, pH, humedad, y conductividad eléctrica del suelo, con los sensores colocados en la zona radicular del cultivo, se obtiene un ahorro de recurso hídrico y la planta pudo absorber todos los nutrientes que necesita para su adecuado crecimiento en el momento adecuado.
- El control de las variables ayudo a que la producción de tomate no presente posibles deficiencias nutricionales, ya que no se observa hasta el momento alguna enfermedad en el cultivo.
- Al controlar las variables del crecimiento de la planta de tomate el tiempo de desarrollo de la planta se aceleró, obteniendo los primeros frutos al mes y en el año más producción.
- Se ahorró recurso hídrico, fertilizantes e insecticidas, no se usó maquinaria agrícola (tractores, rastras, etc.), y la planta obtuvo una mejor nutrición.
- Hasta el momento se observa que el cultivo está libre de parásitos, bacterias, hongos y contaminación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- *Agronegocios y Tecnología* . (02 de Agosto de 2011). Recuperado el 01 de Febrero de 2015, de http://agrytec.com/agricola/index.php?option=com_content&view=article&id=8088:la-agricultura-no-tradicional-en-el-ecuador&catid=10:articulos-tecnicos&Itemid=9.
- *HYDRO ENVIROMENT*. (2013). Recuperado el 01 de Febrero de 2015, de http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=44
- *Agrotransfer*. (2014). Recuperado el 01 de Febrero de 2015, de http://www.agrotransfer.org/index.php?option=com_content&view=article&id=99:tipos-de-invernaderos&catid=45:articulo-tecnico&Itemid=112
- *Arduino*. (2016). Recuperado el 01 de Febrero de 2015, de <https://www.arduino.cc/>
- *Vernier*. (2016). Recuperado el 15 de Enero de 2015, de <http://www.vernier.com/products/sensors/sound-level-probes/sls-bta/>
- Agropecuaria, I. N. (2007). Curso de Agricultura de Precisión y Maquinas Precisas. *EEA INTA* .
- Albert, C. W. (2010). *Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición* . México, D.F : Prentice Hall .
- Antillón, A. (2006). Hidroponía cultivo sin riego. Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). Cultivo en hidroponía. Buenos Aires, Argentina.
- García, E., & Flego, F. (2010). Agricultura de Precisión. *Tecnología Agropecuaria*, 100-107.
- J.B., W. Y. (2005). Un controlador autónomo para el sitio específico de gestión de sistemas de riego fijos. *Computadoras y sensores en la agricultura*, 183-197.
- Julio, P. (2013). Aspectos a considerar en una instalacion de Cultivo Hidropónico. *Agricola: Area de invernaderos*.

- MC, R. (2012). *Buena Siembra*. Recuperado el 01 de Febrero de 2015, de <http://buenasiembra.com.ar/ecologia/articulos/el-cultivo-hidroponico-requerimientos-basicos-1501.html>
- Millán, S. (2010). *Automatización neumática y electroneumática*. México, D.F : Marcombo.
- Mundial, G. d. (2016). *Población total mundial* . Recuperado el 01 de Febrero de 2016, de <http://datos.bancomundial.org/indicador/sp.pop.totl>
- Pacheco, A. (Mayo de 2013). *Asesores en Ccontrucción y extensión agrícola S.A.* . Recuperado el 01 de Febrero de 2015, de <http://acea.com.mx/articulos-tecnicos/alex-j-pacheco/43-i-introduccion-114-ventajas-y-desventajas-del-uso-de-invernaderos>
- Shock, C., & Welch, T. (2013). El riego por goteo. *Técnicas para la Agricultura Sostenible*.
- Snyder, R. (Mayo de 2012). Agricultura. *Cultivo de tomate en invernadero* . Misisipi.
- Sumpsi, J. M. (2011). Seminario de mercados de materias primas. *Volatilidad de los mercados agrarios y crisis alimentaria* . Barcelona , España.
- Tamayo, A. M. (2010). La Agricultura orgánica y la agricultura tradicional: una alternativa intercultural. *Programa de estudios Socioambientales-FLASCO* .
- Vega, J. A., & Pérez Ruiz, M. (2010). Agricultura de Precisión: hacia la integración de datos espaciales en la producción agraria. *Ambienta*.
- Zárate, B. (2007). Instituto Politécnico Nacional Interdisciplinario de Investigación para el desarrollo integral. *Producción de tomate hidropónico bajo sustratos, bajo invernadero*.

ANEXOS

Anexo 1. Colocación de los Sensores.



Anexo 2. Código de programación en Arduino para el control de Riego Automático.

```
void configure_mb_slave(long baud, char parity, char txenpin);
```

```
int update_mb_slave(unsigned char slave, int *regs,
                    unsigned int regs_size);
```

```
enum {
  COMM_BPS = 19200,
  MB_SLAVE = 1,
  PARITY = 'n'
};
```

```
enum {
  temperatura,
  humedad,
  conductividad,
  ph,
  relea,
  releb,
  c1,
  tr1,
  tr2,
  hr1,
  hr2,
  cer1,
  cer2,
```

```

    phr1,
    phr2,
    hora,
    minuto1,
    segundo1,
    conth,
    contm,
    conts,
    segundo2,
    minuto2,
    hora2,
    contah,
    contam,
    contas,
    horaa,
    minutoa,
    segundoa,
    horaa2,
    minutoa2,
    segundoa2,
    contphh,
    contphm,
    contphs,
    horaph,
    minutoph,
    segundoph,
    horaph2,
    minutoph2,
    segundoph2,
    contch,
    contcm,
    contcs,
    horac,
    minutoc,
    segundoc,
    horac2,
    minutoc2,
    segundoc2,
    releh,
    relec,
    MB_REGS
};

int regs[MB_REGS];

#include <math.h>
#include <Wire.h>
#include "RTCLib.h"
const int analogInPin = A0;
const int analogInPin1 = A1;
const int analogInPin2 = A2;
const int analogInPin3 = A3;
int rele1 = 10;
int rele2 = 11;
long int a, b, c, d;
int i, j;
const int numReadings = 15;

```

```
int readings[numReadings];
int index = 0;
int average = 0;
int total = 0;
int tempin = 0;
int conduin = 0;
int humein = 0;
int PHin = 0;
int PHout = 0;
int tempout = 0;
int conduout = 0;
int humeout = 0;
int tref1 = 0;
int tref2 = 0;
int href1 = 0;
int href2 = 0;
int ceref1 = 0;
int ceref2 = 0;
int phref1 = 0;
int phref2 = 0;
int timez = 0;
int minuto = 0;
int segundo = 0;
int timez1 = 0;
int minutoll = 0;
int segundoll = 0;
int ch = 0;
int cm = 0;
int cs = -1;
int var = 0, var2 = 0;
int seg1;
int min1;
int hor1;
int cah = 0;
int cam = 0;
int cas = -1;
int vara = 0, vara2 = 0;
int sega;
int mina;
int horra;
int cphh = 0;
int cphm = 0;
int cphs = -1;
int varph = 0, varph2 = 0;
int segph;
int minph;
int horph;
int cch = 0;
int ccm = 0;
int ccs = -1;
int varc = 0, varc2 = 0;
int segc;
int minc;
int horc;

RTC_DS1307 RTC;
void setup() {
```

```

Wire.begin();
RTC.begin();
RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));

pinMode(rele1, OUTPUT);
pinMode(rele2, OUTPUT);
configure_mb_slave(COMM_BPS, PARITY, 0);

for (int thisReading = 0; thisReading < numReadings; thisReading++)
  readings[thisReading] = 0;
}

void retardo() {

  for (i = 0; i < 465; i++) {
    delay(1);
    update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
  }
}

void loop() {
  DateTime now = RTC.now();

  minuto = (now.minute());

  segundo = (now.second());

  tempin = analogRead(analogInPin);
  tempout = map(average, 0, 1023, 0, 50);
  humein = analogRead(analogInPin1);
  humeout = map(humein, 0, 1023, 0, 95);
  conduin = analogRead(analogInPin2);
  conduout = map(conduin, 0, 1023, 0, 2000);

  PHin = analogRead(analogInPin3);

  PHout = map(PHin, 0, 1023, 0, 14);

  regs[temperatura] = tempout;
  update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
  regs[humedad] = humeout;
  update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
  regs[conductividad] = conduout;
  update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
  regs[pH] = PHout;
  update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
  tref1 = 21;
  regs[tr1] = tref1;
  update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);

  tref2 = 28;
  regs[tr2] = tref2;
  update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);

  href1 = 60;
  regs[hr1] = href1;
  update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}

```

```

href2 = 80;
regs[hr2] = href2;
update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);

ceref1 = 1;
regs[cer1] = ceref1;
update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);

ceref2 = 500;
regs[cer2] = ceref2;
update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);

phref1 = 5;
regs[phr1] = phref1;
update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);

phref2 = 8;
regs[phr2] = phref2;
update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);

if ((tempout < 29 ) && (humeout > 59 && humeout < 81))
{
    if (var != 0) {

        seg1 = segundo;
        min1 = minuto;
        hor1 = timez;
        var = 0;
        var2 = 1;
    }
    digitalWrite(rele1, HIGH);
    regs[relea] = !digitalRead(rele1);
    regs[segundo2] = seg1;
    regs[minuto2] = min1;
    regs[hora2] = hor1;
    update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}
else
{
    if (var == 0) {
        seg1 = segundo;
        min1 = minuto;
        hor1 = timez;
        var = 1;
    }
    retardo();
    regs[segundo1] = seg1;
    regs[minuto1] = min1;
    regs[hora] = hor1;
    cs = cs + 1;
    regs[conts] = cs;
    if (var2 != 0) {
        cs = 0;
        cm = 0;
        ch = 0;
        var2 = 0;
        regs[contm] = cm;
    }
}

```

```

regs[conth] = ch;
regs[conts] = cs;
update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}
if (cs >= 60) {
cs = 0;
cm = cm + 1;
regs[contm] = cm;
regs[conts] = cs;
update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}
if (cm > 59) {
cm = 0;
ch = ch + 1;
regs[conth] = ch;
update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}
digitalWrite(rele1, LOW);
regs[relea] = !digitalRead(rele1);
update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}
if ((humeout > 59 && humeout < 81) && (tempout < 29 ))
{
if (vara != 0) {
sega = segundo;
mina = minuto;
horra = timez;
vara = 0;
vara2 = 1;
}
digitalWrite(rele1, HIGH);
regs[releh] = !digitalRead(rele1);
regs[segundoa2] = sega;
regs[minutoa2] = mina;
regs[horaa2] = horra;
update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}
else
{
if (vara == 0) {
sega = segundo;
mina = minuto;
horra = timez;
vara = 1;
}
retardo();
regs[segundoa] = sega;
regs[minutoa] = mina;
regs[horaa] = horra;
cas = cas + 1;
regs[contas] = cas;
if (vara2 != 0) {
cas = 0;
cam = 0;
cah = 0;
vara2 = 0;
regs[contam] = cam;
}
}

```

```

    regs[contah] = cah;
    regs[contas] = cas;
    update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}
if (cas >= 60) {
    cas = 0;
    cam = cam + 1;
    regs[contam] = cam;
    regs[contas] = cas;
    update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}
if (cam > 59) {
    cam = 0;
    cah = cah + 1;
    regs[contah] = cah;
    update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}

digitalWrite(rele1, LOW);
regs[releh] = !digitalRead(rele1);
update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}

if ((PHout >= 5 && PHout <= 8) && (conduout >= 1 && conduout <= 500))
{
    if (varph != 0) {
        segph = segundo;
        minph = minuto;
        horph = timez;
        varph = 0;
        varph2 = 1;
    }

    digitalWrite(rele2, HIGH);
    regs[releb] = !digitalRead(rele2);
    regs[segundoph2] = segph;
    regs[minutoph2] = minph;
    regs[horaph2] = horph;
    update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}
else
{
    if (varph == 0) {

        segph = segundo;
        minph = minuto;
        horph = timez;
        varph = 1;
    }
    retardo();
    regs[segundoph] = segph;
    regs[minutoph] = minph;
    regs[horaph] = horph;

    cphs = cphs + 1;
    regs[contphs] = cphs;
}

```

```

if (varph2 != 0) {
    cphs = 0;
    cphm = 0;
    cphh = 0;
    varph2 = 0;
    regs[contphm] = cphm;
    regs[contphh] = cphh;
    regs[contphs] = cphs;

    update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}
if (cphs >= 60) {
    cphs = 0;
    cphm = cphm + 1;
    regs[contphm] = cphm;
    regs[contphs] = cphs;
    update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}

if (cphm > 59) {
    cphm = 0;
    cphh = cphh + 1;
    regs[contphh] = cphh;
    update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}

digitalWrite(rele2, LOW);
regs[releb] = !digitalRead(rele2);
update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}
if ((conduout >= 1 && conduout <= 500) && (PHout >= 5 && PHout <= 8))
{
    if (varc != 0) {

        segc = segundo;
        minc = minuto;
        horc = timez;
        varc = 0;
        varc2 = 1;
    }
    digitalWrite(rele2, HIGH);
    regs[relec] = !digitalRead(rele2);
    regs[segundoc2] = segc;
    regs[minutoc2] = minc;
    regs[horac2] = horc;
    update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}
else
{
    if (varc == 0) {

        segc = segundo;
        minc = minuto;

```

```

    horc = timez;
    varc = 1;
}
retardo();
regs[segundoc] = segc;
regs[minutoc] = minc;
regs[horac] = horc;

ccs = ccs + 1;
regs[contcs] = ccs;

if (varc2 != 0) {
    ccs = 0;
    ccm = 0;
    cch = 0;
    varc2 = 0;
    regs[contcm] = ccm;
    regs[contch] = cch;
    regs[contcs] = ccs;

    update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}
if (ccs >= 60) {
    ccs = 0;
    ccm = ccm + 1;
    regs[contcm] = ccm;
    regs[contcs] = ccs;
    update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}

if (ccm > 59) {
    ccm = 0;
    cch = cch + 1;
    regs[contch] = cch;
    update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}

digitalWrite(rele2, LOW);
regs[relec] = !digitalRead(rele2);
update_mb_slave(MB_SLAVE, regs, MB_REGS);
}
}

```

Anexo 3. Código de programación en PHP para comunicación con la Base de Datos.

```

<?php
$dbhost = "localhost";
$dbuser = "root";
$dbpass = "sensores";
$dbname = "valores";
$con = mysqli_connect($dbhost,$dbuser,$dbpass,$dbname); ?>

```

Anexo 4. Código de programación en PHP para envío de Datos a la Base de Datos.

```

<?php
header('Content-Type: application/json');
$pdo=new
PDO("mysql:dbname=sensores;host=localhost","root","kabt10");
switch($_GET['Consultar']){
    // Buscar Último Dato
    case 1:
        $statement=$pdo->prepare("SELECT ID as x,
temperatura as y FROM valores ORDER BY ID DESC LIMIT 0,1");
        $statement->execute();
        $results=$statement->fetchAll(PDO::FETCH_ASSOC);
        $json=json_encode($results);
        echo $json;
        break;
    // Buscar Todos los datos
    default:

        $statement=$pdo->prepare("SELECT ID as x,
temperatura as y FROM valores ORDER BY ID ASC");
        $statement->execute();
        $results=$statement->fetchAll(PDO::FETCH_ASSOC);
        $json=json_encode($results);
        echo $json;
        break;
}
?>
Datoscondu.php
<?php
header('Content-Type: application/json');
$pdo=new
PDO("mysql:dbname=sensores;host=localhost","root","kabt10");
switch($_GET['Consultar']){
    // Buscar Último Dato
    case 1:
        $statement=$pdo->prepare("SELECT ID as x,
conductividad as y FROM valores ORDER BY ID DESC LIMIT 0,1");
        $statement->execute();
        $results=$statement->fetchAll(PDO::FETCH_ASSOC);
        $json=json_encode($results);
        echo $json;
        break;
    // Buscar Todos los datos
    default:

        $statement=$pdo->prepare("SELECT ID as x,
conductividad as y FROM valores ORDER BY ID ASC");
        $statement->execute();

```

```

        $results=$statement->fetchAll(PDO::FETCH_ASSOC);
        $json=json_encode($results);
        echo $json;
    break;

}
?>
Datoshume.php
<?php
header('Content-Type: application/json');
$pdo=new
PDO("mysql:dbname=sensores;host=localhost","root","kabt10");
switch($_GET['Consultar']){
    // Buscar Último Dato
    case 1:
        $statement=$pdo->prepare("SELECT ID as x,
humedad as y FROM valores ORDER BY ID DESC LIMIT 0,1");
        $statement->execute();
        $results=$statement->fetchAll(PDO::FETCH_ASSOC);
        $json=json_encode($results);
        echo $json;
    break;
    // Buscar Todos los datos
    default:

        $statement=$pdo->prepare("SELECT ID as x, humedad
as y FROM valores ORDER BY ID ASC");
        $statement->execute();
        $results=$statement->fetchAll(PDO::FETCH_ASSOC);
        $json=json_encode($results);
        echo $json;
    break;

}
?>

```

Anexo 5. Código de programación en HTML para graficar los Datos en la Web con ayuda de HighCharts.

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
    <script src="jquery-2.1.4.js"></script>
    <script src="highcharts.js"></script>
    <script src="exporting.js"></script>
</head>
<body>
<form method="get" action="indehume.html">

```

```

<input type="submit" value="Monitoreo Humedad" />

</form>
<br>

<form method="get" action="/indecondu.html">

<input type="submit" value="Monitoreo Conductividad " />

</form>
<br>

<form method="get" action="/indeph.html">

<input type="submit" value="Monitoreo PH" />

</form>

    <div ID="container" style="min-width: 310px; height: 400px;
margin: 0 auto"></div>

    <script>
    $(function () {
    $(document).ready(function () {
        var ultimox;
        var ultimoy;

        $.ajax({
            url: "datos.php",
            type: 'get',
            success: function(DatosRecuperados) {
                $.each(DatosRecuperados, function(i,o){
                    if (o.x) {DatosRecuperados[i].x =
parseInt(o.x);}
                    if (o.y) {DatosRecuperados[i].y =
parseFloat(o.y);}
                });

                setx(DatosRecuperados[(DatosRecuperados.length)-
1].x);
                sety(DatosRecuperados[(DatosRecuperados.length)-
1].y);

                $('#container').highcharts({
                    chart:{
                        type: 'spline',
                        animation: Highcharts.svg,
                        marginRight: 10,

```

```

        events: {load: function () {series =
this.series[0];}}
        },
        title:{text: 'Monitoreo Temperatura'},
        xAxis:{tickPixelInterval: 150},
        yAxis:{title: {text: 'Temperatura '},
        plotLines: [{value: 0,width: 1,color:
'#808080'}]}
        },
        tooltip: {
        formatter: function () {
        return '<b>' + this.series.name +
'</b><br/>' +
        Highcharts.dateFormat('%Y-%m-%d %H:%M:%S', this.x, 2) +
'<br/>' +
        Highcharts.numberFormat(this.y,
2);
        }
        },
        legend: {
        enabled: true
        },
        exporting: {
        enabled: false
        },
        series: [{ name: 'Temperatura',
data:DatosRecuperados}]
        });
    });
    setInterval(function () {
$.get( "datos.php?Consultar=1", function(
UltimosDatos ) {
        var varlocalx=parseFloat(UltimosDatos[0].x);
        var varlocaly=parseFloat(UltimosDatos[0].y);

        if((getx() !=varlocalx)&&(gety() !=varlocaly)){

        series.addPoint([varlocalx, varlocaly], true,
true);

        setx(varlocalx);
        sety(varlocaly);
        }
        });}, 1000);

function getx(){return ultimox;}
function gety(){return ultimoy;}
function setx(x){ultimox=x;}
function sety(y){ultimoy=y;}

});

```

```

    </script>
  </body>
</html>

```

Anexo 6. Código de programación para el envío de datos por medio de la Ethernet Shield.

```

#include <Ethernet.h>
#include <SPI.h>

byte mac[] = {0x90, 0xA2, 0xDA, 0x00, 0x51, 0x06};
byte ip[] = { 192, 168, 55, 99 };
byte server[] = { 192, 168, 55, 100 };
EthernetClient client;
const int analogInPin = A0;
const int analogInPin1 = A1;
const int analogInPin2 = A2;
const int analogInPin3 = A3;

int tempin = 0;
int conduin = 0;
int humein = 0;
int PHin = 0;
int ph = 0;
int temperatura = 0;
int conductividad = 0;
int humedad = 0;

void setup(void) {
  Ethernet.begin(mac, ip);
}

void loop(void) {

  tempin = analogRead(analogInPin);
  temperatura = map(tempin, 0, 1023, 0, 50);

  humein = analogRead(analogInPin1);
  humedad = map (humein, 0, 1023, 0, 95);

  conduin = analogRead(analogInPin2);
  conductividad = map(conduin, 0, 1023, 0, 2000);

  PHin = analogRead(analogInPin3);
  ph = map(PHin, 0, 1023, 0, 14);

  Serial.println("Connecting...");
  if (client.connect(server, 80) > 0) {
    client.print("GET /tutoiot/iot.php?temperatura=");
    client.print(temperatura);
    client.print("&humedad="); client.print(humedad);
    client.print("&conductividad="); client.print(conductividad);

```

```
client.print("&ph="); client.print(ph);
client.println(" HTTP/1.0");
client.println("User-Agent: Arduino 1.0");
client.println();
Serial.println("Conectado");
} else {
  Serial.println("Fallo en la conexion");
}
if (!client.connected()) {
  Serial.println("Disconnected!");
}
client.stop();mk
client.flush();
}
```



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN.

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor **KEVIN DAVID BEDÓN ÁLVAREZ** y la señorita **ANDREA YAJAIRA TOVAR HERRERA**.

En la ciudad de Latacunga, a los 25 días del mes de Mayo del 2016.

PhD. Víctor Hugo Andaluz Ortiz.

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por



Ing. Franklin Silva

DIRECTOR DE LA CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca Corrales

SECRETARIO ACADÉMICO