

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
INGENIERIA AGROPECUARIA



PROYECTO DE INVESTIGACION PREVIO A LA OBTENCION
DEL TITULO DE
INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO
SEMI AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LAS
CONDICIONES CLIMATICAS EN PRODUCCION DE
HORTALIZAS EN INVERNADERO.

AUTOR:

GARRIDO AGUILAR ROMMEL GUILLERMO

TUTOR:

Dr. JAVIER DOMÍNGUEZ BRITO

PUYO – ECUADOR

2019 - 2020

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá Grecia Aurora Aguilar García, que se ha esforzado mucho y me ha apoyado en los estudios, que ha sido mi guía en momentos difíciles y que nunca dejó de creer en mí.

A mi padre Lauro Guillermo Garrido Espinoza, que se ha esforzado mucho y me ha apoyado en los estudios, que ha sido mi guía en momentos difíciles y que nunca dejó de creer en mí.

Gracias a los demás miembros de mi familia que siempre tuvieron palabras de ánimo y consejos a pesar de la distancia.

Al Dr. Javier Domínguez Brito, por ser mi tutor y consejero, por tomarme en cuenta en este proyecto con sus enseñanzas y motivaciones durante el proceso de investigación.

A los miembros del jurado, Dr. Joel Rodríguez Guerra, MSC. Sandra Luisa Soria Re y MSc. Patricio Fabián Naranjo Delgado, quienes supieron guiarme en la revisión del proyecto de investigación.

DEDICATORIA

Este proyecto de Investigación se lo dedico a Dios por las alegrías del día a día.

A mi madre, a mi padre y demás miembros de mi familia como son mis hermanos siendo una guía contante, ya que gracias a sus consejos, tiempo y motivación culmino esta etapa de estudios haciendo realidad uno de mis más grandes sueños.

RESUMEN

El uso del sistema de riego por nebulización tiene como objetivo la climatización dentro de invernaderos y realizar el riego, para obtener mayores rendimientos en la producción de cualquier cultivo. Así mismo este sistema es una alternativa para la actual problemática de escasez de agua, la cual ha venido afectando la producción agrícola. Este proyecto propone un sistema de climatización semi automatizado que permita un control total del sistema, asegurando así las condiciones óptimas que los cultivos requieren para un óptimo desarrollo. Por lo tanto, se propone un diseño que permita el menor gasto de energía dentro del sistema y un cuidado del recurso hídrico, ya que, con el uso de los sensores y demás elementos tecnológicos instalados en el sistema, podrá regularse las condiciones climáticas dentro del invernadero. El diseño fue elaborado para un invernadero de 15 x 7 m con una altura de 4 m. Para que no exista gasto de energía dentro del sistema de nebulización se realizó un diseño que divide el área en dos sectores. Para la fuente de abastecimiento del sistema se consideró una demanda de caudal de 48 gl/min proporcionando la presión de trabajo requerida por cada nebulizador. Se obtuvo que el sistema estará compuesto por 72 nebulizadores, el diámetro de la tubería principal es de 40 mm y para las líneas de nebulizadores una tubería de 20 mm, para satisfacer las necesidades de caudal y presión, se propone una bomba de ½ hp, y 3 electroválvulas que cada una controla 2 líneas de riego, teniendo así un control total del sistema.

Palabras clave: Invernadero, climatización, nebulización y semi automatización

ABSTRACT

The use of the system of irrigation by fogging has as objective the air conditioning inside greenhouses and to realize the irrigation, to obtain greater yields in the production of any crop. This system is also an alternative to the current problem of water scarcity, which has been affecting agricultural production. This project proposes a semi-automated air conditioning system that allows full control of the system, thus ensuring the optimal conditions that the crops require for optimal development. Therefore, a design is proposed that allows the lowest energy expenditure within the system and a care of the water resource, since, with the use of sensors and other technological elements installed in the system, climatic conditions can be regulated within the system. greenhouse. The design was developed for a 15 x 7 m greenhouse with a height of 4 m, so that there is no greater energy expenditure, the distribution of the fogging system was carried out, dividing the area into two sectors. For the supply of the system, a flow demand of 48 gl / min was considered, providing the required working pressure for each nebulizer. It was obtained that the system will be composed of 72 nebulizers, the diameter of the main pipe is 40 mm and for the nebulizer lines a 20 mm pipe, to meet the flow and pressure needs, a ½ hp pump is proposed, and 3 solenoid valves that each controls 2 irrigation lines, thus having total control of the system.

Keywords: Greenhouse, air conditioning, fogging and semi automation

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
CAPÍTULO I.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.5. OBJETIVOS.....	3
1.5.1. GENERAL	3
1.5.2. ESPECIFICOS	3
CAPITULO II.....	4
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1. INVERNADERO.....	4
2.2. CLIMA DEL INVERNADERO	4
2.2.1. TEMPERATURA.....	4
2.2.2. HUMEDAD RELATIVA.....	5
2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE SISTEMAS DE RIEGO.....	5
2.3.1. SISTEMA DE RIEGO SUPERFICIAL O RIEGO POR GRAVEDAD.....	5
2.3.2. SISTEMA DE RIEGO MECÁNICO O RIEGO A PRESIÓN (PRESURIZADO).....	5
2.4. RIEGO POR COBERTURA TOTAL	6
2.5. RIEGO LOCALIZADO	6
2.6. RIEGO POR NEBULIZACIÓN.....	6
2.6.1. PRINCIPALES USOS DEL RIEGO POR NEBULIZACIÓN.....	7
2.6.2. COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO POR NEBULIZACIÓN.	7

2.6.3.	DISEÑO HIDRÁULICO.....	11
2.6.4.	AUTOMATIZACIÓN.....	11
2.6.5.	TIPOS DE CONTROL.....	11
CAPITULO III		13
3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
3.1.	LOCALIZACIÓN	13
3.2.	SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y CLIMATICA.....	13
	CONDICIONES CLIMATICAS.....	13
3.3.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	14
3.4.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	14
CAPITULO IV		17
4.	RESULTADOS ESPERADOS	17
4.1.	REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE LAS ESPECIES HORTÍCOLAS.....	17
4.2.	DISEÑO HIDRAULICO PARA UN SISTEMA DE NEBULIZACIÓN	18
4.2.1.	COMPONENTES DEL SISTEMA HIDRAULICO.....	22
CAPITULO V		32
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	32
5.1.	CONCLUSIONES	32
5.2.	RECOMENDACIONES.....	32
CAPITULO VI.....		33
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	33

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos de los requerimientos de temperatura de germinación y crecimiento de hortalizas.....	17
Tabla 2: Ficha técnica del nebulizador Greenmist de la marca Aquaflex.	22
Tabla 3: Ficha técnica del sensor Dht11 de la marca Arduino.	24
Tabla 4 : Ficha técnica de la electroválvula de serie PGA de marca Rain Bird.....	25
Tabla 5: Ficha técnica de la bomba de serie FCE modelo FCE05CI.	26
Tabla 6: Ficha técnica del controlador ESP- TM2-4 de la marca Rain Bird.....	26
Tabla 7: Perdidas de carga calculadas teniendo en cuenta las características de las tuberías y las singularidades del sistema.....	29
Tabla 8: Conversión de caudales	29
Tabla 9: Materiales que se utilizaran en el sistema.	30

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño básico de un sistema de nebulización.	9
Figura 2: Ubicación de la Universidad Estatal Amazónica.	13
Figura 3: Propuesta de un sistema semi automatizado para riego por nebulización.	16
Figura 4: Descripción de los tramos y líneas de distribución del sistema hidráulico.....	22
Figura 5: Nebulizador Greenmist de la marca Aquaflex.	23
Figura 6: Tubería de polietileno de un diámetro de 20 mm	23
Figura 7: Tubería PVC de un diámetro de 40 mm	23
Figura 8: Accesorios de la red de tuberías del sistema	24
Figura 9: Sensor de temperatura y humedad relativa Dht11 Arduino.	25
Figura 10: Electroválvula PGA marca Rain Bird de 1 pulgada.	25
Figura 11: Bomba centrífuga Serie FCE de 1 pulgada.	26
Figura 12: Controlador ESP–TM2-4 de la marca Rain Bird.	27
Figura 13: Invernadero de tipo Asimétrico.....	27
Figura 14: Esquema de distribución de los componentes del sistema de riego por nebulización.....	28
Figura 15: Diseño del sistema de riego presurizado semi automatizado para mejorar las condiciones climáticas en producción de hortalizas en invernadero.	31

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

Las civilizaciones a lo largo de la historia han estado fuertemente ligadas al desarrollo de la agricultura por medio de sistemas de riego por gravedad, para proveer agrícolamente a una sociedad y asegurar su alimentación. A partir del siglo XIX los proyectos de riego específicamente por gravedad a gran escala en países como India, China, y Egipto, incrementaron seis veces el área de riego; las mejoras que se dieron en el siglo XX en la rama de la Ingeniería Hidráulica ayudaron a la planificación, diseño y construcción de varios sistemas de riego por ejemplo el riego por aspersión, goteo, nebulización y microaspersión (Toledo 2012). Es por este motivo que el riego llegó a representar el 70% de las extracciones de agua en el mundo, y con el crecimiento demográfico se espera que en el año 2050 la cifra aumente en un 40%, manifestando una necesidad de crear urgentemente estrategias que se basen en el desarrollo sostenible del uso de este recurso (FAO, 2002).

Es por esto que se han desarrollado muchos sistemas de riego como son los de cobertura total o localizado, que usan diferentes técnicas para satisfacer las necesidades de los cultivos, entre estos esta la nebulización que consiste en la utilización de agua en forma de neblina o partículas mucho más pequeñas, con el fin de lograr que la temperatura del medio se reduzca y por ende las partículas de agua se disuelvan en el ambiente y gane humedad relativa (Zambrano 2017).

Además del ahorro de agua, y de una alta permanencia de humedad en el suelo, los sistemas de nebulización admiten la aplicación de fertilizantes conjuntamente con el riego. De esta manera se logran otras ventajas como la disminución de mano de obra y consumo de productos, ya que brinda la posibilidad adecuar el sistema a las distintas necesidades nutritivas a lo largo del ciclo del cultivo (Zambrano, 2012).

Según López (2016), un sistema de riego bien diseñado es un requisito esencial para realizar un riego amigable y rentable. La aplicación de la tecnología ha proporcionado oportunidades para implementar sistemas que sirvan de apoyo a la horticultura de invernadero, ya que permite controlar el clima de forma remota, transmitiendo información hasta los dispositivos de control, donde el usuario puede tomar las decisiones o controlar ciertos espacios dentro del invernadero, de ahí surge la propuesta de usar tecnología para el monitoreo y control de invernaderos.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Unos de los principales problemas de la producción hortícola es el alcanzar el desarrollo autosuficiente y la independencia alimentaria de la sociedad, para alcanzar dicho desarrollo los agricultores requieren de una alta producción de excelente calidad, en todo el año, sin daños por agentes climáticos, plagas ni enfermedades, para cumplir y mantener las exigencias de los mercados y consumidores, lo que implica el uso de una serie de tecnologías que faciliten la producción de hortalizas de buena calidad (Santos, 2013).

Uno de los procesos más complejos para la adecuada producción de especies hortícolas en el sector agrícola es el riego, al determinar la cantidad necesaria que requiere la planta para su crecimiento de acuerdo a su estado fenológico y en el momento indicado, pues si no se conoce este parámetro, el cultivo sufre un estrés hídrico lo que origina una tasa muy baja de enraizamiento, provocando pérdidas significativas en la producción. Este es un proceso que hasta el momento sigue siendo rudimentario en algunos cultivos bajo invernadero en la zona Amazónica. Generalmente en la agricultura se tiene un alto consumo de agua causado por la sobre irrigación, lo cual no solo genera un desperdicio de agua, sino que también, debido a los agroquímicos disueltos, se provoca la contaminación de corrientes de agua superficial y subterránea de las zonas cercanas (Castelblanco, 2019).

Plantea Martínez (2014), la necesidad de implementar un sistema de riego tecnificado, ya que una forma sencilla de mejorar la productividad es proporcionar el suministro de agua en una proporción técnicamente correcta de manera automatizada. Al ser el invernadero un espacio controlado, el sistema de riego tiene gran influencia sobre el clima interno, de tal modo que puede constituir uno de los métodos de regulación de la humedad relativa y temperatura. Por todo ello merecen una especial atención tanto el proceso de selección, como el manejo del sistema de riego, ya que la elección de un sistema de este tipo no se basa únicamente en criterios técnicos o sociales, sino también en criterios económicos y las condiciones exteriores a la explotación, como el suministro de agua, contribuyendo a ahorrar un considerable volumen de agua.

En el presente trabajo se diseñará un sistema de riego por nebulización en condiciones controladas, permitiendo a los estudiantes, docentes e investigadores de la Universidad Estatal Amazónica disponer de un sistema de riego semi automatizado que les facilite la producción de hortalizas.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El control de las condiciones climáticas dentro del invernadero es un factor muy importante a la hora de establecer un cultivo, ya que, los invernaderos se caracterizan por su microclima, si las condiciones de humedad son altas y a su vez se presenta altas temperaturas se dan las condiciones para el desarrollo de enfermedades, si se mantienen las condiciones ambientales dentro del invernadero en rangos óptimos, el cultivo establecido tendrá una producción de mejor calidad y libre de enfermedades, por este motivo se requiere un método que facilite la regulación y el control de la humedad y temperatura en el interior del invernadero, dentro de estos métodos se encuentra el riego por nebulización que es una buena opción en la control de temperatura y humedad, para que la climatización sea de forma eficiente a través de la nebulización una opción es el sistema semi automatizado que facilite el manejo de las variables climáticas.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo mantener las condiciones climáticas adecuadas en el interior de un invernadero para la producción de especies hortícolas a través de un sistema semi automatizado de riego por nebulización?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. GENERAL

- Proponer un sistema semi automatizado de riego por nebulización para mantener las condiciones climáticas adecuadas en cultivos hortícolas bajo condiciones de invernadero.

1.5.2. ESPECIFICOS

- Definir los requerimientos climáticos de las principales especies hortícolas, para establecer los puntos y volumen de riego a utilizar.
- Describir las características de los sensores de humedad, temperatura y de los actuadores de riego existentes, para seleccionar el más apropiado.
- Diseñar un sistema hidráulico que mantenga las condiciones adecuadas en el interior del invernadero.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. INVERNADERO

Un invernadero es un sistema productivo capaz de proporcionar protección para los cultivos, permite controlar los factores climáticos que intervienen en el desarrollo del cultivo. Un desarrollo óptimo y equilibrado de las plantas, depende de la forma en la cual los factores como temperatura, humedad e iluminación inciden de forma favorable sobre ellos (García, 2017).

2.2. CLIMA DEL INVERNADERO

Las condiciones climáticas dentro del invernadero cambian con respecto al exterior. Los plásticos de la cubierta superior dejan filtrar la radiación y una vez que se ha saturado el ambiente la empieza a reflejar, esto hace que la temperatura interna aumente y por tanto en las horas de mayor radiación se tendrán altas temperaturas. Al aumentar la temperatura, la humedad del aire, que se conoce como humedad relativa disminuye, ya que ambos elementos climáticos son inversamente proporcionales, este efecto es influenciado directamente por la radiación solar (Cedillo, 2019)

Los factores climáticos tienen una importancia sobre el funcionamiento óptimo de los fenómenos fisiológicos de los vegetales. El desarrollo fisiológico óptimo y equilibrado de los cultivos depende de que esos factores inciden favorablemente sobre ellos. Algunos de los factores que intervienen en este desarrollo son los siguientes: luminosidad, temperatura y humedad. De nada sirve que se actúe sobre alguno de ellos si no se hace una proporción correspondiente con los demás. Si uno de los factores queda sensiblemente reducido, se puede anular el esfuerzo que se haga con los restantes factores fundamentales (Cermeño, 2005).

2.2.1. TEMPERATURA

Según Huertas (2007), cada función vital del vegetal necesita una temperatura crítica, si se está por encima o por debajo de ella la función de crecimiento se ve dificultada o no se realiza. Cada especie vegetal, en cada momento crítico de su ciclo biológico, necesita de una temperatura óptima para su desarrollo normal. La temperatura es un

parámetro importante a tener en consideración al momento del manejo del ambiente dentro del invernadero, ya que influye en el desarrollo y crecimiento de la planta.

2.2.2. HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa no es una variable que afecte directamente el crecimiento del cultivo, aunque su control tiene un interés especial. La humedad relativa elevada favorece a la aparición de enfermedades en las plantas, además de disminuir la transpiración, lo que reduce la absorción de agua y nutrientes. Por otro lado, una humedad relativa baja, incrementa la tasa de transpiración, lo que puede provocar estrés hídrico y reducir la fotosíntesis. Teniendo en cuenta esto, es necesario mantener la humedad relativa dentro del invernadero (Rodríguez, 2005)

2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE SISTEMAS DE RIEGO

Según FAO (2002), la clasificación de riego se agrupan en dos categorías:

- Sistema de riego superficial o riego por gravedad.
- Sistema de riego mecánico o riego a presión (presurizado).

2.3.1. SISTEMA DE RIEGO SUPERFICIAL O RIEGO POR GRAVEDAD.

El riego superficial, como su nombre lo indica hace alusión al agua que fluye sobre la superficie del terreno gracias a la pendiente por efecto a la gravedad. Bajo este método, el agua se aplica al terreno en su parte más alta y fluye hacia los puntos más bajos, disminuyendo en cantidad o volumen a medida que se infiltra en el suelo (Lui et al., 2012).

2.3.2. SISTEMA DE RIEGO MECÁNICO O RIEGO A PRESIÓN (PRESURIZADO).

En estos sistemas de riego el agua se conduce a presión por tuberías y laterales de riego hasta las plantas, donde se aplica desde emisores en forma de gotas (goteo) o de fina lluvia (microaspersión). También permiten la aplicación de fertilizantes junto con el agua de riego (fertiirrigación). Son sistemas que demandan un alto

consumo de energía para el presurizado mediante bombeo y deben tener un eficiente sistema de filtrado para evitar obturaciones. Presentan una eficiencia de aplicación del 90 – 95% de agua de riego; y, para su instalación por lo general, no necesitan de gran preparación de terreno por lo que se pueden emplear en terrenos con pendientes fuerte, sin necesidad de nivelación (Rojas, 2014).

2.4. RIEGO POR COBERTURA TOTAL.

El riego de cobertura total, Full Coverage Irrigation (FCI), es una filosofía de diseño y de gestión que incorpora el sistema de riego con el hábitat global para otorgar al productor un control agronómico superior del sistema de cultivo, este tipo de riego puede ser temporal, durante el periodo de riego o permanente (Zambrano, 2012).

2.5. RIEGO LOCALIZADO

Según García (2017), el riego localizado es un método de riego para mantener un nivel adecuado y constante de humedad en el suelo, aplica el agua gota a gota en la masa radicular de la planta.

Es una innovación que revoluciona las prácticas que normalmente rigen a los restantes sistemas. Así, más que una variante de riego, es una técnica nueva de riego, que exige conocimiento tanto del sistema de riego en si, como de cuestiones agronómicas.

Se pretende una aplicación del agua lenta, localizada y uniforme, humedeciendo una parte del terreno y manteniendo constantemente altos niveles de humedad en el suelo.

El efecto localizado tiene influencia en la evaporación y transpiración, la distribución de las raíces, entre otras. Al ser poco volumen de suelo mojado, la capacidad de almacenamiento es baja y por tanto obliga a aplicar pequeñas dosis de riego, con alta frecuencia. Los sistemas de riego localizado comprenden:

- Goteo.
- Microaspersión

2.6. RIEGO POR NEBULIZACIÓN

La nebulización es un sistema de regulación climática que se usa en los invernaderos para evitar, en la medida posible la elevada temperatura y escasa humedad que, a veces, se produce en los invernaderos. Es por lo que este sistema de relación climática resulta muy

interesante para resolver los problemas de alta temperatura y/o baja humedad que se encuentran durante determinadas épocas en los invernaderos. El manejo de la nebulización debe ser cuidadoso, puesto que su uso incorrecto puede causar más problemas que beneficios (Gómez, 2001).

2.6.1. PRINCIPALES USOS DEL RIEGO POR NEBULIZACIÓN

Yevilao (2018), plantea que los principales usos del riego por nebulización son: Efectuar el riego, conservar el recurso hídrico, aumentar la humedad relativa del invernadero, refrigerar un invernadero si se combina con un sistema de ventilación forzada, aplicar tratamientos automatizados como abonos foliares, fitosanitarios, o cualquier fertilizante soluble en agua.

2.6.2. COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN DE RIEGO POR NEBULIZACIÓN.

Según García (2017), los componentes para la instalación son:

- Fuente de agua: Que permita un suministro constante al sistema.
- Sistema de bombeo: Para proporcionar la presión y el caudal adecuado a la instalación.
- Cabezal de abastecimiento y regulación:
 - Sistema de filtración: Debe tener un espesor de filtración que garantice que las boquillas no se obstruyan.
 - Sistema de control de presión: Que garantice una presión constante en el sistema.
- Red de tuberías.
- Sensores, actuadores y sistema de recolección de datos.
- Sistema de nebulizadores.

2.6.2.1. FUENTE DE AGUA

El agua para la nebulización puede tener cualquier origen (rio, estanque, pozo excavado o pozo profundo). Lo importante es que el agua esté libre de sólidos en suspensión, que tenga una baja concentración de bacterias y que su concentración de sales este dentro de los límites de tolerancia aceptable para el cultivo (Gómez, 2001).

2.6.2.2. SISTEMA DE BOMBEO

Está constituido generalmente por una bomba centrífuga, accionada por un motor eléctrico o de combustión interna. El tamaño de la bomba estará determinado por la carga total necesaria para la conducción y distribución del agua y gasto total requerido para regar el área beneficiada en el tiempo disponible (Medina, 1985).

2.6.2.3. CABEZAL DE ABASTECIMIENTO Y REGULACION.

FILTRO DE MALLA

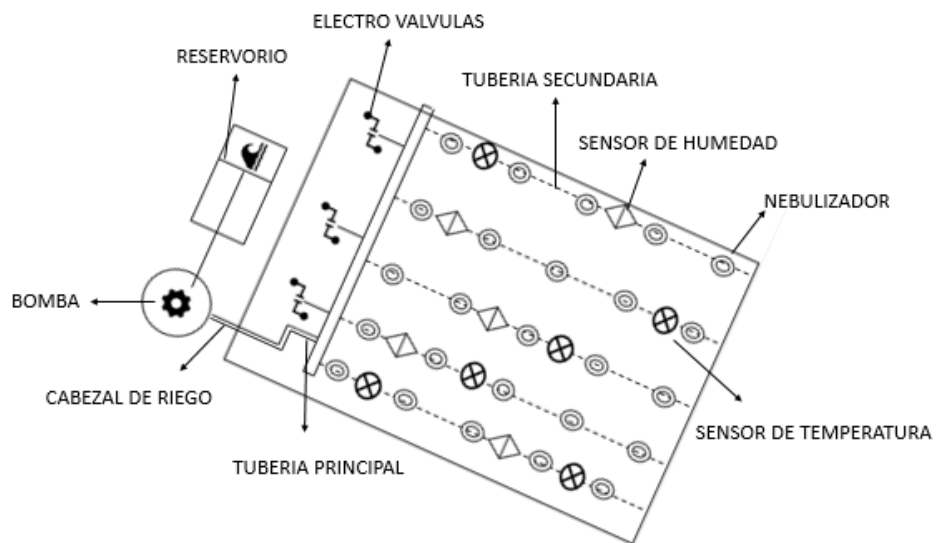
El filtro es necesario para reducir el riesgo de obstrucción de los goteros debido a las partículas sólidas y/o materia orgánica suspendida en el agua. El filtro de malla se usa principalmente para material solido transportado en el agua de riego, incluso partículas no disueltas de abono usado en la fertiirrigación. Estos filtros pueden tener una malla única o doble, una es para material grueso y la otra, para partículas más finas. La dimensión de las aberturas de la malla está condicionada por la susceptibilidad de los emisores a la obstrucción, y debe ser recomendada por sus fabricantes (Santos, 2010, citado por Martínez 2014).

MANÓMETRO

El manómetro nos ayuda a medir la presión en diferentes puntos del sistema y con eso poder controlar mejor el funcionamiento. El manómetro más utilizado es el de glicerina, pues brinda una buena precisión, y viene graduado en diferentes rangos. Los rangos más utilizados son: 0-30 PSI que se utiliza para medir la presión en la cinta de nebulización, otras variantes de manómetros van de: 0-100 PSI, 0-160 PSI y 0-200PSI (Briceño et al., 2012).

2.6.2.4. RED DE TUBERÍAS

Los conjuntos de tuberías constituyen una red de distribución que forman una red de distribución que conducen el agua desde el cabezal de riego hasta los emisores o puntos de emisión. Normalmente en la nebulización se riega por toda la superficie a la vez, y la duración del riego se basa en los datos que obtendrá de los sensores, en la figura 1 se muestra el diseño básico de un sistema de nebulización (Vaquero, 2007).



Fuente: Garrido (2019)

Figura 1. Diseño básico de un sistema de nebulización.

Partiendo del cabezal y formando un entramado en todo el invernadero, las tuberías distribuyen el agua hasta los emisores. Las tuberías se van bifurcando desde el cabezal de riego, hasta llegar a los emisores o goteros. Según Vaquero (2007) los distintos nombres que reciben las tuberías vienen por el rango de ramificación:

- Primaria o principal: Tubería que parte del cabezal de riego, llevando el agua desde este punto hasta las distintas bifurcaciones.
- Secundaria: Aquellas tuberías que nacen de la primaria.
- Terciarias: Nacen de las secundarias y llevan el agua desde estas hasta los ramales.
- Laterales o ramales: Último eslabón de la cadena, llevan el agua hasta los nebulizadores.

Las tuberías para instalación de riego por nebulización son en su mayoría de PVC y polietileno; también, últimamente de polipropileno y polibutileno. En las grandes instalaciones se recurre al fibrocemento solo en la red principal y ocasionalmente para tramos muy cortos, al hierro galvanizado, aunque debiera evitarse siempre que sea posible, por la fácil corrosión. De los materiales indicados, el fibrocemento es el más barato para grandes diámetros, en particular mayores de 150 a 200 mm. El PVC es rígido y más barato que el polietileno para diámetros de 50 mm y superiores. Por último, el polietileno es flexible y constituye el material más económico para diámetros inferiores a 50 mm, por lo que siempre se utilizarán en la red terciaria y ramales de riego (Osorio y Alfaro, 1996, citado por Martínez 2014).

2.6.2.5. SENSORES, ACTUADORES Y SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Micronica (2012) define a los sensores, actuadores y sistemas de adquisición de datos de la siguiente manera:

- **Sensores:** Son dispositivos que recogen información del ambiente y la entregan al sistema de control de forma que el sistema de control pueda procesar y tomar decisiones. Entre ellos tenemos:
 - Sensor de temperatura: Estos sensores envían la información para activar o desactivar el riego conforme a la temperatura del invernadero.
 - Sensor de Humedad: Este tipo de sensores tienen la función del monitorear la humedad del suelo y la humedad relativa dentro del invernadero.
- **Actuadores:** Son los dispositivos que permiten al sistema de control “actuar” sobre el ambiente para realizar el riego, existen multitud de sistemas actuadores, aunque el mando y control de los mismos es más fácil, en general, que el manejo de sensores. Hay dos tipos de actuadores que son:
 - Actuadores de dos estados: Son aquellos que realizan solamente la función de encendido y apagado, más conocidos como sistemas on / off.
 - Actuadores analógicos: Son aquellos que necesitan valores analógicos como el grado de apertura de una trappilla, velocidad de rotación de un motor, en estos casos se usan señales de mando.
- **Sistema de adquisición de datos:** Son los elementos que permiten a los usuarios entregar y recibir información del sistema de control, es decir que hacen de “enlace”

entre el usuario y el sistema para: informar, configurar, establecer parámetros y dar avisos.

2.6.2.6. SISTEMA DE NEBULIZADORES.

Solís (2018) plantea que los sistemas de nebulización se clasifican en dos grupos:

- Nebulizadores de alta presión: Generan gotas con un diámetro muy reducido, y esto hace que la gota pese poco, permitiendo así mantenerse más tiempo en la atmosfera del invernadero.
- Nebulizadores de baja presión: En este tipo de nebulizadores se generan gotas de mayor tamaño, debido al tamaño de la gota, éstas tienden a precipitarse rápidamente, este factor hace que la temperatura no descienda correctamente.

2.6.3. DISEÑO HIDRÁULICO

Con el diseño hidráulico, se busca el dimensionamiento más económico y eficiente del sistema y de cada uno de sus componentes. Se debe seleccionar el número, el espaciamiento y la capacidad de los emisores: El diámetro de las tuberías laterales o regantes y el diámetro de la tubería principal, así como de las tuberías auxiliares o secundarias necesarias (Medina, 1985 citado por Martínez 2014).

2.6.4. AUTOMATIZACIÓN

La automatización consiste en incorporar al proceso, un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren el control y buen comportamiento. Los objetivos de la automatización es la reducción de costos de fabricación, calidad constante en los medios de producción, y liberar al ser humano de las tareas tediosas, peligrosas e insalubres (García, 1999, citado por Martínez 2014).

2.6.5. TIPOS DE CONTROL

Molina y Ruiz (2009), plantean que la gestión del riego es fundamental al determinar el momento más adecuado para regar y la cantidad de agua adecuada a aplicar. Los sistemas de control del riego son herramientas que permiten suministrar el agua al cultivo en cantidades y frecuencias adecuadas, optimizando los recursos hídricos y evitando situaciones de estrés para el cultivo. Este control influye de forma significativa en los costos y consumo de agua.

2.6.5.1. CONTROL ON - OFF

En la regulación todo – nada la válvula de control adopta únicamente dos posiciones abierta o cerrada (Creus S.A, 2005). Este método de control es el más económico y sencillo.

2.6.5.2. CONTROL PROPORCIONAL

El control proporcional amplifica o atenúa el error de regulación a través de una ganancia de proporcionalidad, k_p (Angulo y Raya, 2004).

2.6.5.3. CONTROL PROPORCIONAL – INTEGRAL

Este controlador sustituye al controlador proporcional para eliminar el offset, siempre y cuando el sistema de control sea estable (Creus S.A, 2005).

2.6.5.4. CONTROL PROPORCIONAL, INTEGRAL Y DERIVATIVO (PID)

El control PID reúne las tres acciones: Proporcional (P), integral (I) y derivada (D). La acción proporcional estabiliza la oscilación natural de la variable controlada. Elimina además el grado de inestabilidad introducido por las acciones integral y derivativa. La acción integral proporciona una corrección o reajuste para compensar la variación de carga y mantener la variable controlada sobre el punto de consigna; la acción derivativa anticipa el efecto de la proporcional con el fin de estabilizar rápidamente la variable controlada después de cualquier cambio en el proceso (Acedo, 2003).

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACIÓN

El diseño se realizó en los predios del campus principal de la Universidad Estatal Amazónica, localizada en la Provincia de Pastaza, en el Cantón Puyo, en el Km. 2 1/2 vía Puyo a Tena (Paso lateral). Se localiza en la orilla izquierda del río Puyo, al centro-occidente de la región amazónica del Ecuador, en los flancos externos de la cordillera oriental de los Andes. (UEA. 2019).



Fuente: Google Maps (2019)

Figura 2: Ubicación de la Universidad Estatal Amazónica.

3.2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y CLIMÁTICA

CONDICIONES CLIMÁTICAS

EL clima de Puyo es tropical, se halla a una altitud de 930 m.s.n.m. y con un clima lluvioso tropical con precipitaciones constantes por lo que no hay estación seca bien definida, y tiene temperaturas que oscilan desde los 15°C a los 32°C. La temperatura promedio es de 20°C, y la humedad relativa promedio es de 87% (INAMHI, 2018).

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Dadas las características del proyecto realizado, la metodología que se utilizó es descriptiva, exploratoria para el posterior desarrollo del diseño de los sistemas teniendo en consideración las exigencias climáticas del cultivo y las condiciones ambientales de la zona.

3.4. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. FASE 1: DESCRIPCIÓN Y ESTUDIO DE LAS EXIGENCIAS CLIMATICAS DEL CULTIVO Y DESCRIPCIÓN DE LOS SENSORES Y ACTUADORES PARA EL SISTEMA

- Estudio de los requerimientos climáticos de las especies hortícolas: Los requerimientos climáticos varían según la especie y edad del cultivo, por tal motivo para la obtención de un producto de calidad, se identificarán los requerimientos climáticos en cada estadio de las especies de hortalizas con mayor importancia económica.
- Estudio de los componentes de la instalación de un sistema de nebulización: para la instalación del sistema se debe tener en cuenta todos los componentes como son: el suministro de agua, el tipo de bombeo que se realizara, el cabezal de abastecimiento (filtrado y control de presión), y la red de tuberías.
- Estudio y selección de tipos de sensores de temperatura y humedad: En el mercado existe una variedad de sensores con características diferentes, de lo convencional a lo más tecnificado, por tal motivo se hizo una evaluación para definir cuál de los sensores que existen se acopla más al modelo del sistema a realizarse.
- Estudio y selección de los tipos de actuadores: de acuerdo a las necesidades del sistema se optó por actuadores que cumplan tal necesidad, para esto se realizó un estudio de los diferentes tipos de actuadores que existen en el mercado para definir cuál cumple con las necesidades del sistema.
- Estudio y selección de los sistemas para la adquisición de datos: para un buen funcionamiento de toda la interfaz del sistema, se debe contar con un sistema de control que reciba los datos de los sensores y efectuar las acciones en relación a los

datos obtenidos, por este motivo un estudio de estos sistemas facilita la selección de equipos que puedan cumplir eficientemente este proceso.

- Estudio y selección del controlador para el sistema: para el controlador se importan datos técnicos de los cultivos a establecerse para asegurar sus condiciones idóneas.

3.4.2. FASE 2: PROPUESTA DEL SISTEMA

- Selección y dimensionamiento de invernaderos: De acuerdo con la literatura consultada se tomaron parámetros referenciales de los diferentes tipos de invernadero para el cálculo del volumen a climatizar dentro de un invernadero estándar.
- Diseño del sistema de recolección de agua: De acuerdo a las condiciones climáticas de la zona, y los cálculos de caudales de agua para realizar la climatización del invernadero se dimensionó un sistema de recolección de agua, que supla la necesidad hídrica para el sistema.
- Diseño del sistema hidráulico: Para el cálculo de todas las variables del sistema se utilizaron las siguientes formulas:

- Pérdida de carga localizada: Ecuación de Darcy – Weisbach (1845).

$$H_f = f * \left(\frac{L}{D}\right) \left(\frac{V^2}{2g}\right) \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

H_f: Pérdida de carga (m)

f: Es un factor adimensional de fricción

L: Longitud de conducción (m)

V: Velocidad promedio de fluido (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (9.8 m/s²).

$$f = \frac{0.32}{Re^{0.25}} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

f: Factor de fricción, adimensional

Re: Número de Reynolds, adimensional.

$$Re = K \frac{Q}{D} \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

K: Es una constante, 1.26 x 10⁶ para agua a 20°C.

D: Diámetro interno (mm)

Q: Caudal (L/s)

- Hazen – Williams

$$H = 10.674 * [Q^{1.852} / (C^{1.852} * D^{4.871})] * L \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

- H: Pérdida de carga o de energía (m)
- Q: Caudal (m³/s)
- C: Coeficiente de rugosidad (adimensional)
- D: Diámetro interno de la tubería (m)
- L: Longitud de la tubería (m)

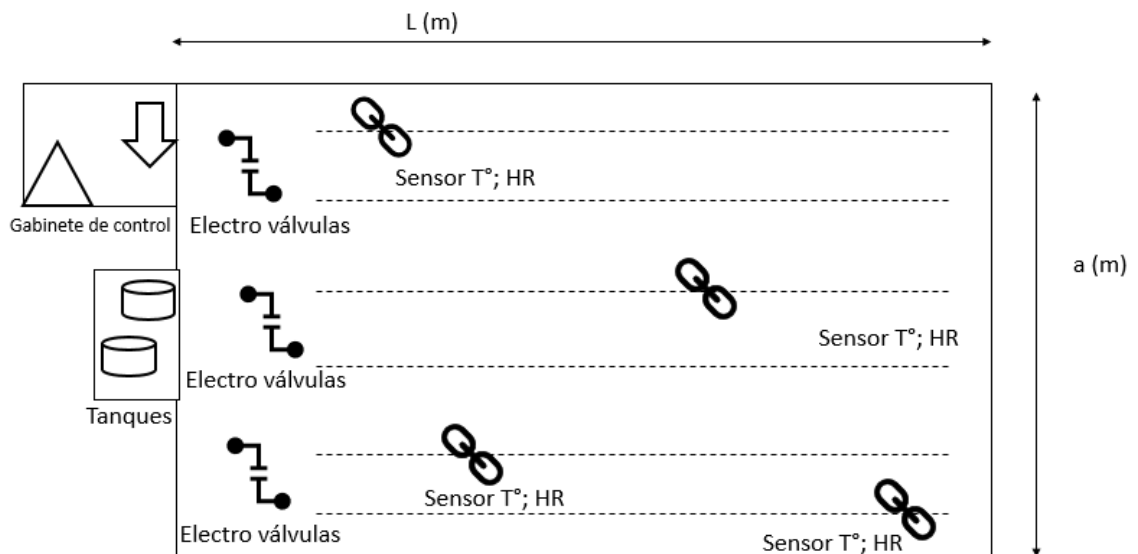
- Pérdida de carga en singularidades

$$h = K * (V^2 / 2g) \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

- h: Pérdida de carga o de energía (m)
- K: Coeficiente empírico de pérdidas singulares (adimensional)
- v: Velocidad media del flujo (m/s)

- Diseño del sistema eléctrico: Para el sistema de riego se necesita una fuente eléctrica que abastezca al invernadero, por ello se diseñó un sistema eléctrico a partir de fuentes de abastecimiento cercanas al invernadero.
- Propuesta del sistema de riego por nebulización para el invernadero de especies hortícolas, se basó en el esquema propuesto que se presenta en la figura 3.



Fuente: Garrido (2019).

Figura 3: Propuesta de un sistema semi automatizado para riego por nebulización.








CAPITULO IV

4. RESULTADOS ESPERADOS

4.1. REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE LAS ESPECIES HORTÍCOLAS.

Los requerimientos climáticos varían según la especie y edad del cultivo, en la tabla 1, se detalla las temperaturas óptimas de 4 especies de hortalizas en las etapas de germinación y crecimiento.

Tabla 1: Datos de los requerimientos de temperatura de germinación y crecimiento de hortalizas.

HORTALIZAS		Temperatura					Humedad Relativa
Cultivo	Estadio	0	10	20	30	40	%
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) 	G			15	20		60-80
	C	8	15	20	25		
Brócoli (<i>Brassica oleracea itálica</i>) 	G		15		30		60-80
	C	8	15	20	25		
Repollo (<i>Brassica oleracea</i>) 	G		15		30		60-80
	C	5	18	20	25		
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) 	G		24		30		70-80
	C	5	20	25	35		
Zapallo (<i>Cucurbita pepo, L.</i>) 	G		25		30		60-80
	C	8	20	25	35		
Pepino (<i>Cucumis sativus</i>). 	G		25		30		60-80
	C	8	23	28	35		
Apio (<i>Apium graveolens</i>). 	G		15		20		90-95
	C	5	15	20	23		

Leyenda:

G: Germinación C: Crecimiento ←→: T° adecuada •---- : Limite temperatura baja

----° : Limite de temperatura alta

Fuente: Ministerio de agricultura de Nicaragua (2017)

4.2. DISEÑO HIDRAULICO PARA UN SISTEMA DE NEBULIZACIÓN

Los resultados matemáticos para el diseño hidráulico fueron los siguientes:

Datos: - Invernadero: 15 m x 7 m x 4 m - Nebulizador: Q = 30 L/ h Presión = 30 psi

- Diámetro = 1.2 m.

Número de nebulizadores

$N^{\circ}_{\text{neb}} = \text{Largo de la tubería} / \text{diámetro del nebulizador}$

$N^{\circ}_{\text{neb}} = 15 / 1.2 = 12$ nebulizadores x línea.

Número de líneas de nebulización

$N^{\circ}_{\text{líneas}} = \text{Ancho del invernadero} / \text{diámetro del nebulizador.}$

$N^{\circ}_{\text{líneas}} = 7 / 1.2 = 6$ líneas.

Caudal total de los nebulizadores

$Q_{\text{neb línea}} = \text{Caudal del nebulizador} \times \text{número de nebulizadores por línea}$

$Q_{\text{neb línea}} = 30 \text{ lts} / \text{hora} \times 12 = 360 \text{ L/h}$

$Q_{\text{neb total}} = 360 \text{ lts} / \text{hora} \times 6 = 2160 \text{ L/h.} = 0.0006 \text{ m}^3/\text{s.}$

Presión total de los nebulizadores dentro del sistema

$P_{\text{total}} = \text{Presión del nebulizador} \times \text{número de nebulizadores.}$

$P_{\text{línea}} = 51 \text{ psi} \times 12 = 612 \text{ psi}$

$P_{\text{total}} = 612 \times 6 = 3672 \text{ psi} = 253.14 \text{ bar.}$

• Pérdidas de carga.

Mediante la aplicación de la fórmula de Hazen – Williams (1845), se estimaron las pérdidas de carga, en los diferentes tramos del sistema, el primer tramo es el lateral riego, el segundo es la red de distribución de la tubería secundaria, y el tercero es el tramo de la tubería principal desde la bomba de agua.

1) Caída de presión del lateral de riego: Consta de 7 secciones que va desde el inicio del regante hasta el último nebulizador de la tubería.

Datos: Con una tubería PVC de 20 mm

Coefficiente de la tubería PVC: 150

Diámetro interno de la tubería: 0.017 m

Caudal del nebulizador: $8.33\text{E-}06 / 1.2$ de diámetro

Tramo de A hasta B:

$$H = 10.674 * \left[\frac{0.00000833^{1.852}}{150^{1.852} * 0.017^{4.871}} \right] * 1.2 = 0.000296 \text{ psi}$$

Tramo de B hasta C:

$$H = 10.674 * \left[\frac{0.0000166^{1.852}}{150^{1.852} * 0.017^{4.871}} \right] * 1.2 = 0.0010 \text{ psi}$$

Tramo de C hasta D:

$$H = 10.674 * \left[\frac{0.000025^{1.852}}{150^{1.852} * 0.017^{4.871}} \right] * 1.2 = 0.0022 \text{ psi}$$

Tramo de D hasta E:

$$H = 10.674 * \left[\frac{0.000033^{1.852}}{150^{1.852} * 0.017^{4.871}} \right] * 1.2 = 0.00583 \text{ psi}$$

Tramo de E hasta F:

$$H = 10.674 * \left[\frac{0.0000416^{1.852}}{150^{1.852} * 0.017^{4.871}} \right] * 1.2 = 0.0022 \text{ psi}$$

Tramo de F hasta G:

$$H = 10.674 * \left[\frac{0.00005^{1.852}}{150^{1.852} * 0.017^{4.871}} \right] * 1.2 = 0.0082 \text{ psi}$$

2) Caída de presión de la distribución de riego: Consta de 6 tramos, que son las líneas de distribución de todo el sistema.

Datos: Con una tubería PVC de 40 mm

Coficiente de la tubería PVC: 150

Diámetro interno de la tubería: 0.0372 m

Caudal del nebulizador: 360 Lph por cada sección / 1.2 de diámetro

Tramo de G hasta H:

$$H = 10.674 * \left[\frac{0.0001^{1.852}}{150^{1.852} * 0.0372^{4.871}} \right] * 1.2 = 0.0006431 \text{ psi}$$

Tramo de H hasta I:

$$H = 10.674 * \left[\frac{0.0002^{1.852}}{150^{1.852} * 0.0372^{4.871}} \right] * 1.2 = 0.00232 \text{ psi}$$

Tramo de I hasta J:

$$H = 10.674 * \left[\frac{0.0004^{1.852}}{150^{1.852} * 0.0372^{4.871}} \right] * 1.2 = 0.0084 \text{ psi}$$

Tramo de J hasta K:

$$H = 10.674 * \left[\frac{0.0008^{1.852}}{150^{1.852} * 0.0372^{4.871}} \right] * 1.2 = 0.030 \text{ psi}$$

Tramo de K hasta L:

$$H = 10.674 * \left[\frac{0.00016^{1.852}}{150^{1.852} * 0.0372^{4.871}} \right] * 1.2 = 0.109 \text{ psi}$$

Tramo de L hasta M:

$$H = 10.674 * \left[\frac{0.00032^{1.852}}{150^{1.852} * 0.0372^{4.871}} \right] * 1.2 = 0.394 \text{ psi}$$

3) Caída de presión de conducción: Consta de 3 tramos desde la bomba hasta llegar a la primera red de distribución.

Datos: Con una tubería PVC de 40 mm

Coefficiente de la tubería PVC: 150

Diámetro interno de la tubería: 0.0372 m

Caudal: 11520 LPH.

Tramo de M hasta N:

$$H = 10.674 * \left[\frac{0.00032^{1.852}}{150^{1.852} * 0.0372^{4.871}} \right] * 2 = 0.657 \text{ psi}$$

Tramo de N hasta O:

$$H = 10.674 * \left[\frac{0.00032^{1.852}}{150^{1.852} * 0.0372^{4.871}} \right] * 7.5 = 2.46 \text{ psi}$$

Tramo de O hasta P:

$$H = 10.674 * \left[\frac{0.00032^{1.852}}{150^{1.852} * 0.0372^{4.871}} \right] * 1 = 0.328 \text{ psi}$$

4) Caída de presión por singularidades:

Datos:

K codos= 0.75

K tee= 1.85

K manómetro = 0.5

K electroválvula = 0.41

Codos:

$$h = 0.75 * \left(\frac{0.00245^2}{2(9.8)} \right) = 1.6124 = 0.00000293 \text{ psi}$$

Tee:

$$h = 1.85 * \left(\frac{0.00245^2}{2(9.8)} \right) = 1.6124 = 0.000004848 \text{ psi}$$

Manómetro:

$$h = 0.5 * \left(\frac{0.00245^2}{2(9.8)} \right) = 1.6124 = 0.000000218 \text{ psi}$$

Electroválvula:

$$h = 0.41 * \left(\frac{0.00245^2}{2(9.8)} \right) = 1.6124 = 0.00000537 \text{ psi}$$

5) Total, de la pérdida de cargas:

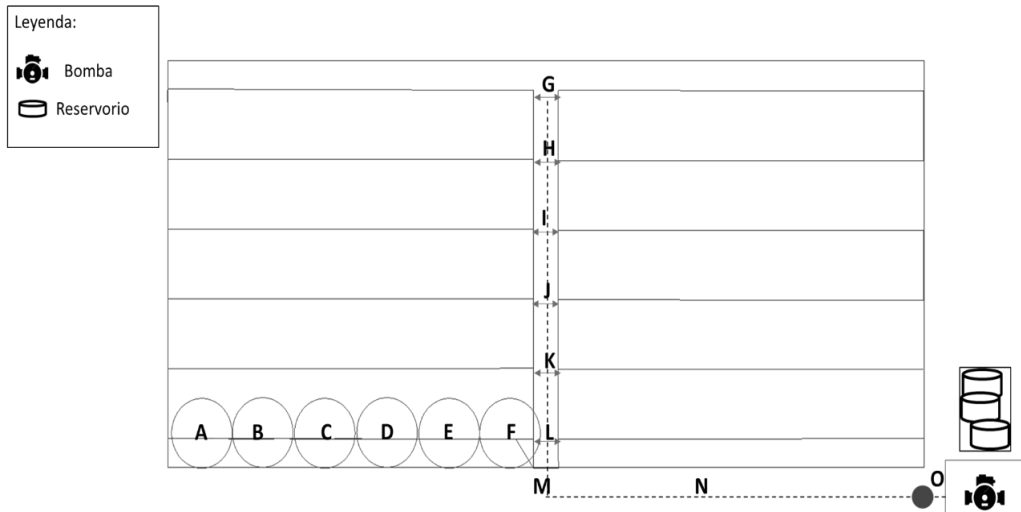
$$HDT = 0.022 + 0.545 + 3.450 + 0.00000789 = 4.017 \text{ psi}$$

6) Potencia de la bomba: Con una eficiencia de la bomba del 50%

$$HP = (Q + HDT)/(3960 * EF)$$

$$HP = \frac{48GPM + 579.18 \text{ PSF}}{3960 * 0.5} = 0.317 \text{ HP}$$

En la figura 4 se detalla la distribución de los tres tramos que se delimitaron para el cálculo de las pérdidas de carga, que se producen en el sistema, dentro de este está el primer tramo que representa la red de tuberías terciarias que comprenden las letras de la A - F, el segundo tramo es la red de tuberías secundarias que están representadas de la letra G - L, y el tercer tramo es la red principal que está representado por las letras de la M – O.



Fuente: Garrido (2019)

Figura 4: Descripción de los tramos y líneas de distribución del sistema hidráulico.

4.2.1. COMPONENTES DEL SISTEMA HIDRAULICO

- **Sistema de nebulización:** Para el sistema de nebulización se seleccionó un nebulizador de 30 lph, con una presión de trabajo de 30 psi, con un diámetro de 1.2 m de la marca Aquaflex, modelo GREENMIST, como se aprecia en la tabla 2 y figura 5

Tabla 2: Ficha técnica del nebulizador Greenmist de la marca Aquaflex.

GREENMIST DE LA MARCA AQUAFLEX	
Presión	2.0 a 3.5 bar
Caudal	30 – 40 l/h
Requisitos de filtrado	120 micrones
Diámetro de humedecimiento	1.2 m

Fuente: Aquaflex (2019)



Fuente: Aquaflex (2019).

Figura 5: Nebulizador Greenmist de la marca Aquaflex.

- **Red de tuberías:** Para la red de tuberías, en primera instancia, para la red de distribución y conducción, se utilizará un tubo PVC de 40 mm, y para los regantes se utilizará una tubería de polietileno de 20 mm, como se muestra en la figura 6 y 7.



Fuente: Abcbricotén (2019).

Figura 6: Tubería de polietileno de un diámetro de 20 mm



Fuente: Riego Ecuador (2019).

Figura 7: Tubería PVC de un diámetro de 40 mm

- **Accesorios del sistema:** los accesorios que se utilizaron en el sistema fueron, 7 codos de 90° de 40 mm, 6 Tee reductora de 40 mm con salida de 20 mm, y un manómetro.



Fuente: Plastigama (2019)

Figura 8: Accesorios de la red de tuberías del sistema .

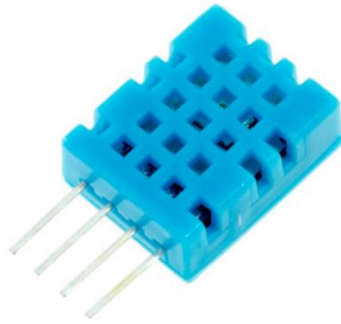
4.3. SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD, ACTUADORES Y SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

- **Sensor seleccionado:** El sensor seleccionado es el Dht11 marca Arduino, que es capaz de medir temperatura y humedad relativa, además por su fácil acceso y buena funcionalidad que este posee, en la tabla 3 y figura 9 se detalla la ficha técnica del sensor seleccionado.

Tabla 3: Ficha técnica del sensor Dht11 de la marca Arduino.

-Voltaje de Operación: 3V - 5V DC	-Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH.
-Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C	-Precisión de medición de humedad: 5%
-Precisión de medición de temperatura: ±2.0 °C	-Resolución Humedad: 1% RH
-Resolución Temperatura: 0.1°C	-Tiempo de sensado: 1 s.
	-Interface digital: Single-bus (bidireccional)

Fuente: Arduino (2019).



Fuente: Arduino (2019).

Figura 9: Sensor de temperatura y humedad relativa Dht11 Arduino.

- **Actuadores seleccionados:** Se emplearon tres electroválvulas de serie PGA de 2 pulgadas marca Rain Bird, ya que son válvulas más resistentes y confiables, son de fácil mantenimiento y un alto rendimiento a bajas temperaturas y presiones intensas. La válvula es de cierre lento que previene golpes de ariete y por lo tanto daños en el sistema, en la tabla 4 y figura 10 se detalla la ficha técnica de la electroválvula.

Tabla 4 : Ficha técnica de la electroválvula de serie PGA de marca Rain Bird.

Especificaciones	Especificaciones eléctricas
- Caudal: 0.5 a 34.05 m ³ /h	- Solenoide: 24 vAC - 50 Hz
- Presión: 1.0 a 10.4 bar (23° C)	- Corriente de arranque: 0.41 A (9.9 VA)
- Temperatura: hasta 43°C	- Corriente de régimen: 0.23 A (5.5 VA)

Fuente: Rain Bird (2019).



Fuente: Rain Bird (2019).

Figura 10: Electroválvula PGA marca Rain Bird de 1 pulgada.

- Se empleará una bomba centrífuga FCE Modelo FCE05CI de una pulgada, ya que es una bomba que nos brinda el caudal necesario para el sistema, además de ser económica y de fácil manejo, en la tabla 5 y figura 11 se detalla la ficha técnica de la bomba.

Tabla 5: Ficha técnica de la bomba de serie FCE modelo FCE05CI.

Serie FCE Modelo FCE05CI	
Potencia: 0.37 kW 0.5 hp.	Conexión Aspiración 1”
Caudal máximo entregado: 50 galones por minuto	Conexión Impulsión 1”

Fuente: Franklin agua (2019)



Fuente: Franklin agua (2019)

Figura 11: Bomba centrífuga Serie FCE de 1 pulgada.

- **Dispositivo de control seleccionado:** El control seleccionado es de tipo **On -Off** ya que es sencillo y de fácil utilización y permite el control suficiente para el invernadero. El dispositivo de control que se empleó en el invernadero fue el ESP – TM2 - 4 de la marca Rain Bird, debido al control de 4 estaciones que ésta puede manejar, en la tabla 6, y figura 12, se detalla la ficha técnica del controlador seleccionado.

Tabla 6: Ficha técnica del controlador ESP- TM2-4 de la marca Rain Bird

Especificaciones	Especificaciones eléctricas
- Temperatura de operación hasta los 65 °C.	- Alimentación: 120VCA.
- Humedad de operación: 95% máx.	- No requiere respaldo de batería externa, duración de la batería es de 10 años.

Fuente: Rain Bird (2019).

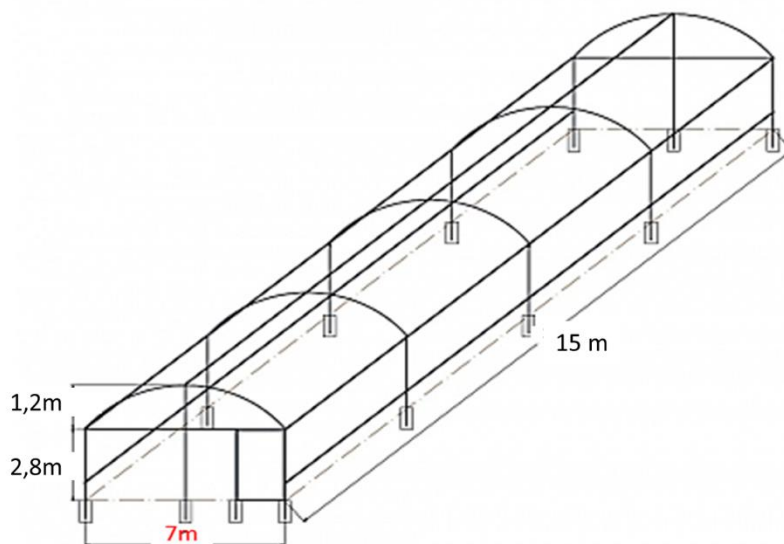


Fuente: Rain Bird (2019).

Figura 12: Controlador ESP-TM2-4 de la marca Rain Bird.

4.4. DIMENSIONAMIENTO DEL INVERNADERO.

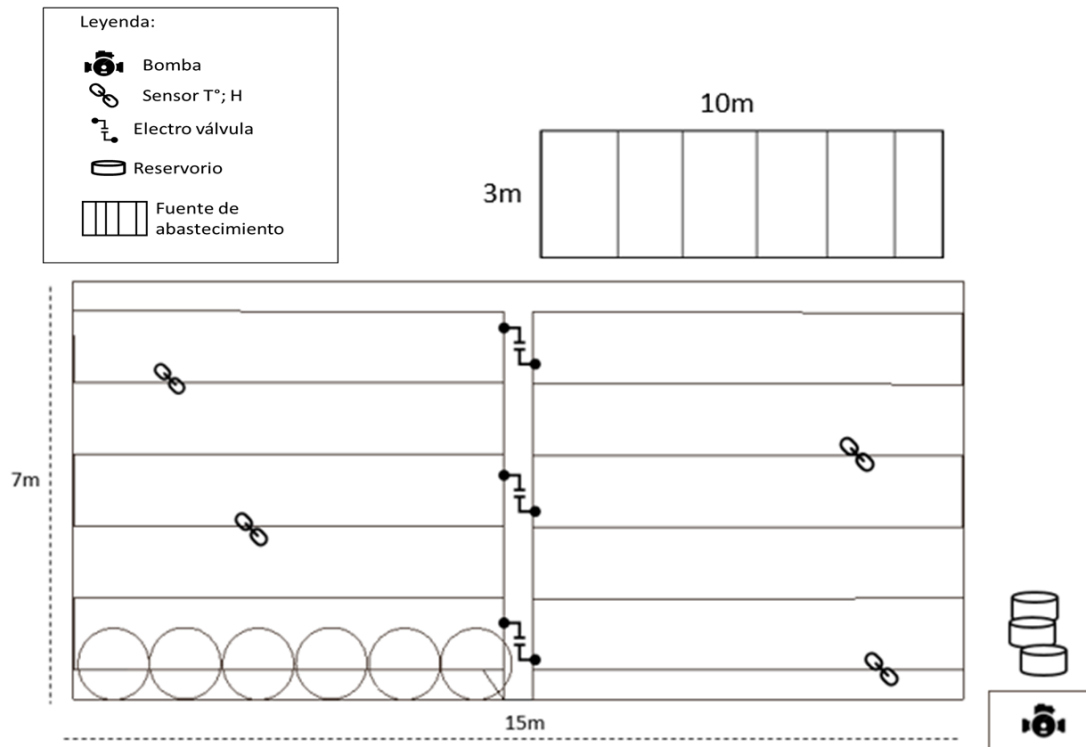
Se optó por el diseño de un invernadero de tipo asimétrico que está diseñado para el desarrollo de todo tipo de cultivos en clima tropical, ya que el cruce de los semiarcos proporciona una eficaz ventilación central. El dimensionamiento del invernadero es de 15 m de largo, 7 m de ancho y con una altura de 4 m, como se aprecia en la figura 13.



Fuente: Garrido (2019)

Figura 13: Invernadero de tipo Asimétrico.

En la Figura 14, se muestra la distribución del sistema en una zona lluviosa, el cual consta de una fuente de abastecimiento de agua, con dimensiones de 10 x 3 x 2 m para un volumen de 60 m³, una bomba periférica de ½ Hp, tres tanques reservorios de 2000 litros de capacidad cada uno, tres electroválvulas, 4 sensores de temperatura-humedad y 72 nebulizadores. Para las zonas áridas, se tomarán otras medidas de obtención de agua, ya que los sistemas de recolección de lluvia no son eficientes en esas zonas, por ello deben buscar alternativas, como la utilización de pozos.



Fuente: Garrido (2019)

Figura 14: Esquema de distribución de los componentes del sistema de riego por nebulización.

4.5. PROPUESTA DEL SISTEMA DE RIEGO PRESURIZADO SEMI AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS EN PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN INVERNADERO.

En la Tabla 7, se determinó las pérdidas de carga calculadas de las tuberías utilizadas, teniendo en cuenta la caída de presión de la tubería, expresadas en 4 unidades de medidas, ya que cada conversión se utilizó para los distintos cálculos que se realizaron.

Tabla 7: Pérdidas de carga calculadas teniendo en cuenta las características de las tuberías y las singularidades del sistema

Caída de presión lateral					
	psi	m.c.a.	atm	bar	psf
Hf	0.027	0.0189	0.001837	0.001899	0.0025
Caída de presión de la red de distribución					
	psi	m.c.a.	atm	bar	psf
Hf	0.545	0.3834	0.03708	0.03834	0.0454
Caída de presión de la red de conducción					
	psi	m.c.a.	atm	bar	psf
Hf	3.45	24.272	0.2347	0.2427	0.2875
Caída de presión de singularidades					
	psi	m.c.a.	atm	bar	psf
Hf	0.00000789	0.00000555	5.3688e-7	5.5509e-7	0.0011
Total, de caída de presión					
	psi	m.c.a.	atm	bar	psf
Hf	4.022	28.296	0.2736	0.2829	0.3352

En la Tabla 8, se detalla el caudal necesario para el funcionamiento de un nebulizador y el caudal que se va a necesitar para el funcionamiento de todo el sistema, expresadas en las unidades de medida más representativas, además que cada conversión se utilizó para el cálculo de la potencia de la bomba a implementar.

Tabla 8: Conversión de caudales

	Caudales			
	L/h	L/min	m ³ /s	gl/min
nebulizador	30	0,5	0,00000833	0,132
caudal total	11520	192	0,032	48

Los resultados anteriormente expuestos están relacionados con una casa de cultivo con una dimensión de 15 m de largo y 7 m de ancho, donde se tiene en cuenta los materiales que se

muestran en la tabla 9, para abarcar toda el área del invernadero se utilizó 75 nebulizadores, para abarcar cada sección dentro del invernadero se implementó 4 sensores, además de esto se propone utilizar 4 reservorios 3 para el funcionamiento normal del sistema y el otro para cuando se realice labores de mantenimiento, para la casa de cultivo en madera se estima que el costo de construcción es de \$ 26.87 por cada metro cuadrado, el costo de construcción varía de acuerdo a la tecnología que se quiera implementar.

Tabla 9: Materiales que se utilizaran en el sistema.

Materiales a utilizar en el sistema				
Material	Descripción	Cantidad	Estimación de precios (\$)	
			Valor unitario	Valor total
Nebulizador	Nebulizador marca Aquaflex, con presión de trabajo de 3,5 bar y caudal de 30 L/h	75	3.00	225.00
Tubería PVC	Tubería PVC de 40 mm de diámetro, de 6 m	3	4.89	14.67
Tubería de polietileno	Tubería de polietileno de 20mm de diámetro, rollo de 100m	1	22.00	22.00
Codos	codo de 90° de 40mm de diámetro	7	0.22	1.54
Tee	Tee reductora de 40mm con salida de 20 mm	6	3.90	23.40
Manómetro		1	5.00	5.00
Sensores	Sensor de temperatura - humedad relativa marca Arduino	4	3.79	15.16
Reservorios	Tanque cilíndrico de 2000 Litros	4	340	1360
Electroválvula	Electroválvula marca Rain Bird de 40 mm de diámetro	3	68.59	205.77
Bomba	Bomba centrifuga de Serie FCE de 1/2 hp con un caudal de trabajo de 50 gl/min	1	90.00	90.00
Invernadero	Casa de cultivo de 105 m ²	1	26.87	2821.35
Controlador ESP- TM2-4	Controlador ESP -TM2-4 de la marca Rain Bird	1	105.00	105.00
Total				4888.89

En la Figura 15 se observa el diseño del sistema semi automatizado para un mejor acondicionamiento de las variables climáticas (temperatura y humedad) para la producción hortícola en condiciones controladas, resaltando fundamentalmente el solapamiento a una distancia de 1.16 m, la tubería principal con un largo de 18 m y con una bomba de ½ hp que entrega al sistema un caudal de 50 gl/min.

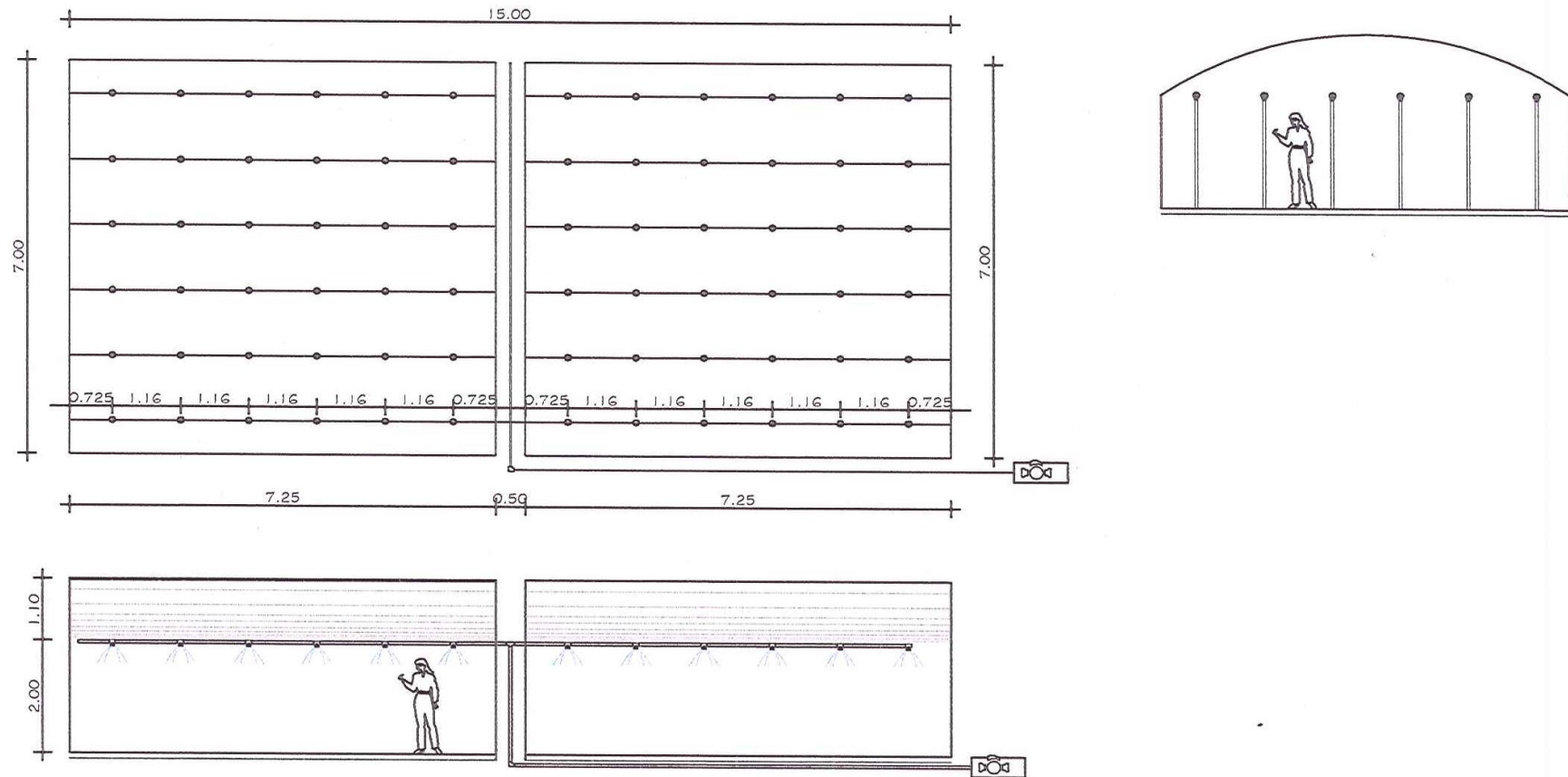


Figura 15: Diseño del sistema de riego presurizado semi automatizado para mejorar las condiciones climáticas en producción de hortalizas en invernadero.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se obtuvieron los requerimientos climáticos de especies hortícolas de interés económico, comprobándose que en algunas regiones del país no se cumplen estas.
- Los sensores de temperatura y humedad facilitan el manejo del sistema, ya que, por medio de estos, se accionará el sistema de nebulización hasta que se alcance la temperatura y humedad que el cultivo establecido requiere.
- El diseño del sistema debe estar adaptado para zonas lluviosas y secas, ya que la disponibilidad de agua es un determinante al implementar un sistema de nebulización.
- Una vez realizado los cálculos agronómicos, se determinó que la pérdida de carga generada en las tuberías y elementos singulares dentro del sistema es de 4.02 psi, cumpliendo así la pérdida permitida dentro del sistema que debe ser menor o igual al 20% de las pérdidas en el nebulizador que equivale a 6 psi.

5.2. RECOMENDACIONES

- Debe existir uniformidad en el tipo de nebulizadores para un funcionamiento del sistema.
- La distribución del sistema debe estar diseñado de tal forma que exista la menor carga y pérdida de energía dentro del sistema.
- Revisar el manual de operación antes de manipular los dispositivos instalados en el sistema, en especial de los controladores y sensores instalados, para evitar posibles daños en los equipos.
- Es importante calibrar los sensores de humedad y temperatura de acuerdo a la región en la que se va utilizar el sistema.

CAPITULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA

Abcbricotén. (2019). Tubería polietileno Diámetro de 20 mm 4atm uso agrícola. Recuperado de: <https://abcbricotén.com/es/tuberia-polietileno-agricola-para-riego-por-goteo/525-tuberia-negra-polietileno-20-4-atm-riego.html>

Acedo, S.J. (2003). Control avanzado de procesos: Teoría y práctica. Madrid. Recuperado de: <http://www.bibvirtual.ucb.edu.bo:8000/opac/Record/115530>

Angulo B.C y G.C. Raya. (2004). Tecnología de sistemas de control. S.I. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.3/36817>.

García, E. A. (2017). Diseño de automatización de sistema de riego de invernadero para el desarrollo de la agricultura familiar en el marco de la seguridad alimentaria: En vínculo con la ENA. Recuperado de <http://www.redicces.org>.

Aquaflex. (2019). Nebulizador niebla riego y propagación Aquaflex. Recuperado de: <http://www.aquaflex.com.ar/index.php/site/producto/MLA614020663>. Consultado: Septiembre/19–Enero /20

Arduino. (2019). Sensor de temperatura y humedad. Recuperado de: <https://www.arduino.cc/>

Briceño, M. F. Alvares. y U. Barahona. (2012). Manual de riego y drenaje. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras, Centroamérica. ISBN: 1-885995-76-8. pp 68.

Castelblanco Gutiérrez, Cristhian Leonardo. (2019). Diseño de un sistema de riego que permita incrementar la productividad en un cultivo de rosas bajo invernadero en la empresa San Valentino. Recuperado de <http://repositorio.ucundinamarca.edu.com>

Cedillo Portugal, E. (2019). Manual de control de clima y riego en un invernadero. México. Recuperado de: <http://planificacionfesaragon.com/sites/default/files/manuales/Manual%20de%20Control%20de%20Clima.pdf>

Cermeño, S.Z (2005). Construcción de invernaderos. Tercera edición. Editorial Aedos, S.A. Barcelona, España. ISBN: 84-8476-251-3. Pp. 21.

Creus, S.A. (2005). Instrumentación industrial. Editorial Marcombo. España. {En línea}. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/PI3RCITOVc/instrumentacion-industrial-creus-8th>.

FAO. (2002). Capítulo 5: medios y técnicas de producción. Recuperado de <http://www.fao.org>

Franklinagua (2019). Residencial de superficie [archivo PDF]. Recuperado de: <http://franklinagua.com/media/36055/lmx02004-residencial-superficie.pdf>

Gómez, M. C. (2001). Control climático mediante nebulización. Ingeniero Agrónomo. PB Sistemas, S.L. Rev. Horticultura. Recuperado de: http://www.horticom.com/pdf/h155_a.pdf

Google Mapas. (Mapa de Puyo – Pastaza). (2019). Recuperado de <https://www.google.com/maps>

Huertas, L.A. (2007). El control ambiental dentro de invernaderos: temperatura. Tecnología de producción e invernaderos. Rev. Horticultura. 44-47. Recuperado de: http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh203/44_47.pdf

INAMHI, (2018). Red de Estaciones Automáticas INAMHI. Recuperado de <http://186.42.174.236/InamhiEmas/>.

Ministerio de agricultura de Nicaragua, (2017). Manual de Hortalizas. [archivo PDF]. Recuperado de: https://www.tecnacional.edu.ni/media/Hortalizas_3X2OH2y.pdf

Lui, E. N. Roa, R. C. Martínez, R. S. Zelmer, H. Reinoso, L. y Donofrio, M. (2012). Evaluaciones de riego parcelarias en el valle inferior del río negro, estrategias para la mejora de indicadores. Río Negro, Argentina.

López Rocío. (2016). Propuesta de un sistema para optimizar el riego en invernaderos de plantas heterogéneas usando WNS y algoritmos evolutivos. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/e31b/9b443c4acb7fa2d02174ea6b8ba2387990.pdf>

Martínez, A. N. (2014). Diseño y automatización de un sistema de riego para la productividad de cultivo en invernadero. Recuperado de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4087/disenoyautomatizaciondeunsistemaderiegoparaproductividaddecultivoeninvernadero.pdf?sequence=1&isallowed=y>

Medina San José, J.A (1985). Riego por goteo: Teoría y práctica. IICA Biblioteca Venezuela. Recuperado de: https://books.google.ht/books?id=sGw2ILQLGg8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

Micronica. (2012). Sensores y actuadores EC. Recuperado de: http://www.micronica.es/files/pdfs/SIHD/SIHD_Sens_Actu_EC.pdf

Molina, J.M y A. Ruiz. (2009). Simulador de riego por goteo (Sirigo V1.0). XII Congreso Internacional de Ingeniería de proyectos. Badajoz, 8. Recuperado de: <https://www.aepro.com/en/repository/func-startdown/2644/lang,en-gb/>

Plastigama. (2019). Tuberías y accesorios de PVC y PE BD [archivo PDF]. Recuperado de: <https://plastigama.com/wp-content/uploads/2018/09/Tuberi%CC%81as-y-accesorios-de-PVC-y-PE-BD-uso-agri%CC%81cola.pdf>

Rain Bird (2019). Productos válvulas Serie PGA. Recuperado de: <https://www.rainbird.es/productos/valvulas/serie-pga>.

Riego Ecuador (2019). Catálogo de productos tubo PVC 40mm. Recuperado de: <https://www.riegoecuador.com/index.php/productos/tubo-pvc-40-mm-6-metros>

Rodríguez, D.F. (2005). Modelado y control jerárquico de crecimiento de cultivos en invernaderos. Volumen 182 de tesis doctorales. Universidad de Almería. ISBN 9788482407494. pp.280. Recuperado de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/110/disenoyautomatizaciondeunsistemaderiegoparaproductividaddecultivoeninvernadero.pdf?sequence=1&isallowed=y>

Rojas, M. (2014). Clasificación y tipos de riego. Recuperado de <https://prezi.com>

Santos. (2013). Producción de Hortalizas en Ambientes Protegidos: Estructuras para la Agricultura Protegida. 3. Recuperado de: https://horticulture.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk1816/files/extension_material_files/Santos_manual_produccion_de_hortalizas_en_ambientes_protegidas.pdf

Solís. A. (2018). Sistema de riego por nebulización. Recuperado de: http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/103050/secme-11279_1.pdf?sequence=1

Toledo. (2012). Diseño de un sistema de riego por goteo para cultivos en zonas con escasas de agua. Recuperado: <https://www.coursehero.com/file/35405774/104385pdf/>

Universidad Estatal Amazónica. (2019). Información Institucional. Recuperado de: https://www.uea.edu.ec/?page_id=1375

Vaquero. B.J.L. (2007). Principios Básicos para la Instalación de riego por goteo a pequeña escala. Programa de manejo integrado de plagas en América central. Honduras. Recuperado de:

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/110/disenoyautomatizaciondeunsistemaderiegoparaproductividaddecultivoeninvernadero.pdf?sequence=1&isallowed=y>

Weisbach, J. Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinen-Mechanik, vol. 1. Theoretische Mechanik, Vieweg und Sohn, Braunschweig., 1845. Recuperado de: http://depa.fquim.unam.mx/ipm/introd_ing_metymat/mat_apoyo/bernoulli/HistoryoftheDarcyWeisbachEq.pdf

Yevilao F. (2018). Control automatizado de temperatura, humedad y riesgo por nebulización para cultivo a escala de lechugas". Recuperado de <https://repositorio.usm.cl>

Zambrano Cedeño, J. J. y Zambrano Cedeño, S. L. (2012). Evaluación del sistema de riego por microaspersión implementado en el jardín clonal de cacao (*Theobroma cacao* L) ESPAM "MFL". Recuperado de: <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/24/1/Zambrano%20Cede%c3%b1o%20Jos%c3%a9%20Javier-Zambrano%20Cede%c3%b1o%20Sergio%20Leonardo.pdf>

Zambrano M. (2017). Implementación de un sistema automatizado de nebulización y riego para la clonación de especies forestales en la estación INIAP Santo Domingo [archivo PDF]. Recuperado de: <http://201.218.5.85/bitstream/123456789/8987/1/108T0227.pdf>.