



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

---

---

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”  
ZACATENCO**

**DISEÑO E INSTALACIÓN DE SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO  
PARA ORQUÍDEA *ONCIDIUM SPHACELATUM* EN INVERNADERO DE  
LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHAPINGO**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**

**PRESENTAN**

**CRISTIAN GUERRERO MORO  
RUBÉN ARMANDO ESCALONA MENDOZA  
GERARDO TAPIA HERNÁNDEZ**

**ASESORES**

**ING. TERESITA SUÁREZ PEDRAZA  
DR. CHRISTOPHER RENÉ TORRES SAN MIGUEL**



CIUDAD DE MÉXICO, A 11 DE DICIEMBRE DE 2018

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

**T E M A   D E   T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE    INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**  
**POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN    TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL**  
**DEBERA (N) DESARROLLAR        C. CRISTIAN GUERRERO MORO**

**C. RUBEN ARMANDO ESCALONA MENDOZA**

**C. GERARDO TAPIA HERNANDEZ**

**“DISEÑO E INSTALACIÓN DE SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO PARA ORQUÍDEA ONCIDIUM SPHACELATUM EN INVERNADERO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHAPINGO”**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO EFICIENTE Y CONFIABLE PARA AYUDAR A LA PRESERVACIÓN DE LA ORQUÍDEA ONCIDIUM SPHACELATUM DENTRO DE INVERNADERO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.

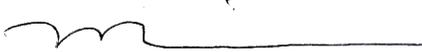
- ❖ MARCO CONTEXTUAL
- ❖ SELECCIÓN DE EQUIPO Y MATERIAL
- ❖ DESARROLLO DEL SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO
- ❖ RESULTADOS Y COSTOS

**CIUDAD DE MÉXICO, A 11 DE DICIEMBRE DE 2018.**

**A S E S O R E S**

  
**ING. TERESITA SUÁREZ  
PEDRAZA**

  
**DR. CHRISTOPHER RENÉ  
TORRES SAN MIGUEL**

  
**M. EN C. MIRIAM GÓMEZ ÁLVAREZ**  
**JEFA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA**  
**EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**



**Instituto Politécnico Nacional**

Presente

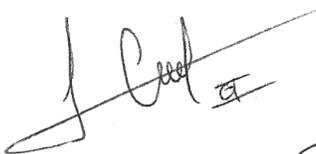
Bajo protesta de decir verdad los que suscriben **Cristian Guerrero Moro, Rubén Armando Escalona Mendoza y Gerardo Tapia Hernández**, manifestamos ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **“Diseño e Instalación de Sistema de Riego Automatizado para Orquídea *Oncidium Sphacelatum* en Invernadero de la Universidad Autónoma de Chapingo”**, en adelante **“La Tesis”** y de la cual se adjunta copia, un impreso y un cd, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgamos al **Instituto Politécnico Nacional**, en adelante **El IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales o en cualquier otro medio; para apoyar futuros trabajos relacionados con el tema de **“La Tesis”** por un periodo de **1 año** contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **El IPN** de su terminación.

En virtud de lo anterior, **El IPN** deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores de **“La Tesis”**.

Adicionalmente, y en nuestra calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de **“La Tesis”**, manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de **“La Tesis”**, por lo que deslindamos de toda responsabilidad a **EL IPN** en caso de que el contenido de **“La Tesis”** o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumimos las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México a 15 de Agosto de 2019

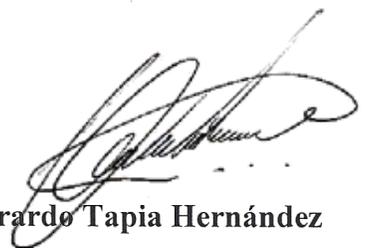
Atentamente



**Cristian Guerrero Moro**



**Rubén Armando Escalona Mendoza**



**Gerardo Tapia Hernández**

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta tesis está dedicada a mis padres, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más. Gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

**Félix Guerrero y María de la Luz Moro.**

A la mujer que le estoy infinitamente agradecido es a mi esposa, ya que, sin su apoyo incondicional, este proyecto no podría ser posible. Que, con su amor y respaldo, me ayuda alcanzar mis objetivos y ha estado conmigo en todo momento.

**Andrea Yeraldín Martínez Aceves.**

Estas increíbles personas que son mi familia, les valoro tanto la enseñanza de que “Incluso la tarea más grande se puede lograr, si se hace un paso a la vez”.

Agradezco también en estas líneas, la ayuda que muchas personas y colegas me han prestado, así como su conocimiento, no solo durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo, sino a lo largo de mi carrera universitaria.

**Profesores y amigos.**

De manera especial a mi tutora de tesis, por haberme guiado no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de mi formación profesional y haberme brindado el apoyo para seguir cultivando mis valores.

**Ing. Teresita Suárez Pedraza.**

Agradezco al Instituto Politécnico Nacional, por formar parte de mi crecimiento profesional, mental y social y a la E.S.I.M.E. Zacatenco, por ofrecerme los conocimientos y herramientas necesarias que me motivaron a desarrollarme como persona y profesionista.

# ÍNDICE

OBJETIVO GENERAL.....	xi
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	xi
JUSTIFICACIÓN .....	xi
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	xii
PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1 - MARCO CONTEXTUAL.....	2
1.1 Antecedentes .....	2
1.2 Tipos de invernadero.....	2
1.2.1 Invernadero plano o tipo parral .....	3
1.2.2 Invernadero asimétrico o inacral .....	3
1.2.3 Invernadero de doble capilla .....	4
1.2.4 Invernadero túnel o semicilíndrico.....	4
1.3 Características del cultivo (invernadero) .....	5
1.3.1 Temperatura.....	5
1.3.2 Iluminación.....	6
1.3.3 Sustrato.....	6
1.3.4 Trasplante .....	6
1.3.5 Humedad .....	6
1.3.6 Riego .....	7
1.4 Especies de Orquídea Oncidium .....	8
1.4.1 Oncidium Sphacelatum .....	10
1.4.2 Oncidium Flexuosum .....	11
1.4.3 Oncidium Leucochilum.....	11
1.4.4 Oncidium Bifolium.....	12
1.4.5 Oncidium Splendidum.....	13
1.5 Sistemas de riego .....	14
1.5.1 Riego por microaspersión.....	14

1.5.2 Riego por goteo .....	15
1.5.3 Riego hidropónico .....	15
1.5.4 Riego por sistemas recirculados .....	16
1.6 Sistema hidráulico para el riego de Orquídeas Oncidium.....	16
1.6.1 Policloruro de vinilo (PVC) .....	16
1.6.2 Polietileno de baja densidad (PEBD) .....	17
1.6.3 Tubería micro-tubing.....	17
1.7 Tipos de bombas para riego de orquídeas Oncidium.....	18
1.7.1 Bombas centrifugas .....	18
1.7.2 Bombas periféricas .....	18
1.8 Tipos de controladores .....	19
1.8.1 Relevador lógico programable ABB .....	19
1.8.2 Siemens LOGO 230 RC .....	20
1.8.3 Microcontrolador (Arduino).....	23
<b>CAPÍTULO 2 - SELECCIÓN DE EQUIPO Y MATERIAL .....</b>	<b>25</b>
2.1 Depósito de recurso hidrológico.....	25
2.2 Selección de la tubería de Policloruro de Vinilo (PVC) .....	26
2.2.1 Cálculo del flujo del sistema.....	26
2.2.2 Cálculo de la tubería de descarga .....	26
2.2.3 Selección de válvulas de paso.....	28
2.3 Cálculo de la bomba .....	28
2.3.1 Potencia de la bomba .....	32
2.3.2 Selección de electroválvula .....	34
2.4 Sistema de descarga.....	34
2.5 Sistema de control .....	35
2.6 Lista de equipo y material .....	37
<b>CAPÍTULO 3 - DESARROLLO DEL SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO .....</b>	<b>40</b>
3.1 Condiciones físicas del invernadero.....	42
3.1.1 Temperatura y humedad relativa .....	43
3.2 Diseño de sistema hidráulico para riego de la orquídea.....	45

3.2.1 Diseño de la instalación eléctrica del sistema de riego automatizado .....	49
3.3 Distribución de sistema de riego .....	52
3.4 Instalación de PLC LOGO! en gabinete.....	56
3.5 Diseño de la programación para el riego automático .....	58
<b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS Y COSTOS.....</b>	<b>63</b>
4.1 Mayor aprovechamiento y eficiencia de su recurso hidrológico.....	63
4.2 Ahorro de esfuerzo laboral agrónomo.....	64
4.2.1 Optimización del crecimiento de la orquídea .....	66
4.3 Costo general del proyecto .....	67
4.3.1 Costo de material empleado.....	67
4.3.2 Clasificación de mano de obra.....	68
4.3.3 Análisis de salarios en México .....	69
4.3.4 Costo total de la inversión del proyecto. ....	69
4.4 Costo – Beneficio .....	70
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>71</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>72</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>74</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Estructura de Oncidium .....	8
Figura 1. 2 Estructura de la Flor .....	9
Figura 1. 3 Oncidium Sphacelatum. Estructura de una planta de la especie a cultivar .....	10
Figura 1.4 Oncidium Flexuosum Estructura de la planta.....	11
Figura 1. 5 Oncidium Leucochilum Estructura de la planta .....	12
Figura 1. 6 Oncidium Bifolium, estructura de la planta.....	12
Figura 1. 7 Oncidium Splendidum, estructura de la flor.....	13
Figura 1.8 Tipos de Microaspersores .....	14
Figura 1. 9 Composición química del Policloruro de Vinilo. ....	16
Figura 1.10 Bomba Centrífuga.....	18
Figura 1. 11 Bomba periférica. ....	19
Figura 1. 12 Relé Lógico gama CL.....	20
Figura 1. 13 Presentación de LOGO 230RC.....	21
Figura 1. 14 Software LOGO! Soft Confort V8.0. ....	22
Figura 1. 15 Arduino UNO. ....	24
Figura 2. 1 Diagrama de elementos de un sistema de riego.....	25
Figura 2. 2 Deposito de recurso hidrológico.....	26
Figura 2. 3 Diagrama de Moody. ....	30
Figura 2. 4 Microaspersor 360° .....	35
Figura 2. 5 Microtubing. ....	35
Figura 2. 6 Entradas y salidas PLC LOGO!.....	36
Figura 3. 1 Desarrollo del sistema. ....	40
Figura 3. 2 Ubicación la Universidad Autónoma De Chapingo, foto Google Maps. ....	41
Figura 3. 3 Condiciones físicas censado en Texcoco de Mora, México, datos obtenidos por INEGI....	41
Figura 3. 4 Dimensiones de invernadero y distribución de zonas. ....	42
Figura 3. 5 Ubicación de la zona de clima cálido húmedo donde se instala el sistema de riego.....	43
Figura 3. 6 Oncidium Sphacelatum.....	46

Figura 3. 7 Crecimiento de la orquídea de la primera maceta con 40 ml de agua. ....	48
Figura 3. 8 Crecimiento de la orquídea de la primera maceta con 50 ml de agua. ....	48
Figura 3. 9 Crecimiento de la tercera maceta con 60 ml de agua. ....	48
Figura 3. 10 Diagrama unifilar primera parte. ....	51
Figura 3. 11 Diagrama unifilar segunda parte.....	52
Figura 3. 12 Distribución de sistema de riego. ....	52
Figura 3. 13 Distribución de Orquídeas .....	53
Figura 3. 14 Diseño en Solid Works de tinaco con bomba.....	53
Figura 3. 15 Conexión física de tinaco con bomba.....	54
Figura 3. 16 Instalación de filtro.....	54
Figura 3. 17 Electroválvula instalada.....	54
Figura 3. 18 Microaspersor instalado en maceta con Orquídea. ....	55
Figura 3. 19 Sistema hidráulico y descarga de riego. ....	55
Figura 3. 20 Microtubing y aspersores en macetas.....	55
Figura 3. 21 Gabinete con protección IP68.....	57
Figura 3. 22 Gabinete con PLC Logo! e interruptor de protección. ....	58
Figura 3. 23 Diagrama de bloques de sistema de riego. ....	58
Figura 3. 24 Temporizador semanal. ....	59
Figura 3. 25 Ajuste semanal.....	59
Figura 3. 26 Funciones básicas. ....	60
Figura 3. 27 Función de retardo a la conexión.....	61
Figura 3. 28 Programación de sistema de riego automatizado. ....	62
Figura 4. 1 Comparación de sistema manual y sistema automático. ....	64
Figura 4. 2 Orquídea seca producto a falta de riego. ....	65
Figura 4. 3 Riego por parte de personal del orquideario.....	65
Figura 4. 4 Sistema de riego implementado.....	66
Figura 4. 5 Floración de la Orquídea Oncidium Sphacelatum.....	66
Figura 4. 6 Crecimiento de la orquídea gracias al sistema de riego automatizado.....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Promedio de máximos y mínimos de temperatura solicitada por cada especie de orquídea. ...	5
Tabla 1. 2 Recomendaciones de acuerdo con la cantidad de agua necesaria dependiendo de cada caso.	7
Tabla 2. 1 Diámetros comerciales de tubería de PVC hidráulico. ....	28
Tabla 2. 2 Rugosidad absoluta de Materiales. ....	29
Tabla 2. 3 Valores de coeficiente de pérdidas. ....	31
Tabla 2. 4 Potencias nominales de motores trifásicos. ....	33
Tabla 2. 5 Lista de equipo. ....	37
Tabla 3. 1 Características principales de la orquídea Oncidium. ....	44
Tabla 3. 2 Temperatura y Humedad Relativa en el mes de Julio. ....	44
Tabla 3. 3 Maceta 1 y 2 con 40 y 50 ml de agua ....	46
Tabla 3. 4 Maceta 3 con 60 ml de agua ....	47
Tabla 3. 5 Selección de conductores conforme a la NOM – 001 – SEDE – 2012 artículo 430 – 35. ....	50
Tabla 3. 6 Siglas de los tipos de aislamientos sobre los conductores. ....	51
Tabla 4. 1 Riego de orquídeas manualmente ....	63
Tabla 4. 2 Consumo de agua con sistema automático. ....	64
Tabla 4. 3 Costos de materiales. ....	67
Tabla 4. 4 Costos de Ingeniería del Proyecto. ....	69
Tabla 4. 5 Costo de la inversión del proyecto. ....	70

## OBJETIVO GENERAL

Diseño y construcción de un sistema de riego automatizado eficiente y confiable para ayudar a la preservación de la Orquídea *Oncidium Sphacelatum* dentro de Invernadero de la Universidad Autónoma Chapingo.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una investigación minuciosa sobre las características y cuidados que requiere la especie *Oncidium Sphacelatum*, para llevar a cabo la preservación de esta.
- Instalar un sistema de riego confiable y eficiente que se adapte a las necesidades que requiere la Orquídea *Sphacelatum*, y paralelamente contribuya al ahorro del recurso hidrológico con el que cuenta Universidad Autónoma de Chapingo.
- Automatizar el sistema de riego a través de un controlador que cuente con lógica sencilla y fácil de digerir, para lograr que los agrónomos de la Universidad Autónoma de Chapingo no tengan dificultades y estén familiarizados con la configuración de este.

## JUSTIFICACIÓN

El motivo por el cual se llevó a cabo el diseño e instalación de un sistema de riego automatizado por medio de microaspersores en el invernadero ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco de Mora, Mex; es resultado de la necesidad por parte de los agrónomos de la institución, que se tiene por cuidar y preservar las especies con las que cuenta el “Orquideario Chapingo”; en el caso particular de la especie de orquídea *O. Sphacelatum*, con la que se trabajó en este proyecto, y así mismo cumplir con la seguridad y satisfacción que buscan los agrónomos, obteniendo mejores resultados en el cultivo, proponiendo una alternativa de sistema de riego confiable aprovechado de forma eficiente el recurso higrológico dentro del invernadero.

Recordando que la orquídea es una especie de flora que en algunos casos se encuentra en peligro de extinción dentro de nuestro país, debido a la tala inmoderada, saqueo y exportación prohibida, se busca mantener un mejor control sobre las especies y evitar su total extinción.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Se considera que uno de los principales problemas en el invernadero de la Universidad Autónoma de Chapingo, es el mal aprovechamiento de su recurso hidrológico, el presente proyecto propone el diseño e instalación de un sistema de riego automatizado por medio de microaspersión, para aprovechar y así mismo controlar al máximo el suministro hidrológico, actualmente el riego se realiza de manera manual y de tal forma suele ser inapropiado ya que no existe una cuantificación exacta de cuánta agua requiere la orquídea *Sphacelatum*. Para un desarrollo pleno, se torna demasiado agresivo, recordando que la especie *O. Sphacelatum* es una de las plantas más delicadas e insuficientes dentro del orquideario, debido al descuido del personal docente y alumnado, al no llevar a cabo riegos programados con exactitud.

Con el fin de evitar errores fatales en el cultivo, cuidado y preservación de la orquídea *O. Sphacelatum*, la instalación del sistema de riego automatizado por microaspersión, responde de manera satisfactoria a la necesidad antes mencionada.

## **PRESENTACIÓN DEL PROYECTO**

El presente proyecto surge como respuesta, a la necesidad de instalar un sistema de riego eficiente, dentro del invernadero de la Universidad Autónoma de Chapingo, en este caso dedicado a la preservación de la orquídea *O. Sphacelatum*.

Existe un problema en particular que complica el desarrollo y producción del cultivo de la orquídea *Sphacelatum* de manera satisfactoria, el recurso hidrológico en exceso o por lo contrario insuficiente, así como agresivo, que afecta de manera fatal el desarrollo de la especie *Sphacelatum*.

No olvidando que el recurso hidrológico con el que cuenta la Universidad Autónoma de Chapingo está en constante escasez. Automatizando su sistema de riego, la especie *O. Sphacelatum* mostrará un mejor desarrollo y se logrará la preservación de la especie. Paralelamente se podrá brindar un mejor ahorro de su recurso hidrológico evitando desperdicios innecesarios

Por lo tanto, el diseño e instalación de un sistema de riego automatizado, nos proporciona la pauta para solventar el problema antes mencionado, y así mismo expandir el panorama en cuanto a los resultados esperados, mejorando el cuidado y preservación de la Orquídea *O. Sphacelatum*.

## INTRODUCCIÓN

El diseño e instalación del sistema de riego automatizado busca aumentar las expectativas de los agricultores dedicados al cultivo de orquídea, es decir, ampliar el horizonte de resultados esperados, obteniendo mejoras significativas en el cuidado y preservación de las especies, así como de mantener un control en su recurso hidrológico.

El cultivo de la orquídea *Oncidium Sphacelatum*, se obtiene bajo las condiciones que propicia un invernadero, éste se describe como un sistema agrícola especializado en el cual se lleva a cabo el control del medio climático alterando sus condiciones, por ejemplo, el suelo, la temperatura, la radiación solar, el viento, la humedad y la composición atmosférica.

Mediante esta técnica de protección, se busca cultivar la orquídea, modificando el entorno, alternando los ciclos convencionales, aumentando los rendimientos, mejorando la calidad, la producción, y así mismo prolongar su existencia.

Se tiene como objetivo significativo, en el uso racional y eficiente del recurso hidrológico, ya que actualmente el invernadero, en cuanto al aprovechamiento del agua muestra bastantes deficiencias y descuidos. Dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo el agua escasea a pasos agigantados, y en el caso de la especie con la que se trabajó en este proyecto, si se llegase a presentar un sistema de riego excesivo o por lo contrario escaso, afectaría de manera fatal el cultivo. Se busca brindar alternativas de riego para orquídea *O. Sphacelatum*, como base de investigación, para posteriormente brindar opciones de riego para las más de 800 especies de orquídea, y evitar la extinción de ciertas especies.

Es precisamente por estos motivos que se busca la fabricación del sistema de riego automatizado con el fin de aprovechar al máximo las propiedades climáticas con las que cuenta el invernadero, hacer uso del recurso hidrológico de forma eficiente, de los sustratos y nutrientes que benefician el cultivo de la orquídea.

# CAPÍTULO 1 - MARCO CONTEXTUAL

## 1.1 Antecedentes

Las orquídeas son plantas que pueden cautivar, seducir, fascinar y frustrar. Proporcionan una satisfacción infinita, como sucede cuando se entabla un vínculo especial con una selección de plantas a las que es preciso alimentar y cuidar con regularidad. El rociado diario, el riego y el abono semanal, además de la atención constante a las necesidades de su crecimiento, como la luz, el calor y el bienestar en general de la orquídea, es un proceso muy gratificante. (Wilma Brittershausen, 2013, p.8)

Las orquídeas son plantas maravillosamente adaptables que prosperan casi en todas las situaciones con cierta facilidad siempre y cuando estén en su hábitat natural o se les creó un ambiente ideal a través de invernaderos. Este hecho sorprende a la mayoría de los aficionados que se adentran por primera vez en el mundo de su cultivo. La recompensa de ver los primeros signos de las espigas flotantes en desarrollo (unos pequeños brotes verdes en la base de la primera orquídea), solo es superada por el surgimiento de la gloriosa floración. A menudo, las flores perduran varias semanas, que brindan a quien las contemplan de un indudable placer. (Brian Brittershausen, 2013)

Las orquídeas son plantas de vida larga: una vez adquiridas, perdurarán, siempre y cuando reciban los cuidados necesarios. Siempre indulgentes, las orquídeas florecerán en las condiciones más extremas, incluso a costa de su propia vida cuando la situación lo exija: en un último intento por sobrevivir a partir de las semillas, producirán una postrera exposición de calor. (Brian Brittershausen, 2013, p.9)

Hace un siglo, cuando se pagaban precios desorbitados por los especímenes más finos, con la pretensión de que las orquídeas mantenían y conservaban la salud, se consideraba que estas plantas eran difíciles de cultivar, pues requerían una técnica especializada y unas condiciones atmosféricas de calor y humedad propias de invernadero estructurado. (Brian Brittershausen, 2013, p.9)

Hoy en día, las orquídeas se venden con asiduidad en centros de jardinería, tiendas de floristerías, además de los viveros especializados, donde es posible encontrar una amplia diversidad. Las orquídeas prosperan en los alfeizares de las ventanas como en los pequeños invernaderos de los aficionados a la jardinería. (Brian Brittershausen, 2013, p.9)

## 1.2 Tipos de invernadero

El invernadero es una construcción agrícola de estructura metálica, usada para el cultivo y/o protección de plantas, con cubierta de película plástica translúcida que no permite el paso de la lluvia al interior y que

tiene por objetivo reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas, establecidas en su interior, con cierta independencia del medio exterior y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de las personas en el interior. Los invernaderos pueden contar con un cierre total de plástico en la parte superior y malla en los laterales. (Lesur, 2011)

Los materiales de las estructuras deben ser económicos, ligeros, resistentes y esbeltos, deben formar estructuras poco voluminosas, a fin de evitar sombras de las mismas sobre las plantas, de fácil construcción, mantenimiento y conservación, modificables y adaptables al crecimiento y expansión futura de estructuras, entre los más utilizados tipos de invernaderos o comunes en el mundo se encuentran:

1. Invernadero plano o tipo parral.
2. Invernadero asimétrico o inacrál.
3. Invernadero de doble capilla.
4. Invernadero túnel o semicilíndrico.

### **1.2.1 Invernadero plano 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: La estructura vertical está constituida por soportes rígidos que se pueden diferenciar según sean perimetrales (soportes de cerco situados en las bandas y los esquineros) o interiores (pies derechos). Los pies derechos intermedios suelen estar separados unos 2 m en sentido longitudinal y 4 m en dirección transversal, aunque también se presentan separaciones de 2x2 y 3x4.

### **1.2.2 Invernadero asimétrico o inacrál**

Difiere de los tipos raspa y amagado (tipos de invernadero) 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.

Ventajas de los invernaderos asimétricos:

- Buen aprovechamiento de la luz en la época invernal.
- Es económico.
- Elevada inercia térmica debido a su gran volumen unitario.
- Es estanco a la lluvia y al aire.
- Buena ventilación debido a su elevada altura.

- Permite la instalación de ventilación cenital<sup>1</sup> a sotavento.

Inconvenientes de los invernaderos asimétricos:

- No aprovecha el agua de lluvia.
- Se dificulta el cambio del plástico de la cubierta.
- Tiene más pérdidas de calor a través de la cubierta debido a su mayor superficie desarrollada en comparación con el tipo plano.

### **1.2.3 Invernadero de doble capilla**

Los invernaderos de doble capilla están formados por dos naves yuxtapuestas. Su ventilación es mejor que en otros tipos de invernadero, debido a la ventilación cenital que tienen en cumbrera de los dos escalones que forma la yuxtaposición de las dos naves; estas aberturas de ventilación suelen permanecer abiertas constantemente y suele ponerse en ellas malla mosquitera. Además, también poseen ventilación vertical en las paredes frontales y laterales.

Este tipo de invernadero no está muy extendido debido a que su construcción es más dificultosa y cara que el tipo de invernadero capilla simple a dos aguas.

### **1.2.4 Invernadero túnel o semicilíndrico**

Se caracteriza por la forma de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. 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. Los soportes son de tubos de hierro galvanizado y tienen una separación interior de 5x8 o 3x5 m. La altura máxima de este tipo de invernaderos oscila entre 3,5 y 5 m. En las bandas laterales se adoptan alturas de 2 a 4 m.

El ancho de estas naves está comprendido entre 6 y 9 m y permiten el adosamiento de varias naves en batería. La ventilación es mediante ventanas cenitales que se abren hacia el exterior del invernadero.

Ventajas de los invernaderos tipo túnel:

- a. Estructuras con pocos obstáculos en su estructura.
- b. Buena ventilación.
- c. Buena estanqueidad a la lluvia y al aire.
- d. Permite la instalación de ventilación cenital a sotavento y facilita su accionamiento mecanizado.

---

<sup>1</sup> Que está en la parte superior de un lugar o que procede de ella.

- e. Buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero.
- f. Fácil instalación.

Inconvenientes:

- g. Elevado costo.
- h. No aprovecha el agua de lluvia.

### 1.3 Características del cultivo (invernadero)

El cultivo en invernaderos da la opción de trabajar a una cierta temperatura, iluminación, ventilación y sustratos necesarios para el buen desarrollo de la orquídea.

#### 1.3.1 Temperatura

Cada grupo de orquídeas tiene un rango de temperatura en el cual puede desarrollarse, pero la mayoría no tolera el frío en exceso, por tal motivo, para cultivar orquídeas en climas extremadamente fríos, se debe plantear dónde pasarán el invierno. Según el lugar donde las plantas se ubiquen y el grupo elegido para el cultivo, se les debe ofrecer determinados cuidados. No tienen que alcanzarlas las heladas ni los vientos muy fríos. Para evitar esto, se debe recurrir a una pequeña área para guardarlas durante la noche y o los días muy fríos, pero asegurándose de que seguirán recibiendo buena luz y ventilación. (Freuler, 2015, p. 52)

En este grupo de plantas, es muy importante la amplitud térmica (Tabla 1.1), pues en su mayoría pertenecen a zonas donde esto se produce naturalmente y a veces esta diferencia es abrupta. La amplitud térmica es muy importante para obtener una buena floración. (Freuler, 2015, p. 22)

*Tabla 1. 1 Promedio de máximos y mínimos de temperatura solicitada por cada especie de orquídea.*

Amplitud térmica de algunos géneros		
Géneros	Temperatura mínima noche	Temperatura máxima día
Cymbidium, Oncidium, Sophronitis y Miltonia.	10°C	27°C
Brassavola, Cattleya, Dendrobium y Laelia.	13°C	30°C
Phalaenopsis y Vanda.	15°	32°C

### 1.3.2 Iluminación

Una buena iluminación favorece el desarrollo de la planta y la floración, para las especies con pseudobulbos se recomienda una intensidad de 12.000 a 20.000 lux. Las especies con hojas gruesas y redondas exigen más luz, de 15.000 a 40.000 lux, sin olvidar evitar la luz solar plena. La luz tiene mucha importancia y al respecto se deben tener ciertas consideraciones como estudiar cual es el follaje, es decir sus hojas, para saber qué intensidad de luz necesita la planta. (Freuler, 2015, p. 23)

- Las hojas de lámina más expandidas y de tonos verde oscuro, son características de plantas umbrofilas (adaptadas a zonas oscuras, sombreadas).
- Las hojas más angostas y de tonos verde claro pertenecen a plantas heliófilas (adaptadas a la luz del sol).

### 1.3.3 Sustrato

La corteza de pino es la base esencial de las compostas, junto con un buen drenaje, para que el agua se deslice. Las especies de pequeño tamaño se adaptan muy bien al cultivo en troncos. Aunque por otro lado existen sustratos, como es el caso, que se prestan y suelen ser muy amigables con la especie de orquídea *O. Sphacelatum*, dentro de ellos se encuentra el Tezontle. (Wilma Brittershausen, 2013, p.147)

El tezontle es una roca de origen volcánico, puede ser de color rojo o negro, ofrece buen drenaje, un casi nulo aporte de nutrientes y un pH ligeramente neutro. El Tezontle permite hacer un trasplante a una maceta más grande sin molestar la raíz, simplemente rellenando alrededor con el mismo material.

Al utilizar un material orgánico, hay que limpiar las raíces antes de sembrarlas en el tezontle, ya que, de lo contrario, debido a la descomposición de este material, ocurre un cambio de PH a ácido y se tapan los poros que permiten la aireación.

### 1.3.4 Trasplante

Se tiene que trasplantar cada 2 años, dejando suficiente espacio entre las plantas y el borde de la maceta. No conviene utilizar recipientes demasiado grandes. Es preciso suprimir los bulbos dañados y también las raíces viejas.

### 1.3.5 Humedad

Cuando hacemos referencia a la humedad, no es precisamente al riego, aunque con el mismo sea posible compensar la falta de humedad. Las orquídeas, en su mayoría epifitas, con sus raíces expuestas al aire, habitan normalmente ambientes saturados de humedad. Cuando la humedad relativa es elevada, entre 50 y 70% se producen los siguientes hechos:

- La planta pierde muy poca agua por transpiración.
- El velamen<sup>2</sup> de las raíces se hidrata.

Si la planta está en su hábitat natural no requiere riesgos especiales, pues pierde poca agua y las raíces toman del aire el agua que necesitan. Pero para cultivar orquídeas que no son de zona, es necesario compensar la falta de humedad con riego. Es conveniente tener en cuenta la frase muy utilizada por los cultivadores de Orquídea, “Para matar una orquídea por exceso de agua basta una semana, Para matarla por falta de agua se necesitan unos seis meses”.

Por lo tanto, se debe obrar con cautela. Si bien, no hay un patrón de riego, habrá que establecerlo poco a poco, teniendo en cuenta los puntos detallados en el siguiente cuadro. (Tabla 1.2)

*Tabla 1. 2 Recomendaciones de acuerdo con la cantidad de agua necesaria dependiendo de cada caso.*

Regar más.	Regar menos.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lugares muy iluminados.</li> <li>• Temperatura alta.</li> <li>• Humedad baja.</li> <li>• Corriente de aire fuerte.</li> <li>• Planta cultivada en canastos.</li> <li>• Maceta pequeña.</li> <li>• Maceta porosa (tipo de barro).</li> <li>• Planta en activo crecimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lugares poco iluminados.</li> <li>• Temperatura baja.</li> <li>• Humedad alta.</li> <li>• Corriente de aire leve.</li> <li>• Planta cultivada en maceta.</li> <li>• Maceta grande.</li> <li>• Maceta no porosa (tipo plástico).</li> <li>• Planta en periodo de reposo.</li> </ul>

### 1.3.6 Riego

Hay que dejar escurrir el sustrato entre riego y riego, las plantas deben mantenerse húmedas, pero no demasiado. Si se cultivan sobre troncos, precisaran más agua y pulverizaciones frecuentes. Después de la floración, hay que reducir las aportaciones de agua aproximadamente durante un mes, evitando que se arruguen los pseudobulbos. (Wilma Brittershausen, 2013, p.147)

Es conveniente usar agua de lluvia siempre que se pueda. Pero si no se dispone de agua de lluvia, se debe dejar el agua en un balde aproximadamente 14 horas para que se evapore el cloro. Se debe tener cuidado

<sup>2</sup> Epidermis de la raíz compuesta por células que no están vivas.

para que al regar no quede agua en las axilas de las hojas en las plantas de crecimiento monomodal<sup>3</sup>, porque llevan el meristema<sup>4</sup> terminal que se pudre.

También hay que cuidar que no se produzcan estancamientos de agua en el ambiente de cultivo, dado que facilitan el desarrollo de hongos y el crecimiento de las babosas (enemigas de las orquídeas).

## 1.4 Especies de Orquídea *Oncidium*

Dentro del invernadero de la Universidad Autónoma de Chapingo, se tiene la tarea de preservar la especie de la orquídea *Oncidium*, (Figura 1.1) la cual se caracteriza por una belleza extraordinaria debido a la gran cantidad y la longevidad de las flores dispuestas en racimos, con rayas de diferentes colores.

En la Figura 1.1 se representan las inflorescencias (grupos de flores), las hojas ovaladas en la base, entre cada par de hojas se observa un pseudobulbo característico. Se observa que el crecimiento de la planta es lateral, por lo que corresponde a un crecimiento simpódico, es decir, las ramas laterales donde crecen las inflorescencias son las que crecen. (Wilma Brittershausen, 2013, p.205)



*Figura1. 1 Estructura de Oncidium*

---

<sup>3</sup> Que es de un solo modo de ser, de una sola forma, de un solo proceder y un solo comportamiento.

<sup>4</sup> Es todo tejido vegetal que da origen a nuevas células por división.

En la Figura 1.2 se observa la estructura de la flor del género *Oncidium*. El pétalo central ubicado inferiormente corresponde al labelo.



**Figura 1. 2** Estructura de la Flor

Los oncidios son plantas perennes, normalmente con pseudobulbos verdes limpios y un par de hojas estrechamente ovaladas. Las espigas florales parten de la base del pseudobulbo principal cuando madura, casi en cualquier momento del año, aunque los picos de floración tienen lugar en los meses de otoño. Las especies proceden de toda América tropical y están presentes en diversos hábitats epifitos. (Brian Brittershausen, 2013, p.206)

Son plantas de luz alta que necesitan más claridad que sus parientes de cultivo en frío, de acuerdo con la temperatura los *Oncidium* pueden producirse en climas fríos, intermedios o calientes. Son plantas simpódico, epifitas, en ocasiones litófitas, rara vez terrestres, de 10 a 80 cm de altura y formas variables, que podemos agrupar de la siguiente manera:

- Plantas con pseudobulbos, similares a las del género *Odontoglossum*.
- Con hojas hipogeas<sup>5</sup> dispuestas en dos hileras, plegadas longitudinalmente y engastada las unas en las otras en su base.

Entre las 400 especies de Orquídea en el mundo, aproximadamente del género *Oncidium* hay numerosas plantas extremadamente variadas, que comprenden desde las diminutas pequeñas plantas frondosas en forma de abanico con flores de colores brillantes a ejemplares de grandes bulbos y largas espigas. (Brian Brittershausen, 2013, p.206)

---

<sup>5</sup> Las primeras hojas de una planta cuando emerge de la semilla se denominan cotiledones. Si los cotiledones permanecen debajo del suelo se denominan hipogeas.

Cada especie tiene necesidades especiales, pero en general, a todas las *Oncidium* les gusta ser cultivadas en un lugar no demasiado caliente, debe tener un ambiente húmedo y una muy buena ventilación. Las especies más conocidas y preferidas por los amantes de las orquídeas *Oncidium* son las siguientes:

### 1.4.1 *Oncidium Sphacelatum*

Es una de las especies de *Oncidium* más altas (Figura 1.3) Las espigas florales ramificadas pueden alcanzar 1m de altura con numerosas flores en ramas laterales. *Oncidium Sphacelatum* o popularmente conocida como Oriunda de México, necesita muy buena luz para florecer en primavera. Las flores de las especies de este género poseen todas, una callosidad carnosa en la base del labelo<sup>6</sup>, de ahí su nombre derivado del griego Onkos. Es uno de los géneros más importantes por lo que se refiere al número de especies: conocemos más 500. (Alex Hawkes, 2011)



**Figura1. 3** *Oncidium Sphacelatum*. Estructura de una planta de la especie a cultivar

Origen: Honduras, Guatemala, México, Nicaragua, Venezuela.

Características: Pseudobulbos de 15x3 cm. Hojas de 60x3.5 cm. Inflorescencia<sup>7</sup> que puede llegar a tener 1.8 m, flores de 3cm.

Floración: Febrero - Julio.

Temperatura: En invernadero templado; con una media de 18-28° de día y 15-20° por la noche.

---

<sup>6</sup> El labelo es un pétalo modificado característico en la flor de las orquídeas que se caracteriza por ser de forma irregular y gran tamaño.

<sup>7</sup> Es un conjunto de flores que encuentran agrupadas sobre un mismo tallo y que están determinados por una hoja normal no modificada.

### 1.4.2 *Oncidium Flexuosum*

El *Oncidium Flexuosum* (Figura 1.4) es una orquídea epífita con pseudobulbos cilíndricos aplastados lateralmente de los que salen apicalmente unas hojas coriáceas estrechas oblonga ligulada. De la base del pseudobulbo emerge una vara floral de numerosas flores de tamaño pequeño de unos 2 cm. Posee numerosos tallos florales paniculados con numerosas flores de un amarillo intenso por rama o racimo. Las ramas florales son muy flexibles y trepan y se agarran a soportes como una enredadera. (Lecoufle, 2014)



*Figura 1.4 Oncidium Flexuosum Estructura de la planta.*

Origen: Honduras, Guatemala, México, Nicaragua, Venezuela.

Características: Pseudobulbos de 19x5 cm. Hojas de 60x4.5 cm. Inflorescencia que puede llegar a tener 2.0 m, flores de 5cm.

Floración: Febrero - Julio.

Temperatura: En invernadero templado; con una media de 18-28° de día y 15-20° por la noche

### 1.4.3 *Oncidium Leucochilum*

Es una orquídea epífita (Figura 1.5) de gran tamaño, que prefiere el clima fresco al cálido con pseudobulbos ovoides a ovoide elipsoides, comprimidos y 2 a 3 costillas en cada lado rodeados por varias vainas escariosas. Tienen 2 hojas, apicales, liguladas, coriáceas, con duplicadas en la base, y obtusas. Florece desde la primavera hasta el otoño de una sola inflorescencia axilar de 30 a 360 cm de largo, paniculada con muchas flores de tamaño variable, ceráceas, de larga duración y fragantes. (Lecoufle, 2014)



*Figura1. 5 Oncidium Leucochilum Estructura de la planta*

Origen: Costa Rica, Colombia

Características: Pseudobulbos de 16x3 cm. Hojas de 45x4.5 cm. Inflorescencia que puede llegar a tener 1.7 m, flores de 5cm.

Floración: Febrero - Julio.

Temperatura: En invernadero templado; con una media de 18-28° de día y 15-20° por la noche.

#### **1.4.4 Oncidium Bifolium**

La *Oncidium Bifolium* (Figura 1.6), es una especie popular dentro del género, también es conocida como Gomesa bifolia, o por el nombre de orquídea patito. Esta planta se puede describir como otra orquídea epífita, es decir, que crece en los árboles. En cuanto a la distribución de esta especie se conoce que su origen lo tiene el Sudamérica.



*Figura1. 6 Oncidium Bifolium, estructura de la planta*

Origen: Puerto Rico, Costa Rica, Colombia, Venezuela, Guyana, Surinam, Brasil, Ecuador, Perú y Bolivia

Características: Pseudobulbos envueltos por varias vainas con 2 a 3 hojas apicales, lineales, acuminadas. Produce una inflorescencia colgante, de 1.4 a 2.5 metros de largo, con 7 a 20 flores.

Floración: Diciembre - Marzo

Temperatura: En invernadero templado; con una media de 18-28° de día y 15-20° por la noche.

#### 1.4.5 *Oncidium Splendidum*

La *Oncidium Splendidum* (Figura 1.7), tiene la característica de crecer en las ramas de los árboles, es decir que es considerada como otra orquídea epífita, aunque en algunos casos puede crecer de manera semiterrestre. Las flores en este caso de orquídea llegan a medir unos cuatro centímetros de longitud, de las cuales destaca el particular color amarillo intenso que identifica al género.



*Figura 1. 7 Oncidium Splendidum, estructura de la flor.*

Origen: Honduras, Guatemala

Características: Pseudobulbos envueltos por varias vainas con 2 a 3 hojas apicales, lineales, acuminadas. Produce una inflorescencia colgante, de 1.4 a 2.5 metros de largo, con 7 a 20 flores.

Floración: Febrero - Julio

Temperatura: En invernadero templado; con una media de 18-28° de día y 15-20° por la noche.

## 1.5 Sistemas de riego

La importancia de los sistemas de riego independientes es brindar ayuda al ser humano en cuestión de tiempo, ya que para realizar el riego manual se requiere un cierto tiempo invertido. Con el riego inteligente se espera conseguir acciones prácticas y rápidas sin la necesidad de la mano del ser humano.

Un sistema de riego automatizado es aquel que realiza las funciones que se le impongan de manera autónoma a través de un programador. El cual, por medio de un lenguaje específico, permite programar acciones, tales como los parámetros y restricciones necesarias de riego que solicite la orquídea. Una instalación de riego automatizada se compone principalmente de micro aspersores, sensores de humedad y un programador.

### 1.5.1 Riego por microaspersión

Los microaspersores (Figura 1.8) están destinados a suministrar el riego mediante gotas muy finas. Poseen un deflector giratorio, denominado rotor o bailarina, que ayuda a ofrecer un mayor diámetro de cobertura, una menor tasa de precipitación que los difusores, un mayor tamaño de gota, y una mejor distribución del agua (sobre todo en uniformidad de distribución). Por cada tipo de microaspersor existen varios tipos de rotores (bailarinas).



*Figura 1.8 Tipos de Microaspersores*

La diferencia principal con la nebulización es que la microaspersión se proyecta en agua en forma de chorros diminutos a la planta, en lugar de suministrarla en forma nebulizada, y a su vez disponen de elementos giratorios que distribuyen el agua en la superficie.

Actualmente los emisores de micro difusión presentan múltiples combinaciones en su instalación: Se puede instalar directamente sobre tubería superficial de PE (25 o 35 mm de diámetro) o bien podrán ir dispuestos sobre varillas soporte y microtubo. Tiene un montaje y manejo sencillo, sin necesidad de utilizar herramientas para su instalación. Todos los componentes son intercambiables, permitiendo utilizar el diseño más apropiado para cada necesidad.

Los microaspersores son ideales para riegos de bajo volumen en cultivos hortícolas, fruticultura, flores, invernaderos, viveros, protección contra heladas y riego de jardines. También permiten la aplicación de productos fitosanitarios en la cobertura vegetal de los cultivos.

Su uso está muy extendido en invernaderos, sobre todo en hortícolas de hoja (lechuga, espinaca, col).

### **1.5.2 Riego por goteo**

De forma muy general, se puede definir el riego por goteo como riego localizado. El riego por goteo o riego gota a gota es un método de irrigación que permite una óptima aplicación de agua y abonos en los sistemas agrícolas de las zonas áridas. El agua aplicada se infiltra en el suelo irrigando directamente la zona de influencia radicular a través de un sistema de tuberías y emisores.

Ventajas:

- Reduce de manera importante la evaporación del agua en el suelo.
- Permite automatizar completamente el sistema de riego, con los consiguientes ahorros en mano de obra.
- El control de las dosis de aplicación es más fácil y completo.
- Debido al mantenimiento de humedades altas en el bulbo realizado por los emisores, permite el uso de aguas más salinas para el riego que los sistemas de irrigación por superficie y por aspersión.
- Tiene una adaptación más fácil en terrenos irregulares, rocosos o con fuertes pendientes.
- Reduce la proliferación de malas hierbas en las zonas no regadas.
- Permite el aporte controlado de nutrientes con el agua de riego sin pérdidas por lixiviación con posibilidad de modificarlos en cualquier momento del cultivo.

### **1.5.3 Riego hidropónico**

Se define hidroponía al sistema de regadío por el cual las raíces de los cultivos reciben una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua con todos los elementos químicos necesarios para el desarrollo de las plantas, las cuales pueden crecer directamente sobre la solución mineral, o bien en un sustrato o medio inerte.

Las ventajas de un sistema hidropónico son las siguientes:

- Provee al sistema radicular de un nivel de humedad constante en todo momento, independiente del clima o de la etapa de crecimiento del cultivo. Reduce los riesgos derivados por excesos de irrigación, como la asfixia radicular.

- Proporciona una mejor planificación y operatividad de la plantación.
- Fácil automatización y programación del sistema en niveles variables.
- Optimiza el gasto de agua y fertilizantes.
- Reduce considerablemente los problemas de enfermedades producidas por patógenos del suelo.
- Aumenta los rendimientos y mejora la calidad de la producción.

#### 1.5.4 Riego por sistemas recirculados

Los sistemas de recirculación de drenajes en el riego mediante hidroponía responden a la optimización en el uso del agua mediante su reutilización de tal manera que tras un tratamiento se vuelven a incorporar en el riego, de forma que el sistema consigue un ahorro importante en el uso de agua.

El sistema de recirculación es una de las ventajas que nos ofrece el riego hidropónico. La recolección de drenajes se hace mediante unas bandejas colocadas bajos los sacos de sustrato, las cuales tienen una cierta pendiente y se recogen en toberas al final de cada línea de cultivo, que a su vez se envían por gravedad a depósitos (a los cuales están conectadas todas las líneas de cultivo).

### 1.6 Sistema hidráulico para el riego de Orquídeas *Oncidium*

Existe gran variedad de materiales con los cuales se fabrica una tubería. Pero solo ciertos materiales son seleccionados por su composición y características.

#### 1.6.1 Policloruro de vinilo (PVC)

El Policloruro de Vinilo (PVC) (Figura 1.9) es un moderno, importante y conocido miembro de la familia de los termoplásticos. Es un polímero obtenido de dos materias primas naturales: cloruro de sodio o sal común (NaCl) (57%) y petróleo o gas natural (43%), siendo por lo tanto menos dependiente de recursos no renovables que otros plásticos.

Estudios realizados por el Centro de Ecología y Toxicología de la Industria Química Europea, señalan que la producción de PVC se realiza sin riesgos para el medio ambiente. (ECETOC, 2009)

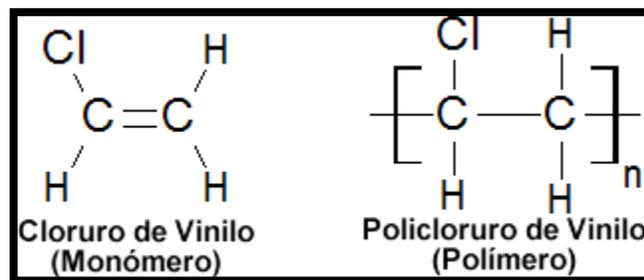


Figura 1.9 Composición química del Policloruro de Vinilo.

El PVC se presenta en su forma original como un polvo blanco, amorfo y opaco. Puede tener las siguientes características:

- Es inodoro, insípido e inodoro, además de ser resistente a la mayoría de los agentes químicos.
- Es ligero y no inflamable por lo que es clasificado como material no propagador de la llama.
- No se degrada, ni se disuelve en agua y además es totalmente reciclable.

### **1.6.2 Polietileno de baja densidad (PEBD)**

El polietileno de baja densidad (PEBD) es un polímero que pertenece a la familia de los polímeros alofónicos, es decir que se deriva de la polimerización de las olefinas.

Algunas de las características principales del polietileno de baja densidad son:

- Alta resistencia al impacto.
- Resistencia térmica.
- Resistencia química.
- Se puede procesar por inyección o extrusión.
- Tiene una mayor flexibilidad en comparación con el polietileno de alta densidad.
- Su coloración es transparente, aunque se opaca a medida que aumenta su espesor.
- Difícilmente permite que se imprima, pegue o pinte en su superficie.

### **1.6.3 Tubería micro-tubing**

Este tipo de tubería es una manguera ciega o poliducto para riego de 3/5 mm de diámetro para riego por goteo, riego por aspersión o riego por microaspersión.

La manguera micro-tubing para micro-riego se fabrica en los Estados Unidos con resinas de polietileno lineal de baja densidad de primera calidad. A nivel mundial, se utiliza en las aplicaciones de micro-riego más exigentes en agricultura y jardinería para conducir agua de riego y fertilizantes a plantas y cultivos de una manera confiable. La cinta de goteo con la ventaja PBX ofrece una sección de paso que optimiza la turbulencia para manejar efectivamente el flujo, ofrecer distribución uniforme y reducir el taponamiento. (EMMSA, 2003)

## 1.7 Tipos de bombas para riego de orquídeas *Oncidium*

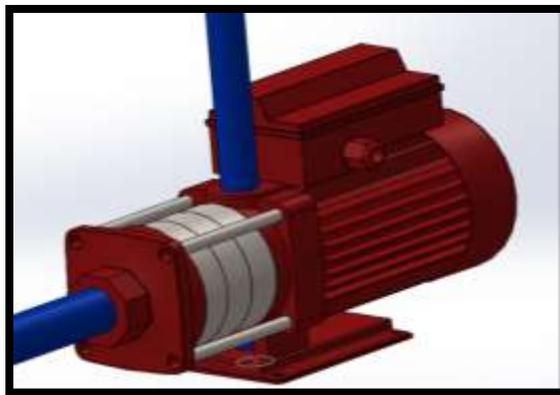
Una bomba hidráulica es una máquina generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada, en energía del fluido incompresible que mueve. El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos como puede ser el hormigón antes de fraguar o la pasta de papel.

Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli.

En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión a otra de mayor presión.

### 1.7.1 Bombas centrífugas

En sí, las bombas centrífugas (Figura 1.10) se le denominan bombas rotodinámicas; en la actualidad es una de las máquinas más utilizadas para llegar a bombear líquidos en general. Toda bomba centrífuga es rotativa y a la vez es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o como también se le dice presión de un fluido incompresible. El fluido entra por el centro del impulsor o rodete que dispone de unos álabes para conducir el fluido y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, cuando ya está impulsado al exterior llega a ser recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba. Debido a la geometría del cuerpo, el fluido es conducido hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente impulsor.



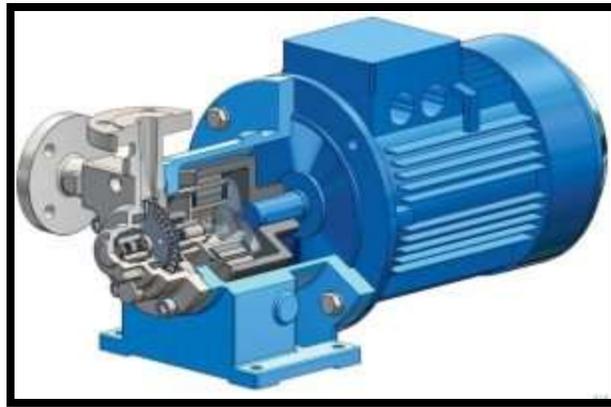
*Figura 1.10 Bomba Centrífuga*

### 1.7.2 Bombas periféricas

Por lo regular la bomba periférica (Figura 1.11) es la que más se usa en centrales hidroeléctricas tipo embalse llamadas también de acumulación y bombeo, donde la bomba llega a consumir potencia, para que en determinado momento pueda actuar como turbina para entregar potencia. También se le conoce

como bombas tipo turbina de vértice y regenerativas, en este tipo se producen remolinos en el líquido por medio de los álabes a velocidades muy altas. La velocidad se genera a través de impulsos de energía extremadamente rápidos y potentes en el impulsor.

Una de las diferencias más notorias físicamente, es el tamaño de la turbina, la periférica tiene una turbina más pequeña mientras que la bomba centrífuga es más grande y esto quiere decir que la bomba centrífuga tiene mucho más caudal que la periférica.



*Figura 1. 11 Bomba periférica.*

## **1.8 Tipos de controladores**

Un PLC es un Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller), en sí es un sistema de control. Los PLC's, son dispositivos electrónicos o computadoras digitales de tipo industrial que permiten la automatización, especialmente de procesos de la industria, debido a que controlan tiempos de ejecución y regulan secuencias de acciones.

De acuerdo con la definición de la NEMA (National Electrical Manufacturers Association) un PLC es: “Un aparato electrónico operado digitalmente, que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos de entrada/salida digitales (ON/OFF) o analógicos (1-5 VDC, 4-20 mA, etc.), varios tipos de máquinas o procesos”.

### **1.8.1 Relevador lógico programable ABB**

Los relés lógicos de la gama CL (Figura 1.12) son idóneos para aplicaciones pequeñas y medianas de control. Pueden reemplazar rápida y fácilmente al cableado tradicional y brindan diversas funciones de software, tales como relés temporizados, contadores incrementales/decrementales, relojes semanales/anuales, comparadores de valores analógicos, pantallas de texto editable, indicadores y

contactos auxiliares. Gracias a su multiplicidad de funciones, puede usarse eficientemente en variados sectores del campo industrial, terciario y doméstico.



*Figura1. 12 Relé Lógico gama CL.*

En cualquier momento y con enorme simplicidad, puede ser regulado y re- programado para satisfacer las nuevas necesidades de mejorar la funcionalidad del sistema. La programación, fácil e intuitiva, puede efectuarse en el teclado del relé o a través de PC conectado mediante interface (LRX C00) y usando el software apropiado (CL-SOFT).

### **1.8.2 Siemens LOGO 230 RC**

El Relé Lógico Programable de SIEMENS modelo LOGO 230 RC (Figura 1.13), es el pequeño gigante de los autómatas para procesos sencillos. Solamente posee 6 entradas digitales (que por cierto funcionan con 1 lógico = 110V y 0 lógico= 0V), 2 entradas analógicas, y cuenta con 4 poderosas salidas de Relé que manejan hasta 8A para corriente alterna y 220Vac.

Si un proceso solamente requiere de 6 entradas y 4 salidas o menos, el LOGO es la mejor solución pues es muy económico y tiene incluso más funciones que los predecesores SIMATIC S5 (por supuesto refiriéndonos a funciones digitales).

La forma de programación es FUP para diagramas de funciones, KOP para esquema de contactos, normalmente este tipo de programación va más enfocado a aplicaciones del tipo PLC y UDF para funciones que se puedan reutilizar, una de las ventajas significativas de LOGO 230 RC es que no necesita computadora para su programación.

Existen más modelos de LOGO con más entradas y salidas, pero al menos el que se muestra en la figura se puede utilizar en muchas aplicaciones.

El LOGO incluye una pantalla de cristal líquido a través de la cual se puede introducir casi cualquier función digital.

No hay mayor complicación con respecto a los módulos de programación y otras funciones que son necesarias en un proceso sencillo.

Además, el LOGO puede conectarse a una red que permite a los nuevos PLC de la SIEMENS hacer las conexiones de las salidas y entradas lo más cerca posible de la planta y ya no más la gran cantidad de alambres desde la planta hacia el PLC, sino que un simple par lleva toda la información de las entradas y salidas.



*Figura1. 13 Presentación de LOGO 230RC.*

Con el programa LOGO Soft-Comfort dispondrá, entre otras, de las siguientes funciones:

- Creación gráfica de su programa offline como diagrama de escalera (esquema de contacto / esquema de corriente) o como diagrama de bloque de funciones (esquema de funciones) simulación del programa en el ordenador.
- Generación e impresión de un esquema general del programa.
- Almacenamiento de datos del programa en el disco duro o en otro soporte.
- Comparación de programas.
- Parametrización cómoda de los bloques.
- ¡Transferencia del programa, Desde LOGO! al PC o Del PC a LOGO!
- Lectura del contador de horas de funcionamiento.
- Ajuste de la hora.
- Ajuste del horario de verano e invierno.

Prueba online: Indicación de estados y valores actuales de LOGO en modo RUN:

- Estados de entradas y salidas digitales, de marcas, de bits de registro de desplazamiento y de teclas de cursor.
- Valores de todas las entradas y salidas analógicas y marcas.

- Resultados de todos los bloques.
- Valores actuales (incluidos tiempos) de bloques seleccionados.
- Interrupción del procesamiento del programa desde el PC (STOP).

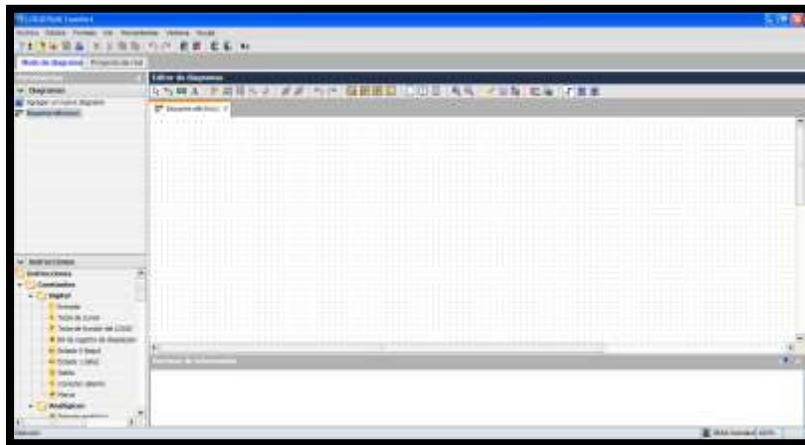
Las funciones más útiles son:

- La simulación offline del programa.
- La indicación simultánea del estado de varias funciones especiales.
- La posibilidad de documentar programas ampliamente.
- La indicación de estados de valores actuales de LOGO en modo RUN.

En la Figura 1.14 se muestra el entorno de trabajo del LOGO Soft-Comfort, aparecen el editor de diagramas, la ventana del área de trabajo donde se realizan los circuitos, una ventana donde se muestran los diagramas e instrucciones y en la parte inferior se muestra la ventana de información.

*Figura 1. 14 Software LOGO! Soft Comfort V8.0.*

- Con el diseño del lazo de control aplicable al sistema automático de riego, habrá que diseñar el programa utilizando el lenguaje de programación del PLC LOGO.
- Introducir el programa diseñado en el simulador del PLC LOGO.



- Comprobar el correcto funcionamiento del programa.
- Realizar las correcciones en caso de ser necesario.
- Proceda a hacer uso del cable de interfaz entre el PLC y la PC para cargar el programa previamente diseñado en el PLC LOGO real. En caso de no poseer el cable de interfaz, proceda a introducir el programa de manera manual.

Los relés lógicos son idóneos para aplicaciones de repetición: Un programa puede utilizarse de forma repetitiva una vez que haya sido diseñado y probado. Esto ahorra tiempo, reduce costos y elimina fuentes de error. El software de programación LOGO-SOFT permite programar fácilmente los relés lógicos siguiendo el método habitual (visualización de esquema de circuitos) y no requiere de conocimientos especiales de programación.

En virtud del inmenso espectro de posibilidades en cuanto a funcionalidad, tensión de funcionamiento, ampliaciones y capacidades de red, los relés lógicos pueden utilizarse en la construcción de maquinaria, la ingeniería de plantas o aplicaciones comerciales.

Se adapta fácilmente a cada tipo de necesidad. Utilizando el módulo de expansión es posible variar de manera inmediata el número de entradas y salidas de la unidad base. Se suministra en 3 versiones base de 10, 12 o 20 entradas / salidas, puede ampliarse expandiendo hasta 3 módulos para alcanzar una configuración máxima de 44 salidas / entradas. Los módulos de expansión de 4 entradas y 4 salidas, están disponibles en las versiones de 24VDC con salida a relé o transistor y para 100÷240VAC con salida a relé.

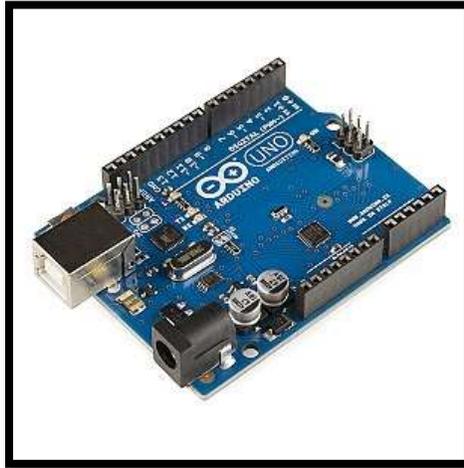
### **1.8.3 Microcontrolador (Arduino)**

Arduino (Figura 1.15) es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos. Arduino puede sentir el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos. El microcontrolador de la placa se programa usando el *Arduino Programming Language* (basado en Wiring) y el *Arduino Development Environment* (basado en Processing). Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador (por ejemplo, con *Flash*, *Processing*, *MaxMSP*)

Las placas se pueden ensamblar a mano o encargarlas preensambladas; el software se puede descargar gratuitamente. Los diseños de referencia del hardware (archivos CAD) están disponibles bajo licencia open-source.

Arduino recibió una mención honorífica en la sección *Digital Communities* del *Ars Electrónica Prix* en 2006. La programación de Arduino es la programación de un microcontrolador.

Esto era algo más de los ingenieros electrónicos, pero Arduino lo ha extendido a todo el público y ha socializado la tecnología.

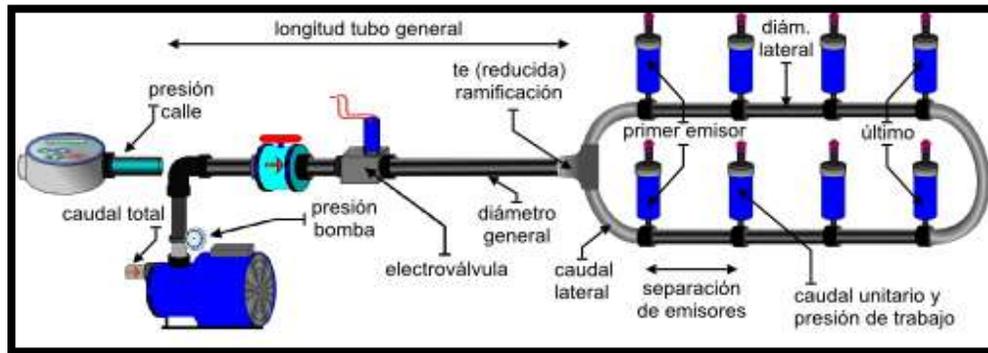


*Figura 1. 15 Arduino UNO.*

El hardware, en su mayoría, está constituido por una váquela electrónica desarrollada en torno a un microcontrolador de Atmel, estas placas se pueden adquirir ensambladas o construirlas directamente ya que en la página se encuentran los planos electrónicos y la licencia del producto lo permite, sin embargo, resultan valer aproximadamente lo mismo y nunca quedan con la calidad de las placas originales. En la actualidad a México están ingresando muchas placas de Arduino de origen chino, las cuales bajan un poco la calidad de los materiales, pero mantienen las mismas funciones que las placas originales provenientes de Italia, esta es la razón por la cual algunos vendedores en mercado libre y tiendas online las ofrecen a un precio bastante bajo.

## CAPÍTULO 2 - SELECCIÓN DE EQUIPO Y MATERIAL

Para poder hacer la selección del equipo y material necesario para el desarrollo del sistema de riego automatizado, hay que conocer cuáles son los elementos principales que componen un sistema de riego por microaspersión. En la Figura 2.1 se muestra el diagrama de los elementos necesarios de un sistema de riego.



*Figura 2. 1 Diagrama de elementos de un sistema de riego.*

Un sistema de riego automatizado está compuesto comúnmente por aspersores conectados a una red de tuberías alimentadas desde una red de agua. La entrada de esta se controla mediante electroválvulas y dispone de llaves de paso para poder cortar el servicio en caso de fallo o mantenimiento del sistema. (López, 2016)

### 2.1 Depósito de recurso hidrológico

El depósito de agua con el que se trabaja es de material plástico y de capacidad de 30 galones. (Figura 2.2) Este depósito es proporcionado por la Universidad Autónoma de Chapingo, ya que, por falta de recursos económicos, la universidad apoya el proyecto de esta manera.

Este depósito puede contener agua por más de 2 meses en su interior sin generar hongo o microorganismos en el agua, evitando así que afecte a las orquídeas con las cuales se está trabajando, o se tapen los orificios de drenaje en las tuberías.

Después de que el tiempo indicado haya transcurrido, se hace el mantenimiento de éste: primeramente, se drena el agua existente en su interior para proceder al lavado, que consiste en enjuagar el depósito únicamente con más agua limpia, sin el uso de jabón o desinfectante alguno.



*Figura 2. 2 Deposito de recurso hidrológico.*

## 2.2 Selección de la tubería de Policloruro de Vinilo (PVC)

Se considera la tubería de PVC para abastecer a las orquídeas ya que es un material rentable ante las demás opciones de tuberías; debido a su elevada resistencia a la abrasión, su baja densidad (1,4 g/cm<sup>3</sup>), una buena resistencia mecánica y al impacto, una resistencia a la corrosión y un bajo costo de instalación.

### 2.2.1 Cálculo del flujo del sistema

El flujo del sistema está determinado por la cantidad de agua que requiere la orquídea y el tiempo que requiere en suministrar el líquido, por lo delicada que es la orquídea, es necesario que el agua tenga una descarga suave y no lastime a la planta.

Se decide que el tiempo de aspersion sea de 10 segundos, junto con los 60 mililitros que necesita la orquídea. Si se sabe que el flujo es directamente proporcional al volumen e inversamente proporcional al tiempo, se puede tener:

$$Q = \frac{60 \text{ ml}}{10 \text{ s}} = 6 \frac{\text{ml}}{\text{s}} \quad (1)$$

Requiriendo el caudal en términos de metros cúbicos:

$$Q = 0.0216 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (2)$$

### 2.2.2 Cálculo de la tubería de descarga

Para el cálculo de la tubería de descarga, se debe considerar el flujo del sistema y la velocidad de descarga para poder así obtener el diámetro de la tubería. La siguiente ecuación representa el cálculo del diámetro de la tubería.

$$Q = V * A \quad (3)$$

Donde:

Q = Flujo del sistema (0.0216 m<sup>3</sup>/h)

V = Velocidad del sistema

A = Área el tubo de PVC [=]  $\left(\frac{\pi * D^2}{4}\right)$

Para efectos de diseño se debe considerar que la velocidad de descarga debe mantenerse en rangos de 0.5 m/s y 2 m/s, ya que, si aumentamos la velocidad, se corre el peligro de que el desgaste de la tubería sea mayor y a su vez podría causar la vibración en la tubería. Así que se deberá considerar un rango de velocidad de 1.5 m/s, aplicando la formula anterior despejando el diámetro de la fórmula:

$$D = \left(\frac{4 * Q}{V\pi}\right)^{0.5} \quad (4)$$

Sustituyendo valores:

$$D = \left(\frac{(4 * 0.0216)}{(1.5)(3.1415)}\right)^{0.5} \quad (4.1)$$

$$D = \left(\frac{0.0864}{4.71}\right)^{0.5} \quad (4.2)$$

$$D = 18.94 \text{ mm} \quad (4.3)$$

El diámetro interior de la tubería es de 18.94 mm, pero debido que se considera imposible la precisión absoluta desde el punto de vista técnico, o bien, no se recomienda por motivos de eficiencia; el propósito de los intervalos de tolerancia es el admitir un margen para las imperfecciones en el sistema. Dado el porcentaje del 30% de tolerancia, que se toma de la NOM-001-CONAGUA-2011 se tiene que:

$$D = 18.34 * .30 = 5.502 \quad (5)$$

$$D = 18.34 + 5.502 = 23.84 \text{ mm} \quad (5.1)$$

Conociendo el valor del diámetro interior, y con ayuda de la Tabla 2.1., se obtiene el valor del diámetro nominal de la tubería de PVC.

**Tabla 2. 1** Diámetros comerciales de tubería de PVC hidráulico.

Diámetro nominal (pulg)	Diámetro Exterior		Diámetro Interior		Espesor de Pared		Presión a 23°C		Peso aprox. Kg/m
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(psi)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
½"	0.84	21.3	0.528	13.4	0.147	3.7	850	59.5	0.3
¾"	1.05	26.7	0.724	18.4	0.154	3.9	690	48.3	0.41
<b>1</b>	1.315	33.4	0.936	<b>23.8</b>	0.179	4.5	630	44.1	0.6
1 ¼"	1.66	42.2	1.255	31.9	0.191	4.9	520	36.4	0.82
1 ½"	1.9	48.3	1.476	37.5	0.2	5.1	470	32.9	1
2"	2.375	60.3	1.913	48.6	0.218	5.5	420	28	1.39
2 ½"	2.875	73	2.29	58.2	0.276	7	400	29.4	2.11
3"	3.5	88.9	2.864	72.7	0.3	7.6	370	25.9	2.83
4"	4.5	114.3	3.786	96.2	0.337	8.6	320	22.4	4.14
6"	6.625	168.3	5.709	145	0.432	11	280	19.6	7.9
8"	8.625	219.1	7.565	192.2	0.5	12.7	250	17.5	11.98
10"	10.75	273.1	9.493	241.1	0.593	15.1	230	16.1	17.78

Se tiene, por lo tanto, que la tubería de descarga de PVC corresponde a un diámetro de 1”.

### 2.2.3 Selección de válvulas de paso

Se considera la válvula de paso del mismo material (PVC) con la medida de 1” de diámetro nominal con las mismas propiedades físicas, que son: la alta resistencia al agua y a la corrosión; evitando también la generación de hongo si dentro de éste quedan residuos de agua. Esta válvula sirve para realizar el corte de suministro de agua si el mantenimiento lo requiere. De igual manera la válvula de corte ayuda en situaciones de emergencia dentro del sistema como son: fugas en la tubería, tubería tapada, regular el paso del agua para evitar fricción dentro del sistema.

### 2.3 Cálculo de la bomba

Para poder dar movimiento al flujo de agua a través de la tubería seleccionada es necesario el uso de una bomba de agua, para lograr aumentar la presión que solicita el sistema de riego que se busca implementar.

Para ello, se utiliza la ecuación para fluidos incomprensibles de Bernoulli, la cual es una ecuación básica para el mecanismo de fluidos.

$$\Delta D = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2xg} + z_2 - \frac{P_1}{\rho} - \frac{V_1^2}{2xg} - z_1 + Pérdidas \quad (6)$$

Las presiones se van a determinar cómo presión atmosférica, por lo que se van a eliminar y la velocidad en el punto 1 y punto 2, van a ser 0 debido a que el agua se encuentra quieta. Si se sabe que:

$$D_{Bomba} = D_{Geodesica} + D_{perdidas\ en\ tuberia} \quad (7)$$

$$D_{Geodesica} = Z_2 - Z_1 = 1.80m - 30cm = 1.5m \quad (8)$$

Al despejar la ecuación (7) y (8) determinamos las pérdidas de tubería como:

$$D_{Perdidas\ en\ tuberia} = D_{Perdidas\ primarias} + D_{perdidas\ secundarias} \quad (9)$$

Entonces tenemos que, a partir de la Ecuación de Darcy para el bombeo de líquidos, las pérdidas en la tubería recta son:

$$D_{Perdidas\ primarias} = H_f = \frac{fLv^2}{2gD} \quad (10)$$

De (10) se necesita calcular el factor de fricción:

$$f = f\left(Re, \frac{\epsilon}{D}\right) \quad (11)$$

Si se sabe que  $Re =$  Número de Reynolds, se tiene la siguiente formula:

$$Re = \rho \frac{vD_H}{\mu} \quad (12)$$

Donde:

$\rho = 992\ kg/m^3$  Densidad del agua (20°C)

$v = 1.5\ m/s$  Velocidad

$D_H = 23.842\ mm = 0.023842\ m$  Diámetro de la tubería

$\mu = 1008 \times 10^{-6}\ kg/m - s$  Viscosidad dinàmica (20°C)

$\epsilon = 0.0015\ mm$  Coeficiente de rugosidad absoluta del material del tubo.

En la Tabla 2.2 se muestra el estándar del coeficiente de rugosidad absoluta del material que se está utilizando.

**Tabla 2. 2** Rugosidad absoluta de Materiales.

Rugosidad absoluta de materiales			
Material	$\epsilon$ (mm)	Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0.0015	Fundición asfaltada	0.06 – 0.18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0.01	Fundición	0.12 – 0.60
Tubos estirados de acero	0.0024	Acero comercial y soldado	0.03 – 0.09
Tubos de latón o cobre	0.0015	Hierro forjado	0.03 – 0.09
Fundición revestida de cemento	0.0024	Hierro galvanizado	0.06 – 0.24
Fundición con revestimiento bituminoso	0.0024	Madera	0.18 – 0.90
Fundición centrifugada	0.003	Hormigón	0.3 – 3.0

Por lo tanto, de la ecuación (12):

$$Re = 992 \frac{1.5 \cdot 0.023842}{1008 \times 10^{-6}} \quad (12.1)$$

$$Re = 35195.3333 \quad (12.2)$$

Entonces,  $Re = 35195.3333$  determina que el flujo de la tubería es turbulento ya que es mayor a 10,000.

El siguiente punto por determinar es la rugosidad relativa mediante el diagrama de Moody y así poder encontrar el factor de fricción.

Tenemos que:

$$\frac{\epsilon}{D_H} = 6.291418 \times 10^{-5} \quad (13)$$

Con este valor se encuentra el factor de fricción con el diagrama de Moody (Figura 2.3).

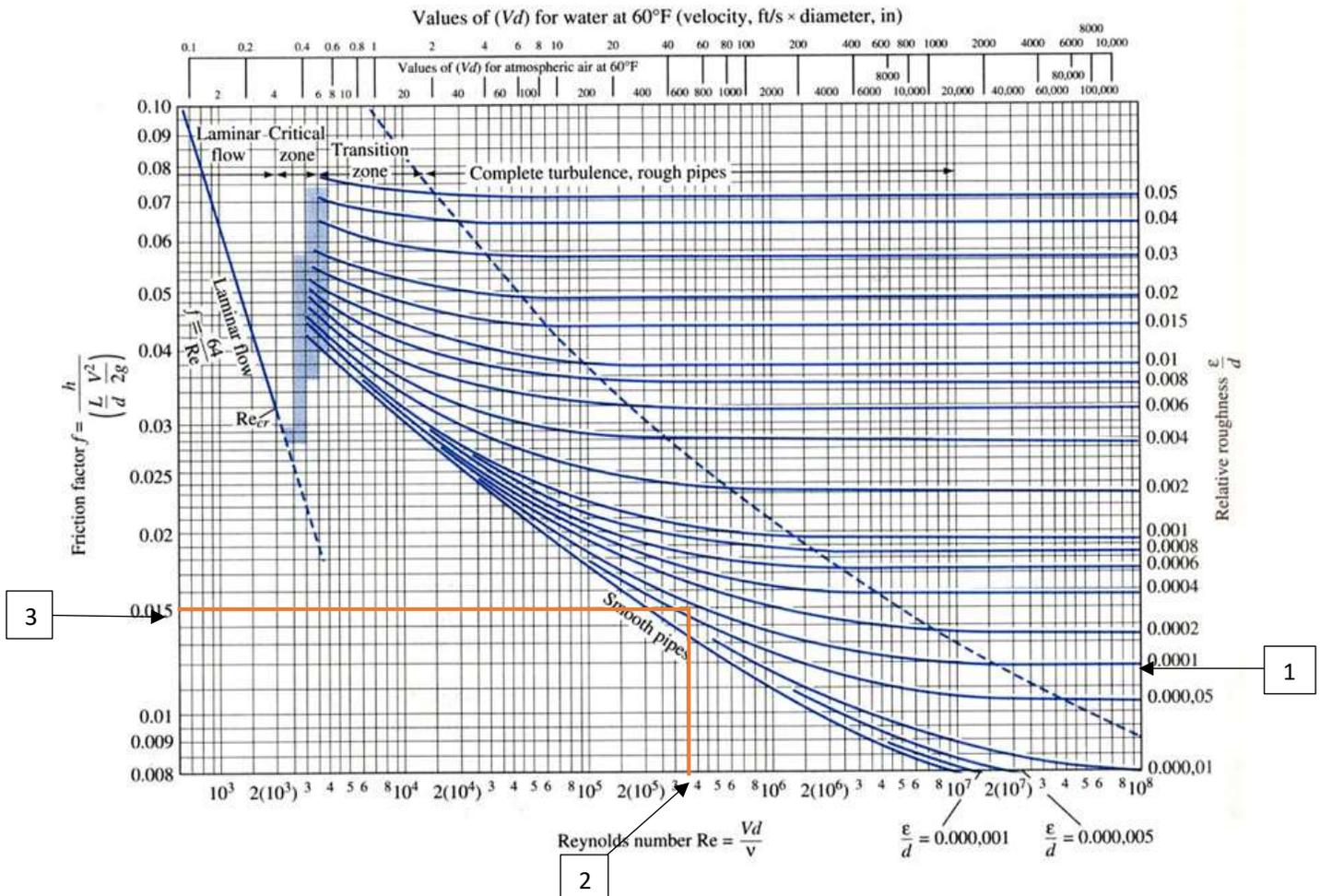


Figura 2.3 Diagrama de Moody.

- 1) Teniendo en cuenta el valor de la rugosidad relativa, se toma el dato de la curva más cercana al dato, el cual es 0.0001.
- 2) En este punto se toma la potencia a la que se encuentra el valor obtenido de Re, si el valor es 35195.3333 la potencia es  $10^5$ .
- 3) A partir del punto seleccionado de Re se traza una recta hasta cruzar con la curva del punto 1.
- 4) En el cruce de la recta perpendicular a la curva y la curva, se traza otra recta, pero esta será en el sentido horizontal para determinar el factor de fricción ( $f$ ).

Por lo tanto:  $f = 0.015$

Ahora se retoma la ecuación de las perdidas primarias:

$$D_{\text{Perdidas primarias}} = H_f = \frac{fLv^2}{2gD} \quad (14)$$

$f = 0.015$

$L = 2.99 \text{ m}$  Que es la longitud desde la succión hasta la descarga sin contar codos.

$$H_f = \frac{(0.015)(2.99)1.5^2}{2(9.81)(0.023842)} \quad (14.1)$$

$$H_f = 0.21572639 \text{ m} \quad (14.2)$$

En la ecuación de las perdidas secundarias se tiene:

$$D_{\text{Perdidas secundarias}} = h_f = \sum k \left( \frac{v^2}{2gD} \right) \quad (15)$$

Mediante la siguiente tabla (Tabla 2.3) se toman los coeficientes "k" en pérdidas singulares dependiendo los números de (codos, tees, etc.).

**Tabla 2. 3** Valores de coeficiente de pérdidas.

Valores del coeficiente K en pérdidas singulares		
Accidente	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2.5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0.2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1.15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5.6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900

Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1.8	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0.9	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0.75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0.6	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0.45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0.4	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0.35	-

Sumatoria de los codos, tees, multiplicado por su coeficiente de pérdida.  $\sum k = 6.05$

Entonces:

$$h_f = 6.05 \left( \frac{1.5^2}{2(9.81)} \right) \quad (16)$$

$$h_f = 0.6938073394 \quad (16.1)$$

Por lo tanto, la pérdida total de la tubería es:

$$D = H_f + h_f = 0.9095337308 \text{ m} \quad (17)$$

### 2.3.1 Potencia de la bomba

Al determinar la pérdida en tubería, se puede determinar la distancia de la bomba a la cual se encuentra del punto de riego.

$$D_{Bomba} = 1.5 \text{ m} + .0.9095337308 \text{ m} \quad (18)$$

$$D_{Bomba} = 2.409533731 \text{ m} \quad (18.1)$$

Entonces la potencia de la bomba que se requiere para el riego de la orquídea es:

$$P = \frac{D_B \cdot \rho \cdot g \cdot Q}{n} \quad (19)$$

Donde:

$n$  = Es la eficiencia de la bomba = 80%

Por lo tanto:

$$P = \frac{2.409533731 \cdot 992 \cdot 9.81 \cdot 0.0216}{0.80} \quad (19.1)$$

$$P = 619.2263 \text{ W} = 0.6192263 \text{ KW} \quad (19.2)$$

La bomba es accionada por un motor eléctrico, por lo que se necesita encontrar la potencia del motor eléctrico. Se tiene la siguiente formula:

$$P = \frac{\text{potencia de la bomba}}{\text{eficiencia de transmisión mecánica}} \quad (20)$$

$$P = \frac{0.6192263}{0.9} \quad (20.1)$$

$$P = 0.688029 \text{ KW} \quad (20.2)$$

Se toma en cuenta la siguiente tabla de valores estándares de motores (Tabla 2.4) para realizar la selección de la bomba adecuada para el suministro.

*Tabla 2. 4 Potencias nominales de motores trifásicos.*

Tabla de potencias nominales de motores trifásicos de inducción 3000/1500 rpm [Cos.φ 0.8]				
KW	HP	220 V	380 V	660 V
0.18	0.25	0.6	0.3	0.2
0.37	0.5	1.2	0.7	0.4
0.55	0.75	1.8	1	0.6
0.74	1	2.4	1.4	0.8
1.1	1.5	3.6	2.1	1.2
1.5	2	4.8	2.8	1.6
2.2	3	7.3	4.2	2.4
2.9	4	9.7	5.6	3.2
4	5.5	13.3	7.7	4.4
5.5	7.5	18.1	10.5	6
7.4	10	24.2	14	8.1
11	15	36.3	21	12.1
133.6	18.5	44.7	25.9	14.9
14.7	20	48.3	28	16.1
18.4	25	60.4	35	20.1
22.1	30	72.5	42	24.2
25	34	82.2	47.6	27.4
29.4	40	96.7	56	32.2
44.2	60	145	84	48.3
55.2	75	181.3	105	60.4
73.6	100	241.7	139.9	80.6
92	125	302.2	174.9	100.7
110.4	150	362.6	209.9	120.9
128.8	175	423	244.9	141
161.9	220	531.8	307.9	177.3
220.8	300	725.2	419.8	241.7

Se selecciona el motor de 1 HP ya que los KW que el sistema requiere son mayores a los de un motor de  $\frac{3}{4}$  de HP.

El motor que se selecciona es de la marca Rotter modelo R09710 que contiene un flujo máximo de 29 l/min, un peso de 4.22 Kg, con 3450 RPM y un diámetro de salida de 25.4mm equivalente a 1". Además, es de costo bajo, esto ayuda a la economía para llevar a cabo el proyecto.

### **2.3.2 Selección de electroválvula**

Para realizar el control automático del caudal de los fluidos, se requiere utilizar electroválvulas, ya que estas son auxiliares de mando, que liberan, bloquean o desvía el paso de un fluido en función del cierre o apertura del circuito eléctrico que compone a la electroválvula, el cual contiene un electroimán.

La electroválvula que se toma en cuenta para realizar el corte de agua suministrada por la bomba es de la marca NaanDanjain que cuenta con un diámetro de 1", voltaje a 24 VCA, una presión de 145 psi (10 bar). Este elemento cuenta con las características para cubrir las necesidades del sistema de riego automático.

## **2.4 Sistema de descarga**

El sistema de riego por microaspersión es un sistema mediante el cual el agua se aplica a los cultivos en forma de lluvia, mojando en su totalidad la superficie cultivada. Se adapta muy bien a los cultivos extensivos, en los que los sistemas de riego frecuentemente resultan inviables por razones técnicas o económicas. Tanto los caudales como las presiones de funcionamiento, así como los alcances de los microaspersores, son mucho mayores que en aspersion, lo que permite una mayor separación entre dichos microaspersores.

Éstos son los últimos elementos que tienen contacto con el agua antes de que esta sea aplicada a las áreas verdes. Usualmente se disponen en posiciones, patrones y alcances diversos con la finalidad de que la aplicación del agua sea uniforme y completa a lo largo y ancho de las orquídeas.

Se consideran 30 microaspersores con la conexión a microtubing, los microaspersores (Figura 2.4) son 360° para que la cortina de agua que el microaspersor proporciona, cubra en su totalidad al pseudobulbo y no tener deficiencias de riego.



*Figura 2. 4 Microaspersor 360°*

Se considera, además, una manguera de caucho o polietileno mejor conocida como microtubing para realizar las conexiones con los aspersores. Las medidas de este material son de 15 cm de largo y 4 mm de diámetro para cada una de las macetas y en total se tienen 30 unidades de microtubing (Figura 2.5) colaborando para todo el sistema de riego.



*Figura 2. 5 Microtubing.*

## **2.5 Sistema de control**

Se decide utilizar el PLC “LOGO!” de la marca SIEMENS, debido a que este cumple con los requerimientos necesarios para lograr la automatización del sistema de riego.

El PLC cuenta con cuatro salidas tipo relevador y ocho entradas digitales las cuales son necesarias para implementar el proyecto de sistema de riego automatizado el cual no es de gran envergadura. Otro punto

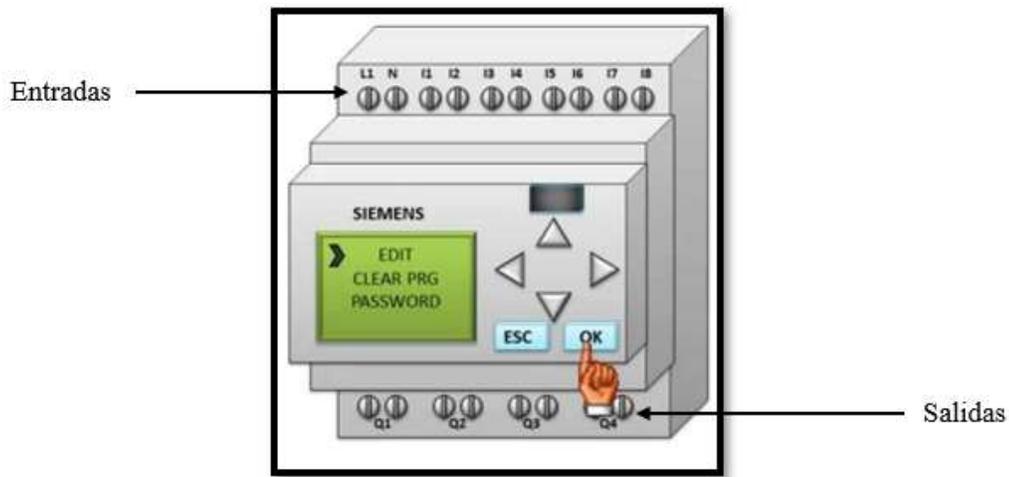
que se toma en consideración para la elección de este PLC, fue el hecho de que la programación es el más común en comparación con otros PLC's de mayor capacidad de procesamiento.

La gran ventaja de este controlador es que tiene una programación fácil de entender, esto hace que cualquier persona dentro o fuera de la rama de la automatización pueda realizar el control de este.

Las entradas digitales del LOGO! 230 RC están divididas en dos grupos, cada uno de los cuales dispone de 4 entradas. Dentro de un grupo debe utilizarse la misma fase en todas las entradas. Sólo entre los grupos puede haber fases distintas. Ejemplo: I1 a I4 en fase L1, I5 a I8 en fase L2.

Si se desea utilizar detectores de humedad, se debe tener en cuenta la corriente de reposo de los detectores. En algunos detectores de humedad la corriente de reposo es tan elevada que LOGO! la interpreta como señal "1". Por ello debe compararse la corriente de reposo de los detectores de proximidad con los datos técnicos de las entradas.

En la entrada I1 sirve como interruptor de arranque, el cual siempre se encuentra en 1 lógico, ya que la programación del PLC se encuentra en diagrama de bloques. La entrada I2 sirve como interruptor de paro, este interruptor ayuda a dar un paro general a todo el sistema en caso de mantenimiento y/o emergencia que pueda surgir dentro del sistema de riego. Estas entradas se encuentran conectadas en una misma fase la cual es L1, como se menciona anteriormente, las fases no se pueden combinar con las entradas I5, I6, I7, I8.



**Figura 2. 6** Entradas y salidas PLC LOGO!

Las salidas de LOGO! son relés. Los contactos de los relés están libres de potencial con respecto a la tensión de alimentación y a las entradas.

Se puede conectar diferentes cargas a las salidas, como, por ejemplo: lámparas, lámparas fluorescentes, motores, protecciones, etc. respecto a las propiedades necesarias de la carga conectada a LOGO!.

Estas salidas están denominadas como Q1, Q2, Q3, Q4, con sus comunes respectivamente COM1, COM2, COM3, COM4. En la salida Q1 es conectada la bomba la cual, al enclavar el relé, entre Q1 y COM1 se cierra el circuito y esto hace que la bomba sea energizada y haga su funcionamiento de recircular el agua contenida en el depósito. Esta salida se encuentra enlazada con la entrada I1, que indica el inicio del proceso y con su programación ya realizada, acciona la bomba.

De igual manera, si la bomba se encuentra en función de que el relé se encuentre energizado y por motivos externos se requiere detener el proceso, la salida Q1 se encuentra enlazada a la entrada I2, que como ya se menciona, ésta entrada tiene la función de paro general, realizando la función de des energizar el relé y así detener el proceso por completo.

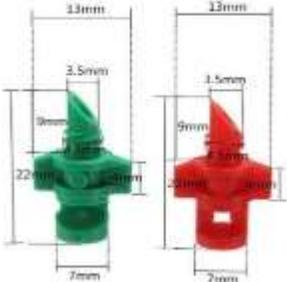
Cada una de las salidas se encuentran enlazadas con las entradas como son: I3 e I4 y se encuentran comandando la salida Q2 y COM2, I5 e I6 con Q3 y COM3, por ultimo las entradas I7 e I8 son enlazadas con Q4 y COM4. Las entradas anteriormente mencionadas son consideradas para proyectos a futuro dentro del mismo invernadero de la Universidad Autónoma de Chapingo, como son el accionar una luz indicadora de nivel de agua dentro del depósito del recurso hidrológico de la universidad. Otra entrada es propuesta para la función de un sensor de humedad. Y, por último, las entradas restantes son consideradas para la instalación de otro sistema de riego de orquídeas dentro de un área diferente y así ir expandiendo la utilidad de este gran equipo que es el LOGO 230 RC.

## 2.6 Lista de equipo y material

En la Tabla 2.5 se hace una descripción general de los componentes de la instalación con base a los requerimientos ya descritos.

*Tabla 2. 5 Lista de equipo.*

Equipo	Esquema
<p>Válvulas esfera</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: PVC</li> <li>• Diámetro: 1”</li> </ul>	

<p>Filtro de agua</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Irritec</li> <li>• Material: polipropileno</li> <li>• Presión máxima: 8 bar a 20°</li> <li>• Flujo nominal: 5 <math>m^3/h</math></li> <li>• Elemento de filtro: malla de acero inoxidable – malla de poliéster (60<math>cm^2</math> )</li> <li>• Diámetro de cartucho: 47mm</li> <li>• Longitud del cartucho: 150 mm</li> <li>• Medida: 1”</li> </ul>	
<p>Cable alambre corriente AWG 14</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensión máxima de operación: 600 V</li> <li>• Resistencia al aceite y/o gasolina</li> <li>• Temperaturas máximas de operación en el conductor: 75° C en ambiente mojado, 90°C en ambiente seco y húmedo.</li> <li>• Colores: negro, rojo, y verde</li> </ul>	
<p>Depósito de Agua</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 250 L de capacidad</li> <li>• Material: Plástico</li> <li>• Abertura inferior de 1”</li> </ul>	
<p>Microaspersores</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 13 mm de diámetro</li> <li>• Presión máxima de trabajo: 3 bar</li> <li>• Distribución uniforme de 360°</li> </ul>	

<p>Tubería de PVC</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Y de 1"</li> <li>• 6 codos de 90°</li> <li>• 5 m de tubería de 1"</li> </ul>	
<p>Gabinete mini Kaedra Schneider Electric</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: polímero autoextinguible</li> <li>• Cubierta a prueba de intemperie</li> <li>• Ancho 159 mm</li> <li>• Altura 200mm</li> <li>• Profundidad 112mm</li> <li>• Temperatura de operación 25° - 60°C</li> </ul>	
<p>PLC Logo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Núm. de entradas analógicas: 0</li> <li>• Núm. de salidas analógicas: 2</li> <li>• Núm. de entradas digitales: 8</li> <li>• Núm. de salidas digitales: 4</li> <li>• Bloques de memoria 200</li> <li>• Voltaje de entrada: 115 VCD/230VCD</li> </ul>	
<p>Pastilla de protección termomagnética</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca ABB</li> <li>• Voltaje mínimo: 120/240 VCA</li> <li>• Capacidad de marco: 100 A</li> </ul>	
<p>Válvula eléctrica NaanDanjain</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro de 1"</li> <li>• Voltaje de 24 VCA</li> <li>• Presión de 10 bar</li> </ul>	

## CAPÍTULO 3 - DESARROLLO DEL SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO

La finalidad de este capítulo es, describir a detalle cada parte del sistema y su funcionamiento para el buen desempeño en el riego de la orquídea *O. Sphacelatum*, así como también, verificar y entender la interconexión de unos con otros.

El sistema de riego cuenta con 2 partes muy importantes para su funcionamiento dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma de Chapingo, los cuales son el Software y el Hardware. El Software que se utiliza es Logo Soft, el cual utiliza un lenguaje a bloques para facilitar el uso de cualquier usuario dentro y/o fuera del ramo de la Automatización y Control. El Hardware consta del controlador, el actuador y el timer del controlador.

Para el diseño e instalación del sistema de riego automatizado para la orquídea *Oncidium Sphacelatum* en el invernadero de la Universidad Autónoma de Chapingo, se deben considerar las condiciones del lugar para el sistema de riego. En el siguiente diagrama (Figura 3.1) se puede visualizar la estructura del desarrollo del sistema de riego automatizado.



*Figura 3. 1 Desarrollo del sistema.*

El sistema de riego automatizado se encuentra ubicado geográficamente en el Km 38.5 de la carretera México – Texcoco (Figura 3.2), dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma de Chapingo, CP. 56230 Texcoco de Mora, Méx.

En el interior de la universidad se encuentran muchos invernaderos de los cuales solo uno se dedica al cuidado de las orquídeas, recibe el nombre de “Orquideario Chapingo” y es considerado una UMA. Las UMA´s son lugares con certificaciones avaladas para el cuidado de este tipo de planta (flor).



**Figura 3. 2** Ubicación la Universidad Autónoma De Chapingo, foto Google Maps.

La temperatura promedio en la ubicación geográfica del invernadero es de 20 grados centígrados aproximadamente, con una humedad relativa promedio de 36%, y una presión atmosférica de 1014 milibares (1 atm, 1,0339 PSIG).

En la Figura 3.3 se muestra el estado climatológico de la ubicación geográfica del invernadero de la tercera semana de octubre (INEGI, 2017).

Fecha	Actual	DO 12	LU 13	MA 14	MI 15	JU 16
Estado del cielo		mist			mist	
Precipitaciones (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Humedad	36%					
T. Máxima (°C)	20°	20°	17°	15°	19°	22°
T. Mínima (°C)	20°	7°	7°	5°	11°	10°
Dirección Viento	NNE	NNE	NE	NNE	WSW	NE
Velocidad del Viento(km/h)	18	6	12	9	5	4
Visibilidad (Km)	20					
Presión Atmosférica (Milibares)	1014					

**Figura 3. 3** Condiciones físicas censado en Texcoco de Mora, México, datos obtenidos por INEGI

Las adaptaciones que tiene el orquideario permiten ubicar zonas por clima para la crianza de diferentes especies:

- Zona cálida húmeda: Esta zona está adaptada con temperaturas entre los 22°y 26°C
- Cálida seca: En esta zona se presentan grandes oscilaciones térmicas, las cuales son entre 40°C durante el día y en la noche presentan disminuciones significativas

- Zona subtropical húmeda: Esta zona está adaptada con temperaturas mayores a los 22°C y la temperatura mínima no desciende de los 18°C
- Zona templada húmeda: Está adaptada a temperaturas mayores a los 18°C
- Zona de crecimiento: Después de que las semillas han tenido su rompimiento son trasladadas a la zona de crecimiento, para posteriormente moverlas a la zona correspondiente al clima requerido dependiendo de su especie.

El orquideario pertenece a la Preparatoria Agrícola. Tiene una superficie de 740 m<sup>2</sup> y alrededor de 66 géneros y 177 especies.

El invernadero cuenta con los siguientes equipos:

- Sistema de calefacción para el control de temperatura
- Sistema de aspersión a plantas reguladoras de humedad

En la Figura 3.4 se observa un plano de las dimensiones del invernadero y las zonas distribuidas dependiendo su temperatura. El invernadero cuenta con tres zonas de suma importancia como ya se ha mencionado anteriormente, las cuales son: a) zona calida seca, b) zona calida húmeda y c) zona húmeda.

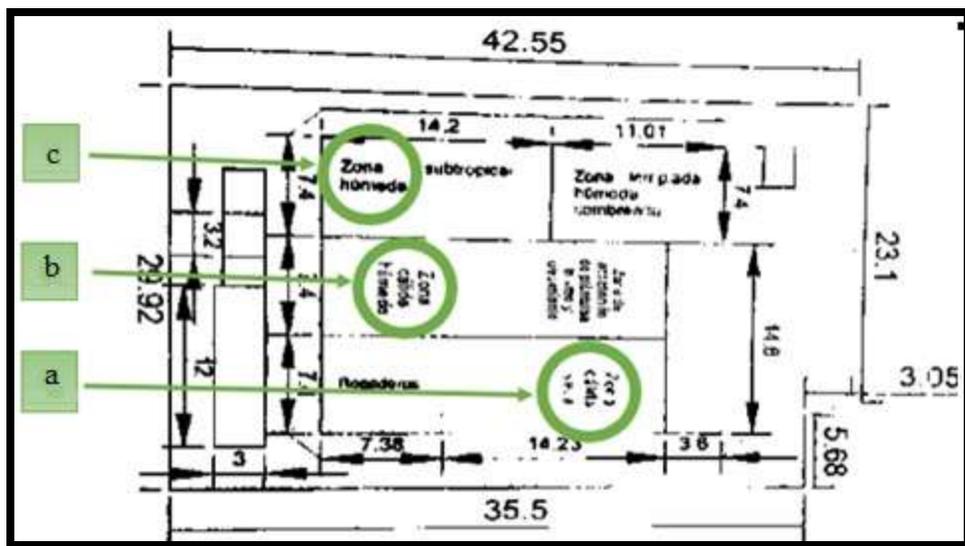
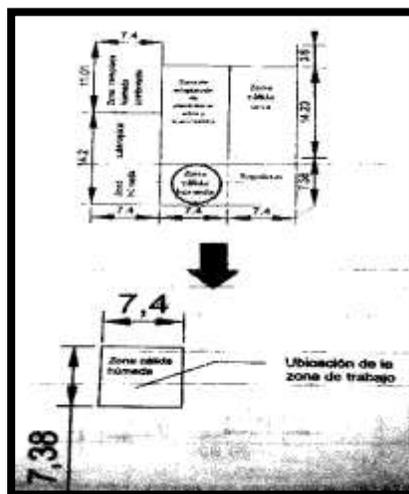


Figura 3. 4 Dimensiones de invernadero y distribución de zonas.

### 3.1 Condiciones físicas del invernadero

El invernadero es de tipo túnel o mejor conocido como semicilíndrico, donde la temperatura promedio se encuentra entre los 24 y 27 grados centígrados. El área en la cual se encuentra la planta *Oncidium Sphacelatum* es semi-húmeda, y requiere una humedad relativa promedio es de 55 a 70 %. En la Figura

3.5 se muestra el lugar de trabajo donde se lleva a cabo la instalación del sistema de riego de acuerdo a las condiciones y características que la orquídea *Oncidium Sphacelatum* demanda.



**Figura 3. 5** Ubicación de la zona de clima cálido húmedo donde se instala el sistema de riego.

### 3.1.1 Temperatura y humedad relativa

El orquideario cuenta con varios géneros de orquídeas y estas están distribuidas en las diferentes áreas del invernadero, de tal manera que cada grupo de orquídeas tiene un rango de temperatura en el cual puede desarrollarse. La mayoría no tolera el frío en exceso, por tal motivo para cultivar orquídeas en climas extremadamente fríos, se debe plantear dónde pasarán el invierno. Según el lugar donde las plantas se ubiquen y el grupo elegido para el cultivo, se les debe ofrecer determinados cuidados. No tienen que alcanzarlas las heladas ni los vientos muy fríos. Para evitar esto, se debe recurrir a una pequeña área donde guardarlas durante la noche o en los días muy fríos, pero asegurándonos de que seguirán recibiendo buena luz y ventilación. (Wilma Brittershausen, 2013)

Cuando se hace referencia a la humedad, no es precisamente al riego, aunque están estrechamente relacionados con el riego, es posible compensar la falta de humedad. Las orquídeas, en su mayoría epifitas, se encuentran con sus raíces expuestas al aire, habitan normalmente en ambientes saturados de humedad y cuando esta es elevada, de entre 50 y 70% se producen los siguientes efectos:

- La planta pierde muy poca agua por transpiración.
- La raíz se hidrata.

La Tabla 3.1 presenta las características ideales del hábitat de la *Oncidium Sphacelatum* para su buen desarrollo y vida sana en cautiverio. Hay que tener mucho en cuenta que estas orquídeas solo se pueden encontrar en invernaderos certificados, está prohibido su consumo comercial.

**Tabla 3. 1** Características principales de la orquídea *Oncidium*.

Orquídea	Temperatura mínima noche	Temperatura máxima día	Humedad relativa
Oncidium Sphacelatum	10 °C	27 °C	50 % Y 70%

El sistema de riego automatizado para la orquídea *Oncidium Sphacelatum*, se desarrolló de acuerdo con la temperatura y la humedad relativa que se censa durante un periodo de 30 días durante mes de Julio, para establecer el sistema de riego idóneo para la orquídea *Oncidium Sphacelatum* se toman en cuenta los datos de la Tabla 3.2

Debido a las condiciones que requiere la orquídea *Oncidium Sphacelatum*, se aprovechan los factores en cuanto temperatura y humedad relativa que son proporcionados por el invernadero, ya que la orquídea se colocó de forma estratégica en el área semi-húmeda del invernadero para obtener resultados óptimos de crecimiento.

**Tabla 3. 2** Temperatura y Humedad Relativa en el mes de Julio.

Mes de julio						
Día	Seca	Semi - húmeda	Húmeda	Seca	Semi - húmeda	Húmeda
	Temperatura (grados centigrados)			Humedad relativa (%)		
1	23	23	26	13	55	63
2	25	24	25	14	50	65
3	21	23	24	13	34	69
4	23	25	24	15	35	66
5	25	25	24	15	37	67
6	24	24	25	14	56	68
7	22	23	26	15	55	70
8	21	22	26	16	40	71
9	22	24	25	14	45	60
10	23	25	25	13	43	68
11	24	23	24	15	47	67
12	25	25	26	15	42	64
13	23	25	26	15	44	62
14	22	24	24	14	45	61
15	21	27	25	13	50	63
16	22	25	23	13	50	61
17	23	23	24	13	42	61
18	24	24	25	16	45	67

19	21	25	25	16	43	69
20	22	24	26	16	59	69
21	23	25	26	15	45	70
22	21	24	26	13	34	70
23	21	24	24	12	37	64
24	22	25	25	11	39	62
25	23	24	24	16	55	64
26	22	25	26	15	38	66
27	21	24	25	14	37	69
28	22	25	24	15	33	70
29	22	24	26	15	39	70
30	22	25	24	14	51	65
Promedio	21.7741936	23.483871	24.129032	13.806452	42.7419355	63.90323

### 3.2 Diseño de sistema hidráulico para riego de la orquídea

Para implementar el sistema de riego automatizado, se determina la cantidad de agua que requiere la orquídea *Oncidium Sphacelatum* tomando en cuenta las variables de la temperatura y la humedad relativa para que el crecimiento de la orquídea sea óptimo.

Actualmente el riego en el invernadero se hace de forma manual por los profesores y/o alumnos de la Universidad Autónoma de Chapingo. Este método tiene muchos inconvenientes ya que el cuerpo docente o el alumnado no siempre cuentan con el tiempo suficiente para invertir en el riego de la orquídea y esto produce que la planta se seque o en su caso pueden llegar a regar de más los pseudobulbos provocando que la planta se pudra.

Hasta el momento, no existe un estudio que establezca o cuantifique la cantidad exacta de agua que requiere una orquídea, debido a esto se dio a la tarea de realizar pruebas durante 2 meses (agosto y septiembre) para determinar la cantidad de agua ideal, que ayude a la orquídea a desarrollarse de manera adecuada. Los horarios cambian respecto a la cantidad de días y del progreso de crecimiento de la orquídea. En este caso, el crecimiento se determinará con la hoja de la orquídea el cual tiene una longitud inicial de 45 mm. La cantidad de líquido se cuidará debido a que la orquídea no debe de tener exceso de agua, ya que puede pudrir de la raíz, no obstante, las cantidades de agua seleccionadas para el riego fueron de 40, 50 y 60 mililitros.

Se partió de 3 plantas de la especie proporcionada *Oncidium Sphacelatum* (Figura 3.6), para la realización de las pruebas y determinar la cantidad ideal para el rigor de estas. Cada una de ellas cuenta con una hoja que mide 45 mm de largo.



*Figura 3. 6 Oncidium Sphacelatum.*

En la Tabla 3.3 se muestra la bitácora del crecimiento en mm de la orquídea *Oncidium Sphacelatum* con 40 y 50 ml de agua por día durante el mes de agosto y respectivamente el crecimiento de la hoja.

*Tabla 3. 3 Maceta 1 y 2 con 40 y 50 ml de agua*

Maceta 1			Maceta 2		
Días	Cantidad de agua (ml)	Crecimiento de la hoja inicial de 45 mm	Días	Cantidad de agua (ml)	Crecimiento de la hoja inicial de 45 mm
1	40	0	16	50	0
2	40	0.02	17	50	0
3	40	0.02	18	50	0.03
4	40	0.02	19	50	0.03
5	40	0.05	20	50	0.04
6	40	0.05	21	50	0.04
7	40	0.06	22	50	0.07
8	40	0.06	23	50	0.07
9	40	0.06	24	50	0.07
10	40	0.09	25	50	0.11
11	40	0.09	26	50	0.11
12	40	0.11	27	50	0.12
13	40	0.11	28	50	0.12
14	40	0.12	29	50	0.14
15	40	0.12	30	50	0.14

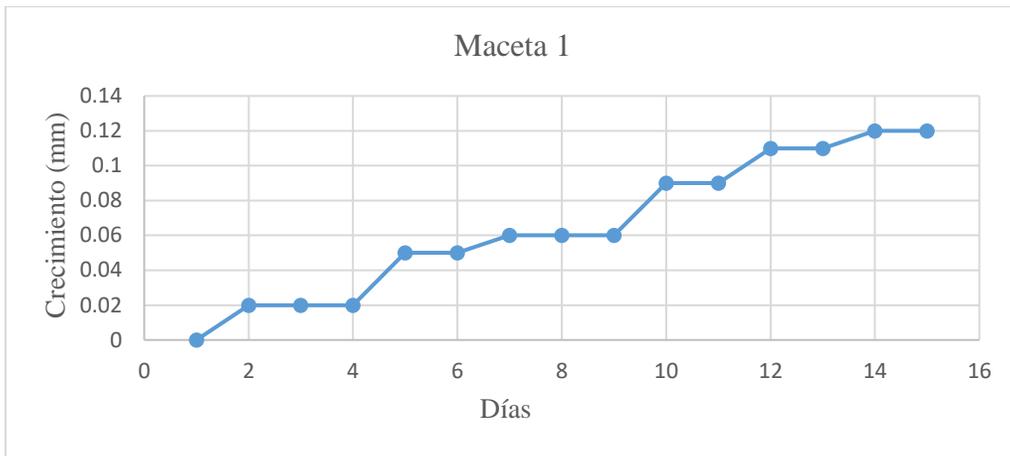
Durante ese mes en el que se realiza la prueba de la cantidad de agua, se llega a la conclusión de que el riego proporcionado no es suficiente para que la *Oncidium Sphacelatum* crezca de manera satisfactoria. Por tal motivo, se le añaden 10 ml más esperando que el resultado sea satisfactorio; tomando en cuenta que esta prueba es para encontrar el riego ideal y no el exacto.

Esta investigación solo es un aporte más a la investigación del riego exacto para el buen desarrollo de la Orquídea *Oncidium Sphacelatum*. La tabla 3.4 muestra el crecimiento de la orquídea, regándola por 30 días durante el mes de septiembre con 60 ml de agua

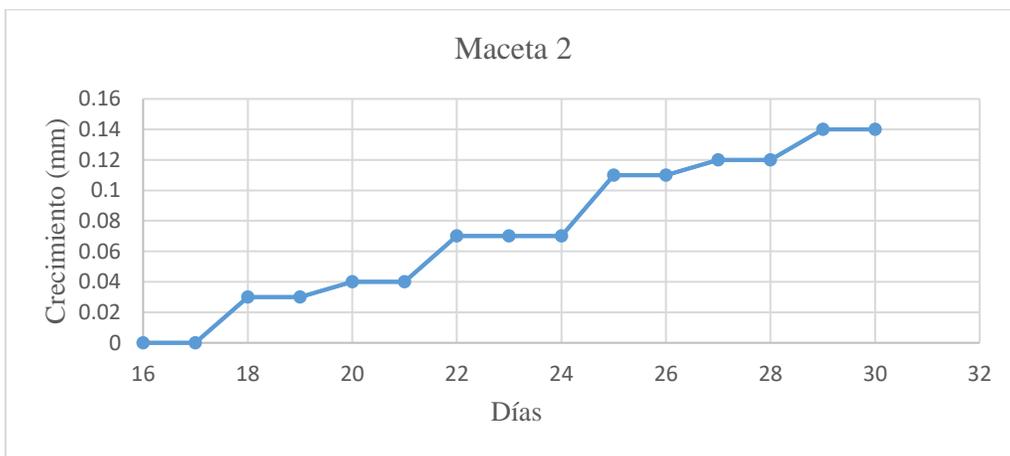
**Tabla 3. 4 Maceta 3 con 60 ml de agua**

Maceta 3					
Días	Cantidad de agua (ml)	Crecimiento de la hoja inicial de 45 mm	Días	Cantidad de agua (ml)	Crecimiento de la hoja inicial de 45 mm
1	60	0	16	60	0.16
2	60	0	17	60	0.17
3	60	0.03	18	60	0.18
4	60	0.05	19	60	0.18
5	60	0.05	20	60	0.2
6	60	0.07	21	60	0.2
7	60	0.07	22	60	0.2
8	60	0.1	23	60	0.21
9	60	0.1	24	60	0.21
10	60	0.11	25	60	0.22
11	60	0.12	26	60	0.22
12	60	0.12	27	60	0.23
13	60	0.14	28	60	0.24
14	60	0.14	29	60	0.24
15	60	0.16	30	60	0.25

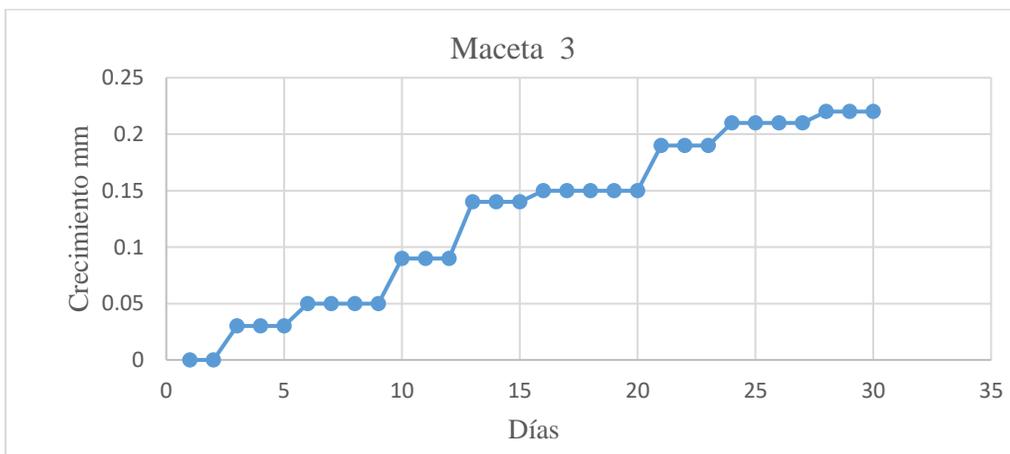
En las Figuras 3.7, 3.8 y 3.9 se visualiza el crecimiento de la orquídea *Oncidium Sphacelatum*, regadas con 40, 50 y 60 ml de agua respectivamente en distintas macetas de acuerdo con la bitácora de registro de sus medidas.



**Figura 3. 7** Crecimiento de la orquídea de la primera maceta con 40 ml de agua.



**Figura 3. 8** Crecimiento de la orquídea de la primera maceta con 50 ml de agua.



**Figura 3. 9** Crecimiento de la tercera maceta con 60 ml de agua.

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante las mediciones tomadas en la bitácora, el crecimiento es más rápido con el suministro de 60 ml de agua por día, sin que afecte físicamente a la especie de orquídea *Oncidium Sphacelatum*.

### 3.2.1 Diseño de la instalación eléctrica del sistema de riego automatizado

Al encontrar la capacidad de la bomba cuyo valor es de 1 hp (Antes calculado en capítulo 2, punto 2.5), es posible calcular el calibre de los conductores y la protección termo magnética que está entre la bomba centrífuga y el PLC Logo!

De acuerdo con la norma de instalaciones eléctricas NOM – 001 – SEDE – 2012, para calcular la corriente nominal de la carga, se utiliza la formula donde intervenga la potencia, el voltaje, la eficiencia y factor de potencia, y acuerdo con el tipo de sistema eléctrico (de corriente continua, de corriente alterna monofásico o trifásico) y del tipo de carga (motores, alumbrado u otras cargas).

Para un sistema monofásico se tiene que:

$$I = \frac{Hp \times 746 \text{ watts}}{V \times \mu \times fp} \quad (21)$$

Donde:

Hp = Caballos de fuerza o potencia del motor

V = Tensión nominal del sistema en volts

$\mu$  = Eficiencia del motor (Valor 0,8)

fp = Factor de potencia (Valor 0,9)

Sabiendo que la potencia entre la bomba y el controlador es de 1 hp y el voltaje de alimentación es de 127 volts.

$$I = \frac{1 \text{ hp} \times 746 \text{ watts}}{127 \text{ volts} \times 0.8 \times 0.9} = 8.09 \text{ ampers} \quad (21.1)$$

El valor de la corriente eléctrica es de 8.09 amperes

Para conductores que alimenten un solo motor, la corriente nominal a plena carga se multiplicará por 1.25. En el caso de varios motores, a la suma de la corriente a plena carga de los motores, se le sumará el 25% de la corriente del motor más grande.

Seleccionar el calibre del conductor de acuerdo con su capacidad de conducción de corriente del cable, depende del tipo del aislamiento, de la temperatura de operación y del método de instalación.

Si la corriente en el circuito es mayor a 100 A, se elige la capacidad de corriente a una temperatura de operación del conductor de 75°C. Si la corriente del circuito es menor de 100 A, se elige la capacidad de corriente a una temperatura de operación del conductor de 60°C.

En la Tabla 3.5 se muestra la capacidad de conducción de corriente permisible de conductores aislados para 0 a 2000 volts nominales de 60 °C, 75°C y 90 °C.

*Tabla 3. 5 Selección de conductores conforme a la NOM – 001 – SEDE – 2012 artículo 430 – 35.*

Temperatura nominal del conductor					
60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
TW, TWD, CCE	THW, RHW, THW-LS, THWN, XHHW	RHH, RHW-2, THHN, THW-2, THHW-LS, XHHW-2	UF	RHW, XHHW	RHW-2, XHHW, XHHW-2, DRS
Cobre			Aluminio		
20*	20*	25*	-	-	-
25*	25*	30*	-	-	-
30	35*	40*	-	-	-
40	50	55	-	-	-
55	65	75	40	50	60
70	85	95	55	65	75
95	115	130	75	90	100
125	150	170	100	120	135
145	175	195	115	135	150
165	200	225	130	155	175
195	230	260	150	180	205
215	255	290	170	205	230
240	285	320	190	230	255
260	310	350	210	250	280
280	335	380	225	270	305
320	380	430	260	310	350
355	420	475	285	340	385
400	475	535	320	385	435
455	545	615	375	445	500

El conductor es seleccionado conforme a la tabla nominal de conductores y bajo la corriente que maneja la bomba. Con el controlador se selecciona el conductor calibre 14 AWG, tipo THW. El tipo de aislamiento se selecciona conforme a los factores de humedad y temperatura (Tabla 3.6) dentro del invernadero.

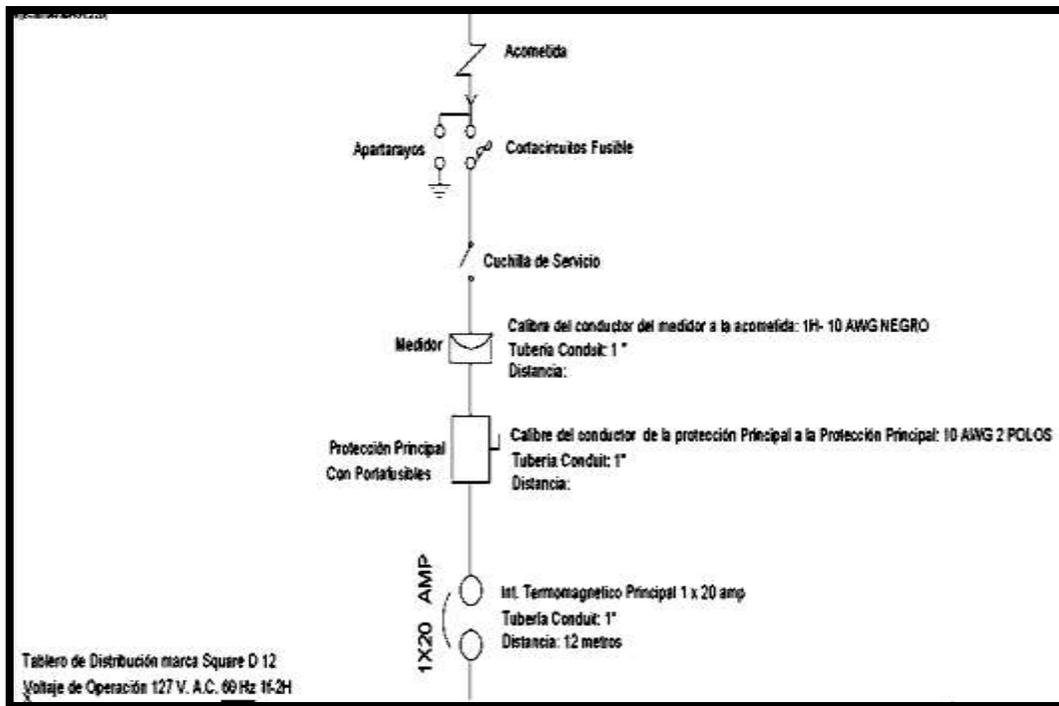
**Tabla 3. 6** Siglas de los tipos de aislamientos sobre los conductores.

Sigla	Característica
T	Termoplástico, por ejemplo, PVC o PE
R	Termofijo, por ejemplo, XLPE o EPR
X	Termofijo, por ejemplo, XLPE o EPR
H	Capaz de operar a 75°C en lugares húmedos
HH	Capaz de operar a 90°C en lugares secos
W	Capaz de operar en lugares mojados
N	Con sobrecapa de poliamida (nylon)

El cálculo de las protecciones térmicas se basa conforme a la corriente nominal que existe entre la bomba y el controlador, de modo que, el tipo de interruptor será de capacidad a 15 amperes marca SquarD, siendo este el interruptor de uso comercial más común en el mercado.

La selección de la tubería Conduit dependerá de qué tipo de instalación se lleve a cabo, es decir, la instalación de la tubería será subterránea.

Una vez terminando el diseño de la parte eléctrica, se presenta el diagrama unifilar de la instalación eléctrica dividido en dos partes (Figura 3.10 y 3.11)



**Figura 3. 10** Diagrama unifilar primera parte.

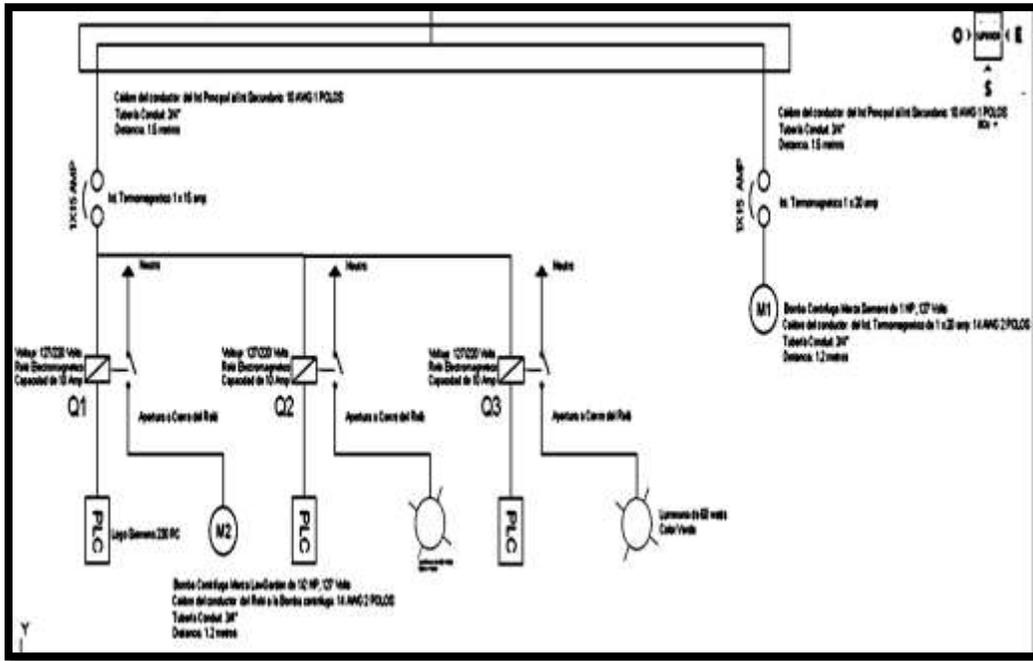


Figura 3. 11 Diagrama unifilar segunda parte.

### 3.3 Distribución de sistema de riego

Con el calibre de cable ya calculado y teniendo el sistema eléctrico entre el PLC Logo! y la bomba de agua, se inicia la distribución del sistema de riego. Primero se toma en cuenta el cálculo de la tubería de descarga (Capítulo 2 punto 2.2.2), en donde se demuestra que la medida necesaria para la instalación y el buen desempeño del sistema es de 1”.

Mediante el programa de Autocad se realiza el plano de dónde y cómo se instalará el sistema de riego en la zona semi-húmeda del invernadero. En la Figura 3.12 se representa la distribución de los componentes del sistema.

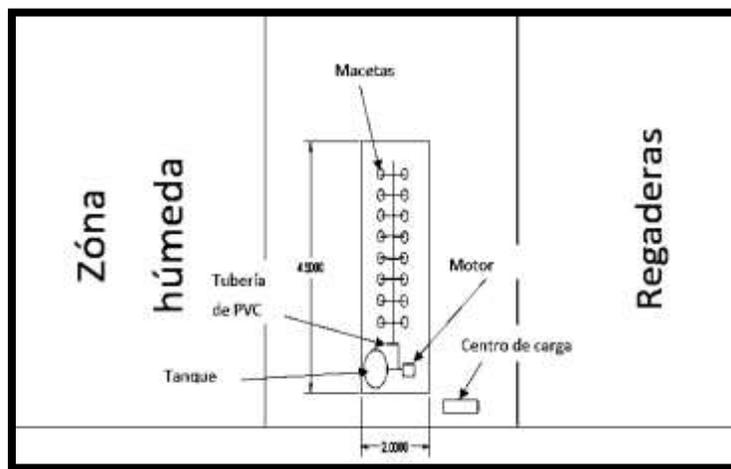


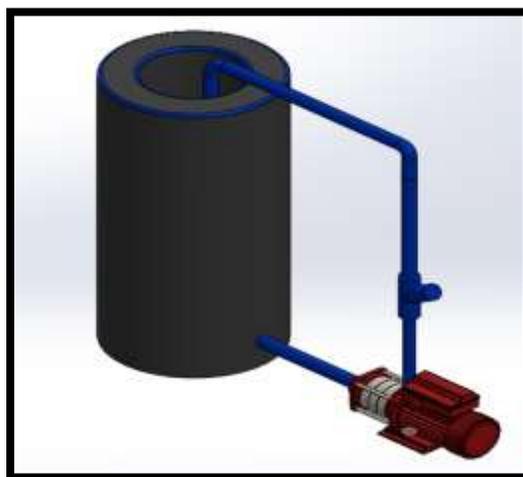
Figura 3. 12 Distribución de sistema de riego.

Lo primero que se realiza, es el acomodo de las orquídeas *Oncidium Sphacelatum* en dos filas, cada una con 15 macetas colocadas a una distancia de 20cm. Se puede ver en la Figura 3.13 como se realiza el acomodo físicamente de las macetas en el área de trabajo.



*Figura 3. 13 Distribución de Orquídeas*

Para llevar a cabo la instalación, se inicia con la unidad de almacenamiento del recurso hidrológico (tinaco de 250 L.), al cual se le perfora un orificio con un diámetro de 1” en la parte inferior del tanque para realizar la conexión de la tubería de PVC a la bomba de agua. En la figura 3.14 se representa el diseño realizado en Solid Works.



*Figura 3. 14 Diseño en Solid Works de tinaco con bomba.*

Teniendo el diseño en Solid Works, se realiza la conexión en físico del tinaco con el PVC hacia a bomba. Se coloca una válvula de paso entre el tinaco y la bomba, para realizar el corte de flujo del líquido en caso de tener que hacer mantenimiento cuando el equipo lo requiera, o si se llegase a presentar una emergencia. En la Figura 3.15 se observa físicamente la conexión del sistema.



*Figura 3. 15 Conexión física de tinaco con bomba.*

Teniendo las conexiones del tinaco con la bomba, se hace la búsqueda del filtro con conexiones de 1", se representa en el diagrama en Solid Works y se conecta el filtro en la posición correcta como se puede ver en la Figura 3.16.



*Figura 3. 16 Instalación de filtro.*

Después de la instalación del filtro de agua, se continúa con la instalación de la electroválvula. Esta electroválvula como el filtro de agua, se debe de buscar a la medida de 1" para realizar la conexión en la tubería de PVC. En la figura 3.17 se observa la electroválvula instalada físicamente en la tubería del sistema.



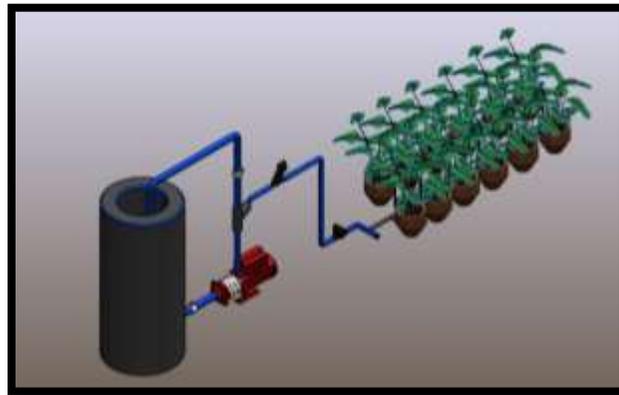
*Figura 3. 17 Electroválvula instalada.*

Por último, se hace la conexión de microtubing a los microaspersores, con estacas que hacen que se entierren en las macetas donde se encuentran las orquídeas. Con esto se da fin a la instalación del sistema hidráulico de riego. En la Figura 3.18 se muestra el microaspersor en la maceta de la orquídea *Oncidium Sphacelatum*.

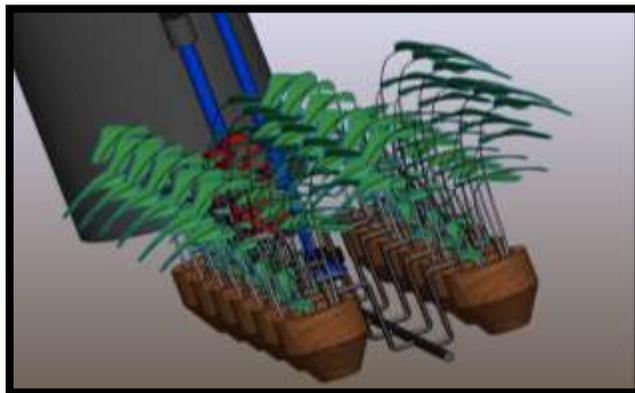


*Figura 3. 18* Microaspersor instalado en maceta con Orquídea.

A continuación, se muestra el trabajo elaborado en Solid Works (Figura 3.19 y 3.20.), que representa el diseño del sistema de riego automatizado que se llevó a cabo de manera física. Conteniendo el sistema hidráulico y el sistema de descarga hacia los microaspersores.



*Figura 3. 19* Sistema hidráulico y descarga de riego.



*Figura 3. 20* Microtubing y aspersores en macetas.

### 3.4 Instalación de PLC LOGO! en gabinete

Se lleva a cabo la instalación del PLC Logo! Para esto se debe elegir un gabinete que cubra los requisitos necesarios para poder proteger al equipo de las condiciones del invernadero, por lo que se necesita conocer que es el grado de protección IP.

Los grados de protección IP hacen referencia a una normativa internacional, que indica el nivel de protección de los equipos eléctricos o electrónicos frente a la entrada de agentes externos: polvo o agua.

La CEI o Comisión Electrotécnica Internacional, (también conocida como IEC por sus siglas en inglés), establece una normativa para clasificar los diferentes grados de protección de las envolventes de equipos eléctricos y electrónicos frente a agentes externos, especialmente factor humano o agentes medioambientales. O lo que es lo mismo: el grado de protección que tiene el recubrimiento exterior del equipo o dispositivo, frente a la entrada de cuerpos sólidos y líquidos (fundamentalmente polvo o agua).

El primer dígito hace referencia a la protección del equipo frente a la entrada de elementos sólidos, y puede oscilar entre los valores 0 y 6.

- Nivel 0: Sin ningún tipo de protección contra polvo u objetos sólidos.
- Nivel 1: No debe poder penetrar un objeto de 50 milímetros de diámetro.
- Nivel 2: No debe poder penetrar un objeto de 12,5 milímetros de diámetro.
- Nivel 3: No debe poder penetrar un objeto de 2,5 milímetros de diámetro.
- Nivel 4: No debe poder penetrar un objeto de 1 milímetro de diámetro. Como se ve, el nivel de protección es cada vez más alto.
- Nivel 5: Especifica que no debe entrar una cantidad de polvo que pueda hacer que el equipo funcione de forma incorrecta, aunque se permite que entre polvo.
- Nivel 6: El nivel máximo no debe entrar polvo en el equipo en ninguna circunstancia.

El segundo dígito hace referencia a la protección del equipo frente a la entrada de agua, y puede oscilar entre los valores 0 y 8.

- Nivel 0: Sin protección.
- Nivel 1: No debe entrar el agua cuando se la deja caer, desde 200mm de altura respecto del equipo, durante 10 minutos (a razón de 3-5mm<sup>3</sup> por minuto).
- Nivel 2: No debe entrar el agua cuando se la deja caer, durante 10 minutos (a razón de 3-5mm<sup>3</sup> por minuto). Dicha prueba se realizará 4 veces a razón de una por cada giro de 15° tanto en sentido vertical como horizontal, partiendo cada vez de la posición normal de trabajo.

- Nivel 3: No debe entrar el agua nebulizada en un ángulo de hasta 60° a derecha e izquierda de la vertical a un promedio de 11 litros por minuto y a una presión de 800-100 kN/m<sup>2</sup> durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
- Nivel 4: No debe entrar el agua arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto y a una presión de 800-100 kN/m<sup>2</sup> durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
- Nivel 5: No debe entrar el agua arrojada a chorro (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 6,3 mm de diámetro, a un promedio de 12,5 litros por minuto y a una presión 30 kN/m<sup>2</sup> durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia que no sea menor de 3 metros.
- Nivel 6: No debe entrar el agua arrojada a chorros (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 12,5 mm de diámetro, a un promedio de 100 litros por minuto y a una presión 100 kN/m<sup>2</sup> durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia que no sea menor de 3 metros.
- Nivel 7: El equipo debe soportar sin filtración alguna la inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos.
- Nivel 8: El equipo debe soportar sin filtración alguna la inmersión completa y continua a la profundidad y durante el tiempo que especifique el fabricante del producto con el acuerdo del cliente, pero siempre que resulten condiciones más severas que las especificadas para el valor 7.

Conociendo éstos niveles, se hace una elección del grado de protección adecuado para proteger el equipo de las condiciones climáticas del ambiente. Por lo que se determina que es el grado protección IP68 el que ayuda a proteger de agua y polvo al gabinete, evitando por completo que el equipo se moje o se dañe por partículas en el aire. En la Figura 3.21 se muestra el gabinete seleccionado.



*Figura 3. 21 Gabinete con protección IP68.*

En la Figura 3.22 puede observar la instalación del PLC LOGO! dentro del gabinete con su interruptor termomagnético de protección y el cableado a los interruptores a las entradas *I1* e *I2*, los cuales realizarán su función de la mano con la programación que se realice en el PLC.

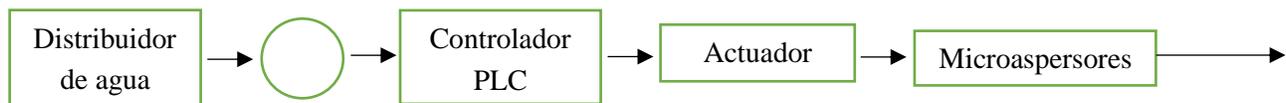
En el PLC ya se realizaron las conexiones de las entradas *I3*, *I4*, *I5*, *I6*, *I7*, *I8*, y de las salidas *Q2*, *COM2*, *Q3*, *COM3*, *Q4*, *COM4*. Por la razón que se menciona en el capítulo 2 en el punto 2.5, se piensa a un futuro integrar otro sistema de riego que alarme sobre el nivel de agua que existe en el tanque y una luz indicadora que manifieste el buen funcionamiento del sistema.



*Figura 3. 22 Gabinete con PLC Logo! e interruptor de protección.*

### 3.5 Diseño de la programación para el riego automático

Antes de realizar una programación se requiere saber qué es lo que realizará físicamente el sistema para poder programar el controlador. Esto se lleva a cabo con ayuda de un diagrama de bloques, el cual, nos ayuda a entender qué factores y componentes actúan dentro del sistema. En la Figura 3.23 se muestra el diagrama a bloques del sistema de riego automatizado.



*Figura 3. 23 Diagrama de bloques de sistema de riego.*

El Software utiliza un lenguaje a bloques para facilitar el uso de cualquier usuario. El Hardware consta del controlador, el actuador y el timer del controlador.

A este tipo de configuración o programación se le conoce como tipo Fup que se efectúa mediante bloques lógicos o compuertas lógicas, la configuración cuenta con bloques que se describirán a continuación. Bloque temporizador semanal. (Fig.3.24)

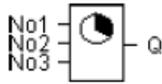
Símbolo en LOGO!	Cableado	Descripción
	Parámetros No 1, No 2 No 3	A través de los parámetros No se ajustan los momentos de conexión y desconexión de cada una de las levas del temporizador semanal. De esta manera, se parametrizan los días y la hora.
	Salida Q	Q se activa si está activada alguna de las levas parametrizadas.

Figura 3. 24 Temporizador semanal.

La salida se controla mediante una fecha de activación y desactivación parametrizable. Se soporta cualquier combinación posible de días de la semana. Los días de la semana activos se seleccionan ocultando los días de la semana no activos.

Cada temporizador semanal, tiene tres levas de ajuste, cada una de las cuales permite parametrizar una ventana de tiempo. Mediante las levas se establecen los instantes de activación y de desactivación. En un momento de conexión, el temporizador semanal conecta la salida, si ésta no está ya conectada. El temporizador semanal desconecta una salida en un instante de desactivación si la misma no estuviese desconectada aún.

Se indica para un temporizador semanal la activación y la desactivación a la misma hora, pero en levas diferentes, resultará una contradicción. Ajuste del temporizador semanal (Figura 3.25).

**Ventana de parámetros**  
 Éste es el aspecto de la ventana de parametrización para p.ej. leva No1:

B1

Leva Not

1+

D=MTWTFSS

On =06:30

Off=08:00

**Día de la semana**  
 Las letras que aparecen detrás de la "D=" (Day) tienen el siguiente significado:

- M : lunes (Monday)
- T : martes (Tuesday)
- W : miércoles (Wednesday)
- T : jueves (Thursday)
- F : viernes (Friday)

Figura 3. 25 Ajuste semanal.

Las horas de activación/desactivación se introducen de la siguiente manera:

- Coloque el cursor sobre uno de los parámetros no del temporizador.
- Pulse la tecla ok. logo! y se abrirá la ventana de parametrización para la leva. el cursor se debe hallar en el día de la semana.
- Elija mediante las teclas, uno o varios días de la semana.
- Mediante la tecla, lleve el cursor al primer dígito de la hora de activación.
- Active el tiempo de conexión, modifique el valor en la posición correspondiente mediante las teclas y desplace el cursor entre los distintos dígitos mediante las teclas. Sólo puede seleccionar el valor —: — en la primera posición (—: — indica: no hay conexión/desconexión).
- Mediante la tecla, lleve el cursor al primer dígito de la hora de desactivación.
- Active el tiempo de desconexión (igual que en el quinto paso).
- Para concluir la introducción de datos: pulse la tecla ok.
- El cursor se halla en el parámetro no2 (leva 2). ahora puede usted parametrizar otra leva.

Las funciones básicas (Figura 3.26) son elementos lógicos sencillos del álgebra de Boole. Las entradas y funciones básicas se pueden negar de forma individual, es decir, que, si en la entrada en cuestión hay un “1”, el programa utiliza un “0”; si hay un “0”, se utiliza un “1”.

Representación en el circuito eléctrico	Representación en LOGO!	Designación de la función básica
Conexión en serie contacto normalmente abierto		AND (AND)
		AND con evaluación de flanco
Conexión en paralelo contacto normalmente cerrado		AND-NEGADA (NAND)
		NAND con evaluación de flanco

Figura 3. 26 Funciones básicas.

En este punto, es donde se coloca una función de retardo a la conexión (Figura 3.27), el cual hace la función de recibir un pulso y tras ese pulso dependiendo el tiempo que se programe, el controlador enclavara su relevador interno para permitir el paso de la corriente de la bomba. Esta función de realiza ya que el controlador únicamente proporciona pulsos que tienen una duración de 1 minuto completo. Como el riego se realiza por un periodo de 10 segundos, se programa para que el controlador realice el

pulso sin enclavar por 50 segundos. En los últimos 10 segundos del minuto, el relevador del controlador enclavará y permitirá el paso de corriente.

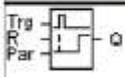
Simbolo en LOGO!	Cableado	Descripción
	Entrada Trg	A través de la entrada Trg (trigger) se inicia el tiempo para el retardo de activación.
	Entrada R:	A través de la entrada R se borra el tiempo para el retardo de activación y la salida se pone a 0.
	Parámetro	T es el tiempo tras el que debe activarse la salida (el estado de la salida pasa de 0 a 1). Remanencia: / = sin remanencia R = el estado se guarda de forma remanente.
	Salida Q	Q se activa una vez transcurrido el tiempo T.

Figura 3. 27 Función de retardo a la conexión.

En conclusión, de la programación llevada a cabo para el sistema de riego automatizado, se tiene que el programa está diseñado con los bloques de temporización semanal, ya que este bloque ayudará a que la bomba de agua o la salida Q1 encienda todos los días de la semana en 2 horarios establecidos, uno a las 10 de la mañana y otro a las 2 de la tarde.

El bloque envía un pulso de encendido y viaja a una compuerta and, juntamente conectada con una entrada digital I1, o botón de arranque, hasta que el bloque de temporización semanal y el botón de arranque I1 estén en uno lógico, el sistema comenzará a operar. De esta manera entra el siguiente bloque que es el retardo a la conexión, este bloque es de suma importancia, ya que éste no ayuda a restringir al bloque semanal para que solo opere por 50 segundos.

Solo puede operar por minutos y no por segundos, así que el retardo a la conexión limita a este bloque para que después el siguiente bloque de retardo a la desconexión active la carga 1 o salida Q1 durante 10 segundos y se apague pasando este tiempo. Cabe mencionar que antes de pasar al bloque de salida Q1, existe una compuerta and conectada con las entradas digitales I2 e I4, las cuales corresponden al botón de paro y un sensor de nivel bajo, estas entradas son de protección o seguridad al sistema. El botón de paro apaga el sistema o en este caso, a la bomba de agua que se encuentra en la salida Q1, esto es por si se presenta cualquier anomalía, como por ejemplo una fuga de agua en la tubería o no exista la suficiente agua en el tanque para continuar con la operación.

La entrada digital I3 funciona como sensor de nivel alto, que indica que el tanque tiene agua suficiente y puede derramarse perjudicando el sistema. La salida Q2 está conectada a un foco de color verde que sirve como indicador de que el sistema está operando con normalidad y la salida Q3 está conectada a otro foco de color rojo que indica dos opciones: que el nivel del tanque es bajo y no existe suficiente agua o que se activó el botón de paro para interrumpir el sistema. Básicamente, éste es el funcionamiento o lógica operacional del sistema. En la Figura 3.28 se muestra la programación llevada a cabo en el controlador lógico programable Logo! mediante el lenguaje FUP.

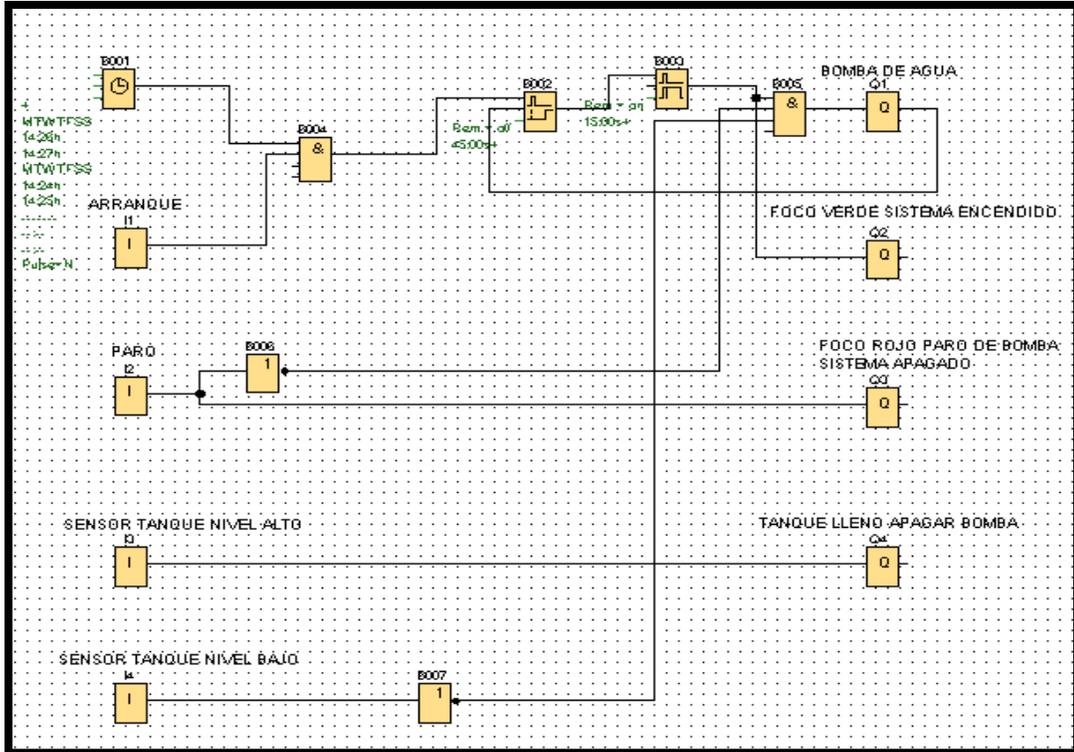


Figura 3. 28 Programación de sistema de riego automatizado.

## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS Y COSTOS

La automatización del sistema de riego dentro del invernadero de la Universidad Autónoma de Chapingo, con el objetivo de obtener mejores resultados en cuanto a la preservación de la especie de orquídea *Oncidium Sphacelatum*, brinda una respuesta satisfactoria enfocada en distintos aspectos del sistema, dentro de los cuales podemos destacar:

1. Mayor aprovechamiento y eficiencia de su recurso hidrológico.
2. Ahorro de esfuerzo laboral agrónomo.
3. Seguimiento del riego de la orquídea.
4. Optimización del crecimiento de la orquídea.

### 4.1 Mayor aprovechamiento y eficiencia de su recurso hidrológico

Antes de la implementación de la automatización en los invernaderos de la Universidad Autónoma de Chapingo, el riego de la orquídea se hacía de manera manual, es decir, las autoridades encargadas de cuidar y suministrar agua a las orquídeas, lo realizaban mediante charolas a cada una de las 30 macetas que contienen las orquídeas, no obstante, el desperdicio de agua era de 210 litros en promedio durante los 7 días de la semana, y un promedio anual de consumo de agua para el riego de la orquídea de 10,080 litros, es decir, para el solo riego de las 30 macetas con las orquídeas, se requerían aproximadamente 10 tinacos con capacidad de 1000 litros cada uno para lograr el riego de las orquídeas durante un año. En la Tabla 4.1 se representa lo antes mencionado: el riego de cada orquídea tanto semanal, mensual y anualmente, así como el riego de las 30 orquídeas de igual manera semanal, mensual y anual.

*Tabla 4. 1 Riego de orquídeas manualmente*

Riego de orquídea diario	Riego de orquídea semanal	Riego de orquídea mensual	Riego de orquídea anual
1L	7L	28 L	336 L
Riego de 30 orquídeas diario	Riego de 30 orquídeas semanal	Riego de 30 orquídeas mensual	Riego de 30 orquídeas anual
30L	210 L	840L	10,080 L

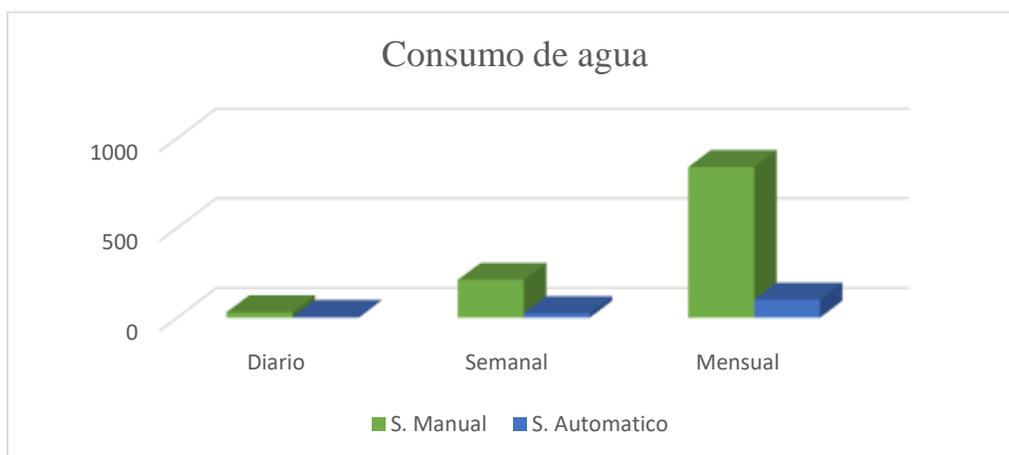
El consumo de agua disminuye en gran manera gracias a la automatización del sistema de riego, debido a que la bomba centrífuga se enciende dos veces por día, el suministro de agua es de un lapso de 10 segundos, el flujo máximo de agua es de 6 mililitros por segundo.

La cuantificación del consumo de agua con estos nuevos valores da como resultado que durante un día existe un consumo de 120 mililitros por orquídea y anualmente existe un consumo de 40.32 litros, por lo que se está ahorrando un 88% de agua anual (Tabla 4.2) con el sistema automatizado.

**Tabla 4. 2** Consumo de agua con sistema automático.

Riego de orquídea diario	Riego de orquídea semanal	Riego de orquídea mensual	Riego de orquídea anual
0.120 L	0.84 L	3.36 L	40.32 L
Riego de 30 orquídeas diario	Riego de 30 orquídeas semanal	Riego de 30 orquídeas mensual	Riego de 30 orquídeas anual
3.6 L	25.2 L	100.8 L	1,209.6 L

En la gráfica (Figura 4.1), se muestra la comparación entre el consumo de agua mediante un uso manual con el uso del riego automatizado para demostrar la eficiencia del sistema. Esta comparación se realizó con la toma de datos de las 30 orquídeas diaria, semanal y mensualmente.



**Figura 4. 1** Comparación de sistema manual y sistema automático.

## 4.2 Ahorro de esfuerzo laboral agrónomo

El riego que requiere la orquídea debe ser diario sin excepción de días. En ocasiones al personal a cargo del riego le era imposible poder asistir los sábados y domingos para poder regar la planta, dejando uno o dos días sin regar a la orquídea, y esto producía que la orquídea se secase (Figura 4.2).



*Figura 4. 2 Orquídea seca producto a falta de riego.*

No obstante, debido a la gran cantidad de orquídeas con las que el invernadero cuenta, el personal olvidaba regar algunas de ellas, afectando seriamente al crecimiento de las orquídeas (Figura 4.3).



*Figura 4. 3 Riego por parte de personal del orquideario.*

Con el sistema automatizado que se implementó (Figura 4.4), se evita que la orquídea se quede sin agua cualquier día de la semana, con una programación del controlador de lunes a domingo, y dos riegos diarios a las 10 hrs y a las 14 hrs por 10 segundos cada uno, dado que a medio día la humedad disminuye significativamente. Así mismo, el sistema cuenta con un micro aspersor en cada una de las plantas, regando todas las orquídeas del sistema.



*Figura 4. 4 Sistema de riego implementado.*

#### **4.2.1 Optimización del crecimiento de la orquídea**

Actualmente no existe un estudio que determine la cantidad de agua exacta para el óptimo crecimiento de la orquídea. Gracias a la automatización de este sistema se logró determinar la cantidad de agua necesaria para la orquídea, como ya se mencionó, no existen estudios previos o un parámetro que indique que es lo mejor para la planta. Un dato importante a considerar es que la planta no puede ser regada con exceso de agua ya que se pudre el tallo de la orquídea

El sistema tiene 1 mes y medio funcionando, y se puede decir que su funcionamiento muestra resultados satisfactorios, basados en el buen desarrollo que tiene la orquídea. También se determina que los 60 ml que el sistema proporciona a cada una de las orquídeas es la cantidad ideal que cada planta requiere. Esto es un aporte más al estudio de las necesidades específicas de la orquídea *Oncidium Sphacelatum*. En las siguientes imágenes (Figura 4.5 y 4.6) se muestran los resultados antes mencionados y el buen estado de las orquídeas en el invernadero de la Universidad Autónoma de Chapingo.



*Figura 4. 5 Floración de la Orquídea Oncidium Sphacelatum.*



*Figura 4. 6 Crecimiento de la orquídea gracias al sistema de riego automatizado.*

### 4.3 Costo general del proyecto

Se consideran las características económicas que se requieren para llevar a cabo el desarrollo del proyecto para automatizar el sistema de riego.

Para iniciar con el estudio económico primero se tiene que conocer el total de la inversión del proyecto, mismo que se describirá a continuación:

#### 4.3.1 Costo de material empleado

El costo unitario de materiales es el valor monetario de los materiales. Este valor, es necesario para adquirir una unidad de materia (cuando se menciona la palabra unidades, se hace referencia a la unidad de medida utilizada para cuantificar los recursos necesarios).

En la Tabla 4.3 se presentan los costos de los diferentes materiales que se emplearon para el mejor funcionamiento del sistema de riego. Hay que tomar en cuenta que los presentes precios fueron cotizados en abril de 2017 y pueden estar sujetos a cambios por los proveedores de estos.

*Tabla 4. 3 Costos de materiales.*

Cotización de Materiales			
Equipo/material	P/u	Unidades	Costo total
Tubo de PVC de 1" 1 mt.	\$35.00	3 mts	\$105.00
Conexiones de PVC de 1"	\$8.00	9	\$64.00
Filtro de agua	\$150.00	1	\$150.00
Conexión y de acero galvanizado	\$80.00	1	\$80.00
Tubing	\$12.00	3 mts	\$36.00

Microaspersor	\$1.00	30	\$30.00
Estaca para microaspersor	\$2.00	30	\$60.00
Bomba de 1 hp	\$2,207.00	1	\$2,207.00
Válvula de paso	\$80.00	2	\$160.00
Relevador lógico programable Logo 230rc	\$3,000.00	1	\$3,000.00
Conector de tubing	\$3.00	30	\$90.00
Int. Termomagnético 15 amperes	\$132.69	1	\$132.69
Cable 14 awg negro	\$8.50	5 mtrs	\$42.50
Cable 16 awg rojo	\$10.00	5 mtrs	\$50.00
Manguera para riego 16 mm	\$5.00	6	\$30.00
Filtro de agua YDV	\$500.00	1	\$500.00
Gabinete mini Kendra	\$177.00	1	\$177.00
Canaleta 1020 PVC	\$30.00	4	\$120.00
<b>Total</b>			<b>\$7,034.00</b>

En la cotización anterior no se incluyó el costo del tanque de 250 L, debido a que actualmente las instalaciones de la Universidad Autónoma de Chapingo cuentan con el material, pero un tanque de dichas dimensiones ronda en un precio de entre \$1,200.00 y \$1,400.00 de la marca Rotoplas.

### 4.3.2 Clasificación de mano de obra

La clasificación de la mano de obra va a depender directamente de la relación del trabajador con el proceso que lleve la instalación del proyecto del sistema de riego automatizado.

- Mano de obra directa: Comprende todos aquellos renglones laborales directamente relacionados con el trabajo o el proceso de instalación. El personal tiene un rendimiento establecido y generalmente es pagado en jornadas de trabajo.
- Mano de obra indirecta: Comprende trabajadores similares a los anteriores con la particularidad de que su función no se considera relacionada directamente con las tareas de instalación. Esta es asociada a labores administrativas, lógicas o comerciales.

#### 4.3.2.1 Tipos de mano de obra

Es la asignación del personal para las pruebas considerando habilidades, conocimiento sobre el sistema de riego, sobre la programación de relevadores lógicos programables, etc.

- Mano de obra clasificada: Se refiere a trabajadores que desempeñan actividades que requieren de estudios previos, como, por ejemplo: Agrónomos, Programadores, etc.
- Mano de obra semi-clasificada: Son los trabajadores que desempeñan actividades para las cuales no se requieren los estudios que se necesitan para la mano de obra clasificada, por ejemplo: ayudantes.

### 4.3.3 Análisis de salarios en México

El sueldo promedio de un Ingeniero en México es \$144,000 al año o \$60 por hora. Esto es alrededor de 3.5 veces más que un salario medio del país. Puestos de nivel inicial comienzan en \$65,000, mientras que la mayoría de los trabajadores experimentados llegan hasta \$129,000. Los resultados están basados en 1,346 sueldos extraídos de las descripciones de las ofertas de trabajo.

El costo del diseño de la propuesta de automatización, la programación del relevador lógico programable e instalación del proyecto se muestran a continuación (Tabla 4.4), basados en la información que se recopiló anteriormente.

*Tabla 4. 4 Costos de Ingeniería del Proyecto.*

Costos de Ingeniería				
Actividad	Salario diario	Personas	Días de trabajo	Sueldo total
Diseño del sistema de riego.	6.7 sm	3	9d/6h	\$16,200.00
Programación del relevador lógico programable	6.7 sm	1	2d/6h	\$1,200.00
Instalación	6.7 sm	3	3d/6h	\$5,400.00
<b>Gasto Total</b>				<b>\$22,800.00</b>

### 4.3.4 Costo total de la inversión del proyecto

Una vez que se tiene el costo de los dispositivos implementados y el de la instalación del proyecto, se tiene que calcular el costo total de la inversión del proyecto, a esto se le añaden costos por mantenimiento de 10 años aproximadamente, que se estima que es la vida útil del sistema operando a un máximo desempeño. Los datos que se mencionaron anteriormente se pueden observar en la Tabla 4.5.

**Tabla 4. 5** Costo de la inversión del proyecto.

<b>Costo total de la inversión</b>		
<b>Inversión</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
<b>Materiales que se emplearon</b>	Se toma en cuenta el material que se utilizó para la implementación del proyecto	\$7,034.00
<b>Ingeniería y mano de obra</b>	Se toma en cuenta el tiempo que se necesita para desarrollar al 100% el diseño del proyecto, instalar de manera eficiente el material necesario para su implementación de estas.	\$22,800.00
<b>Total</b>		<b>\$29,834.00</b>

#### **4.4 Costo – Beneficio**

Con la implementación del sistema de riego automatizado, se logran grandes beneficios, comenzando con el ahorro del recurso hidrológico, considerando que la institución se encuentra en una situación de escasez de agua, por tal motivo la poca cantidad con la que cuentan se tiene que administrar al máximo.

En el presente proyecto se trabajó con 30 ejemplares de la especie *Oncidium Sphacelatum*, dentro del periodo de floración en los meses de abril y mayo, una planta de esta especie con una floración abundante ronda entre los 800 a 1100 pesos por ejemplar.

El orquideario de la Universidad Autónoma de Chapingo cuenta con 150 ejemplares de la especie *Oncidium Sphacelatum*, sin contar las más de 3200 especies de orquídea con las que cuenta el invernadero.

Un beneficio importante a mencionar es que a través del sistema de riego automatizado, se visualiza el ahorro en mano de obra dentro del orquideario, ya que no es necesario de la presencia de alguna autoridad competente, para realizar el riego, recordando que el riego se realizaba de manera manual.

## CONCLUSIONES

El presente proyecto concluye en la instalación del sistema de riego automatizado por el método de microaspersión dentro del Orquideario (Invernadero) de la Universidad Autónoma de Chapingo, este mismo se encuentra en operación actualmente y satisfaciendo las necesidades previstas desde el comienzo del proyecto.

A través del nuevo sistema de riego automatizado el ahorro del recurso hidrológico mejora notablemente, se han evitado gastos económicos innecesarios y paralelamente se logró una contribución al cuidado del agua, recordando que en esta área escasea a pasos agigantados, por lo que el optimizar al máximo el recurso hidrológico fue de suma importancia para la Universidad Autónoma Chapingo.

En cuanto a la especie de orquídea "*Oncidium Sphacelatum*" con la que se trabajó en el proyecto, se sabe que presenta características de sumo cuidado, que, a través del sistema de riego implementado, se fueron cubriendo ampliamente. El riego por microaspersión fue la mejor alternativa para el cuidado de tan delicada flor, proporcionándole un riego extremadamente suave y así mismo, controlando los tiempos de riego que la flor demanda. Fue posible suministrar con exactitud el recurso hidrológico que satisface sus necesidades fisiológicas, para lograr su preservación.

Considerando al personal que labora dentro del Invernadero de la Universidad Autónoma de Chapingo, existe una problemática sobre qué tan complicado es el control automático del sistema de riego, es decir, los agrónomos de la institución solicitan un controlador sencillo en cuanto a su operación y leguaje de programación; y a través del relevador lógico programable "LOGO 230 RC", es posible cubrir esta necesidad, ya que no se requiere de un PC para reconfigurarlo. El programa en función no tiende a desprogramarse, además de que es expandible.

Dentro del orquideario existe una cantidad considerable de orquídeas que requieren de cuidados especiales, a través de los módulos de expansión con los que cuenta el LOGO 230 RC, es posible en un futuro, controlar algún otro tipo de proceso dentro del invernadero.

Se logró aportar una cuantificación exacta, de cuanto recurso hidrológico demanda la especie de Orquídea *Oncidium Sphacelatum* para lograr su crecimiento óptimo.

## GLOSARIO

**Adosamiento:** Agregar algo, situándolo junto a otra cosa o apoyándolo sobre ella.

**Aireación:** Ventilación para facilitar el intercambio de gases entre la atmósfera y la tierra de las plantas.

**Alféizar:** Vuelta o corte oblicuo que hace la pared en el vano de una ventana; en especial la pieza horizontal sobre la que se asienta la base de la ventana.

**Amplitud térmica:** Diferencia numérica entre los valores máximos y mínimos de temperatura observada en un punto dado durante un período de tiempo.

**Asiduidad:** Frecuencia, puntualidad, constancia.

**Automatizado:** Aplicar procedimientos automáticos a un aparato, proceso o sistema.

**Caudal:** Cantidad de agua que mana o corre.

**Componente:** Que compone o entra en la composición de un todo.

**Composta:** Producto obtenido a partir de diferentes materiales de origen orgánico, los cuales son sometidos a un proceso biológico controlado de oxidación.

**Decremento:** Tiene a reducirse o decrecer sus magnitudes físicas.

**Deflector:** Aparato usado para cambiar la dirección de un fluido o corriente eléctrica.

**Endémicas:** Propio y exclusivo de determinadas localidades o regiones.

**Epífita:** Se refiere a cualquier planta que crece sobre otro vegetal u objeto usándolo solamente como soporte, pero que no lo parasita nutricionalmente.

**Escalabilidad:** Término usado en tecnología para referirse a la propiedad de aumentar la capacidad de trabajo o de tamaño en un Sistema sin comprometer el funcionamiento y calidad normales del mismo.

**Espécimen:** Muestra, modelo, ejemplar, normalmente con las características de su especie muy bien definidas.

**Estanco:** Que está completamente cerrado o no tiene comunicación con otras cosas.

**Fertirrigación:** Técnica que permite la aplicación simultánea de agua y fertilizantes a través de sistemas de riego.

**Fitosanitario:** Sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir evitar, destruir, atraer, repeler o combatir cualquier plaga o enfermedad que puedan padecer las plantas.

**Floración:** Acción de florecer las plantas o tiempo que duran abiertas las flores de las plantas de una misma especie.

**Flujo turbulento:** Movimiento de un fluido que se da en forma caótica.

**Hardware:** Conjunto de los componentes que conforman la parte de una materia física.

**Hortícola:** Referente a cultivo de plantas de huerta con regadío.

**In vitro:** Producido en laboratorio por métodos experimentales.

**Monitorear:** Proceso mediante el cual se reúne, observa, estudia y emplea información para luego poder realizar un seguimiento de un programa o hecho particular.

**Nebulización:** Acción de rociar una planta.

**Operario:** Trabajador manual.

**Polímeros:** Sustancia química que resulta de un proceso de polimerización.

**Postero:** Que es el último en una serie ordenada.

**Programación:** Proceso por el cual se diseña, codifica, limpia y protege el código fuente de programas computacionales.

**Proliferación:** Reproducción o multiplicación de algún organismo vivo, especialmente de las células.

**Pseudobulbo:** Órgano de almacenamiento que deriva de parte de un tallo entre dos nódulos de hojas.

**Radicular:** De las raíces vegetales o relacionado con ellas.

**Software:** Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora.

**Sondeo:** Exploración de un terreno, especialmente haciendo perforaciones, o de la atmósfera con máquinas especiales para averiguar datos sobre los mismos.

**Sotavento:** Que va hacia donde el viento se dirige.

**Sustrato:** Superficie en la que un animal o planta vive.

**Tezontle:** Roca ígnea roja de origen volcánico, que se ubica en las laderas de los cerros, volcanes y depresiones.

**Yuxtaponer:** Poner algo junto o inmediato a otra cosa.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Moreno, Pérez. Ed., Castillo-González, A.M., Valdez-Aguilar, L.A., Pineda-Pineda, J., Sánchez-Del Castillo, F., & Ramírez-Arias, A. (2012). ASERRIN DE PINO COMO SUSTRATO HIDROPONICO I: VARIACION DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DURANTE CINCO CICLOS DE CULTIVO. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(1), 95-111.
2. Yanes, L.H., (1961) *Orquídeas para aficionados: Cultivos tropicales*. Caracas: Editora Grafos.
3. Ramírez J. 1996. *Orquídeas de México*. Conabio. *Biodiversistas* 5:1-5
4. Freuler, M. (2008). *Orquídeas* (1 ed). Buenos Aires, Argentina: Albatroz.
5. Nash, N. & La Croix, I. (2007). *Orquídeas* (2ed.). Barcelona: Omega
6. Israelsen, O., Hansen, V. (1985). *Principios y aplicaciones del riego* [Versión de Google Books]. [http://books.google.com.mx/books?id=vRtP-aU0QU8C&dq=riego+inteligente&source=gbs\\_navlinks\\_s](http://books.google.com.mx/books?id=vRtP-aU0QU8C&dq=riego+inteligente&source=gbs_navlinks_s)
7. Ramírez, J., Galindo, C. (2012). *Historias de familias: Orquídeas* [Versión de PDF]. Recuperado de [http://paismaravillas.mx/assets/pdf/libros/orquideas\\_web.pdf](http://paismaravillas.mx/assets/pdf/libros/orquideas_web.pdf)
8. Cárdenas Briseño, C. (s.f.). Estudio de la pudrición negra de las orquídeas causada por *Phytophthora* Sp. En colecciones del Valle Central de Costa Rica. Recuperado de <http://www.lankesteriana.org/lankesteriana/Lankesteriana%20vol.%203.%202003/Lankesteriana%20Numeroporsecciones/62%20Cardenas%20Briceno.pdf>
9. Cabrera, R. (1999) *Propiedades, uso y manejo de sustratos para la producción de plantas en maceta*. *Serie Horticultura*, 5(11), 6. [Version de PDF]
10. Hacedores: Maker community. (12 de mayo de 2014). *PLC Siemens, La mejor herramienta para ti*. Recuperado de <http://hacedores.com/PLC-Siemens-la-mejor-herramienta-para-ti>.
11. Processing. (s.f) *Processing*. Recuperado de <http://processing.org>
12. Orchid Flower HQ (s.f.). *Cuidar las orquídeas Oncidium*. Recuperado de <http://www.orchidflowerhq.com/es/oncidium.php>
13. Brittershausen, B., Brittershausen, W. (2013). *Orquídeas Enciclopedia Práctica*. España: LIBSA.
14. Lecoufle, M. (2014). *Atlas Ilustrado de las Orquídeas*. México: SUSAETA EDICIONES.
- Hawkes, A. (2011). *Equidae's*. New York: Hamper & Brothers.
- Freuler, M.J. (2015). *ORQUIDEAS*. Peru: ALBATROS.
- Sociedad Colombiana (1974). *Cultivo de Orquídeas*. Centro de desarrollo tecnológico "TEZOYUCA".
15. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México: recuperado de <http://www.inegi.org.mx>.
16. Norma Oficial Mexicana NOM – 001 – SEDE – 2012 *Instalaciones Eléctricas*.

17. Riego por Microaspersión. (2016) Novedades Agrícolas. recuperado de <http://www.novedades-agricolas.com>.
18. 6 tuberías en la plomería que debes conocer. Monterrey N.L: Tecmaga “Mantenimiento Integral”. recuperado de <http://www.tecmaga.com.mx>.
19. Saldarriaga J.G. Hidráulica de Tuberías. Santafé de Bogotá D.C: Emma Ariza H. Manual Edición (2003). SIEMENS recuperado de <https://cache.industry.siemens.com>
20. Relés Lógicos y Sistema de Visualización Grama CL. ABB. recuperado de <https://library.e.abb.com>
21. Tipos de motobombas o Bombas de agua: según tipos de aguas, caudal o presión. VENTA GENERADORES.NET. recuperado de <http://www.ventageneradores.net>
22. Análisis Costo Benéfico: recuperado de <https://www.crecenegocios.com>.