

ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA
ITCA-FEPADE



"AUTOMATIZACION DE INVERNADERO PARA CULTIVOS
HIDROPÓNICOS EN EL SALVADOR"

ASESOR: INGENIERO EVER SIGFREDO ABREGO PREZA

PRESENTADO POR:

TEC. JOSUÉ ALBERTO PÉREZ ZAVALA

TEC. LEONEL EDUARDO LÓPEZ GUEVARA

TEC. RENÉ DAVID ROMERO VÁSQUEZ

JULIO 2016

SANTA TECLA, LA LIBERTAD, EL SALVADOR, C. A.

**ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA-FEPADE
ESCUELA DE MECATRÓNICA**

AUTORIDADES:

RECTORA:

ELSY ESCOLAR SANTODOMINGO

VICERRECTOR ACADÉMICO:

CARLOS ALBERTO ARRIOLA MARTÍNEZ

DIRECTOR DE ESCUELA:

MARIO ALFREDO MAJANO GUERRERO

**COORDINADOR INGENIERÍA EN MECATRÓNICA Y ASESOR DE
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

EVER SIGFREDO ABREGO PREZA

ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERIA MECATRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE
ORDEN DE APROBACIÓN

Título del Trabajo de Investigación:

**“AUTOMATIZACION DE INVERNADERO PARA CULTIVOS
HIDROPÓNICOS EN EL SALVADOR”**

Presentado por los técnicos:

Josué Alberto Pérez Zavala
Leonel Eduardo López Guevara
René David Romero Vásquez

**Ing. Ever Sigfredo Abrego
Preza**

ASESOR

**Ing. José Manuel Trejo
Peraza**

JURADO 1

**Ing. Carlos Roberto Mónico
Barrientos**

JURADO 2

Sello de la Escuela

Ing. Mario Alfredo Majano Guerrero

Director de Escuela

Santa Tecla, La Libertad, a los _____ días del mes de _____ del año 201_____

Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE
Sistema Bibliotecario
Carta de Cesión de Derechos de Autor



Nosotros: Josué Alberto Pérez Zavala de DUI: 04548760-3, Leonel Eduardo López Guevara de DUI: 05020658-3 y René David Romero Vásquez de DUI: 04039369-0 estudiantes de la carrera de: Ingeniería en Mecatrónica de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE.

Manifestamos:

- 1) Que somos los autores del trabajo de investigación que lleva por título: Automatización de invernadero para cultivos Hidropónicos en el salvador y que en adelante denominaremos la obra, presentado como requisito de graduación de la carrera antes mencionada, el cual fue dirigido y asesorado por el ingeniero: Ever Sigfredo Abrego Preza, quien se desempeña como docente de la Escuela de: Ingeniería en Mecatrónica, en esta institución.
- 2) Que la obra es una creación original y que no infringe los derechos de propiedad intelectual, ni los derechos de publicidad, comerciales, de propiedad industrial u otros, y que no constituye una difamación, ni una invasión de la privacidad o de la intimidad, ni cualquier injuria hacia terceros.
- 3) Nos responsabilizamos ante cualquier reclamo que se le haga a la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, en este sentido.
- 4) Que estamos debidamente legitimados para autorizar la divulgación de la obra mediante las condiciones de la licencia de Creative Commons. (marcar solo una)
 Reconocimiento (cc by)
 Reconocimiento - Compartir (cc by -sa)
 Reconocimiento - SinObraDerivada (cc by -nd)
 Reconocimiento - NoComercial (cc by-nc)
 Reconocimiento – NoComercial - Compartirlgual (cc by-nc-sa)
 Reconocimiento –NoComercial-SinObraDerivada (cc by-nc-nd)
De acuerdo con la legalidad vigente.
- 5) Que conocemos y aceptamos las condiciones de preservación y difusión, establecidas en la Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE.

En atención a lo antes expuesto solicitamos:

Que la obra quede depositada en las condiciones establecidas en la licencia de difusión anteriormente seleccionada, por lo tanto y con base a los artículos 5, 7 y 8 de la Ley de Propiedad Intelectual; cedemos los derechos de autor de orden patrimonial.

Firma

Firma

Firma

Santa Tecla, a los _____ días del mes de _____ del año 201__

AGRADECIMIENTOS

Deseo que estas líneas en verdad sirvan para mostrar el profundo agradecimiento que siento hacia Dios, por guiarme toda la vida y traerme hasta este momento, para entender, que aun después, quiero continuar de la mano con él.

También, quiero agradecer con todo mi corazón a estos mejores amigos, que siempre han estado a mi lado, en la felicidad y en la tristeza, a ellos, a los que con mucho orgullo llamo Papá y Mamá.

Sin olvidar a mi familia entera, a mi Abuelita por aguantarme tanto en las noches de desvelo y por brindarme siempre un techo, a mis hermanas por siempre apoyarme y entenderme a pesar de todo, a mis Tíos Jacqueline y Wilfredo y a sus hijos, que sin su ayuda y la de mi tío Francisco, no podría haber logrado ni la mitad de lo que he hecho hasta este momento y también, a mis 6 mejores amigos que Dios los puso en mi camino y planeo conservarlos para toda la vida.

A Todos ustedes muchas gracias desde el fondo de mi corazón.

Josué

En primer lugar a Dios por servir de guía en mi vida y llevarme por el camino de la felicidad hasta ahora, permaneciendo a mi lado en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar.

A mis padres y hermano con mucho amor y cariño por su dedicación y entrega incondicional a lo largo de mi vida, por cuidar y estar siempre pendiente de mi bienestar y educación siendo mi principal motor y apoyo en todo momento. A mi novia Sofía Álvarez por ser durante mucho tiempo una pieza clave de motivación de estudio y superación personal.

A mis compañeros, amigos y hermanos de corazón Josué y René por ser parte de este reto y emprender este viaje juntos desde hace más de 5 años, por servir de apoyo, ejemplo y siempre tener las palabras adecuadas cuando los necesite, y por su entrega y dedicación en este trabajo. A nuestro asesor de tesis Ing. Ever Sigfredo, por cuidar de nuestro trabajo, paciencia y esmero.

Leonel

Durante el transcurso de este tiempo del trabajo tesis, estoy grandemente agradecido por el apoyo incondicional que me ha brindado mi familia, no solamente a lo largo del trabajo de tesis sino a lo largo de estos años de estudio; agradecerle a Dios por toda la fortaleza que me ha dado y conocimiento para poder realizar este trabajo.

Dedicando este trabajo a cada persona que estuvo en constante motivación para poder lograr el objetivo de culminar tanto mis estudios como este trabajo.

René

DEDICATORIAS

Al principio resultó difícil, tal y como la mayoría de cosas la primera vez, pero después de reflexionarlo tan solo un instante, entendí, que las personas a las que debo lo que estoy a punto de lograr, son a las que les llamo con mucho cariño "mi familia".

Por lo que además de dedicar este último trabajo a Dios, que me ha brindado siempre fortaleza y sabiduría, se lo dedico a todos y cada uno de los miembros de mi familia, que sobre toda dificultad siempre han estado a mi lado, dándome fuerza y valor para seguir adelante, a ellos, a los que Dios puso en nuestra vida para hacer de este mundo un lugar más llevadero, y a quienes utiliza como oídos para escucharnos y boca para aconsejarnos en los momentos de tristeza, y como brazos cálidos y ojos llenos de orgullo en los momentos de triunfo y gloria, a ellos a los que nunca debemos olvidar. Porque ellos, nunca nos olvidarían...

Josué

Este trabajo de Tesis quiero, dedicarlo en primer lugar a Dios quien ha sido el que ha permitido llegar hasta este punto de mi vida, siendo el quien me ha brindado las herramientas necesarias y las personas que han servido como apoyo en mi vida.

A mis padres, que siempre me enseñaron principios morales, religiosos, hábitos de estudio.

A mis Abuelas, que han sido unas personas muy importantes en mi motivación como estudiante y persona, que siempre pasaron pendientes en el transcurso de mi carrera.

Leonel

Esta tesis la dedico a mi familia quienes me han apoyado para poder llegar a hasta este punto de mis estudios, ya que siempre han estado constantes para motivarme a seguir adelante.

Dedico a mi hijo este trabajo, quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y así poder llegar a ser un ejemplo para él.

Dedicando también este trabajo a cada persona que estuvo en constante motivación para poder lograr el objetivo de culminar tanto mis estudios como este trabajo.

Índice de Contenido

CAPÍTULO I

Naturaleza y contenido del trabajo de investigación.	1
1. Planteamiento del problema.	2
1.1. Definición del problema.	6
1.2. Estado de la técnica - Antecedentes.	7
1.2.1. La hidroponía en El Salvador.	8
1.3. Justificación.	12
1.4. Objetivos.	14
1.4.1. Objetivo General.	14
1.4.2. Objetivos Específicos.	14
1.5. Hipótesis.	15
1.6. Preguntas de la investigación.	15

CAPÍTULO II

Marco Teórico de la Investigación.	17
2. Marco Teórico.	18
2.1. Terminología Agronómica.	18
2.2. Terminología Mecatrónica.	30

CAPÍTULO III

Metodología de la Investigación.	38
3. Metodología de la investigación.	39
3.1. Selección del problema a investigar.	40
3.2. Elaboración del plan para resolver el problema.	40
3.3. Elaboración del diseño de la investigación.	41
3.3.1. Método.	42
3.3.2. Tipo de estudio.	43
3.3.3. Diseño.	44
3.3.4. Definición de la información necesaria.	45
3.3.5. Análisis de los datos secundarios.	51
3.3.6. Información Cualitativa.	52
3.3.7. Información Cuantitativa.	53
3.4. Técnicas e instrumentos en el acopio de datos.	55
3.4.1. Técnicas.	55
3.4.2. Instrumentos.	56
3.5. Desarrollo del proyecto en la investigación.	57
3.5.1. Etapa 1: Estudio Hidrológico.	58
3.5.2. Etapa 2: Construcción del Invernadero.	58
3.5.3. Etapa 3: Climatización.	62
3.5.4. Etapa 4: Sistema de Riego y NGS.	69
3.5.5. Etapa 5: Sistema Eléctrico.	81
3.5.6. Etapa 6: Verificación de funcionamiento.	94
3.5.7. Etapa 7: Solución Nutritiva.	95
3.5.8. Etapa 8: Capacitaciones.	97
3.5.8.1. Aprendizaje del personal encargado	98

CAPITULO IV

Alcances - Análisis de Resultados	102
4. Alcances - Análisis de Resultados	103
4.1. Alcances	103
4.2. Limitaciones	103
4.3. Análisis de Resultados	104
4.4. Análisis de Inversión y Retorno	107

CAPITULO V

Conclusiones y Recomendaciones	110
5. Conclusiones y Recomendaciones	111
5.1. Conclusiones	111
5.2. Recomendaciones	113

ANEXOS

6. Anexos	116
-----------	-----

GLOSARIO

7. Glosario	136
-------------	-----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8. Referencias Bibliográficas	141
-------------------------------	-----

Índice de Tablas

Tabla 1	Producción de hortalizas	53
Tabla 2	Comparación de ganancia entre cultivos	54
Tabla 3	Pasos para llevar a cabo el invernadero	57
Tabla 4	Elementos para el invernadero	59
Tabla 5	Dimensiones de cada modulo	59
Tabla 6	Características del modulo	60
Tabla 7	Elementos para campo de riego	69
Tabla 8	Elementos para cabezal de bombeo	70
Tabla 9	Superficie y disposición en el invernadero	73
Tabla 10	Materiales para sistema NGS	73
Tabla 11	Elementos para instalación eléctrica	82
Tabla 12	Entradas de PLC	82
Tabla 13	Entradas análogas del PLC	83
Tabla 14	Salidas del PLC	83
Tabla 15	Aspectos que deben manejar los trabajadores	99
Tabla 16	Presupuesto invernadero hidropónico Auto.	107
Tabla 17	Presupuesto cultivo tradicional en tierra	108
Tabla 18	Producción anual en invernadero	108
Tabla 19	Producción anual en cultivo tradicional	108
Tabla 20	Costos de producción anual en invernadero	109
Tabla 21	Comparación de viabilidad de inversión	109

Índice de Imágenes y Figuras

Imagen 1	Invernadero tradicional	18
Imagen 2	Invernadero tropicalizado	19
Imagen 3	Sistema por sustrato	26
Figura 1	Sistema en agua con nutrientes	27
Figura 2	Control automático	31
Figura 3	Sistema de climatización	31
Figura 4	Sistema de riego	32
Figura 5	Sistema de filtración	32
Imagen 4	Potencial hídrico Xilemático	33
Imagen 5	Tipos de sensores	34
Imagen 6	Tipos de Actuadores	35
Imagen 7	Controlador Lógico Programable	36
Imagen 8	Moto-reductor	36
Figura 6	Esquema de metodología	39
Figura 7	Demanda de tomate en El Salvador	54
Imagen 9	Simientes de los módulos	60
Imagen 10	Diseño de la nave	61
Imagen 11	Diagrama de la estructura	61
Imagen 12	Ventilación lateral	63
Figura 8	Mecanismo de ventilación lateral	64
Imagen 13	Mecanismo de ventilación superior	64
Imagen 14	Ventilación forzada	65
Figura 9	Válvulas para rocío	66
Imagen 15	Sistema nebulizador	67
Figura 10	Esquema de sistema de riego NGS	71
Imagen 16	Multi-bandas NGS	74
Imagen 17	Uniformidad de riego por NGS	77
Imagen 18	Esquema de recirculación NGS	78
Imagen 19	Sistema recolector de agua en NGS	79
Imagen 20	Montaje en base M	79
Imagen 21	Distribución de bases y Multi-bandas	80
Imagen 22	Distribución de bases en Nave	80
Imagen 23	Conexiones principales	84
Imagen 24	Conexión de sensores	85
Imagen 25	Entradas análogas	85
Imagen 26	Salidas PLC	87
Imagen 27	Motores y Ventiladores	88
Imagen 28	Entradas PLC	89
Imagen 29	Entradas Análogas	90
Imagen 30	Salidas PLC	91
Imagen 31	Salidas PLC	92
Imagen 32	Mezclador y Bombas	93
Figura 11	Esquema eléctrico para interacción con PLC	94

RESUMEN

Este estudio muestra de manera concisa la historia del surgimiento de la hidroponía en el mundo del ser humano, desde sus orígenes hasta su llegada y crecimiento en Latinoamérica, lo que permitió implementar proyectos y desarrollar investigaciones que tratan de llevar este conocimiento hacia la agricultura salvadoreña, para el desarrollo del país, y con el asesoramiento por parte de naciones amigas, la hidroponía con métodos tecnológicos avanzados podría mejorar en gran medida la economía salvadoreña.

Actualmente, términos como control automático, sistemas de riego automatizado y sistema de climatización, son utilizados para hablar a grandes rasgos de un invernadero en donde se cultivan productos hidropónicos en otros países. Lo que permite pensar que hortalizas como el tomate, altamente demandado en Centro América, pueden también cultivarse de la misma manera en El Salvador.

Esta investigación muestra los avances tecnológicos que se pueden implementar en un cultivo, en un ambiente controlado, además, el método más eficaz para garantizar la calidad y producción del mismo. Así como la metodología u orden lógico que se debe llevar acabo para la realización de un proyecto de tal magnitud, con especificaciones que van desde el sitio para el proyecto hasta la cantidad de producto que se recogería anualmente, ya sea automatizando un invernadero existente o creando uno desde cero, ejemplificando las ganancias y retorno de la inversión a mediano plazo. Además de los conocimientos que deben tener las personas que deseen implementar dicho proyecto dentro de la investigación

CAPITULO I

Naturaleza y contenido del trabajo de investigación

CAPITULO I

1. Planteamiento del problema

El Salvador, antes de la guerra civil que destruyó el territorio durante 12 años, siempre se caracterizó, a pesar del pequeño espacio geográfico, por ser una nación de las más pujantes en la producción agrícola, pues los productos lograron cotizarse entre los mejores del mercado mundial.

Luego de eso el agro ha desempeñado un papel fundamental en la economía del país, debido a su gran aporte al producto Interno bruto (PIB), en donde las exportaciones de productos agrícolas son una fuente importante de ingresos y además contribuye a la generación de empleos, principalmente en el área rural.

Por otra parte, El Salvador es el país con mayores problemas de deforestación del continente latinoamericano. Según estudios oficiales, 90% de la vegetación ha sido eliminada, dos terceras partes del país están fuertemente erosionadas y sometidas a una explotación agrícola inapropiada y apenas 2% del bosque original se encuentra intacto. Además, 90% de los ríos están contaminados por el vertido de aguas y residuos químicos y más de la mitad de la población ingiere agua sin tratamiento.¹

Hoy en día en la Republica de El Salvador, el 85% de la producción agropecuaria que se registra es realizada por familias para alimentarse durante todo el año, según los datos que maneja CropLife Latinoamérica.

¹ Aspectos Generales de la agricultura en El Salvador
<http://www.wisis.ufg.edu.sv/www.wisis/documentos/TE/630-Z49p/630-Z49p-CAPITULO%20I.pdf>

Esa modalidad es denominada como agricultura familiar de subsistencia, pues la tierra produce una vez al año en cantidades suficientes para alimentar a las familias que trabajan en ella.

Un aproximado de 800,000 personas se dedican a la producción de alimentos en el país, sin mencionar aquellos que ya no cultivan, debido la partida masiva de trabajadores del campo, en muchas ocasiones acompañados de su grupo familiar, hacia las zonas urbanas o hacia otros países como alternativa para lograr subsistir y en gran mayoría dependiendo de las remesas del extranjero, dejando de lado cualquier oportunidad para mejorar su producción, la calidad de sus cosechas o sus ganancias.²

Según registros de la Cámara de Asociación de Pequeños y Medianos Productores Agropecuarios (CAMPO). De ese grupo del cual la mayoría de personas son mayores de 35 años, un estimado de 408,000 cultivan granos básicos: arroz, frijol, maíz y maicillo. El resto cultiva: Tomate, Chile, Elote, Zanahoria, Papa, Repollo, Cebolla, Pepino, Pipián, Ayote, Camote, Alcapate, Hierba mora, Izote, Albahaca, Apio, Arvejas, Ajo, Berro, Berenjena, Coliflor, Espinaca, Espárrago, Güisquil, Lechuga, Remolacha y Yuca.

Esos productos son consumidos por los salvadoreños todos los días, y las familias que dependen a diario de sus cultivos, según el análisis de CropLife, son las más afectadas por la diversidad de plagas, causando que se frene la producción de alimentos.

² LPG en Línea <http://www.laprensagrafica.com/2016/01/02/la-mayoria-de-productores-cultiva-para-alimentarse>

Se consigna que cada año la producción agrícola mundial se reduce entre un 20 y 40% a causa de las plagas.

Además de estos, también afectan los cambios de clima tan drásticos, que se sufren hoy en día por parte del efecto invernadero, así como: en el 2015, que quedará marcado por ser un año en que los fenómenos climatológicos afectaron miles de manzanas de cultivos, más de lo usual en el área centroamericana, esto a causa del fenómeno "el niño" que reduce la frecuencia de lluvias. Lo que conlleva a la pérdida de aproximadamente el 75% de los productos agrícolas nacionales³.

De todas las dificultades para lograr mantener el porcentaje necesario de granos básicos y hortalizas para que las actividades agropecuarias continúen siendo el sector primario en la economía del país, surgen propuestas e iniciativas para reactivar, conservar y/o desarrollar esté en el ámbito nacional. Dichas propuestas presentan como objetivos fundamentales la reconversión productiva a través de la modernización tecnológica, la diversificación productiva y la competitividad para proporcionar las condiciones a los agricultores para la inserción en un mercado global. Esto lo enfatiza el director ejecutivo de CropLife al decir, que:

"La innovación, el uso adecuado de tecnologías existentes y el desarrollo de nuevas herramientas son fundamentales para aumentar la productividad agrícola vía el uso de la ciencia".⁴

³ <http://www.laprensagrafica.com/2015/07/01/sequia-afecta-el-75-de-los-cultivos-de-el-salvador>

⁴ Martín Zúñiga, director ejecutivo de Centroamérica y Caribe de CropLife en LPG en Línea, <http://www.laprensagrafica.com/2016/01/02/la-mayoria-de-productores-cultiva-para-alimentarse>

Las propuestas por si solas llevan a la conclusión de utilizar invernaderos tropicalizados para la seguridad de los cultivos además de la implementación de mecanismos automatizados; y en estos utilizar la hidroponía como método alternativo de cultivo, pues tiene por objetivo mejorar la calidad del producto y recuperar la inversión a mediano plazo, para incrementar las ganancias.

“La propuesta de hidroponía muestra gran factibilidad ya que en El Salvador se inició a principios de los años 90's, cuando personal del PNUD trajo el proyecto con el fin de brindarles una herramienta de trabajo a las personas de escasos recursos”⁵.

Pero aun cuando han sido presentados como proyectos novedosos de la agricultura, los cultivos hidropónicos no han encontrado eco en la población campesina de El Salvador que se resiste a cambiar los métodos tradicionales a pesar de la ayuda que iban a recibir del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), entre otras como por ejemplo: De parte de Corea que en el año 2003 capacito agricultores para que aplicando esta tecnología pudieran aumentar su producción agrícola; lamentablemente no tuvo la aceptación que se merece, porque no se valoró la cantidad de ventajas que se tienen a largo plazo y la idea se dio por perdida por falta de interés de parte de los agricultores.

En el año 2010 Corea dono 2 millones de dólares para la construcción de 3 invernaderos tradicionales, los cuales se

⁵ Mario González, ingeniero agrónomo de R y M Centroamericana en Noticias UCA en Línea, <http://www.uca.edu.sv/virtual/comunica/archivo/abr132007/notas/nota18.htm>

llevaron a cabo en el CENTA. Sin embargo hasta la fecha no presentan los beneficios esperados.

En nuestro país, se cultivan hidropónicamente en forma artesanal y con sustrato un aproximado de dos a tres manzanas, en las comunidades del Bajo Lempa y en los departamentos de San Vicente y Usulután. Ahí se benefician 92 familias.

“A gran escala se necesita poseer un equipo de bombeo para proporcionar el agua al invernadero; en segundo lugar, construir un invernadero para proteger las plantas que estarán dentro del mismo y finalmente, un sistema de filtrado para proteger las plantas de aguas contaminadas”.⁶

Algunos expertos afirman que todo es educación y cultura, porque a medida que se eduque y se capacite a las personas así podrá incrementarse el interés entre la población, siendo los mayores responsables los promotores de las diferentes organizaciones que desarrollan esta técnica.

1.1. Definición del problema

Falta de mecanismos automatizados en la implementación de tecnologías efectivas y funcionales para los cultivos hidropónicos en El Salvador, Centro América⁷.

⁶ Mario González, ingeniero agrónomo de R y M Centroamericana en Noticias UCA en Línea, <http://www.uca.edu.sv/virtual/comunica/archivo/abr132007/notas/nota18.htm>

⁷ VER ANEXOS DE PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, IMAGEN 1

1.2. Estado de la Técnica - Antecedentes

La hidroponía se origina con la necesidad de producir alimentos por parte de poblaciones que habitaban en regiones sin tierras fértiles para cultivar, pero que contaban con fuentes de agua suficientes. En la historia de la humanidad la hidroponía data desde el año 382 a. C.

Los aztecas fueron la primera civilización en usar agricultura hidropónica eficiente, sin ningún estudio previo. Esta técnica, mediante el uso de una chinampa en el lago de Texcoco, (que se convirtió después en la Ciudad de México), se trata de una balsa, de armazón hecha con troncos y varas, en ocasiones de considerables dimensiones, sobre la que se deposita tierra vegetal debidamente seleccionada con materias biodegradables como pasto, hojarasca, cáscaras de diferentes frutas, vegetales, etc.⁸

En la chinampa se sembraba un sauce para que sus raíces crecieran desde el agua hasta tierra firme en la ribera de lagunas y arroyos, y luego de que el sauce crecía, sembraban diferentes cultivos, los cuales luego cosechaban.⁹

A pesar de esto, la primera información escrita data del año 1600, cuando el belga Jan van Helmont documentó su experiencia acerca de que las plantas obtienen sustancias nutritivas a partir del agua. Pero el primer trabajo publicado sobre el crecimiento de plantas terrestres sin

⁸ VER ANEXOS DE ANTECEDENTES, IMAGEN 2

⁹ Cultivo en Chinampas <https://es.wikipedia.org/wiki/Chinampa>

suelo fue, el libro "Sylva Sylvarum" en el año de 1627 por Francis Bacon.

No obstante, el comienzo del uso de la hidroponía tal como se le conoce actualmente se debe al Profesor William Frederick Gericke Fisiólogo Vegetal de la Universidad de California, conocido como "el padre de la hidroponía". El cual inició los primeros experimentos de cultivos puramente en agua en el año de 1929.

Gericke causó sensación al hacer crecer tomates y otras plantas consiguiendo que alcanzasen un tamaño notable en su patio trasero, a partir de soluciones minerales; mayores que las cultivadas en tierra. Por analogía con el término (geoponic) que significa agricultura en Griego antiguo llamó a esta nueva ciencia hidroponía en 1937, aunque se afirma que el término fue sugerido por el Dr. W. A. Setchell de la Universidad de California, del griego hydros (regar) y ponos (trabajo) que se entendería como "trabajo en agua"¹⁰.

1.2.1. La hidroponía en El Salvador

La hidroponía llega a Latinoamérica a nivel experimental en la década de los años 70's y se ha desarrollado hasta convertirse en uno de los factores más importantes en el avance de la actividad agroindustrial en países como Colombia, Chile y Venezuela¹¹.

¹⁰ Historia de la hidroponía

http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Historia_de_la_Hidroponia/Historia_de_la_Hidroponia.htm

¹¹ Cultivos Hidropónicos, una alternativa para todos <http://www.envio.org.ni/articulo/125>

En el año de 1993 se da a conocer esta innovación en El Salvador y Centroamérica por manos de ingenieros agrónomos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), como: "Hidroponía Popular", (desescalada de tal manera debido a que se pensó para familias de escasos recursos), basado en un programa de hidroponía que Estados Unidos creó bajo el estímulo de la carrera espacial, que se inició en 1970.

Esto debido a que la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA)¹² de Estados Unidos, mantiene experimentos hidropónicos basados en la reutilización permanente de aguas desechadas por el ser humano para la sobrevivencia en largos viajes cósmicos o hipotéticos cultivos futuros en Marte¹³.

En el año 2007 se inicia una investigación por parte de la Universidad Dr. José Matías Delgado acerca del "Estudio de Pre-factibilidad para la Producción y Comercialización del Cultivo Hidropónico del Chile Dulce en el Municipio de Apastepeque, San Vicente." La cual finalizó con excelentes resultados en el mismo año, y aun hoy en día se le da seguimiento en dicho municipio¹⁴.

Entre los años 2002 hasta 2004 el PNUD y la FAO promovieron capacitaciones a agricultores del departamento de la Paz, San Vicente y Chalatenango en el Centro Nacional de

¹² VER ANEXOS DE ANTECEDENTES, IMAGEN 3

¹³ América Latina, la hidroponía va a la cumbre, <http://www.ipsnoticias.net/1996/10/america-latina-la-hidroponia-va-a-la-cumbre-de-la-alimentacion/>

¹⁴<http://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA%20VIRTUAL/TESIS/01/MER/ADRE0000918.pdf>

Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" (CENTA), acerca del cultivo hidropónico. En agosto del año 2005 El Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador (MAG), presenta a la embajada de Corea un proyecto titulado "Cultivo de hortalizas bajo tecnología de riego en las regiones Occidental, Central y Paracentral de la República de El Salvador" a ser ejecutado por el CENTA.

Pero no fue hasta el 24 de noviembre del 2008 que tras cambiar el nombre del proyecto, se firma el Registro de Discusiones y Canje de Notas entre el Gobierno de la República de El Salvador y el Gobierno de la República de Corea, relativo al Proyecto "Desarrollo de Tecnología Hidropónica de Hortalizas bajo Invernadero en la República de El Salvador" que se llevó a cabo del 20 de enero del 2010 hasta 11 de octubre del mismo año¹⁵.

Dicho invernadero se utiliza para cultivar tomate, chile verde y papa experimental, debido a la demanda de estas hortalizas en el país. La elaboración de este proyecto se llevó a cabo exitosamente; el centro de desarrollo consta de 3 invernaderos de 3 Hectáreas cada uno y un laboratorio para investigación; de manera manual se realizan los procesos necesarios para cultivar en estos invernaderos.

El sistema de riego cuenta con 3 bombas y 5 tanques del cual se extrae la sustancia nutritiva; los tiempos son manejados mediante timers que se controlan por una

¹⁵ Plan de acción proyecto KOICA, <http://www.centa.gob.sv/>

pantalla frontal, los tanques se llenan manualmente, y la ventilación de la instalación se lleva a cabo con 4 destratificadores suspendidos en cada esquina. En los años del 2008 al 2010 contar con tales dispositivos dentro de los invernaderos permitió el funcionamiento de los mismos.

En la actualidad en el CENTA se realizan investigaciones acerca del cultivo de Papa en un ambiente hidropónico, debido a que las condiciones del riego y clima pueden mejorar la calidad del producto, a pesar de que el cultivo no sea adecuado para hidroponía, como es el caso de la Papa siendo tubérculo. A pesar de esto, la primera cosecha de papas se recogió en octubre del 2015.

Es por eso que esta investigación está basada en: diversos estudios, en proyectos y en otras investigaciones realizadas, a través de la última década, tanto en el ámbito tecnológico aplicado a la agronomía, como en la viabilidad de métodos para mejorar la agricultura salvadoreña, para demostrar que la combinación de diversas áreas puede resultar en algo provechoso para el país. Caso contrario a otras investigaciones, puesto que en unas solo se menciona la utilidad de la tecnología, y en otras se menciona lo bueno de cultivar hidropónicamente, pero no la factibilidad de trabajar una en combinación con la otra.

1.3. Justificación.

Mejorando los tiempos, los sistemas de riego y drenaje, la radiación del sol, la calidad y temperatura del agua mediante medidores especializados, y un sistema de climatización, además de la implementación del método más eficiente de hidroponía, y la construcción optima del invernadero con los sensores que complementan cada parte del sistema en general, se puede mejorar la producción de un cultivo hidropónico salvadoreño, con calidad no solamente para comerciarse en el país sino también fuera de él. Caso que lleva a citar, al superintendente del CENTA, cuando dijo:

“El cultivo hidropónico en un invernadero, no es cuestión de lujo ni buen gusto, sino que es una necesidad, que además se puede mejorar con buenas ideas”¹⁶. (F. Rivas, comunicación personal, 8 de febrero, 2016).

Esta innovación de cultivos hidropónicos se ha quedado estancada en lo que en esa época era “tecnología de alta gama”, puesto que hoy en día la demanda de productos agrícolas es mayor, tanto en el mercado salvadoreño como en el extranjero. Y con la producción actual aun con la ayuda de los productos hidropónicos basados en esa tecnología, no alcanza a ser cubierta, y se opta por la importación de productos de países vecinos. Según estudios realizados por El MAG en 2014, entre las hortalizas más demandadas en el país están en primer lugar el Tomate, en segundo lugar el Chile verde y ocupando el tercer lugar la Papa. Es por eso

¹⁶ Ingeniero Agrónomo Fulvio Rivas Superintendente de Hidroponía en CENTA y catedrático en ENA.

que se ha seleccionado el cultivo de Tomate para muestra de la investigación. Corroborando la información obtenida en el CENTA, por el Ingeniero Fulvio Rivas.

“El consumismo en el país del Tomate depende de las importaciones de Nicaragua, Guatemala, Honduras y México, porque el cultivo interno, no alcanza”¹⁷. (F. Rivas, comunicación personal, 8 de febrero, 2016).

La producción de un cultivo puede multiplicarse más de 2 veces por año, con el mínimo de pérdidas y manteniendo el grado de calidad incluso con la posibilidad de superarla. Esto se puede lograr mediante la correcta equipación de tecnología y sistemas automatizados en el proceso de producción de un cultivo hidropónico, bajo la seguridad de un invernadero tropicalizado.

Es de carácter obligatorio entender que el término “tecnología” no se refiere a productos, dispositivos o materiales que no se encuentren en nuestro país; sino más bien a la implementación de conocimientos técnicos y científicos que nos permitan diseñar y crear bienes para la adaptación y satisfacción de la persona con el medio que lo rodea. Basándose en este término se entiende que hay mucho conocimiento que se le puede implementar a la adecuación de un proceso, para mejorarlo, y con la información necesaria de la tecnología con la que cuentan los invernaderos en el país, se puede elaborar un plan adecuado para el desarrollo de un invernadero hidropónico automatizado, que sea capaz de cumplir con las aseveraciones antes mencionadas.

¹⁷ Ingeniero Agrónomo Fulvio Rivas Superintendente de Hidroponía en CENTA y catedrático en ENA.

1.4. Objetivos:

1.4.1. Objetivo General

Realizar una investigación que demuestre que la implementación de sistemas automatizados en un invernadero hidropónico ya existente o creado desde cero, es capaz de mejorar la producción, la calidad y las ganancias en la agricultura de El Salvador, con la aplicación de estos sistemas en hortalizas, utilizando como muestra el cultivo de tomate hidropónico.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar el método hidropónico adecuado para el cultivo de tomate en el desarrollo del proyecto propuesto en la investigación.
- Mostrar que áreas de un invernadero se deben automatizar para garantizar la productividad del mismo.
- Presentar los beneficios productivos y comerciales que se obtienen al invertir en un invernadero hidropónico automatizado.

1.5. Hipótesis

La falta de mecanismos automatizados en la implementación de tecnologías efectivas y funcionales en cultivos hidropónicos en El Salvador, se debe principalmente al desinterés por parte del Estado en mejorar los sistemas de cultivo en el país, dependiendo así de las importaciones, con la idea de mejorar sus lazos internacionales; en segundo lugar están los agricultores que se niegan a cambiar de método de cultivo por su desconfianza en tecnología moderna, quedándose únicamente con el cultivo tradicional que no permite el aumento de producción y el control de calidad.

1.6. Preguntas de la investigación

¿Cuál es el problema del cultivo hidropónico en El Salvador?

Desde los inicios se ha mantenido sin progreso, es decir en una etapa experimental ya que no se ha dado el seguimiento técnico adecuado, por lo que los resultados no son los esperados, en cuanto a producción y ganancias. Factor que desmotiva grandemente a los pequeños agricultores.

¿Cómo mejorar el sistema de cultivos hidropónicos?

Implementando la tecnología apropiada para automatizar los invernaderos controlando así los factores que agilizan la producción y calidad de los mismos. Equilibrando el nivel tecnológico a implementar con las capacitaciones y preparación de los agricultores.

¿Cuándo debe ser implementada?

Lo más pronto posible, debido a que las hortalizas hidropónicas consumidas en El Salvador son importadas de otros países, los cuales ya poseen este tipo de tecnologías que vienen a reemplazar el cultivo tradicional, además, actualmente se cuenta con los conocimientos y la tecnología en el país para realizar estos cambios.

¿Dónde se debe implementar este proyecto?

Un invernadero puede ser implementado en cualquier área con las dimensiones suficientes para la cantidad de producto que se desee cultivar, pero dicha área debe contar con una fuente natural de agua para su subsistencia, y de ese modo la automatización junto con el método adecuado, se pueden acondicionar a cualquier invernadero cerrado.

CAPITULO II

Marco Teórico de la investigación

CAPITULO II

2. Marco Teórico

2.1. Terminología concerniente al campo de agronomía

Invernadero:

Un invernadero es definido como una construcción agrícola con paredes y cubierta traslúcida (vidrio o variación de plástico) en la cual es posible reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de los cultivos establecidos en su interior con relativa independencia del medio exterior¹⁸.

Invernadero Tradicional:

Se entendía como un sitio acondicionado para abrigar plantas durante el invierno y así protegerlas de las bajas temperaturas que se presentan en tiempos de frío. Como tradicionalmente se han utilizado en países que sufren bajas temperaturas durante las épocas de cosecha, como EE.UU, Canadá, España, Holanda entre otros¹⁹.



Imagen 1
(Invernadero recubierto por planchas de vidrio)

¹⁸ http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos.htm

¹⁹ <http://www.horticulturaefectiva.net/2011/06/que-son-los-invernaderos.html>

Invernadero Tropicalizado:

En la actualidad dicho concepto de invernadero ha sido rebasado por las circunstancias, puesto que ahora se construyen y utilizan invernaderos en ambientes bastante diferentes para los que fueron concebidos, como el trópico con ambientes bastantes cálidos.

Estos se construyen con malla antivirus reemplazando las paredes translucidas, pero manteniendo un techo sin filtración²⁰.



Imagen 2

(Invernadero recubierto por malla antivirus)

Agricultura tradicional o método de cultivo tradicional:

Son los conocimientos, técnicas y prácticas indígenas, orientadas a la producción de granos básicos y hortalizas.

El cual consiste en la preparación de la tierra a utilizar para después sembrar la semilla del producto requerido, y luego del tiempo necesario de cuidado recolectar el fruto que esté brinde, ya sea semilla, fruto, flor o el propio cultivo²¹.

²⁰ <http://www.horticulturaefectiva.net/2011/06/que-son-los-invernaderos.html>

²¹ <http://www.infojardin.net/glosario/aerobico/agricultura-tradicional.htm>

Producción Agrícola:

El concepto de producción agrícola es aquel que se utiliza en el ámbito de la economía para hacer referencia al tipo de productos y beneficios que una actividad como la agrícola puede generar. La agricultura, es decir, el cultivo de granos, cereales y vegetales, es una de las principales y más importantes actividades para la subsistencia del ser humano, por lo cual la producción de la misma es siempre una parte relevante de las economías de la mayoría de las regiones del planeta, independientemente de cuan avanzada sea la tecnología o la rentabilidad²².

Hortalizas:

Las hortalizas son un conjunto de plantas cultivadas generalmente en huertas o regadíos, que se consumen como alimento, ya sea de forma cruda o preparada, incluye las verduras y las legumbres verdes (las habas y los guisantes). Las hortalizas no incluyen las frutas ni los cereales²³.

Cambio Climático:

Es un cambio significativo y duradero de los patrones locales o globales del clima, las causas pueden ser naturales, como: variaciones en la energía que se recibe del Sol, erupciones volcánicas, circulación oceánica, procesos biológicos y otros, o puede ser causada por influencia antrópica (por las actividades humanas), a través de la emisión de CO₂ y otros gases que atrapan calor, o alteración del uso de grandes extensiones de suelos²⁴.

²² <http://www.definicionabc.com/economia/produccion-agricola.php>

²³ <http://www.definicionabc.com/salud/hortalizas.php>

²⁴ <http://cambioclimaticoglobal.com/>

Fenómeno de El NIÑO:

Es un patrón climático recurrente que implica cambios en la temperatura de las aguas en la parte central y oriental del Pacífico. Las aguas superficiales se calientan o enfrían entre 1 y 3 °C, en comparación a la normal. Provocando cambios drásticos con falta de lluvias, que duran entre 5 y 7 meses²⁵.

Efecto Invernadero:

Es un fenómeno natural en el cuál la radiación de calor de la superficie de un planeta, en este caso la Tierra, es absorbida por los gases de la atmósfera y es reemitida en todas direcciones, lo que resulta en un aumento de la temperatura superficial.

Los gases más eficientes en absorber el calor se llaman gases de efecto invernadero o gases de invernadero, entre ellos está el CO₂ que es el que la humanidad en su consumo de recursos ha aumentado a niveles nunca vistos previamente y está causando el calentamiento global²⁶.

La Hidroponía:

También denominada como "agricultura sin suelo". Es un conjunto de técnicas que sustituyen al suelo, la palabra hidroponía deriva del griego hydro (agua) y ponos (labor o trabajo) que significa literalmente "trabajo en agua".

Se refiere a un medio artificial constituido por una solución nutritiva que contenga los elementos esenciales que necesita la planta para su crecimiento y desarrollo.

²⁵ http://climayagua.inta.gob.ar/que_es_el_fenomeno_el_ni%C3%B1o

²⁶ <http://cambioclimaticoglobal.com/>

Es decir, que los nutrientes llegan a la planta a través del agua, son aplicados en forma artificial y el suelo no participa en la nutrición²⁷.

Ventajas

- **Menor número de horas de trabajo y más livianas**

En general las tareas son más livianas que en los sistemas convencionales, por lo que puede existir un ahorro sensible en mano de obra y por lo tanto en costos.

- **No es necesaria la rotación de cultivos**

No es necesaria en el sentido estricto como se utiliza en los sistemas convencionales, básicamente por la inexistencia de suelo.

- **No existe la competencia por nutrientes**

No existe por parte de las plantas entre sí o por microorganismos en el suelo.

- **Las raíces se desarrollan en mejores condiciones de crecimiento**

Tanto en medios artificiales como en agua el desarrollo radicular adquiere su mejor desarrollo sin impedimentos físicos ni nutricionales, comparados con los sistemas tradicionales donde suceden problemas de compactación, baja infiltración, condiciones de anaerobiosis para las raíces, que conspiran en su desarrollo.

²⁷ Manual de Hidroponía por la empresa OASIS, <http://www.oasisfloral.mx/pdf/manual-hidroponia.pdf>

- **Mínima pérdida de Agua**

A través de estos sistemas se realiza un uso eficiente del agua, ya que ésta es aportada en las cantidades necesarias y en forma controlada. Además en sistemas hidropónicos se minimizan las pérdidas por infiltración y evaporación.

- **Mínimo problema con las Malezas**

El problema de malezas se considera mínimo o inexistente en estos sistemas, ya sea porque los medios son estériles o son esterilizados y en el agua no se generan algas, puesto que está en movimiento del 60 al 100% del día.

- **Reducción en aplicación de Agroquímicos**

En general la aplicación de agroquímicos se reduce en estos sistemas, ya que el suelo como fuente de hospedaje o ciclo de enfermedades desaparece.

- **El Sistema se ajusta a áreas de producción no tradicionales**

La implementación de estos sistemas permite ampliar el horizonte agrícola permitiendo la inclusión de áreas urbanas y suburbanas para la producción. Esto permite una plasticidad en la evolución del volumen y el área de cultivo muy diferente a la obtenida con los cultivos realizados en los sistemas tradicionales.

Desventajas

- **Costo inicial alto**

Estos sistemas presentan un costo inicial alto debido a las inversiones a realizar, esto variará dependiendo del

sistema elegido y del control que se desee realizar del ambiente de crecimiento. Los costos varían dependiendo del método hidropónico.

- **Se requieren conocimientos de fisiología y nutrición**

Este tipo de producciones demandan una mayor especialización del productor, exigiéndole un grado mayor de conocimientos respecto al funcionamiento del cultivo y de la nutrición de éste. Repentinos cambios de temperatura o de ventilación tendrán respuesta directa en el cultivo, sobre todo en ambientes protegidos.

- **Desbalances nutricionales causan inmediato efecto en el cultivo**

Al no existir suelo se pierde la capacidad de amortiguamiento de éste, frente a excesos o alteraciones en el suministro de nutrientes, es por ello que de forma inmediata se presentan los síntomas tanto de excesos como de déficits nutricionales. El productor deberá estar muy atento al equilibrio de la fórmula nutricional y a sus cambios durante el ciclo.

- **Se requiere agua de buena calidad**

Así como en los sistemas tradicionales de producción se necesita un suelo de adecuadas condiciones para la producción, en los sistemas hidropónicos se requiere agua de buena calidad, sobre todo libre de contaminantes y de excesivos minerales, con un pH cercano a la neutralidad²⁸.

²⁸Hidroponía por Instituto INA Uruguay,
http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ad/ad_509.pdf

Sistemas Hidropónicos:

Un sistema hidropónico, es aquel sistema de producción en el cual las raíces de las plantas son irrigadas con una solución nutritiva y en el que en vez de suelo, se puede usar o no un sustrato²⁹. Dentro de los sistemas existen algunas variantes dependiendo del medio de cultivo en donde se desarrollan las raíces de las plantas³⁰.

Sistemas hidropónicos en Medios Sólidos (POR SUSTRATO):

Son sistemas que usan sustratos como medios de cultivo, en los cuales se pueda brindar a la raíz un balance entre los poros que retengan la solución y los poros más grandes que proporcionen oxígeno a la raíz o en su defecto que solo sirvan como un medio sólido de apoyo para el anclaje de las raíces y desarrollo de las plantas sin reaccionar con la solución nutritiva.

Las funciones asignadas al sustrato son:

- Retener y dar la solución nutritiva a la raíz (agua, nutrientes, pH, CE, etc.)
- Brindar oxígeno a la raíz
- Proporcionar temperatura adecuada a la raíz.
- Dar obscuridad a la raíz.
- Ayudar al anclaje y soporte de la planta
- Amortiguar los cambios que se den en la solución nutritiva o en el ambiente protegiendo a la raíz.

Existen numerosos tipos de sustratos usados como: la arena, cascarilla de arroz, aserrín, turba, vermiculita, perlita,

²⁹ VER ANEXOS DE MARCO TEORICO, IMAGEN 4

³⁰ Manual de Hidroponía por la empresa OASIS, <http://www.oasisfloral.mx/pdf/manual-hidroponia.pdf>

lana de roca, fibra de coco, piedra poma y recientemente espuma fenólica. En estos sistemas el sustrato debe estar contenido en contenedores que proveen un aislamiento entre el medio de crecimiento y el suelo natural pueden ser tinas construidas, canaletas, macetas o bolsas de plástico.

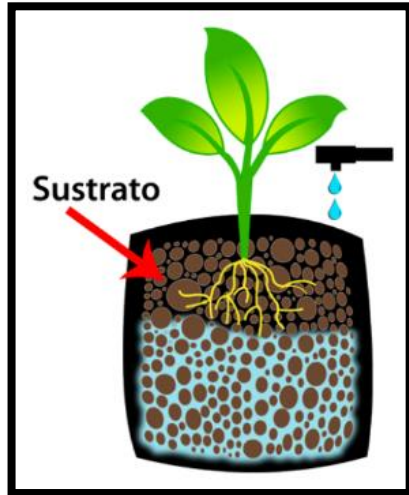


Imagen 3

(Una planta sembrada en sustrato y siendo regada)

Sistemas en solución (Agua con Nutrientes):

En estos sistemas, las raíces de las plantas se encuentran sumergidas parcial o totalmente en una solución con los elementos nutritivos disueltos en ella. La oxigenación de la raíz es un factor muy importante para el buen funcionamiento del sistema.

El ahorro en agua y fertilizantes son unas de sus principales ventajas; sus desventajas se deben principalmente al preciso y controlado manejo de la solución nutritiva.

Aunque en este sistema de cultivo se puede usar con éxito un gran número de soluciones nutritivas, se debe resaltar que se trata de un sistema esencialmente carente de capacidad de amortiguamiento. Por lo tanto, se requiere de un control muy exacto de la solución nutritiva, sobre todo en lo referente a los niveles de pH, fosfatos y hierro.

Variantes o técnicas del cultivo en solución:

- Cultivo en balsa.
- Cultivo en solución con aireación forzada o DFT (Deep Flow Technique).
- Cultivo en agua con aireación de cascada.
- Técnica de la película nutritiva (Nutrient Film Technique) NFT.
- New Growing System (NGS), Nuevo Sistema de Cultivo o de Crecimiento.

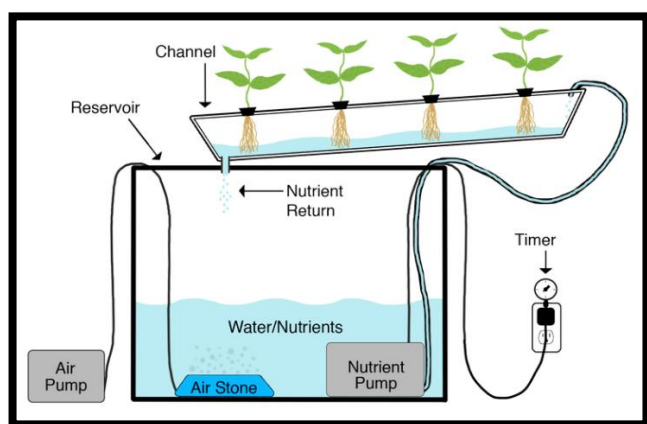


Figura 1
(Sistema recirculante de agua con nutrientes)

New Growing System (NGS), Nuevo Sistema de Cultivo o de Crecimiento:

El sistema NGS es una modalidad de cultivo hidropónico caracterizado por la ausencia de sustrato; es decir, se trata de un cultivo hidropónico puro, en el que las raíces se desarrollan en una disolución nutritiva recirculante (DNR) que discurre por un circuito cerrado, lo que permite un ahorro muy significativo de agua y fertilizantes y da a este sistema un carácter ecológico y de respeto al medio ambiente.

La DNR circula por el interior de un conjunto de láminas de polietileno (PE) superpuestas en forma de "V".

La disposición de las láminas se hace de tal forma que, la disolución nutritiva, después de recorrer un tramo más o menos largo según los diferentes modelos, cae a la lámina siguiente por medio de unos agujeros, troquelados en la parte inferior de dichas láminas.

Desde el momento en que es liberada por el sistema de goteo, la disolución nutritiva recorre un largo camino; es a lo largo de este cuando la DNR pone a disposición de las raíces tanto agua como, nutrientes y oxígeno. Al mismo tiempo, la DNR retira de la capa límite que rodea las raíces, los iones no asimilados o los compuestos excretados por las raíces y contribuye a renovar los gases que participan en la respiración radical (O₂ y CO₂).

Las raíces, una vez han superado el foamy agrícola en el que se encuentran cuando se realiza el trasplante, alcanzan la primera capa; guiadas por el movimiento del agua a favor de la pendiente, son conducidas hacia un agujero que les permite descender a la capa inferior. Este proceso se repite tantas veces como capas interiores tiene la bolsa; de este modo, el sistema se adapta fácilmente a diferentes cultivos.

Principales ventajas del sistema NGS:

El sistema NGS ofrece una gran cantidad de ventajas que se resumen en: Precocidad, calidad, rendimiento y respeto al medio ambiente. De forma más detallada:

- No precisa de ningún sustrato; además, es económico, fácil de instalar y se adapta a cualquier tipo de explotación.

- Permite obtener altas producciones de excelente calidad y mayor precocidad. Las plantas trabajan de forma eficiente desde el mismo día de su instalación en el sistema.
- Ahorra agua y nutrientes, permitiendo reutilizar el cien por cien de los drenajes; además, el movimiento continuo de la disolución nutritiva reduce el riesgo de salinidad que aparecen cuando se utilizan aguas de mala calidad.
- Mantiene el sistema radicular perfectamente aireado y admite la incorporación de cualquier sistema de desinfección de DNR: Biosidas, H₂O, hidrólisis salina, vapor de agua, radiación ultra-violeta (UV-C) u ozono (O₃).
- Permite la inspección rápida de la raíz factor que le permite cambiar de cultivo de manera rápida y eficiente.

Malla antiviral:

La malla antiviral es la que se encarga de proteger el cultivo de la entrada de plagas indeseables y controlar factores térmicos generados por la radiación y la velocidad del viento. Estas mallas están especialmente diseñadas con un tejido muy fino, el cual no permite el paso de partículas que se puedan encontrar en el aire³¹.

³¹ <http://www.hortalizas.com/uncategorized/selecciona-la-malla-adecuada-para-tus-necesidades/>

2.2. Terminología concerniente al campo Mecatrónico de sistemas automatizados.

Automatización:

Es la aplicación de diferentes tecnologías para controlar y monitorear un proceso, maquina, aparato o dispositivo que por lo regular cumple funciones o tareas repetitivas, haciendo que opere automáticamente, reduciendo al mínimo la intervención humana.

La automatización tiene como objetivo generar la mayor cantidad de producto, en el menor tiempo posible, con el fin de reducir los costos y garantizar una uniformidad en la calidad.

Esto es posible gracias a la unión de distintas tecnologías como: La instrumentación, la hidráulica, la neumática, la electromecánica, además de la diversidad de sensores y Controladores Lógicos Programables o por sus siglas PLC que permiten interconectar todo de una manera ordenada.

Hoy en día encontramos implementada la automatización en muchos sectores de la economía, como: en la fabricación de alimentos, productos farmacéuticos, productos químicos, en la Industria gráfica, petrolera, automotriz, plásticos, telecomunicaciones. Y están dedicados a mejorar cualquier proceso que con lleve a un desempeño más eficiente³².

³² <http://www.quiminet.com/articulos/que-es-la-automatizacion-27058.htm>

Control Automático:

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana³³.

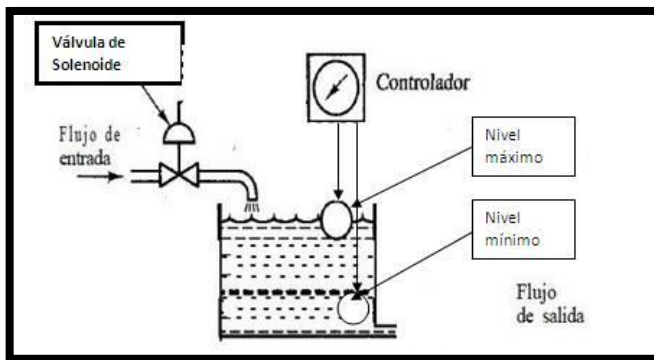


Figura 2

(Sistema de control de nivel, por medio de una válvula y niveles máx. y min.)

Sistema de Climatización:

Es el control que se crea a partir de unas condiciones de temperatura, humedad y limpieza del aire adecuadas para la comodidad dentro de los espacios habitados, ya sea con flujos de aire a través de destratificadores, apertura de ventanas, nebulizadores, etc.³⁴

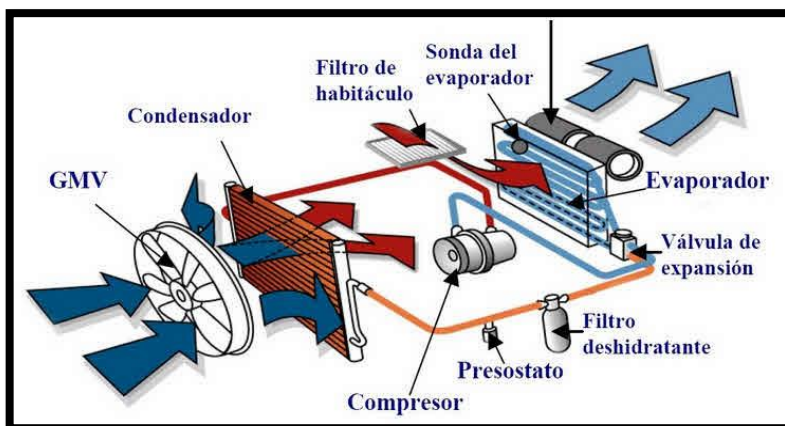


Figura 3

(Sistema de ventilación con extractor y enfriador, para aclimatar áreas)

³³ http://www.sapiensman.com/control_automatico/

³⁴ <https://es.wikipedia.org/wiki/Climatizaci%C3%B3n>

Sistema de Riego:

Es el control que se lleva a cabo de los ciclos, en los cuales la planta necesita agua, por medio de hidrobombas y conexiones especialmente diseñadas para este proceso³⁵.

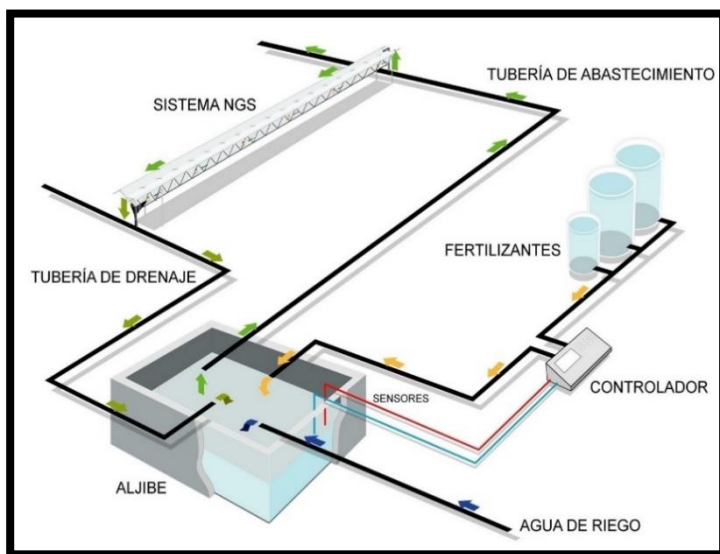


Figura 4 (Sistema de recirculación de solución nutritiva)

Sistema de filtración:

La filtración es un proceso en el cual las partículas sólidas que se encuentran en un fluido líquido o gaseoso se separan mediante un medio filtrante, o filtro que permite el paso del fluido reteniendo las partículas sólidas³⁶.

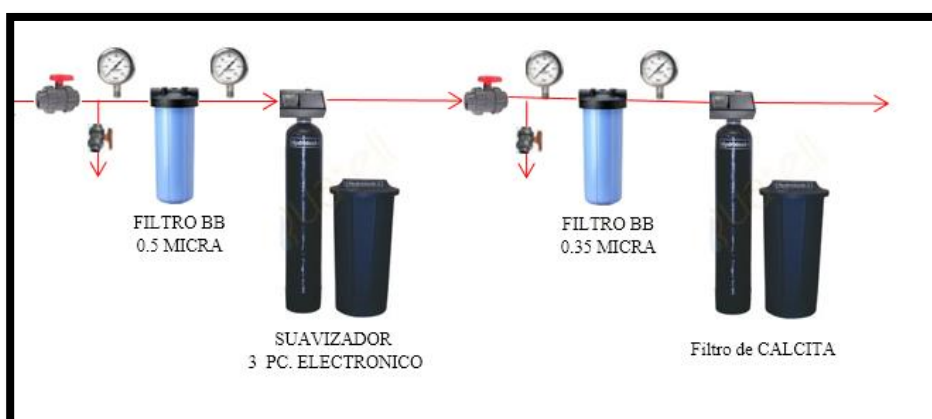


Figura 5 (Esquema de filtrado y reguladores)

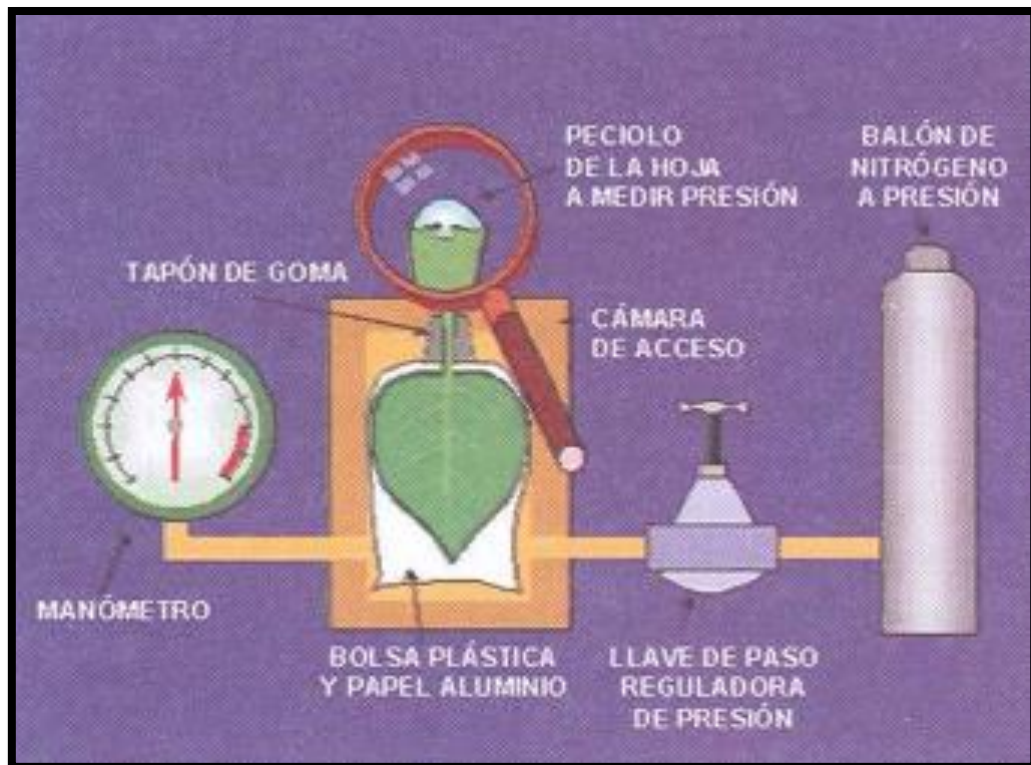
³⁵ <http://ijcv.com/riego.html>

³⁶ <http://www.quiminet.com/articulos/los-mejores-sistemas-de-filtracion-de-agua-2662440.htm>

Potencial hídrico Xilemático

El potencial xilemático corresponde a la tensión con la que se encuentra el agua en el xilema de la planta y se mide en unidades de presión, normalmente megapascal (MPa)³⁷. Los valores medidos se expresan en términos negativos, ya que el agua en el xilema de las plantas se encuentra a presiones inferiores a la atmosférica. La tensión del agua en el xilema se puede medir con una cámara de presión conocida también con el nombre de bomba Scholander³⁸.

Imagen 4 (Esquema de medidor de potencial Xilemático)



³⁷ VER ANEXOS DE MARCO TEORICO, IMAGEN 5

³⁸ <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR34397.pdf>

Componentes de los sistemas para automatizar:

Para automatizar un sistema cualquiera, se necesita la aplicación de diferentes elementos los cuales dan forma al control como tal que se quiere tener sobre un área o un proceso. Estos elementos son:

Sensores:

Un sensor es un objeto capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: intensidad lumínica, temperatura, distancia, aceleración, inclinación, presión, desplazamiento, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc.³⁹

Imagen 5 (Tipos de sensores)



Actuadores:

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un

³⁹ <https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>

proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula.⁴⁰

Imagen 6 (Tipos de Actuadores)

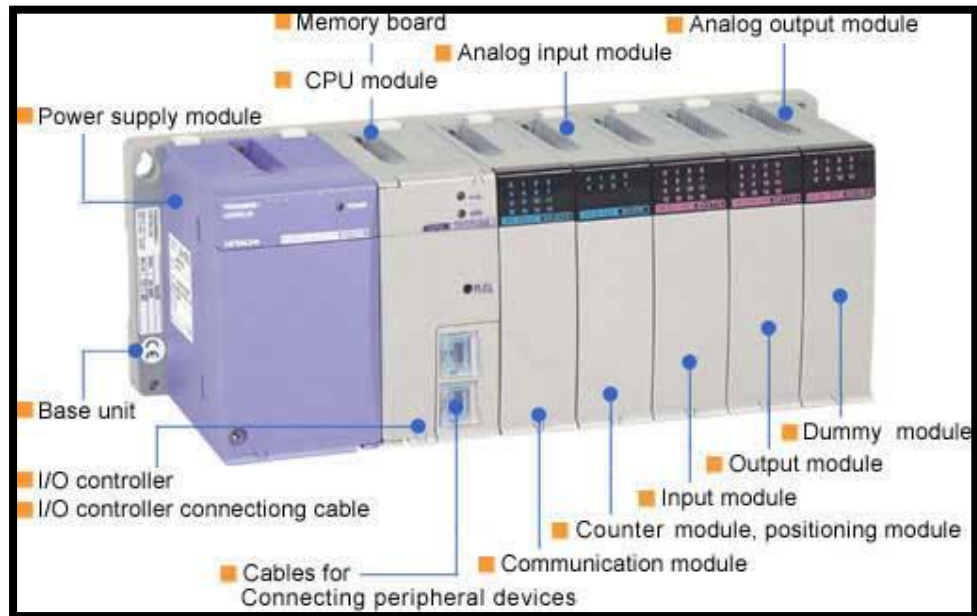


PLC:

Un Controlador Lógico Programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas.

⁴⁰ <https://es.wikipedia.org/wiki/Actuador>

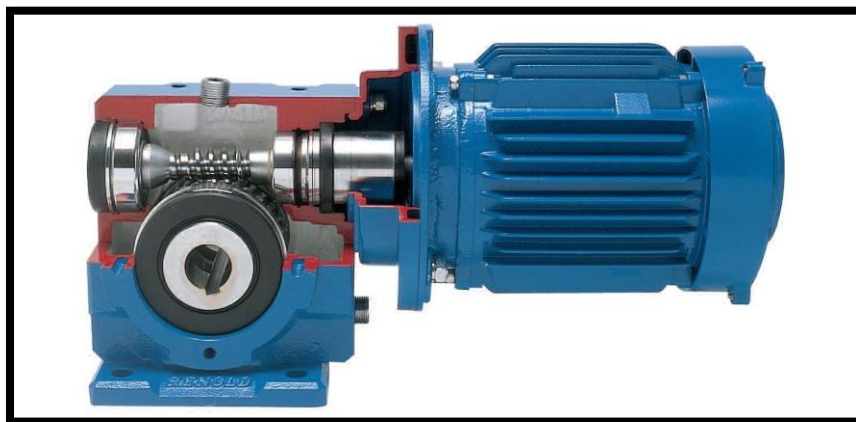
Imagen 7 (Módulos y componentes de un PLC)



Moto-reductores :

Pequeños motores (monofásicos o trifásicos), reductores de engranajes y a menudo variadores de velocidad (eléctricos o electrónicos). Se usan como accionadores en las instalaciones domóticas.⁴¹

Imagen 8 (vista interior de un moto-reductor)



⁴¹[http://www.sitenordeste.com/DiccionarioES/definicion/diccionario_electricidad/M/Diccionario_el%20saber_spanish%20vocabulary%20\(M1\).htm](http://www.sitenordeste.com/DiccionarioES/definicion/diccionario_electricidad/M/Diccionario_el%20saber_spanish%20vocabulary%20(M1).htm)

Invernadero Automatizado:

Según la normativa Europea AFNOR - V019 para tecnología en invernaderos, por la empresa NGS y la norma Americana para cultivos en invernadero NTE-PI, un invernadero puede ser:

Semi Automatizado: Cuando el funcionamiento de sus sistemas principales estén basados en controles de tiempo y lógica cableado sin retroalimentación, por sobre los controles programables. Entre los dispositivos que se pueden utilizar en un sistema semi automatizado están: Controles de tiempo, relés, contactores, sensores, controles de temperatura, pulsadores, motores, bombas, etc. Los sistemas que pueden ser controlados mediante este rango son: sistema de riego, control de sombreado (para exceso de sol) y ventilación.

Automatizado: Cuando el funcionamiento de sus sistemas principales están basado en la programación realizada en una computadora industrial o PLC, la cual permita llevar a cabo diferentes procesos simultáneamente, al mismo tiempo que controla las variables reales que se encuentren en cada sistema, y contrario al semi automatizado, este debe monitorear una retroalimentación de la respuesta de cada proceso. Entre los dispositivos que se pueden utilizar en un sistema automatizado están: PLC's, Relés inteligentes, controles de temperatura, módulos análogos y digitales, relés, contactores, sensores, HMI, motores, bombas, etc. Los sistemas que pueden ser controlados mediante este rango son: sistema de riego, sistema de climatización, control de desarrollo y crecimiento de la planta, control de nutrientes, etc.

POR LO QUE SE ESTABLECE QUE EL PROYECTO ESPECIFICADO EN LA PRESENTE INVESTIGACIÓN CUENTA CON LOS REQUISITOS PARA SER UN INVERNADERO AUTOMATIZADO.

CAPITULO III

Metodología de la investigación

CAPITULO III

3. Metodología de la investigación

En este apartado se explican los procedimientos y la instrumentación que se ha utilizado para obtener la información necesaria para la investigación.

Para poder llevar a cabo el proceso de investigación se planteó la metodología propuesta por Naresh K. Malhotra, en el libro Investigación de Mercado (2004)⁴². La cual consta de 5 etapas:

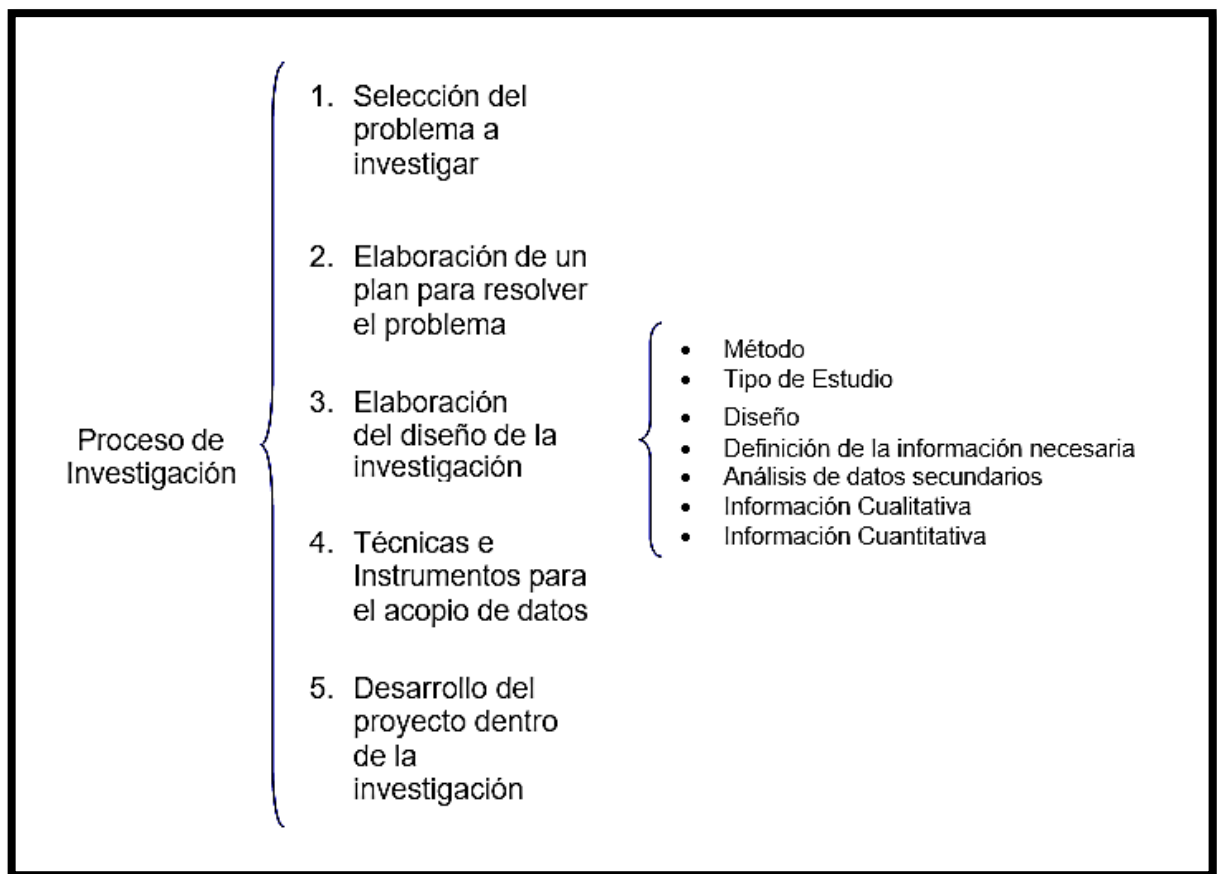


Figura 6 (Esquema de metodología)

⁴² <http://es.slideshare.net/garamar/investigacion-de-mercados-5ta-edicion-naresh-k-malhotra>

3.1. Selección del problema a investigar

El planteamiento del problema surgió debido a la necesidad de mejorar las condiciones del área agrícola en El Salvador, ya que en la actualidad el país está siendo afectado en gran medida por el cambio climático, generado por el efecto invernadero, el cual además de causar lluvias extremadamente racionadas, también provoca la prematura migración de plagas hacia los cultivos de todo tipo, devastando hasta el 75% de la producción anual.

Teniendo que recurrir a nuevas técnicas de cultivo, como la hidroponía, ya que la historia de El Salvador nos muestra que su base económica siempre ha sido la agricultura, por lo tanto tenemos el deber de preservarla.

3.2. Elaboración de un plan para resolver el problema

De acuerdo al autor Naresh K. Malhotra (2004, p. 34), en el proceso para la elaboración de un plan para resolver el problema, existen cuatro tareas:

- Discusión con los tomadores de decisiones
- Entrevistas con expertos
- Análisis de datos secundarios
- Investigación cualitativa

Para poder obtener información cualitativa y realizar el enfoque del problema, se llevaron a cabo las tareas antes mencionadas.

Las pláticas se realizaron con los tomadores de decisiones conformados por los alumnos de Ingeniería en Mecatrónica encargados de realizar la investigación en cuestión.

Las entrevistas a expertos, se aplicaron al Ingeniero Fulvio Rivas Superintendente de Hidroponía en el CENTA, al Ingeniero Amílcar Dueñas Gerente de Operaciones en Hidro Expo, y por último al Ingeniero Antonio Oliva jefe del departamento de ventas en New Growing System, España.

El análisis de datos secundarios se obtuvo a través de diversas fuentes bibliográficas tales como libros, Tesis, páginas de Internet, además de la información proporcionada por la empresa Hidro Expo y el centro de tecnología Agrícola CENTA. Para complementar la información se consultó la base de datos del MAG y del Banco Central de Reservas, con respecto a demanda anual e importación respectivamente, contribuyendo a la información cualitativa como la cuantitativa para ser objeto de la investigación y proveer los datos necesarios para el desarrollo de los objetivos específicos.

3.3. Elaboración del diseño de la investigación

En esta etapa se especifica el método que se aplicará para la investigación, se detallan los pasos para la recopilación de la información necesaria y se describen las herramientas de recolección utilizadas en la investigación así como la naturaleza de ésta.

3.3.1. Método

Para el desarrollo de la investigación acerca de la automatización de invernaderos para cultivos hidropónicos en El Salvador, se ha utilizado el método inductivo-deductivo, con un enfoque mixto entre cualitativo y cuantitativo.

Este método permite basarnos en el razonamiento y en la lógica, para la formulación de una estructura jerárquica desde la formulación del problema hasta las conclusiones que este conlleve con la comprobación de la hipótesis, previamente planteada.

Con este método, se utiliza principalmente la técnica de observación, para lograr percibir la asociación de los fenómenos a estudiar, en esta etapa es donde se presenta la inducción, y esto nos permite formular teorías y deducciones, con los datos pertinentes que se recolectan por un enfoque tanto numérico como descriptivo, que por consiguiente llevan a conclusiones.

Inductivo: Parte de fenómenos particulares para llegar a generalizaciones. Esto se refiere a pasar de los resultados obtenidos de la observación con elementos particulares a la formulación de hipótesis, principios y leyes de tipo general.

Deductivo: Parte de Fenómenos generales para llegar a uno particular. Esto se refiere a la aplicación de principios, teorías y leyes a casos particulares.

Enfoque Cuantitativo: Parte del estudio del análisis de datos numéricos, a través de la estadística, para dar solución a preguntas de investigación o para refutar o verificar una hipótesis.

Enfoque Cualitativo: Parte del estudio de métodos de recolección de datos de tipo descriptivo y de observaciones para descubrir de manera discursiva categorías conceptuales⁴³.

3.3.2. Tipo de estudio

La investigación es pura, ya que dentro del campo de estudio existe documentación previa de proyectos ya desarrollados. En cuanto a su naturaleza se concibe retrospectiva y correlacional debido a que en un primer momento se trabaja con hechos y proyectos que se dieron en la realidad en nuestro país y se retoman ideas que se dieron en su momento. Seguidamente se ha interpretado la relación de las variables agricultura hidropónica, métodos de cultivo y tecnología automatizada, para designar que tan compatibles han sido, y cuanto pueden llegar a mejorar en su relación.

Es pura, ya que -La investigación básica o pura tiene como finalidad la obtención y recopilación de información para ir construyendo una base de conocimiento que se va agregando a la información previa existente-⁴⁴.

⁴³ <http://sanjahingu.blogspot.com/2014/01/metodos-tipos-y-enfoques-de.html>

⁴⁴ <https://curiosoando.com/que-diferencia-investigacion-basica-e-investigacion-aplicada>

Es retrospectiva, porque -En este tipo de estudio el investigador observa la manifestación de algún fenómeno (A) e intenta identificar retrospectivamente sus antecedentes o causas (B), según la historia de este-⁴⁵.

Es correlacionales, debido a que "Se miden dos o más variables para determinar si están o no relacionadas y después se analiza su correlación, para identificar si pueden interactuar" (Sampieri H. año 2000, p. 81)⁴⁶.

3.3.3. Diseño

El diseño de la investigación fue no experimental-longitudinal ya que no se manipulan ni se someten a prueba las variables de estudio, de manera de obtener un resultado de observación sin perturbar el medio de cada área, para determinar si los resultados varían con respecto de las épocas.

Es no experimental, ya que "La investigación no experimental o ex post-facto es cualquiera en la que no se manipulan variables ni asignan sujetos de manera aleatoria" (Kerlinger E. año 1979, p. 116)⁴⁷.

De hecho, no hay condiciones o estímulos a los cuales se expongan los sujetos del estudio. Los sujetos son observados en su ambiente natural, en su realidad.

⁴⁵ <http://www.inppares.org/revistasss/Revista%20XIII%202011/9-%20Tipos%20de%20Estudio.htm>

⁴⁶ Hernández Sampiere, Roberto. "Metodología de la Investigación". México. Año2000. p. 81

⁴⁷ Hernández Sampiere, Roberto. "Metodología de la Investigación". México. Año1991. p. 116

Es longitudinal, debido a que "el interés del investigador es analizar cambios a través del tiempo en determinadas variables o en relaciones entre estas, para hacer inferencias respecto a los determinantes y consecuencias" (Kerlinger E. año 1979, p. 118)⁴⁸.

3.3.4. Definición de la información necesaria

En este punto se especifica la forma en la que se desarrollaron cada uno de los pasos para lograr los objetivos de la investigación.

Las actividades que se realizaron fueron las siguientes:

- **Investigación bibliográfica.**

El primer paso que se llevó a cabo fue la investigación bibliográfica, por medio de periódicos en línea y bases de datos de la UES y el MAG acerca de los invernaderos en el país que utilizan técnicas hidropónicas para sus cultivos, dando como resultado el conocimiento de algunos que se encuentran en los departamentos de La paz, San Vicente y Chalatenango, pero que utilizan un procedimiento completamente manual.

También se obtuvo información acerca del centro tecnológico CENTA y la empresa Hidro Expo, los cuales son pioneros en este campo. Al mismo tiempo se estudiaron proyectos similares en otros países como Chile, Colombia, Nicaragua y Honduras.

⁴⁸ Hernández Sampiere, Roberto. "Metodología de la Investigación". México. Año1991. p. 118

- **Visita de campo para observar el cultivo hidropónico.**

El segundo paso fue ciertamente adentrarse en la técnica hidropónica para conocer más detalladamente sus aplicaciones, ventajas y desventajas, esto se realizó con una visita al Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), en donde el Ingeniero Fulvio Rivas expuso los principios de la hidroponía, así como todo lo que conlleva, y observando los cultivos que ahí se encuentran se logró complementar de primera mano lo ya estudiado en el paso anterior, en cuanto a cuidados, producción, métodos, aplicaciones, etc.⁴⁹

- **Visita de campo para conocer la tecnología aplicada en los cultivos hidropónicos.**

El tercer paso fue así como lo requería la investigación, conocer el nivel de tecnología que se aplica en los invernaderos que ya tienen mayor demanda. Para indagar en esto, solicitamos permiso para visitar la empresa Hidro Expo, de la cual no se puede obtener mucha información a través de internet o fuentes aledañas, debido a que es una empresa privada que cosecha para exportar.

En esta empresa se observó como ellos producen, y al mismo tiempo la tecnología que utilizan, la cual se basa en riegos automáticos y control de nutrientes. Esta información es esencial puesto que implementan más tecnología en comparación con el invernadero en CENTA, lo que permite establecer un punto de partida en cuanto a la tecnología y los sistemas a utilizar⁵⁰.

⁴⁹ VER ANEXOS DE METODOLOGIA, IMAGENES 8, 9, 10, 12.

⁵⁰ VER ANEXOS DE METODOLOGIA, IMÁGENES 6, 7, 11, 13, 14.

- **Selección del método para cultivo hidropónico.**

El cuarto paso fue seleccionar de entre todos los métodos hidropónicos el más adecuado. Para esto se tomaron como respaldo las visitas realizadas a los sitios de cultivo, y se entiende que el método más utilizado es el que se da por medio de sustrato, pero no significa que sea el mejor, más bien es el método más seguro.

Sin embargo según los estudios realizados, con base en proyectos del extranjero y charlas con los ingenieros en las visitas, se puede optar por un método capaz de multiplicar la producción, siempre y cuando se tomen las medidas adecuadas con el cultivo, este método es el de "hidroponía pura", lo que quiere decir que no cuenta con sustrato, únicamente depende de la solución nutritiva.

Por lo tanto se seleccionó el método NGS siendo el adecuado por su gran versatilidad para cultivar cualquier tipo de hortaliza, y entre otras ventajas también se puede mencionar el éxito que ha tenido en una gran cantidad de países que lo implementan actualmente, gracias a la empresa New Growing System.

- **Selección del producto adecuado para la muestra.**

El quinto paso fue seleccionar la hortaliza a cultivar como muestra en la investigación, es decir, en El Salvador se cultivan una gran variedad de hortalizas, pero cada una tiene diferente demanda en el mercado actual, cabe aclarar que este fue un factor importante también para la selección del método.

Según los ingenieros del CENTA y estudios anuales que realiza el MAG las hortalizas altamente demandadas en el país, son: el tomate, el chile verde y la papa. Ciertamente esto se ve confirmado por los productos de los lugares visitados, puesto que en Hidro Expo cultivan Chile verde y tomate, y en el CENTA cultivan tomate y papa experimental.

Por lo que se decidió hacer el estudio tomando como cultivo el tomate de la variedad "Solanum Lycopersicum" el cual es el que comúnmente se utiliza en la cocina salvadoreña.

- **Identificación de un sitio adecuado para el invernadero.**

El sexto paso es el de realizar un estudio acerca de cuál es el lugar o sitio idóneo para la construcción del invernadero en cuestión. Si bien es cierto que la automatización como tal, se puede implementar en cualquier invernadero cerrado que ya esté construido y que posea maya anti-virus, únicamente con la condición de adecuar las variantes del producto en el control automático, es decir, especificar en la programación del sistema automático tanto clima como nutrientes, también se debe tomar en cuenta la posibilidad de construir un invernadero nuevo con las condiciones adecuadas.

Dado el caso que en la hidroponía, después de la planta el agua es el elemento más importante, obviamente se debe contar con una fuente de agua, la que comúnmente se obtiene a base de pozos.

Por lo tanto, antes del invernadero, se debe realizar un estudio de mantos acuíferos para la elaboración de uno.

Este estudio también debe contener entre sus datos el tiempo de vida útil del pozo sin afectar la naturaleza del medio, los permisos del Ministerio de Medio Ambiente (MARN), etc.

Posterior al estudio y a la elaboración del pozo, se puede construir un invernadero con las dimensiones que se estimen convenientes. En cuanto a nuestro proyecto la construcción de un pozo se puede llevar a cabo en el área del departamento de La Libertad, especialmente en el municipio de San Juan Opico, en la Zona Franca Talcualuya, debido a que según estudios realizados por ANDA y el MARN para otras instalaciones, es una zona que cuenta con recursos hídricos abundantes, además de áreas que se utilizan para cultivos y rebaños.

- **Valoración de las etapas que necesitan automatizarse en un invernadero hidropónico.**

El séptimo paso en la investigación fue identificar las etapas que forman parte clave del cuidado de los cultivos en un invernadero, para poder realizar el diseño de automatización de cada una.

Es este paso se estudiaron las necesidades que presenta una planta como tal, según estudios de la base de datos de la empresa española New Growing System, los factores clave para el correcto desarrollo de un cultivo hidropónico son: La temperatura, La solución nutritiva y Los ciclos de riego.

El éxito y la garantía de una buena producción vienen dados por estos factores, de tal manera que la automatización se implementara así:

- La temperatura del sistema se controlará por medio de los sensores adecuados, midiendo la radiación solar y la humedad relativa que recibe la planta.
- La solución nutritiva se graduara en base a las necesidades de la planta implementando tecnología de filtración y medición de sustancias.
- Los ciclos de riego se establecerán en la programación para el control de bombeo y se sincronizaran con una tabla de adecuación de la planta, que varía según clima y época.

• **Valoración de la capacitación del personal.**

El octavo paso está basado en la especialización del tema en cuestión, puesto que tanto la hidroponía como la automatización no son temas que comúnmente se manejen por los agricultores tradicionales.

Es por eso que parte de la estrategia para la facilitación de la conciliación del pueblo salvadoreño con esta técnica, es brindar una serie de capacitaciones antes y durante la elaboración del proyecto, esto quiere decir que las personas conocerán y serán capaces de manejar las plataformas del sistema de control automatizado y también se adentraran en la hidroponía permitiendo que estos estén conscientes del cuidado que este requiere.

Según el Ingeniero Fulvio Rivas, "los agricultores muchas veces rechazan las ideas nuevas, por ser confusas".

Es donde entra la etapa de capacitación del personal, esto se realizará en dos etapas, las cuales serán: La etapa de introducción a la hidroponía, que incluirá temas tales como: siembra, germinación, trasplante, solución nutritiva, además del método utilizado NGS y La etapa de Control Automático que se basara en el funcionamiento de cada sistema automatizado, mejorando de esta manera la relación de las personas con las áreas a trabajar. A las que continuamente se les dará seguimiento.

3.3.5. Análisis de datos secundarios

El análisis de datos secundarios se basa en la información obtenida en el paso anterior. Cada fuente de información primaria tiende a recurrir a una base de datos como apoyo verídico, en esta investigación se presentan tres fuentes primarias, las cuales son El CENTA, Hidro Expo y New Growing System. De los cuales se extrajo información vital, la cual se ha corroborado de la siguiente manera:

En primer lugar se asume que porque en CENTA y en Hidro Expo se cultiva Tomate, este es el producto más demandado, pero no fue comprobado hasta que se hizo un análisis de gráficos rescatados de la base de datos del BCR, en donde se muestra que la producción actual del tomate, no alcanza a cubrir la demanda que nuestro país tiene de ese producto, por lo que este tiende a ser importado.

En segundo lugar se entiende por las visitas realizadas que el mejor método para cultivo hidropónico es el que se da por sustrato, pero al indagar en la aceptación que NGS ha tenido en muchos países tales como México y Chile,

con respecto a la mejora de producción debido a que su diseño permite la absorción uniforme de nutrientes, se corrobora que este método puede sustituir al tradicional, tal y como lo afirma la empresa New Growing System.

3.3.6. Información Cualitativa

Esta etapa de la investigación es donde se determina si la información obtenida es la adecuada, precisamente por el hecho de que en el campo de investigación existe una gran diversidad de datos para recolectar.

La información cualitativa está dada por la veracidad de esta, siendo que se recolecta de primera mano, en este caso gran parte de la información documentada se obtuvo mediante entrevistas planificadas y no planificadas que se realizaron personalmente en las instituciones idóneas seleccionadas previamente, con el personal altamente calificado para exponer el tema, por un lado la experiencia y dominio de la hidroponía por parte del ingeniero Fulvio Rivas y por otro lado el conocimiento y aplicación tecnológica agronómica por parte del ingeniero Amílcar Dueñas, uno como superintendente del área hidropónica en CENTA y el otro como gerente de operaciones en Hidro Expo respectivamente.

Añadiéndose a estos, también se cuenta con la participación de personal que se encuentra en la cumbre de los estudios de métodos hidropónicos en España, como es el ingeniero Antonio Oliva, que por medio de correos electrónicos exhorto las capacidades de la tecnología que promueve la empresa New Growing System. Por lo que se

asegura que la información recolectada cuenta con un alto respaldo tanto de fundamentos teóricos como prácticos, en el amplio campo de la hidroponía y la tecnología aplicada a la agricultura.

3.3.7. Información Cuantitativa

La etapa de información cuantitativa es donde se describen los datos obtenidos que cuentan con la peculiaridad de ser medidos. Estos demuestran un grado más certero con respecto a probabilidades de demostrar el éxito o fracaso de un proyecto⁵¹.

Para esta investigación se cuenta con diversos estudios, los cuales son:

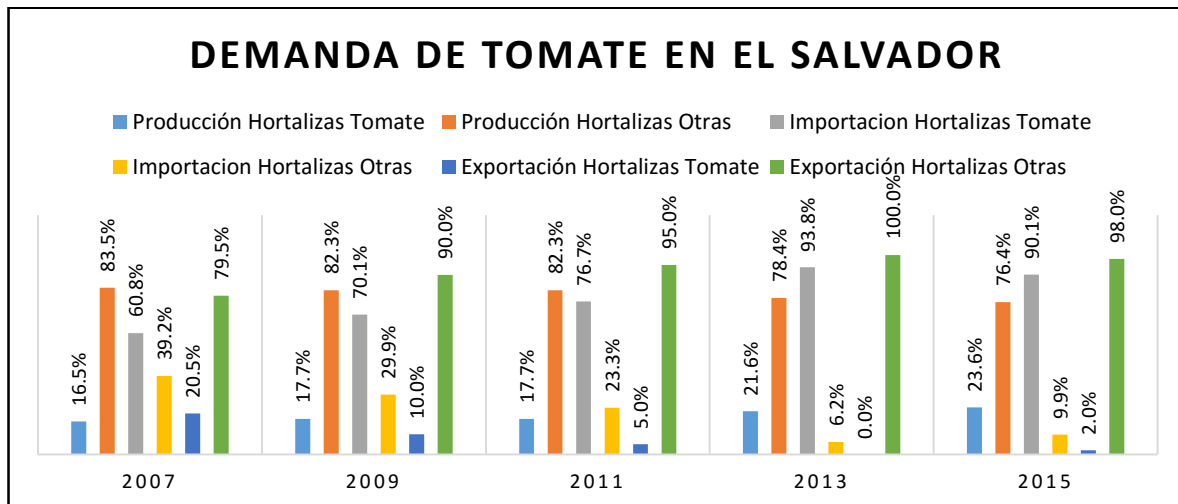
La selección del producto a presentar como muestra, basado en las estimaciones y cálculos realizados por el MAG y el BCR con respecto al porcentaje de demanda versus el producto cosechado en el país, según la variación de las importaciones de hortalizas realizadas desde el año 2007 hasta la actualidad.

TABLA 1 (Comparación de la producción de tomate con respecto al total de hortalizas producidas en El Salvador)

año	Producción Hortalizas		Importación Hortalizas		Exportación Hortalizas	
	Tomate	Otras	Tomate	Otras	Tomate	Otras
2007	16.5%	83.5%	60.8%	39.2%	20.5%	79.5%
2009	17.7%	82.3%	70.1%	29.9%	10.0%	90.0%
2011	17.7%	82.3%	76.7%	23.3%	5.0%	95.0%
2013	21.6%	78.4%	93.8%	6.2%	0.0%	100.0%
2015	23.6%	76.4%	90.1%	9.9%	2.0%	98.0%

⁵¹ VER EN ANEXOS DE METODOLOGÍA, GRAFICOS DE IMPORTACIÓN Y CALCULOS DE PRODUCCION

Figura 7 (Grafica respecto a los porcentajes de TABLA 1)



La comprobación de la mejora que se obtiene en cuanto a calidad y cantidad de producto, respecto de la implementación de un sistema automatizado en los cultivos hidropónicos, se determinó mediante los resultados de la producción que generan en Hidro Expo quienes ya cuentan con sistemas semi-automatizados y que obtienen el doble de producto en comparación con el cultivo tradicional. Estos cálculos se obtienen mediante el control anual de producción, en toneladas por metro cuadrado de cultivo.

La presentación de estos análisis y cálculos permite demostrar las bases cuantitativas de la investigación y del proyecto propuesto dentro de la misma⁵².

TABLA 2 (Comparación de inversión hidroponía vs. tierra)

Forma de Cultivo	Cielo abierto (tradicional)	Hidroponía con control de riego	Hidroponía automatizada
Inversión aprox./Ha	\$30,000 - \$36,000	\$75,000 - \$120,000	\$250,000 - \$ 400,000
Producción promedio anual	3 kg/m ² - 5 kg/m ²	4g/m ² - 10kg/m ²	10kg/m ² - 45kg/m ²
Cosechas por año	1 – 2	2 - 3	3 – 4

⁵² VER ANEXOS DE INFORMACIÓN CUANTITATIVA, IMAGEN 15, CUADROS 1, 2, 3.

3.4. Técnicas e Instrumentos para el acopio de datos

3.4.1. Técnicas

Para la recopilación de información en esta investigación se han utilizado las técnicas: Registro, Observación y Entrevista.

La técnica de registro ha sido aplicada en la base de datos de El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) así como también en las bibliotecas de las universidades UES facultad de Biología, Ciencias y Humanidades y en la UCA facultad de Economía y Finanzas.

La técnica de observación ha sido aplicada en dos visitas; ambas en escala de observación 1, puesto que no ha sido por periodos determinados de tiempo, sino más bien como inspección detallada en una única oportunidad. La primera visita fue realizada al CENTA, en donde se llevó a cabo el proyecto de apoyo para cultivos hidropónicos por el KOICA. Posteriormente se visitó la empresa Hidro Expo, que junto con la visita anterior ha servido para conocer cómo ha ido evolucionando la tecnología para cultivos hidropónicos en El Salvador.

La técnica de entrevista ha sido aplicada en cada una de las visitas, las cuales han sido elaboradas de manera personal. La entrevista realizada en el CENTA al Superintendente de Hidroponía, Ingeniero Agrónomo Fulvio Rivas, posee un fin propio el cual es conocer de una manera general la historia de la hidroponía en El Salvador y su evolución. De igual manera la entrevista realizada

en Hidro Expo al Gerente de Operaciones, Ingeniero Amílcar Dueñas posee como fin identificar el método de producción más viable y las áreas que conviene automatizar en un invernadero hidropónico de tomate.

Al mismo tiempo esta técnica fue aplicada en una serie de correos electrónicos que se mantuvieron con el Ingeniero Antonio Oliva, jefe del departamento de ventas en la empresa New Growing System en España, el fin de estos fue aclarar las dudas que se tenían sobre el método de producción NGS.

3.4.2. Instrumentos

Los instrumentos que se han utilizado para la investigación, con el método de entrevista, fue la realización de un cuestionario No Estructurado, dando lugar a preguntas con respuestas abiertas y cerradas de una manera libre, pero con un fin específico.

Para la documentación de cada entrevista se utilizó una mini grabadora de audio, y el registro de los correos relacionados al sistema NGS se mantienen gracias a una computadora portátil.

En el caso del método de observación se realizó una lista de chequeos con preguntas cerradas en combinación con una tabla de estimación para el cultivo de tomates y para la tecnología aplicada, lo que brinda con certeza las ideas que se pueden tener contra la realidad de un caso⁵³.

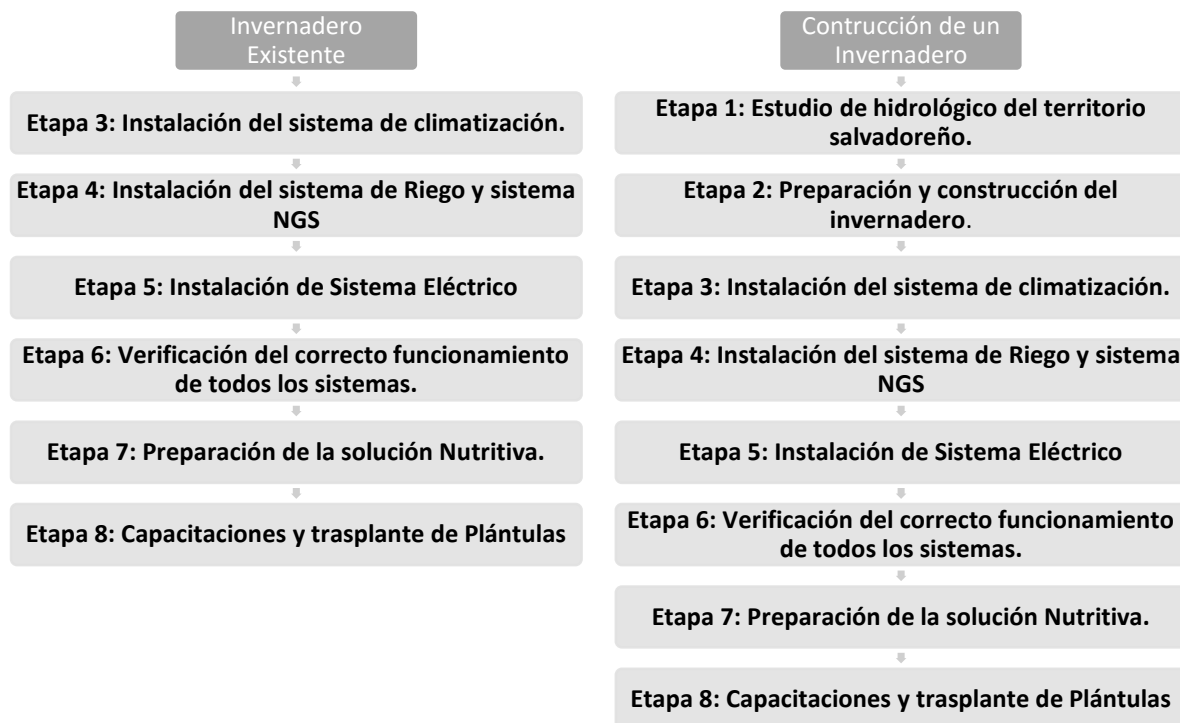
⁵³ VER EN ANEXOS DE METODOLOGIA, INSTRUMENTOS, MODELO DE CUESTIONARIO Y MODELO DE LISTA DE CHEQUEO.

3.5. Desarrollo del proyecto dentro de la investigación.

El proyecto que se describe dentro de la investigación, que sirve para darle una solución al planteamiento inicial es la construcción de un invernadero dedicado a la agricultura hidropónica. El cual debe contar con la tecnología adecuada para automatizar cada uno de los procesos vitales que permiten que el cultivo se encuentre en las condiciones óptimas para brindar la mayor producción posible.

El desarrollo de este proyecto se puede realizar de 2 formas: en un invernadero cerrado ya existente, o con la construcción de un invernadero partiendo desde cero. La realización de este proyecto se ha dividido en etapas las cuales son:

TABLA 3 (Esquema de pasos para elaborar un invernadero automatizado y para automatizar uno existente)



3.5.1. Etapa 1: Estudio hidrológico del territorio salvadoreño.

Este paso es para identificar en que zona se puede realizar la construcción de un pozo, como principio fundamental de un invernadero hidropónico. El cual se puede llevar a cabo en San Juan Opico municipio del departamento de La Libertad, en la Zona Franca Talcualuya⁵⁴.

3.5.2. Etapa 2: Preparación y construcción del invernadero.

La preparación sería con respecto a la tierra donde se construiría el invernadero, en cuanto a la nivelación y retiro de cualquier obstáculo, además de la construcción de una cisterna de 30m² para riego. Luego se llevaría a cabo la construcción del invernadero, el cual se detalla como una estructuración de diez mil doscientos cuarenta metros cuadrados lo que se denomina como una hectárea de terreno.

En esta superficie se instalaría un (1) invernadero del tipo "GOGARSA GOT 12.8-5M", con la configuración de un (1) módulo de (10,240m²)⁵⁵.

El invernadero GOGARSA GOT es un invernadero tipo Multi-Capilla de pared recta diseñado según la norma **UNE 76-208-92** (estructuras metálicas, invernaderos Multi-Capilla con cubierta de materiales plásticos). Estos invernaderos están preparados para poder suspender de los mismos: cultivos, pantallas o mantas térmicas, tuberías

⁵⁴ http://sv.geoview.info/zona_franca_agricolatalcualuyaopico,9170835p

⁵⁵ <https://www.linkedin.com/company/gogarsa-s-l/>

de riego, sistemas de calefacción e incluso maquinaria para la recolección de distintos cultivos⁵⁶.

La tabla que se presenta a continuación muestra los materiales que se necesitan para la construcción de un invernadero según la **Norma de Construcción de Invernaderos Seguros UNE**.

TABLA 4 (Listado de elementos con normativa, para la construcción del invernadero)

Descripción del Elemento	Norma
Un Invernadero Multi-Capilla de GOGARSA GOT	UNE 76-208-92
Tubo estructural de acero A-37 de 30/40 kg/mm ²	DIN 1623-MV 109
Tubo estructural galvanizado en caliente 100x100x2mm	UNE 36130/76
Tubo curvado oval galvanizado, 90mm de diámetro x1.5mm	ASTM 525/83
Tubo rollizo de galvanizado, 45mm de diámetro x1.5mm	ASTM 525/83
Correas y riostras para tubo de 32mm de diámetro x1.5mm	---
Canal galvanizado de 2mm de espesor y diámetro 150mm	---
Viga de apoyo para pilares intermedios de 80x60x2mm	DIN 1623-MV 109
Tubo rollizo para refuerzos 45mm de diámetro x32mm	---
Pernos de acero de 8.8 de 50/80 kg/mm ²	DIN 264-4
Malla antivirus MESH 50 de 5x150m	AGRO-5MU

TABLA 5 (Dimensiones y características del invernadero)

Dimensiones de cada módulo del invernadero	
Numero de naves	8
Anchura de las naves	12.80m
Ancho total del invernadero	102.40m
Largo total del invernadero	100.00m
Superficie total del invernadero	10,240.00m ²

⁵⁶ VER ANEXOS DE METODOLOGÍA, FOTOGRAFÍAS Y DISEÑO DE CONSTRUCCIÓN, IMAGEN 16

TABLA 6 (Cada invernadero de una hectárea está constituido por 8 naves o módulos, esta tabla muestra las dimensiones de las mismas)

Características de cada módulo del invernadero	
Altura bajo canal	5.00m
Separación entre arcos	2.50m
Distancia entre pilares interiores	5.00m
Distancia entre pilares laterales	2.50m

Las naves son las etapas del invernadero, es decir estructuras que se unen mediante soportes o pilares internos, de esa manera se construiría el invernadero.

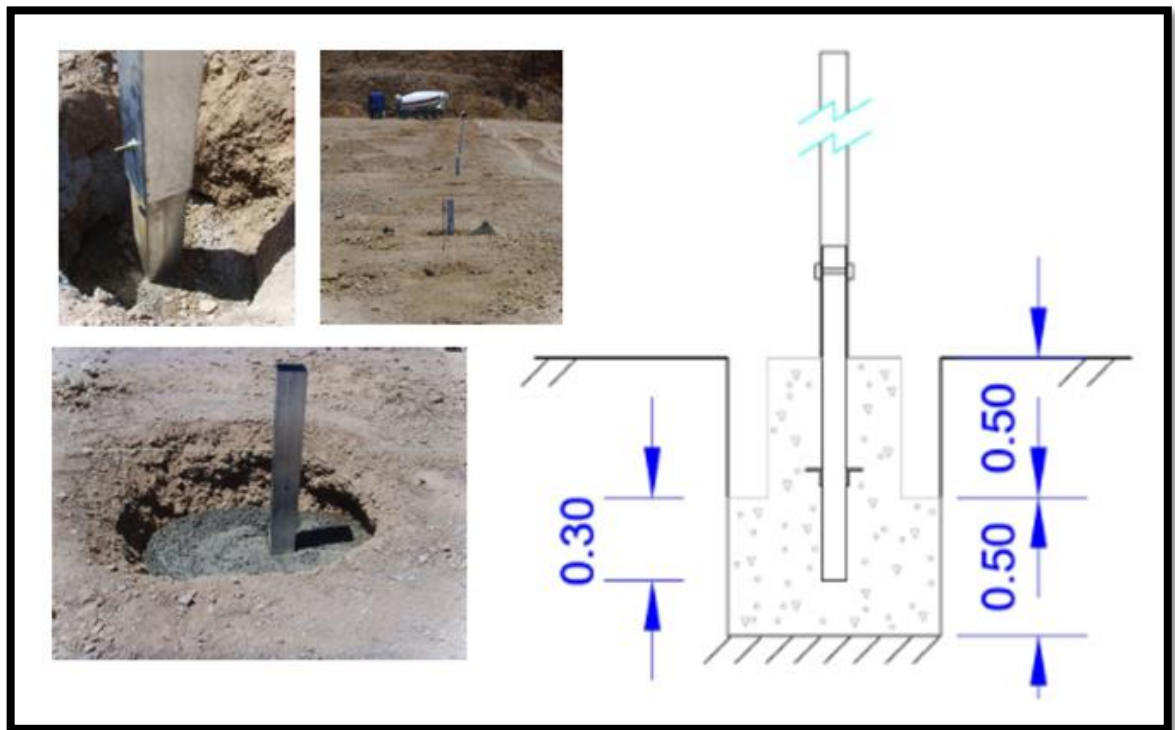


Imagen 9 (Diseño y dimensión de los cimientos de cada nave)

DISEÑO

Imagen 10 (Vista frontal y medidas de una nave)

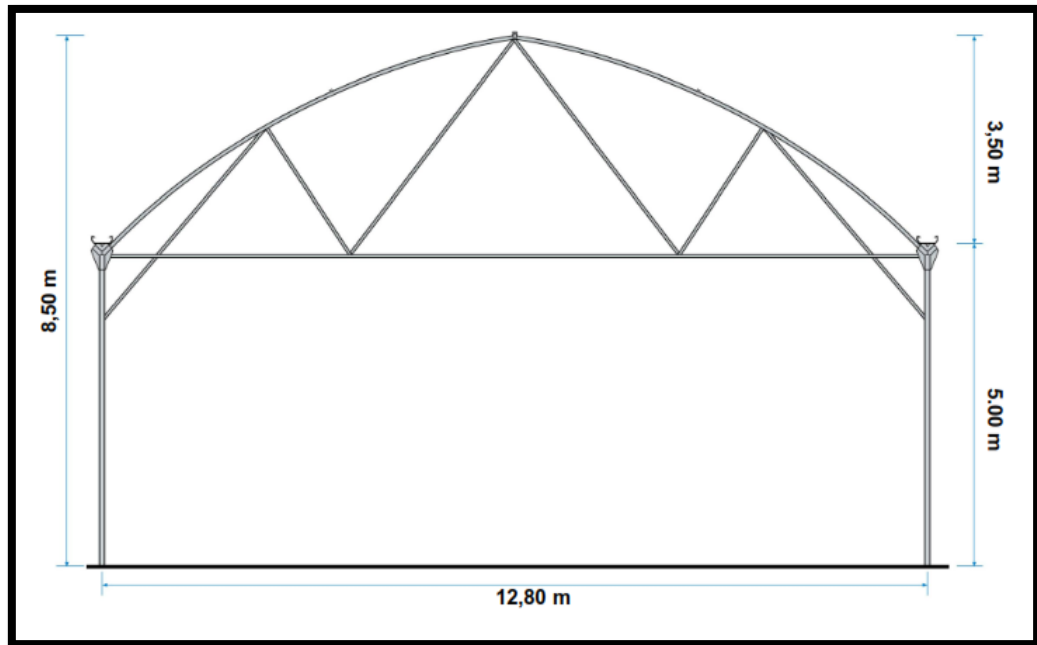
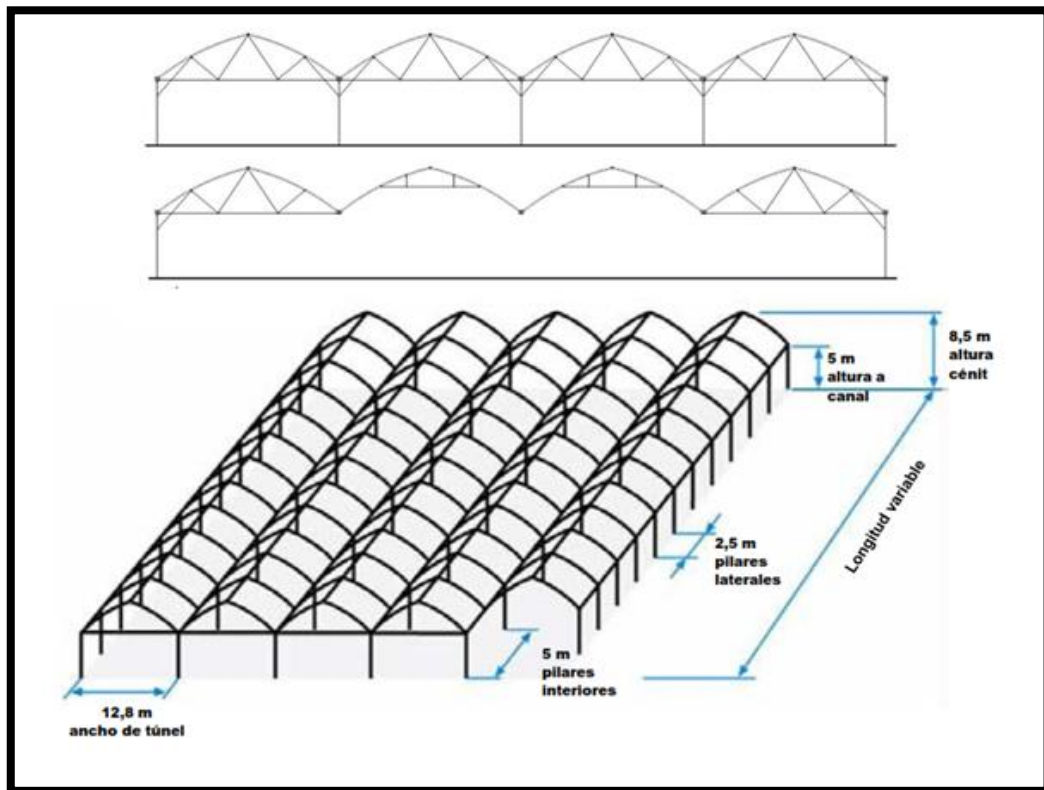


Imagen 11 (Vista 3D y distribución de naves en una hectárea)



3.5.3. Etapa 3: Instalación del sistema de climatización.

En este paso se explica cómo se llevaría a cabo la instalación de los mecanismos que conforman el sistema de climatización, además de sus características y componentes.

Este sistema se divide en 4 partes, las cuales son:

- Sistema de ventilación Superior
- Sistema de ventilación Lateral y Frontal
- Sistema de Ventilación Forzada
- Sistema de Nebulización

De las cuales la programación del PLC seleccionara las que deben estar activas, para resolver el problema que se presente, ya sea de acumulación de humedad o de vapor, esta puede darse trabajando un sistema o en cooperación entre dos sistemas o más.

Sistema de ventilación Lateral y Frontal:

Esta ventilación es la que se da por medio de las corrientes de aire bajas, y se permite con unos ventanales colocados alrededor del invernadero, del cual cuelgan cortinas de plástico o de malla antiviral de mayor espesor. Estos tendrán un sistema de apertura automática con moto-reductores, con eje de transmisión de $\frac{3}{4}$ ".

El plástico se sujeta al eje de transmisión con unas pinzas de policarbonato, que permiten enrollar/desenrollar para obtener la apertura adecuada.

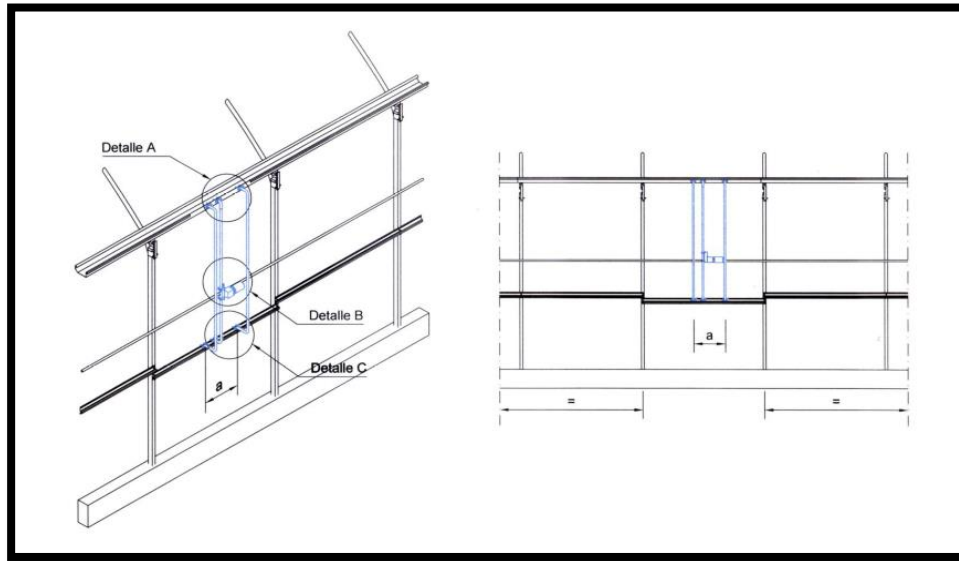
La apertura y cierre automático de los ventanales se realizara por medio de un Control Lógico Programable, el cual trabajara de la siguiente manera:

- El Tiempo se controlara con el reloj interno del PLC.
- La Temperatura dentro del invernadero, la cual se obtendrá por medio de sensores metálicos (PT100), que estarán situados en diferentes puntos del invernadero, será monitoreada por medio de módulos especiales (módulo de entradas de señales análogas) conectados al PLC.
- El PLC evaluara si la temperatura es la adecuada para el ambiente de la planta, si no es así, mandara a que funcionen los moto-reductores de $\frac{1}{2}$ HP que se encargaran de mover la malla para que el invernadero sea ventilado naturalmente.
- El PLC controlará los motores por medio de sus salidas de contacto que irán a las bobinas de los contactores para una alimentación de 220AC trifásico, estos abrirán y también cerraran por completo los ventanales.

Imagen 12 (Vista de la ventilación lateral)



Figura 8 (Mecanismo de la ventilación lateral)



Sistema de Ventilación Superior o Supercénit:

Esta ventilación se realiza situando ventanas en el centro del arco del invernadero, con sistemas de apertura automáticos utilizando moto-reductores, controlados por medio de un PLC, a través de ejes de transmisión de 1", cremalleras cada 2.5 m Y un sistema de final de carrera para cuando este obtenga sus límites tanto de apertura como de cierre, y estarán contruidos con brazos en rectangular de tubo estructural de 50x30x1.5 de 3 m de longitud⁵⁷.



Imagen 13
(Vista del sistema
Supercénit)

⁵⁷ VER ANEXOS DE METODOLOGIA, SISTEMA SUPERCÉNIT, IMAGEN 17

Sistema de Ventilación Forzada:

Los sistemas de ventilación forzada son un conjunto de pequeños ventiladores helicoidales distribuidos en el área del invernadero con distintas disposiciones.

Lo que pretende este sistema es airear el interior del invernadero, ya que la malla con la cual está protegido no permite el flujo de grandes cantidades de aire, pero mediante destratificadores se puede acondicionar un mejor flujo de aire en el interior.

Cuando las ventanas están cerradas, la tasa de renovación del invernadero es baja o nula, una pequeña corriente de aire atravesando el dosel de los cultivos mejora sustancialmente el intercambio de gases, evitando condiciones de saturación por exceso de humedad en condiciones de baja temperatura y mejorando la transpiración en condiciones de elevada temperatura.

Este sistema se controlara mediante sensores de humedad, los cuales enviaran la señal al PLC, quien se encargara de activar los contactores brindándole 220AC trifásico a los destratificadores hasta que la temperatura se normalice⁵⁸.



Imagen 14
(Vista del sistema de ventilación forzada)

⁵⁸ VER ANEXOS DE METODOLOGIA, SISTEMA DE VENTILACION FORZADA, IMAGEN 18

Sistema de Nebulización:

Este sistema se usa cuando disminuye la humedad relativa interna del invernadero, y trabaja así:

Se conduce agua a presión por una tubería sobre los cultivos, y a través de un orificio pequeño se deja salir agua a presión de forma que el chorro producido se estrellé contra una pared cóncava que lo despide y distribuye en forma nebulizada.

Estos sistemas suelen trabajar con presiones relativamente elevadas, alrededor a 2 - 4 bares.

Para este sistema se utilizara un sensor de humedad capacitivo, formado por 2 electrodos entre los que se encuentra un polímero higroscópico sintético (dieléctrico).

Este material puede absorber el agua en el aire, de manera que la capacidad del sensor varia linealmente con la HR (humedad relativa), el cual estará calibrado para una precisión de 1.5% de humedad relativa, que equivale a 0.1°C.



Figura 9 (Flujo de agua en los aspersores)

Este dispositivo enviará una señal análoga relativa a la temperatura del invernadero, esta señal será enviada al PLC el cual la verificara. En el caso del tomate, si la humedad es baja, el PLC se encargara de enviar un pulso de salida a un contactor para que nos active una bomba hidráulica por medio de una alimentación 220vac trifásica, a la salida de la bomba tendremos los sensores de presión para hacer una retroalimentación para que la presión suministrada por la bomba sea la requerida⁵⁹.

El porcentaje de humedad estará cambiando de acuerdo al reloj del PLC de 6 am - 6 pm tendrá el porcentaje de humedad de 65% - 75%, y de 6pm - 6am el porcentaje de 75% - 85%.



Imagen 15
(Nebulizadores en funcionamiento)

Es importante recalcar que estos sistemas funcionan dependiendo de la temperatura, la hora del día y la humedad relativa del invernadero, puesto que pueden funcionar al mismo tiempo varios sistemas si el ambiente dentro del invernadero así lo requiere según la programación del PLC.

⁵⁹ VER ANEXOS DE METODOLOGIA, SISTEMA DE NEBULIZACIÓN, IMAGEN 19

IMPORTANCIA DEL SISTEMA DE CLIMATIZACION:

La temperatura óptima para el Tomate oscila entre los 22 y 30 °C durante el día y entre 10 y 16 °C durante la noche. Las temperaturas superiores a los 35 °C afectan la fotosíntesis y el desarrollo de los óvulos fecundados, como resultado afectan el crecimiento de los frutos. Por otro lado, las temperaturas inferiores a 12 °C afectan el crecimiento de la planta.

Una adecuada tasa de renovación del aire interior junto con un adecuado movimiento del mismo puede proporcionar unos niveles óptimos de temperatura, un déficit higrométrico y aumentar la concentración de anhídrido carbónico, los cuales benefician el cultivo de Tomate.

Las temperaturas son especialmente críticas durante el período de floración, ya que por encima de los 25 °C o por debajo de los 12 °C la fecundación no se produce. Durante la fructificación, las temperaturas inciden sobre el desarrollo de los frutos, acelerándose la maduración a medida que se incrementan las temperaturas. No obstante, por encima de los 30 °C (o por debajo de los 10 °C) los frutos adquieren tonalidades amarillentas perdiendo por ello los nutrientes y el sabor característico producto del licopeno.

Para el cultivo del tomate hidropónico, la humedad ideal debe ser entre 65% a 75% en la noche y de 75% a 85% en el día. La humedad garantiza que las plantas puedan transpirar, refrescar la temperatura, mejora el tamaño de los tomates hidropónicos y además asegura que las hojas no crezcan excesivamente y mejore la floración.

3.5.4. Etapa 4: Instalación del sistema de Riego y del sistema NGS

Tanto el sistema de riego como el método para cultivo hidropónico van de la mano, puesto que el sistema de tuberías se instalara de manera que no se desperdicie material para el riego y el drenaje. Estas tuberías van distribuidas desde el sistema de bombeo hacia todo el invernadero, y cuentan con una cisterna de 30m² para el suministro de agua⁶⁰.

EL SISTEMA DE RIEGO se divide en dos áreas, las cuales son: Campo de riego y Cabezal de bombeo. En la siguiente tabla se detallan los elementos que se necesitan para la construcción del CAMPO DE RIEGO:

TABLA 7 (Lista de elementos para el sistema de riego)

Elementos para campo de riego	
Tubería de PVC para riego, encolada	125mx2.5cm Ø
Tubería de PVC para riego, con junta elástica	90mx6cm Ø
Tubería de PVC para drenaje, encolada	160mx2.5cm Ø
Tubería de PVC para drenaje, encolada	125mx2.5cm Ø
Tubería de PE de baja densidad, para riego	63mx4mm Ø
Tubería de PE de baja densidad, para riego	0.5mx2.5cm Ø
Enlace de goma para conexión, teflón, sellador	25m
Tubería de PE para porta gotero	16mm Ø
Gotero auto-compensante	8ltxh
Válvula de esfera de PVC o de PE	63mm Ø
Ventosa de doble efecto PN 10	2"
Manómetros	---
Accesorios varios, codos, uniones, camisas	---

⁶⁰ VER ANEXOS DE METODOLOGIA, SISTEMA DE RIEGO Y CABEZAL, IMAGEN 20

En la siguiente tabla se detallan los elementos que se necesitan para la construcción del CABEZAL DE BOMBEO:

TABLA 8 (Lista de elementos para la construcción del cabezal)

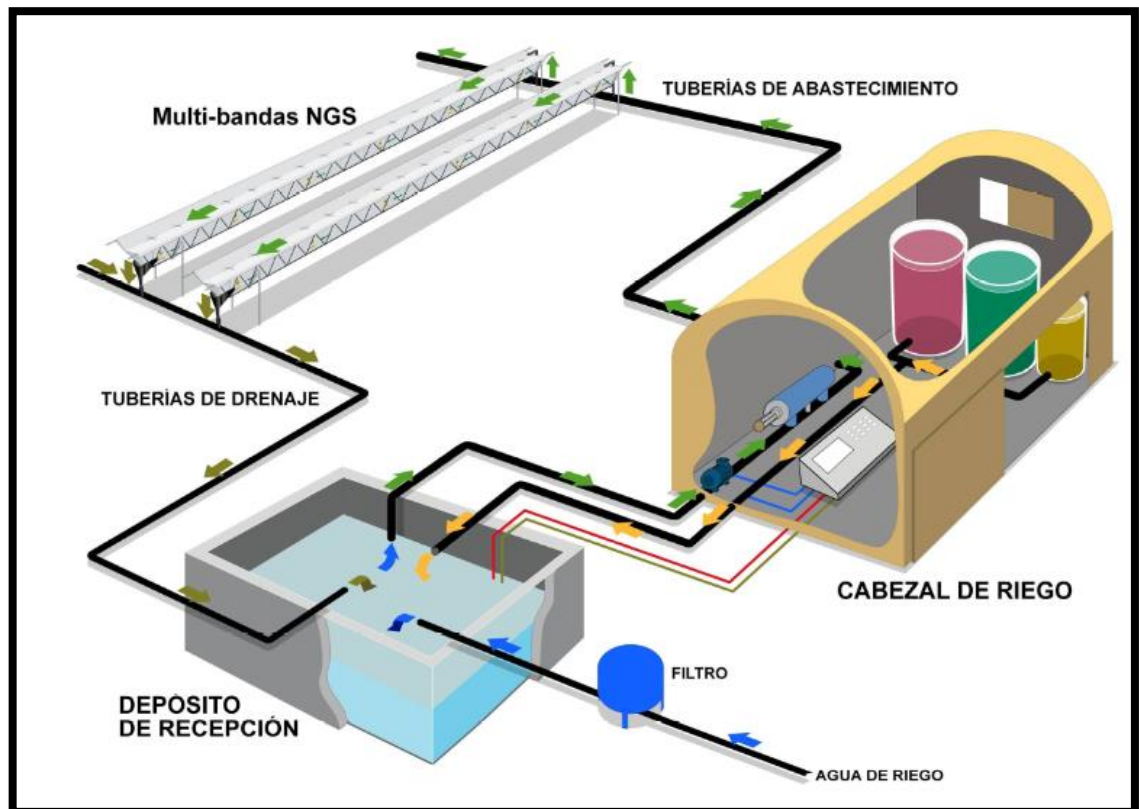
Elementos para cabezal de bombeo	
Electrobomba para riego	12HP
Bancada de concreto	4mx6mx0.10m
Cuadro eléctrico de arranque estrella delta	Trifásico
Depósitos con tapas, con accesorios de salida	PE 500 lt
Soplante, bomba sumergible con timer	24V DC
Accesorios de conexión para filtros	---
Filtro de calcita con cabezal programable	12GPM
Suavizador electrónico de sedimento	12GPM
Controlador Lógico Programable	224 DC
Módulos de 8 entradas analógicas o 2 de 4	EM231Ea 12bits
Panel táctil HMI 15"	TP 177
Fuente de alimentación	PS 24 VDC
Accesorios para fuente de alimentación	---
Cable CPU a TP	---
Armario de poliéster con selectores	0.4mx0.6m
Válvula de retención hidratan	140mm Ø
Serbo-válvulas reguladoras de presión 24DC	4"
Calderón de presión y accesorios de conexión	---
Tubería de PVC, encolada	90mx6cm Ø
Válvula de pie	90mm
Válvula de esfera de PVC	63mm Ø
Accesorios de conexión	---
Electroválvula 24DC	2"
Sensores de caudal y de presión	24VDC

El sistema de campo de riego se centra en la distribución de tuberías que manejan tanto el riego como el drenaje de los cultivos.

Estos van colocados al principio y al final de las hileras de cultivo del sistema NGS. Mientras que el sistema de bombeo, se encarga de traer el agua desde la cisterna con una hidrobomba, para que atraviese el filtro de calcita y el suavizador para luego ser almacenada en los contenedores de solución nutritiva.

Después con otra hidrobomba distribuye la solución nutritiva a través de las hileras de cultivo NGS, con la presión adecuada.

Figura 10 (Esquema de sistema de riego y cabezal)



SISTEMA NGS

El sistema NGS es una modalidad de cultivo hidropónico caracterizado por la ausencia de sustrato; es decir, se trata de un cultivo hidropónico puro, en el que las raíces se desarrollan en una disolución nutritiva recirculante (DNR) que discurre por un circuito cerrado, lo que permite un ahorro muy significativo de agua y fertilizantes y da a este sistema un carácter ecológico y de respeto al medio ambiente.

El sistema NGS, está diseñado para proporcionar un movimiento de flujo en cascada que permita a las raíces extenderse sin restricciones, consiguiendo de esta forma una mayor aireación del sistema radicular.

Se trata de un sistema que trabaja en circuito cerrado, aprovechando los drenajes optimiza el uso del agua y los fertilizantes aportados al cultivo en la solución nutritiva.

La solución sobrante que se recoge al final de cada línea de cultivo, pasa a través de un embudo y es conducida por gravedad a un depósito de recepción, situado en el cabezal de riego, donde se reponen el agua y los nutrientes consumidos por el cultivo.

Para el cálculo de materiales, se han tenido en cuenta los datos de distribución del sistema NGS en la siguiente tabla y cuya obtención se establece en función de las recomendaciones de los ingenieros de la empresa española New Growing System S.A.

TABLA 9 (Composición y distribución de las naves en el invernadero)

Superficie y Distribución de Sistema NGS				10,240	m ²
N° naves	8	Ancho de Nave	12,80m	Largo de Nave	100m
Separación entre líneas	1.82m	N° de líneas por túnel	7	N° de líneas total	56
Distancia entre soportes	2.50m	Largo de líneas	22.75m	Pasillo entre largo de líneas	3m

En la siguiente tabla se muestran los materiales a utilizar para el sistema NGS⁶¹.

TABLA 10 (Lista de materiales para instalar sistema NGS)

Materiales para sistema NGS	
Multi banda 4CP para TOMATE	5,600 metros lineales
Colectores	224 Unidades
Clips	45,000 Unidades
Celosía H-23 para 4CP	5,784 metros lineales
Soporte en M para celosía	2,240 Unidades

La bolsa de cultivo NGS puede ser instalada mediante el empleo de postes, alambre acerado y tensores o en celosías en forma de M.

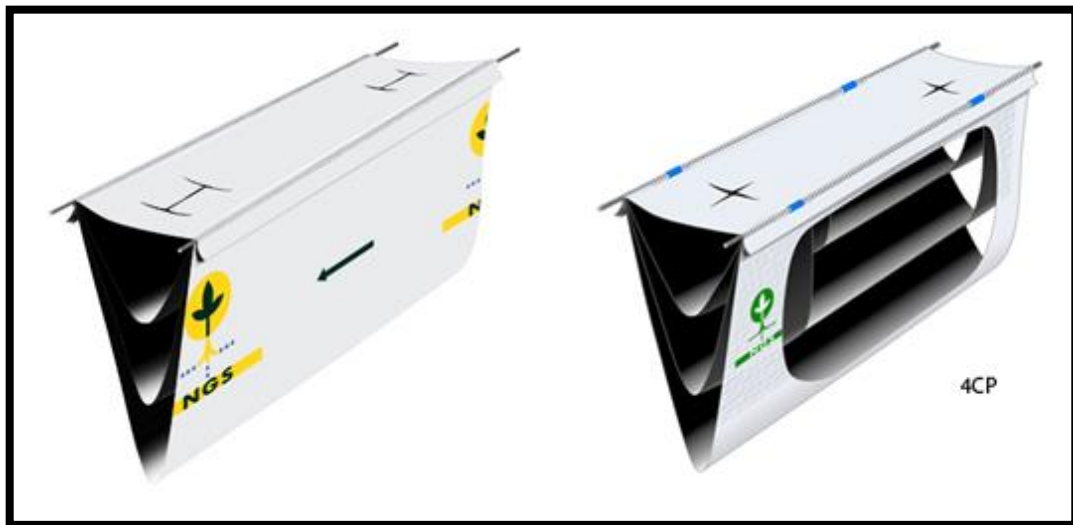
Desde el momento en que es liberada por el sistema de goteo, la disolución nutritiva recorre un camino, y es a lo largo de este cuando la DNR pone a disposición de las raíces tanto agua como, nutrientes y oxígeno. Al mismo tiempo, la DNR retira de la capa límite que rodea las

⁶¹ VER ANEXOS DE METODOLOGIA, CALCULOS PARA NGS, IMAGEN 21

raíces, los iones no asimilados o los compuestos excretados por las raíces y contribuye a renovar los gases que participan en la respiración radicular (O₂ y CO₂).

Las raíces, una vez han superado el foamy agrícola en el que se encuentran cuando se realiza el trasplante, alcanzan la primera capa; guiadas por el movimiento del agua a favor de la pendiente, son conducidas hacia un agujero que les permite descender a la capa inferior. Este proceso se repite tantas veces como capas interiores tiene la bolsa; de este modo, el sistema se adapta fácilmente a diferentes cultivos⁶².

Imagen 16 (Bolsa tipo 4CP de NGS, para plantas grandes)



FUNCIONAMIENTO:

En el sistema de riego se utilizara una bomba de 12 HP la cual será siempre accionada por el PLC, el sistema NGS trabajara con riegos intermitentes, manteniendo el

⁶² <http://www.fundacioncajamar.es/pdf/bd/comun/transferencia/2013-12-16-01a-sistema-hidroponico-recirculante-ngs-en-tomate-e-invernaderos-de-nueva-generacion-antonio-oliva-1412577405.pdf>

sistema radicular perfectamente aireado, y se podrán ajustar en la pantalla HMI, esta bomba trabajara a 220vac trifásico, estará protegido por un guarda motor y un contactor.

En el PLC se hará un programa para que el operador ajuste la cantidad de nutrientes y cantidad de mezcla a dosificar en el tanque de almacenamiento de nutrientes, con la menor complejidad posible.

Como ejemplo: Se tienen 3 tanques A, B y C; de los cuales se obtiene la mezcla de nutrientes, el operador debe ingresar los porcentajes que necesita de cada tanque, sin exceder el 100%, esto se podrá realizar de la siguiente manera:

Tanque A: 50%

Tanque B: 25%

Tanque C: 25%

La dosificación se realizara por medio de servo-válvulas, las cuales reconocerán el porcentaje ingresado equivalente al tiempo de trabajo en función del caudal de las mismas.

En las tuberías que se dirigen a los contenedores de nutrientes, se colocaran sensores de flujo para corroborar este dato con los ingresados por el operador. Este valor debe ser preciso, para así evitar una mala formulación de la mezcla de nutrientes con el agua tratada, ya que la planta en cuestión depende de ello.

Se instalara un filtro de calcita en el depósito principal de agua de pozo, el cual se controlará la acides ideal

del agua para el Tomate, valor que se encuentra entre 5.5 - 6.5 en la escala del PH. Este sistema de filtrado permite establecer el PH necesario en el agua, en nuestro caso 6.0 como promedio y este valor se mantendrá estable.

El sensor de PH mandara una señal análoga de 0 - 10v que recibirá el PLC, para verificar la acides antes de cada proceso de mezclado.

En el tanque se tendrá un mezclador eléctrico de 10 HP horizontal para procesos y tratamientos con un impulsor de acero inoxidable, el cual será accionado por el PLC para que esté trabajando cuando el tanque se tenga agua de riego con nutrientes, el PLC recibirá del sensor de nivel inferior para decirle al mezclador que hay agua en el tanque, cuando este sensor no este activo el mezclador no trabajara, así siempre se tendrá la homogenización en el agua de riego.

Luego tendremos la bomba hidráulica de 12 HP que se encargara de enviar el agua de riego a todos las Multi-bandas. Por último el desnivel de estas hileras de Multi-bandas hace correr el agua hasta el drenaje, el cual lleva el resto de solución hacia los contenedores de la solución nutritiva para una retroalimentación⁶³.

⁶³ VER ANEXOS DE METODOLOGIA, DIAGRAMA DE SISTEMA DE RIEGO Y NGS, IMAGEN 22

IMPORTANCIA DE LA SELECCIÓN DEL SISTEMA NGS

El sistema NGS proporciona múltiples ventajas entre las cuales se encuentran algunas que representan una mejora en cuanto al sistema por sustrato, esto debido al estudio de la alimentación por solución nutritiva.

En la siguiente grafica se muestra el margen uniforme de alimentación por nutrientes que proporciona el sistema NGS, en comparación con el sistema por sustrato.

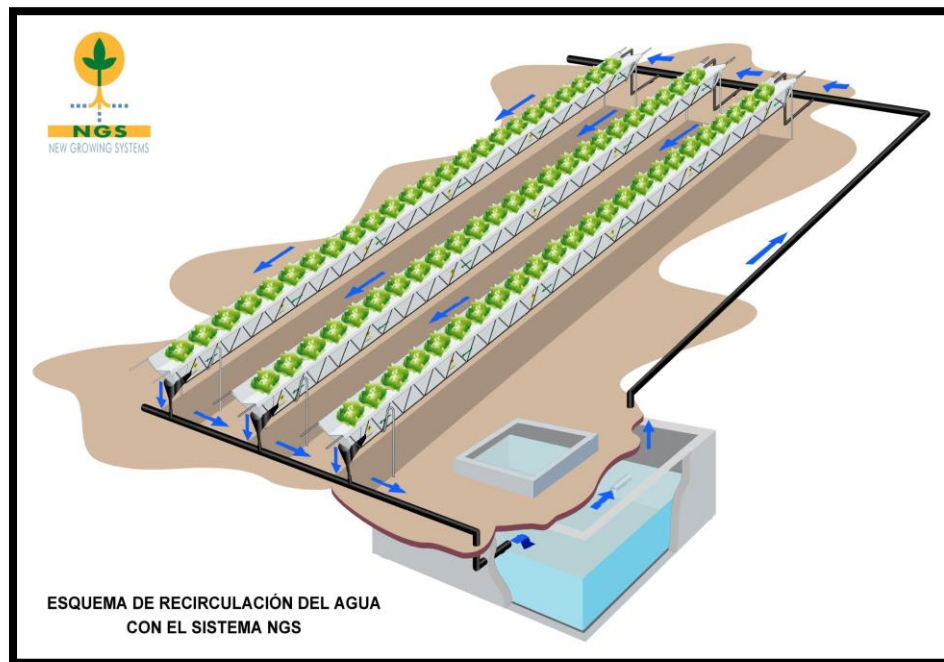
Imagen 17 (Grafica de comparación en riegos)



En este grafico se muestra como el potencial hídrico se mantiene uniforme en el Xilema de la planta durante los 10 min de riego que se brindan cada 2 horas en el sistema NGS con respecto del método por sustrato.

Entre las diferentes ventajas que muestra el sistema NGS también se encuentra, el ahorro de agua con la cual se realiza la solución nutritiva, esto debido a su diseño recirculante, como se muestra en la figura a continuación:

Imagen 18 (Sistema recirculante para el ahorro de agua)



Mediante la recirculación de la solución nutritiva, se ahorra el 50% del agua en comparación con la requerida en un cultivo tradicional, y un 35% de ahorro de agua sobre el sistema por sustrato.

Esto permite la recuperación del manto acuífero de donde el pozo extrae agua.

Otro factor que garantiza que el sistema NGS consta de las características fundamentales para ser el método seleccionado, incluso ocupando el lugar del sistema por sustrato, el cual se utiliza comúnmente en El Salvador.

El sistema NGS permite mediante el flujo del agua, la oxigenación de la misma. Esto debido a la inclinación del 2% que posee cada 100 metros de hileras NGS, además de su sistema de recolector de agua, su fácil montaje en la base M, y su ingeniería de diseño para poder cultivar plantas de raíces amplias y tallos largos, así como otras tantas.

Imagen 19 (Esquema de sistema NGS, para raíces y agua)

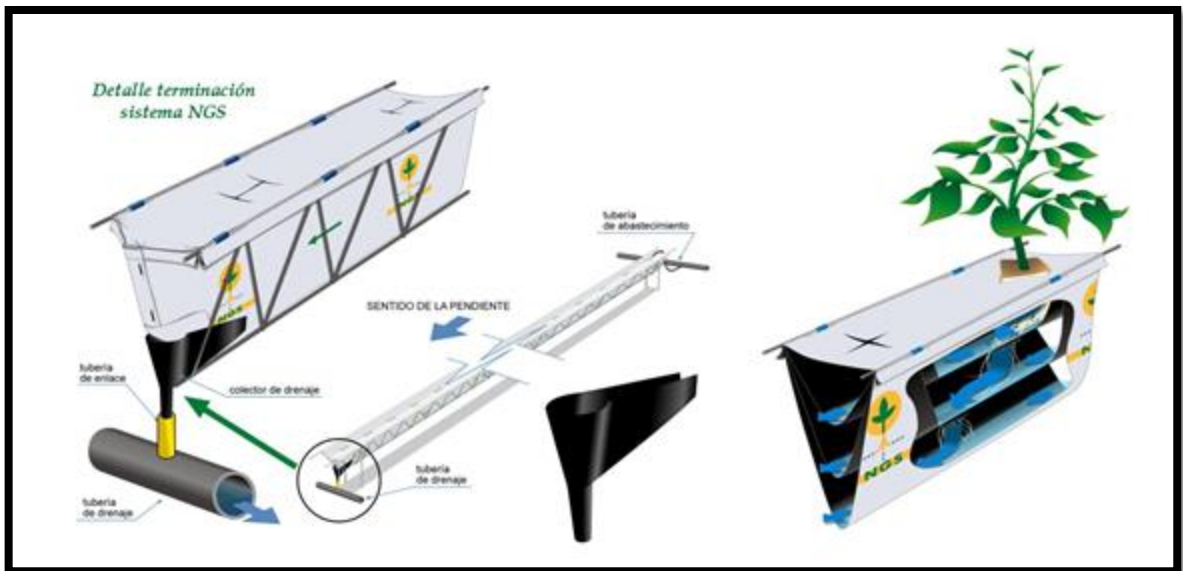
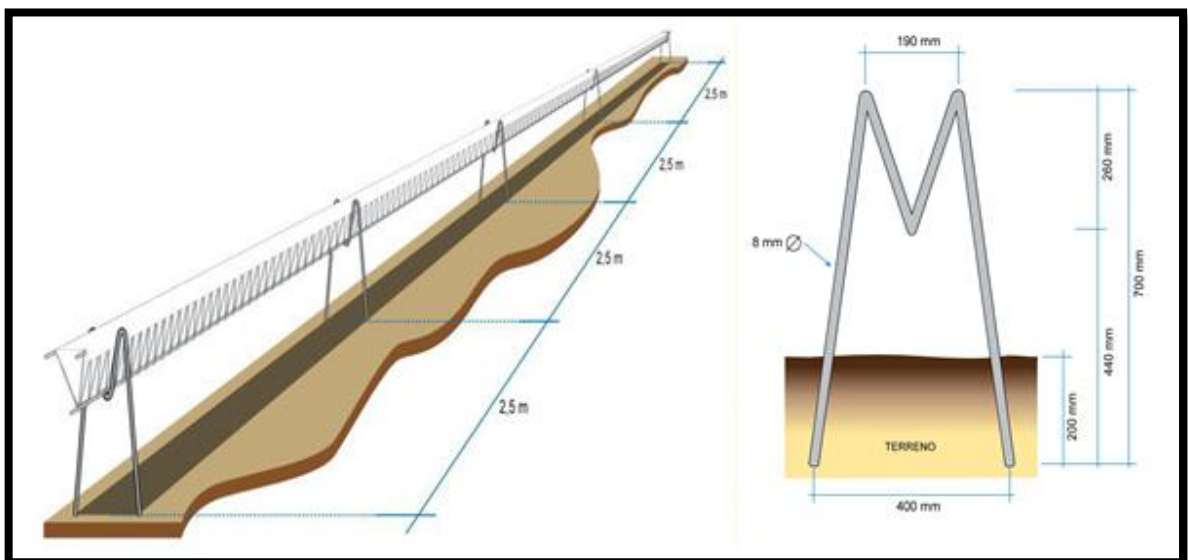


Imagen 20 (Estructura tipo M para sostener sistema NGS)



DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA NGS EN CADA NAVE

Imagen 21 (Esquema de Instalación de sistema NGS)

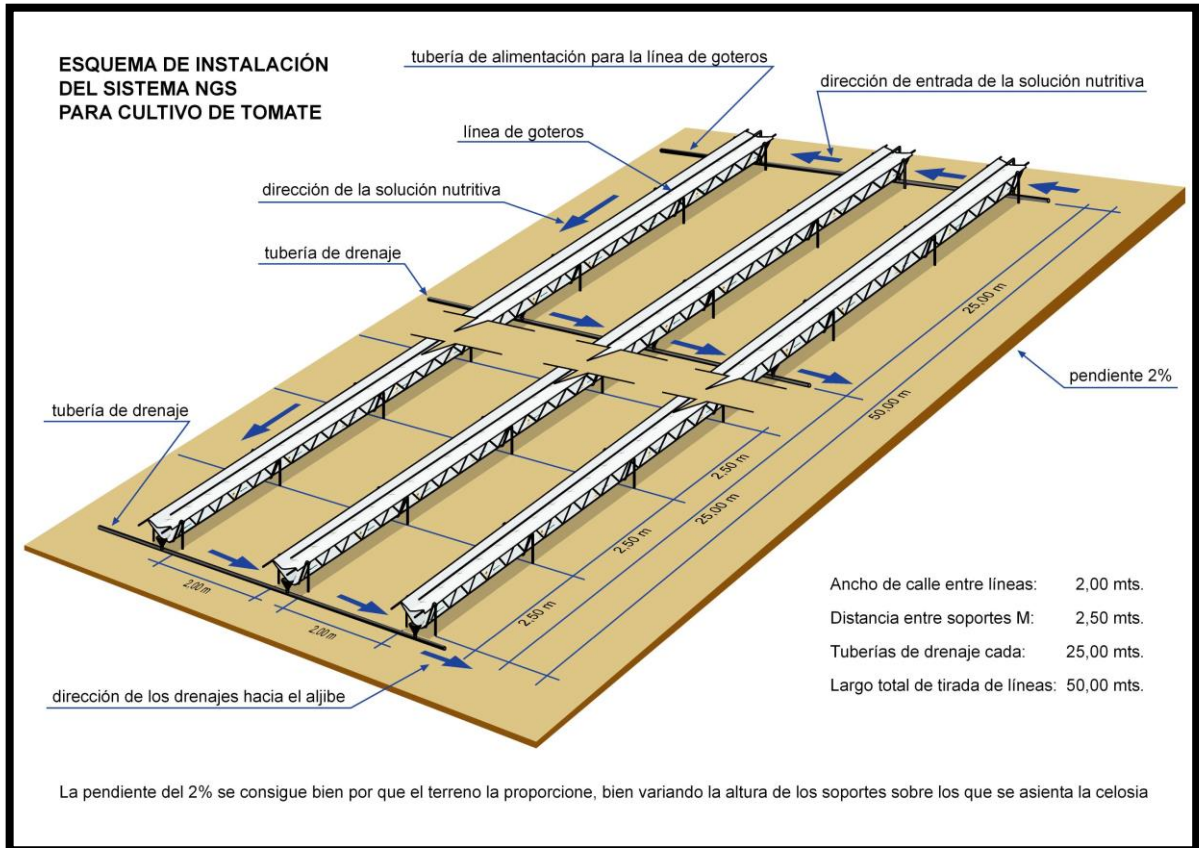
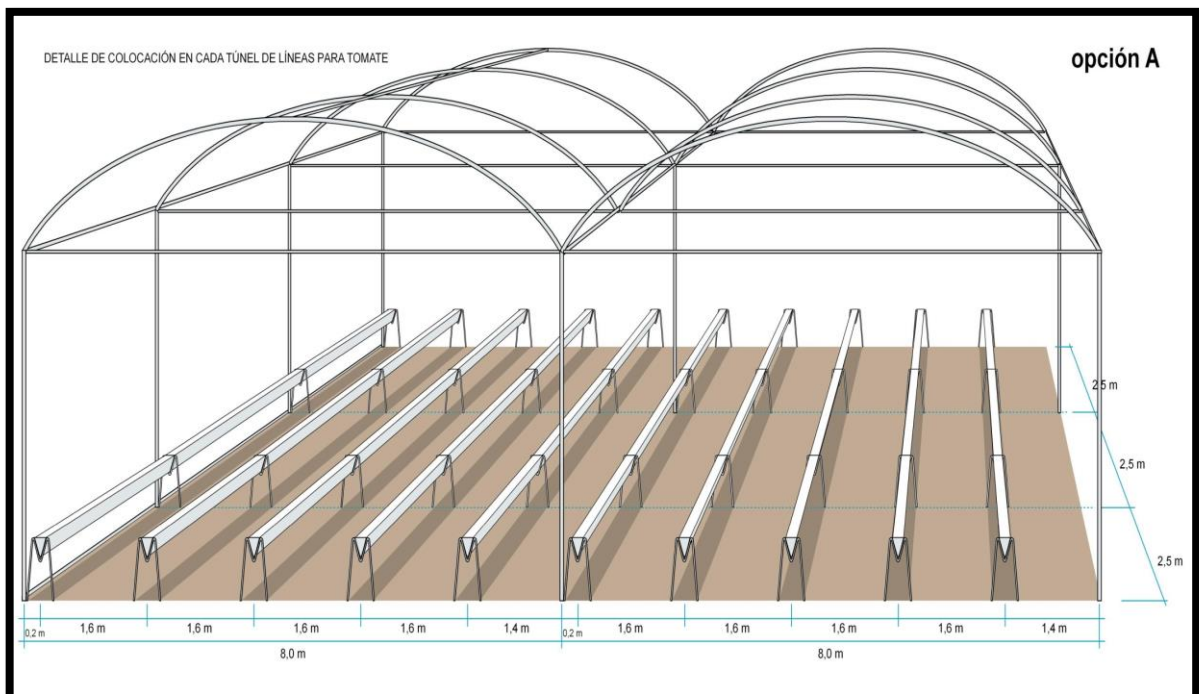


Imagen 22 (Distribución dentro de cada nave)



3.5.5. Etapa 5: Instalación de Sistema Eléctrico

Para el diseño de la instalación eléctrica se han tenido en cuenta las normas técnicas de conexiones y reconexiones eléctricas en redes de distribución de baja y media tensión, acuerdo No. 93-E-2013 de El Salvador y también normas españolas de MIBT, con normas europeas para las instalaciones agrícolas.

Sistema eléctrico de fuerza será diseñado a 220v/60hz y el de control será a 24VDC.

El panel de control estará provisto de interruptores electromagnéticos, relés y protecciones de circuitos.

La instalación eléctrica funcionara correctamente y de forma segura si se cumplen las siguientes condiciones:

- No se moja o humedece.
- No es sometida a esfuerzos físicos.
- Es correctamente instala.
- Se le proporciona el mantenimiento conveniente.

Todos los cables cumplen con las características y normas necesarias para el correcto funcionamiento y seguridad de la instalación, de acuerdo con las normas Europeas en materia de MIBT.

Todos los sistemas a utilizar serán controlados por un PLC con (12) entradas, (12) salidas, (2) módulos de (4) entradas análogas y (1) módulo de salidas análogas, cada regulación o cambio de cada uno de los sistemas se realizara por medio de una pantalla HMI de 15 pulgadas, la cual tendrá una pantalla para cada uno de los sistemas,

una interfaz amigable para que cualquier persona que lo tenga que operar, dependiendo del sistema a cambiar así realizar el ajuste necesario de temperatura, humedad, entre otros, para el buen funcionamiento del sistema.

La siguiente tabla detalla los elementos que se necesitan para la distribución de cableado eléctrico⁶⁴:

TABLA 11 (Elementos para instalación eléctrica.

Elementos para instalación eléctrica	
Cable THHN N° 12	250m
Cable THHN N° 14	350m
Tubería conduit	250m
Accesorios, térmicos, borneras, aislante, tomas	---
Accesorios, abrazaderas, cable galvanizado	---
Cable THHN N° 10	100m

En las siguientes tablas se describen las entradas y salidas tanto digitales como análogas desde el PLC hasta los sistemas.

TABLA 12 (Entradas de PLC)

Entradas	Simbología	Control
I0.0	S1	Apertura total de ventilación superior
I0.1	S2	Cierre total de ventilación superior
I0.2	S3	Apertura total de ventilación frontal
I0.3	S4	Cierre total de ventilación frontal
I0.4	S5	Apertura total de ventilación lateral A
I0.5	S6	Apertura total de ventilación lateral B
I0.6	S7	Cierre total de ventilación lateral A
I0.7	S8	Cierre total de ventilación lateral B
I1.0	B11	Sensor de nivel de agua con nutrientes superior
I1.1	B12	Sensor de nivel de agua con nutrientes inferior
I1.2	B13	Sensor de nivel de nutriente A superior
I1.3	B14	Sensor de nivel de nutriente B superior
I1.4	B15	Sensor de nivel de nutriente C superior
I1.5	B18	Sensor de nivel de nutriente A inferior
I1.6	B19	Sensor de nivel de nutriente B inferior

⁶⁴ VER ANEXOS DE METODOLOGIA, SIMBOLOGIA PARA SISTEMA ELECTRICO, CUADRO 4

TABLA 13

(Entradas análogas de PLC)

Entradas	Simbología	Control
AI0.0	Convertor - A	Sensor de temperatura para invernadero lado A
AI0.1	Convertor - B	Sensor de temperatura para invernadero lado B
AI0.2	Convertor - C	Sensor de temperatura para invernadero lado C
AI0.3	Convertor - D	Sensor de temperatura para invernadero lado D
AI0.4	B1	Sensor capacitivo de humedad lado A
AI0.5	B2	Sensor capacitivo de humedad lado B
AI0.6	B3	Sensor capacitivo de humedad lado C
AI0.7	B4	Sensor capacitivo de humedad lado D
AI1.0	B5	Sensor de radiación
AI1.1	B6	Sensor de PH
AI1.2	B7	Sensor de flujo para agua
AI1.3	B8	Sensor de flujo nutriente A
AI1.4	B9	Sensor de flujo nutriente B
AI1.5	B10	Sensor de flujo nutriente C
AI1.6	B16	Sensor de radiación PAR
AI1.7	B17	Sensor de radiación PAR

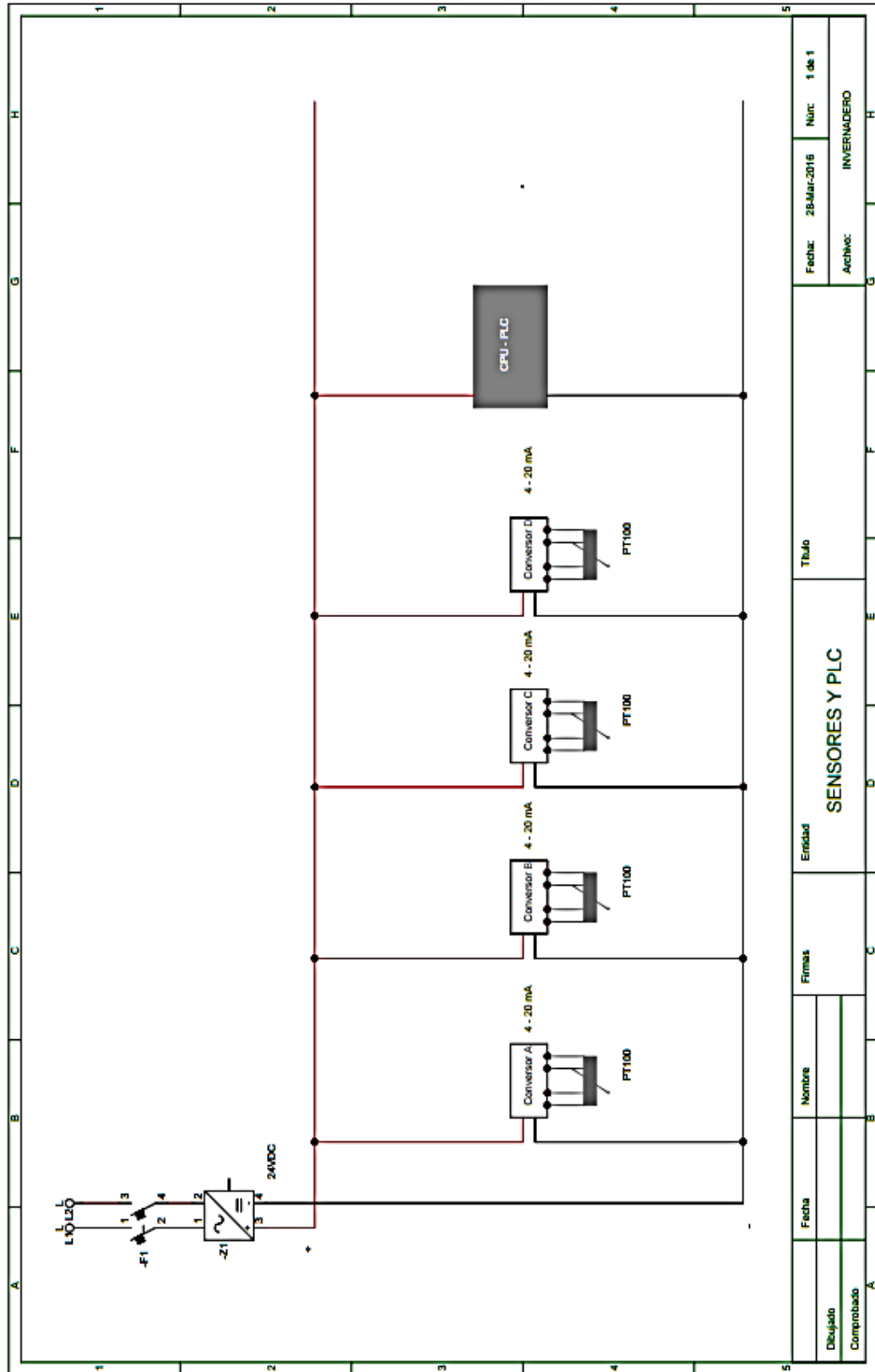
TABLA 14

(Salidas de PLC)

Salidas	Simbología	Control
Q0.0	KM1	Bobina de contactor para motor para ventilación superior
Q0.1	KM2	Bobina de contactor para motor para ventilación lateral A
Q0.2	KM3	Bobina de contactor para motor para ventilación frontal
Q0.3	KM4	Bobina de contactor para motor para ventilación lateral B
Q0.4	KM5	Bobina de contactor para destractificador
Q0.5	KM6	Bobina de contactor para destractificador
Q0.6	KM7	Bobina de contactor para destractificador
Q0.7	KM8	Bobina de contactor para destractificador
Q1.0	KM9	Mezclador de solución nutritiva
Q1.1	KM10	Bomba para riego
Q1.2	KM11	Bomba para nebulizadores
Q1.3	KM12	Bomba para nutriente A
Q1.4	KM13	Bomba para nutriente B
Q1.5	KM14	Bomba para nutriente C
Q1.6	KM15	Bomba hidráulica para suministrar agua
Q1.7	EV1	Electroválvula nutriente A
Q2.0	EV2	Electroválvula nutriente B
Q2.1	EV3	Electroválvula nutriente C
Q2.2	EV4	Electroválvula riego

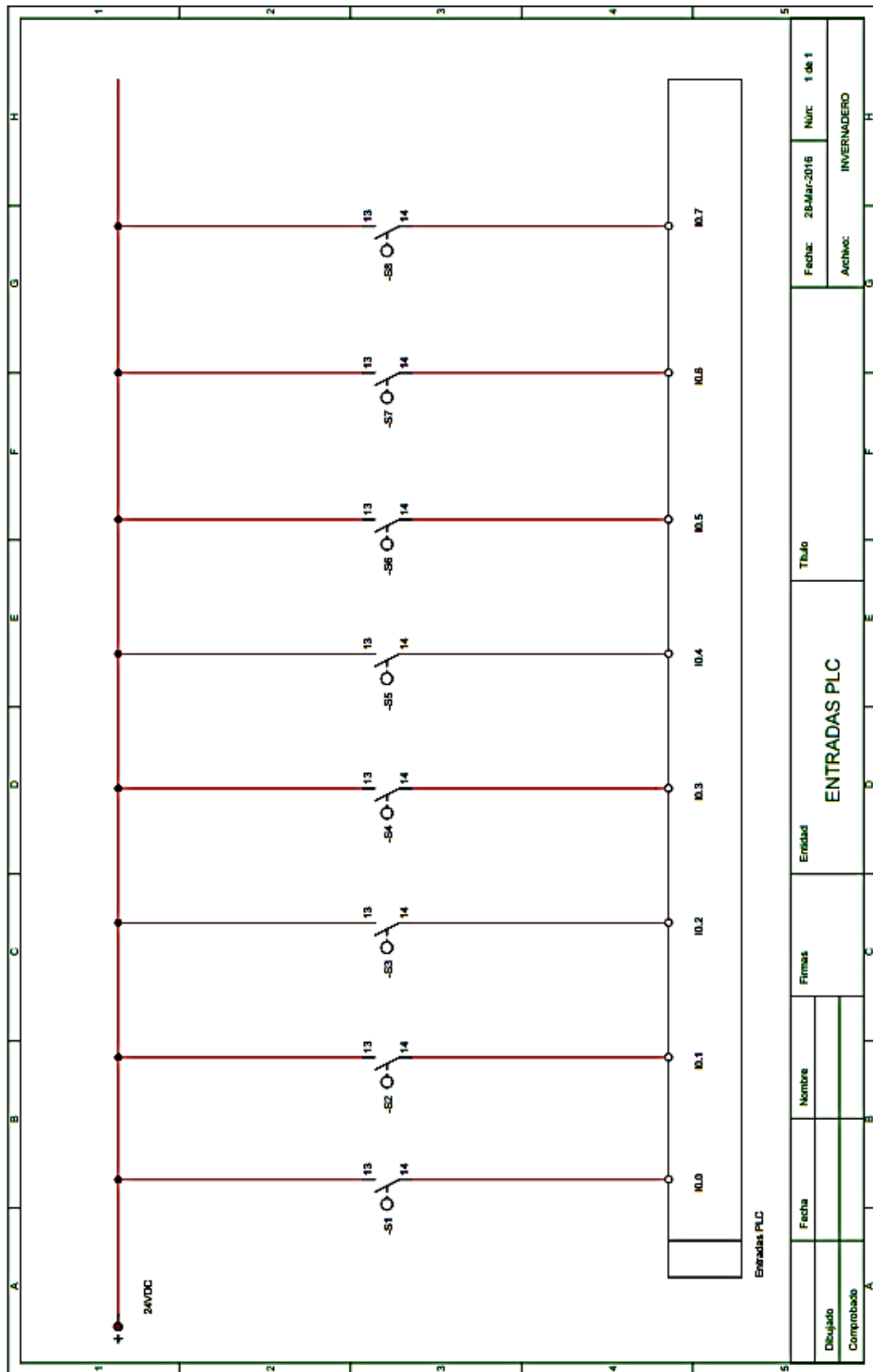
Las siguientes imágenes, ejemplifican los esquemas eléctricos de conexión entre los sistemas automáticos y el PLC.

Imagen 23 (Conexión de Sensores y PLC)



A		B		C		D		E		F		G		H	
Fecha	Nombre	Firmas		Entidad		Título		SENORES Y PLC		Fecha:		Núrc:		1 de 1	
										28/Mar/2016		INVERNADERO			
Disujado										Archivoc:					
Comprobado															

Imagen 24 (Conexión de entradas 1 al PLC)



Dibujado		Nombre		Firmas		Entidad		Titulo		Fecha: 28-Mar-2016		Núrc: 1 de 1	
Comprobado										Archivos:		INVERNADERO	

Imagen 25 (Conexión de entradas análogas)

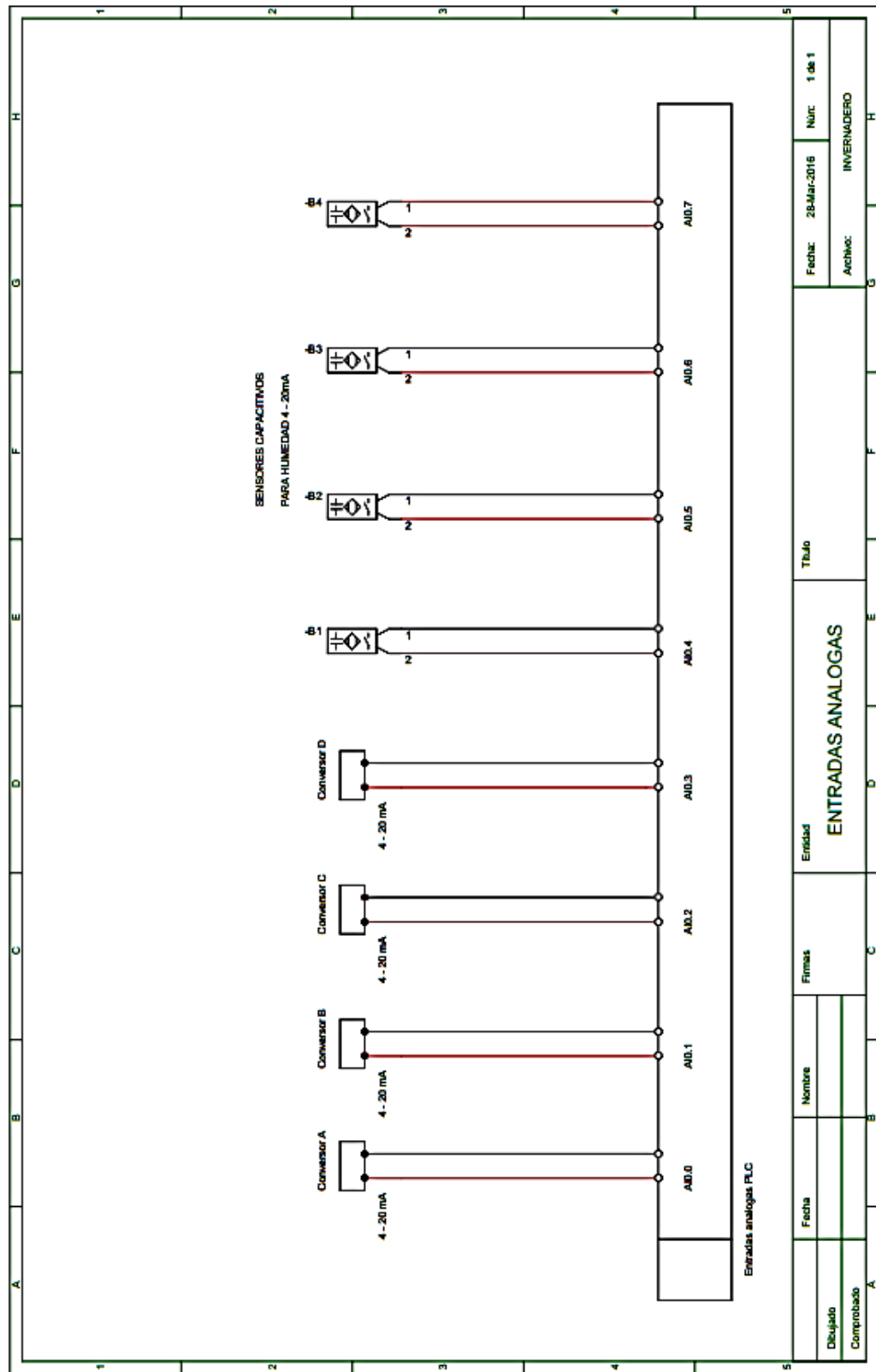
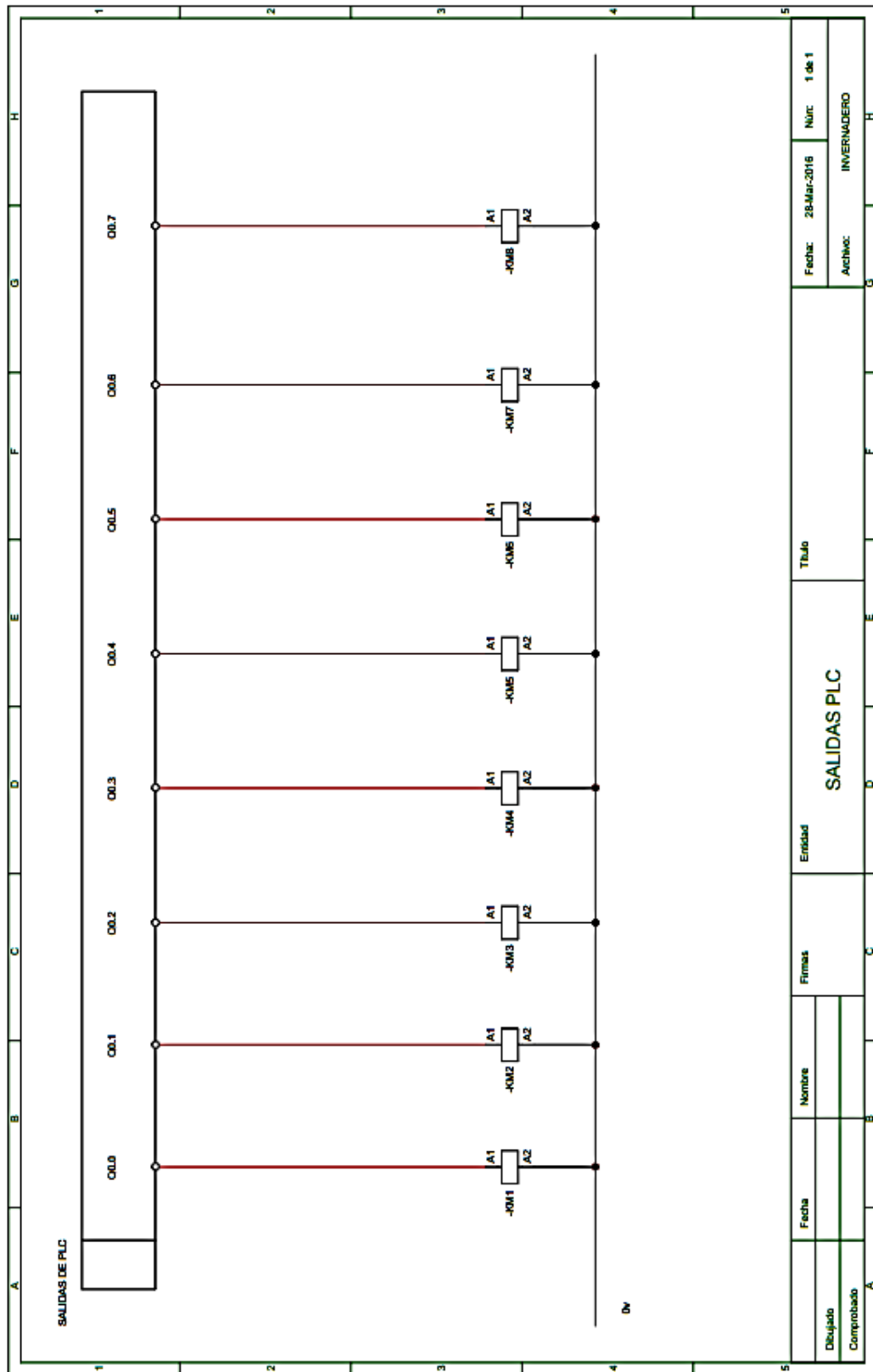
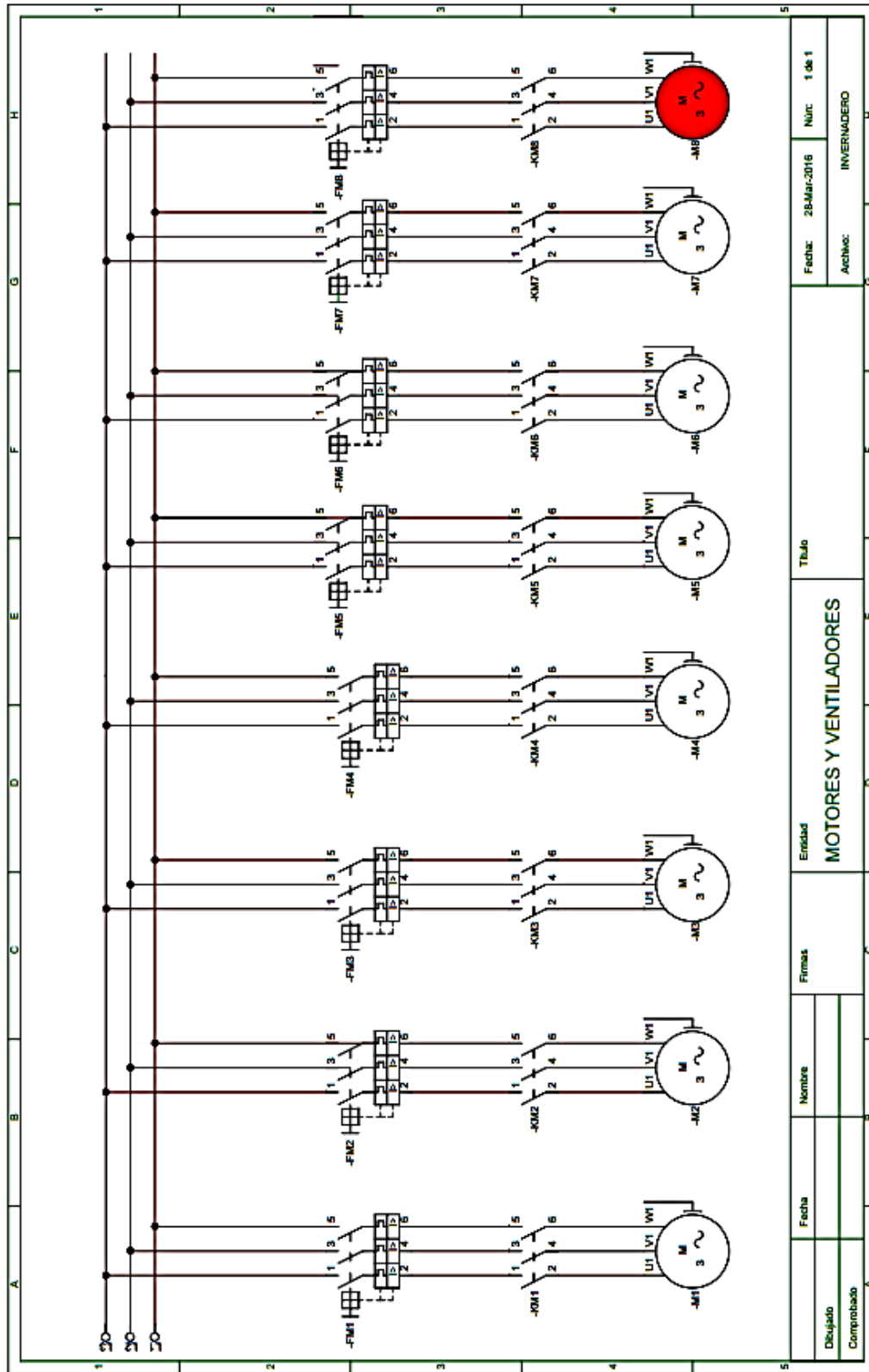


Imagen 26 (Conexión de salidas 1 de PLC)



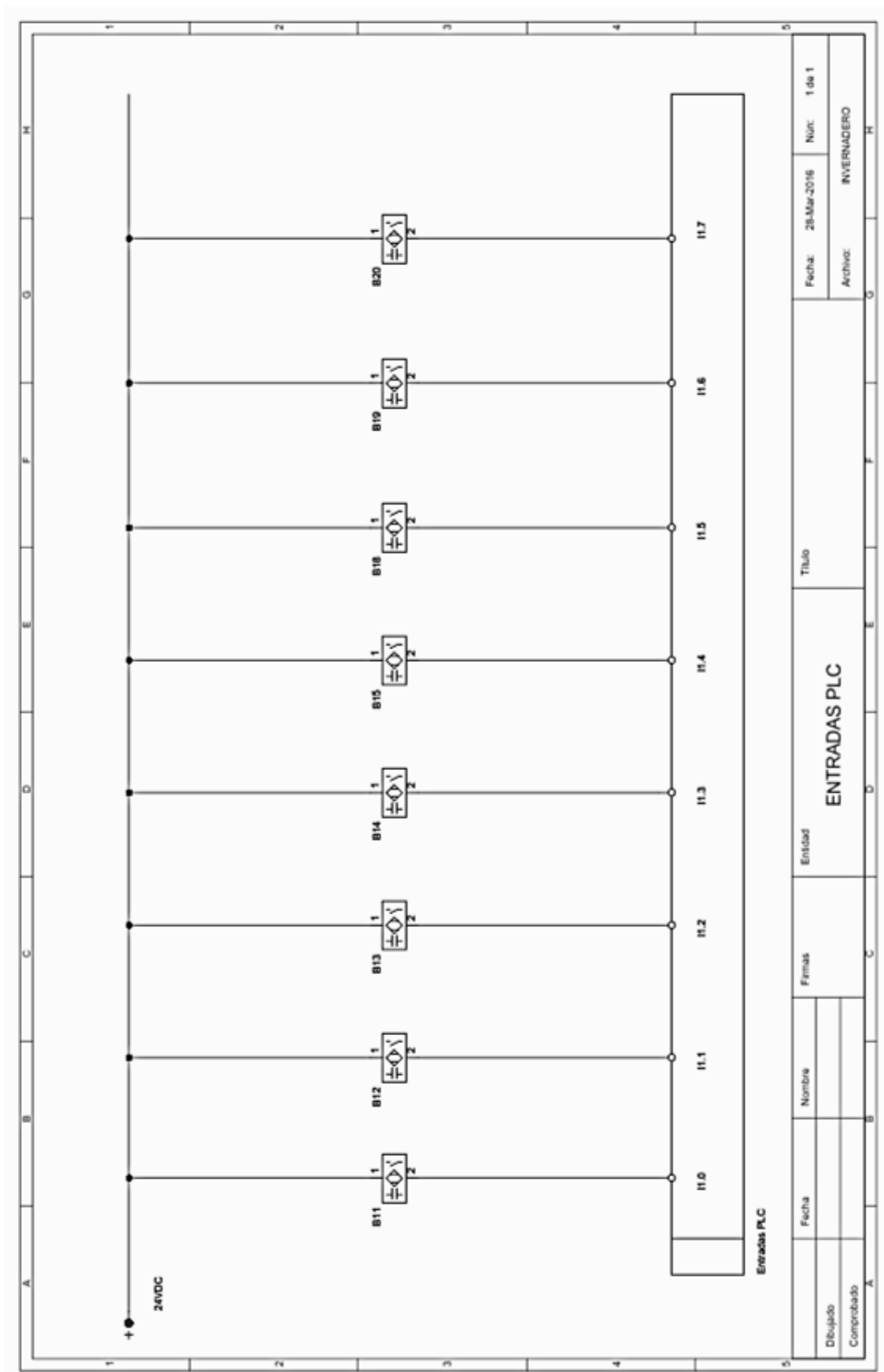
Fecha		28 Mar-2016		Núm:		1 de 1	
Diseñado				Título		SALIDAS PLC	
Comprobado				Entidad		INVERNADERO	
				Firmas			
				Nombre			

Imagen 27 (Conexión de motores y ventiladores)



Dibujado		Fecha		Nombre		Firmas		Entidad		Título		Fecha:		Núm:	
Comprobado								MOTORES Y VENTILADORES		INVERNADERO		28-Mar-2016		1 de 1	
												Archiv:			

Imagen 28 (Conexión de entradas 2 al PLC)



Dibujado		Fecha		Entidad		Título		Fecha: 28-Mar-2016		Núm: 1 de 1	
Comprobado		Firmas		ENTRADAS PLC		INVERNAJERO		Archivo:			

Imagen 29 (Conexión de entradas análogas)

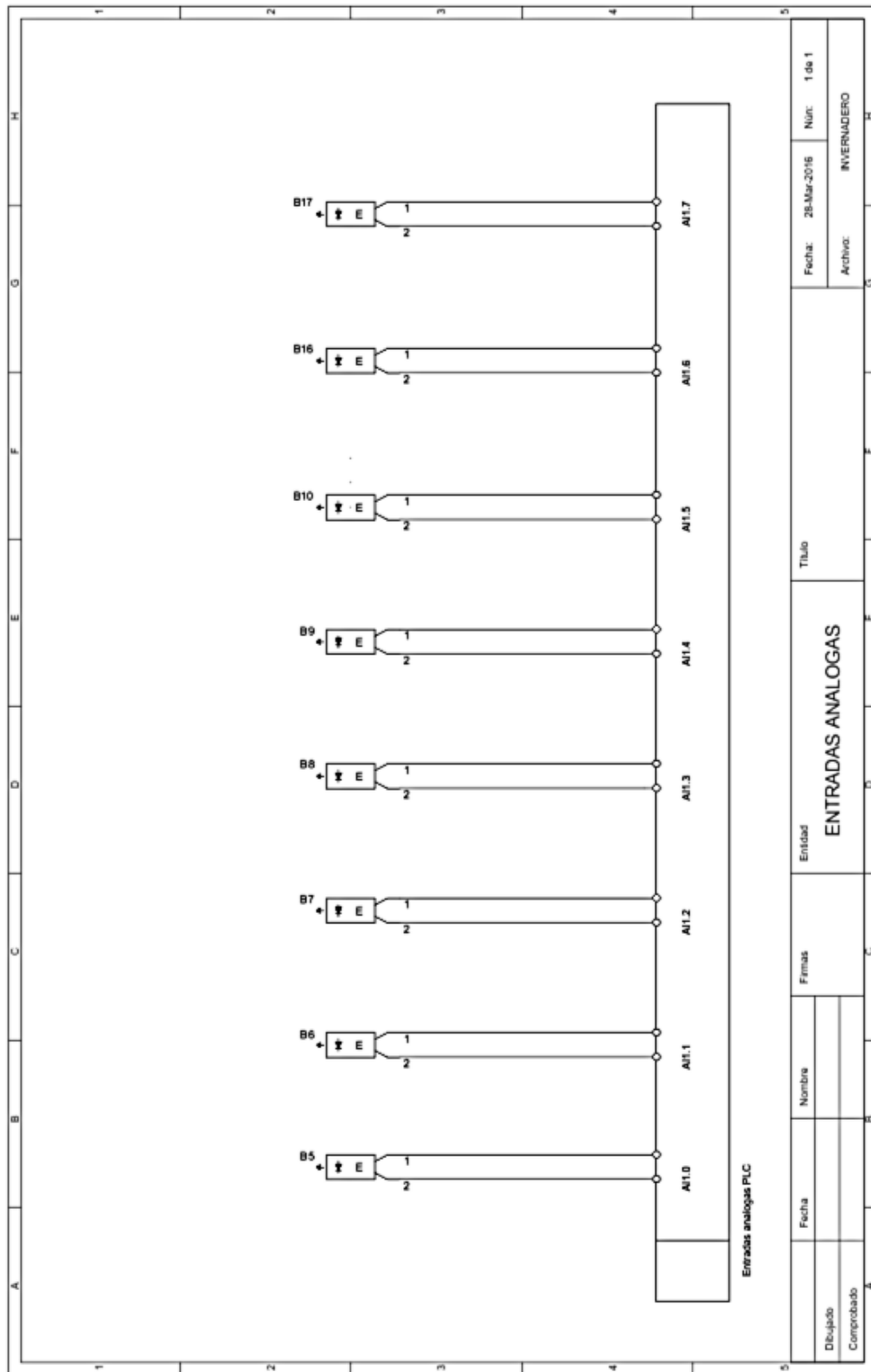


Imagen 30 (Conexión de salidas 2 de PLC)

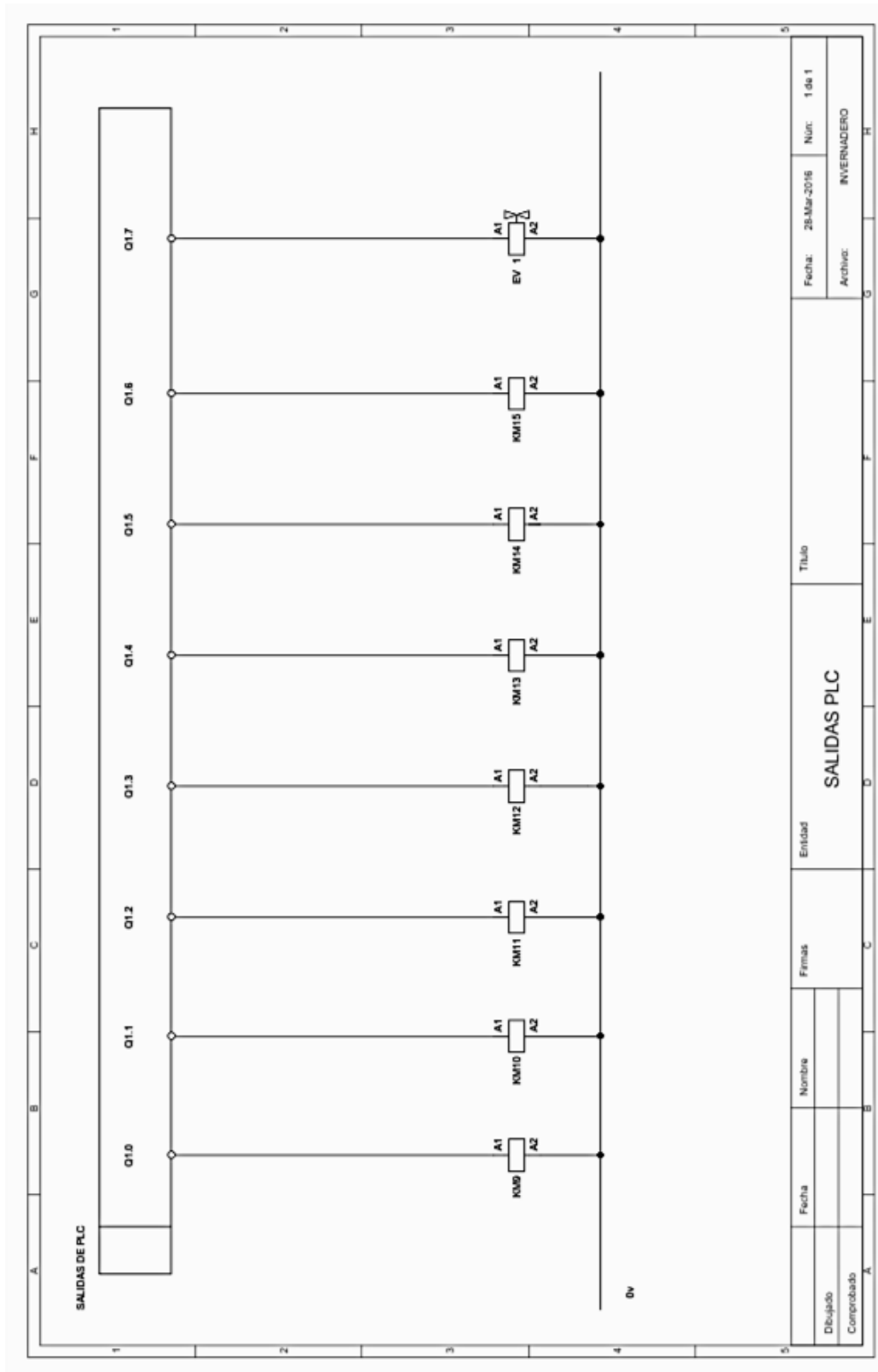


Imagen 31 (Conexión de salidas 3 al PLC)

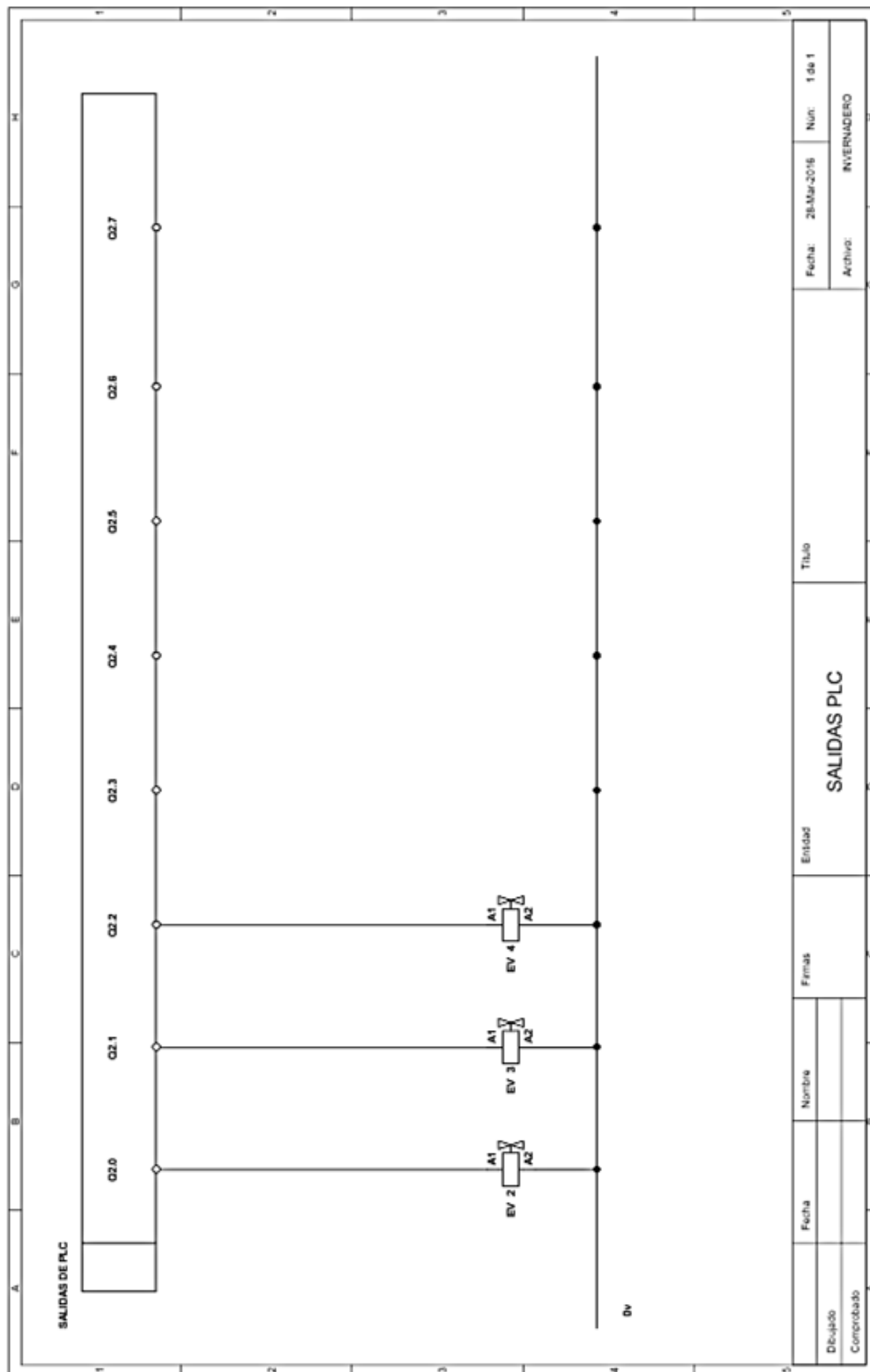
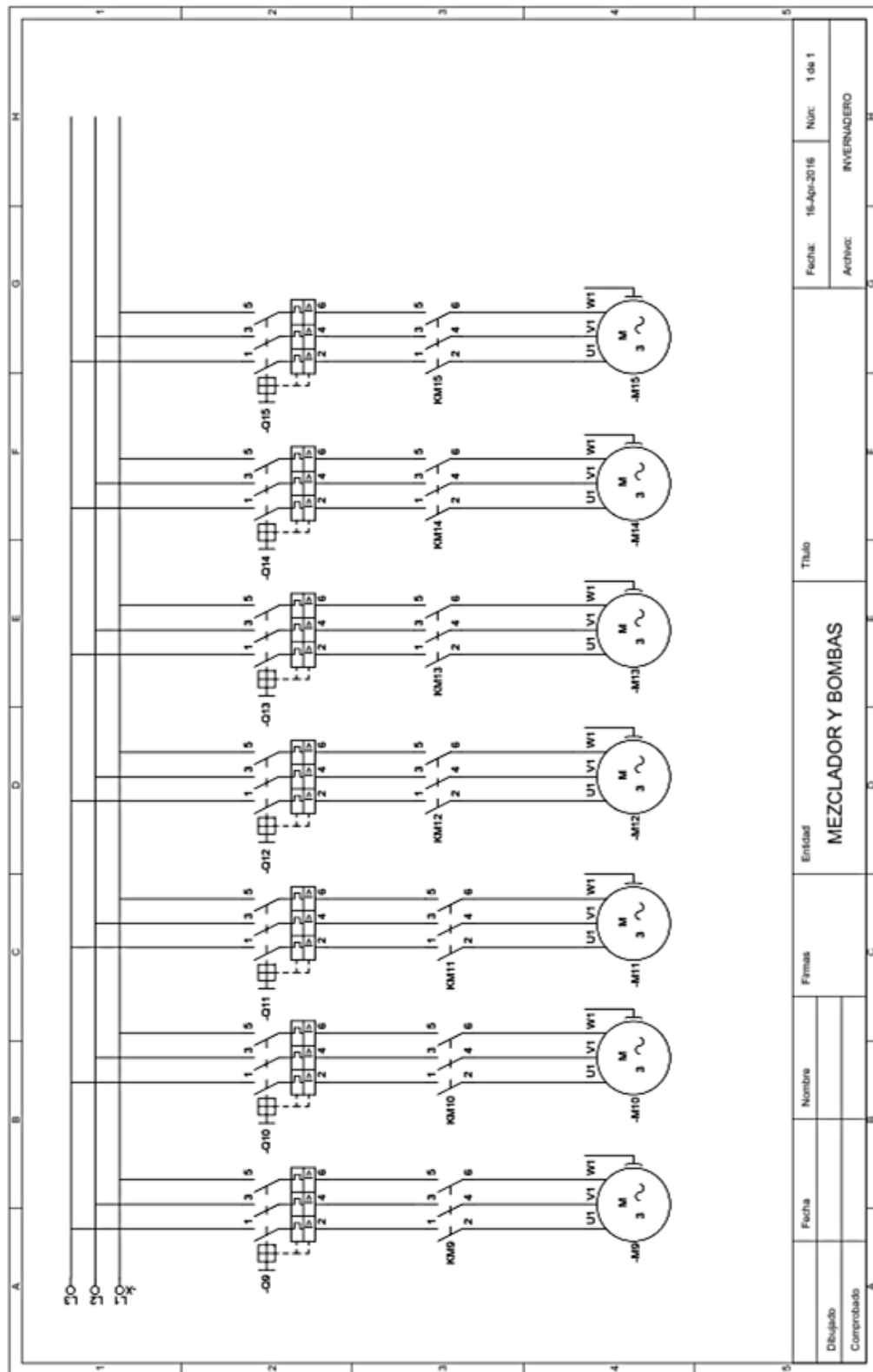


Imagen 32 (Conexión de mezcladores y bombas)



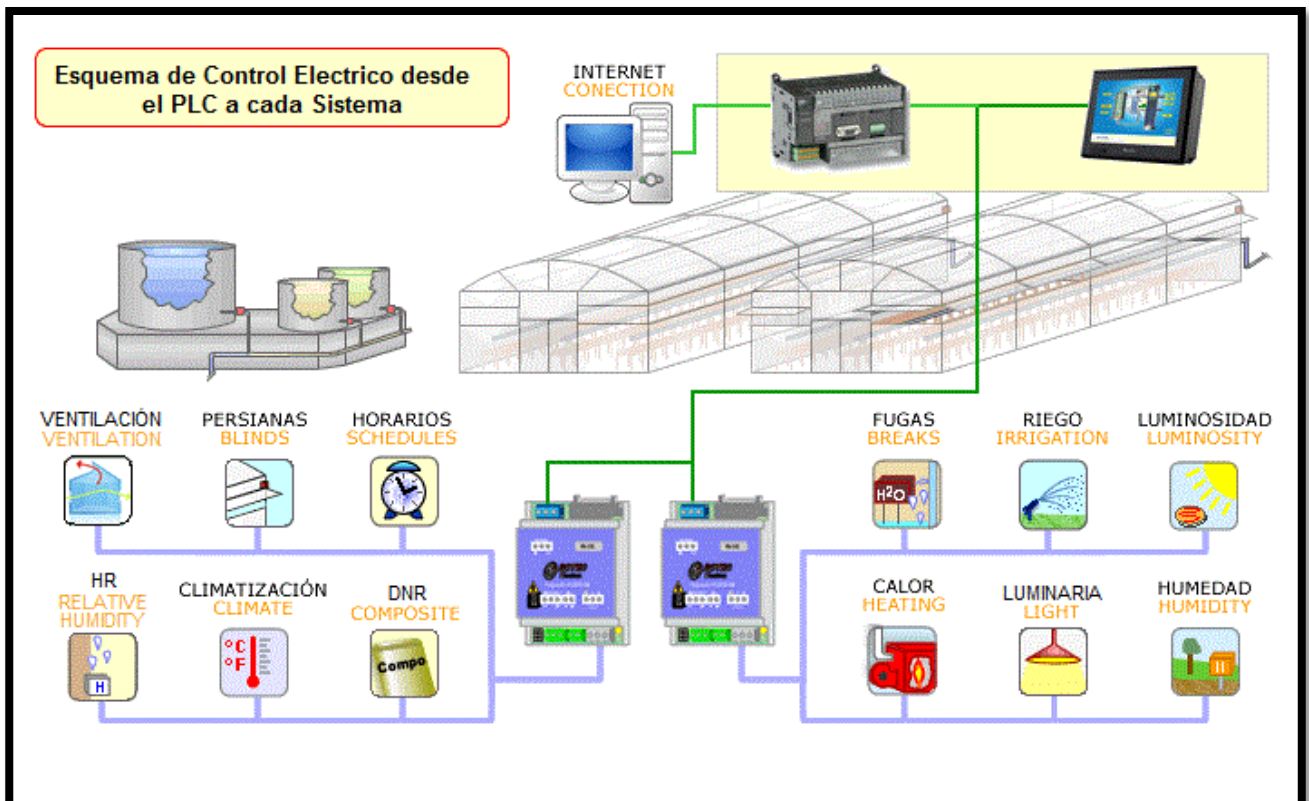
Fecha: 15-Abr-2016		Núm: 1 de 1	
Dibujado		Título	
Comprobado		MEZCLADOR Y BOMBAS	
Nombre		Entidad	
Firmas		MEZCLADOR Y BOMBAS	
Fecha		Archivo: INVERNADERO	

3.5.6. Etapa 6: Verificación del correcto funcionamiento de todos los sistemas.

Esta etapa del proyecto es para enfocarse en las pruebas y calibración de los sensores y de los tiempos del PLC, simulando diferentes situaciones condiciones que se pueden presentar en el año, como temperaturas bajas o muy altas, lo que permite verificar y comprobar la programación del PLC, así como los mecanismos que este controla.

Se pretende que duración de esta etapa sea alrededor de 2 semanas como máximo, siendo que se debe verificar además del sistema de climatización, el sistema de riego y la preparación de la solución nutritiva.

Figura 11 (Esquema de interacción eléctrica entre sistemas)



3.5.7. Etapa 7: Preparación de la solución

Nutritiva.

Para cada cultivo, variedad y estado fenológico, la solución nutritiva debe aportar a la planta todos los macronutrientes (NO_3^- , H_2PO_4^- , K^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} y Mg^{2+}) y micronutrientes (Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo) necesarios para su desarrollo.

Es importante no olvidar que las condiciones ambientales tienen una influencia decisiva en la asimilación de nutrientes y la capacidad productiva del cultivo; por ello, una solución nutritiva bien formulada, bajo condiciones ambientales desfavorables, no conseguirá los resultados esperados⁶⁵.

A continuación se detallan las 2 fórmulas que se pueden aplicar para el cultivo de tomate hidropónico, ambas con agua de PH 6 y 3.1 μs de conductividad.

Soluciones nutritivas para el tomate:

SOLUCIÓN NUTRITIVA 1:

Macronutrientes:

- Sulfato de Potasio, 551 gramos.
- Fosfato Mono-amónico, 297 gramos.
- Nitrato de Potasio, 140 gramos.
- Sulfato de Magnesio, 950 gramos.
- Nitrato de Calcio, 1,230 gramos.

65

<http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2050.%20XI%20Jornadas%20del%20Grupo%20de%20Horticultura/Sesi%C3%B3n%20V/NGS,%20Un%20nuevo%20sistema%20de%20cultivo%20hidrop%C3%B3nico.pdf>

Solución madre de micronutrientes:

Con esta solución de nutrientes se aporta a las plantas las siguientes cantidades en partes por millón: 200 de Nitrógeno (N), 80 de Fósforo (P), 178 de Potasio (K), 300.4 de Calcio (Ca), 93 de Magnesio (Mg), 144.3 de Azufre (144), 1.85 de Hierro (Fe), 0.75 de Manganeso (Mg), 0.50 de Boro (B), 0.08 de Cobre (Cu) y Zinc (Zn), y trazas de Molibdeno (Mo) y Cloro (Cl).

SOLUCIÓN NUTRITIVA 2:

Macronutrientes:

- Ácido Fosfórico, 175 mililitros.
- Nitrato de Potasio, 650 gramos.
- Sulfato de Magnesio, 950 gramos.
- Nitrato de Calcio, 1,230 gramos.

Solución madre de micronutrientes:

Con esta solución de nutrientes se aporta a las plantas las siguientes cantidades en partes por millón: 190 de Nitrógeno (N), 71 de Fósforo (P), 251.4 de Potasio (K), y los demás nutrientes tienen el mismo valor que en la solución nutritiva 1⁶⁶.

⁶⁶ <http://www.horticulturaefectiva.net/2012/03/soluciones-nutritivas-para-jitomate.html>

3.5.8. Etapa 8: Capacitaciones y trasplante de Plántulas

El proyecto descrito en la investigación esta designado a llevarse a cabo en 6 meses. Desde el inicio de construcción se pretende también impartir las capacitaciones necesarias, a los trabajadores y agricultores que se encuentren en el proyecto.

Dichas capacitaciones servirán para ambientarse en la labor de agricultura hidropónica, además de incursionar en el mantenimiento y manejo de los dispositivos tecnológicos que se encuentren en el invernadero.

Debido a que se entiende, que entre más conozcan los trabajadores del área en el que se desenvuelven, mejor desempeñaran su trabajo dentro de la misma. Las capacitaciones comenzaran a impartirse junto con el inicio del proyecto, y aun posterior a este, puesto que serán los destinados a llevar a cabo el trabajo que dará inicio al proyecto hidropónico en sí.

Durante los primeros meses, los trabajadores tendrán una introducción práctica a la hidroponía, donde aprenderán su importancia, ventajas, capacidades y diferentes métodos. Al mismo tiempo cursaran un elaborado plan de automatización básica, en donde el objetivo es sintetizar la información hasta la que el trabajador necesita conocer, donde conocerán diferentes elementos, mecanismos y sistemas, además del manejo básico de la programación de nutrientes y detección de errores que pueda mostrar cualquier sistema, es decir, a identificar las alertas programadas en cada sistema a controlar.

En el cuarto mes los trabajadores realizarán la siembra de las semillas necesarias para iniciar el cultivo de tomate en el foamy agrícola, las cuales germinarán alrededor de 12 a 15 días después; durante este tiempo los trabajadores aprenderán del cuidado que se debe tener con respecto al crecimiento de la plántula.

Pasados 30 días se realizará el primer trasplante al sistema hidropónico NGS, 10 días después se realizará el segundo trasplante de cualquier plántula que no haya alcanzado su desarrollo.

En esta etapa los trabajadores conocerán tanto el sistema NGS como el cambio de nutrientes para la planta, puesto que ya se encuentra en mayor desarrollo. En ese momento es donde se dará inicio al proyecto, como solución al problema mencionado, mejorando tanto la producción como la calidad del producto.

3.5.8.1. Aprendizaje del personal encargado

Dentro del invernadero existen ciertos requerimientos que se deben cumplir, tanto para el cuidado de la planta en sí, como para el del invernadero. Estos requerimientos son los que aprenderán y reconocerán los trabajadores, durante el proceso de capacitación.

En la siguiente tabla, se muestran los aspectos que deben aprender los trabajadores respecto del cultivo de TOMATE durante la capacitación y que hacer en caso de que esto no se cumpla.

TABLA 15 (Verificaciones que deben hacerse en el invernadero)

Factor	Mínima	Máxima	Control
Temperatura del invernadero durante el día	22°C	28°C	El encargado deberá acceder a la pantalla de temperatura en el panel de control y verificar los sensores de temperatura que se encuentran en todas las secciones del invernadero. De funcionar erróneamente el encargado podrá encender de forma manual la ventilación forzada y lateral o la calefacción.
Temperatura del invernadero durante la noche	16°C	18°C	
Temperatura de la solución nutritiva	23°C	27°C	Media hora antes de cada riego, el encargado deberá medir con un termómetro digital, la temperatura de la solución nutritiva, y proceder a encender el calentador o el refrigerante.
Ventilación Superior	Off	On	Al verificar la temperatura, el encargado podrá proceder a la activación o desactivación de los motores que controlan el sistema de ventilación.
Ventilación Lateral	Off	On	
Ventilación Forzada	Off	On	
Radiación de luz solar	35%	80%	Durante el día, el encargado deberá acceder a la pantalla de radiación en el panel de control y verificar los sensores de luz que se encuentran en todas las secciones del invernadero, y de ser necesario activar las persianas manualmente.

Humedad relativa	60%	70%	El encargado deberá acceder a la pantalla de humedad en el panel de control y verificar los sensores que se encuentran en todas las secciones del invernadero. Luego, de ser necesario proceder a encender los aspersores o la ventilación lateral y forzada.
PH en el agua de riego	5.5	6.5	Media hora antes de cada riego, el encargado deberá verificar la solución nutritiva con un medidor de PH digital, si dicha medición está fuera de rango, procederá a ajustar el filtro de calcita, hasta ajustar.
Conductividad en el agua de riego	0.6 μ s	0.7 μ s	Media hora antes de cada riego, el encargado deberá verificar la conductividad eléctrica de la solución nutritiva con un medidor de μ s digital, si dicha medición está fuera de rango, procederá a ajustar el filtro suavizador, hasta ajustar.
Homogeneidad del agua de riego	Off	On	Media hora antes de cada riego, se debe encender durante 20 min la bomba mezcladora manualmente, si esta no se enciende automáticamente
Crecimiento y desarrollo de la planta	---	---	El encargado deberá conocer las características que muestra una planta de tomate en buen desarrollo y en sus etapas, CRECIMIENTO,

			TERCERA HOJA y FRUTO. Las cuales deberá mostrar en un informe mensual de crecimiento.
Filtros de Ventilación	---	---	Una vez al mes se deberán limpiar los filtros de toda la ventilación.
Alarmas de LUZ AMARILLA	Off	On	Las luces amarillas tanto en el tablero de control como en todas las secciones del invernadero, indican retraso en una acción, la cual se especifica en la pantalla de errores. El encargado debe identificar en que sección está sucediendo el retraso y verificar físicamente, para solucionarlo.
Alarmas de LUZ ROJA	Off	On	Las luces rojas tanto en el tablero como en todas las secciones del invernadero, indican fallo de una acción, la cual se especifica en la pantalla de errores. El encargado debe identificar en que sección está sucediendo el fallo y verificar físicamente. Luego, deberá reportar este suceso a su superior para solucionarlo.

NOTA: La siguiente tabla de verificaciones está basada en La Guía para el Cultivo de Tomate Hidropónico en Invernaderos, por el Dr. Richard G. Snyder, especialista en Extensión Vegetal en La Universidad Estatal de Mississippi⁶⁷.

⁶⁷ <http://msucares.com/espanol/pubs/p2419.pdf>

CAPITULO IV

Alcances - Análisis de resultados

CAPITULO IV

4. Alcances - Análisis de resultados.

4.1. Alcances

El proyecto en desarrollo tiene como alcances presentar información fehaciente acerca de la tecnología implementada en la hidroponía de El Salvador. Al mismo tiempo explorar el mercado agrícola para determinar la comercialización del tomate y así mostrar que el factor Demanda-Producción puede estar en equilibrio con la aplicación de sistemas automatizados. También, comprobar que pese a la inversión económica en un sistema hidropónico, se puede mejorar la producción, la calidad del cultivo y por consiguiente las ganancias. Además, mostrar que proyectos similares ya se han implementado en otros países con éxito, por lo tanto, entender que este sistema de cultivo también es viable para los salvadoreños.

4.2. Limitaciones

- Parte de la investigación posee cierto grado de complejidad, por no estar dentro de los conocimientos que imparte nuestra carrera.
- En el país hay poca credibilidad para sistemas fuera de lo tradicional, por lo que no existe especialización de esta área, para quien necesite conocer.
- Debido a los altos costos, el proyecto se vuelve viable únicamente para aquellos que cuenten con el capital suficiente para realizar la inversión.
- El tiempo de investigación se vuelve corto, en comparación con todo lo que abarca el proyecto.

4.3. Análisis de resultados

Al indagar en la evolución de la hidroponía en nuestro país, podemos darnos cuenta de las deficiencias y limitantes tecnológicas que existieron desde la implementación de este conocimiento hasta la fecha. Debido a la falta de interés del Estado por invertir en mejores sistemas para este método de cultivo y no valorar los aportes y conocimientos extranjeros. Interpretando las estadísticas, que van desde el año 2007 hasta la fecha, que hablan sobre el abanico de hortalizas altamente demandadas en Latinoamérica y en especial El Salvador, se determinó que el tomate es el producto que más se consume, debido a la gran variedad de platillos en los que se utiliza y sus altas propiedades medicinales.

Aprovechando esta demanda a nivel Latinoamericano, se constata que este es el producto idóneo para invertir en su producción industrializada, aplicando tecnología automatizada que pese a su inversión, garantiza mantener la uniformidad en el cultivo, la calidad y la producción del mismo. Esto se refiere a que la variabilidad de producción de tomate que hay actualmente en el cultivo tradicional con respecto a la fecha de crecimiento, de cambio de clima, perdidas por plagas y sequias, no existe en un cultivo de desarrollo controlado.

Por lo tanto la producción se mantiene al igual que las ganancias, confirmando el retorno de la inversión como mínimo en 3 años y como máximo 5 años, como se ha demostrado en países como España, México, Chile y Honduras, en los

cuales ya se implementa sistemas de esta índole, y que ahora brindan un apoyo a la agricultura de su país.

Luego de enfatizar las múltiples ventajas que conlleva invertir en este método de cultivo, se examinan todos los factores que se deben tener en cuenta, como son: el aislamiento de la planta, el cuidado de su clima, y la nutrición de la que esta depende. Estos son los elementos que llevan a la culminación con éxito del cultivo, y son a los que se les debe brindar prioridad a la hora de automatizar, ya que hay muchas áreas que pueden ser mejoradas, pero estos son los esenciales.

Junto con estos factores, es de igual importancia el método a utilizar, y se determinó que el más eficaz para obtener los resultados esperados, es el que proviene de investigaciones desarrolladas en España, por una empresa pionera en el campo de la hidroponía, de nombre New Growing System que ha desarrollado un método del mismo nombre, con las siglas NGS. Este sistema permite llevar al máximo el aprovechamiento del cultivo. A pesar de que este método al igual que parte de los dispositivos y la tecnología que se requiere para automatizar un sistema, no se encuentran en nuestro país, siempre existen las importaciones que no agregan mayor costo a la inversión.

Cabe aclarar que en toda la investigación se trata de enfatizar que el proyecto que se explica como solución al deterioro agrícola en El Salvador, tiene gran factibilidad al querer ser implementado en cualquier invernadero, adaptándolo para poder desarrollar el proceso deseado, así como también, construyendo uno a partir de las

especificaciones planteadas en el presente estudio, lo cual complementa de manera convincente la investigación.

A este estudio se le deben agregar los beneficios primordiales directos e indirectos que genera la implementación de Hidroponía Automatizada. Si bien es cierto que el proyecto es mucho más costoso que la inversión para un cultivo tradicional, pueden plantearse diferentes alternativas que siempre mantendrán los mismos beneficiados, entre las cuales están: El Estado debería invertir en este tipo de proyectos para ayudar a los campesinos que estén dispuestos a trabajar con este método, también los agricultores podrían formar cooperativas de desarrollo para invertir en más de un proyecto, o bien, que una persona o entidad contara con el capital para invertir.

En todo caso el beneficiario directo siempre sería el país, refiriéndose a que la economía mejoraría en el rubro agrícola por medio de la exportación, recordando que en este tipo de invernaderos no solo se puede cultivar tomate, sino también otros tipos de hortalizas, según convenga.

De esta forma se comprende que los beneficiarios indirectos serían: los agricultores o patronos, los cuales mejorarían sus ganancias considerablemente, también los empleados o trabajadores que entren en el proyecto, debido a que gozaran de estabilidad laboral y capacitaciones para el correcto desempeño de su trabajo, así como también el consumidor final, quien encontrará una gran calidad en un producto nacional, cuyo precio no será tan variante como el tradicional. Logrando de esta manera, el reconocimiento por parte de otras naciones y del pueblo salvadoreño, la mejora en la producción agrícola.

7.4. Análisis de inversión y Retorno

La evaluación económica de un proyecto se encarga de realizar las evaluaciones de inversión, para determinar la factibilidad o viabilidad financiera.

En la siguiente tabla se muestra el presupuesto completo de un invernadero hidropónico automatizado, construido desde cero, con especificaciones de proyecto.

Tabla 16 (Inversión para invernadero automatizado desde cero)

Elementos	Precio	Impuestos	Comprando	Alquilando
Invernadero	\$136,332	13%	\$154,055.16	\$154,055.16
Terreno (1ha)	\$284,000	0%	\$284,000	\$2,000
Sistema eléctrico para automatización	\$21,797	0%	\$21,797	\$21,797
Pozo de agua	\$22,000	0%	\$22,000	\$22,000
Control de clima	\$4,491	0%	\$4,491	\$4,491
Costos de operación y venta	\$8,000	0%	\$8,000	\$8,000
Costos de Mantenimiento	\$5,000	0%	\$5,000	\$5,000
Sistema de riego Automático	\$29,409	0%	\$29,409	\$29,409
NGS Tomate	\$28,557	0%	\$28,557	\$28,557
Materia prima de cultivo	\$1,500	13%	\$1,795	\$1,795
FLETE CIF La Unión	\$5,500	0%	\$5,500	\$5,500
Mano de obra (completa)	\$27,000	0%	\$27,000	\$27,000
Costos de administración	\$5,000	0%	\$5,000	\$5,000
Costos de producción	\$3,000	0%	\$3,000	\$3,000
Costos directos fijos	\$15,000	0%	\$15,000	\$15,000
TOTAL			\$614,604.16	\$332,604.16

Aclarando que al tener un invernadero, el cual se requiera automatizar e implementar el sistema NGS, el costo total sería de **\$154,549**. Costo sujeto a modificaciones por motivos extra.

Tabla 17 (Presupuesto de cultivo tradicional: Dependiendo la clase de terreno, ya que el cultivo de tomate tradicional se puede hacer, aun en terrenos que no son completamente planos)

Elementos	Precio	Impuestos	Comprando	Alquilando
Precio de terreno (1ha)	\$150,000- \$284,000	0%	\$150,000 - \$284,000	\$1,000 - \$2,000
Materia prima de cultivo	\$1,500	13%	\$1,795	\$1,795
Pozo de agua	\$22,000	0%	\$22,000	\$22,000
Costos de producción	\$3,000	0%	\$3,000	\$3,000
TOTAL			\$154,795 - \$288,795	\$27,795 – \$28,795

Tabla 18 (Capacidad de producción anual en un cultivo hidropónico automatizado de 1 Ha)

Año	Kg/m ²	Kg producidos	Kg calidad extra	Precio por Kg	Total
1	42 - 45	420,000-450,000	386,400-414,000	\$1.25 - \$1.45	483,000 - 560,280 517,500 - 600,300
2	42 - 45	420,000-450,000	386,400-414,000	\$1.25 - \$1.45	483,000 - 560,280 517,500 - 600,300
3	42 - 45	420,000-450,000	386,400-414,000	\$1.25 - \$1.45	483,000 - 560,280 517,500 - 600,300

Tabla 19 (Capacidad de producción anual en un cultivo tradicional de 1 Ha)

Año	Kg/m ²	Kg producidos	Kg calidad extra	Precio por Kg	Total \$
1	3 - 5	30,000 – 50,000	3,000 – 4,500	\$1.00 - \$1.10	\$27,000 - \$29,700
2	3 - 5	30,000 – 50,000	3,000 – 4,500	\$1.00 - \$1.10	\$27,000 - \$29,700
3	3 - 5	30,000 – 50,000	3,000 – 4,500	\$1.00 - \$1.10	\$27,000 - \$29,700

VIABILIDAD: Ganancia por cosecha con precios bajos: \$109,250. Ganancia por cosecha con precios altos: \$185,530. Lo que nos garantiza en el peor de los casos un retorno de la inversión del 29.2% anualmente. Traduciéndose a una recuperación en 3 años alquilando terreno, y en 4.5 años comprando uno.

Tabla 20 (Gastos anuales generales de un cultivo hidropónico automatizado)

Gastos	veces al año	Cantidad (\$)	Total (\$)
Costos de Mantenimiento	12	5,000	60,000
Materia prima de cultivo	1	1,750	1,750
Costos de administración	12	5,000	60,000
Costos directos fijos	12	15,000	180,000
Costos de producción	12	3,000	36,000
Costos de operación y venta	12	8,000	96,000
TOTAL			373,750

Anualmente se tiene un gasto de \$373,750. En donde en el peor de los casos la producción sería de 42 kg/m² con un precio de \$1.25 por kg, y solamente con el 92% de producto de clase extra. Se obtendría una venta anual total de \$483,000. Es decir \$109,250 de ganancia por lo que la inversión es bastante viable. Ahora bien, en el mejor de los casos al producir 45kg/m² y con un 92% de tomate de calidad extra, siempre con un precio de \$1.25 por kg. Se obtendría \$183,530 más de lo invertido en un año, esto sin contar la venta del 8% restante de tomate, que siempre se puede introducir al mercado, pero a menor costo.

Tabla 21 (Tiempo de recuperación de la inversión según análisis de tablas 16, 18, 20 y Viabilidad de producción menos gastos fijos)

Tipo de cultivo	Inversión		Mejor Tiempo de recuperación	Peor Tiempo de recuperación	Inversión viable
	Comprar	Alquilar			
Tradicional	\$154,795	\$27,795	5.21 años	7 años	El índice de recuperación es del 19.1% anual
Hidroponía automatizada	\$614,604.1	\$303,195.1	3.15 años	4.5 años	El índice de recuperación es del 29.2%, capaz de alcanzar el 36% anual

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

CAPITULO V

5. Conclusiones y Recomendaciones.

5.1. Conclusiones

- o Aun cuando naciones amigas como Corea del Sur, a través de KOICA han tratado que El Salvador cambie o mejore su sistema de cultivos, para recobrar esa producción agrícola de alta calidad por la que tanto se caracterizaba en el pasado y que lograba cotizarse entre las mejores del mercado mundial, esto no ha sido posible hasta la fecha debido a que no se le ha dado la importancia necesaria, por el simple hecho de continuar con las importaciones de otros países y así mejoran los lazos Internacionales.

- o En la investigación se muestra el costo total de invertir en un proyecto de hidroponía automatizada, y aun cuando se compara con la inversión en un cultivo tradicional en tierra, siempre cuadriplica el precio normal, por lo que se cree erradamente que es una mala inversión, pero la realidad basada en los cálculos de producción nos muestra que pese a la inversión inicial, las ganancias estimadas garantizan la recuperación de esta en 3 años, lo que demuestra que el proyecto en cuestión es una solución a la actual problemática agrícola.

- o El trabajo con cultivos hidropónicos automatizados permite el manejo inteligente de nutrientes y condiciones ambientales que resultan inmanejables en cultivos en tierra, logrando mayor producción y mejorando la calidad, pero requieren una mayor exigencia en la aplicación de los protocolos de germinación, crecimiento,

preparación de la solución nutritiva y conocimiento de las áreas técnicas automatizadas, por lo que la preparación del personal a través de las capacitaciones se considera indispensables.

- o La recopilación de la información permitió identificar el uso de la automatización en el manejo de cultivos, generar un listado de variables que se deben controlar y de otras que se pueden incluir sin afectar el normal crecimiento del cultivo. Permitiendo que un proyecto de esta índole, cuente con la versatilidad para ser implementado tanto en un invernadero existente, como en uno que se construya a partir de las especificaciones planteadas en esta investigación.

5.2. Recomendaciones

1. Con el estudio realizado se muestran las múltiples ventajas y beneficios de implementar el sistema NGS en un invernadero nuevo o ya existente, este sistema es el más eficaz y por lo tanto el que se debe implementar. A pesar que en el país actualmente se utilizan otros métodos, esto no significa que no puedan ser reemplazados. Porque el método NGS con su sistema recirculante nos permite ahorrar un 50% del agua utilizada, sin dañar los mantos acuíferos de los que se extraiga el agua de riego, además del hecho de no necesitar mucho espacio para su implementación. Características que especialmente hoy en día, son de gran utilidad debido a la falta de lluvias y deterioro de tierras por la explotación de las mismas.
2. A pesar de la gran cantidad de áreas que hay para automatizar en un invernadero, se ha confirmado por parte de expertos, que las áreas indicadas se reducen a dos, las cuales son: Clima y Riego (DNR). Se debe implementar un sistema de climatización para que el cultivo alcance su máximo desempeño, de lo contrario este no lograra los objetivos esperados. Es de suma importancia que la solución nutritiva se prepare con cuidado, estimando un margen de error de un 5%, para no dañar el cultivo en el mismo proceso.
3. Como se ha analizado en la investigación la inversión que se debe realizar para automatizar un invernadero, supera por 4 veces, la inversión en un cultivo tradicional en tierra. Pero, de esto se interpreta que el Estado es el indicado para invertir en el proyecto, con la garantía de

recuperar la inversión al cabo de 3 años como máximo. O bien, los campesinos deben formar cooperativas para invertir en más de un proyecto.

4. La idea de invertir en cultivos hidropónicos bajo un invernadero y con sistemas automatizados, no solo beneficiaría al país desde el punto de vista económico sino también ecológico y medioambiental, para lograr esto se deben dejar que las tierras recobren sus minerales, para luego continuar con la preservación de árboles tanto frutales como de sombra, y contribuir al cuidado de estos. Ya que la hidroponía no depende de tierra.

ANEXOS

6. Anexos.

Capítulo I

- Planteamiento del Problema



Imagen 1 (Recortes de periódico, que describen deterioro)

- Antecedentes



(Chinampas)
Imagen 2



(Pruebas hidropónicas de la NASA)
Imagen 3

Capítulo II

- Marco Teórico

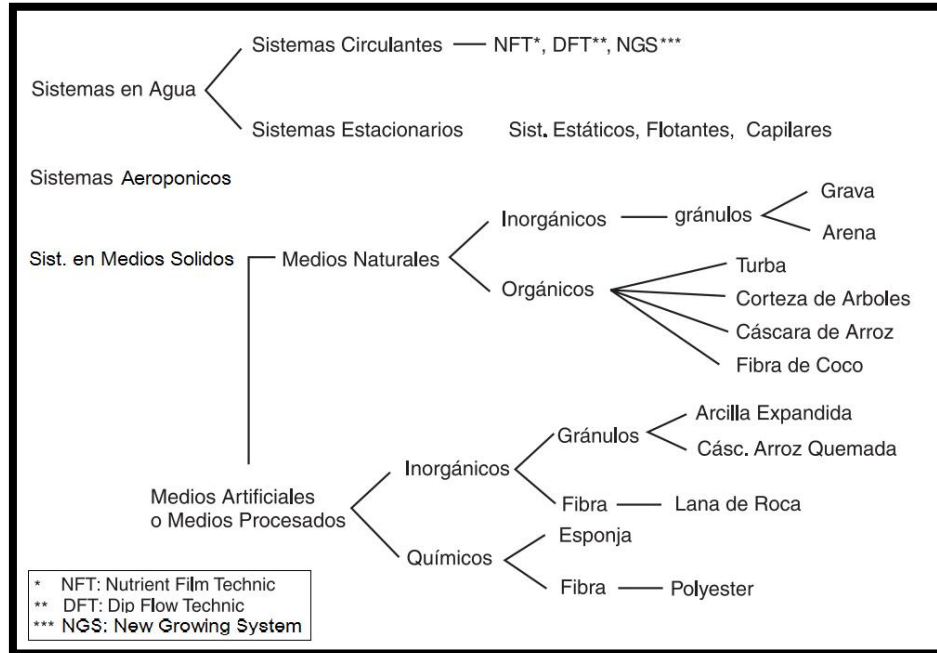


Imagen 4 (Métodos Hidropónicos)

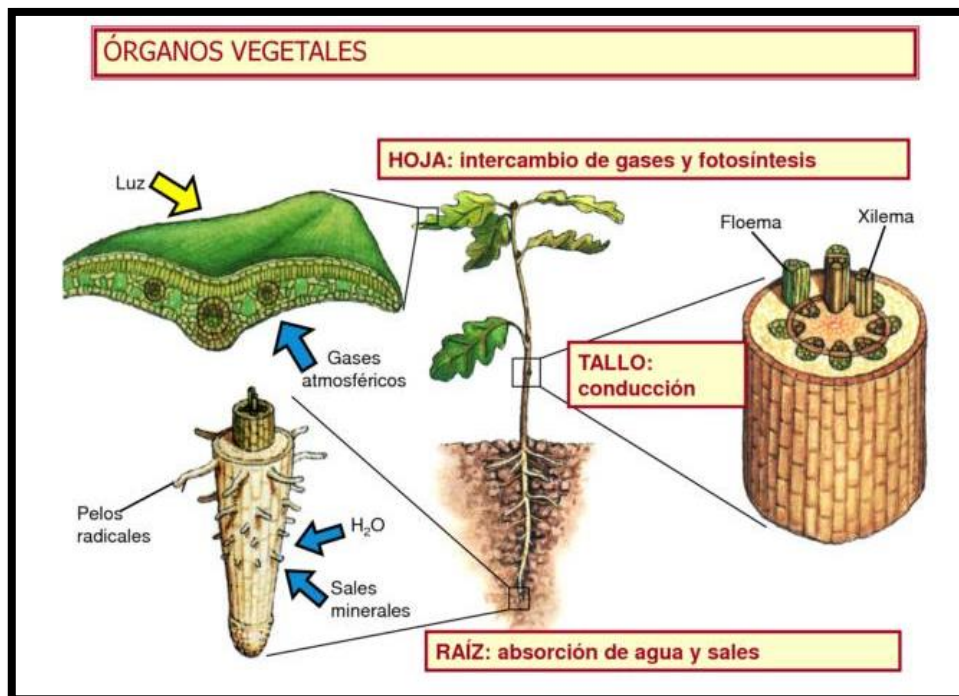


Imagen 5 (Partes de la planta y ubicación del Xilema)

Capítulo III

- Metodología de la Investigación, VISITAS



Imagen 6 (Invernaderos el PIPIL)



Imagen 7 (Visita al PIPIL)



Imagen 8 (Visita al CENTA)



Imagen 9 (Tuberías para la Solución Nutritiva)



Imagen 10 (Cultivo de PAPA Experimental en el CENTA)



Imagen 11 (Venturi para insercion de fertilizante en el PIPIL)



Imagen 12 (Control de Riego en CENTA)



Imagen 13 (Cultivo de Tomate en el PIPIL)



Imagen 14 (Sistema de control eléctrico en el PIPIL)

- Información Cuantitativa

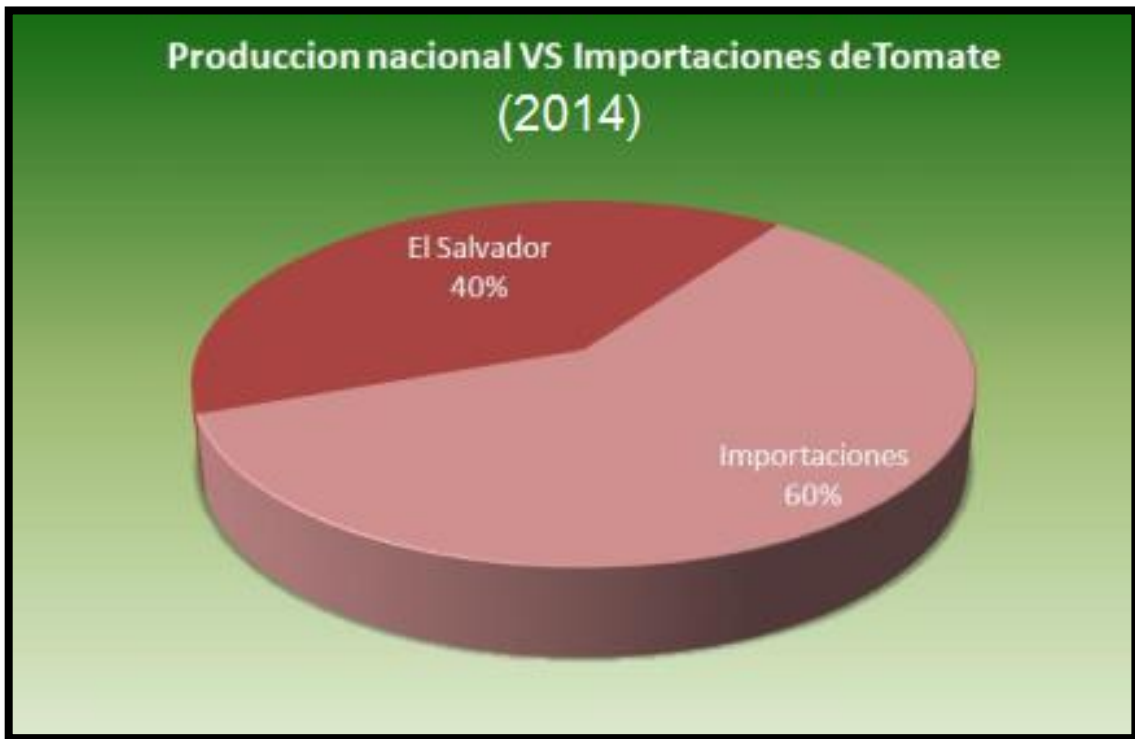


Imagen 15 (Fuente: Datos del BCR costos de importaciones)

Cuadro 1 (Datos Generales del Tomate)

Tomate	
Nombre botánico	Solanum lycopersicum
Nombre en inglés	Tomato
Familia	Solanáceas
Fotoperiodo de la planta	de floración neutra
Tiempo desde que nace hasta la recolección ciclo	
Corto: de 9 a 110 días; medio: 100 a 120 días; largo: 110 a 125 días	
Temperatura mínima	12 ° C; óptima: 25 a 30 ° C; máxima: 35 ° C
Facultad germinativa	de 3 a 4 años
Peso promedio de 100 semillas	3.33 gramos
Humedad relativa	entre 50 y 60 por ciento
Profundidad de siembra	2 centímetros

Cuadro 2 (Comparación de la inversión y el rendimiento entre cultivo hidropónico y en tierra)

Forma de Cultivo	Cielo abierto (tradicional)	Hidroponía con control de riego	Hidroponía automatizada
Inversión aprox./Ha	\$30,000 - \$36,000	\$75,000 - \$120,000	\$250,000 - \$ 400,000
Producción promedio anual	3 kg/m ² - 5 kg/m ²	4g/m ² - 10kg/m ²	10kg/m ² - 45kg/m ²
Cosechas por año	1 – 2	2 - 3	3 – 4

Cuadro 3 (Comparación de costos de producción a partir del segundo año, cuando se logre estabilidad en la producción)

Costos de producción por cosecha en una Hectárea entre 2013 y 2014		
Descripción	Cultivo Tradicional (Suelo)	Cultivo Hidropónico Puro (Agua)
Lugar	El Salvador.	Invernadero automatizado.
Costos de producción directos e indirectos.	\$7,617.70	\$76,680.00
Precio más bajo por libra en ese año.	Abril con un valor de \$0.15	Mayo con un valor de \$0.88
Precio más alto por libra en ese año.	Noviembre con un valor de \$0.49	Enero con un valor de \$1.04
Promedio	\$0.32	\$0.96
Producción anual en lb/ha	117,452.70	992,080.18
Promedio de venta anual	\$37,584.91	\$952,396.98

- Instrumentos

MODELO de Cuestionario Realizado.

1. ¿Por qué cultivar hidropónicamente en El Salvador?

2. ¿Qué beneficios trae el cultivo hidropónico a la agricultura salvadoreña?

3. ¿Qué necesita un invernadero para poder proteger un cultivo hidropónico?

4. ¿Qué aspectos se deben cuidar en un cultivo de hortalizas?

5. ¿Cuál hortaliza utilizar como muestra, para demostrar la eficacia de este método?

6. ¿Cómo seleccionar el método más eficaz para cultivar hidropónicamente?

7. ¿Qué áreas deben automatizarse en un invernadero para garantizar la calidad y producción?

8. ¿Se podría considerar a la hidroponía como una mala inversión?

9. ¿Qué tipo de tecnología se está implementando actualmente, en el CENTA y en el PIPTIL?

MODELO de Lista de chequeo.

Lista de Cualidades y especificaciones		
Consultas	si	no
1. El cuidado de cada hortaliza es diferente uno de otro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. El crecimiento de la planta se da por partes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Cultivo de TOMATE requiere especial atención	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Cambia la solución con el crecimiento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. El cultivo solo puede recibir luz de día	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Es menor la separación de cultivos con hidroponía	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Los cultivos aumentan su tamaño	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. La solución nutritiva requiere especial atención	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Se utiliza cualquier malla en estos invernadero	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. Los cultivos disminuyen su dependencia al DNR	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11. Se puede utilizar cualquier agua para el riego	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12. El cultivo soporta cambio de clima bruscos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13. Habrá efectos bruscos al cambiar la DNR	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14. Se puede automatizar el clima	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15. La humedad es un aspecto importante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16. La temperatura afecta el crecimiento del fruto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17. Tiene algún efecto la prolongación al sol	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18. Es necesario el sustrato	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19. Puede utilizarse algún otro sistema	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20. Se ahorra agua con el sustrato	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
21. Existen más métodos hidropónicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
22. Resulta más caro invertir en hidroponía	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
23. Se puede recuperar la inversión rápidamente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
24. Se mejoran las cosechas con hidroponía	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
25. Tiene desventajas la hidroponía	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
26. Son más caros otros métodos hidropónicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

- Fotografías y diseño de construcción

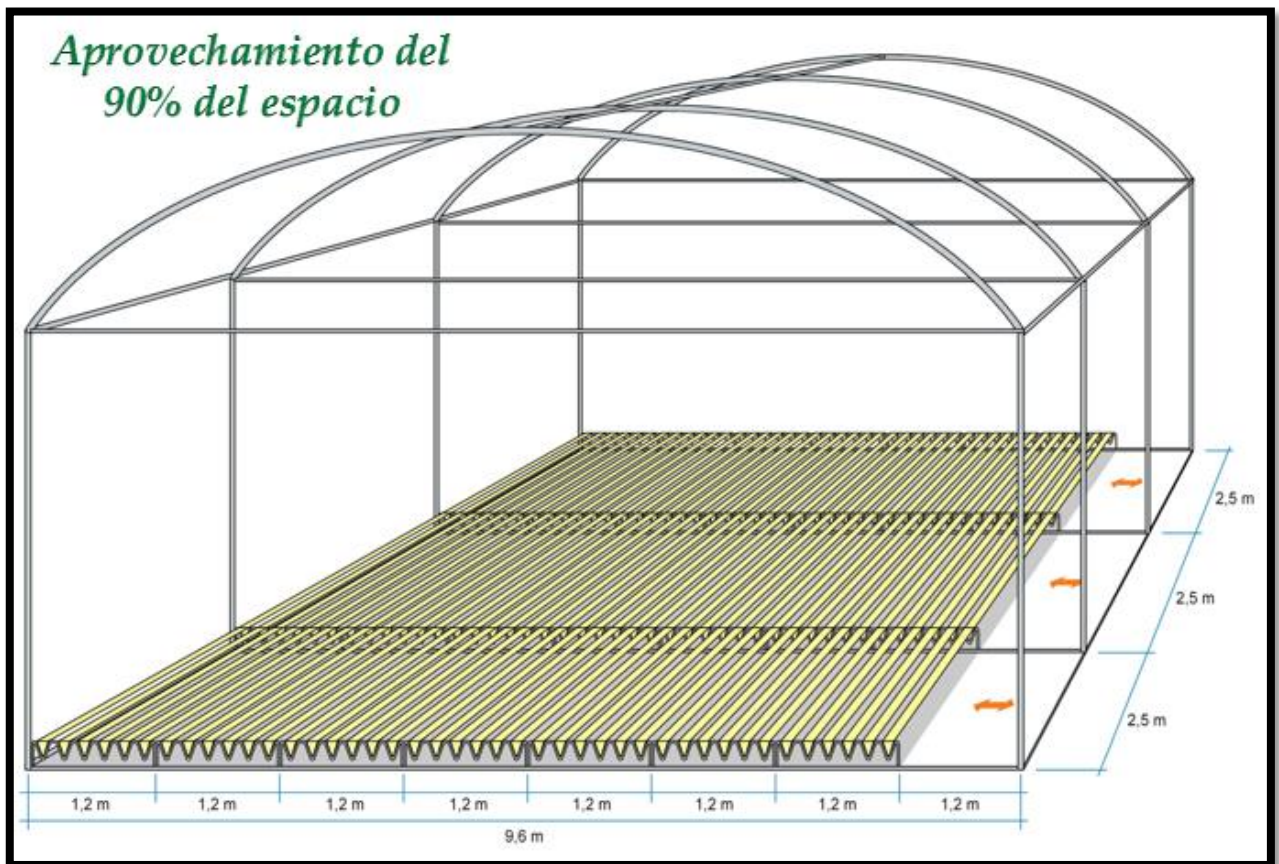


Imagen 16 (Diseño y construcción de cimientos y naves)

- Sistema Supercenit

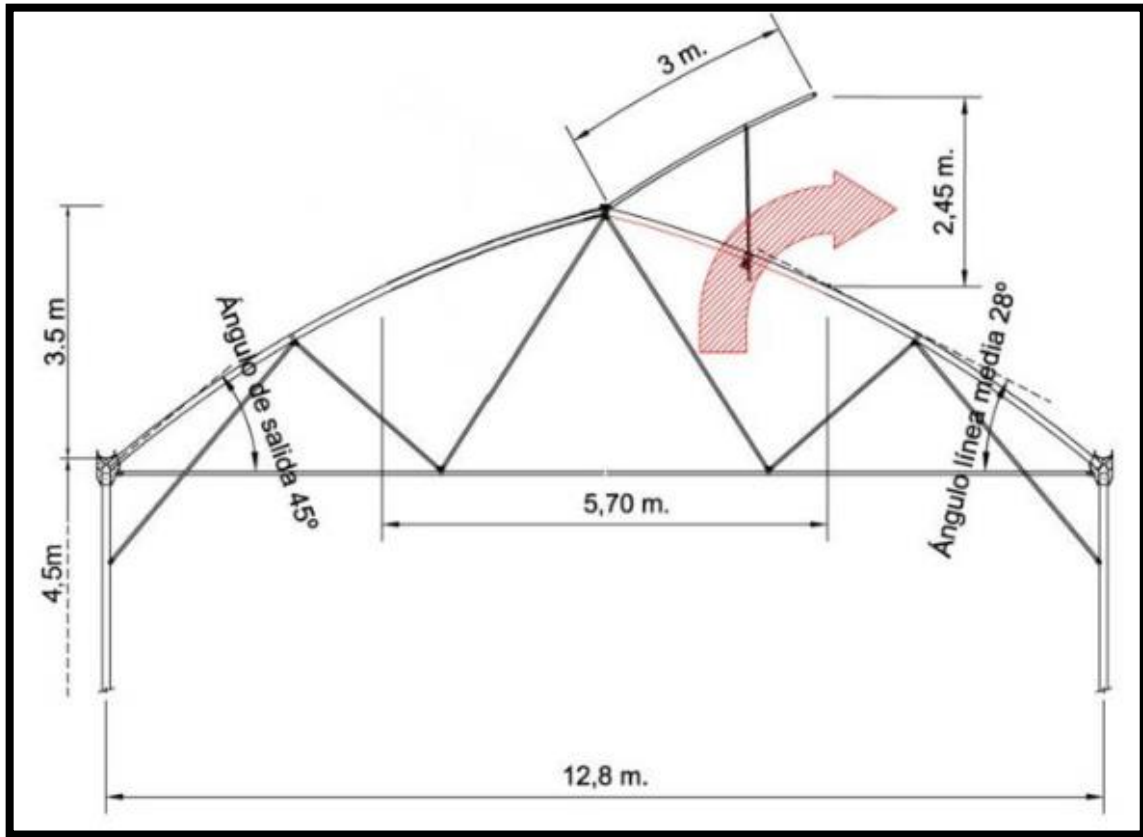


Imagen 17 (Diseño interior y exterior de ventilación superior)

- Sistema de Ventilación Forzada

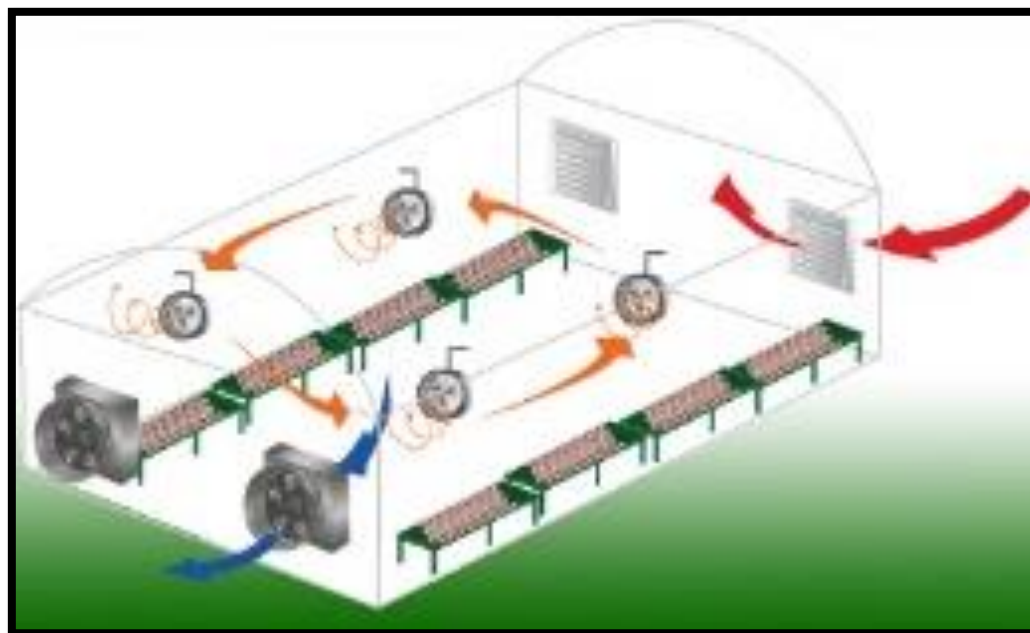
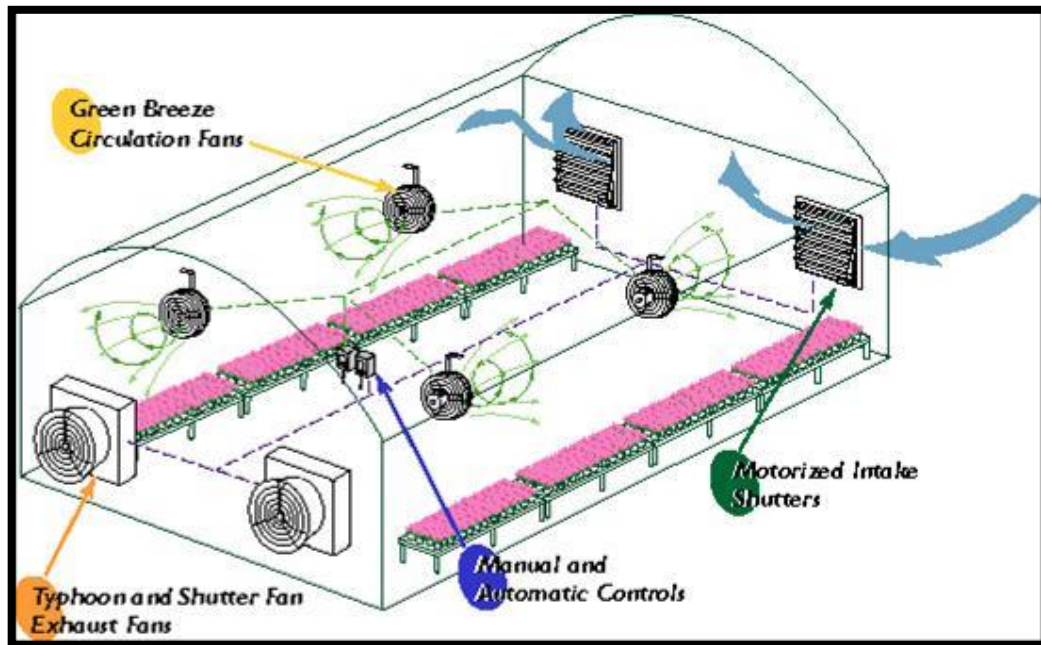


Imagen 18 (Diseño de montaje de destratificadores para cada nave, en favor de la ventilación forzada)

- Sistema de Nebulización



Imagen 19 (Sistema nebulizador)

- Cabezal y sistema de Riego

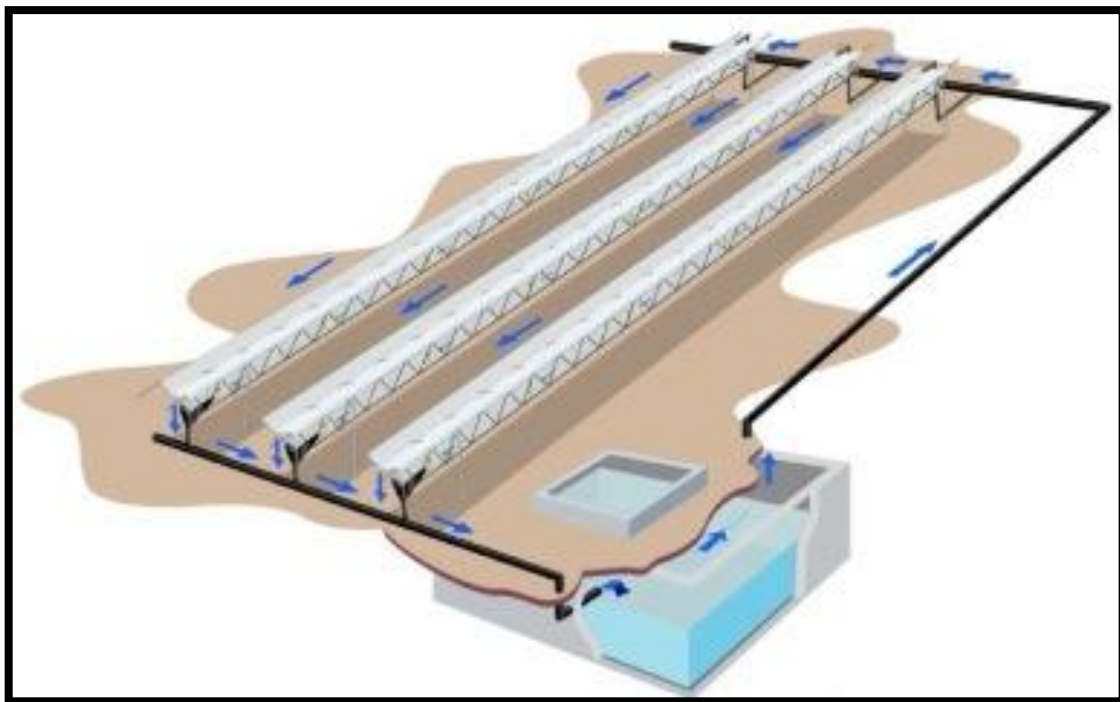
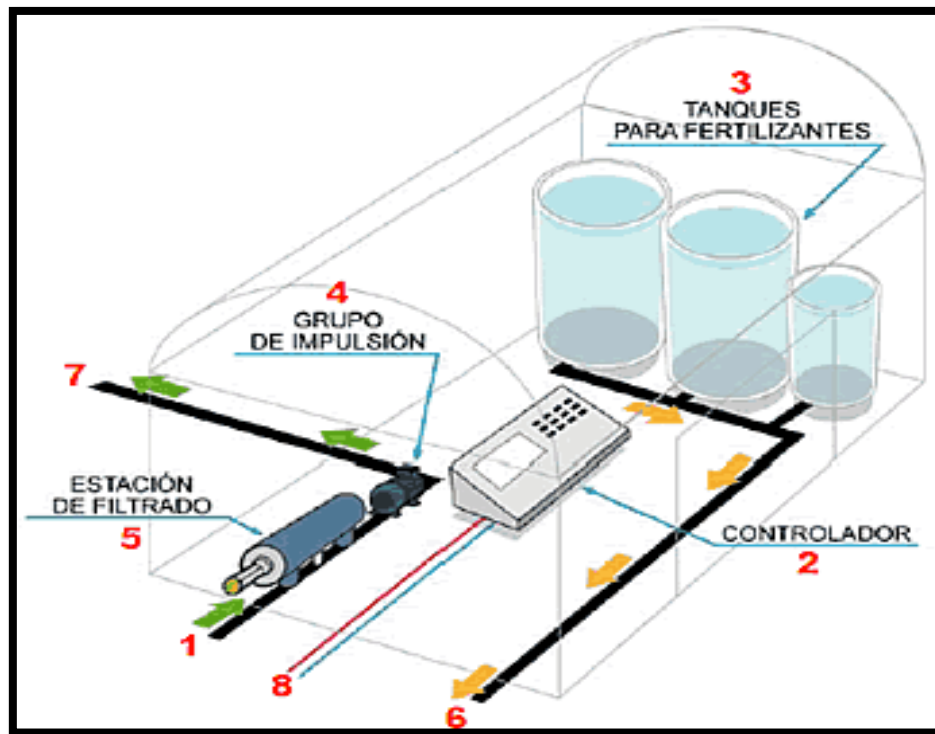


Imagen 20 (Cabezal y sistema de recirculación)

- Cálculos para Instalación NGS

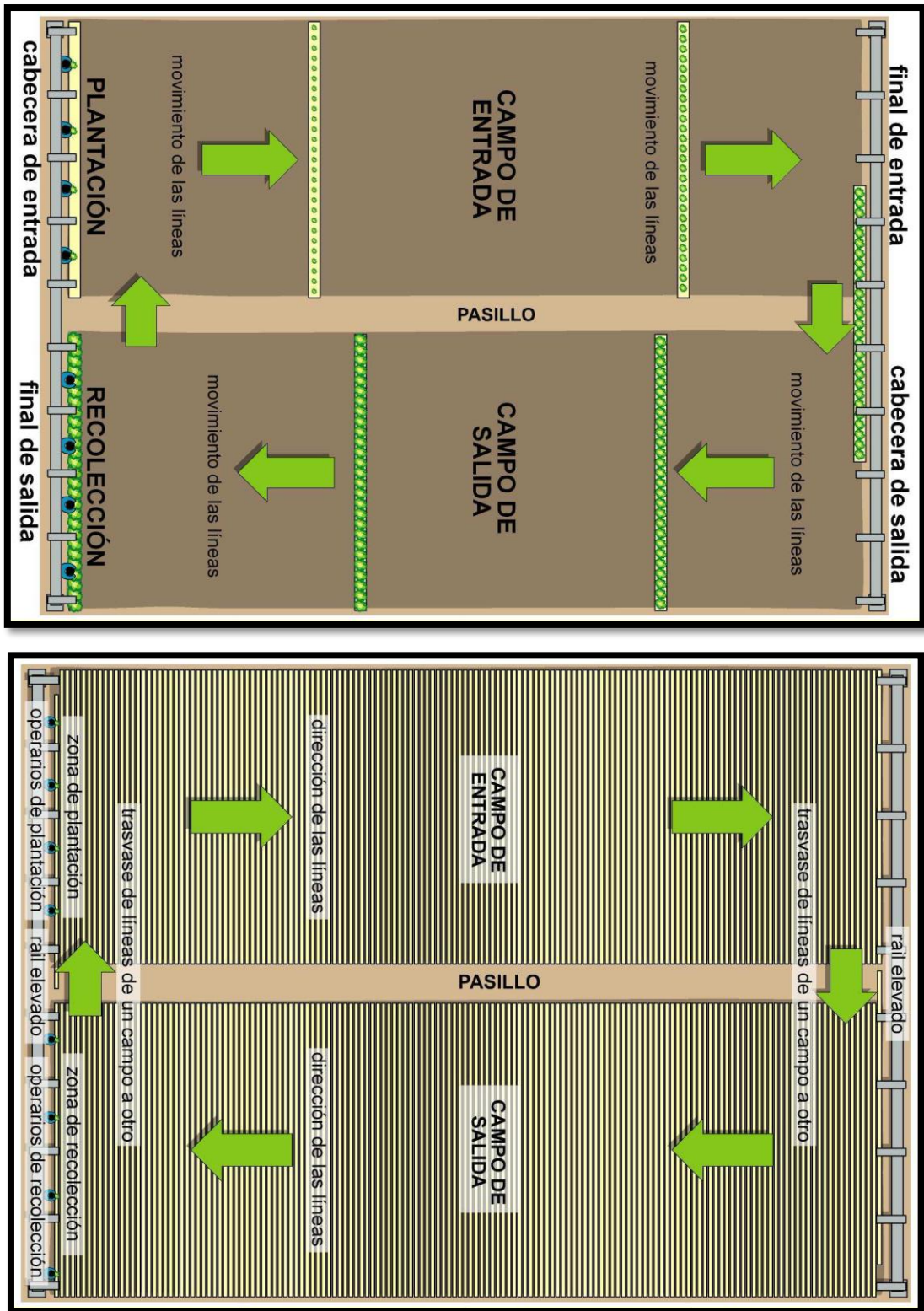


Imagen 21 (Distribución de sistema NGS en cada nave)

- Sistema de Riego y NGS

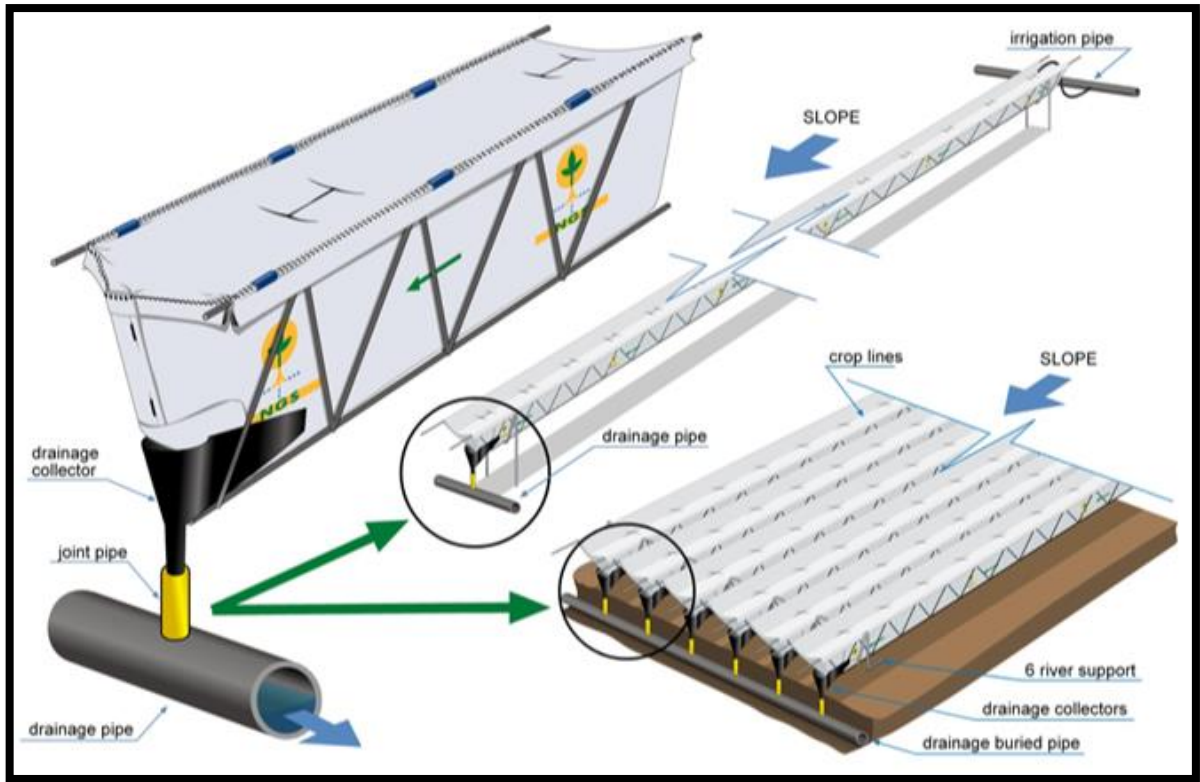
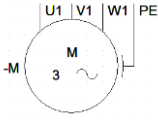
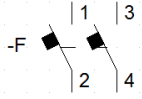
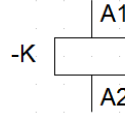
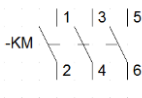
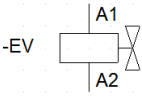
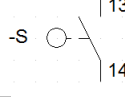
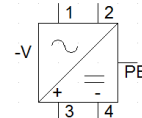
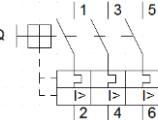
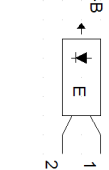
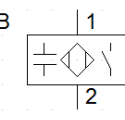
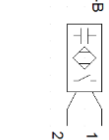


Imagen 22 (Sistema de riego)

- Sistema eléctrico

Símbolo	Significado
	Motor de bombas hidráulicas
	Autómata
	Bobina de contactores
	Contactos de contactores
	Electroválvulas
	Final de carrera
	Fuente de alimentación
	Guarda motor
	Sensor con señal análoga
	Sensor de nivel
	Sensor capacitivo para humedad

Cuadro 4 (Simbología para diagramas eléctricos)

GLOSARIO

7. Glosario.

Agricultura: Conjunto de actividades y conocimientos desarrollados por el hombre, destinados a cultivar la tierra y cuya finalidad es obtener productos vegetales (como verduras, frutos, granos y pastos) para la alimentación del ser humano y del ganado.

Agronomía: llamada también ingeniería agronómica, es el conjunto de conocimientos de diversas ciencias aplicadas que rigen la práctica de la agricultura.

Agroquímica: es la parte de la ciencia química y bioquímica que estudia las causas y efectos de las reacciones bioquímicas que afectan al crecimiento tanto animal como vegetal.

Automatizar: Aplicar máquinas o procedimientos automáticos en la realización de un proceso o en una industria.

Cabezal: Se denomina así a la parte o etapa principal de un sistema de estructuras.

Chinampa: Se trata de una balsa, de armazón hecha con troncos y varas, en ocasiones de considerables dimensiones, sobre la que se deposita tierra vegetal debidamente seleccionada con materias biodegradables como pasto, cáscaras de diferentes frutas y vegetales, etc.

Climatización: consiste en crear unas condiciones de temperatura, humedad y limpieza del aire adecuadas para la comodidad dentro de los espacios habitados.

Conductividad: Propiedad natural de los cuerpos que permiten el paso a través de sí del calor o la electricidad.

Contactador: Interruptor automático que sirve para restablecer los enlaces entre distintos circuitos o aparatos eléctricos.

Demanda: Petición o solicitud de algo, especialmente si consiste en una exigencia o se considera un derecho.

Des escalar: aminorar o reducir a condiciones accesibles o entendibles.

Destructificador: Ventiladores de gran tamaño, denominados industriales porque manejan grandes cantidades de aire.

Dosificar: Graduar la cantidad o proporción de algo.

Factibilidad: se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señaladas.

Filtrar: Hacer pasar un líquido por un filtro para retener alguno de sus componentes.

Germinación: es el proceso mediante el cual una semilla se desarrolla hasta convertirse en una planta.

Helicoidal: es un movimiento que resulta de combinar un movimiento de rotación en torno a un eje dado con un movimiento de traslación a lo largo de ese mismo eje.

Hidráulico: Que funciona o es movido por la acción del agua o de otro líquido.

Hidroponía: es un método utilizado para cultivar plantas usando disoluciones minerales en vez de suelo agrícola.

Hojarasca: Conjunto de hojas secas caído de árboles y plantas y que cubre el suelo.

Hortaliza: son un conjunto de plantas cultivadas generalmente en huertas o regadíos, que se consumen como alimento, ya sea de forma cruda o preparada.

Método: Modo ordenado y sistemático de proceder para llegar a un resultado o fin determinado.

Moto reductores: pequeños motores (monofásicos o trifásicos), reductores de engranajes y a menudo variadores de velocidad (eléctricos o electrónicos).

Nave: En construcción de invernaderos, es la base de la estructura principal.

Nutrientes: Un nutrimento o nutriente es un producto químico procedente del exterior de la célula y que ésta necesita para realizar sus funciones vitales.

Plántula: se denomina plántula al estadio del desarrollo del esporófito que comienza cuando la semilla rompe su dormancia y germina, y termina cuando el esporofito desarrolla sus primeras hojas no cotiledones maduros, es decir funcionales.

Radiación: es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.

Radicular: se denomina sistema radical o sistema radicular al conjunto de raíces de una misma planta.

Relé: o relevador es un dispositivo electromagnético. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Sistema: Conjunto ordenado de normas y procedimientos que regulan el funcionamiento de un principio o medida que tienen relación entre sí.

Solución: es una mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de dos o más sustancias.

Sustancia: es un material homogéneo constituido por un solo componente y con las mismas propiedades intensivas en todos sus puntos.

Sustrato: Medio en el que se desarrollan una planta o un animal fijo.

Tecnología: es el conjunto de conocimientos técnicos, científicamente ordenados, que permiten diseñar, crear bienes, servicios que facilitan la adaptación al medio ambiente y satisfacer tanto las necesidades esenciales como los deseos de la humanidad.

Trasplante: Acción que consiste en mover una planta y sembrarla en otro sitio u objeto.

Trifásico: Que tiene tres corrientes eléctricas alternas iguales, procedentes del mismo generador, cuyas fases respectivas se producen a la distancia de un tercio de período.

Xilema: Tejido vegetal formado por células muertas, rígidas y lignificadas que conducen la savia y sostienen la planta.

7.1. Siglas y acrónimos

μS: Micro Siemens (o conductancia específica de una solución de electrolito) es una medida de su capacidad para conducir la electricidad.

ANDA: Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, en El Salvador.

BCR: Banco Central de Reserva, en El Salvador.

CENTA: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova".

DNR: En hidroponía, Disolución Nutritiva Recirculante.

KOICA: Korea International Cooperation Agency.

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería.

MARN: Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

MIBT: Norma Española de instalaciones eléctricas de Media y Baja Tensión.

NASA: National Aeronautics and Space Administration.

NGS: New Growing System.

PH: Potencial de Hidrogeno, medida de acides.

PIB: Producto Interior Bruto, conjunto de los bienes y servicios producidos en un país durante un espacio de tiempo, generalmente un año.

PLC: Controlador Lógico Programable, refiriéndose a una computadora industrial.

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

UCA: Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas".

UES: La Universidad de El Salvador.

UNE: Norma para la construcción de Invernaderos Seguros.

**REFERENCIAS
BIBLIOGRAFICAS**

8. Referencias Bibliográficas.

8.1. Referencias Utilizadas

HISTORIA DE LA HIDROPONIA Y DE LA NUTRICION VEGETAL [En Línea]. Bogotá D.C., Colombia S.A. Editor Gustavo Salazar Molina. Mayo 27 de 2001. [Enero 2016] Disponible en http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Historia_de_la_Hidroponia/Historia_de_la_Hidroponia.htm ISSN: 2072-568X

CENTA. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova". CENTA Editores. 15 de abril del 2016. Disponible en <http://www.centa.gob.sv/2015/>

Dr. Richard G. Snyder. *Guía para el Cultivo de Tomate Hidropónico en Invernaderos*. [En Línea]. MSUcares Editoriales. Misisipi, EE.UU. 1914. [8 de Mayo, 2008]. Disponible en <http://msucares.com/espanol/pubs/p2419.pdf> ISBN 97-884-9264-1253.

GOGARSA Greenhouses. Editores Gogarsa GOT. 18 de abril, 2016. Disponible en <http://www.gogarsa.com/>

J. M. Durán; N. Retamal; R. Maratíal. (NGS: Un nuevo Sistema de Cultivo Hidropónico). [En Línea]. Ediciones de Horticultura. Alameri, España. 2001. [Octubre 2012]. Disponible en <http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2050.%20XI%20Jornadas%20del%20Grupo%20de%20Horticultura/Sesi%C3%B3n%20V/NGS,%20Un%20nuevo%20sistema%20de%20cultivo%20hidrop%C3%B3nico.pdf> ISBN: 84-607-1212-5.

Naresh K. Malhotra. *Investigación de Mercados. PARTE II "Metodología de la Investigación"*. Quinta Edición, Pearson Educación, México. Editorial Quebecor World. (2008). P76. ISBN: 978-970-26-1185-1.

New Growing System S.A. Editorial Oasis. 18 de Abril, 2016. Disponible en <http://ngsystem.com/es>

Sánchez del C., F. (2002). Descripción general del proceso de producción de jitomate basado en despunte temprano y altas densidades. [Curso internacional de invernadero en 2002].

Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. México. p. B1 - B17.

Ticas Ramos, Jacqueline Verónica; Rosa Luna, Rafael Enrique. Estudio de pre factibilidad para la producción y comercialización del cultivo hidropónico del chile dulce en el Municipio de Apastepeque, San Vicente. (Para optar al grado de Licenciatura en Mercadeo). Antiguo Cuscatlán. Facultad de Economía en la Universidad "Dr. José Matías Delgado". Noviembre del 2007. 17P.

Zelada López, Marta Lidia; Caballero Ramírez, María Margarita. Propuesta de un diseño de sistema de medición y control de cambios cualitativos y cuantitativos en los activos biológicos para mejorar la información contable-financiera, para la toma de decisiones de las empresas dedicadas a la actividad agrícola ubicadas en la zona central del país. (Para optar al grado de Licenciatura en Contaduría Pública). San Salvador, El Salvador. Facultad de Ciencias Económicas en la Universidad Francisco Gavidia. 2004. 2P.

8.2. Referencias Secundarias

BCR: Banco Central de Reserva [En Línea]. Editora Marta de Ramos. Centro de Gobierno, San Salvador, El Salvador. [Marzo 2016]. Disponible en <http://www.bcr.gob.sv/esp/>

CAMBIO CLIMATICO GLOBAL [En Línea]. Editorial Global. México D.F. Enero 1997. [Febrero 2016] Disponible en <http://cambioclimaticoglobal.com/>

Definición ABC: Productos Agrícolas [En Línea]. Edición ABC. México D.F. Octubre 2014. [Enero 2016] Disponible en <http://www.definicionabc.com/economia/produccion-agricola.php>

Definición ABC: Productos Agrícolas [En Línea]. Edición ABC. México D.F. Enero 2007. [Enero 2016] Disponible en <http://www.definicionabc.com/salud/hortalizas.php>

GEOview.info: Zona Franca [En Línea]. Editor L. Chávez Castro. La Libertad, El Salvador. [6 de Abril, 2008]. Disponible en

http://sv.geoview.info/zona_franca_agricolatalcualuyaopico,9170835p

HIDROPONIA [En Línea]. Editado por Juan C. Gilsanz. Montevideo, Uruguay. 2007. [Marzo 2016]. Disponible en http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ad/ad_509.pdf ISSN: 2072-5890

Hortalizas: Selección de Malla [En Línea]. Editado por Fernando Bojórquez. México D.F. 2008. [Noviembre 2015] Disponible en <http://www.hortalizas.com/uncategorized/selecciona-la-malla-adecuada-para-tus-necesidades/>

INFOjardin: Agricultura tradicional [En Línea]. Editor Jesús Morales. España. 2002. [2015] Disponible en <http://www.infojardin.net/glosario/aerobico/agricultura-tradicional.htm>

INTA: ¿Qué es el fenómeno del niño? [En Línea]. Editorial ArgentinaINK. Buenos Aires Argentina. Enero 2008. [Febrero 2016] Disponible en http://climayagua.inta.gob.ar/que_es_el_fenomeno_el_ni%C3%B1o

Métodos, Tipos y Enfoques de Investigación [En Línea]. Colombia. Editor Sandra Janneth Hincapié Gutiérrez. 28 de Enero, 2014. [2016]. Disponible en <http://sanjahingu.blogspot.com/2014/01/metodos-tipos-y-enfoques-de.html>

Oliva, Antonio. *Accesorio y Presupuesto de invernadero hidropónico con sistema NGS*. [Correo Electrónico]. 10 de febrero, 2016. Mensaje dirigido a Zavala, Josué Alberto, Integrante de grupo de proyecto. 12 de febrero, 2016. Departamento de asesoría y Ventas, NGS S.A., España.

QN: ¿Qué es la Automatización? [En Línea]. Editado por QuimiNET. México D.F. Enero 2000. [22 de Febrero, 2008]. Disponible en <http://www.quiminet.com/articulos/que-es-la-automatizacion-27058.htm>

Revista ENVIO, Cultivos hidropónicos: una alternativa para todos [En Línea]. Managua, Nicaragua. Nitlapán Editores.

Mayo 1995. [Diciembre 2013] Disponible en <http://www.envio.org.ni/articulo/1252262-568X>

González, G. (2016). AMERICA LATINA: La Hidroponía va a la Cumbre de la Alimentación | IPS Agencia de Noticias. [En Línea] Ipsnoticias.net. [18 Abril, 2016]. Disponible en: <http://www.ipsnoticias.net/1996/10/america-latina-la-hidroponia-va-a-la-cumbre-de-la-alimentacion/>

Hernández Sampieri, Roberto. "Metodología de la Investigación". Primera Edición. México. Editorial MCGRAW-HILL. Año 1991. p. 118. ISBN 968-422-931-3.

IJCV. [En Línea]. (2016). I J C V Radio Comunicaciones, Productos y Servicios - Sistema de Control de Riego. Disponible en: <http://ijcv.com/riego.html> [18 Abril, 2016]. INFOagro. Agro Editores. 2015. Disponible en http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos.htm

J. Roberto Alvarado A. Arroz - Manejo Tecnológico. Capítulo XI "Sistemas de Monitoreo para Plantas". Primera Edición, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. Editorial Trama Impresores. (2007). P155. Boletín INIA N° 162, 180p.

LA MAYORIA DE PRODUCTORES CULTIVA PARA ALIMENTARSE. La Prensa Gráfica. San Salvador, El Salvador, 2 de Enero del 2016. P 48. (En Sección: Economía).

M. A. Gálvez Huerta; et alt. (2013). Instalaciones y Servicios Técnicos. Madrid: Sección de Instalaciones de Edificios. Escuela Técnica Superior de Arquitectura, U.P.M. ISBN 97-884-9264-1253.

Noticias UCA en Línea. UCA Editores. 13 de Abril del 2007. Disponible en <http://www.uca.edu.sv/virtual/comunica/archivo/abr132007/notas/nota18.htm>

SEQUIA AFECTA EL 75% DE LOS CULTIVOS DE EL SALVADOR. La Prensa Gráfica. San Salvador, El Salvador, 1 de Julio del 2015. P 45. (En Sección: Economía).

