



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN  
INVERNADERO AUTOMATIZADO PARA  
CULTIVOS EN HIDROPONÍA.**

**T E S I S**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

**MECÁNICA-MECATRÓNICA  
P R E S E N T A :**

**YEW ALVA CASTAÑEDA**



**TUTOR:  
DR. ADRIÁN ESPINOSA BAUTISTA**

2011

## **JURADO ASIGNADO**

Presidente: Dr. López Parra Marcelo

Secretario: Dr. Borja Ramírez Vicente

Vocal: Dr. Espinosa Bautista Adrián

1er Suplente Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.

2do Suplente: Cuenca Jiménez Francisco

México – España.

Universidad Nacional Autónoma de México

Universidad de Almería.

**TUTOR DE TESIS**

Dr. Espinosa Bautista Adrián

\_\_\_\_\_

Firma

# ÍNDICE.

Agradecimientos .....	5
Dedicatorias. ....	6
Abreviaturas.....	7
DISEÑO CONCEPTUAL DE UN INVERNADERO AUTOMATIZADO PARA CULTIVOS EN HIDROPONÍA.....	8
Resumen.....	9
Summary .....	9
1.1 INTRODUCCIÓN.....	10
CAPITULO 1 OBJETIVOS.....	12
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
1.2 OBJETIVOS PARTICULARES .....	13
CAPITULO 2 JUSTIFICACIÓN .....	14
2.1 JUSTIFICACIÓN.....	15
CAPITULO3 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE .....	16
3.1 Historia de la agricultura. ....	17
3.2 Biología de las plantas.....	18
3.2.1 Composición de las plantas.....	18
3.2.2 Estímulos de respuesta de las plantas. ....	21
3.3 Tipos de cultivo. Hidroponía. ....	22
3.3.1. Hidroponía como medio de cultivo.....	22
3.3.2. Tipos de hidroponía.....	23
3.3.3 Requerimientos básicos .....	24
3.3.4. Rendimiento.....	24
3.4 El invernadero. ....	25
3.4.1 Definición de invernadero.....	25

3.4.2 Casa Sombra.....	25
3.4.3 Macrotúnel.....	25
3.4.4. Clasificación de invernaderos.....	26
3.4.5. Orientación y transmisión de la luz.....	27
3.4.6. Ventilación.....	27
3.4.7 Material de cubierta.....	27
3.4.8 Ubicación.....	29
3.4.8.1 Veracruz .....	29
3.4.8.2 Tenancingo, Edo. Méx.....	29
3.5 Sistema hidráulico.....	29
3.5.1 Pozo- recolección.....	30
3.5.2 Tratamiento de agua.....	30
3.5.2.1 Planta vertical para el tratamiento de aguas residuales.....	31
3.5.3 Sistema Energético.....	32
3.5.3.1 Energía solar.....	32
3.5.4 Gestión Y Tráfico.....	32
3.5.4.1 Entrada de materias primas.....	32
3.5.4.2 Salida de producción.....	33
3.5.5 Sanidad y buen manejo. Inocuidad agroalimentaria.....	33
3.5.5.1 Normas operativas de higiene.....	34
3.5.5.2 Laboratorio.....	34
3.5.5.3 Control de plagas.....	35
3.5.5.3.1 Método de control químico.....	35
3.5.5.3.2 Método de control biológico.....	35
3.6 Sistema de climatización.....	36
3.6.1 Problema de la climatización.....	36
3.6.2 Variables de la climatización.....	36
3.6.3 Esquema general del sistema de la medida de control en un invernadero.....	39
3.6.3.1 Sensores climáticos.....	39
3.6.3.2 Sensores de temperatura.....	40
3.6.3.3 Sensores de humedad relativa.....	40
3.6.3.4 Sensores de radiación.....	41
3.6.3.5 Sensores de velocidad y dirección del viento.....	41
3.6.3.6 Sensores de concentración de CO <sub>2</sub> .....	42
3.6.3.7 Sensores de lluvia (solo exterior).....	42
3.7 SISTEMA DE FERTIRRIGACIÓN PARA CULTIVO HIDROPÓNICO.....	42
3.7.1 Planteamiento del problema de fertirrigación.....	43
3.7.2 Características de un sistema de fertirrigación NFT.....	44
3.7.3 Variables de control.....	44
3.7.4 Diagrama de operación y control de un sistema de fertirrigación.....	45
3.7.5 Sensores.....	45
3.7.6 Control de fertirrigación.....	46
3.8 SIEMBRA-DESARROLLO-RECOLECCIÓN-EMPAQUE EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UN INVERNADERO.....	46
3.8.1 Siembra.....	47
3.8.2 Desarrollo ó crecimiento por fases.....	47
3.8.3 Cosecha.....	48
3.8.4 Embalaje y trazabilidad.....	48

3.9 Automatización.....	49
<b>CAPITULO 4 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....</b>	<b>51</b>
4.1 INTRODUCCIÓN.....	52
4.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	52
4.3 HIPÓTESIS.....	52
<b>CAPITULO 5 PROPUESTA DE DISEÑO CONCEPTUAL.....</b>	<b>53</b>
5.1 INTRODUCCIÓN.....	54
5.2 METODOLOGÍA.....	54
5.2.1 Aplicación de la metodología.....	56
5.3 ESTUDIO DE DISEÑO EN CAMPO MEDIANTE APLICACIÓN DE ENTREVISTAS Y ENCUESTAS.....	58
5.3.1 Experiencia de investigación, material y aplicación de la metodología en México.....	58
5.3.2 Experiencia de investigación, material y aplicación de la metodología en España.....	60
5.4 PROPUESTA DE DISEÑO CONCEPTUAL DE PLANTA EN BASE A METODOLOGÍA E INVESTIGACIÓN DE CAMPO Y APLICADA.....	63
5.4.1 Planta general de un Invernadero automatizado para cultivos en hidroponía.....	63
5.4.2 ELECCIÓN DE LA ESTRUCTURA PARA EL INVERNADERO.....	66
5.4.2.1 Características y ventajas de un invernadero multitúnel.....	69
5.4.2.2 Estructura y descripción estructural del invernadero multitúnel.....	69
5.4.2.3 Dimensiones permitidas de acuerdo a la Norma Mexicana de Invernaderos.....	70
5.4.2.4 Materiales en la estructura.....	70
5.4.2.5 Materiales de cubierta.....	70
5.4.2.6 Orientación.....	70
5.4.2.7 Ventilación.....	70
5.5 FACTORES EXTRÍNSECOS DE DISEÑO.....	71
5.5.1 Ubicación y topografía.....	71
5.5.2 REQUERIMIENTOS ADICIONALES DE DISEÑO.....	71
5.5.2.1 SISTEMA HIDRÁULICO.....	71
5.5.2.1.1 Planta vertical para el tratamiento de aguas residuales.....	73
5.5.2.2 SISTEMA ENERGÉTICO.....	73
5.5.2.2.1 Energía solar.....	73
5.5.2.3 GESTIÓN Y TRÁFICO.....	74
5.5.2.3.1 Entrada de materias primas.....	74
5.5.2.3.2 Salida de producción.....	74
5.5.2.4 SANIDAD Y BUEN MANEJO.....	74
5.5.2.4.1 Normas operativas de higiene.....	74
5.5.2.4.2 Laboratorio.....	75
5.5.2.4.3 Control de plagas por medio del Método de control biológico.....	75
5.5.2.4.4 Monitoreo y vigilancia.....	75
5.5.3 FACTORES INTRÍNSECOS DE DISEÑO.....	75
5.5.3.1 TIPO DE CULTIVO ELEGIDO Y REQUERIMIENTOS EN LA PROPUESTA HIDROPONÍA.....	76
5.5.3.1.1 Concentración de la solución nutritiva en circulación.....	78
5.5.3.2 SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN.....	79
5.5.3.2.1 Actuadores y control del sistema de climatización.....	79
5.5.3.3 SISTEMA DE FERTIRRIGACIÓN PARA CULTIVO HIDROPÓNICO.....	80
5.5.3.3.1 Equipo de fertirrigación.....	80

5.5.4 PROCESOS AUTOMATIZABLES POR DIVISIÓN EN LA PRODUCCIÓN.....	82
5.5.4.1 SISTEMA DE SIEMBRA-DESARROLLO-RECOLECCIÓN-EMBALAJE. ....	83
5.5.4.1.1 Siembra. ....	84
5.5.4.1.1.1 Procesos automatizables en la etapa de siembra.....	84
5.5.4.1.1.2 Diagrama de operación y control del proceso de llenado de contenedores de una sembradora. ....	84
5.5.4.1.2 Desarrollo ó crecimiento por fases. ....	86
5.5.4.1.2.1 Procesos automatizables en la etapa de crecimiento 1.....	87
5.5.4.1.2.2 Procesos automatizables en la etapa de crecimiento 2.....	87
5.5.4.1.3 Cosecha. ....	88
5.5.4.1.3.1 Procesos automatizables en la etapa de cosecha.....	88
5.5.4.1.4 Embalaje y trazabilidad. ....	89
5.5.4.1.4.1 Procesos automatizables en las etapas de empaque. ....	90
5.5.4.1.4.2Procesos automatizables en la etapa de trazabilidad.....	90
5.5.4.1.5 Automatización. ....	90
5.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PROPUESTA. ....	91
5.7 Inversión de Invernadero. ....	92
CAPITULO 6 DISCUSIÓN.....	94
CAPITULO 7 RESULTADOS Y TRABAJOS FUTUROS. ....	97
RESULTADOS. ....	98
TRABAJOS FUTUROS.....	99
REFLEXION.....	100
CAPITULO 8 CONCLUSIONES. ....	103
FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN. ....	106
ÍNDICE DE FIGURAS. ....	107
ÍNDICE DE TABLAS. ....	109
ANEXOS .....	110
BIBLIOGRAFÍA.....	113

## **AGRADECIMIENTOS.**

Por su participación y apoyo en esta tesis, ni más sincero agradecimiento a las siguientes Instituciones y personas:

Por ser parte de mis raíces:

Al pueblo de México.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Por la ayuda que brindan a la formación de recursos humanos por medio de la educación.

Al CONACYT.

A la Universidad de Almería, España.

Por su apoyo incondicional e infinito amor.

A mi esposo

A mis padres.

A mis hermanas.

## DEDICATORIAS.

Con todo cariño y amor incondicional a mi esposo e Ing. Cuauhtémoc Funes Canizalez por ser mi compañero, fuerza e inspiración.

A mis padres Raymundo Alva y María Asunción Castañeda, por estar siempre conmigo compartiendo su amor y cuidados a cada paso en mi vida.

A mis hermanitas, Nallely, Dzaina y Aleph por ser la unidad conmigo.

A mis asesores, por brindarme su ayuda y guía durante el camino de mi formación y consejo durante la elaboración de este documento.

A Paco y Manuel por haber sido amigos y guías durante mi estancia en la Universidad de Almería, España.

A los compañeros de control y automática de la universidad de Almería, España.

A mis amigos y todos aquellos que se vieron involucrados en la elaboración de este proyecto de investigación.

De manera especial a las personas que colaboraron al responder mis cuestionamientos y que fueron eje fundamental para realizar ésta propuesta de diseño conceptual.

A mis profesores, porque la labor que realizan a diario construye y fortalece el conocimiento de los individuos para madurar en la ciencia y el conocimiento.



***¡GRACIAS!***

**ABREVIATURAS.**

PAR (radiación): Radiación fotosintéticamente activa.

NFT: Nutrient Film Technique.

NGS: New Growing System.

NASA: National Aeronautics and Space Administration.

Morfología: forma externa.

pH: Potencial de Hidrógeno.

PP: Polipropileno.

PET,PEN: Poliéster.

PVC: Cloruro de polivinilo.

PS: Poliestireno.

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono.

H<sub>2</sub>O: Agua.

NO<sub>3</sub>: Nitrato.

NH<sub>4</sub>: Amonio.

K: Potasio.

Ca<sup>2+</sup>: Calcio.

Mg<sup>2+</sup>: Magnesio.

H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>: Fosfato diácido.

HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: Fosfato ácido.

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: Sulfato.

Cl<sup>-</sup>: Cloro.

Fe<sup>3+</sup>: Hierro III.

Fe<sup>2+</sup>: Hierro II.

Mn<sup>2+</sup>: Manganeseo.

H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub>: Borato diácido.

Zn<sup>2+</sup>: Zinc.

Cu<sup>+</sup>: Cobre I.

Cu<sup>2+</sup>: Cobre II.

Ni<sup>2+</sup>: Níquel.

Im. mod.: imagen modificada.

Imag.int.: imagen de internet.

EVOH: Alcohol-vinil-etileno.

SEGOB: Secretaría de Gobernación.

Edo. Méx: Estado de México.

D.F.: Distrito federal.

Territorio Español 504.645 km<sup>2</sup>

Territorio mexicano 1 964 375 km<sup>2</sup>

# DISEÑO CONCEPTUAL DE UN INVERNADERO AUTOMATIZADO PARA CULTIVOS EN HIDROPONÍA.

**Resumen.**

Se puede solucionar la contaminación agroquímica, la variación de precios en el mercado de algunos productos agrícolas, la inestabilidad financiera de grupos campesinos, el aprovechamiento de los recursos naturales y humanos que se requieren para actividades agrícolas, entre otros, con el uso adecuado de la tecnología y automatización de invernaderos, además de realizar una propuesta de desarrollo socioeconómico para el beneficio de la población consumidora, a quienes se les podría garantizar que el producto obtenido bajo cultivo hidropónico protegido puede ser orgánico, ecológico y que promueve el mejoramiento del nivel socioeconómico de las personas que se dedican a esta actividad procurando el bienestar social y nacional con el uso racional de invernaderos automatizados.

Se da a conocer una propuesta general de diseño conceptual de un invernadero automatizado para cultivos hidropónicos, las condiciones y requerimientos técnicos, metodológicos y científicos que se requerirán para un adecuado funcionamiento, bajo la finalidad de protección ecológica a la naturaleza y buscando la sustentabilidad a largo plazo para subsanar los problemas del campo debido a la continua variación climática para obtener cultivos saludables y de calidad inmejorable, buscando el compromiso de las empresas que se dedican a la agricultura a formar comunidades de desarrollo agronómico y que compartan las actividades y sus resultados equitativamente.

**SUMMARY.**

You can resolve the agrochemical pollution, changes in market prices of some agricultural products, financial instability of peasant groups, the use of natural and human resources required for agricultural activities, among others, with the proper use automation technology and greenhouses, in addition to an economic development proposal for the benefit of the consumer population, whom they could ensure that the product obtained under protected hydroponics can be organic, ecological and promotes improvement in the standard socioeconomic status of people who engage in this activity seeking the national welfare and wise use of automated greenhouses. It tells you a comprehensive proposal for conceptual design of an automated hydroponic greenhouse, conditions and technical requirements, scientific methodology and will be required for proper operation, under the objective of protecting nature and ecological sustainability in the long search period to remedy the problems of the field due to continued climate change for healthy crops and of superb quality, seeking the commitment of companies engaged in agricultural development to form communities and share agronomic activities and their results fairly.

## 1.1 INTRODUCCIÓN.

El desarrollo de ésta tesis, lleva al lector a un viaje través del pasado de la agricultura en México; pretendiendo ubicarlo dentro de un panorama agrícola que se vive en el presente y realizar una propuesta a lo que podría ser el futuro del campo mexicano.

A lo largo de este documento se narra el motivo que propició el desarrollo del proyecto de investigación para el diseño conceptual de un invernadero automatizado para cultivos hidropónicos teniendo como base la inocuidad en los procesos de cultivo agroalimentario; pudiendo ser la base y sustento del mejoramiento y trazabilidad de los productos para que el consumidor pueda tener la seguridad y garantía que lo que consume es el producto de procesos que han sido desarrollados bajo normas y técnicas agrícolas que no repercutirá ni a corto, a mediano o largo plazo a su salud.

Teniendo en la mira el objetivo de la investigación que es llegar a un diseño conceptual de un invernadero automatizado para cultivos en hidroponía, se sigue el diagrama de diseño conceptual propuesto por Ulman[4], del cual se hablará en la sección 5.2.

Una vez que se ha justificado este trabajo de investigación, se pasará al capítulo 3 que habla de los antecedentes y el estado del arte que abarca desde la historia de la agricultura, pasando por la biología de las plantas, la hidroponía como medio de cultivo hasta llegar al cultivo protegido bajo invernadero; donde se analizan cada una de las partes que lo conforman adicionando algunos conceptos sobre sistemas hidráulico, sistema energético, sanidad y buen manejo, sistema de climatización, sistemas de fertirrigación, división de los procesos de producción dentro de un invernadero y automatización; los cuales, a pesar de existir una infinidad de información únicamente se mencionan los puntos más relevantes para este tema de investigación brindando referencias bibliográficas para cada una de las secciones.

La temática que se proporciona en el capítulo 3 influirá de manera sustancial para realizar los capítulos 4 y 5.

En el capítulo 4 se encuentra el planteamiento del problema y las hipótesis que serán consideradas para realizar la propuesta de diseño conceptual en el capítulo 5; donde se inicia con la metodología que ha sido utilizada en cada una de las secciones en las que se ha dividido la propuesta de diseño conceptual; así como la influencia de otras herramientas y metodologías como parte del proceso de diseño. Algunas de estas son mencionadas, otras se encuentran de manera intuitiva en el cuerpo del documento; sin embargo, pueden ser verificadas por medio de la bibliografía citada al final del documento.

La sección 5.3 incluye dos estudios de diseño en campo mediante la aplicación del entrevistas y encuestas en México y España.

En la sección 5.4.1 se presenta la planta general propuesta de un invernadero automatizado para cultivos en hidroponía, la cual es recomendada para cubrir el ciclo biológico natural para el cultivo agrícola.

A partir de la sección 5.4.2 hasta la 5.7 se aportan algunos detalles de la propuesta y el estudio del invernadero; siendo necesario dividirlo para su análisis.

El conjunto de las aportaciones obtenidas a lo largo del documento original de la sección 5.4.1 que aunque pareciera no considerar ningún tipo de automatismo; en realidad, éste deberá especificarse en un diseño a detalle y no en un diseño conceptual; sin embargo, se aportan facilidades para la identificación de recursos que ayuden a su selección mediante las referencias bibliográficas y mesográficas que se consideran en cada uno de los temas propuestos.

Finalmente, se discute, reflexiona; se aportan resultados, conclusiones, líneas de investigación propuestas y trabajos futuros.

Se espera que lo aprendido a lo largo del tiempo que duró este tema de investigación, cuyo objeto es obtener el grado de maestro en ingeniería, puedan contribuir en trabajos futuros de invernaderos automatizados para cultivos hidropónicos en México y en otros países; producto de la experiencia obtenida durante la estancia de investigación en la Estación Experimental de Cajamar, la Universidad de Almería, España y las investigaciones que se realizaron en Xochimilco, Villaguerreo y Tenancingo, México; para concatenar los aciertos, corregir los errores y proyectarse hacia el futuro de los invernaderos automatizados y que lejos de ser un problema ecológico, económico, político y/o social, contribuya a la implementación y mejora de la investigación y la automatización del campo en la medida que así lo disponga la región de aplicación.

## CAPITULO 1. OBJETIVOS.

*"Cuanto más alto coloque el hombre su meta, tanto más crecerá".*

*Friederich Von Schille.*

**1.1.OBJETIVO GENERAL.**

- Realizar la propuesta de diseño conceptual para un invernadero automatizado para cultivos hidropónicos.

**1.2.OBJETIVOS PARTICULARES.**

- Investigar los diferentes tipos de invernadero.
- Conocer el funcionamiento de un invernadero automatizado.
- Investigar los factores que intervienen en el diseño de un invernadero automatizado.
- Conocer el cultivo hidropónico como técnica para la obtención de productos agroalimentarios y sus repercusiones.
- Generar propuestas alternativas de diseño.
- Seleccionar la mejor opción de un invernadero.
- Desarrollar a nivel conceptual el invernadero.
- Identificar algunos procesos automatizables para la producción dentro del invernadero.

## CAPITULO 2. JUSTIFICACIÓN.

*"No resolver los problemas es  
garantizar un problema mayor".*

*Joaquín Alumnio.*

### 2.1. JUSTIFICACIÓN.

A través de la automatización de los procesos productivos en invernaderos, se puede incrementar la seguridad en la sanidad y la calidad de los productos agroalimentarios, sin que esto represente un problema para el agricultor; sería más fácil incrementar los niveles de producción agrícola para subsanar la demanda de recursos que los pobladores requieren, así como garantizar una confiabilidad y trazabilidad de los productos agroalimentarios facilitando la exportación de productos en el mundo. Como consecuencia, se podrían estabilizar los precios de las cosechas cultivadas dentro de invernaderos a lo largo del año debido a que no influye el clima externo directamente sobre los cultivos.

La propuesta de diseño conceptual de un invernadero automatizado para cultivos hidropónicos busca la manera de:

- A) Incrementar los niveles de producción agrícola.
- B) Subsanan la demanda del mercado de consumo.
- C) Otorgar la seguridad de sanidad y calidad de los productos agroalimentarios.
- D) Facilitar la exportación de productos en el mundo y el mercado interno.
- E) Estabilidad de los precios de la cosecha durante el año.
- F) Seguridad y confianza del productor y consumidor.
- G) conseguir un aumento de la producción agrícola teniendo un bajo impacto ecológico.
- H) Aumentar el nivel de automatización según los requerimientos locales del sistema y las necesidades del productor.

Evitando que la automatización lejos de ser una aliada se vuelva un problema costoso y a su vez que puedan adquirirse productos saludables, con calidad y naturales.

Se requiere realizar una propuesta de diseño de invernaderos para su aplicación, primero a prueba en la localidad de Tenancingo, Estado de México y posteriormente establecer una planta en el Estado de Veracruz, México.

## CAPITULO 3. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.

*"La Historia es el testigo de los tiempos, la antorcha de la verdad, la vida de la memoria, el maestro de la vida, el mensajero de la antigüedad."*

*Cern.*

### 3.1. Historia de la agricultura.

En la época prehispánica la forma de cultivo era ceremonial, se hacía uso de coa y se empleaban métodos como el de chinampa, Fig. 1, y roza y quema que desgastaba rápidamente las propiedades nutritivas de los suelos; por lo cual los pobladores solo podían pasar un par de años en esos territorios viéndose obligados a buscar nuevos campos para sembrar; lo cual provocaba periodos de hambruna a sus pobladores[3].

Tras la conquista se implantaron nuevas técnicas de siembra que incluyen el uso de yunta, abono animal y riego por inundación, entre otros; a pesar del incremento sustancial en la producción, ésta no fue suficiente para cubrir los requerimientos básicos; todo esto ha continuado a lo largo de los tiempos, salvo en la época de la segunda guerra mundial cuando la agricultura logró niveles autosuficientes y con posibilidades de exportación hacia Estados Unidos de Norteamérica debido a la situación bélica que vivía.

Por otro lado, la posesión de tierras era comunal, llegando al latifundio en la época virreinal y pasando por la distribución ejidal y por parcelas bajo el gobierno de Plutarco Elías Calles. El reparto colectivo, lejos de beneficiar al campo implicó un deterioro debido a la falta de educación no en el manejo de la tierra, sino, en la manera de obtener semilla y comercializar sus productos a un precio justo; aunado a toda esta serie de problemas socioeconómicos y políticos, por si fuera poco, habría que enfrentarse a las variantes condiciones climatológicas y atmosféricas.

En los años 40,50 y 60's se impulsó la automatización del campo por medio de la introducción de tractores para el cultivo, lo cual contribuyó en un aumento en la producción por el apoyo a la industria azucarera y harinera, principalmente; sin embargo, esto no ha mejorado las condiciones socioeconómicas en las que se ubican a los agricultores que han llegado a ser hasta marginados por su actividad y no logran mejorar ni su calidad de vida y mucho menos garantizar un producto libre de agentes contaminantes y sanidad en las diferentes etapas de producción agroalimentaria [1] [2] [INT6] [INT7] [INT8] [INT9] [INT10] [INT11] [INT12] [INT13] [INT14] [INT15].

Aún con la tecnología existente en pleno siglo XXI y producto de la globalización, en México se viven problemas de hambruna; la más reciente la suscitada en Durango en el mes de octubre de 2011, según los hechos que narran los noticiarios nacionales; sin embargo, también es cierto que lo que viene a revolucionar la agricultura es el uso de la agricultura protegida y la aparición de nuevas metodologías de cultivo que puedan permitir una mayor confiabilidad al consumidor. Que los productos que consumen actualmente vuelvan a ser orgánicos, o bien, que permitan garantizar la libertad de agentes contaminantes y nocivos para la salud; al mismo tiempo que los precios de las cosechas puedan ser más estables y equilibrar las ganancias y calidad de vida para los agricultores.

En la última década la tecnología ha evolucionado de manera notoria, facilitando la vida del ser humano. Dentro de los avances tecnológicos recientes se encuentra la realización de sistemas de control para dispositivos utilizados en la industria del campo y el hogar. El campo es una actividad vital para la humanidad, ya que de ésta se obtienen los recursos necesarios para la alimentación y por tanto es importante la inversión para el desarrollo de invernaderos como práctica importante de la actividad del campo basados en estrategias y métodos de operación, tales como sistemas automatizados para riego, recolección, siembra, administración de nutrientes, etc., que les permiten



FIG 1 Uso de chinampas en la agricultura Mexica[INT4].

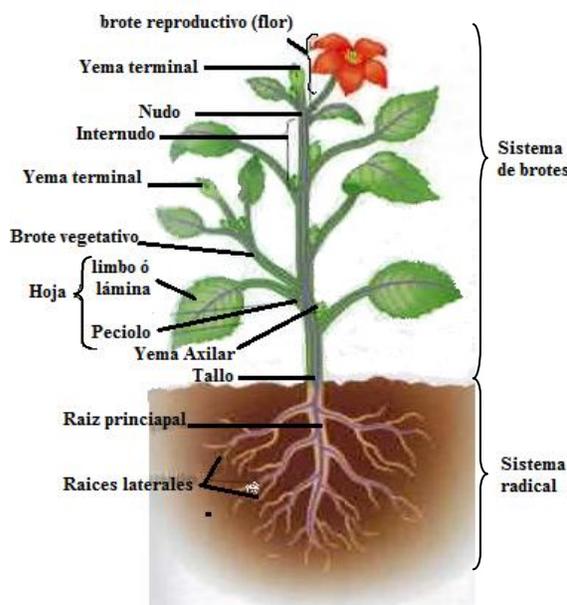
tener ciertas ventajas sobre la producción a campo abierto como la solución a problemas de escasez de tierra y malas condiciones climatológicas en la producción de alimentos agrícolas.

### 3.2. Biología de las plantas.

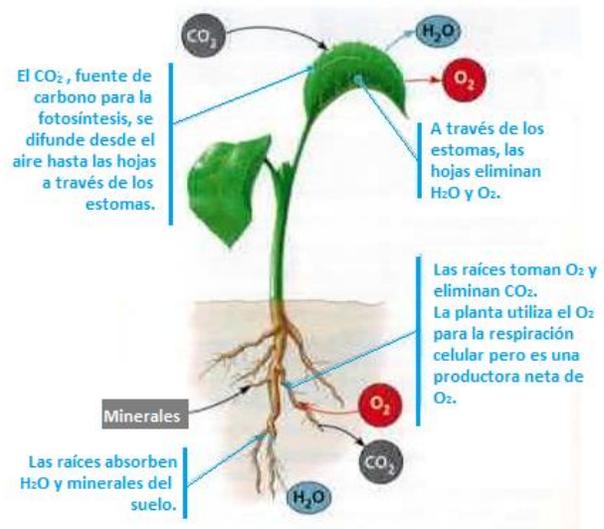
Las plantas adoptan su forma según los factores genéticos y ambientales, por lo que no existen dos plantas iguales; aunque su morfología no varía mucho en plantas de una misma especie.

La morfología general de las plantas vasculares se observa en la Fig.2 , Las plantas deben absorber agua y minerales debajo de la tierra, sistema radical y  $\text{CO}_2$  y luz por encima de ésta. La respuesta evolutiva a esta separación de recursos fue el desarrollo de tres órganos básicos: raíces, tallos y hojas; organizados en un sistema radical y en un sistema de brotes (tallos y hojas).

Las raíces no son fotosintética si no podrían subsistir sin los nutrientes orgánicos que recibe el sistema de brotes. Por otro lado, el sistema de brotes depende del agua y de los minerales que absorben las raíces del suelo[15][16][17].



**FIG 2** Esquema de planta eudicotiledónea. El cuerpo de la planta se divide en sistema radicular y un sistema de brotes, que están conectados entre sí por tejido vascular, es continuo a lo largo de toda la planta[17].



**FIG 3** Captación de nutrientes. A partir del  $\text{CO}_2$ , el  $\text{O}_2$ , el  $\text{H}_2\text{O}$  y los minerales, el vegetal produce todas las sustancias orgánicas[17].

#### 3.2.1. Composición de las plantas.

Aristóteles, Jan Baptista van Helmont y Stephen Hales realizaron hipótesis sobre la forma en que las plantas obtenían sus nutrientes; de alguna manera coincidieron puesto que el suelo, el agua y el aire contribuyen al crecimiento de las plantas, fig. 3.

Las plantas extraen nutrientes minerales del suelo, elementos químicos esenciales, en forma de iones inorgánicos. Nutrientes minerales no aumentan mucho la masa total de una planta, por ello, según Campbell la planta es de 80-90% agua; aunque las sustancias orgánicas ocupan el 96% del peso seco y las sustancias inorgánicas el 4% restante[17]; tendencias actuales en el ámbito de la hidroponía

señalan que las plantas están conformadas por 95% agua, 4% carbono y 1% minerales, fig. 4, de los cuales se distribuyen según la fig. 5,[8].

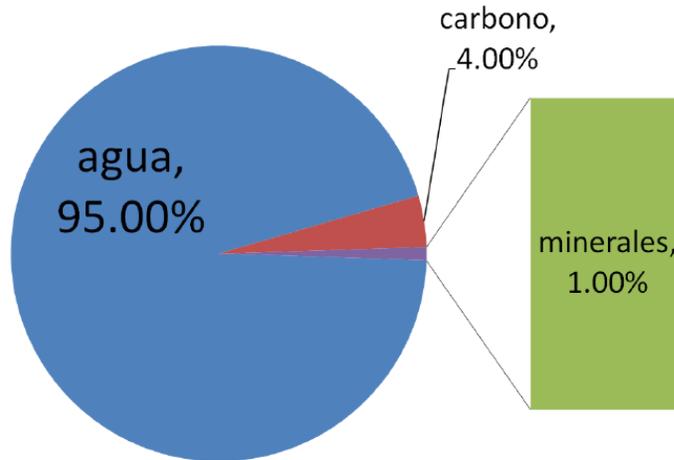


FIG 4 Composición de las plantas[8].

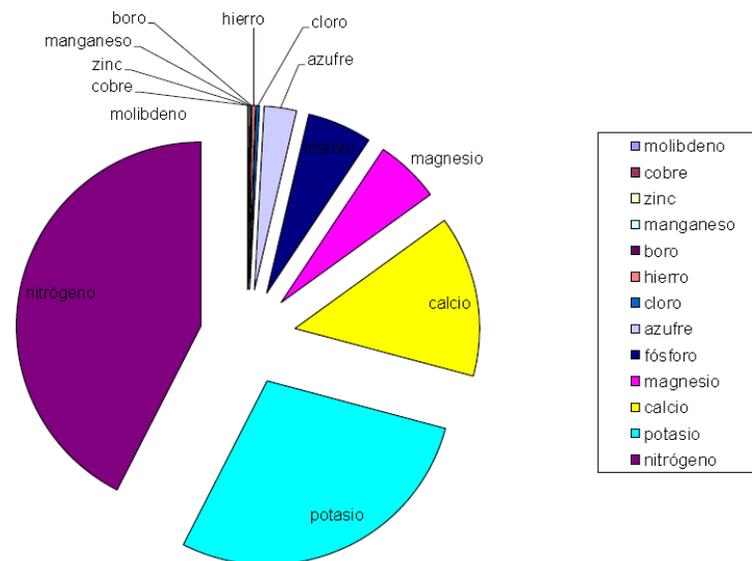


FIG 5 Parte mineral de las plantas[8].

Aunque se han identificado más de 50 elementos químicos entre las sustancias inorgánicas de las plantas, no todos ellos son esenciales. Un elemento químico se considera un elemento esencial cuando es necesario para que la planta completa su ciclo de vida y produzca una nueva generación para determinar cuáles son los elementos químicos esenciales, los investigadores utilizan cultivos hidropónicos; estos estudios han ayudado a identificar 17 elementos esenciales requeridos en todas las plantas, tabla1.

Nueve de los elementos esenciales se denominan macro nutrientes, por las plantas necesitan en cantidades relativamente grandes. Seis de ellos son los principales componentes de los compuestos orgánicos que forman la estructura de una planta: carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo y azufre. Los otros tres macro nutrientes son potasio, calcio y magnesio.

Los ocho elementos esenciales restantes se conocen como micro nutrientes, pues se necesitan en cantidades muy pequeñas (cloro, hierro, manganeso, boro, zinc, cobre, níquel y molibdeno); éstos funcionan como cofactores, componentes no proteicos que intervienen en las reacciones enzimática

y ante cualquier deficiencia de nutrientes, se visualizará en las plantas los síntomas por la deficiencia de éstos[16][17][18].

**Tabla 1 Elementos esenciales de las plantas.**

ELEMENTO	FORMA DISPONIBLE PARA LAS PLANTAS	MASA DE LOS TEJIDOS SECOS	FUNCIONES PRINCIPALES
<b>MACRONUTRIENTES</b>			
Carbono	CO <sub>2</sub>	45%	Componente principal de los compuestos orgánicos vegetales.
Oxígeno	CO <sub>2</sub>	45%	Componente principal de los compuestos orgánicos vegetales.
Hidrógeno	HO <sub>2</sub>	6%	Componente principal de los compuestos orgánicos vegetales.
Nitrógeno	NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub>	1.5%	Componente de ácidos nucleicos, proteínas, hormonas, clorofila, coenzimas.
Potasio	K	1.0%	Cofactor que participa en la síntesis de proteínas; principal soluto necesario para el equilibrio de agua; funcionamiento de los estomas.
Calcio	Ca <sup>2+</sup>	0.5%	Importante para la formación y estabilidad de las paredes celulares y para el mantenimiento de la estructura y permeabilidad de las membranas; activa a algunas enzimas; regula muchas respuestas de las células a los estímulos.
Magnesio	Mg <sup>2+</sup>	0.2%	Componente de la clorofila; activa muchas enzimas.
Fósforo	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.2%	Componente de los ácido nucleico, fosfolípidos, ATP, varias coenzimas.
Azufre	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.1%	Componente de proteínas, coenzimas.
<b>MICRONUTRIENTES</b>			
Cloro	Cl <sup>-</sup>	0.01%	Necesario para la fotólisis del agua en la fotosíntesis, funciona en el equilibrio del agua.
Hierro	Fe <sup>3+</sup> , Fe <sup>2+</sup>	0.01%	Componente de los citocromos; activa a algunas enzimas.
Manganeso	Mn <sup>2+</sup>	0.005%	Activa la formación de aminoácidos; activa algunas enzimas; necesario para la fotólisis del agua en la fotosíntesis.
Boro	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>	0.002%	Cofactor en la síntesis de clorofila; puede participar en el transporte de hidratos de carbono y en la síntesis de ácidos nucleicos, desempeña un papel en el funcionamiento de la pared celular.
Zinc	Zn <sup>2+</sup>	0.002%	Activo en la formación de la clorofila; activa a algunas enzimas.
Cobre	Cu <sup>+</sup> , Cu <sup>2+</sup>	< 0.001%	Componente de muchas enzimas de reacciones redox y de biosíntesis de lignina.
Níquel	Ni <sup>2+</sup>	< 0.001%	Cofactor de una enzima que funciona en el metabolismo del nitrógeno.
Molibdeno	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	< 0.0001%	Esencial en la relación simbiótica con bacterias picadoras de nitrógeno; cofactor que funciona en la reducción de nitrato.

### 3.2.2. Estímulos de respuesta de las plantas.

La luz es tan importante en la vida de una planta como la respuesta que presenta ante otros estímulos ambientales con los que se enfrenta, estos son la gravedad, los estímulos mecánicos, estrés ambiental (estrés hídrico, inundación, salinidad, estrés por calor, frío)[17].

La energía que requieren las plantas del sol está determinada por la radiación PAR; siendo tan solo un segmento dentro del espectro de luz, fig. 6.

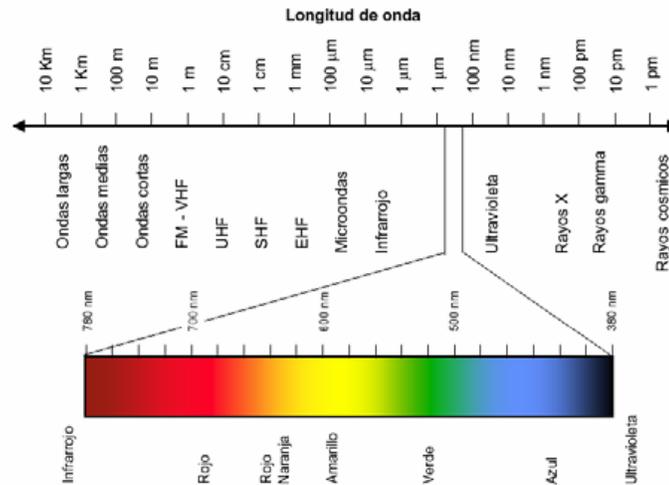


FIG 6 Espectro de radiación PAR (Photosintetically Active Radiation)[17][16][45]

Para determinar la longitud de onda que es más eficaz para impulsar la fotosíntesis, se llevaron a cabo tres pruebas. La primera fue para determinar el espectro de absorción, donde las tres curvas muestran las longitudes de onda de la luz mejor absorbidas por tres pigmentos de cloroplastos, fig. 7 a); el gráfico de la fig. 7 b) es para comprobar el espectro de acción, donde se muestra la tasa de la fotosíntesis frente a la longitud de onda; el espectro de acción resultante se asemeja al espectro de absorción de la clorofila a, pero no coincide exactamente. Esto se debe en parte a la absorción de

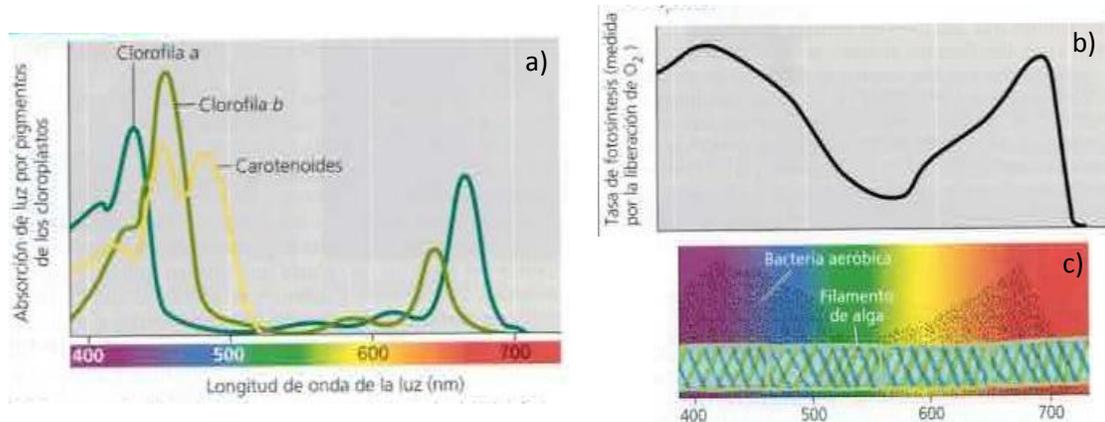
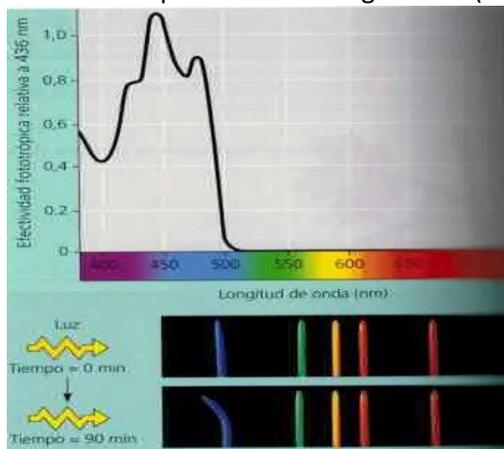


FIG 7 Experimentos para determinar la longitud de onda más eficaz para impulsar la fotosíntesis. a) Espectro de absorción; b) Espectro de acción; c) Experimento de Engelmann[17].  
la luz por parte de pigmentos accesorios como la clorofila b y los carotenoides.

En cuanto al Experimento de Engelmann (1883), fig. 7 c), T.W.E. iluminó un alga filamentosa con luz que había pasado a través de un prisma y expuso diferentes segmentos de alta a diferentes longitudes de onda.



**FIG 8 Experimento para determinar la longitud de onda que estimula la inclinación fototrófica hacia la luz[17].**

Utilizó una bacteria aeróbica, que se concentran cerca de una fuente de oxígeno, para determinar qué segmentos de huelga estaban liberando la mayor parte del  $O_2$  y, por tanto, fotosintetizando más. La bacteria se congregó en mayor número alrededor de las partes del alma iluminada con la luz violeta- azul o luz roja.

Lo que concluye estas investigaciones [17], pag. 802, es que la luz en las proporciones violeta de un azul y roja del espectro es la más efectiva para impulsar la fotosíntesis, además de estimular la inclinación fototrófica hacia la luz debido a futuros sectores sensibles a la luz azul y violeta, en particular a la azul, fig.8.

### 3.3. Tipos de cultivo. Hidroponía.

Existen diferentes técnicas y prácticas de cultivos, algunos de ellos conocidos como tradicionales (roza, terrazas, chinampas) y otros tantos que han surgido con la aparición de máquinas que ayudan al hombre a realizar las funciones de agricultura; sin embargo algunos de estos han tenido un impacto ecológico negativo y han propiciado que se pierdan extensos territorios de tierra dedicados al cultivo. La hidroponía es una técnica que puede ser prometedora pudiendo conjugar las prácticas agrícolas tradicionales con la tecnología del presente dando una oportunidad para disminuir la contaminación agrícola incrementando la calidad y obtención de productos para consumo humano, tanto local como internacional.

La hidroponía como medio de cultivo comenzó su difusión desde la guerra y ha sido explotada por numerosos países, no obstante las referencias provienen en muchos casos de datos antiguos.

La hidroponía puede encontrarse en países como Estados Unidos de Norte América, Sudamérica e islas del Caribe, Extremo Oriente, África, Israel, en Europa occidental Inglaterra, Holanda, Alemania, Bélgica, Francia, Italia, Suiza, Dinamarca, Suecia, Rusia y México, principalmente; esto ha sido debido a las condiciones climatológicas y a la necesidad a la que enfrentan estos países, por ejemplo en el norte de México en las ciudades de Sonora, Saltillo, Chihuahua, Coahuila y Monterrey es donde ha tenido mayor auge por ser zonas áridas o semiáridas; actualmente está llegando a la parte centro y sur de México las cuales tienen mejores condiciones climáticas y para las cuales no sería necesario un alto grado de automatización para estas regiones[30].

#### 3.3.1. Hidroponía como medio de cultivo.

Hidroponía es una palabra derivada del griego Hydro-agua y Ponos -labor o trabajo; por lo cual, es el cultivo de plantas en soluciones acuosas, con diferentes tipos de sustratos como soporte de la planta; éstos pueden ser naturales o sintéticos, por ejemplo grava, arenas, piedra pómez, aserrines, arcillas expansivas, carbones, cascarilla de arroz, etc., a los cuales se les añade una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales necesarios para el normal crecimiento y desarrollo de la planta.

La función principal de un sistema hidropónico es la de alimentar a la planta de manera controlada y servirle de soporte durante todo su desarrollo. Los nutrientes llegan a las raíces y son absorbidos

directamente por ellas; a diferencia de los métodos convencionales de producción tiene grandes ventajas algunas de ellas, según Resh (1997), Sánchez del Castillo y Escalante Rebolledo (1988) son [30][33]:

- a) Balance ideal entre aire, agua y nutrientes, en este método los nutrientes se proporcionan a la planta el agua, listos para ser asimilados en una forma balanceada y con la presión osmótica adecuada.
- b) No necesita fertilizantes ni pesticidas, por ser un ambiente controlado tanto en nutrientes como en plagas.
- c) Mayor rendimiento, pues al tener alto índice de nutrientes se pueden acomodar una mayor población sin que esto afecte la asimilación de nutrientes.
- d) Gran posibilidad de cultivar repetidamente la misma variedad de planta.
- e) Mayor precocidad en los cultivos, puesto que maduran más rápido que en un cultivo convencional.
- f) Mayor uniformidad en la población, pues florecen y maduran al mismo tiempo, lo cual es de gran importancia al momento de sacar los productos al mercado.
- g) Se requiere un espacio mucho menor para poder producir el mismo rendimiento que en el suelo.
- h) Gran ahorro en el consumo de agua, puesto que se recircula el agua y se usan métodos impermeables.

### 3.3.2. Tipos de hidroponía.

Se divide en 3 principalmente en:

- a. **Cultivo en sustrato (raíces en medio sólido):** parecida al cultivo tradicional en tierra, el sustrato sostiene las plantas y permite que tengan humedad suficiente y que la raíz expanda, se puede adaptar cualquier tipo de cultivo.
- b. **Hidrocultivo (raíces en agua):** la planta de sumergida en solución nutritiva. Requiere oxigenación. Se utilizan placas de poliestireno para sostener las plantas, utilizado principalmente en cultivos de lechuga, hierbas aromáticas, etc.
- c. **Aeroponía (raíces en aire):**
  - Nutrient Film Technique (NFT): por medio de una bomba se proporciona la solución nutritiva a las plantas a través de un tubo en el que se colocan varios recipientes.
  - New Growing System (NGS): se caracteriza por la ausencia de sustrato, las raíces se desarrollan en una solución nutritiva recirculante en circuito cerrado, fig.9.



FIG 9 Sistema NGS, imag. int., 2011.

El sistema aprovecha el 100% [32] de agua y la solución nutritiva, discurre por el interior de un conjunto de láminas de polietileno superpuestas en forma de V de tal manera que la solución nutritiva recorre un tramo más o menos largo y cae a la lámina siguiente a través de agujeros dispuestos en su parte inferior.

Un sistema hidropónicos promueve [27] [30] [31] [32] [83]:

- Precocidad de los cultivos, calidad, rendimiento.
- No precisa de sustratos, es económico y fácil de instalar.
- Permite altas producciones y excelente calidad.
- Se ahorra agua y nutrientes.

- Si se trabaja con calefacción de la solución nutritiva mejora la asimilación de nutrientes.
- Permite inspección rápida de la raíz.
- Se logra un proceso de producción limpio.
- Permite cambio de cultivo con gran rapidez.
- Se adapta a cualquier tipo de cultivo.

### 3.3.3. Requerimientos básicos.

Los componentes y materiales de un sistema "NFT"

El sistema básico "NFT" se constituye de los siguientes elementos principales, fig.10 [8] [24] [27] [28] [29] [30]:

- ✦ Tanque colector.
- ✦ Canales de cultivo.
- ✦ Bomba.
- ✦ Red de distribución.
- ✦ Tubería colectora.
- ✦ Contenedores.
- ✦ Soportes.

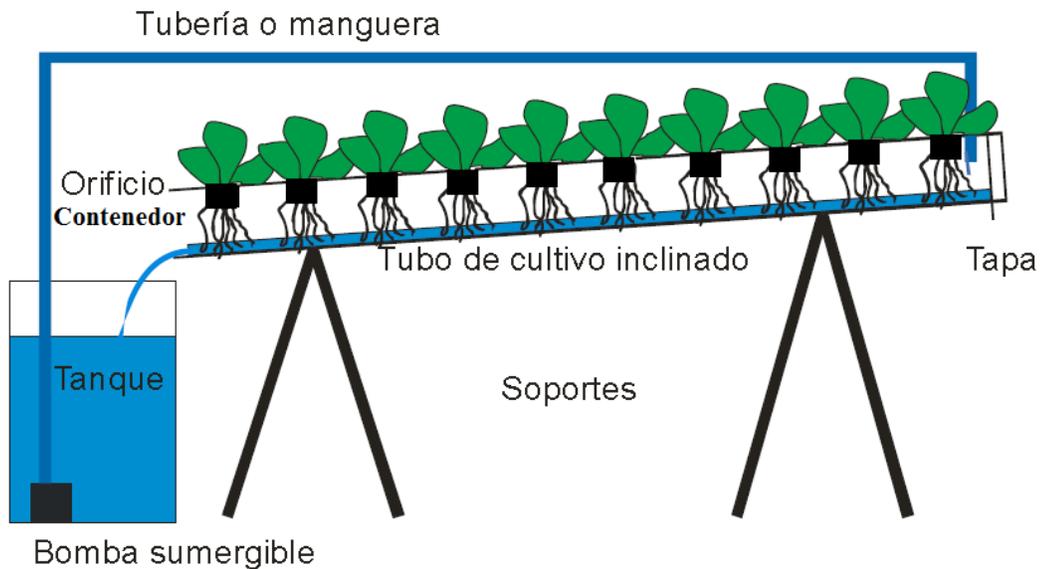


FIG 10 Componentes de un sistema NFT (Im. mod.[8]).

### 3.3.4. Rendimiento.

La hidroponía reporta un incremento significativo en la producción de hortalizas, por ejemplo en el caso del lechuga, de manera tradicional en 1 m<sup>2</sup> pueden obtenerse 10 plantas tres veces al año, mientras que en hidroponía se pueden obtener hasta 27 plantas por metro cuadrado 10 veces al año. Comparativamente se muestra en tabla 2 el rendimiento de cultivos en toneladas por hectárea por cosecha[25].

Tabla 2 Rendimiento de cultivos.

Rendimiento de cultivos (ton/ha/cosecha)		
Cultivo	Suelo	Hidroponía
Jitomate	30 -40	400 -600
Pepino	10 -30	100 -200
Zanahoria	15 -20	55 -75
Remolacha	56	105
Papa	25 -40	120
Chile	20-30	60-40

### 3.4.El invernadero.

#### 3.4.1. Definición de invernadero.

Es una construcción agrícola de estructura metálica, usada para el cultivo y/o protección de plantas, con cubierta de película plástica traslúcida que no permite el paso de la lluvia al interior y que tiene por objetivo reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas establecidas en su interior, con cierta independencia del medio exterior y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de las personas en el interior, ejemplos de estos en las figuras 11 y12,[23][22][80][INT17].



FIG 11 Ejemplo de un invernadero, Villa guerrero, Edo., Mex.



FIG 12 Ejemplo de un invernadero multitúnel, Almería, España.

#### 3.4.2. Casa Sombra.

Estructura metálica cubierta con malla plástica, que permite la entrada del agua de lluvia al interior, empleada para el cultivo y/o protección de plantas, de los insectos, plagas y granizo, la cual optimiza la trasmisión de radiación solar y algunas condiciones climatológicas para mejorar el entorno del cultivo y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de las personas en su interior[22].



FIG 13 Macrotúnel en el Estado de México.

#### 3.4.3. Macrotúnel.

Estructura metálica, con una cubierta de película traslúcida, empleada para el cultivo y protección de plantas, que no tiene las características apropiadas en

ancho y altura al canal para ser considerada como invernadero, pero que permite que las personas trabajen en su interior, fig. 13, [23][24].

#### 3.4.4. Clasificación de invernaderos.

Clasificación de los Invernaderos:

**Clase A:** Estructuras de Invernaderos unitarios o en batería.

**Clase B:** Estructuras tipo Casa-Sombra y Macro túneles.

En ambos tipos el período mínimo de vida útil de la estructura usualmente es de 10 Años. Los invernaderos también se pueden clasificar por sus elementos constructivos[21][22]:

##### 3.4.4.1. Por su perfil externo.

- Parra, “plano”.
- Capilla { Simple { A dos aguas.  
Doble { A un agua.
- Diente de sierra { Varios dientes.  
Un diente.
- Parral “raspa y amagado” { Simétrico.  
Asimétrico.
- Túnel o semicilíndrico.
- Semielíptico.
- Asimétrico.

##### 3.4.4.2. Según su fijación o movilidad.

##### 3.4.4.3. Por el material de cubierta.

- Lámina flexible { Polietileno (PE)  
Copolímero.  
Policloruro de vinilo.  
Polipropileno.
- Placa semirígida { Policarbonato.  
Poliéster.  
Policloruro de vinilo.  
Polimetacrilato de vinilo.
- Rígido { Cristal.

##### 3.4.4.4. Según el material de la estructura.

- De madera.
- De palos y alambre (“parral”)
- Metálica { De perfil en ángulo.  
Detuvo circular o cuadrangular.  
De hierro redondo o cabilla.
- De hormigón.

### 3.4.5. Orientación y transmisión de la luz.

La orientación y transmisión de la luz es un criterio importante debido a que es uno de los factores principales que ayudan a las plantas a descomponer los nutrientes por medio de la radiación PAR.

La luz y el viento son factores determinantes de la orientación que hay que dar al invernadero, el viento puede ser dominado reforzando el anclaje del invernadero y con la colocación de corta vientos (en algunos casos se utiliza una valla de árboles), sin embargo la orientación determinará si se recibe mayor luminosidad o bien se reparte uniformemente dentro del invernadero, fig. 14.

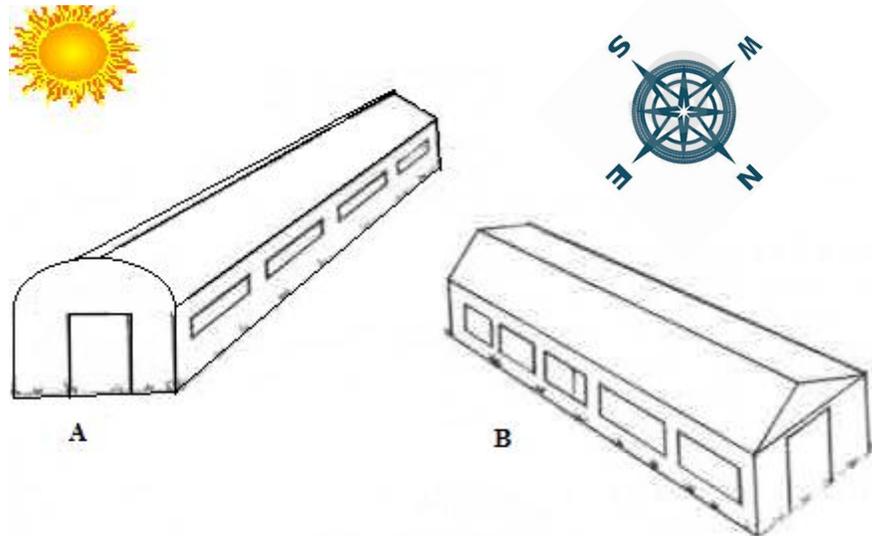


FIG 14 En la orientación A, el invernadero recibe mayor luminosidad que en ninguna otra orientación. En el caso B, la luz se reparte más uniformemente dentro del invernadero. Mod[21].

En casos cuando la radiación no es suficiente se debe considerar el uso de lámparas de vapor de sodio de alta presión con 400-450W de potencia unitaria (se colocan entre 1.50-2.00m. de altura, con cobertura de 5.00 – 10.00m.<sup>2</sup> por lámpara) o en su caso, ajustar las nuevas tecnologías con respecto a la radiación PAR necesaria.

### 3.4.6. Ventilación.

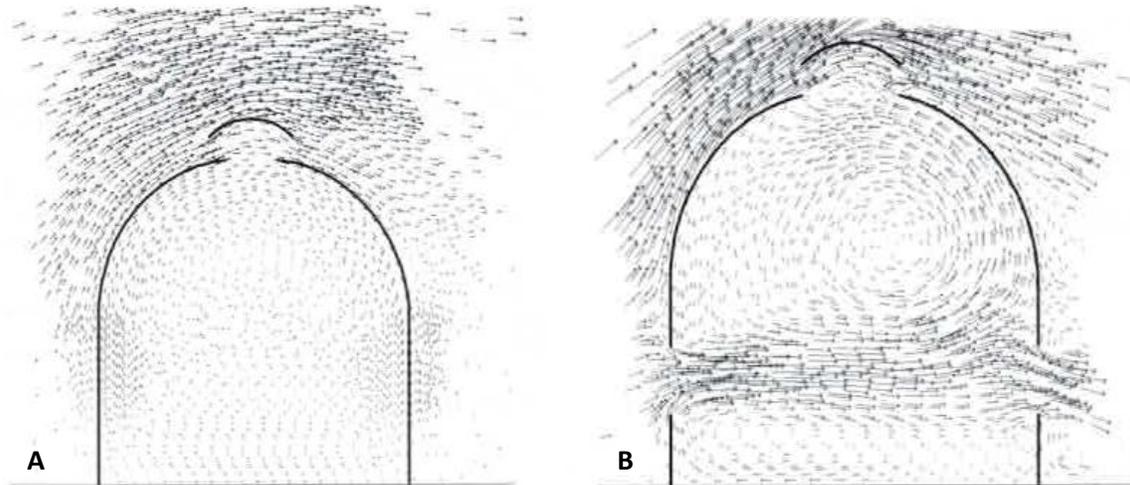
Para una ventilación efectiva, es recomendable que el área de ventilas sea aproximadamente del 15% al 30% del área del piso ocupado por la nave de invernadero. El nivel de enfriamiento se mejora cuando las cortinas de las paredes laterales son incluidas en el área total de ventilación. La malla de sombreado también es parte de la ventilación y presenta dos estados para la limitación de la radiación incidente (abierto, cerrado).

Se ha elegido ventilación cenital con ventanas laterales debido al comportamiento que tiene el invernadero bajo un análisis de flujo, fig.15.

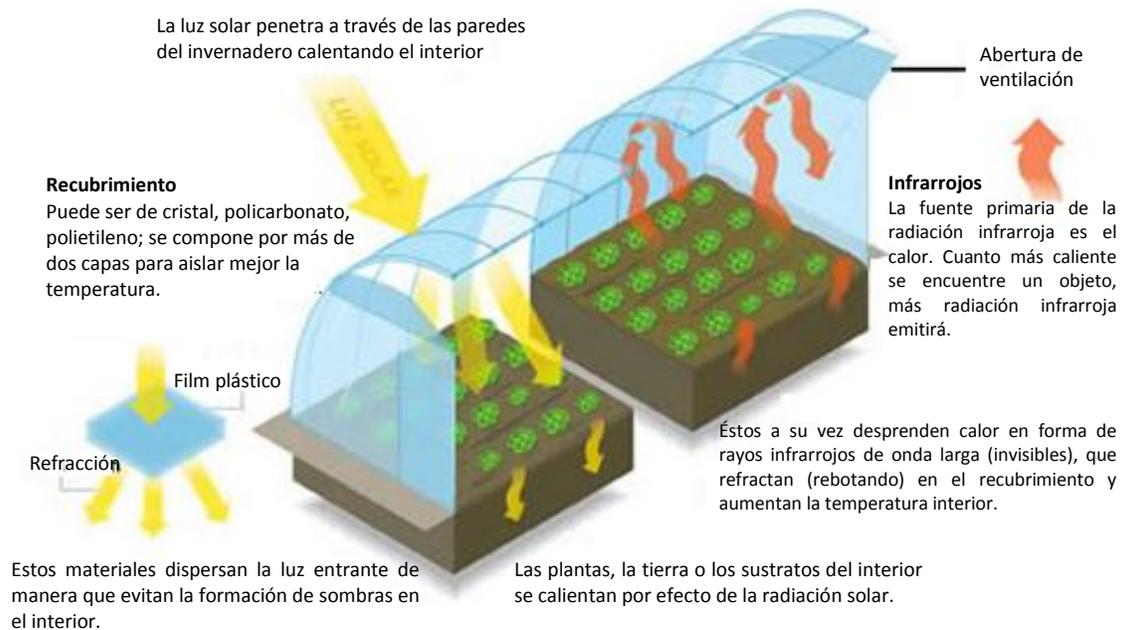
### 3.4.7. Material de cubierta.

El material de cubierta debe proporcionar las características de resistencia, permitividad de la luz, recubrimiento, protección UV, entre otras.

En la fig. 16 se observa la importancia y el efecto del recubrimiento ante la luz solar de un invernadero sobre el cultivo y en las tablas 22-25 en la sección de ANEXOS se pueden consultar las propiedades generales de los diferentes materiales de cubierta para invernaderos[22].



**FIG 15** Análisis de flujo de la ventilación cenital y lateral en un invernadero. En “A” solo se tiene ventilación cenital, se observa estanqueidad del flujo, lo cual no ayuda a la movilidad de gases y otros factores para la regulación de la temperatura, humedad, etc.; mientras que en “B” se observa la movilidad del flujo por la acción de una ventilación lateral combinada con la cenital, lo cual ayuda al intercambio calórico, de gases y humedad que contribuye a una atmósfera más saludable dentro del invernadero[22] pág. 214.



**FIG 16** Efecto de cubierta en el invernadero. Imag. Int., 2011.

**3.4.8. Ubicación.****3.4.8.1. Veracruz**

Los climas que predominan en el estado de Veracruz son cálido subhúmedo 53.5% y cálido húmedo 41%, estos se localizan en la Llanura Costera del Golfo Norte y Sur; el 3.5% presenta clima templado húmedo, el cual se localiza en las partes altas de las zonas montañosas y el 1.5% presenta clima templado, localizado también en las partes altas de la montaña; el 0.5% es seco y semiseco localizado en la región oeste del estado; y finalmente, un pequeño porcentaje (0.05%) es clima muy frío y se encuentra en las partes altas del Pico de Orizaba y Cofre de Perote.

La temperatura media anual es de 23°C, la temperatura máxima promedio es de alrededor de 32°C y se presenta en los meses de abril y mayo; la temperatura mínima promedio es de 13°C y se presenta en el mes de enero.

La precipitación media estatal es de 1 500 mm anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de junio a octubre; en la región colindante con Tabasco se presentan todo el año. Los climas cálidos húmedos y subhúmedos propician el desarrollo de una gran variedad de cultivos tales como: cítricos, mango, café, arroz, piña, vainilla, plátano, caña de azúcar y maíz, entre otros[INT20].

**3.4.8.2. Tenancingo, Edo. Méx.**

En Tenancingo predomina el clima templado húmedo con lluvias en verano. Con base en la información climatológica disponible de la estación de Coatepequito, que comprende un periodo de 1979 a 1998, la temperatura promedio fue de 19.6 °C, la temperatura media anual del año más frío (1992) fue de 19.1 °C y la del año más caluroso (1998) fue de 21.4 °C; que comparativamente puede observarse en el plano general del Estado de México[INT22].

Orografía, el territorio municipal se ubica en dos sistemas fisiográficos: al norte forma parte de la Provincia del Eje Neovolcánico, Subprovincia Lagos y Volcanes del Anáhuac, la cual corresponde a las últimas estribaciones del Xinantécatl y al sur forma parte de la Provincia de la Sierra Madre del Sur, Subprovincia Sierras y Valles Guerrerenses<sup>1</sup>

Entre las elevaciones más importantes se encuentran los cerros Nixcongo, La Conchita, Tepetzingo, Los Coyotes, La Víbora, Peña Colorada, La Malinche, Santa Cruz y Tres Marías los cuales rodean a la cabecera municipal.

El municipio está sobre las faldas de los cerros La Cantera y La Malinche. El 35 por ciento del territorio presenta zonas semiplanas con pendientes de 5 a 15 por ciento las cuales se ubican hacia el norte y el sur. Además se localizan terrenos con pendientes mayores al 25 por ciento en la Peña Colorada, cañada de El Salto y los cerros Tepetzingo y Santa Cruz.

Las zonas más planas con pendientes menores a 5 por ciento, comprenden a la mayor parte de las localidades integradas en el centro de población.

Al noreste del centro de población las pendientes son del 6 al 15 por ciento, las cuales resultan más apropiadas para el crecimiento urbano, aunque con costos significativos para la instalación de infraestructura y equipamiento urbano; mayor información, en el plan urbano de desarrollo municipal[INT21].

**3.5. Sistema hidráulico.**

La forma de obtención del agua puede ser por medio de abastecimiento subterráneos (pozos poco profundos, pozos profundos, manantiales); abastecimientos superficiales (lagos naturales, embalses,

<sup>1</sup> INEGI, Síntesis Geográfica y Nomenclátor y Anexo Cartográfico del Estado de México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, 1987.

saneamiento y control de las fuentes de abastecimiento del agua)[51], o bien, captación por precipitación pluvial.

### 3.5.1. Pozo- recolección.

El sistema pozo-recolección consta de un conjunto de pozos y captadores de agua de lluvia, fig. 17, que son colocados en la estructura del invernadero y por medio de canales y tuberías es transportado hacia los pozos de recolección de agua y que posteriormente deberá pasar un sistema de tratamiento de agua para lograr una mejor distribución de los recursos hídricos.



FIG 17 Depósitos de agua. Imag. Int., 2011.

En lugares donde el agua no es el elemento predominante se garantizará la existencia de éste líquido vital para llevar a cabo las labores de riego y limpieza general a lo largo del año; mientras que en lugares donde la precipitación pluvial es más abundante será para dosificar el recurso y de ser posible, compartir con territorios menos afortunados.

### 3.5.2. Tratamiento de agua.

La calidad del agua de fuentes pluviales o subterráneas varían considerablemente. Las aguas superficiales suelen ser más turbias y contener mayor cantidad de bacterias que las subterráneas, pero éstas tienen mayores concentraciones de productos químicos en disolución. El agua de mar contiene altas concentraciones de productos químicos disueltos y algunos microorganismos. Al ser

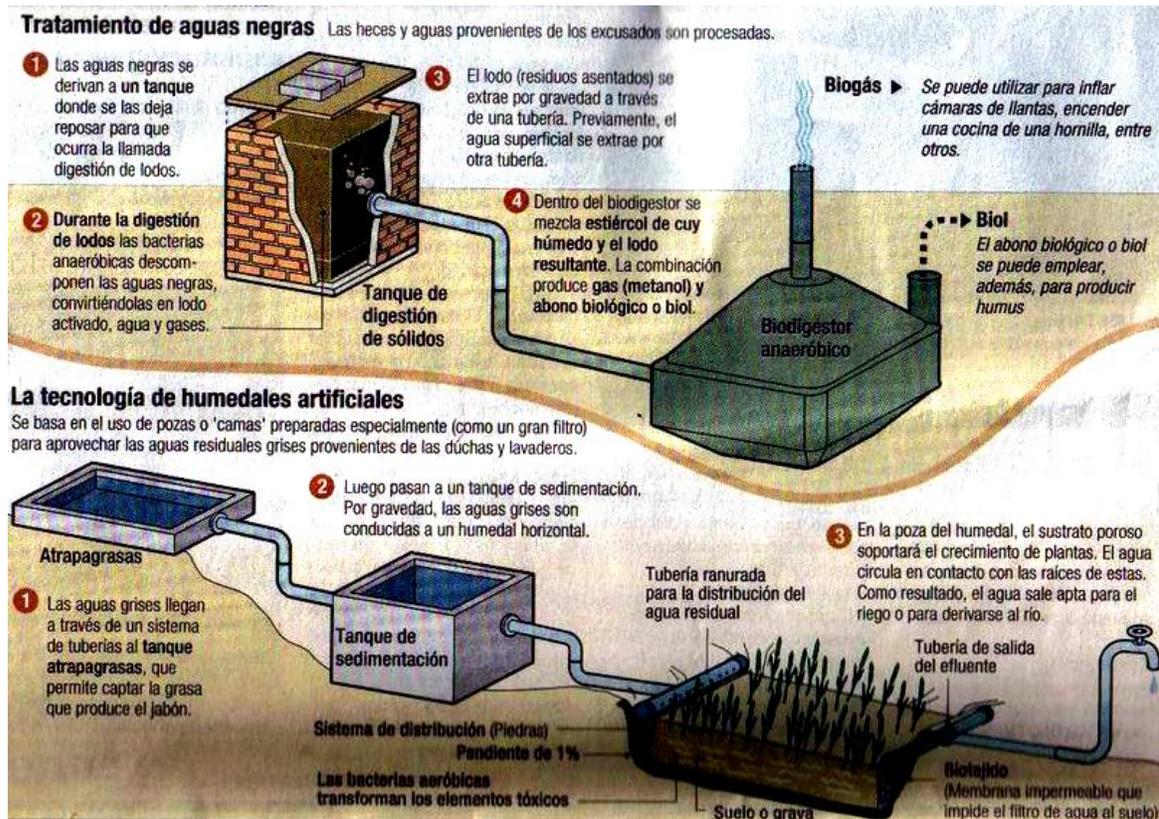


FIG 18 Tratamiento de aguas negras y tecnología de humedales artificiales. Imag. Int., 2011.

tan variada la calidad del agua, dependiendo de la fuente de obtención, será el mecanismo de tratamiento; algunos de éstos son auto purificación y reposo, aireación, filtración lenta por arena, filtración rápida por arena[51][52].

Los olores y sabores desagradables del agua se eliminan por oxigenación. Las bacterias se destruyen añadiendo unas pocas partes por millón de cloro, y el sabor del cloro se elimina con sulfito de sodio. La dureza excesiva del agua, que la hace inservible para muchos usos industriales, se reduce añadiendo cal débil o hidratada, o por un proceso de intercambio iónico, utilizando ceolita como ablandador. La materia orgánica en suspensión, con vida bacteriana, y la materia mineral en suspensión, se eliminan con la adición de agentes floculantes y precipitantes, como alumbre, antes del filtrado, un ejemplo para el tratamiento de aguas negras se presenta en la fig.18, que además puede servir para crear un ciclo ecológico con el medio ambiente.

Generalmente el agua se somete a un tratamiento primario, donde se cuele por medio de una rejilla, se filtre, sedimente y clore y se devuelva a su ciclo natural; en un tratamiento secundario, si el agua está más sucia se introduce un sistema adicional de aireación y nuevamente sedimentación para enviarlo a su ciclo natural después de una cloración, fig. 19.; si se desea profundizar más en cuanto a sistemas, pruebas, reactivos y procedimientos de tratamiento y purificación de agua se recomienda [51] de los capítulos 8 al 14.

Los procesos de tratamiento de agua que se han desarrollado, tales como destilación, electrodiálisis, ósmosis

inversa, evaporación por congelación directa, entre otros, no suelen ser económicas. Actualmente buscando evitar el deterioro del planeta tierra se recomienda optimizar espacio aunque no necesariamente costo, esto puede lograrse con el uso de plantas purificadoras verticales, aunque también existen las plantas horizontales que requieren mucho espacio para obtener los mismos resultados e incluso en mayor tiempo que las verticales.

### 3.5.2.1. Planta vertical para el tratamiento de aguas residuales.

El cultivo en espacios pequeños hace poner en la mira el uso de plantas verticales para el tratamiento de aguas residuales, como la utilizada en París<sup>2</sup> para tratar las aguas utilizadas en la ciudad que irán a parar al río Sena, el cual hace uso de bacterias para la desintegración de los residuos y posteriormente dejarle a la naturaleza, por medio del cauce del río, terminar la depuración de este

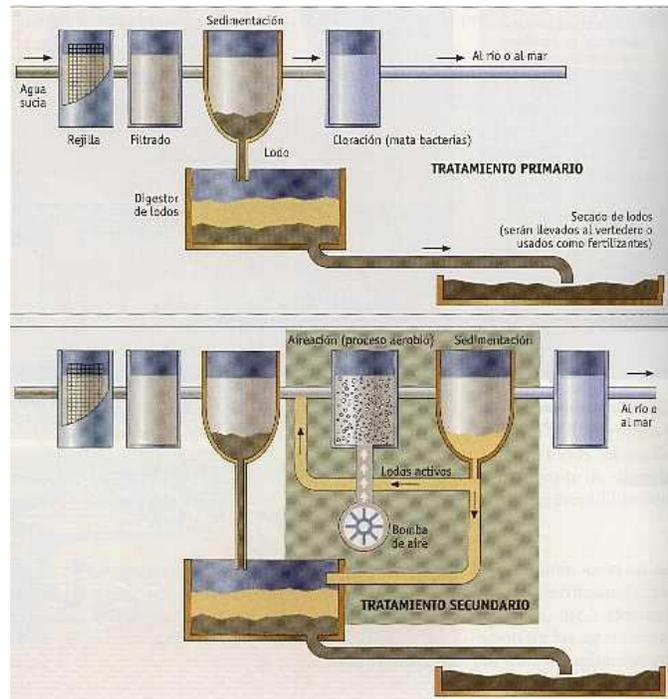


FIG 19 Tratamiento de aguas residuales. Imag. Int., 2011.

<sup>2</sup> Existe un documental que habla sobre los procedimientos y funcionamiento de la planta, aunque éste fue transmitido en la televisión Española en julio de 2011 y no se pudo conseguir para efectos de ilustrar y fortalecer la información que se presenta actualmente.

elemento; es por eso que se considera una planta de tratamiento para el agua residual del proceso de cultivo en invernadero para evitar la intoxicación del planeta.

### 3.5.3. Sistema Energético.

La energía es una de las preocupantes mundiales que se deben considerar, gracias a ella es que funcionan diferentes sistemas. La energía puede ser de origen primario o secundario ([55] pag.683). Las formas de energía que pueden ser aprovechadas o utilizadas pueden ser eléctrica ([55] pag.686), eólica, fotovoltaica[53], hidráulica, solar[125], térmica[54] y/o sus combinaciones. En este trabajo de investigación no se profundizará en cada una de ellas, sin embargo, como parte de la selección se hablará sobre la energía solar.

#### 3.5.3.1. Energía solar.

La energía solar es la energía producida por el sol y que es convertida a energía útil por el ser humano, ya sea para calentar algo o producir electricidad. Las células solares son hechas con obleas finas de silicio, arseniuro de galio u otro material semiconductor en estado cristalino, convierten la radiación en electricidad de forma directa. Ahora se dispone de células con eficiencias de conversión superiores al 30%. Por medio de la conexión de muchas de estas células en módulos, el coste de la electricidad fotovoltaica se reduce[52][53][54][78][INT25].

### 3.5.4. Gestión Y Tráfico.

Algunas de las herramientas que se utilizan actualmente para gestión y tráfico se llama logística. En los proyectos de automatización los beneficios son notorios, es sustancial el aumento de productividad, control total de los inventarios, reducción de la tasa de error, eliminación de horas extra e incremento en el número de SKUs en el mismo espacio.

La automatización por sector se divide en refrigerados y congelados, alimentos y bebidas y farmacéutica. En México, en el área agrícola no se ha desarrollado un sistema de gestión y tráfico tan completo como para los sectores anteriormente mencionados, por lo cual hay un gran campo de acción al respecto[128][129][130][131][129].

#### 3.5.4.1. Entrada de materias primas.

Se relaciona con el manejo de inventarios y algunas metodologías de gestión de productos, para los cuales se recomienda llevar a cabo 10 pasos para elevar la eficiencia y velocidad de las materias primas[131].

1. Colocación del inventario: la clave para la productividad en el almacén es colocar el inventario en la ubicación ideal con base en la planeación de la demanda y uso real.
2. Ingeniería/reingeniería: el almacenamiento adecuado para sus materiales y el acomodo del almacén puede optimizarse con un ingeniero logística.
3. Lotes más pequeños; cuando las tareas de desglosar en unidades de trabajo más pequeñas, el empleado puede trabajar con mayor eficiencia y cumplir con rapidez.
4. Nivel de carga: quien haya competido en una carrera de distancia sabe la importancia de marcar el paso. Se corre muy rápido desde el principio, se le acaba la energía.
5. Trabajo estandarizado y documentación de los procesos: la estandarización es el principio que exige que todos y dar una mejor practica bien documentada.
6. Administración visual: señalizaciones, símbolos, colores y otras herramientas para que las instalaciones se comuniquen con quienes trabajan en ellas.
7. *Warehouse management system*: la selección del sistema adecuado para gestionar el almacén puede darle gran velocidad a superación mediante la automatización de procesos.

8. Tecnología de *picking*: existen varias mejores prácticas para el *picking*, entre ellas está el uso de radiofrecuencia y el *picking* por voz.
9. Capacitación múltiple de los empleados: debe existir un grupo central de empleados bien capacitado en todos los procesos para cumplir con varias tareas.
10. Comunicación: todos deben estar bien informados y preparados para cumplir con el plan del día. Hacer reuniones para compartir información y noticias.

#### **3.5.4.2. Salida de producción.**

Éste es un buen momento para preparar la producción para su distribución en el mercado. Para lograrlo, habrá que seleccionar, empacar y darle seguimiento mediante la Trazabilidad.

Ayudando a las empresas en la identificación estándar y localización de los productos o materias primas a lo largo de la cadena de suministro aumentando la garantía de calidad del producto. En caso de incidencia alimentaria, facilitar por medio de los registros generados, la localización, e inclusive la inmovilización del producto si fuese necesario.

Ayudando a la protección de la vida y la salud de los consumidores e incrementando las ventas, la confiabilidad y la permisión de ingreso a mercados internacionales.

Representando para el consumidor la confianza, información de vida del producto, características nutricionales, composición, calidad e inocuidad[129][132][133].

#### **3.5.5. Sanidad y buen manejo. Inocuidad agroalimentaria.**

La sanidad y el buen manejo de un invernadero son las normas que se deben cumplir para garantizar la producción con salubridad y calidad que esperan los consumidores, además de prevenir accidentes y riesgos en el trabajo.

México, al igual que muchos países en la actualidad, cuenta con normas nacionales completas en materia de calidad e inocuidad alimentaria. Sin embargo, los beneficios de la implementación de normas completas de calidad e inocuidad de los alimentos, en algunos países no parece ser rentable, especialmente si los costos implícitos en ello han de ser pagados por los pobres. Tratando de mediar este problema, algunos países en vías de desarrollo, como México, con ayuda técnica de la FAO, han adoptado y aplicado normas nacionales completas sobre calidad e inocuidad de los alimentos basadas en las normas, directrices y códigos de prácticas internacionales recomendados, de la Comisión del Codex Alimentarius.

En Estados Unidos, solamente los gastos por pérdidas de productividad debidas a siete patógenos específicos de los alimentos se han estimado entre 9.4 y 15.6 billones de dólares cada año; asimismo, se han registrado hasta 9 mil muertes por enfermedades ocasionadas por productos en mal estado.

La Organización Mundial de la Salud es contundente: cada año en el mundo fallecen tres millones de personas por el consumo de alimentos contaminados. Se desconocen aún los efectos a largo plazo del consumo de alimentos contaminados por residuos de plaguicidas y otros contaminantes, como el remanente de medicamentos de uso veterinario.

El porcentaje de ruralidad en México es del 26%; de estas familias, el 49% de hogares están bajo la línea de pobreza y un 24% de indigencia. Según las tendencias observadas, el Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario y pesquero (71% agricultura y 22% ganadería) ha declinado a un 5% y emplea el 20% del total de la fuerza de trabajo (baja productividad) de tal modo que el 60% del ingreso de las familias de las áreas marginadas depende de la producción agropecuaria. Sin embargo, con las modificaciones al uso y tenencia de la tierra, el minifundio se ha acentuado y se caracteriza por una baja vinculación al mercado, ubicarse en áreas de bajo potencial productivo, puede ser causante de importantes procesos de deterioro de los recursos naturales y tener una baja eficiencia en el aprovechamiento del agua[INT24].

**3.5.5.1. Normas operativas de higiene.**

La higiene en el trabajo se refiere a un conjunto de normas y procedimientos tendientes a la protección de la integridad física y mental del trabajador, preservándolo de los riesgos de salud inherentes a las tareas del cargo y ambiente físico donde se ejecutan: La higiene en el trabajo está relacionada con el diagnóstico y la prevención de enfermedades ocupacionales, a partir del estudio y el control de dos variables: el hombre y su ambiente de trabajo.

La higiene en los invernaderos es una de las claves para defenderse de las plagas y la prevención de riesgos para la salud: Riesgos químicos (intoxicaciones, dermatosis industriales), Riesgos físicos (ruidos, temperaturas extremas, radiaciones, etc.), Riesgos biológicos (microorganismos patógenos, agentes biológicos, etc.)

La falta de fortaleza en las normas para la regulación de la buena producción agrícola se enmarca en la presentación de las siguientes normas oficiales para el ámbito del:

a) *Sector Salud*

**NOM-111-SSA1-1994.** Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.

**NOM-112-SSA1-1994.** Determinación de bacterias coniformes. Técnica del número más probable.

**NOM-114-SSA1-1994.** Método para la determinación de *Salmonella* en alimentos.

**NOM-115-SSA1-1994.** Método para la determinación de *Staphylococcus aureus* en alimentos.

b) *SAGARPA*

**NOM-008-FITO-1995 .** Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la importación de frutas y hortalizas frescas.

**NOM-057-FITO-1995 .** Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para emitir el dictámen de análisis de residuos de plaguicidas.

**NOM-EM-038-FITO-2002.** Por la que se establecen los requisitos para la aplicación y certificación de Buenas Prácticas Agrícolas y de manufactura para la producción y empaque de melón cantaloupe.

c) *Sector Agua*

**NOM-003-CNA-1996.** Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.

**NOM-004-CNA-1996.** Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.

Las cuales por simplicidad de aportación no garantizan que todos los productos agrícolas que se consumen cotidianamente estén libres de gérmenes o elementos que atenten a la salud humana e incluso animal de consumo humano[103][105][106][106][INT24].

**3.5.5.2. Laboratorio.**

Tener un laboratorio de análisis es parte importante para el manejo de un invernadero debido que aquí podrán ser analizados los productos por hortícolas y/o frutícolas, así como los análisis de la calidad del agua y tierra y darle seguimiento al cultivo.

El equipo de un laboratorio puede ser básico al principio y posteriormente modernizado e inclusive automatizado, teniendo también la opción de solicitar los servicios externos de análisis; esto último será determinado por la cercanía de los invernaderos donde se llevarán a cabo las muestras con respecto a los laboratorios de análisis.

Lo que siempre debe de haber es todo lo necesario para hacer pruebas rápidas, por ejemplo, tiras reactivas de PH, tubos de precipitado, pipetas, mecheros, un cuarto limpio, esterilizador o autoclave, centrifugadora, espectroscopio, refrigerador, microscopio, etc.[70].

### 3.5.5.3. Control de plagas.

Las plagas son grupos de animales que causan daños a las plantas. Hay que considerar que la presencia de estos animales debe ser muy numerosa para considerarse plaga, en caso contrario puede ser innecesario la aplicación de tratamiento fitosanitario sin existir un peligro real[126][127].

Los cinco métodos básicos de prevención de plagas son los siguientes:

1. Inspeccionar a menudo las puntas de los tallos.
2. Evitar los encharcamientos de agua que atraen a los insectos, no excederse con el uso de abono.
3. Retirar la maleza y las malas hierbas desde la raíz mediante una azadilla, ya que consume nutrientes y acogen plantas.
4. Utilizar tratos estériles.
5. No juntar demasiado los tijos para evitar posibles contagios.

La salud del cultivo en general depende de fortalecer la sección de sanidad y buen manejo; aunado a ello se deben monitorizar los cultivos periódicamente visual y/o automáticamente. El control debe sea aplicado desde el momento en que se identifica una posibilidad de infestación y no en el momento en que se tiene. Para ello se apoya de 2 tipos de control, principalmente.

#### 3.5.5.3.1 Método de control químico.

Después de la segunda guerra mundial, el descubrimiento de la acción insecticida del DDT (1939) y del BHC (1941) permitió su uso para combatir insectos, sin embargo, estudios recientes también demuestran su alto grado de toxicidad, además de que matan insectos benéficos y algunas plagas desarrollan resistencia a futuro. El costo ecológico puede resultar elevado[74][INT19].

#### 3.5.5.3.2 Método de control biológico.

La mejor forma de controlar las plagas consiste en impedir que entren en el invernadero, por ello se emplean mallas protectoras en las ventiladas, puertas dobles con malla en las entradas, paño de pies en el piso entre las dos puertas, insecticidas fungicidas y bactericidas de preferencia de origen orgánico y sólo en caso de ser necesario, control de hierbas, remoción de desechos de plantas, etc.

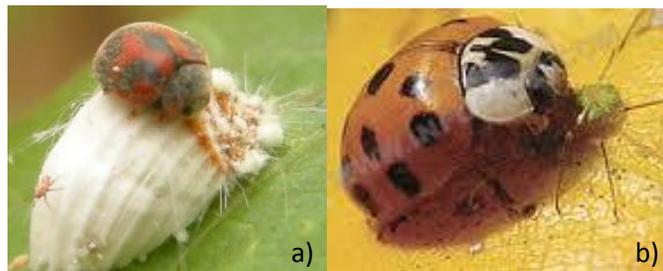


FIG 20 a) Mariquita *Vedalia Australiano* atacando a la cochinilla algodonosa. b) Mariquita atacando a un pulgón. *Imag. Int. 2011*

También debe considerarse como parte del sistema el uso de abejas o insectos polinizadores, fig. 21. Otra forma de hacer uso de un control biológico es mediante la plantación de especias que son alimento para la fauna benéfica, fig. 20. Es importante prevenir las infestaciones porque una vez que aparece una plaga es complicado atacar y controlar cuando está avanzado el problema.



FIG 21 Abejas polinizadoras para invernadero. Imag. Int, 2011.



FIG 22 Método de monitorización de plaga dentro del invernadero.

Para monitorear la mayoría de insectos se usan tarjetas amarillas, azules o blancas, fig. 22, pegajosas, que actúan como trampas, una tarjeta por cada 100 m<sup>2</sup> de invernadero para monitorear la población de insectos e identificadas posibles plagas[102].

### 3.6. Sistema de climatización.

#### 3.6.1. Problema de la climatización.

El problema del control de las variables climáticas del interior de un invernadero se estudian por medio de las variables a controlar, las variables de control y las variables de perturbación, esto es debido a la dependencia que se da entre las variables de control debido a las variables a controlar y las perturbaciones.

En la fig. 23 se observan las variables de control perturbaciones y variables a controlar que influyen para realizar el control de la climatización dentro del invernadero.

La producción del cultivo bajo invernadero es influenciada por el clima en su interior, por lo que hay que mantener las variables que lo caracterizan dentro de un determinado rango de valores. En este problema de control intervienen las variables de climatización que se explicaran a continuación.

#### 3.6.2. Variables de la climatización

Se dividen en variables a controlar, variables de control y variables de perturbación.

- a) **Variables a controlar:** son aquellas que afectan directamente el crecimiento del cultivo como la radiación PAR (radiación fotosintéticamente activa) que alcanza al cultivo, la temperatura y la concentración de CO<sub>2</sub>. La humedad relativa del aire, se controla debido a que afecta indirectamente a la absorción de CO<sub>2</sub> y el exceso favorece la aparición de enfermedades criptogámicas. La concentración de CO<sub>2</sub> no se controla debido al alto costo que implica, aunque puede ser obtenido por la combustión de gas natural y cuyo producto de reacción es agua + CO<sub>2</sub>.
- b) **Variables de control:** Los actuadores utilizados comúnmente son ventilación natural, malla de sombreo, calefacción, humidificadores y enriquecedores de CO<sub>2</sub>.
- c) **Variables de perturbación.** Las perturbaciones corresponden a las variables que describen el clima en el exterior del invernadero (temperatura y humedad relativa del aire, radiación solar, velocidad y dirección del viento, temperatura de la bóveda celeste y lluvia), el cultivo a través de la transpiración (que es función del estado de crecimiento de las plantas a medida que aumenta el índice de área foliar) y un conjunto de variables que describen el estado del resto de los elementos del invernadero (temperatura de la cubierta, temperatura de la superficie

del suelo, etc.) Estas últimas son variables de estado, pero debido a la dificultad de su control se consideran como perturbaciones ya que afectan a las tres variables de estado que se desean controlar pues son las que intervienen directamente en el crecimiento del cultivo.

El clima del invernadero se encuentra sometido a fuertes perturbaciones medibles y no medibles. Las características de las perturbaciones imponen limitaciones en el comportamiento de los sistemas a controlar; en este tipo de sistemas se pueden encontrar dos tipos fundamentales de perturbaciones:

- Perturbaciones en la carga, que afectan a las variables del proceso y son debidas a variables que influyen en la salida del proceso pero que no pueden ser manipuladas. La mayoría de ellas son medibles o se pueden estimar utilizando modelos.
- Errores en los sistemas de medida debidos a ruidos de alta frecuencia en los sensores y otras causas.

Las características de las variables del problema de control y la relación entre las variables, las variables de control, perturbaciones y efectos de dependencia entre ellas se proporcionan las tablas 3, 4 y 5[45][46].

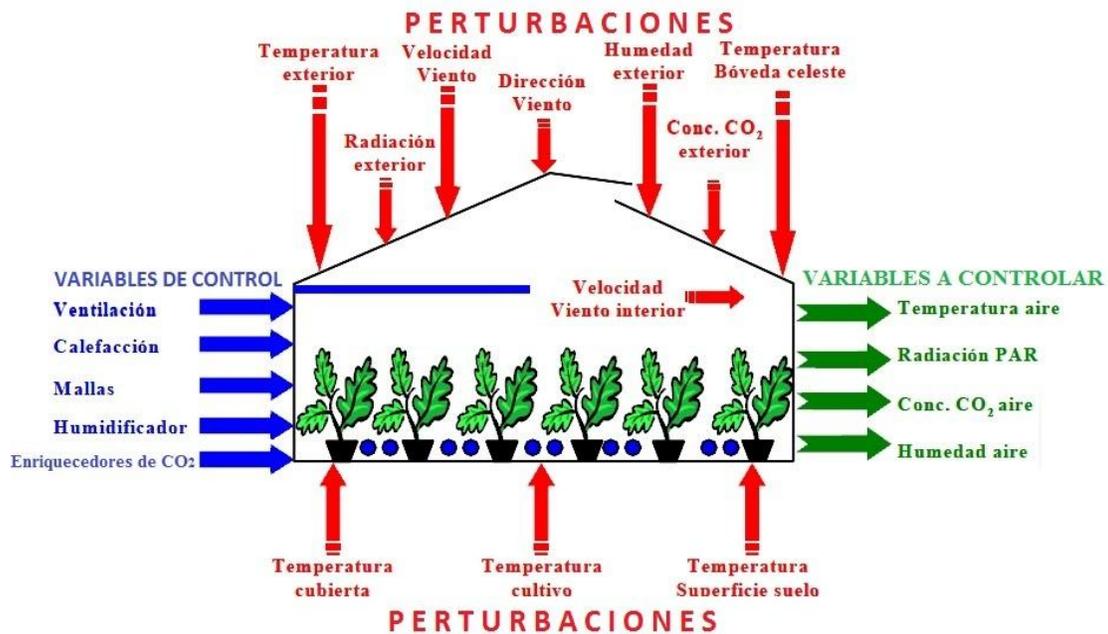


FIG 23 Esquema de las variables que intervienen en el problema de control[46].

Tabla 3 Variables a controlar

VARIABLES A CONTROLAR					
Variable (unidades)	Naturaleza señal	Perturbaciones	Variables de control	Efecto de otras variables a controlar	Incertidumbres
Temperatura aire(°C, K)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Continua</li> <li>• No lineal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura exterior</li> <li>• Velocidad viento exterior</li> <li>• Dirección viento exterior</li> <li>• Temperatura cubierta</li> <li>• Temperatura suelo</li> <li>• Temperatura bóveda celeste</li> <li>• Índice de área foliar</li> <li>• Indirectamente: radiación/malla sombreo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilación</li> <li>• Calefacción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Humedad interior</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paramétricas</li> </ul>

Radiación PAR (W/m <sup>2</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Continua</li> <li>• No lineal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiación exterior</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Malla sombreo</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paramétricas</li> </ul>
Humedad relativa aire (%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Continua</li> <li>• No lineal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Humedad exterior</li> <li>• temperatura cultivo</li> <li>• Radiación exterior</li> <li>• Temperatura cubierta</li> <li>• Velocidad viento exterior</li> <li>• Dirección viento exterior</li> <li>• Índice área foliar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilación</li> <li>• Calefacción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paramétricas</li> </ul>

Tabla 4 Variables de control.

VARIABLES DE CONTROL				
Variable (unidades)	Naturaleza señal	Variables de controlar	Perturbaciones medibles que se pueden incorporar en el control	Incertidumbre
Ventilación (°)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Continua</li> <li>• No lineal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura aire</li> <li>• Humedad aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura exterior</li> <li>• Velocidad viento</li> <li>• Dirección viento</li> <li>• Lluvia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paramétricas</li> <li>• Estructurales</li> </ul>
Calefacción (°C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tres señales de control</li> <li>• Continua/discretas</li> <li>• No lineal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura aire</li> <li>• Humedad aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura exterior</li> <li>• Velocidad viento</li> <li>• Dirección viento</li> <li>• Radiación exterior</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paramétricas</li> <li>• Estructurales</li> </ul>
Malla de sombreo (%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discreta</li> <li>• No lineal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiación PAR</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paramétricas</li> <li>• Estructurales</li> </ul>

Tabla 5 variables de perturbación.

VARIABLES DE PERTURBACIÓN				
Variable (unidades)	Naturaleza señal	Variables de estado que perturba	Variables de control que perturba	Otras variables que perturba
Temperatura exterior (°C,K)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medible</li> <li>• Continua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura aire</li> <li>• Humedad aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilación</li> <li>• Calefacción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura cubierta</li> </ul>
Radiación exterior (W/m <sup>2</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medible</li> <li>• Continua</li> <li>• Cambios bruscos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiación PAR</li> <li>• Temperatura aire</li> <li>• Humedad aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calefacción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura cubierta</li> <li>• Temperatura superficie suelo</li> </ul>
Humedad relativa aire exterior (%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medible</li> <li>• Continua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Humedad aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilación</li> </ul>	
Velocidad viento exterior (m/s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medible</li> <li>• Continua</li> <li>• Cambios bruscos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura aire</li> <li>• Humedad aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilación</li> <li>• Calefacción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura cubierta</li> </ul>
Dirección viento exterior (°)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medible</li> <li>• Discreta</li> <li>• Cambios bruscos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura aire</li> <li>• Humedad aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilación</li> </ul>	
Lluvia (-)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medible</li> <li>• Discreta</li> <li>• Cambios bruscos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilación</li> </ul>	
Temperatura superficie suelo (°C,K)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medible</li> <li>• Continua</li> <li>• No lineal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura aire</li> <li>• Humedad aire</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura cubierta</li> </ul>
Temperatura cubierta (°C,K)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medible</li> <li>• Continua</li> <li>• No lineal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura aire</li> <li>• Humedad aire</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura suelo</li> </ul>
Temperatura bóveda celeste (K)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discontinua</li> <li>• Estimada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura aire</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura cubierta</li> <li>• Temperatura suelo</li> </ul>

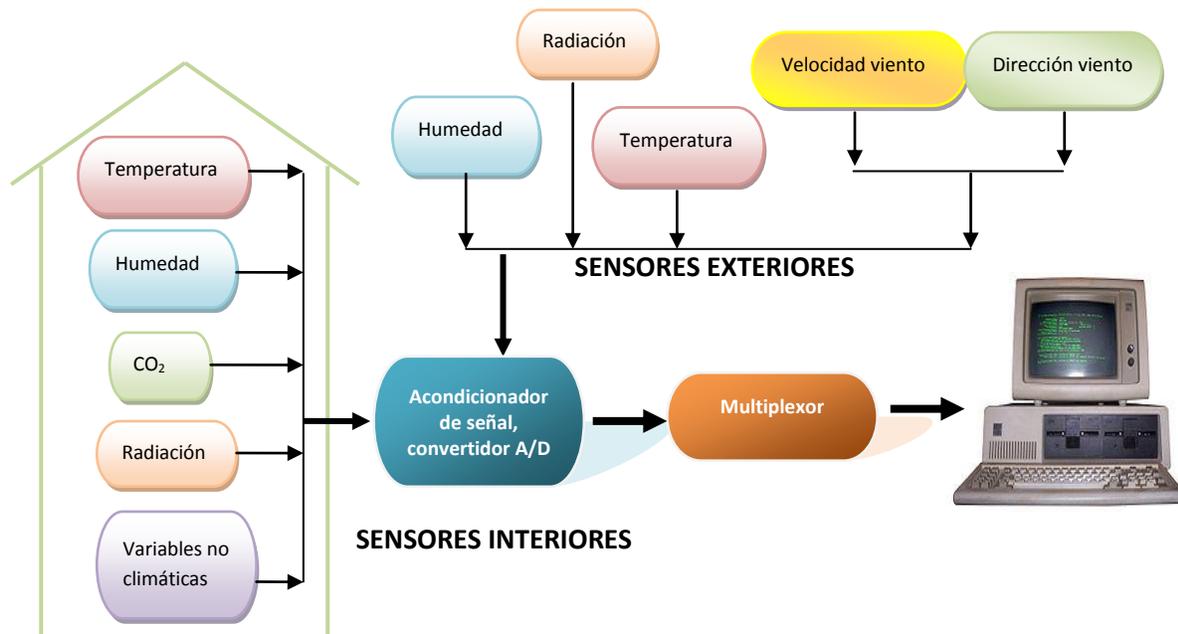
Existe un alto grado de correlación entre las variables a controlar, tal y como se puede observar en la tabla 6 (calculada con una serie completa de 6 meses con medidas cada minuto[45]), de forma que la modificación del valor de una de ellas conlleva la variación de las otras. La temperatura y la humedad relativa se encuentran inversamente correlacionadas. La modificación de la radiación produce una variación en la temperatura ya que es la principal fuente de energía del sistema y por lo tanto afectaría a la humedad relativa. De esta forma, el control de una de ellas puede llevar a que alguna de las otras no se encuentre entre los límites que los expertos han considerado como idóneos.

**Tabla 6 Matriz de correlaciones de las variables a controlar.**

	Temperatura	Humedad relativa	Radiación
Temperatura	1.00	-0.9172	0.8813
Humedad relativa	-0.9172	1.00	-0.9147
Radiación	0.8813	-0.9147	1.00

### 3.6.3. Esquema general del sistema de la medida de control en un invernadero.

Para la automatización de un invernadero se deben controlar todas las variables simultáneamente, fig. 24, climáticas y no climáticas o internas y externas; al controlador deben llegar las señales de todos los sensores que miden las variables anteriores, por lo cual es necesario utilizar un multiplexor que obtenga y envíe todas las señales a una computadora para su procesamiento[45][46].



**FIG 24 Esquema general del sistema de medida para el control en un invernadero[46].**

#### 3.6.3.1. Sensores climáticos.

Para controlar el microclima generado en el interior del invernadero se necesitan medir las siguientes variables[45][57][60]:

- En el interior del invernadero:
  - Temperatura del aire

- Humedad relativa del aire
- Radiación (global, PAR, o neta)
- Concentración de CO<sub>2</sub>
- En el exterior del invernadero:
  - Temperatura del aire
  - Humedad relativa del aire
  - Radiación (global, PAR, o neta)
  - Velocidad y dirección del viento
  - Lluvia

Además de otras variables no climáticas, que informan sobre el estado de los actores utilizados, como pueden ser:

- Posición de los motores que mueven las ventilaciones
- Posición de los motores que mueven las mallas de sombreo
- Temperatura de la caldera de calefacción, etc.

### 3.6.3.2. Sensores de temperatura.

Los más utilizados en aplicaciones agrícolas son[45][57][60]:

- ≡ Resistencias metálicas.
- ≡ Termistores de resistencia negativa
- ≡ Termistores de resistencia positiva

**Tabla 7 Comparativa de sensores de temperatura.**

CARACTERÍSTICA	Metálico	NTC	PTC
<b>Estabilidad</b>	Buena	Regular	Mala
<b>Repetitividad</b>	Buena	Regular	Mala
<b>Sensibilidad</b>	Baja	Alta	Muy alta
<b>Linealidad</b>	Alta	Baja	Baja
<b>Rango de R (T)</b>	Bajo	Alto	Alto
<b>Rango de temperatura</b>	Alto	Bajo	Bajo
<b>Precio</b>	Medio/alto	Bajo	Bajo

### 3.6.3.3. Sensores de humedad relativa.

Los principales sensores de humedad relativa del aire de uso agrícola son[45][57][60]:

- ≡ Higrómetro de cabello
- ≡ Psicrómetro: los comerciales consisten en dos sensores de temperatura; el primero mide la temperatura ambiente (en seco); el segundo mide la temperatura de un pequeño depósito de agua destilada (húmedo).
- ≡ Capacitivos

**Tabla 8 Comparativa de sensores de humedad relativa.**

SENSOR	PRESIÓN	PRECISIÓN	OBSERVACIONES
<b>Higrómetro</b>	Medio	±2%	Le afectan las bajas humedades
<b>Psicrómetro</b>	Alto	±1.5°C	Buen funcionamiento de 0 a 100%
<b>Capacitivo</b>	Bajo	±1.5%	Mal funcionamiento en saturación

### 3.6.3.4. Sensores de radiación.

Existen dos principios de funcionamiento, termo elementos y otros elementos, utilizándose uno u otro en función de la radiación que se desea medir[45][46][57][60].

- ≡ Basados en termo pilas
- ≡ Basados en foto células; estos miden radiaciones en un intervalo de longitud de onda menor que los basados en termo pilas; se utilizan para medir la radiación PAR.

Tabla 9 Comparativa de sensores de radiación.

SENSOR	PRECIO	OBSERVACIONES
<b>Termopilas</b>	Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todo el espectro (de UV a IR)</li> <li>• Lentos</li> </ul>
<b>Fotocélulas</b>	Medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se utilizan para medidas de radiación PAR</li> <li>• Muy rápidos</li> <li>• Demasiado ruido</li> </ul>

### 3.6.3.5. Sensores de velocidad y dirección del viento.

#### 3.6.1.8.1 Velocidad.

Existen tres tipos de dispositivos para medir la velocidad del tiempo (anemómetro).

- ≡ Basados en principios mecánicos
  - Cazoletas
  - Hélice
  - Dinamo
  - Codificadores incrementales
- ≡ Basados en principios térmicos: se le conoce como anemómetro del conductor o hilo caliente; depende de la dirección (igual que las hélices) y se utiliza para velocidades muy baja (lujo de aire en el interior de invernaderos)
- ≡ Basados en ultrasonidos

Dependiendo las características climatológicas se deberá elegir entre estos diferentes tipos de sensores según lo requiera el caso. En la tabla 10 se presenta una comparativa entre estos[60][45].

Tabla 10 Comparativa de sensores de velocidad del viento.

Sensor	Precio	Observaciones
<b>Mecánicos</b>	Bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simple</li> <li>• Sólo sensible a velocidad del viento</li> <li>• Necesita un mínimo para empezar a moverse.</li> </ul>
<b>Ultrasónicos</b>	Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complejo</li> <li>• Sensible a la orientación</li> <li>• No posee partes móviles</li> <li>• Mide velocidades de viento muy bajas</li> </ul>
<b>Térmicos</b>	Medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy rápidos</li> <li>• Sensible a la orientación</li> <li>• Se ve afectado por derivas térmicas</li> <li>• No posee partes móviles</li> <li>• Mide velocidades de viento muy bajas</li> </ul>

**3.6.1.8.1 Dirección.**

Existen tres tipos de dispositivos de medición de la dirección del viento.

- ≡ Basados en principios mecánicos
- ≡ Potenciómetros
- ≡ Codificadores absolutos
- ≡ Sensores ultrasónicos
- ≡ Sensores de hilo caliente

**3.6.3.6. Sensores de concentración de CO<sub>2</sub>.**

Se basan en la capacidad de absorción de la radiación infrarroja de este gas. Existen varios sistemas que aunque el más extendido consiste en introducir en una cámara de media medida la muestra de CO<sub>2</sub> a analizar utilizando circuito con electro válvulas y con bombas inyectoras. Un emisor introduce radiación infrarroja en la Cámara, el CO<sub>2</sub> la absorbe y se produce un cambio de presión en la cámara de medida. Esta variación de la presión interior la detecta un micrófono (sensor acústico). Cuanto más cantidad de CO<sub>2</sub> mayor será la diferencia de presión[45][46].

Como por el rocío al amanecer.



FIG 25 Sensor de lluvia.

**3.6.3.7. Sensores de lluvia (solo exterior).**

Se basa en producir un cortocircuito en un sistema electrónico; deben estar calefactados para evitar la detección de agua por condensación. Fig.25[45][59][60].

**3.7. Sistema de fertirrigación para cultivo hidropónico.**

Cuando se habla sobre riego, es difícil dejar fuera la interdependencia entre la ciencia del riego y otras materias agronómicas, además de la edafología, climatología y ecofisiología de cultivos; para

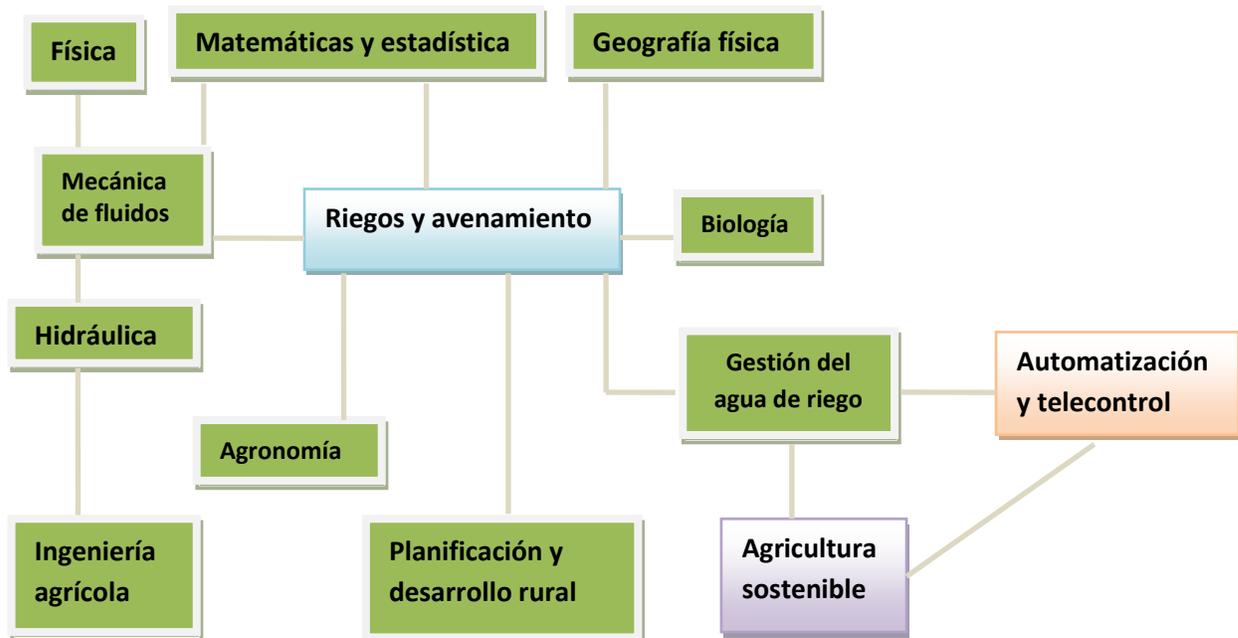


FIG 26 Interdependencia entre la ciencia del riego y otras materias agronómicas.

1985 se había propuesto el diagrama mostrado en la fig. 26, a la cual le he adicionado la automatización y telecontrol como tema de vanguardia y solución a la administración de los recursos consumidos por la fertirrigación.

En un sistema clásico de fertirrigación, fig.29, en invernaderos, éste proceso se simplifica debido a que las redes de riego son fijas, los caudales son bajos; las unidades de riego son grandes; los factores ambientales no afectan directamente a estos sistemas (viento); el riego no interfiere con la mayoría de labores agrícolas; lo cual hace más fácil su control[50].

Desde mediados del siglo pasado, con la aparición de la programación se crearon programas de fertirrigación para: Riego de campo: BASCAD, BASIN, BICAD, BRDRFLW, CATCH3D, FISDEV,SRFR, SURFACE; estructuras: BCWEIR, BCW/RBC, FLUME; canales: CANAL, CID, DORC, DUFLOW, NESTOR, PROFILE; programación: CRIWAR, CROPWAT, CWRTABLE, ETREF, IRSIS; drenaje: DRAINCAN, DRAINMOD, REUSE, SALTMOD, SATEM, SGMP, SUBDRAIN, SWACROP, SWATRER; administración: INCA demo, MAINSYST, OMISdemo, WASAM; "Games":IRRIGAME, REHAB, SUKUdemo, SUKKUR, WYEGAME; tuberías:OPTIPIPE, UNDP; otros: RAINBOW, RICEYLD, SIMYIELD.

En la actualidad, las plataformas de desarrollo de sistemas se han reducido para evitar la discrepancia tan marcada en la programación y facilitando su uso genérico; éstas plataformas de desarrollo se han normalizado en: IL: Lista de instrucciones; LD: diagrama de contactos; SFC: grafcet; ST: texto estructurado; FBD: bloques de función[49][104].

La escala operativa de diseño del control de fertirrigación se puede ubicar por niveles:

un primer nivel lo ocupan los sistemas semiautomáticos con preajustes en cada operación de las válvulas; el segundo nivel se basa en sistemas secuenciales de operación repetida, que implica mediciones tanto de tiempo como volumétricas, mediante la implantación de programadores de riego, con lo que se puede controlar el sistema de bombas dosificadoras; el tercer nivel lo ocupa el riego por computadora, consiste en controlar y procesar todos los parámetros esenciales del regadío en una base programada en "tiempo real"; el cuarto nivel lo ocupan sistemas como el Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR) y el P.A.R; éste último, monitorizando en la Región de Murcia, que dispone en la Unidad Central de computadores personales compatibles, conectados a la red telefónica por medio de módem, fig. 27.

Se puede mencionar un quinto nivel que está desarrollado utilizando la más alta tecnología satelital, pero a su vez, los costos operativos son excesivos.

### 3.7.1. Planteamiento del problema de fertirrigación.

Para permitir un contacto directo e identificar los puntos de mejora que permitan implementar sistemas de control y automatización de fertirrigación que mejoren la eficiencia operatoria y la calidad de los productos agrícolas se realizaron visitas a invernaderos donde pudo observarse físicamente los métodos de fertilización y riego que se utilizan en Almería, España.

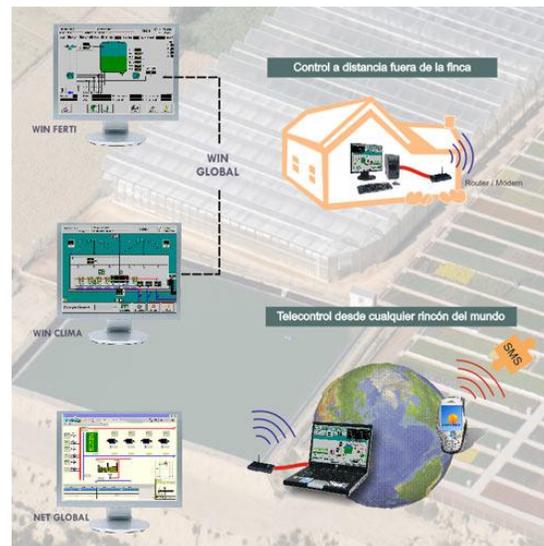


FIG 27 Teleoperación de un sistema de riego. Imag. Int., 2011.

Los sistemas de control de fertilización son herramientas para suministrar agua y fertilizantes al cultivo de la cantidad y frecuencia requerida, además de optimizar el aprovechamiento de los nutrientes y evitar el estrés que afecta negativamente a la producción [41][42][43][44][45].

### 3.7.2. Características de un sistema de fertirrigación NFT.

El principal objetivo es reducir los costos de producción y el consumo de agua además de facilitar la fertirrigación de cultivos bajo invernaderos mediante procesos automatizables[8][24][27][29][35][41][42][43][44][45][49][50][61][62][63][68][83].

Las características de un sistema fertirrigador son:

- Las de redes de riego son fijas.
- Los caudales son bajos y se ayudan por la gravedad.
- Las unidades de percibir en (superficies regadas simultáneamente en) son grandes.
- Factores ambientales como el viento no acepta estos sistemas.
- El riego no interfiere con la mayoría de las labores agrícolas.

El nivel más bajo de automatización consiste en la apertura y cierre de válvulas, continuando con el control de otros factores hasta llegar al control total de la instalación, presentando las siguientes ventajas:

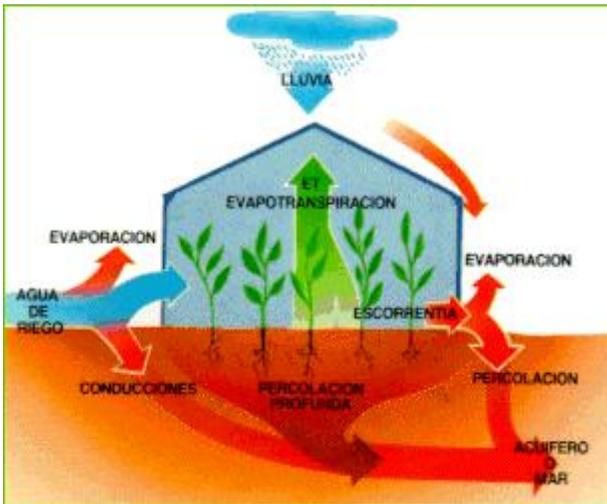


FIG 28 ciclo del agua en el invernadero. Imag. Int. 2010.

- Aumento de la calidad de riego debido al control de la frecuencia y dosificación de riego.
- Ahorro de trabajo manual, mayor flexibilidad en programación de tareas agrícolas.
- Ahorro en instalación (tuberías, bombas, etc.) y en el coste de funcionamiento.
- Control en averías de la red, bombas trabajando en vacío, limpieza de filtros, etc., mediante la activación de alarmas y protección de sistema.
- flexibilidad de programación del riego y fertirrigación en función de distintas variables (humedad del suelo, evaporación, radiación, etc.).

- facilidad en el almacenamiento de datos y gestión de los mismos suministrando datos estadísticos, gráficos, estudios de consumo (agua, fertilizantes y energía), etc.

### 3.7.3. Variables de control.

Existen diferentes métodos para controlar el riego de un cultivo bajo invernaderos y como consecuencia surgen variables para controlar[41][42][43][44][45][62][83].

Control del riego bucle abierto: puede ser por tiempo o caudal de agua.

Control del riego bucle cerrado: puede ser por humedad del sustrato, evaporación, etc.

Además, debe considerarse en el control de la inyección de fertilizantes los siguientes factores:

- PH de la solución nutritiva
- Conductividad eléctrica de la solución nutritiva
- Inyección de micro elementos.

Además, se deben controlar otras variables que informan sobre el estado del sistema y de la calidad del agua de riego como puede ser el nivel de los depósitos o la presión del agua de las tuberías, considerando el ciclo del agua que se presenta en un invernadero, fig. 28. En caso del sistema en NFT, no se tiene la percolación profunda, conducciones, percolación, ni es correntina[8][24][29][41][43][45][49].

### 3.7.4. Diagrama de operación y control de un sistema de fertirrigación.

El cabezal de riego dirige y controla las operaciones de riego y fertilización; se compone de: alimentación de agua, sistema de filtrado, tanque solución madre (tanques de fertilizante A (disolución ácida concentrada de macronutrientes), B (disolución concentradora de calcio), C (disolución concentradora de micronutrientes)), sistema de inyección y sistema de control; mientras que la red de distribución se compone de tuberías primarias (conectada directamente el cabeza le riego), tuberías secundarias y terciarias, emisoras o porteros (en caso de un sistema en NFT no es necesario), como se observa en la fig. 29 [24][27][35][41][42][44][45][49][50][61].

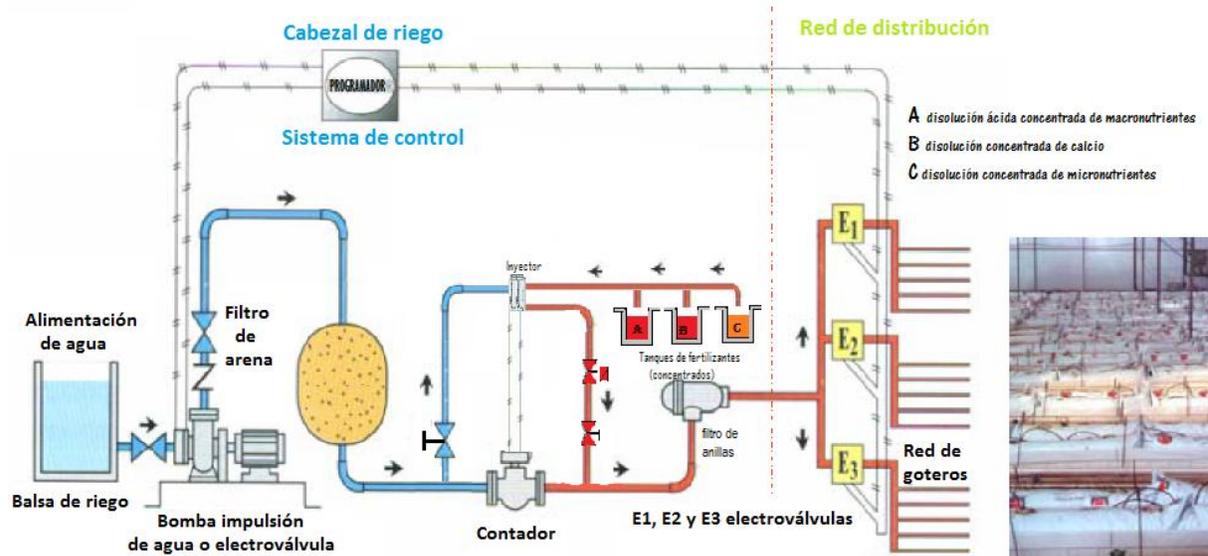


FIG 29 Esquema del proceso de fertirrigación. Imag. mod.[45].

### 3.7.5. Sensores.

Los sensores que se pueden utilizar se mencionan a continuación[45] págs. 219-228; [57][58][60].

#### 3.7.5.1. Sensores para control de riego.

##### 3.7.5.1.1 Humedad del sustrato o del suelo.

###### 3.7.5.1.1.1 Métodos directos.

###### 3.7.5.1.1.2 Métodos indirectos.

##### 3.7.5.1.2 Tensiómetro[INT40].

##### 3.7.5.1.3 Bloque de yeso o nylon[INT36].

##### 3.7.5.1.4 Laptómetro [INT30].

##### 3.7.5.1.5 Sonda de neutrones[INT31].

##### 3.7.5.1.6 Reflectometría en el dominio del tiempo (TDR)[INT32].

##### 3.7.5.1.7 Evapotranspiración.

###### 3.7.5.1.7.1 Evaporímetro.

- 3.7.5.1.7.2 Evaporímetro de Wild.
- 3.7.5.1.7.3 Evaporímetro de Piché.
- 3.7.5.1.7.4 Flotadores y potenciómetros.
- 3.7.5.1.7.5 Ultrasonidos.
- 3.7.5.1.8 Basados en medidas de radiación.
  - 3.7.5.1.8.1 Lisímetro.
- 3.7.5.2 Sensores de caudal: pueden ser de placa-orificio, tobera o vénturi.
  - 3.7.5.2.1 Contador tipo Woltman.
  - 3.7.5.2.2 Rotámetro.
  - 3.7.5.2.3 Contador de ultrasonidos.
  - 3.7.5.2.4 Contador electromagnético.
  - 3.7.5.2.5 Contador por restricción.
- 3.7.5.3 Sensores para control de fertirrigación.
  - 3.7.5.3.1 Medida del pH.
  - 3.7.5.3.2 Método potenciométrico.
- 3.7.5.4 Medida de la conductividad eléctrica.
  - 3.7.5.4.1 Sensores conductimétricos.
  - 3.7.5.4.2 Medición inductiva.

### 3.7.6. Control de fertirrigación.

Para controlar y automatizar deben responder a las preguntas ¿Cuándo se debe regar?, ¿Qué cantidad de agua se debe aplicar en cada riego?, ¿Qué sistema de inyección de fertilizantes se va utilizar?, ¿Cuál debe ser la frecuencia de los riegos?; Los algoritmos de control del riego que se utilizan usualmente son [45][46][57][58] [60]:

- Control por tiempo.
- Control por volumen.
- Control basado en la radiación.
- Control basado en la evaporación.
- Control basado en el drenaje.
- Control basado en la humedad del suelo o sustrato.

En el caso de los algoritmos de control para la inyección de fertilizantes se tiene:

- Control basado en la medición continua de pH y CE del agua de riego: Se utiliza control todo-nada, PID.
- Control de la fertirrigación por medio de sistemas expertos en tiempo real.

### 3.8. Siembra-Desarrollo-Recolección-Empaque, en el proceso de producción de un invernadero.

Las actividades que se realizan regularmente durante los procesos de siembra, desarrollo, recolección, empaque y distribución dentro de un invernadero son las que deben ser estudiadas para determinar las actividades automatizables y no automatizables dentro de cada función.

Las actividades que llevan a cabo en términos de sus procesos depende significativamente el tipo de cultivo que se haya elegido, sin embargo sufragan la noción de generales bajo la dando la oportunidad de consultar otro tipo de bibliografía que se incluyen en cada apartado.

### 3.8.1. Siembra.

Para iniciar la siembra, primeramente se debe tener el equipo básico estarán conformados por las bandejas o recipientes, sustrato, integradores de semillas, plantador por lápiz o incluso máquinas automatizadas para siembra; semillas saludables y entre sus especiales climaterios; estos últimos pueden ser desde lo más sencillo, formado por una meseta, una bolsa y una liga hasta automatizar. Los procedimientos de siembra y los pasos previos a realizar la; sin embargo en términos generales, lo único que se requiere en hacer un agujero en la tierra, tan profundo como lo determine el tipo de cultivo de realizar; introducir la semilla o la glándula en el agujero dejando un poco de sustrato alrededor de las raíces o bien tapando la semilla para evitar que no se formen bolsas de aire, colocar el contenedor en un espacio con las condiciones ambientales que requiere el cultivo; monitorizar regularmente la germinación y los parámetros requeridos (sustrato y agua) para su adecuado crecimiento.

Si el espacio que se va a emplear es reducido y se requiere tener mayor variedad en la producción, se pueden combinar plantas con características climatológicas y de PH similares [127]págs.108-144[126].

### 3.8.2. Desarrollo ó crecimiento por fases.

Cuando una planta comienza su desarrollo se debe Nutrir, regar, podar, desherbar, tratar plagas y proteger.

Cuando la planta no luce saludable, se puede saber si existen deficiencias de nutrientes o bien si es por enfermedad con la observación; si bien ya se ha hablado sobre la nutrición de las plantas en la sección 3.2.1, la tabla 11 complementa los indicadores de los nutrientes ante una posible falta de nutrientes o bien por la aparición de alguna enfermedad, como se habla en la sección 3.5.5.3.

**Tabla 11 Indicadores de nutrientes.**

ELEMENTO	INDICADORES DE LOS NUTRIENTES QUE NECESITAN LAS PLANTAS.	INDICADORES DE LOS EXCESOS DE NUTRIENTES DE LAS PLANTAS.
<b>Calcio</b>	Daños en el punto de crecimiento.	Reducción en la absorción de potasio magnesio.
<b>Magnesio</b>	Baja producción, hojas viejas o amarillas.	Ralentización de la absorción de calcio y potasio.
<b>Azufre</b>	Hojas de color verde claro o amarillo y un crecimiento atrofiado.	Puede producir quemaduras en las hojas combinado con un pH bajo.
<b>Oxígeno</b>	Manchas blancas en los nervios y nitratos altos.	Ninguno conocido.
<b>Nitrógeno</b>	Hojas de color verde o claro o amarillo y crecimiento atrofiado	Hojas de color verde oscuro, crecimiento excesivo, retraso de la madurez y pérdida de protesta o frutos.
<b>Carbono</b>	Ninguno conocido.	Ninguno conocido.
<b>Fósforo</b>	Hojas rojas o moradas y retraso de la división celular.	Puede limitar la absorción de otros elementos.
<b>Potasio</b>	Vigor reducido, susceptibilidad a enfermedades, piel fina y frutos pequeños.	Frutos gruesos y pálidos y reducción de la absorción del magnesio y el calcio.
<b>Boro</b>	Hojas pequeñas y brotes múltiples.	Hojas de color amarillento.
<b>Cobre</b>	Brotos múltiples y bolsas como gomosas.	Impide la absorción del hierro y raíces atrofiadas.
<b>Hierro</b>	Hojas amarillas y menos verdes.	Ninguno conocido.
<b>Manganeso</b>	Hojas moteadas de amarillo y blanco y crecimiento atrofiado.	Pequeñas zonas muertas en bordes amarillos en las hojas.
<b>Molibdeno</b>	Síntomas variados.	Es muy venenoso para el ganado.
<b>Zinc</b>	Hojas pequeñas, delgadas y amarillas, baja producción.	Ninguno conocido.

Un buen control en los nutrientes, la frecuencia de riego, temperatura, poda y demás factores, permitirán el buen crecimiento de las plantas, su floración y fructificación en correlación con el medio en que se desarrolla[18][19][33][35][126][127].

### **3.8.3. Cosecha.**

El mejor momento para la recolección de frutos y hortalizas es antes de que alcance su maduración. Una vez recogida la fruta debe almacenarse en condiciones adecuadas (a baja temperatura, con poca luz, en lugares secos y bien ventilados).

El momento más adecuado para la recolección es en el día, a primera hora de la mañana; debido a que el cultivo no ha sufrido las horas de más calor y de esta forma, guardado convenientemente, se mantendrá fresco durante más tiempo; en el caso de grandes cultivos, también se valoran aspectos como la disponibilidad de transporte, en las condiciones ambientales, la oferta y demanda del mercado. La cosecha puede ser de forma manual o mecánica; esta última puede ser automatizada[33][62][65][105][127].

### **3.8.4. Embalaje y trazabilidad.**

Los envases y embalajes han jugado un papel importante a través de la historia con la evolución de la sociedad, reflejando nuevos requisitos y características de los productos que contienen.

Los empaques reducen el intercambio gaseoso entre el alimento y la atmósfera ya que operan como una barrera selectiva al paso de oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua y aromas; también actúan como una barrera a la luz y a la contaminación biológica causada por partículas, insectos, roedores o microorganismos ya que la superficie externa de los alimentos puede contaminarse fácilmente por simple contacto con la superficie de mesa o utensilios o por las operaciones de manejo y distribución así como los agentes biológicos presentes en el ambiente.

Los empaques contribuyen a incrementar la vida de anaquel y la calidad de alimentos reduciendo así la incidencia de enfermedades asociadas al consumo de alimentos. Los empaques deben garantizar no sólo la protección del producto frente al medio ambiente, sino también considerar aspectos de inocuidad y seguridad alimentaria, brindar información al consumidor acerca de la composición del alimento, de la marca o la forma de consumo, así como poseer un diseño atractivo para asegurar la compra o la diferenciación de un producto en particular sobre otras marcas.

Los materiales más comunes incluyen el polipropileno(PP), poliéster(PET,PEN), cloruro de polivinilo(PVC), poliestireno(PS), nylon, alcohol-vinil-etileno(EVOH) y poliamidas, entre otros[131][132].

Se puede lograr un mejoramiento significativo en los procesos, de manera que éste cumpla con los requerimientos contemporáneos del cliente en lo que concierne a calidad, rapidez, innovación, ajusta la necesidad del cliente y servicio. Hammer propone siete principios o reglas para aplicar reingeniería y la integración.

1. Organizarse por resultados, no por tareas.
2. Hacer que quienes utilizan la salida del proceso desempeñen el proceso.
3. Combinar el trabajo de procesamiento de la información con el trabajo real que produce la información.
4. Tratar los recursos o gráficamente dispersos como si estuvieran centralizados.
5. Vincular las actividades paralelas en vez de integrar sus resultados.
6. Situar la toma de decisiones en donde se desempeña el trabajo de incluir el control en el proceso.
7. Capturar la información una sola vez, en la fuente.

Estas reglas también son aplicables a la trazabilidad, que aunque se apoya del uso de código de barras, éstos también pueden presentar errores que pueden ser más costosos que la implementación del sistema en sí; en la actualidad están buscando hacer uso de otros métodos como el *Data Matrix*<sup>3</sup> para mejorar los procesos[131][132].

Todo esto es aplicable a sistemas agrícolas como medio de producción masivo.

### 3.9. Automatización.

La automatización como disciplina de la ingeniería considera más que lograr solo el control de procesos; abarca la instrumentación industrial, que incluye sistemas de control y supervisión por medio de sistemas de transmisión, recolección de datos y aplicaciones de software en tiempo real de plantas o procesos industriales.

El apoyo que brinda parte de la automatización es mediante el diseño de robots para uso agrícola, cuyas posibilidades son variadas.

Algunos de los robots que se pueden diseñar para apoyar las labores en las diferentes etapas de producción, que se menciona en la tabla 13 sección 5.5.4.1, se pueden clasificar por su inteligencia, según la tabla 12, y por el entorno del movimiento, fig. 30, la cual fue propuesta por el Dr. Antonio Giménez[45].

**Tabla 12 Clasificación de los robots según su inteligencia.**

TIPO DE ROBOT.	DENOMINACIÓN.	CARACTERÍSTICAS.
1ª generación.	Robot manipulador.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sólo realizan movimientos programados.</li> <li>No recogen información del entorno.</li> <li>Sistemas de control sencillo, multifuncionales y flexibles. Aceptan modificaciones en el programa sin cambiar la estructura.</li> </ul>
2ª generación.	Robot con aprendizaje.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mismas características que los de la 1ª generación.</li> <li>Repiten una secuencia de movimientos que ha sido ejecutada previamente por un operador humano utilizando un dispositivo mecánico.</li> <li>Memorizan esas secuencias.</li> </ul>
3ª generación.	Robot con control sensorizado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mismas características que los de la 2ª generación.</li> <li>Posibilidades de una comunicación con el entorno que los rodea.</li> <li>El controlador es un ordenador que ejecutar las órdenes de un programa.</li> </ul>
4ª generación.	Robot inteligente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mismas características que los de la 3ª generación.</li> <li>Robots dotados de inteligencia artificial.</li> <li>Disponen de sensores que dan información sobre el estado del proceso.</li> <li>Esto permite una toma inteligente de decisiones.</li> <li>El control del proceso se produce en tiempo real.</li> </ul>

<sup>3</sup> Códigos en 2 dimensiones para etiquetamiento de productos.

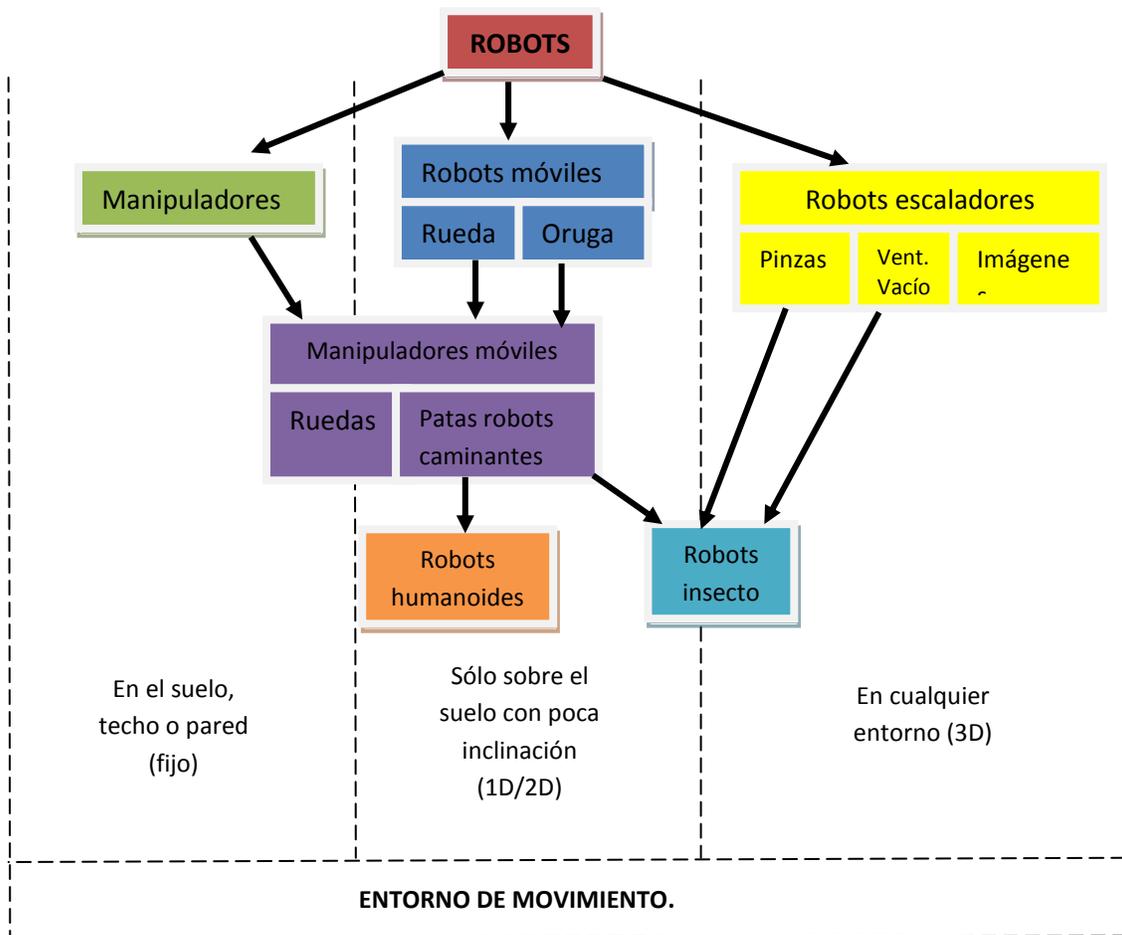


FIG 30 Clasificación de robots según el entorno de movimiento. Imag. mod.[45].

Los beneficios típicos de adoptar nuevas tecnologías de producción son tangibles e intangibles. Los beneficios que se pueden obtener son la reducción de costos laborales, materiales, de inventarios, de calidad y mantenimiento; lo cual ayuda a tener mayor variedad de productos, mejores características de los productos, ciclos más cortos de tiempo, mayor producción de productos. Sin embargo si bien la adquisición de nuevas tecnologías entraña muchos beneficios, ésta también implica varios tipos de riesgo. Antes de adoptar las tecnologías es preciso evaluar estos riesgos y sopesarlos con los beneficios tanto tecnológicos, operacionales, de organización, económicos y/o ecológicos[128].

## CAPITULO 4. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.

*"La formulación de un problema, es más importante que su solución"*

*Albert Einstein*

#### **4.1. INTRODUCCIÓN.**

El diseño actual de invernaderos en México no incluye aportaciones ecológicas en sus diseños. Algunas personas se dedican a vender automatismos innecesarios a los propietarios de invernaderos lo cual causa un mayor impacto ecológico, aunado a la falta de higiene y confiabilidad en los procesos de cultivo que se llevan a cabo en la mayoría de la producción, que si no es difícil, resulta imposible identificar cuando se adquieren los productos agrícolas en cualquier mercado.

#### **4.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La sociedad mexicana de consumo, en el ámbito agrícola, carece de una seguridad en la sanidad de los procesos agroalimentarios al 95%, por lo cual la automatización de los procesos productivos dentro de los invernaderos podrían garantizar una confiabilidad y trazabilidad de los productos que se derivan de éstos procesos productivos, no sólo en México, sino en el mundo.

Los pequeños productores se ven marginados debido a la dificultad que implica no sólo en lograr cosechas; sino también en distribuir la misma porque en algunos casos la producción de sus parcelas no alcanza a abastecer las necesidades del mercado o bien no hay quien las compre, debido a las condiciones insalubres con las que fueron sembradas o que no alcanzan la calidad que el mercado demanda. Los precios de las cosechas no sólo se ven afectados por la oferta y la demanda sino también por factores climatológicos y atmosféricos debido a los cambios de estación.

Se tiene un terreno en el estado de Veracruz que se desea utilizar para cultivo orgánico protegido y un terreno para llevar a cabo pruebas en la localidad de Tenancingo, Estado de México.

#### **4.3. HIPÓTESIS.**

- Si se observa el ciclo ecológico natural para el crecimiento de plantas se puede desarrollar un invernadero con tendencias ecológicas.
- Si a medida que aumenta la población mundial, las necesidades de plantas que suministren alimento, combustible, fibras, medicamentos, madera y papel es cada vez mayor; entonces se hará necesario obtener mayor producción en menor espacio y tiempo; por lo tanto el uso de invernaderos automatizados ayudarán a solucionar las deficiencias agroalimentarias.

## CAPITULO 5. PROPUESTA DE DISEÑO CONCEPTUAL.

*"El diseño consiste en adecuar los productos a la circunstancia a que están adscritos. Y esto significa sobre todo adaptarlos a circunstancias nuevas. En un mundo que cambia, también los productos tienen que cambiar".*

*Otl Aicher.*

### 5.1.INTRODUCCIÓN.

A fin de estudiar la propuesta de diseño conceptual se establece la metodología usada a lo largo de ésta investigación; posteriormente se presenta la investigación realizada mediante la aplicación de entrevistas y encuestas a personas que tienen que ver con el ámbito agrícola, sección 6.3, y que ha influido en la toma de decisiones para realizar la propuesta de diseño conceptual que se presenta en la sección 6.4 de manera general; posteriormente se irá profundizando en algunas de las tomas de decisiones que dieron origen a los clasificados como factores extrínsecos e intrínsecos del diseño; dando una aportación general de especificaciones estructurales de planta y para prototipo e incluyendo finalmente las ventajas y desventajas con un estimado general de costo de invernaderos en base a su nivel de tecnología y materiales que aporta la SEGOB en materia agraria a nivel general.

### 5.2.METODOLOGÍA.

Cada uno de los estudios que se llevaron a cabo a cerca de más de 20 diferentes metodologías de diseño[INT1] han servido para confirmar que cada uno de los pasos propuestos por cada una de ellas son tan solo una guía del cómo diseñar; sin embargo, el procedimiento de la forma del pensamiento no es una receta de cocina, en la cual cualquiera pueda obtener como resultado un producto que satisfagan las necesidades para las cuales fueron creados.

Es bueno tener una base para no perderse en los conceptos y considerar cada una de sus aportaciones.

En algunos casos, estas metodologías pueden ser empleadas como herramientas de otras metodologías y en algunos casos serán complemento de otros debido a la complejidad de su aplicación.

Para poder concebir el diseño conceptual de un invernadero automatizado se ha utilizado el diagrama propuesto por un Ullman[4] , fig.31, además de complementarlo con otras técnicas como la aplicación de encuestas a usuarios, catedráticos, personal de gobierno para recrear el campo de acción y entender la importancia de la hidroponía, sus complementos, virtudes y necesidades; las metodologías por las cuales fue inspirado éste trabajo fueron las aportadas por la biónica[122], biomimética[115][123][124], ecodiseño[115], IDEO[116][117][118], Triz[14] y *Brainsotrming*<sup>4</sup>[INT1], principalmente, sin descartar otras que se hayan formado inconscientemente debido a la forma en que opera el pensamiento humano y que aunque no se vean reflejadas directamente en este trabajo bien funcionaron para realizar toma de decisiones.

El caso del invernadero, se trata de un sistema complejo en el cual se utilizó el concepto de dividir para analizar; sin perder de foco el objetivo por el cual la conceptualización se estaba realizando, a pesar de no saber cuál sería el producto final que se obtendría de conocer al usuario final, diseñadores y personas que han tenido experiencia directa no sólo en la forma de producir, sino también en las diferentes etapas de construcción, climatización, análisis, investigación, entre otros; referentes a la agricultura.

Se empleó el método de investigación directa para reconocer, organizar, elaborar y evaluar la información mediante la exploración de las siguientes tareas:

- Consulta y recopilación documental:
  - \* Revisión de la literatura.
  - \* Consulta documental.
- Consulta de mapas.
- Contacto global o primer abordaje de la realidad[119].

---

<sup>4</sup> Es equivalente a lluvia de ideas o tormenta de ideas.

- Consulta de informantes-claves.
- Consultas y recopilación documental consiste en contacto con esa parte de la realidad que se ha de investigar y en la que se ha de actuar, a través de lo que otros vieron o estudiaron de ella.

Los documentos son hechos o rastros de algo que ha pasado, de ahí que, como testimonios que proporcionan información, datos o cifras, constituyan un tipo de material muy útil para la investigación social. El apoyo documental fue a base de libros, revistas, investigaciones, informaciones, documentos escritos, estadísticas, mapas, periódicos, obras literarias, internet, etc., recogidos y elaborados por distintas personas, organizaciones e instituciones, para abrir un panorama hacia el conocimiento del tema en la sociedad mexicana comparativamente con la sociedad española. El proceso creativo no es algo que se pueda imponer, pero la metodología si es algo que puede ordenar ese proceso en el afán de conseguir nuevos productos automatizados o no automatizados. En éste documento no se precisará cada una de las metodologías que se utilizan para llevar a cabo la automatización en cada sección del invernadero o para cada una de sus funciones específicas, pero han sido complemento unas de otras para determinar los procesos de automatización que requiere cada una de las secciones[120][121].

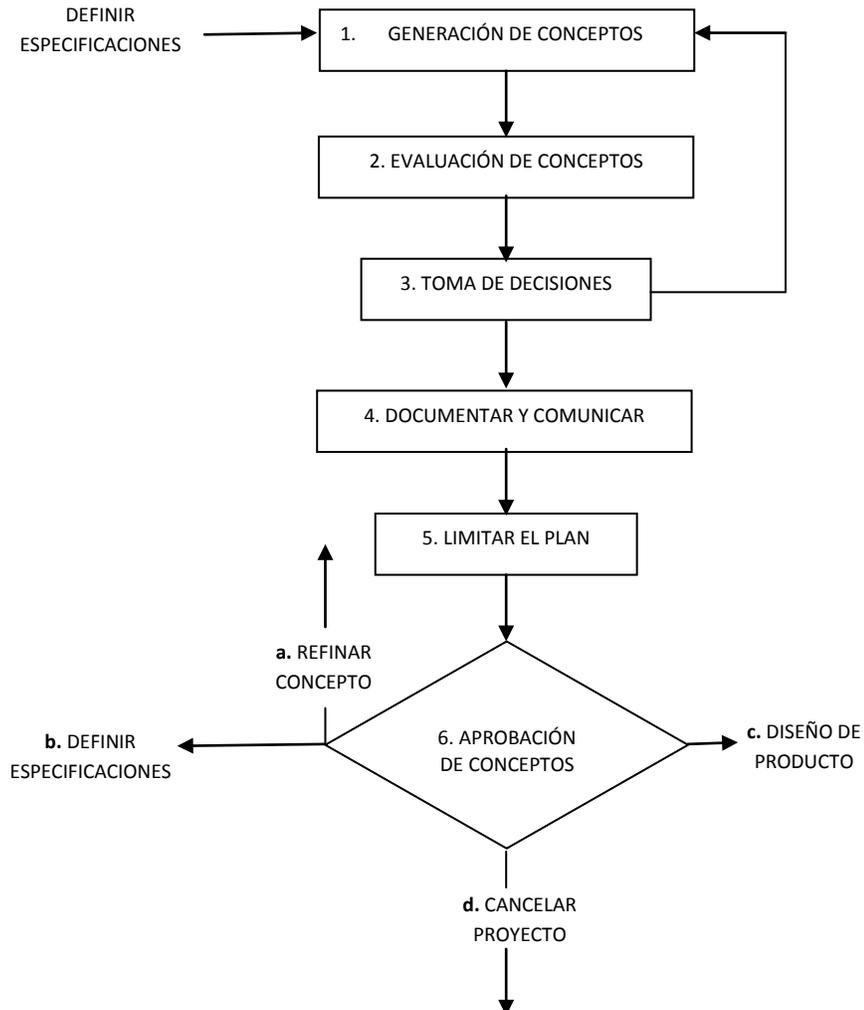


FIG 31 Diagrama de flujo de las Fases del diseño conceptual en el proceso de diseño[4].

### 5.2.1. Aplicación de la metodología.

Se tomó en consideración el diagrama de flujo de la figura 31 para el desarrollo del diseño conceptual del invernadero, a continuación se explican sus partes.

1. **Generación de conceptos:** las técnicas utilizadas para generación de conceptos fueron lluvias de ideas personales y colectivas, visualizaciones de patrones, comparativas, entrevistas, función –relación, segmentación, entre otras. Iniciando por la segmentación del problema para buscar generar la mayor cantidad de ideas posibles o “imposibles” que pudieran ser realizadas para llevarlas hacia el punto dos y sus sucesivos.

En el caso del invernadero, se parte de la primicia de que todo ser vivo requiere de los cuatro elementos agua, sin equivalente pero portando la acción nutritiva que brinda la tierra en un cultivo convencional; tierra, en este caso referido al sustrato; aire, portador de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y vapor de agua; y fuego, manifestado como la luz del sol como fuente de energía de la planta; además de diferentes conceptos que pueden observarse en el comportamiento de la naturaleza; todos estos conceptos permitieron visualizar al invernadero como un organismo que se divide en sistemas y a su vez en órganos, donde el corazón (planta) se vuelve el objeto de estudio.

Por tal motivo los sistemas considerados en todo el proceso productivo son estructura, climatización, fertirrigación, energético, hidráulico, siembra, desarrollo, recolección, empaque, gestión y tráfico; para cada uno de estos procesos se llevó a cabo la generación de conceptos en forma individual y después de pasar repetidas veces por el diagrama de flujo se analizaron nuevamente de forma colectiva.

Este proceso se repite tantas veces sea necesario si no se ha llegado a completar c.

2. **Evaluación de conceptos: es momento de seleccionar de manera objetiva las ideas que sean congruentes, funcionales y que cumplan las características que tengan potencial para llevar a cabo el desarrollo de un nuevo producto y/o proyecto, sin descartar en su totalidad a las ideas generadas por que posteriormente pueden ser reutilizadas.**

Cuando se evaluaron los conceptos generados para llevar a cabo el diseño conceptual del invernadero automatizado se tuvo que ligar la función de un sistema con otro debido a su dependencia con el medio, como es el caso de la climatización con la energía, la fertirrigación con el desarrollo, recolección con empaque y a su vez la dependencia con otros sistemas por los cuales se pueden obtener variaciones y afectaciones como el caso de temperatura-humedad-planta, gestión-tráfico-invernadero, entre otros.

3. **Toma de decisiones:** ésta debe tomarse de manera objetiva y considerando su compatibilidad con otros conceptos al momento de evaluarlos.

En el caso del invernadero, se tomaron decisiones de diseño que posteriormente tuvieron que ser cambiada debido a que portaban mayores beneficios que los seleccionados, tal es el caso de la estructura, donde se tiene como elección primaria un invernadero tipo Parral sin embargo para este tipo de estructuras resulta complicada la introducción de automatización dentro del invernadero, por lo cual se ha elegido la estructura multitud de considerando como otra de sus virtudes la estabilidad de la estructura y el espacio que puede ser utilizado. En cada uno de los sistemas se han tenido que llevar a cabo la minuciosa toma de decisiones; en algunos casos hizo que el proyecto fuera más grande porque era necesario tomar esas consideraciones, como es el de incluir una planta tratadora de agua, una planta de energía solar y la gestión y tráfico dentro del invernadero. Entre otras que permitieron la obtención del diseño conceptual final.

4. **Documentar y comunicar:** después de la toma de decisiones se investigó a profundidad y, se tomaron apuntes, se realizaron bosquejos, dibujos, se tomaron notas, bibliografía y mesografía que posteriormente fueron consideradas y entrelazadas a las ideas aportadas por los expertos, los usuarios y las normativas. Es recomendable llevar una bitácora de estudio.
  
5. **Limitar el plan:** al documentar y comunicar la información adquirida se vuelve muy extensa, por lo cual es necesario limitar los alcances e incluso la información aportada por los diferentes medios.  
Debido a la cantidad de información encontrada no sólo acerca de la hidroponía como medio de cultivo, sino sobre el diseño y construcción de invernaderos, automatización, biología de las plantas, meteorología, hidrografía, geografía, economía, sociología, entre otras ciencias afines que debieron ser estudiadas para dar un enfoque en diseño para la automatización de un invernadero; todo ello, hacían que pareciera no tener un comienzo bien definido al momento de realizar éste documento.  
Es importante no perder el objetivo y en el caso de organismos que se dividen en sistemas, lo importante es lograr nuevamente la unificación de los sistemas en el organismo ya que todos serán dependientes directos o indirectos de los procesos que se efectúan en el mismo.
  
6. **Aprobación de conceptos:** en esta parte se determina si los conceptos evaluados, finalmente formarán parte de lo que será el diseño conceptual; si no se llega a la aprobación de conceptos se deberá continuar la trayectoria del flujo, fig. 1, en **a**; si el proyecto no llegara a ser concluido se continuaría por **d**; pero si este proyecto continuara primero debería continuarse en **b** para concluir en **c**.  
En el caso del invernadero, se presenta únicamente el diseño conceptual sin pasar por **b**, **c** ni **d**; pero si iterativamente por **a**.

Considero que ésta es una forma descriptiva del proceso del pensamiento en la búsqueda por ordenar una serie de procesos que en realidad se encuentran interactuando una y otra vez para darle sentido a un concepto; se pueden desarrollar diferentes estados para el desarrollo de lluvia de ideas pero a su vez el cerebro evalúa conceptos, los analiza, toma decisiones y realiza propuestas tantas veces sea necesario para proporcionar una idea, funcione o no.

Lo importante es que éstas ideas puedan ser concretadas y se nutran de otras ideas para mejorar el diseño mientras se consideran otros conceptos, aprendidos o relacionados, simultáneamente tomando en cuenta una serie de preguntas a las cuales se les irán dando respuesta y en la medida en que se responden se puede decir que se va avanzando en el diseño conceptual.

Ejemplo de las preguntas que estuvieron presentes en cada una de las etapas fueron las siguientes:  
¿Que necesita una planta para vivir?, ¿Cómo funciona y cuál es el ciclo de vida de una planta? ¿Todas las plantas son iguales? ¿Es posible generar un ambiente controlado para el desarrollo de plantas? ¿Es posible la mezcla entre especies de la misma familia pero de diferentes clases y subclases? ¿Es posible la convivencia de insectos y qué tipo de insectos con el reino *plantae*? ¿Cuál es la mejor forma estructural de un invernadero para generar una mayor producción? ¿Lo que tengo genera un impacto social? ¿Cuál es? ¿Ayuda a las personas por las que fue diseñado? ¿Se puede mejorar? ¿Cómo?...

A final de cuentas todo ello ayudará a tomar una buena decisión y permitirá darle una estructura a los conceptos.

### 5.3. ESTUDIO DE DISEÑO EN CAMPO MEDIANTE APLICACIÓN DE ENTREVISTAS Y ENCUESTAS.

El conocimiento se fortalece al considerar y valorar el punto de vista de los elementos que conforman los grupos que colaboran con sus conocimientos técnicos, científicos e intelectuales para llevar a cabo una tarea en común; la de obtener una producción agrícola cuantificada, cualificada y calificada. El trabajo que desempeña cada uno de los miembros integradores en cada una de sus áreas sirve para determinar, en base a sus experiencias, los puntos de mejora que permitan establecer tecnología de calidad para el cultivo protegido.

Después de haber estado en contacto directo con los métodos de cultivo, las diferentes formas de agricultura protegida, y concatenando el conocimiento por medio de fuentes bibliográficas, el conocimiento del contexto socioeconómico, político, cultural y la trayectoria del avance científico, por medio de entrevistas y visitas en Xochimilco, D.F.; Tenancingo, Estado de México y Almería, España; se toma en cuenta la opinión de los investigadores e individuos que conviven diariamente con este tipo de información para vivir de viva voz su experiencia y necesidades para dar un avance hacia el futuro mediante la valorización de sus aportaciones para lograr una propuesta de diseño conceptual para un invernadero automatizado para cultivos en hidroponía.

#### 5.3.1. Experiencia de investigación, material y aplicación de la metodología en México.

Después del análisis de la evolución de los sistemas de control de los invernaderos, se realizaron visitas en el campo de aplicación para determinar la existencia y operación de los diferentes sistemas e identificar los puntos de mejora que permitieran implementar sistemas de control y automatización en cada uno de los procesos para que mejoren la eficiencia y calidad de los productos agrícolas.

Las herramientas utilizadas para ésta etapa fueron el método de investigación directa; utilizando como medio de verificación la herramienta de la entrevista; las cuales fueron aplicadas en México en las localidades de Xochimilco, Tenancingo, Villa Guerrero y en la UNAM, donde se entrevistaron a empresarios, campesinos, agrónomos y profesores.

Dentro de las preguntas realizadas están las siguientes:

**¿Cuál es su técnica de cultivo?** Los empresarios entrevistados poseen invernaderos y para esta pregunta el 100% utiliza hidroponía por sustrato; los campesinos utilizan el medio tradicional con agricultura protegida por medio de túneles, los agrónomos al estar subordinados a los empresarios o campesinos, utilizan la metodología que elija el propietario de las tierras, en cuanto a los profesores entrevistados el 100% utiliza la hidroponía como medio de cultivo.

Ante la pregunta **¿Conoce la hidroponía como método de cultivo?** Las respuestas de los empresarios, agrónomos y profesores fue afirmativa, mientras que de los campesinos, tan sólo el 30% la aplica.

**¿Ha tomado algún curso para conocer sobre el cultivo hidropónico? ¿Ha sido claro para usted?**

El 100% de los empresarios contestó afirmativamente, sin embargo para el 80% no fue claro y manifiestan el desconocimiento de los tecnicismos empleados durante los cursos, por lo cual decidieron continuar con las prácticas que la experiencia les ha dado. En cuanto a los agrónomos manifiestan que el único momento donde aprendieron la técnica de manejo hidropónico fue durante su preparación escolar; mientras que los profesores son los que llevan a cabo este tipo de cursos para la comunidad. En cuanto a los campesinos sólo el 20% han asistido a cursos sobre el manejo de cultivos en hidroponía y coinciden con los empresarios, los tecnicismos empleados durante el curso no son claros para ellos, lo que es normal en el vocabulario genérico de los investigadores.

**¿Cree que el cultivo protegido sea una solución para la obtención de mejores productos agrícolas?**

El 100% de los entrevistados coincidieron afirmativamente.

**¿Está dispuesto a automatizar sus procesos de producción y cultivo?**

El 100% de los empresarios, agrónomos y profesores entrevistados respondieron afirmativamente aunque cabe mencionar que los empresarios lo harían si su ganancia se incrementara, mientras que

los agrónomos y profesores están dispuestos a colaborar a la investigación y desarrollo de maquinaria que permitan la automatización efectiva de la agricultura protegida. En el caso de los campesinos, el 20% prefiere las prácticas de cultivo tradicionales, por lo cual no están dispuestos a automatizar sus procesos de producción.

**¿Cuál sería una causa por la cual no podría tener invernaderos automatizados?**

Las respuestas obtenidas fueron en primer lugar el factor económico, falta de apoyo gubernamental, y miedo al cambio.



**FIG 33 Invernaderos en Xochimilco, México. El deterioro y la imposibilidad de reinversión dan como resultado éstas imágenes.**

A mi parecer, las respuestas brindadas por los entrevistados variaron en función de sus necesidades y las condiciones actuales de sus cultivos, por ejemplo, en Xochimilco, fig. 32, se observan numerosas naves que han sido adecuadas por los agricultores y que en algún momento tuvieron la posibilidad de invertir, sin embargo, en 2010 cuando se realizó la entrevista manifestaban que el gobierno no había podido otorgarles apoyo a pesar de participar por ello, aunado a esto, las ventas de flor no había sido la misma que en años anteriores y por lo cual no tenían posibilidades de invertir, los productores manifiestan el apoyo hacia las áreas de investigación para que puedan utilizar sus espacios como objeto de estudio para mejorar procesos de automatización, aunque prefiere en el sistema de riego



**FIG 32 Invernaderos semiautomatizados en Villa Guerrero, Edo. Mex.**

por manguera que los sistemas de fertirrigación localizado debido a que anteriormente las terminales se tapaban. Utilizan agroquímicos para el control de plagas distribuido por mochilas.

En la localidad de Villa Guerrero se encontraron en su mayoría invernaderos semiautomatizados, fig. 33 los agricultores están abiertos a la obtención de automatismos que no impliquen mayor inversión pero si que brinden resultados en las labores cotidianas de los procesos agrícolas, esa zona tiene una alta concentración agrícola, el poder adquisitivo es mayor que en Xochimilco, por lo cual se pueden observar invernaderos con mayor mantenimiento, aunque los sistemas de calefacción y ventilación de los invernaderos visitados no son muy eficientes y aún se utilizan agroquímicos para evitar las plagas.

Tenancingo, apenas está incursionando en la agricultura protegida debido a la influencia de Villa Guerrero, el tipo de cultivo sigue siendo tradicional, aunque se pueden encontrar casas sombra e invernaderos tipo túnel, principalmente; los invernaderos que se encuentran en la fig. 34 son semiautomatizados; los invernaderos de la fig. 35 poseen control climático sin sistema de fertirrigación automático.



FIG 34 Invernadero semiautomatizado en Tenancingo, Edo. Méx.



FIG 35 Invernadero semiautomatizado en Tenancingo, Edo. Méx.

### 5.3.2. Experiencia de investigación, material y aplicación de la metodología en España.

Las entrevistas que se realizaron en Almería fueron aplicadas a investigadores, técnicos, empresarios, agricultores y jornaleros; los dos primeros con estudios superiores concluidos; el 50% de los empresarios entrevistados cuentan con licenciatura y el resto con la experiencia de la vida; sin embargo, el 100% son asesorados por técnicos especialistas y/o investigadores; mientras que los jornaleros con estudios máximos equivalentes a la educación secundaria, éstos provenientes, principalmente, de Marruecos, África, Ecuador y Perú.

De las preguntas realizadas que coincidieron en su aplicación se obtuvieron divergencia en las respuestas; en cuanto a la que plantea si conocen la operación de los sistemas de climatización; todos los entrevistados saben cómo funcionan en términos generales; sin embargo, el 100% de los técnicos entrevistados saben programar y saben cómo obtener parámetros o lecturas de los sensores pero todo son considerados procedimientos; en cuanto a los investigadores solo el 40% había programado algún sistema; el 60% no había tenido experiencia con la programación pero se dedican a recoger otro tipo de muestras que pertenecen a su(s) línea(s) directa(s) de investigación el tipo de parámetros

que obtienen son referidas a las interacciones fisicoquímicas y bioquímicas entre planta-invernadero; mientras que los jornaleros solo se encargan de hacer el tendido de redes y monitorización física de funcionamiento de los sistemas del invernadero, es decir, solo conocen la instalación de sistemas y señales de alarma, pero desconocen el funcionamiento operacional y de programación de los diferentes sistemas de monitoreo.



**FIG 36** Evaluación de prototipo para invernaderos automatizados.

En las preguntas incluidas se cuestionó si habían tenido algún problema con los equipos, a lo que los investigadores y empresarios les parece normal que de vez en cuando se obture alguna terminal de las mangueras en riego localizado, que las temperaturas sean variantes o se presenten otros detalles; mientras los técnicos y jornaleros coincidieron que es común que se tapen las terminales de las mangueras de riego localizado y puede ser difícil su detección a tiempo, que aunque posean ventiladores los invernaderos, éstos no distribuyan adecuadamente las corrientes de aire para regular la temperatura dentro del invernadero.

En cuanto a la pregunta **¿le agrada el trabajo que desempeña?**

El 100% considera que sí; aunque el objeto que impulsa a uno y otro a desempeñar su trabajo sea distinto; por ejemplo, los investigadores gustan del desarrollo tecnológico e investigación, fig. 36; los técnicos gustan de su profesión pero prefieren la no automatización a pesar de que se han adaptado a los automatismos impuestos por los empresarios y la globalización; los empresarios gustan de las oportunidades que les brinden incrementar su poder adquisitivo; mientras los jornaleros se manifiestan contentos porque a pesar de que el trabajo puede ser arduo la paga obtenida les brinda mejores oportunidades de crecer que en sus países de origen (marruecos, áfrica y Sudamérica).



**FIG 37** Estación Experimental de la Fundación Cajamar. El ejido, España.

Algunos procesos como la fertirrigación y los datos de la estación meteorológica de los invernaderos automatizados en la Estación Experimental de la Fundación Cajamar, fig.37, es monitorizada vía Internet mediante un protocolo de programación TCP-IP tipo cliente-servidor y cualquier usuario acreditado puede acceder a los datos, con sus respectivas claves y contraseñas, desde cualquier lugar del mundo para controlar y monitorizar el invernadero de forma remota.

En el caso de los invernaderos semiautomatizados, fig.38, se deben monitorizar los procesos sin que



**FIG 38** Izq. invernadero automatizado tipo túnel; der. Invernadero semi- automatizado. Almería, España.

exista un sistema de retroalimentación bien definido. Mientras que los invernaderos no automatizados tienen riego por temporal y manual; éstos últimos son más bien "caseros".

Comparativamente hablando, tan sólo la provincia de Almería, España, donde se llevó a cabo la investigación, posee mayor superficie de cultivo protegido que el resto de España; su evolución se

presenta en la fig. 39; y por lo cual es un campo de estudio donde si es cierto que se ha avanzado mucho, también es cierto que se deben considerar y prever los problemas que la automatización puede generar si no se lleva a cabo de manera racional.



**FIG 39 Evolución de la producción en cultivo protegido[134].**

México posee un gran potencial para la producción agroalimentaria protegida, teniendo como ventaja el extenso y vasto territorio natural.

#### **5.4. PROPUESTA DE DISEÑO CONCEPTUAL DE PLANTA EN BASE A METODOLOGÍA E INVESTIGACIÓN DE CAMPO Y APLICADA.**

Al iniciar esta investigación, no imaginaba que el diseño de un invernadero involucrara más que una estructura que protegiera a los cultivos y que la automatización fuera más allá de controlar un microclima dentro de una estructura que protege un cultivo, sin embargo con la experiencia, la investigación y las metodologías que se utilizaron se describe la propuesta de diseño conceptual de un invernadero automatizado para cultivos en hidroponía.

##### **5.4.1. Planta general de un Invernadero automatizado para cultivos en hidroponía.**

Un invernadero automatizado, contrariamente a lo que se podría imaginar que es tan sólo una estructura con diversos mecanismos que actúan de manera automática o semiautomática para llevar a cabo los diferentes procesos de climatización, fertirrigación, Monitorización, etc., en realidad es la interacción de un conjunto de elementos que ayudan a formar un ciclo cerrado que interaccionan con la naturaleza para aportar mayor seguridad de los beneficios ecológicos que se pueden obtener mediante el cultivo protegido.

En la fig. 40 se tienen como elementos de la propuesta de diseño conceptual:

1. Laboratorio.
2. Planta tratadora de agua vertical.
3. Almacén
4. Planta de energía solar
5. Estación meteorológica
6. Invernaderos
7. Huerta

Cada uno de los elementos que componen esta propuesta tiene fundamentado su propósito en cada una de las actividades que se desarrollan dentro de un invernadero, por ejemplo en el laboratorio (1, fig.57) se deben llevar a cabo todas y cada una de las pruebas de sustrato, calidad de agua, salubridad en los vegetales, interacciones químicas, fisicoquímicas y bioquímicas, aplicación de fertilizantes orgánicos, preparación de la solución nutritiva y todos aquellos procesos que requieran algún tipo de análisis de laboratorio.

La planta tratadora de agua (2, fig.40) evitará, con ayuda de laboratorio, que se contamine el agua durante el proceso, además de ser la encargada de aprovechar el agua que se recolecta en los períodos de lluvias, con ayuda de los captadores de agua que deben estar tanto en los invernaderos como en las edificaciones que permitan llevar a cabo este proceso; se propone que se ha vertical debido a la optimización de espacios, y la eficiencia de los procesos.

El almacén (3, fig.40) será el espacio donde se guarden todo el material, consumibles y materia prima que se requiera para todos y cada uno de los procesos agroalimentarios, además de ser utilizado no sólo para el resguardo sino también como soporte de las celdas solares que brindarán energía eléctrica al conjunto.

Una planta de energía solar (4, fig.40) es importante, principalmente para los lugares donde no llega la energía eléctrica, como es el caso del objeto de estudio con domicilio en Veracruz., Siendo ésta la fuente que proporcione energía eléctrica a los diferentes procesos automatizables del invernadero, el laboratorio, estación meteorológica y planta tratadora de agua vertical y aquellos procesos que no puedan generar su propia energía.

Dada la ubicación geográfica de la localidad, una estación meteorológica (5, fig.40) a prever los fenómenos que interfieren en la regulación de los procesos de climatización, principalmente, del invernadero, además de proporcionar información para calcular los tiempos de riego y fertilización en la huerta (7).

Los invernaderos (6, fig.40) será la extensión de tierra protegida para producir más en menor espacio y cuyo objeto de estudio promovió la consideración de los demás elementos como parte de un ciclo de autoayuda y subsistencia para la producción. En **a** se encontrarán los semilleros; **b** y **c** será para la etapa de desarrollo 1 y/o 2; **d** y **e** son para la etapa de desarrollo 2; cosecha y empaque al final de las naves **b**, **c**, **d** y/o **e**.

La huerta (7, fig.40) es indispensable para ayudar en la depuración del agua utilizada en el cultivo hidropónicos, es importante que esté formada por plantas ornamentales o árboles para reforestación o frutales; estos últimos siempre monitorizados por el laboratorio para verificar que el producto esté dentro de los estándares permitidos de consumo humano.

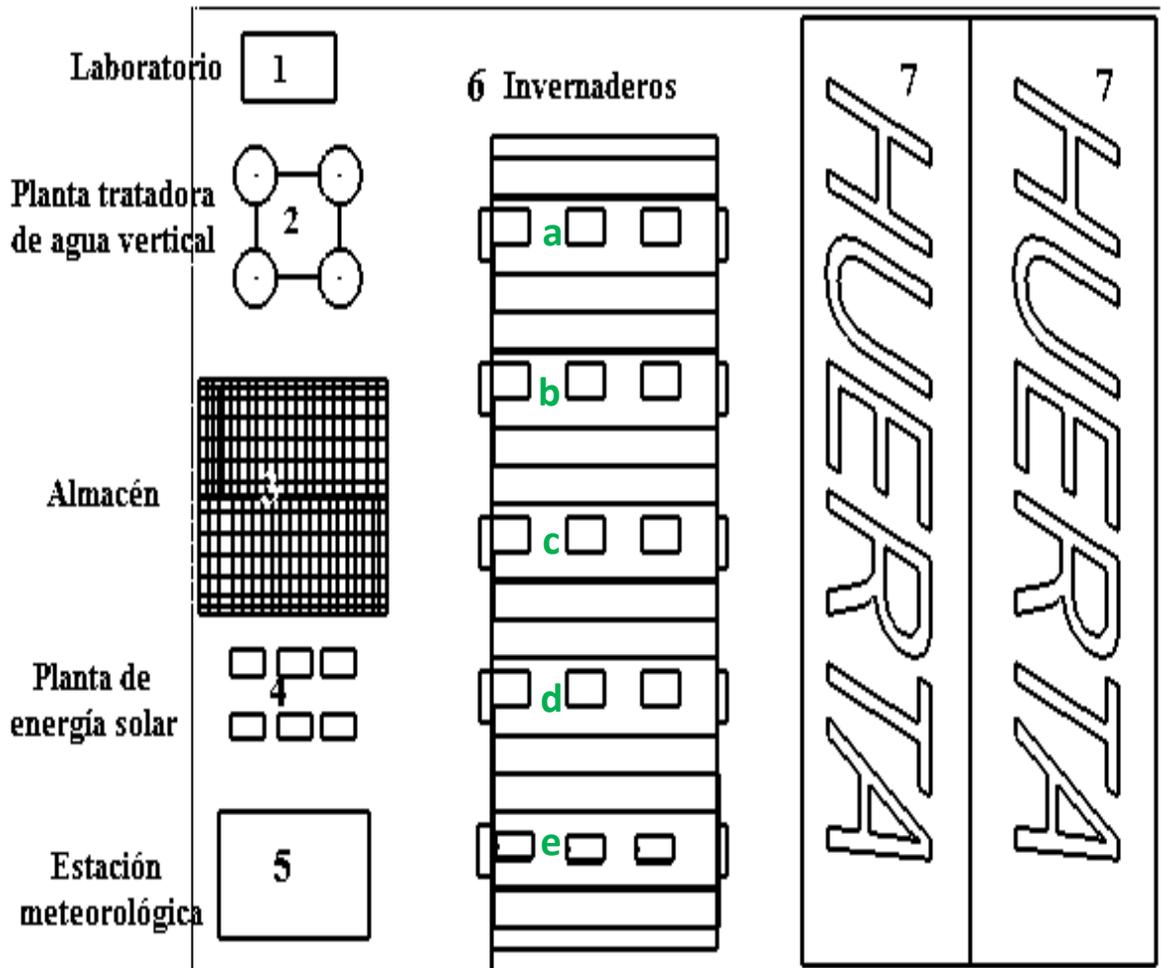
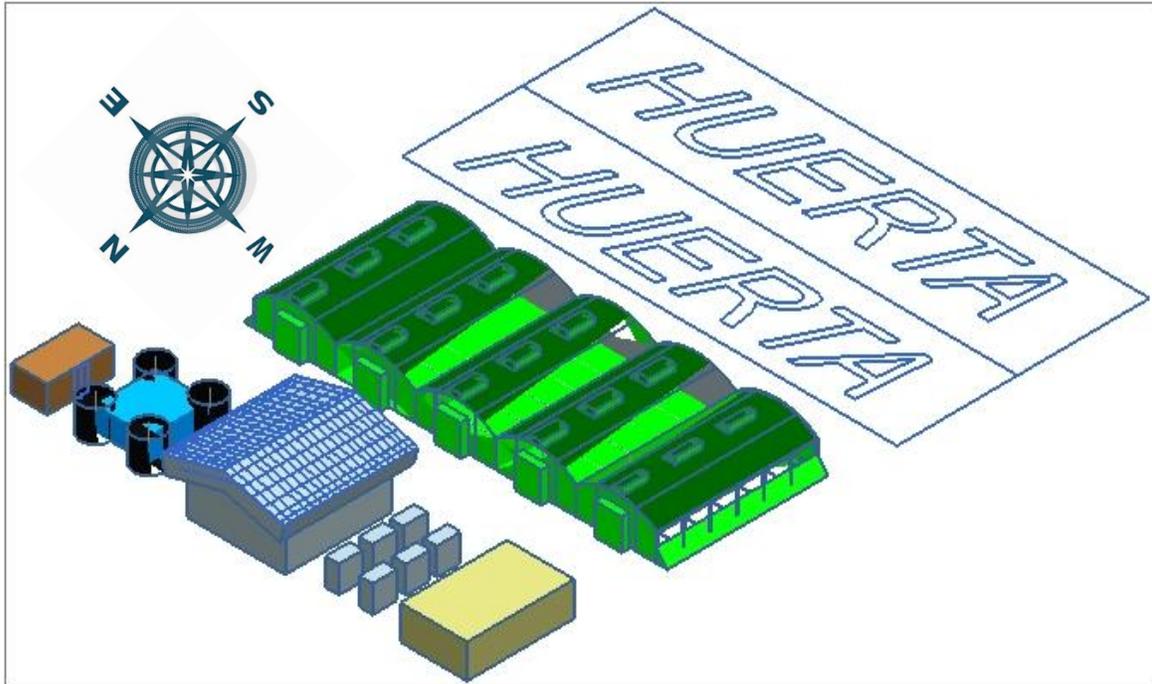


FIG 40 Planta general de propuesta de invernadero para cultivo hidropónico.

En base a la dirección del viento (de este a oeste), en el estado de Veracruz, la ubicación del invernadero es con la entrada de norte a sur, fig. 41.

Como en Tenancingo la dirección del viento es de este a oeste, durante la mañana y de oeste a este por la tarde, la ubicación del invernadero recomendada es con la entrada de norte a sur. Disposición en batería de 2 túneles con agua de temporal, luz eléctrica, con laboratorio, sin planta tratadora, sin estación meteorológica, con la estructura base de la fig. 44., solo una puerta trasera y una delantera.



**FIG 41** Con una disposición de Norte-Sur, la luz se reparte más uniformemente dentro del invernadero, además se aprovechan las corrientes de aire para equilibrar la transferencia de calor. Esta planta es la propuesta para el terreno localizado en el estado de Veracruz.

Yendo de una propuesta general hacia una particular, se desglosa a continuación cada una de las partes que conformarán el sistema de cultivo protegido, tomando en consideración los conceptos anteriormente estudiados desde la sección 3.1 a la 3.9; lo cual contribuyó a la toma de decisiones para cada uno de las secciones propuestas; permitiendo su división y posterior asociación para su estudio en factores extrínsecos del diseño y factores intrínsecos; quedando fuera de la división la estructura, que desde mi particular punto de vista, es el intermedio entre ambos factores.

#### 5.4.2. ELECCIÓN DE LA ESTRUCTURA PARA EL INVERNADERO.

La selección de la estructura para el diseño del invernadero fue en base a las características climatológicas, geográficas y atmosféricas dadas por la región de Veracruz, por una parte, y Tenancingo, Edo. Mex., por otra.

La automatización estará dada en función de la elección de la estructura y el tipo de cultivo elegido. Se debieron tomar en consideración algunos factores o aspectos técnicos para elegir un invernadero, como por ejemplo:



**FIG 42** Cultivo de verdolaga en Xochimilco, México.

- Exigencias térmicas del tipo de cultivo.
- Características climatológicas (temperatura, humedad, viento, nieve)
- considerando la velocidad, intensidad y dirección del viento.
- La aplicación de aparatos de control (calefacción, humidificación, aplicación de CO<sub>2</sub>, iluminación, etc.) para obtener un cultivo saludable.

La mayoría de estructuras utilizadas en el campo mexicano son casas sombra o simplemente adaptaciones de estructuras que se construyen con plástico económico y varilla o bien con madera y mallasombra, fig. 42, lo cual resuelve temporalmente el problema de las heladas en época invernal o bien el exceso de sol en primavera y verano aunque no necesariamente los ventarrones de otoño, sin embargo, es difícil la manipulación de los productos cultivados.



**FIG 43** Faldón para invernadero, construcción en Almería, diseño único de la misma Universidad en colaboración con la estación Experimental de cajamar.

La estructura del invernadero que se elige es en disposición multitúnel; a diferencia de las estructuras ordinarias, ésta presentará un faldón como el que se ilustra en la fig. 43, el cual ha demostrado ser eficiente para la regulación de temperatura dentro del invernadero, ayuda no sólo a regular las corrientes de aire para refrescar el invernadero, sino también como resguardo de fauna benéfica para el cultivo; esto en base a la experiencia de investigación<sup>5</sup>.

De ventilación cenital y lateral, automatizadas; puertas enfrente y atrás para agilizar el tráfico de entrada-salida de producto. La puerta frontal tiene un cojín de solución desinfectante para acceder al invernadero, donde el personal que ingrese deberá llevar equipo sanitario a su ingreso (uso de botas, guantes, overol y herramientas desinfectadas).

<sup>5</sup> La estancia de investigación se llevó a cabo en la Universidad de Almería, España; en conjunto con la Estación Experimental de Cajamar.

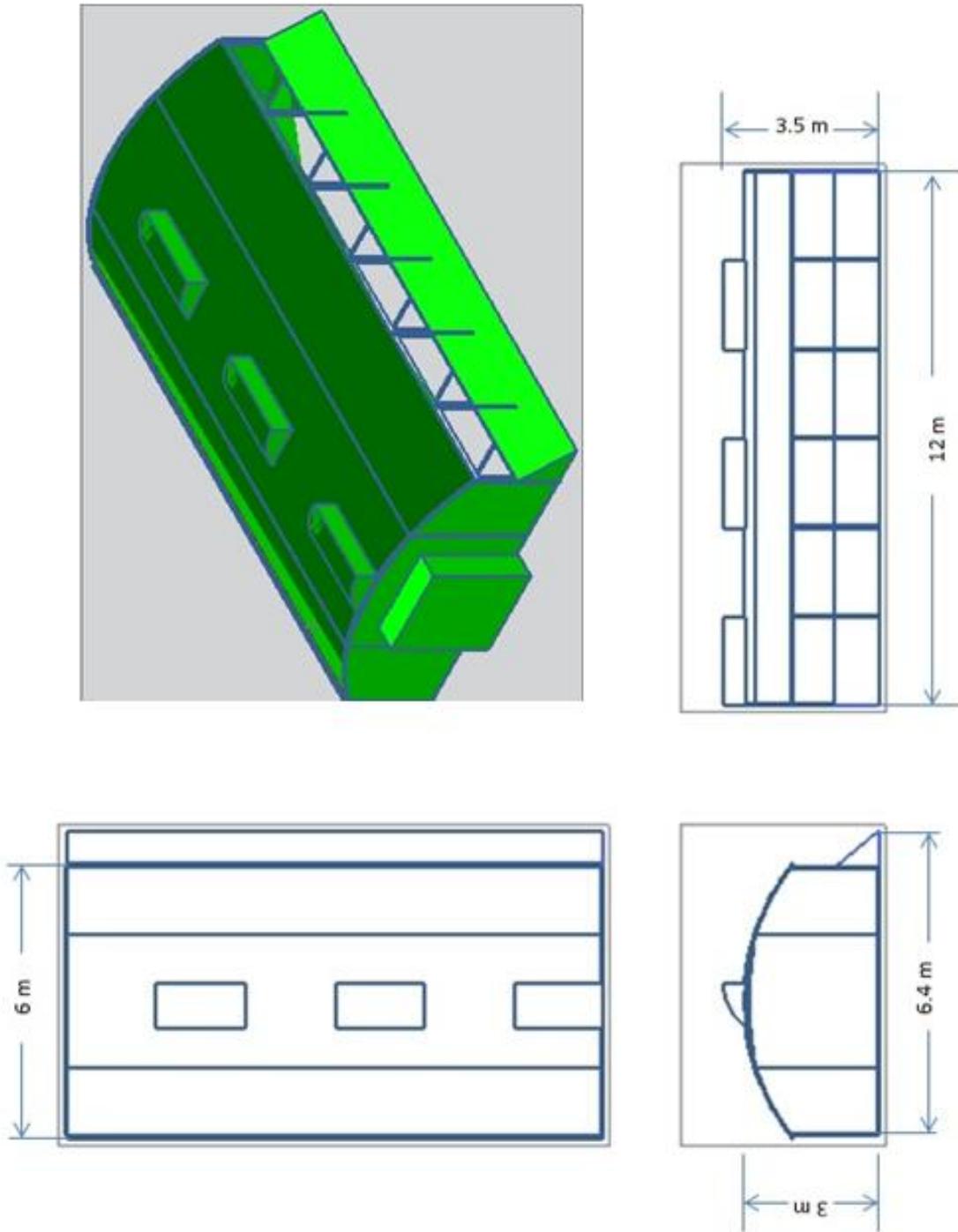


FIG 44 Plano general del diseño de la nave principal de un invernadero.

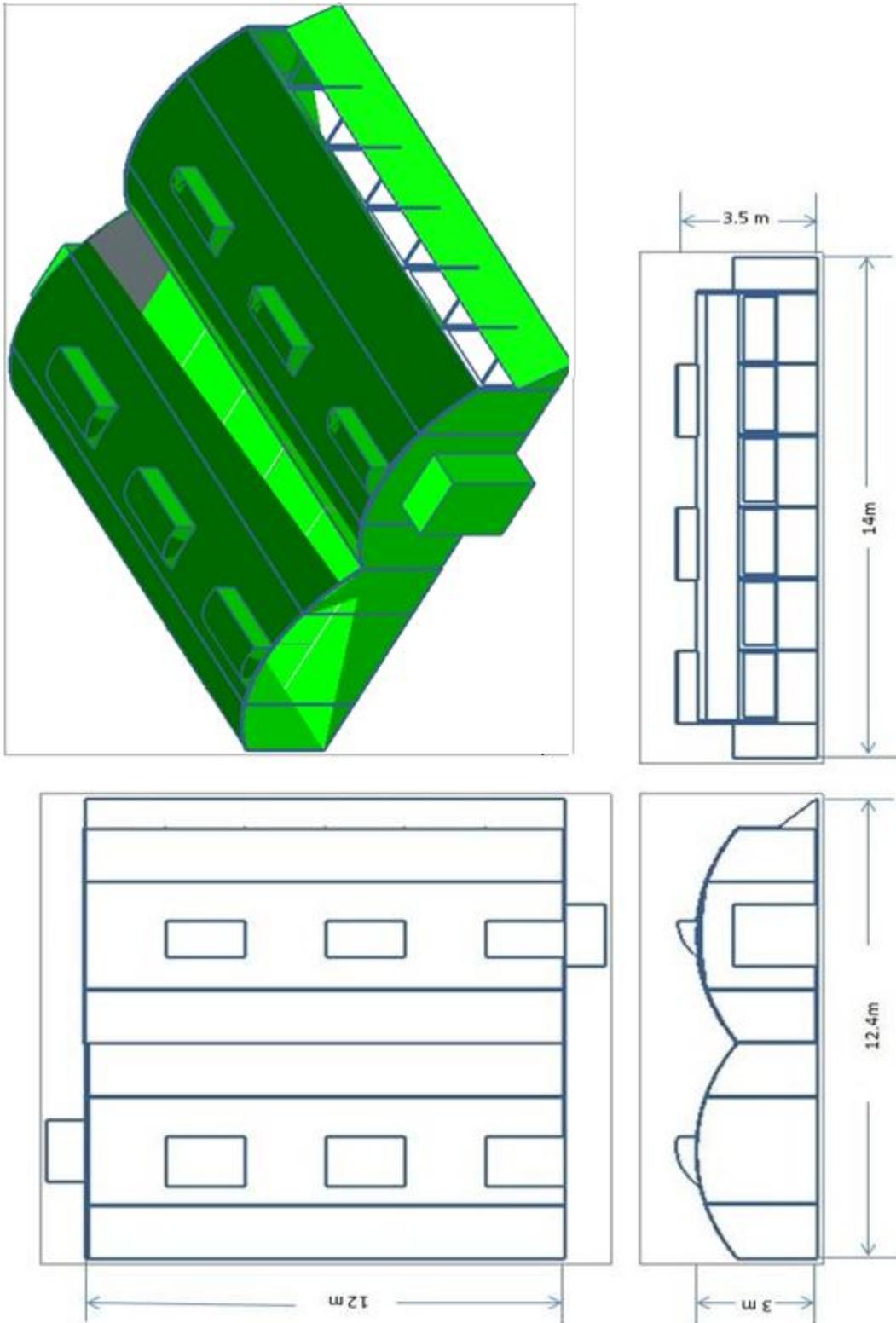


FIG 45 Invernadero de prueba para la localidad de Tenancingo, Edo. Méx.

#### 5.4.2.1. Características y ventajas de un invernadero multitúnel.

Coincidiendo con autores como Matallana, Castilla, entre otros y a manera de resumen, las ventajas que presenta este tipo de invernadero son las siguientes:

- ✦ Alto grado de diafanidad por los pocos obstáculos que tiene en su estructura en el interior
- ✦ Alta transmisión de la luz solar.
- ✦ Mayor captación de radiación solar, por su pendiente acusada.
- ✦ Facilidad en el control de la temperatura.
- ✦ Buen reparto de luminosidad.
- ✦ Fácil evacuación y/o captación del agua de lluvia y nieve.
- ✦ Buena estanqueidad al agua de lluvia.
- ✦ Mayor resistencia a los vientos que el tipo capilla.
- ✦ Buena adaptación para materiales de cubierta tanto flexibles como rígidos.
- ✦ Mayores posibilidades de automatización.

#### 5.4.2.2. Estructura y descripción estructural del invernadero multitúnel.

La estructura multitúnel debido al espacio estructural asignado que permite con mayor facilidad la adaptación de sistemas para automatizar las labores que se desarrollen dentro del invernadero.

Esta estructura está formada por dos naves, cuyas dimensiones son 2.50 m de alto para los pies derechos, 3m de altura máxima y 1.25 m de flecha para los arcos la separación entre pies derechos es de 6.00 m. y 6.4 hasta el faldón; 12.00 m. de longitud, para cada nave, fig. 44 y 45, con canales de recolección de agua entre unión de naves y en las laterales.

Éstas medidas son para las naves que se considerarán para los invernaderos de prueba en Tenancingo, Estado de México, fig. 45.

En el caso de Veracruz, las condiciones estructurales propuestas de invernadero, fig. 41, son:

- Pilares de tubo de acero de 60 mm de diámetro y alturas de 2.50, 3.00, 3.50 m, de espesor de paredes de 1.5, 2 y 3 mm respectivamente.
- Separación entre Pilares 2.00 m en el perímetro y 3.00 m entre pilares interiores.
- Arcos en tubo curvado de 60 mm de diámetro separados cada 2.00 m.
- Canales de 20 - 25 cm de ancho. Pendiente recomendadas de 0.25%
- Cimentación recomendada para alturas de canal de 2.5m: zapata de hormigón de 70 cm de profundidad de 40 × 40 cm.
- Ventilación lateral continua por tubería que enrolla el plástico.
- Ventilación cenital continua. Correas dentadas y cremallera.
- Unión del plástico de la estructura por medio de perfiles acanalados de acero o aluminio en los que encajan a presión piezas de madera, plástico o aluminio. Generalmente se utiliza inserción en zigzag.
- Anclas para cimentación, columnas, arcos, flechas, largueros y refuerzos: De perfil tubular cuadrado o redondo de acero galvanizado a base de una capa G-90 por ambas caras. Metalizado a base de Zinc en la costura de la soldadura. Diferentes secciones.
- Canalones y perfil sujetador. Lámina de acero galvanizado a base de una capa G-90 por ambas caras, varios calibres.
- Cable. De acero galvanizado capa G-90, varias medidas.
- Alambres. De acero bajo carbón galvanizado G-90 varios calibres.
- Resorte sujetador. De acero alto carbón galvanizado.
- Tornillería. Galvanizada alta resistencia G-5 varias medidas.

Cabe mencionar que se debe utilizar concreto con resistencia  $f'c=150 \text{ Kg. /cm}^2$  para la fabricación de las bases donde se ahogarán las anclas y columnas para cimentarlas.

**5.4.2.3. Dimensiones permitidas de acuerdo a la Norma Mexicana de Invernaderos.**

En lo referente a las normas a cumplir en aspecto de materiales, para el acero a utilizar en la estructura de un invernadero, se deberá cumplir con las siguientes especificaciones de acuerdo al fabricante:

Perfil cuadrado o redondo de acero fabricado según norma NMX-B-009, con acero grado 30 ( $F_y=2,320\text{Kg./cm}^2$ ); rolado en frío. El recubrimiento de éstos perfiles debe ser de Zinc-Aluminio galvanizado en caliente, capa AZ-90 ( $0.90\text{ Oz/Ft}^2 = 274\text{ gr. /m}^2 = 0.0015\text{ in.}$ , según norma NOM-B-469, ASTM-792), el cual debe proporcionar resistencia del material a ambientes corrosivos.

Además se debe de cumplir con que las estructuras deben de tener de 5 a 6  $\text{kg/m}^2$  de acero. Las columnas deben de ser mínimo de 2" y los arcos de 1 3/4".

También deben considerarse las condiciones de viento y sismo como lo especifica el Manual de Diseño de Obras Civiles de la C.F.E. (sección C-14) de México.

**5.4.2.4. Materiales en la estructura.**

Deben ser económicos, ligeros, resistentes y esbeltos; deben formar estructuras poco voluminosas, a fin de evitar sombras de las mismas sobre las plantas, de fácil construcción, mantenimiento y conservación, modificables y adaptables al crecimiento y expansión futura de estructuras, sobre todo cuando se planean ensamblar en batería o multitúnel.

Un buen diseño, resistencia mecánica, estabilidad, servicio de mantenimiento y durabilidad, incluyendo las cimentaciones; destacando que el costo dependerá de la región donde se obtiene el material o bien la empresa con la que se contrata la puesta de la estructura[INT18].

**5.4.2.5. Materiales de cubierta.**

Se recomienda hacer el uso de materiales plastificados de nuevas tecnologías los cuales variarán el color dependiendo la región de ubicación del invernadero y el tipo de cultivo a desarrollar.

En este caso se han seleccionado como parte de la estructura una capa de malla antiáfidos color blanco y plástico transparente.

También se debe considerar el porcentaje de luz transmitida hacia el cultivo, así como el tiempo de duración, las características principales como son la permeabilidad de la luz, permeabilidad a las radiaciones infrarrojas (IR), transmisión de calor, y sus propiedades como se habla en la sección 3.4.7. Las Cubiertas para la República Mexicana deben ser de Polietileno Calibre 720 tratado contra rayos ultravioleta UV II, existentes en diferentes porcentajes de sombra y color.

En un futuro se espera que las estructuras puedan ser seccionadas e intercambiables para evitar la contaminación por daños en los materiales plásticos en segmentos del invernadero, ya que esto provoca que se cambie del tendido completo debido a fallas localizadas.

**5.4.2.6. Orientación.**

Tomando las consideraciones de la sección 3.4.5, la orientación para la propuesta en Veracruz y Tenancingo es en disposición estructural con entrada Norte, debido a la dirección del viento que es de oriente a poniente en Veracruz y en Tenancingo dirección oriente – poniente por las mañanas y poniente – oriente por las tardes.

**5.4.2.7. Ventilación.**

Considerando las recomendaciones en la sección 3.4.6, se proponen cortinas en las paredes laterales; malla de sombreado en estado abierto cuando la radiación PAR sea la adecuada y estado cerrado cuando la radiación solar exceda los valores permitidos de rayos UV; además de ventilación cenital

con ventanas laterales debido al comportamiento que tiene el invernadero bajo un análisis de flujo, fig.15 sección 3.4.6.

### **5.5.FACTORES EXTRÍNECOS DE DISEÑO.**

Se considerarán como factores extrínsecos del diseño, aquellos que no tengan que ver directamente con las operaciones de cultivo dentro del invernadero; sin embargo, son elementos a considerar para su funcionamiento; en este caso se considerarán como tal el sistema hidráulico, sistema energético, gestión y tráfico, calidad y buen manejo.

Posteriormente se hablarán sobre factores intrínsecos, que en este caso serán los que están directamente relacionados con la forma de producir alimentos agrícolas.

#### **5.5.1. Ubicación y topografía.**

La selección de materiales, estructuras y procedimientos será de acuerdo a la ubicación y topografía de la región seleccionada para construir el invernadero automatizado, en este caso, se explican las características de las regiones de estudio en la sección 3.4.8.

Los factores considerados son la dirección del viento, la inclinación de los rayos solares a lo largo del día, el tiempo de radiación, cantidad de lluvia por año, si existen fuentes acuíferas cerca del lugar de siembra, entre otros; todo esto llevará a unificar los conceptos y requerimientos para obtener un invernadero automatizado y no sobre automatizado.

Además, el clima y la región determinarán el tipo de cultivo a considerar estableciendo una correlación con las actividades agro-económicas locales y foráneas.

Como objeto de estudio se consideraron dos regiones; la primera es el caso de un terreno localizado en el estado de Veracruz con una extensión de tierra de 5.00 ha.<sup>2</sup>; el segundo caso es un segmento de terreno, ubicado en el Estado de México de 510.00 m.<sup>2</sup> para utilizarse como prueba piloto.

Las características climatológicas del terreno localizado en el estado de Veracruz, sección 3.4.8.1, corresponde al clima templado, que coincide con Tenancingo, sección 3.4.8.2; razón por la cual se utiliza la misma estructura, además del mapa del Estado de México que se encuentra en la carpeta de este documento.

#### **5.5.2. REQUERIMIENTOS ADICIONALES DE DISEÑO.**

Para tener un invernadero sustentable deben considerarse en la planificación aspectos que permitan el buen funcionamiento de éste sistema; por ello se hablará sobre los sistemas hidráulico y energético como participación funcional primaria; agregando la gestión y tráfico y la sanidad y buen manejo como complementos para obtener una producción con calidad y libres de agentes contaminantes.

##### **5.5.2.1. SISTEMA HIDRÁULICO.**

El sistema hidráulico está comprendido no solo por la tubería que pasa a través del plantío, sino también la aportación del clima localizado en forma de lluvias escasas o excesivas. Si llueve regularmente en la región se puede utilizar un sistema de Pozo-recolección; si llueve torrencialmente, la tierra debe ser lo suficientemente permeable y la estructura suficientemente impermeable para evitar encharcamientos y una segura aparición de enfermedades.

Cuando el clima es seco entonces se debe poder garantizar ahorro en los recursos hídricos para obtener una buena cosecha. También es importante considerar un sistema de tratamiento de aguas para evitar la contaminación, producto del residuo de los ciclos biológicos de las plantas en diferentes tipos de cultivo y condiciones de desarrollo.

Se considera un sistema de recolección como el mencionado en la sección 3.5.1; con un tratamiento de agua en planta vertical.



diagrama de flujo a la adición de macro y micro nutrientes para el riego dentro del invernadero; el agua residual volverá a ser analizada determinando si la calidad sigue siendo propicia para el cultivo, en caso de tener una calidad regular estas se mandará a tratamiento por ver ser analizada con la finalidad de identificar si esta agua puede volver a ser reutilizada para riego en productos de consumo humano, en caso de volver a obtener una lectura de calidad media, esta agua deberá ser utilizada únicamente para riego de cultivos con fines ornamentales o de reforestación permitiendo que la tierra y la naturaleza renueve mediante procesos naturales la reutilización del agua ya sea por medio de mantos acuíferos o su obtención por medio de la lluvia.

Como tercer caso se tiene una mala calidad del agua, la cual después de ser valorizada entrará a un tratamiento para ser nuevamente evaluada y determinar si puede ser un agua de buena calidad o mediana calidad para continuar su flujo dentro del diagrama.

Es importante considerar que después de un segundo o tratamiento de un agua de mala calidad y la calidad de la misma sigue siendo mala, se recomienda tomar medidas drásticas puesto que ello determinaría una importante fuente de toxicidad.

#### 5.5.2.1.1 Planta vertical para el tratamiento de aguas residuales.

Según lo mencionado en la sección 3.5.2.1 es por lo que se considera el uso de una planta vertical, aparte de que se requiere optimizar espacio.

#### 5.5.2.2. SISTEMA ENERGÉTICO.

La energía dentro del invernadero se utiliza principalmente para automatizar la climatización, riego, los auxiliares, toma corrientes, lámparas, instrumentos del laboratorio, movimiento de motores de apertura y cierre de ventas, ventiladores, calefactores, bombas, sensores, entre otros.

En provincias españolas y Holanda, principalmente, los invernaderos también son utilizados para generar biocombustibles y otro tipo de energía eléctrica; es importante no perder de vista el objeto de la creación de invernaderos debido a que con el mejoramiento en la producción de este tipo de energías se pierde calidad en los productos agrícolas.

Para el diseño de este invernadero automatizado se considera el uso de energía solar debido a que en el lugar donde se tiene proyectada la construcción, en Veracruz, no llega el servicio eléctrico; sin embargo, se habla de otras fuentes de energía en la sección 3.5.3.

#### 5.5.2.2.1 Energía solar.

La mayor parte de energía será obtenida de una planta de energía solar, 4 fig. 40, el espacio donde se ubicarán las celdas solares que se utilizan para la generación de energía será sobre el almacén, 3 fig. 40, con una distribución de celdas similar a la fig. 47.



FIG 47 Edificio con techo de celdas solares (imag. internet, sept,2011).

Los procesos de captación y administración de recursos energéticos pueden ser controlables, automatizables y por ende, administrables.

### **5.5.2.3. GESTIÓN Y TRÁFICO.**

Actualmente la gestión y tráfico de productos agrícolas dentro de las plantas de producción, no tienen una estrategia bien definida; considerando la sección 3.5.4, se propone establecer sistemas de administración de entrada de materias y salida de producto, considerando los apoyos organizacionales que maneja Richard Chase en vez de llevar a cabo actividades semi planeadas de acuerdo a los requerimientos del cultivo en los diferentes etapas de la producción y según el control jerárquico propuesto Francisco Rodríguez y Manuel Berenguel [45]pág.96; donde se considera seis niveles en el control de la instalación a nivel jerárquico partiendo del proceso: nivel uno capa de instrumentación; nivel dos control regulatorio; nivel tres optimización dinámica que, nivel cuatro optimización en tiempo real (estado estacionario); nivel cinco planificación local; nivel seis planificación global.

#### **5.5.2.3.1 Entrada de materias primas.**

De acuerdo a la sección 3.5.4.1, todo invernadero bien estructurado debe contar con un depósito de materias primas que comprenden los abonos de aplicación orgánica, materiales de análisis, consumibles, semillas, contenedores, equipo de primeros auxilios, equipos de trabajo, entre otros. Todo esto debe manejarse bajo inventario por un régimen de entrada-salida de producto y apoyado por normativas y métodos de apoyo al mejoramiento de la calidad, pjem., el método de primero entradas, primero salidas (PEPS) que considera los tiempos de vida de los productos, entre otros. Sin importar el tamaño del invernadero, es bueno saber lo que se tiene y lo que se necesitará para programar los cultivos, es por ello que se propone un sistema de administración para el invernadero.

#### **5.5.2.3.2 Salida de producción.**

En base a la sección 3.5.4.2; y una vez que se han llevado a cabo los procedimientos de cultivo y que ha llegado a la maduración adecuada o bien se ha obtenido la fructificación del producto, la labor dentro del invernadero no ha concluido, ya que es necesario establecer procedimientos de recolección, empaque y distribución del producto hasta el usuario final; actualmente en muchos casos no se tiene una trazabilidad que garantice la salubridad y calidad con la que ha sido sembrado este producto, es decir que la marca represente la confianza que el consumidor pueda tener al adquirir sus productos. Es por ello que se propone evaluar la realidad sobre la trazabilidad que se maneja actualmente que incluye únicamente las actividades mencionadas en la sección 3.5.4

### **5.5.2.4. SANIDAD Y BUEN MANEJO.**

Al hablar de sanidad y el buen manejo de un invernadero se referirá a las normas y acciones que se deben cumplir para garantizar una producción con salubridad y calidad que los consumidores requieren, además de servir para la prevención de accidentes y riesgos en el trabajo.

#### **5.5.2.4.1 Normas operativas de higiene.**

Además de lo mencionado en la sección 3.5.5.1, estas normas serán parte de los procedimientos para obtener productos saludables, libres de plagas y enfermedades que puedan ocasionar daños a la salud humana.

Cuando se llevan a cabo éste tipo de normativas, los procesos de certificación serán más eficientes.

#### 5.5.2.4.2 Laboratorio.

Las pruebas que se realizan en un laboratorio son variadas; usualmente los laboratorios comerciales dividen las pruebas, pero en este caso, deberán poder realizarse todas y cada una de las pruebas que devengan de cada uno de los procesos, como se enmarcó en la sección 3.5.5.2, es por ello que se propone un laboratorio de análisis, 1 fig. 40, de propósito general.

#### 5.5.2.4.3 Control de plagas por medio del Método de control biológico.

El control de plagas se puede llevar a cabo mediante el uso de métodos de control químico y control biológico, en este caso no se considera el método de control químico debido a que es muy agresivo para la naturaleza y por su carácter nocivo a la salud debido al uso recurrente de pesticidas y plaguicidas, como se explica en la sección 3.5.5.3.

Se ha elegido el método de control biológico debido a ser una metodología que ayuda a la obtención de productos orgánicos, naturales y de excelente calidad, ya que utilizan a los depredadores de las plagas para su control biológico, fig. 20 de la sección 3.5.5.3.1; tal como lo han manifestado y demostrado los agrónomos y agricultores con cultivos en el Ejido, perteneciente a la provincia de Andalucía, España, donde he tenido la oportunidad de observar la producción que se obtiene con este método de control de plagas.

Para mayores referencias se puede consultar en la sección de videos recomendados [INT6][INT7][INT8] al final de este documento, además de las publicaciones [103] y [105]; si se prefiere ahondar en el tema pueden consultarse los textos [95][96][97][102], además de lo explicado en la sección 3.5.5.3.

#### 5.5.2.4.4 Monitoreo y vigilancia.

La inspección y monitoreo del invernadero es para la detección temprana de cualquier enfermedad y controlarla, las técnicas a utilizar son las comentadas en la sección 3.5.5.3; además de realizar inspecciones regulares para:

- Prevenir y reducir problemas y costo de control.
- Determinar la causa específica y severidad de problemas.
- Identificar la ubicación de las plantas que requieren tratamiento.
- Evitar el tratamiento donde no se requiere control.
- Determinar la solución más económica y efectiva.
- Permitir el uso de métodos de acción lenta que puedan ser ambientalmente más seguros para los trabajadores.
- Evaluar la eficacia del control.
- Construir una base de datos del manejo de plagas dentro del invernadero.
- Mejorar la calidad de las cosechas y aumentar los beneficios económicos
- prevenir riesgos laborales.
- Identificar el estatus de la producción.

#### 5.5.3. FACTORES INTRÍNSECOS DE DISEÑO.

Se considera como factores intrínsecos del diseño aquellos elementos que tienen que ver directamente con los procesos dentro del invernadero para la obtención de productos agrícolas; a primera instancia se tiene la selección de cultivo, en torno al cual girará el sistema de climatización, el equipo de fertirrigación, y los sistemas de siembra-desarrollo-recolección- empaque.

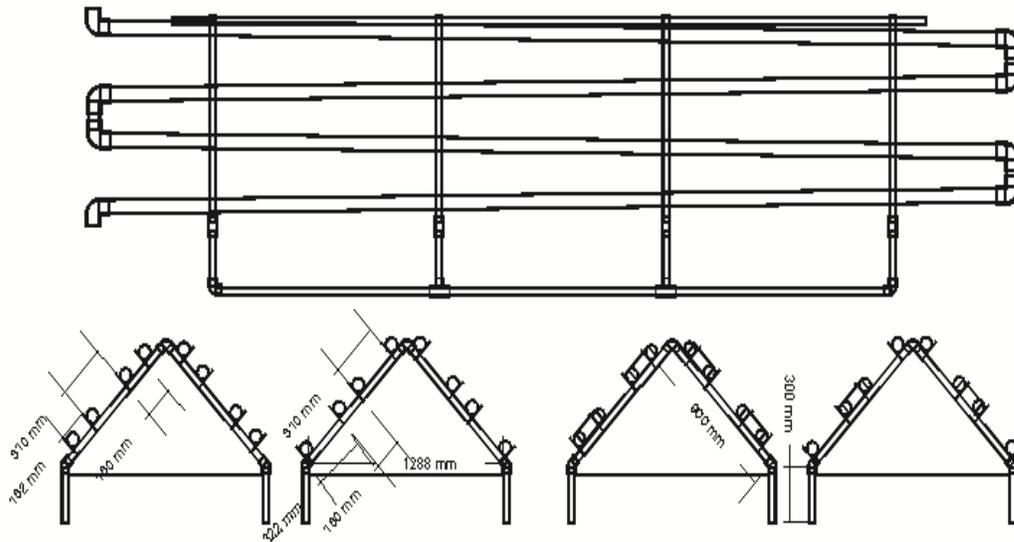
### 5.5.3.1. TIPO DE CULTIVO ELEGIDO Y REQUERIMIENTOS EN LA PROPUESTA: HIDROPONÍA.

Considerando la sección 3.3, se elige a la hidroponía como medio de cultivo para llevarse a cabo de manera protegida.

Es justificable su uso, si las condiciones climatológicas requieren la disminución de recursos, para evitar la erosión de la tierra y recuperar terrenos estériles, pero debe ser complementada con otros sistemas de cultivo y promover la rotación de éstos para evitar la propagación de plagas debido a la estanqueidad de las condiciones controladas, por lo cual se puede tener cualquiera de los tipos de hidroponía que se proponen en la sección 3.3.2 a, b, c; siendo escogido para este caso particular la Aeroponía tipo NFT debido a la facilidad de obtención de materiales para su construcción y requerimientos, enmarcados en la sección 3.3.3.

A continuación se detallan las características más relevantes de cada elemento y los materiales factibles de utilizar para su implementación; aunque es preferible utilizar el policarbonato porque es más ecológico en su elaboración, pero aumenta el costo de adquisición.

Se utilizan como tubos de cultivo de PVC sanitario de 75 mm. X 6m, se les hacen orificios de 1 1/2 pulgadas para colocar las plantas sembradas en contenedores similares a vasos plásticos del número cero. La distancia entre centros de los contenedores es de 30 cm. El primer orificio se hace al 10 cm del extremo del tubo. El módulo lleva 8 tubos de cultivo y 4 de cada lado. Se usan 16 codos de 75 mm y 6 tubos de 75 mm de 7 cm de largo para unir los tubos de cultivo.



**FIG 48 Tubería para un sistema NFT[8].**

El recipiente para la solución puede ser un cajón de plástico con 70 litros de capacidad; se requiere una bomba sumergible capaz de elevar el agua a una altura de 1.00 m.

Se puede usar el módulo por mitades de tal forma que 4 tubos tengan un cajón con la solución nutritiva en cada cajón se coloca una bomba y se manejan por separado las dos mitades los soportes están hechos de tubo hidráulico de PVC de 25 mm y conexiones para los mismos.

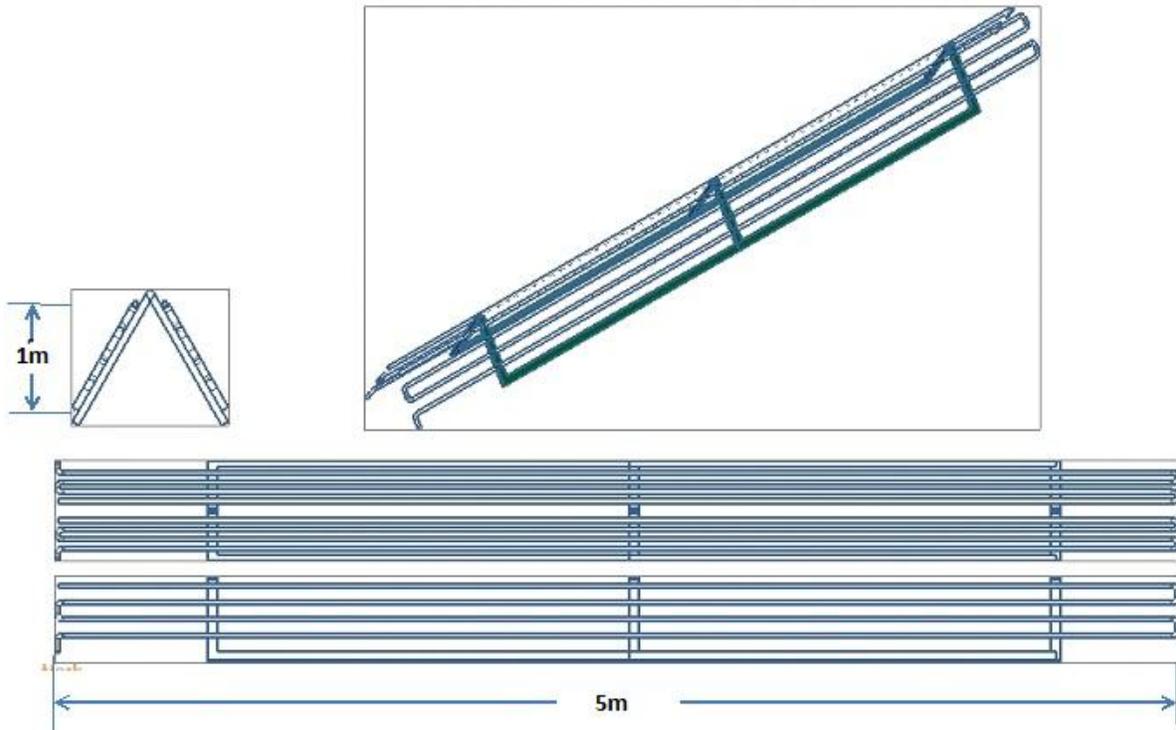
Para apoyar los tubos de cultivo en el soporte se usan birlos de 3/16 de 10 cm de largo de los que se usan para fijar techos de lámina. Se hacen orificios que atraviesan el tubo de PVC con una broca de 5/32 y se hace rosca los tubos de preverse con los mismos birlos.

Para que tenga la inclinación apropiada se fija un primer birlo a 5 cm del codo de uno de los soportes extremos y ayudándose de una manguera de nivel se fija en el otro soporte extremo un birlo 5 cm abajo del nivel del primero. Los otros birlos en los soportes extremos se fijan a 18 cm, 31 cm y 18 cm, en uno de ellos y en el otro a 31 cm, 18 cm y 31 cm como se muestra en la fig. 48 y 49. Los birlos en el soporte intermedio se fija usando un hilo reventón para marcar una línea recta entre los birlos de los soportes de los extremos.



**FIG 49** Instalación de un sistema NFT (imagen obtenida en el curso de hidroponía básica. Atlamehualco,2010)

El sistema de tubos para cultivo hidropónico a utilizar en Tenancingo, Estado de México será como los mostrados en la fig. 50, tomando algunas consideraciones técnicas anteriormente mencionadas;



**FIG 50** Diagrama de tuberías a utilizar dentro de los invernaderos.

primero se realizarán pruebas de crecimiento en materiales orgánicos como el bambú, que aunque se tiene la desventaja de que no todos poseen las mismas medidas; se busca ejercer el menor impacto ecológico en el planeta. La disposición de las tuberías dentro del invernadero, aunque existen diferentes propuestas, será como se muestra en la fig. 51, debido a la facilidad que presenta esta disposición para la circulación de nutrientes, así como la entrada - salida de productos con respecto a las entradas (líneas rojas: denotan una división o apertura, ya sea por mallas o puertas). La facilidad de introducción de automatismos, ya sea para fumigación, inspección, recolección, u otros.



**FIG 51** Disposición de la tubería de producción dentro del invernadero.

#### 5.5.3.1.1 Concentración de la solución nutritiva en circulación.

La solución nutritiva es diferente para cada tipo de cultivo en la preparación de solución nutritiva para cultivos específicos, sin embargo se han desarrollado fórmulas de uso general, por ejemplo, hidrociencias, es un producto muy soluble, fácil de preparar, de buen precio, y eficacia comprobable; su composición es de:

- ✓ 1000 g. De nitrato de calcio
- ✓ 500 g de sulfato de magnesio
- ✓ 450 g de nitrato de potasio
- ✓ 220 g de fosfato monopotásico
- ✓ 80 g de ácido cítrico
- ✓ 30 g de S.T.E.M (mezcla de micronutrientes)
- ✓ 10 g de ultrasol Fierro (FeEDDHA)

Para disolverse en 1000 litros de agua; su costo es de \$25.00 a \$45.00.

Cada cultivo tiene su PH óptimo, por lo general toleran mejor las ideas de la alcalinidad, con esta fórmula el pH casi siempre tiende a subir, la mayoría de los cultivos se desarrollan en pH de entre 6 y 7, pero se puede corregir el pH; si está alto, agregar algunas sustancias como vinagre, ácido cítrico, fosfórico, sulfúrico, muriático; si está bajo, agregar alguna base como agua de cal, amoníaco, hidróxido de potasio.

Se anexan las tablas de la 26-32 en la sección de ANEXOS para ejemplificar otro tipo de formulaciones, pudiendo consultar otras en [27][30][31][32][33].

El rendimiento se menciona en la sección 3.3.4 para lechuga, jitomate, pepino, zanahoria, por mencionar algunos.

### 5.5.3.2. SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN.

El problema de climatización fue dado en la sección 3.6.1; ayudados de las tablas 3, 4 y 5, de la misma sección, se deduce que existe un alto grado de correlación entre las variables a controlar, tal y como se puede observar en la tabla 6<sup>6</sup>, de forma que habrá que considerar cada una de estas interdependencias al momento de proponer algún sistema de programación y/o control de la manera en que las variaciones sean poco significativas entre una y otras variables.

Para lograr la automatización de un invernadero, se deben controlar todas las variables simultáneamente, fig. 24, sección 3.6.3, utilizando cualquiera de los sensores que se mencionan de la sección 3.6.3.1 a la 3.6.3.7; dado que dependerá de existencia y costo, lo cual no ha sido determinado aún en este trabajo de investigación.

#### 5.5.3.2.1 Actuadores y control del sistema de climatización.

El algoritmo de cálculo de la posición de la ventilación se compone de los siguientes pasos:

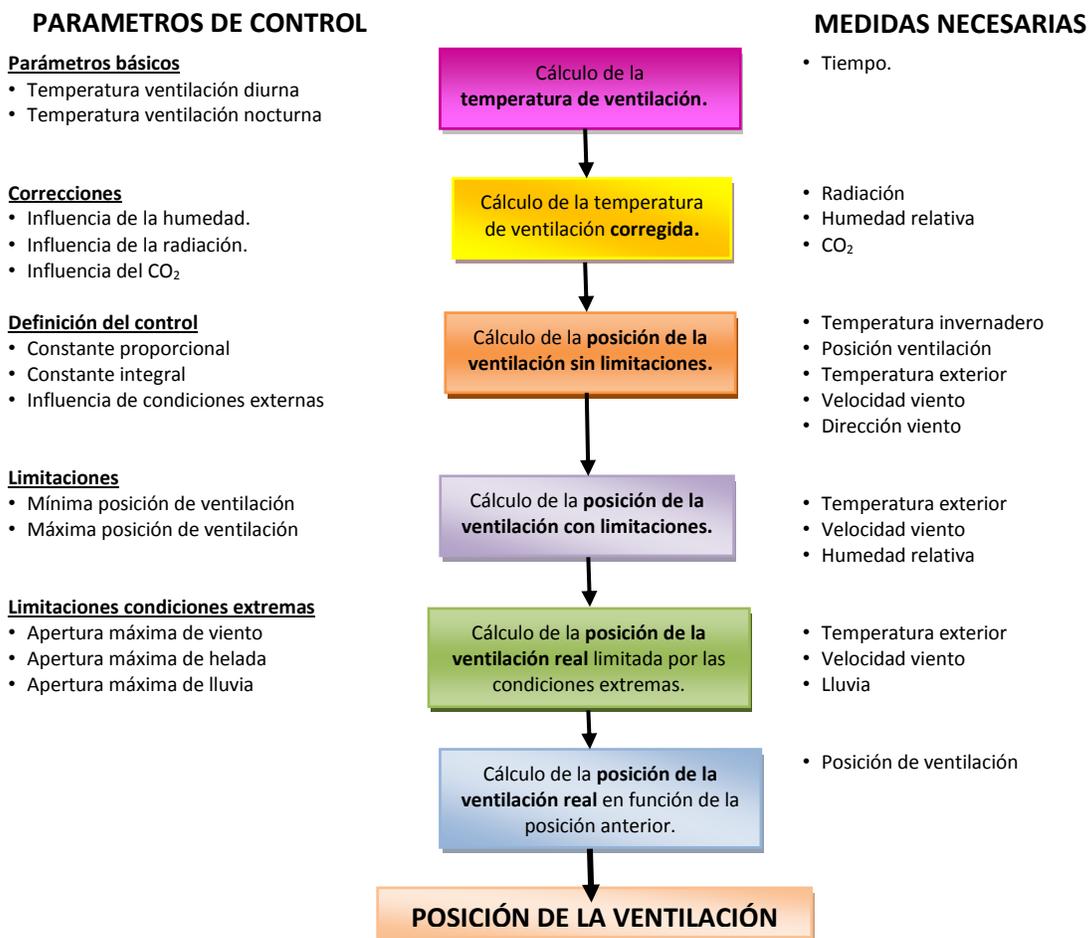


FIG 52 Algoritmo de cálculo de la posición de la ventilación. Analizadas con Francisco Rodríguez[45].

<sup>6</sup> Calculada con una serie completa de 6 meses con medidas cada minuto, llevada a cabo por investigadores de la Estación Experimental de Cajamar, España.

- Definición de la temperatura de ventilación para el día y para la noche o para los periodos en los que se divide el día.
- Corrección de la temperatura de ventilación en función de la radiación, la humedad relativa y la concentración de CO<sub>2</sub>.
- Cálculo de la posición de la ventilación en función de la temperatura de ventilación corregida y de las características del controlador PI.
- Corrección de la posición calculada en función del mínimo y el máximo de apertura permitido.
- Corrección de la posición calculada en función de las condiciones externas límites como lluvia, helada o viento.

Los parámetros de entrada necesarios en cada uno de los pasos a considerar en el algoritmo de control de las ventilas y las medidas que el sistema debe realizar en cada momento se expresan en la figura 52.

### 5.5.3.3. SISTEMA DE FERTIRRIGACIÓN PARA CULTIVO HIDROPÓNICO.

Habiendo hablado de la fertirrigación, sección 3.7; el problema, sección 3.7.1; y las características, sección 3.7.2, así como las variables de control, sección 3.7.3, los sensores, sección 3.7.5 y los tipos de control; se consideran cada uno de estos aspectos para determinar el equipo de fertirrigación necesario; cabe mencionar, que éste tema, de manera particular fue objeto de estudio durante la estancia de investigación que se realizó en la Estación Experimental de Cajamar y la Universidad de Almería, España; razón por la cual la mayor parte de esta sección se encuentra en referencia a éste lugar.

#### 5.5.3.3.1 Equipo de fertirrigación.

Los equipos de fertirrigación automáticos controlados por programador permiten un buen control en la fertirrigación en invernaderos. Normalmente están constituidos por:

- Un programador.
- Depósitos con soluciones fertilizantes.
- Bombas inyectoras o venturís para la aspiración de las soluciones nutritivas.
- Otros elementos, dependiendo de la complejidad del sistema, como: electroválvulas, sondas para la medida del PH, conductividad eléctrica (CE), radiación, etc, contadores de agua, placas convertidoras de señales, etc.
- Un ordenador y/o redes para enviar, almacenar y procesar la información.



FIG 53 Estación climática ubicada en la Estación Experimental de Cajamar, unidad Palmerillas, Almería. España.

En la Estación Experimental de la Fundación Cajamar, unidad Palmerillas se llevó a cabo una observación directa en torno al tema de análisis, fertirrigación controlada.

El equipamiento básico para poder dar un servicio de fertirrigación a distancia es el siguiente:

- Estación climática, fig. 53, instalada en una zona representativa del área de riego. La estación debe funcionar de forma automática y enviar la información de forma remota por radio o módem GSM.
- Ordenador y programa informático para el manejo de los datos climáticos y el cálculo de la evapotranspiración.
- Técnico responsable del servicio, con las siguientes tareas:

- Seguimiento fenológico de los cultivos.
- Manejo de los equipos y cálculo de las recomendaciones de riego.
- Supervisión de las instalaciones de riego para detectar puntos de mejora.
- Formación de los regantes en todo lo relativo a las relaciones hídricas suelo-planta y al manejo del riego.
- Asesoramiento para el cumplimiento de los trámites administrativos y legales relacionados con el uso del agua.

Adicionalmente, contar con equipo de medida de humedad del suelo, Ph-metros e instalaciones permanentes en parcelas piloto o portátiles para realizar comprobaciones en las parcelas de los regantes.

Sistema de comunicación de las recomendaciones de riego: desde el tablón de anuncios de la cooperativa a llamadas personales, fax o mensajes SMS.



**FIG 54 Izquierda, procesamiento de datos de fertirrigación; al centro, contenedores de solución nutritiva para fertirriego. Derecha, dosificador para fertirrigación.**

El caso de la Estación Experimental de Cajamar, unidad Palmerillas; uno de los invernaderos visitados dispone de un Bus de campo Ethernet con 2 *switch*, y 1 *router* inalámbrico como medio de envío de datos; algunos de los controladores utilizados son de la variedad de *National Instruments* con 2 módulos para sensores y 1 de actuadores para controlar los relés que activan la apertura y cierre de ventilación, generadores de CO<sub>2</sub> y calefacción.

El proceso de fertirrigación no es completamente automatizado, únicamente controlado por secciones, fig. 54; cada uno de los procesos debe automatizarse por medio de programadores conectados a controladores que pueden adquirirse en el mercado y que brindan una plataforma amigable; en este caso se han programado en la plataforma de *LabVIEW*.

El riego en los invernaderos y huertas visitados es localizado, fig. 55 a), b); inclusive los programas gubernamentales abarcan el riego localizado dentro de los jardines de la Universidad de Almería y ahora en la Ciudad de Almería, fig. 55 d) y c), respectivamente.

Los programas gubernamentales de riego responden al uso racional del agua, bajo metodologías que les han funcionado hasta el momento como es el riego localizado; sin embargo, los intereses perseguidos y la calidad de riego para parques y monumentos no es la misma que la requerida en invernaderos. Los invernaderos tienen como objetivo principal el incremento de producción en menor espacio y a bajo costo.



**FIG. 55 a) Riego localizado en una planta de tomate en un invernadero; b) Riego localizado en un árbol de níspero chino; c) Riego localizado en un parque de la Ciudad de Almería; d) riego localizado en la universidad de Almería.**

Para facilitar la ubicación de los criterios de planificación de la automatización, incorporar avances progresivos en el tema y poder caracterizar los sistemas a medida que surjan nuevas tecnologías, se considera una subdivisión por áreas de oportunidad, que está dada por:

1. Estación de bombeo: compuesto por tanques de fertilización o “abonadoras”; son depósitos cerrados, metálicos o fabricados a base de fibra. Están unidos a la red principal de riego mediante dos mangueras flexibles con sendas llaves de paso y, a veces, manómetros.
2. Red de riego: Se emplea por inyección a la red de riego a una presión superior, mediante una bomba inyectora de pistón o membrana, que puede ser hidráulica o estar accionada por un motor eléctrico o de combustión.
3. Hidrantes (tomas de reagrupación): contienen las válvulas y sensores para monitorizar la redistribución del agua con los fertilizantes. Es donde se obtienen los parámetros que controlarán el sistema de riego.
4. Parcelas: Se establecen diseños de líneas de riego en estrella, bus, anillo, mixta, árbol, malla, etc. Según las características del suelo, la plantación y el tipo de cultivo.

En el caso del sistema NFT considerado para el diseño conceptual del invernadero automatizado, se propone un sistema de árbol donde la base se encuentra en el dosificador.

El control del aporte de fertilizantes puede realizarse teniendo en cuenta las mediciones de PH y CE, actuando sobre las llaves que regulan los venturis, o midiendo los caudales inyectados mediante rotámetros y manipulando las llaves de regulación que están colocadas junto a los rotámetros a la salida de los depósitos o bien instalando válvulas automáticas. También pueden combinarse ambos sistemas.

Las características de un sistema de fertirrigación, sección 3.7.1, y las variables de control, sección 3.7.3, dan origen al diagrama de operación y control de un sistema de fertirrigación, sección 3.7.4, lo cual permitirá elegir el tipo de sensores, sección 3.7.5, para llevar a cabo el control, sección 3.7.6, y/o automatización del proceso de fertirrigación, aunque para fines prácticos se podría considerar la adquisición de un sistema completo de fertirrigación que aunque son caros, resultan funcionales y tomando en consideración los aspectos anteriormente explicados en esta sección, 5.5.3.3.1.

#### **5.5.4. PROCESOS AUTOMATIZABLES POR DIVISIÓN EN LA PRODUCCIÓN.**

Todos los procesos y procedimientos dentro del invernadero pueden ser motivo de automatización, para la propuesta de éste proyecto se han dividido para su estudio, se comienza desde el ingreso de

la semilla para depositarla en semilleros y llevar a cabo los procedimientos necesarios para su adecuada germinación, las características de éste proceso se explica en la parte de “siembra”.

Como las características climatológicas son diferentes a la primera y segunda etapa de crecimiento, éstas se explican en “desarrollo”; posteriormente el producto de la cosecha implica otros métodos que se exponen en “recolección” y finalmente la selección y empaque para distribuir al mercado se verificará en la sección “empaque”.

#### 5.5.4.1. SISTEMA DE SIEMBRA-DESARROLLO-RECOLECCIÓN-EMBALAJE.

Una vez que se ha seleccionado el tipo de cultivo y se han identificado las características de temperatura, humedad relativa, el tipo de depósitos, sustrato y procedimientos de siembra.

**Tabla 13 Tabla comparativa de procesos.**

Proceso devenido	Etapas de desarrollo	Características generales	Elementos o máquinas requeridas para automatización.
1. Siembra	Germinación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terminación de la dormancia</li> <li>• Debe haber temperatura adecuada o ausencia de luz.</li> <li>• Humedad constante, aireación</li> <li>• No necesita nutrientes hasta emerger la plúmula y primeras raíces.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mezclador de sustratos</li> <li>▪ Inserción de semillas en contenedores</li> <li>▪ Temperatura</li> <li>▪ Concentración de H<sub>2</sub>O</li> <li>▪ Sembradoras automáticas</li> </ul>
2. Desarrollo 1	Desarrollo de hojas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Requiere luz solar</li> <li>▪ Espacio adecuado</li> <li>▪ Buena fertilización</li> <li>▪ Necesidad de agua</li> <li>▪ Requieren sostén.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Trasplante</li> <li>▪ Temperatura</li> <li>▪ Riego</li> <li>▪ Humedad relativa</li> <li>▪ Radiación PAR</li> <li>▪ CO<sub>2</sub></li> </ul>
3. Desarrollo 2	Floración, fructificación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energía suficiente (luz solar)</li> <li>• Excelente fertilización</li> <li>• Polinización</li> <li>• Temperatura adecuada</li> <li>• Humedad relativa</li> <li>• Libres de plagas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Temperatura</li> <li>▪ Riego</li> <li>▪ Humedad relativa</li> <li>▪ Radiación</li> <li>▪ Polinización</li> <li>▪ Control biológico</li> <li>▪ CO<sub>2</sub></li> </ul>
4. Cosecha	Obtención de la siembra.  Separación de la producción para consumo o semilla.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se prefiere la forma manual.</li> <li>• Los sistemas actuales de recolección son muy caros porque requieren más uso de tecnología para la discriminación de los productos. Es rentable en producción por volumen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistemas de visión artificial</li> <li>▪ Monitorización</li> <li>▪ Robots recolectores</li> <li>▪ Transporte</li> <li>▪ Obtención y selección de semillas</li> </ul>
5. Empaque y/o consumo	Consumo / tiempo de vida de la cosecha.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existen máquinas separadoras y empacadoras.</li> <li>• Son rentables en producción por volumen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Seleccionadores</li> <li>▪ Monitorización</li> <li>▪ Transporte</li> <li>▪ Robots empacadores</li> </ul>

#### 5.5.4.1.1 Siembra.

Como trabajo previo a la siembra en sistema NFT, se debe realizar la mezcla del sustrato a utilizar, el llenado de los contenedores para posteriormente depositar la semilla y comenzar la microclimatización para que la semilla inicie su proceso de germinación y desarrollo, tal y como se expone en la sección 3.8.1.

Actualmente existe maquinaria semiautomatizada, fig. 56; automatizada, fig. 59. Para llevar a cabo éste proceso; algunas de sus características se pueden ver en el punto 1 de la tabla 13.

##### 5.5.4.1.1.1 Procesos automatizables en la etapa de siembra.

Las posibilidades de automatización que se pueden incluir en esta etapa son:

- Esterilización de sustratos.
- Mezcla de sustratos.
- Llenado de contenedores.
- Deposición de la semilla en el contenedor.
- Transporte del contenedor sembrado a un microclima.
- Control de microclima y riego.
- Identificación de los contenedores germinados y deshecho de los no germinados.
- Paso al proceso 2 de la tabla 13, en algún caso, transportación al nuevo espacio.

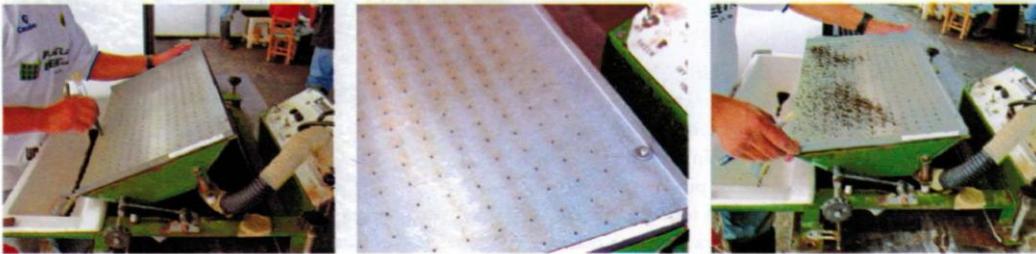


FIG 56 Sembradoras[23].

##### 5.5.4.1.1.2 Diagrama de operación y control del proceso de llenado de contenedores de una sembradora.

Parte del automatismo para el control del proceso de llenado de contenedores en una cadena de siembra, fig 59. Los contenedores se llenan desde una tolva de almacenamiento tal y como se muestra en la figura 57. Mediante un mecanismo que no se muestra en la figura, los contenedores son colocados sobre una balanza de pesada que activa una señal S1 cuando el contenedor está listo para ser llenado. Se dispone de dos sensores de peso P1 y P2 que se activan cuando el peso del contenedor es superior a 5 gr y 6 gr respectivamente. En la tolva existen dos compuertas de diferente tamaño que se abren al activar las señales C1 y C2. La compuerta mayor, que se activa con la señal C1, se utiliza para el llenado rápido del contenedor hasta alcanzar los 5gr. Entre 5 y 0 gr, el contenedor se debe llenar manteniendo abierta la compuerta más pequeña (que se activa con la señal C2) que llena el contenedor más lentamente después de colocar la semilla.

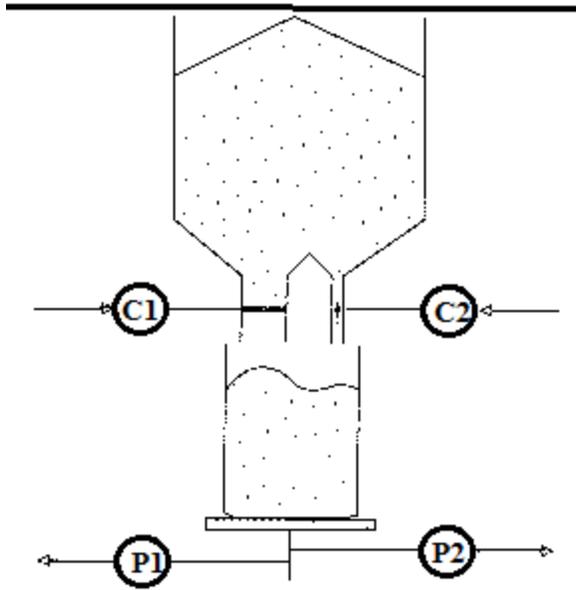


FIG 57 Llenado de contenedores.

Una vez que el contenedor ha sido llenado con 7gr. de fertilizante, el sistema debe activar la señal A1 para que el contenedor sea retirado por un dispositivo diseñado para tal fin. Este dispositivo activa la señal S2 cuando el contenedor ha sido retirado. El automatismo debe activar entonces la señal A2 para que el dispositivo de colocación de contenedores actúe y se repita de nuevo el proceso.

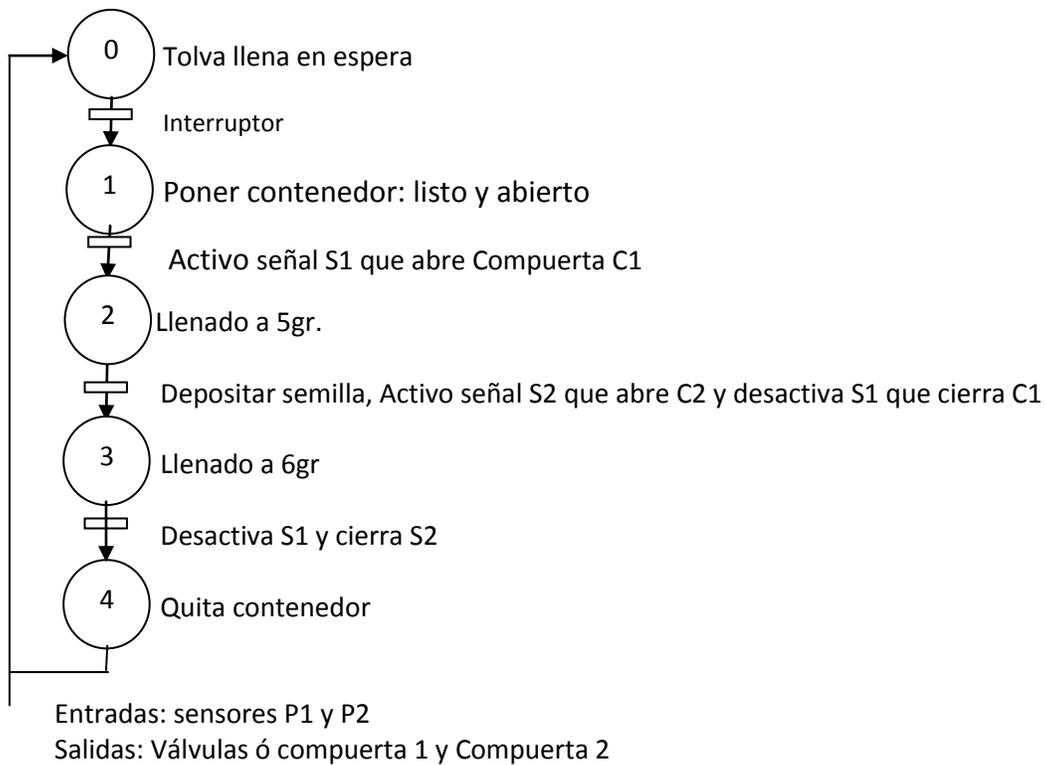


FIG 58 Estructura del proceso de llenado de contenedores y siembra. La deposición de la semilla se considera otro proceso a analizar para conformar la línea automatizada para siembra.

Analizando el sistema en sus entradas, salidas y variables auxiliares y desarrollando la Red de Petri que describe el proceso para controlar el proceso de llenado de contenedores y siembra se observa en la fig. 58.

Cuando se desarrollan estos procesos, la inversión y complejidad crece dependiendo los requerimientos. Es rentable el uso de una línea automatizada de siembra, fig.59, cuando se utilizan grandes extensiones para siembra; en caso contrario no es justificable la inversión y aunque sea un proceso repetitivo y tedioso, deberá llevarse a cabo de forma manual.



FIG 59 Línea automatizada de siembra, imag. int., 2010.

#### 5.5.4.1.2 Desarrollo ó crecimiento por fases.

Una vez que se tienen los contenedores que lograron germinar deberán pasarse a un espacio que permita las condiciones, según sección 2 de la tabla 13, para la parte de desarrollo que sigue, en este caso, el crecimiento de la planta y las hojas hasta un crecimiento medio, según el tipo de cultivo seleccionado. Todo el tiempo se debe monitorizar la salud de las plantas en crecimiento, como se menciona en la sección 3.8.2 y las aportaciones bibliográficas respectivas.

En el caso de siembra de hortalizas, éstas probablemente no deban ser cambiadas de lugar o bien sea más fácil su transporte, comparativamente hablando con el crecimiento de calabaza, pepino, jitomate, sandía, que requerirán otro tipo de adecuaciones y que si no se transportan en el momento adecuado, deberán concluir su primera y segunda parte de desarrollo en el mismo lugar.

Existen maquinas muy sofisticadas para hacer la operación de trasplante, un ejemplo de ello es la fig. 60.



FIG 60 Máquina trasplantadora automática, imag. int., 2010.

**A) Primera etapa de crecimiento.**

Cuando se tienen las primeras hojas, la plántula se trasplanta, fig. 61, y se transporta al lugar donde puedan ser proporcionados los elementos necesarios para un desarrollo adecuado; la tabla 13, etapa 2 indica los requerimientos básicos para el crecimiento de la planta.

**5.5.4.1.2.1 Procesos automatizables en la etapa de crecimiento 1.**

Las posibilidades de automatización que se pueden incluir en esta etapa son:

- Tomar la plántula.
- Colocarla en un contenedor adecuado (más grande).
- Colocar el contenedor en las perforaciones del tubo de solución nutritiva.
- Mantener las condiciones ambientales (temperatura, radiación PAR, humedad relativa, CO<sub>2</sub>, etc.) adecuadas en el interior del invernadero.
- Monitorizar la solución nutritiva.
- Monitorizar crecimiento en base al cultivo, tamaño y temperatura.



FIG 61 Trasplante automatizado de plántulas[23].

Una vez alcanzado el tamaño deseado se puede monitorizar el crecimiento en el mismo espacio o bien realizar una transportación a otro espacio de crecimiento, que se considera como la segunda etapa de crecimiento.

**B) Segunda etapa de crecimiento.**

En la segunda etapa de crecimiento no solamente es importante monitorizar el desarrollo en tallos y hojas, sino también - en algunos cultivos – se debe monitorizar el desarrollo de flores, frutos, fig. 62, y selección de semillas para un futuro ciclo de cultivo.

**5.5.4.1.2.2 Procesos automatizables en la etapa de crecimiento 2.**

Incluyendo los procesos automatizables de la etapa de desarrollo 1, anteriormente vistos; las posibilidades de automatización que se pueden incluir en esta etapa son:

- Tomar la plántula que procede de la etapa de desarrollo 1.
- Colocar el contenedor en las perforaciones del tubo de solución nutritiva.
- Mantener las condiciones ambientales (temperatura, radiación PAR, humedad relativa, CO<sub>2</sub>, etc.) adecuadas en el interior del invernadero.
- Monitorizar la solución nutritiva, se incrementan los requerimientos acuíferos y nutritivos de la planta.
- Fumigación.



FIG 62 Cultivo protegido con un crecimiento en la segunda etapa de desarrollo, Almería, España.

- Monitorizar crecimiento en base al cultivo, y realizar podas regulares (a partir de este momento será necesario realizar esta operación en lo que resta de la campaña).
- Monitorizar que esté libre de plagas el cultivo y en caso de un posible ataque prevenir.
- Polinizar ante la aparición de las primeras flores.
- Monitorizar el crecimiento de frutos hasta su maduración para poder ser recolectados.

Estas actividades se deben estar monitorizando periódicamente. El producto de algunos tipos de cultivos no llegan necesariamente a la fructificación, tal es el caso de las hierbas aromáticas, lechuga, col, espinaca, alfalfa, etc. a los cuales sus procesos automatizables se reducen tan solo hasta el punto 6 de los procesos automatizables. En cuanto a los cultivos cuyo producto final es la fructificación; se debe monitorizar el fruto hasta llegar a la maduración conveniente para su distribución en el mercado; el siguiente paso será la recolección.

#### 5.5.4.1.3 Cosecha.

Los frutos que se recolectan deben ser seleccionados por calidad, maduración y objeto final, éste



FIG 63 Recolección manual, imag. int., 2010.

último puede ser para consumo humano, consumo animal o bien para la obtención de semilla; tomando en consideración lo mencionado en la sección 3.8.3.

La obtención de semillas pueden variar dependiendo del tipo de cultivo que se haya desarrollado, por ejemplo, no es la misma metodología para obtener semillas de tomate que de hongos; o bien, la selección de bulbos o camotes para su trasplante y reproducción. Únicamente se considera el procedimiento que se requieren para o tener semillas de frutos como el tomate o jitomate.

Actualmente el proceso de recolección se realiza de forma manual, fig.63, aunque existe investigación y desarrollo de maquinaria para recolección, aún es cara esta tecnología, fig.64, y regularmente la poseen los centros de investigación.

##### 5.5.4.1.3.1 Procesos automatizables en la etapa de cosecha.

Las posibilidades de automatización que se pueden incluir en esta etapa son:

- Selección de frutos cosechables.
- Ubicación, sujeción, corte y traslado de frutos a contenedores.
- Transportación.

En caso de selección de frutos para obtención de semilla se tienen los siguientes procesos automatizables:

- Selección de frutos para obtención de semilla.
- Lavado de frutos.
- Separación de semilla y pulpa.
- Secado de semillas.
- Empaque de semillas.



FIG 64 Recolección automatizada, imag. int., 2010.

Los robots recolectores deben realizar las siguientes fases para recoger frutas u hortalizas.

- Guiado del sistema.
- Posicionado en el entorno.
- Detección de las piezas.
- Aproximación del extremo del robot hasta la fruta u hortaliza.
- Agarre de la pieza.
- Separación de la pieza.
- Apilamiento o almacenamiento de la pieza recolectada.

#### 5.5.4.1.4 Embalaje y trazabilidad.

El empaque es un proceso importante para la preservación, según se habla en la sección 3.8.4, y distribución de la cosecha para que llegue en buen estado al consumidor final, en el campo tradicional conforme se cosecha se deposita el fruto en cajas o huacales, sin embargo, para un proceso automatizado se lleva a sistemas que inclusive pueden hacer selección por tamaño, color y/o peso.

Actualmente la marca de los productos agrícolas que llegan al mercado, aunque tengan procesos de producción limpios cuando llegan al mercado local se mezclan con la mayoría de productos que probablemente no tuvieron un buen proceso de producción. Un claro ejemplo es la producción de chile piquín en polvo; cuando se compra chile piquín a granel, generalmente el consumidor no se pregunta cuál habrá sido el proceso que dio origen a lo que consume.



FIG 65 Planta empacadora de manzana semiautomatizada, imag.int., 2010.



FIG 66 Planta automatizada para empaque de jitomate, imag. int., 2010.

El proceso comienza con el cultivo del chile que no se sabe si fue regado con aguas negras o no, después de la recolección no se sabe si se lavó el chile o no antes de ponerlo a secar; en el proceso de secado pudo haber estado expuesto a condiciones insalubres como por ejemplo, se llegan a encontrar en análisis la presencia de trazas de pelo de roedores, eses de pájaros y otros elementos; otro foco de infección pueden ser los molinos que pueden desprender plomo u otro tipo de elementos contaminantes; situaciones que a simple vista no se pueden prever al momento de adquirir el producto, y por si fuera poco, en la molienda puede agregarse el chile con semillas, colas y basurillas, es decir, no es tan solo el chile lo que se consume; y por si fuera poco, algunos comercios rebajan la pureza agregando algún tipo de harinas, colorantes o complementos que deterioran la calidad pasando desapercibido por el consumidor. Por todo ello, es deseable que aparte de un buen

proceso de producción se tenga un buen sistema de empaque que ayude a tener mayor confiabilidad del producto que se adquiere ayudado de una trazabilidad responsable y confiable.

Los automatismos que se han desarrollado para empaque están más desarrolladas, fig 65 y 66, que muchas otras áreas de interés para sistemas en invernaderos.

#### 5.5.4.1.4.1 Procesos automatizables en las etapas de empaque.

Las posibilidades de automatización que se pueden incluir en esta etapa son:

- Transporte de materia prima al inicio de la cadena de empaque.
- Discriminación por peso, color y/o tamaño.
- Selección y separación.
- Deposición en caja u otro empaque.
- Sellado de empaque.

#### 5.5.4.1.4.2 Procesos automatizables en la etapa de trazabilidad.

Las posibilidades de automatización que se pueden incluir en esta etapa, considerando los principios de reingeniería que se hablan en la sección 3.8.4, son:

- Etiquetado.
- Salida de producto.
- Transporte.
- Seguimiento.

#### 5.5.4.1.5 Automatización.

Considerando la información de la sección 3.9, la automatización agrícola es mediante el diseño de robots para éste uso; cuyas posibilidades son variadas, de acuerdo a la tabla 12, y la fig. 30, de la sección 3.9 y la tabla 13 de la sección 5.5.4.1.

Para poder llevar a cabo el desarrollo de máquinas o automatismos se emplean diferentes tipos de herramientas como por ejemplo el control, visión artificial, telecomunicaciones, programación, entre otros. Hablar de ello es tener una cantidad de información tan vasta como la investigación que se ha hecho al respecto sobre cultivos, actividad biológica, diseño de invernaderos; por lo cual se recomienda consultar la bibliografía [45] del capítulo 5 al 8 dónde se encuentra de manera resumida el tema, o bien, para complementar la información se recomiendan las bibliografías[108][109][110][111][112][113][114]..., entre otras que existen para análisis por visión artificial, adquisición de imágenes procesamiento de datos almacenamiento de datos, sistemas de visualización y detección de imágenes, robotización, programación, mecanismos, entre otros.

La fig. 67 ilustra un ejemplo de código desarrollado en BASCAD durante la estancia de investigación para generar un automatismo al proceso de llenado de contenedores en una línea de siembra; como éste pueden existir otras posibilidades de automatización dependiendo las herramientas con las que se cuenta.

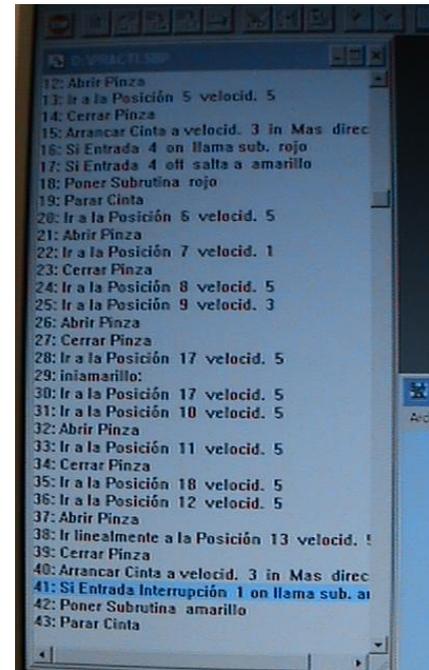


FIG 67 Ejemplo de segmento de código para llenado de contenedores en BASCAD.

### 5.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PROPUESTA.

Las ventajas y desventajas se presentan a manera de resumen mediante la aportación en tablas, las cuales se dividen como se expresa a continuación:

- En cuanto a la estructura y mantenimiento del invernadero.

Tabla 14 Comparativa: ventajas y desventajas en cuanto a la estructura y mantenimiento del invernadero.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor control del medio ambiente</li> <li>• Uso eficiente del suelo</li> <li>• Flexibilidad de uso de zonas</li> <li>• Ahorro en mano de obra</li> <li>• Facilidad de automatización</li> <li>• Aseguramiento de calidad y sanidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado costo inicial.</li> <li>• Si se daña un segmento de plástico, habrá que cambiar todo el tendido.</li> <li>• Uso de equipo especializado.</li> <li>• Requiere mano de obra calificada.</li> </ul>

- En cuanto a la hidroponía.

Tabla 15 Comparativa: ventajas y desventajas en cuanto a la hidroponía.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor sanidad y calidad en los productos.</li> <li>• Inversión inicial baja o muy baja usando materiales reciclados.</li> <li>• Mayor producción en menor espacio.</li> <li>• Actividad que puede ser familiar.</li> <li>• Mejor uso de fertilizantes.</li> <li>• Menor o nulo uso de insecticidas.</li> <li>• Fácil de automatizar.</li> <li>• Ahorro de agua en los cultivos.</li> <li>• Posibilidad de cultivar en zonas áridas urbanas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión inicial alta en sistemas tecnificados.</li> <li>• Requiere capacitación.</li> <li>• Infraestructura eléctrica e hidráulica.</li> <li>• Si no se sabe el cuidado adecuado de plantas en hidroponía se puede causar pérdida total de cultivo.</li> <li>• El resultado final de la hidroponía produce altos contenidos de nitratos después de varias las circulaciones, lo cual se traduce en repercusiones a la salud pública.</li> </ul>

- En cuanto a recursos vs automatización.

Tabla 16 Comparativa ventajas y desventajas en cuanto a recursos vs automatización.

RECURSOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ECONÓMICOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtención de productos fuera de temporada.</li> <li>• más productos por metro cuadrado.</li> <li>• Ahorro a largo plazo.</li> <li>• Mejor posición de los productos en el mercado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión inicial elevado</li> </ul>

HUMANOS		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disminución de la mano de obra.</li> <li>Facilidad de uso de automatismos.</li> <li>Mayor seguridad en el trabajo.</li> <li>Son necesarios para monitorizar los procesos realizados por las máquinas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requerimientos de mano de obra calificada.</li> <li>Uso de equipo especializado.</li> <li>Requiere mantenimiento periódico.</li> </ul>

- En cuanto a la población vs la automatización.

Tabla 17 Comparativa ventajas y desventajas en cuanto a la población vs la automatización.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Rápida adaptación a los automatismos.</li> <li>Los industriales ya buscan la automatización de procesos para mejorar sus tiempos de obtención y distribución de su producto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En lugares tradicionalistas, se encuentran renuentes a la automatización de cultivos.</li> <li>Es rentable sólo en el uso de extensos territorios de siembra.</li> </ul>

Finalmente, como aportación general, se incluye la sección 6.1 a fin de considerar la posible inversión actual para construir un invernadero.

### 5.7 Inversión de Invernadero.

Para fines prácticos, la inversión de un invernadero puede cotizarse según la tecnología, tabla 18, o bien según su material, tabla 19.

Tabla 18 Costo de un invernadero según la tecnología de inversión.

Invernadero	Precio en euros(€)	Precio en pesos(\$)
Invernadero de baja tecnología, mallas sombra	4-6 €/m <sup>2</sup>	56 -80 \$/m <sup>2</sup>
Invernaderos de media tecnología	15-25 €/m <sup>2</sup>	210-560 \$/m <sup>2</sup>
Invernaderos de alta tecnología	50-120 €/m <sup>2</sup>	700-1700\$/m <sup>2</sup>

Tabla 19 Costo de invernaderos según su material.

Invernadero	Precio en dolares(\$usd)	Precio en pesos(\$)
Invernadero con material de plástico	7-9 \$usd /m <sup>2</sup>	98 -150 \$/m <sup>2</sup>
Invernaderos con material de vidrio	17-21 \$usd /m <sup>2</sup>	240-350 \$/m <sup>2</sup>
Invernaderos tipo casa	5-7 \$usd /m <sup>2</sup>	70-90\$/m <sup>2</sup>

Según las cotizaciones que maneja la sagarpa, México, se tiene una cotización según la tabla 20 además de proporcionar una lista de proveedores[INT18], bajo el indicador que los precios pueden variar según el proveedor y la fecha de cotización.

Tabla 20 Rango de precio de inversión en invernaderos

Rango de precios/m <sup>2</sup> 28/01/2011	
Precio mínimo	Precio máximo
\$36. 75	\$68. 25
\$84. 00	\$115. 50
\$220. 50	\$262. 50
\$294. 00	\$367. 50
\$399. 00	\$514. 40

El gobierno de México apoya a los agricultores mediante programas gubernamentales, algunos de ellos se mencionan en la tabla 21, sin embargo, para poder acceder a estos apoyos, la mayoría de pequeños agricultores encuentran difícil la tarea debido a que no cubren los requerimientos de los programas o bien desconocen, incluso, la existencia de los mismos; es por ello que se invita con esta investigación a la generación de cooperativas o sociedades para incrementar las posibilidades de obtención de recurso y sobre todo, que sea rentable y no se causen mayor impacto ecológico.

Tabla 21 Programas de apoyo al campo.

PROGRAMA	APORTACIÓN
<b>PROCAMPO</b>	Programa de apoyos Directos al Campo.
<b>ALIANZA PARA EL CAMPO</b>	Busca integrar al productor primario a los procesos de transformación y agregación de valor en las cadenas productivas, principales innovaciones y cambios
<b>ALCAMPO</b>	Proyecto de Mejoramiento de la Productividad Agropecuaria.
<b>ALIANZA CONTIGO</b>	Fomento agrícola, fomento ganadero, desarrollo rural, de sanidad e inocuidad agroalimentaria, sistema de información para el desarrollo rural sustentable, acuicultura y pesca.
<b>BANCOMEXT</b>	Buscan atender de manera integral las necesidades del productor rural interesado en modernizarse y/o exportar.
<b>FIDEICOMISOS</b>	Fondo de Capitalización e Inversión del Sector Rural (FOCIR). Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO). Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA).
<b>FINANCIERA RURAL</b>	Ayuda a realizar la actividad prioritaria del Estado, impulsando el desarrollo de las actividades agropecuarias, forestales, pesqueras y las demás vinculadas al medio rural, con la finalidad de elevar la productividad, así como de mejorar el nivel de vida de su población.
<b>FUNDACIONES PRODUCE</b>	Organización capaz y exitosa en la innovación tecnológica de los actores de las cadenas agroindustriales en el Estado.
<b>PROMOAGRO</b>	Promover el fortalecimiento de la oferta, así como el posicionamiento e incremento del consumo de los productos agroalimentarios mexicanos.

## CAPITULO 6. DISCUSIÓN.

*“Quien se atreve a enseñar jamás deja de aprender”.*

*John Cotton Dana.*

**DISCUSIÓN.**

- Al investigar sobre los diferentes tipos de invernadero, al principio se había seleccionado un invernadero tipo parral, debido al bajo costo de inversión y porque parecían ser muy adaptables y aunque se tenía en la mira los invernaderos multitúnel, se definió ésta estructura como la elegida después de participar activamente en una estancia de investigación que se realizó en España, donde se observaron los beneficios que aporta este tipo de estructura, tal como se comenta en la sección 5.4.2 y la tabla 14.
- Cuando estaba realizando visitas de inspección y análisis sobre el funcionamiento de los invernaderos no automatizados pude percatarme que éstos únicamente brindan protección del clima a las plantas que son cultivadas bajo éstas condiciones; lo cual mejora la calidad de los productos comparativamente hablando de los que están a la intemperie; sin embargo, no se puede acelerar el crecimiento y la práctica agrícola debe ser por temporal.
- Sabiendo que en los invernaderos semiautomatizados y más aún los automatizados, con buenas prácticas de cultivo protegido, se pueden obtener productos fuera de temporada; sin embargo, en los invernaderos semiautomatizados que pudieron visitarse, algunos de los automatismos no estaban bien diseñados, debido a que las lecturas no coincidían con la programación que se realizaba en los paneles de control, las temperaturas no habían sido las indicadas y aparte se contaba con malas prácticas de higiene, lo cual llevó a la rotunda pérdida de un cultivo de pepino debido a la presencia de una plaga; aunado a ello, la energía que se gasta en estos invernaderos mal diseñados no es aprovechada por los cultivos, lo que dan son resultados mediocres, como el caso de uno de los invernaderos visitados en la delegación Iztapalapa.
- Lamentablemente no pudieron ser ubicados y mucho menos visitados invernaderos automatizados, debido a que se encontraban fuera de la región de estudio y en algún momento no se encontró respuesta a la solicitudes enviadas, debido a sus políticas de gestión; sin embargo, se pudo visitar los invernaderos de la Estación Experimental de la Fundación Cajamar, donde tenían uno de los sistemas más avanzados de la región, en cuanto a telecontrol se refiere, el cual es tan solo una parte de las actividades que se deben de llevar a cabo en un invernadero.
- Si bien ya se habló en la sección 3.6 sobre los factores que intervienen para la automatización de un invernadero; también es importante considerar otros factores como son la existencia de un laboratorio de análisis, una planta tratadora de agua, una planta de energía solar, un almacén, una estación meteorológica, un huerto y las actividades que devengan de cada una de ellas o su interrelación, por ejemplo, prácticas de salud y buen manejo, gestión de tráfico y trazabilidad, entre otras que se tratan a lo largo de ésta investigación; para tener un sistema que pueda reciclar su energía y causar el menor impacto ecológico, así como ayudar a garantizar la inocuidad en los productos alimentarios y dar la confianza al consumidor que lo producido es seguro. Todo esto prueba que un invernadero para cultivos hidropónicos es más que controlar la temperatura, humedad y riego.
- La planta tratadora de agua y el huerto se proponen debido a que, el residuo de un sistema hidropónico de varias recirculaciones aporta grandes cantidades de nitratos que son absorbidos por la plantas, lo cual puede volverlas riesgosas para la salud humana cuando exceden los estándares permitidos por las normas de salud.
- Durante el proceso de selección algunas de las ideas para utilizar en los diferentes diseños que me propuse, y aunque no aparecen documentados en esta investigación, era el empleo de bambú como tubos de transporte de solución; quedando en segunda instancia el uso de tubería de policarbonato en vez de la de PVC porque su proceso de producción tiene como resultado menor cantidad de emisiones contaminantes; también se pensó en que las estructuras fueran modulares para poder cambiar secciones donde tuviera mayor impacto a las condiciones climatológicas y

que a su vez el intercambio pudiera ser controlado. De alguna manera, cada una de las ideas que se pensaron pueden ser hechas realidad, sin embargo, el factor de inversión es algo que no debe descartarse cuando se trata de proyectos de esta magnitud.

- Los procesos automatizables para la producción dentro del invernadero se comprenden en cada una de las etapas de cultivo; tanto más grande sea un cultivo mayor nivel de tecnología puede ser utilizado en algunos sectores; y tanto más ásperas sean las condiciones climáticas a las que se enfrenta un diseñador, los algoritmos de control y automatización deben ser más robustos; no así en lugares donde pudiera decirse que las plantas crecen solas, es decir donde las condiciones climatológicas, atmosféricas y de producción son buenas.
- Con la propuesta de diseño conceptual de un invernadero automatizado para cultivos en hidroponía analizada, se espera que la producción protegida se incremente con el paso del tiempo, aportando los beneficios que hoy se promueven, salud, bienestar, respeto por la naturaleza, mejor calidad de vida para los campesinos y agricultores, apertura de las fronteras comerciales hacia el mundo al garantizar nuestros productos agrícolas.
- Quedando cubiertos los objetivos por los cuales se llevó a cabo éste trabajo de investigación, adicionando a las reflexiones y considerando los antecedentes de los que habla la historia de México; los más desprotegidos son aquellas personas que se dedican a labrar la tierra, su trabajo es mucho y la retribución es poca; cuando se habla de pequeños productores no se pueden obtener estándares de calidad ambiciosos debido a las carencias que enfrentan; sin embargo, si pudieran unirse en cooperativas o bien generarse comercializadoras que unan a esos pequeños grupos para tener plantas como la propuesta, podrían mejorarse sus niveles de vida, realizar una programación de cultivos en base a la región y de esta manera estabilizar los costos de los productos; a su vez de que los productos que consumamos todos los días podremos estar seguros de la inocuidad de su procedencia y de la misma manera promover la apertura comercial de productos agroalimentarios mexicanos hacia el resto de los países.

## CAPITULO 7. RESULTADOS Y TRABAJOS FUTUROS.

*"Que algo no funcione como tu esperabas no quiere decir que sea inútil".*

*Thomás Alva Edison.*

**RESULTADOS.**

- En cuanto a la metodología correspondiente a la biónica y la biomimética, se observó y analizó el comportamiento general del macroclima y las cadenas del nitrógeno, oxígeno, fósforo, principalmente, para determinar una cadena completa de utilización de los recursos para evaluar el impacto ecológico de la propuesta de diseño, obteniendo como resultado la propuesta de diseño conceptual de la fig. 41.
- Con base a la primer hipótesis y al resultado anterior, puedo decir que se cumple ésta, a pesar del análisis de materiales que se debe realizar en base a las tecnologías actuales para obtener una producción con la menor cantidad de desechos; puesto que es difícil nulificarlos, tal como lo hace la naturaleza.
- En la investigación realizada se encuentra la propaganda lanzada por el gobierno federal en 2011 que dice “ 2050:9 mil millones de personas demandarán 70% más alimentos. Justicia alimentaria en un mundo con recursos limitados”; además de los datos de la ONU sobre de incremento poblacional y la falta de alimento se reafirma la primer parte de la segunda hipótesis que es el incremento de las necesidades alimenticias poblacionales.
- El incremento del cultivo protegido en España, como se observa en la fig. 39 y seguramente en diversas partes del mundo; la tendencia del cultivo bajo en invernadero va en aumento.
- En base a los 2 resultados anteriores; la segunda hipótesis tiene muchas posibilidades de que sea verdadera.
- De acuerdo a los diferentes tipos de invernaderos estudiados, se pudo determinar el que mejor se adapta a las condiciones climatológicas y meteorológicas de Tenancingo, Estado de México y Veracruz, éste es el multitúnel.
- Se aporta una propuesta de diseño conceptual de un invernadero automatizado para cultivos en hidroponía modelado con ayuda del software NX7, figuras 40,41, 44 y 45.
- De acuerdo a las características funcionales de un invernadero automatizado se puede valorar la implementación de automatismos para mejorar la producción agrícola en diferentes escenarios; adaptándolo a las características topográficas y climatológicas de la localidad para obtener mejores resultados en la producción agrícola.
- En cuanto a la elección del tipo de hidroponía a utilizar, ésta debe ser diferente para el tipo de cultivo que se elija.
- El tipo de cultivo que se elige puede ser combinado con otro cultivo que comparta características de temperatura, humedad y Ph similares.
- Después de analizar las metodología de cultivo y la sección de sanidad. El tipo de práctica de cultivo debe ser rotativo para evitar que se desarrollen colonias de bacterias que se adapten al ambiente controlado que se maneja en una primera campaña; por lo cual se deberán seleccionar cultivos con diferentes características a la campaña anterior.
- Se pudo estudiar y conocer los subproductos, los desechos y la forma de tratarlos de la hidroponía.
- A mi parecer, Ullman es un autor que realiza una propuesta de diseño conceptual muy sencilla y práctica, razón por la cual es el eje de éste trabajo de investigación.
- Se pudieron reunir los diversos factores que influyen en los procesos de un invernadero y se identificaron otros aspectos no considerados en un diseño tradicional, dando origen a la propuesta de diseño que se presenta en el capítulo 5.
- La propuesta de diseño conceptual puede ser rentable si se adecúa su nivel de tecnología a la región de aplicación; aunque tiene el inconveniente de no ser rentable a pequeña escala.

- En base a las entrevistas realizadas, se observa la discrepancia entre las opiniones de consumidores, empresarios, investigadores, docentes y jornaleros que a pesar de desenvolverse, aparentemente, en el mismo medio, sus necesidades son diferentes.
- La investigación realizada proporciona datos acerca de lo que esperan los campesinos, los empresarios, agrónomos e investigadores, lo cual es diferente a lo que usualmente se diseña, ya que a veces no se toma en cuenta al consumidor final
- Para la sección 5.5.2.1 se realiza una propuesta para el aprovechamiento del agua en un invernadero.
- En las investigaciones realizadas la mayoría de los productores no tienen un sistema de gestión y tráfico bien definido, únicamente operan por como lo vayan requiriendo, lo cual no les da control en sus entradas de materias primas y salidas de producto.
- La sanidad en muchas localidades, si bien es baja en otras es nula, tras la práctica del riego de cultivos con aguas negras; productos que se revuelven en el mercado dejando al consumidor sin la posibilidad de identificar éstos productos que podrían representar diversas enfermedades tras su consumo.
- La selección del sistema hidropónico NFT fue debido a la facilidad de obtención de tubería y bienes insumos necesarios para llevar a cabo una buena producción.
- La disposición de las tuberías de producción, fig. 51, fue en base a los requerimientos y manejo operativos que se propone en la planta general, sección 5.4.1.
- Se hará uso de una solución nutritiva de formulación general, tomando en consideración que si se desea cambiar el cultivo se deberán ajustar las formulaciones en base a los requerimientos del cultivo.
- El sistema de fertirrigación será conveniente adquirirlo con un distribuidor automatizado, para la planta en Veracruz; mientras que en el espacio de prueba se puede utilizar la fuerza de gravedad y una bomba para iniciar el proceso de fertirrigación.
- Se desglosaron los procesos de producción para su análisis e identificación de parámetros o procesos que requieran ser automatizados.
- Se aporta un ejemplo de la automatización de un proceso de llenado de contenedores y siembra para dar una idea muy particular de lo que se puede hacer en la etapa de planeación de un proceso de automatización utilizando diagramas Grafset.
- Se resume mediante tablas las ventajas y desventajas generales del diseño.
- Se añaden tablas para cotizar la inversión de los invernaderos en base a la tecnología que se desee y su material.
- Se incluye una tabla sobre programas de apoyo que brinda el gobierno de México, al campo.

#### **TRABAJOS FUTUROS.**

- El siguiente paso es construir el prototipo de prueba de invernadero automatizado para cultivos en hidroponía en el Estado de México y posteriormente la planta en Veracruz.
- Analizar la posibilidad de crear un sistema de inversión agrícola de producción comunal, que sea apoyado por una comercializadora y donde se lleven a cabo labores de investigación en automatización y ecología agrícolas.

**REFLEXION.**

Los invernaderos ya son una realidad para la producción de alimentos agrícolas, mejorando su calidad y costos de producción. En los últimos 25 años, la National Aeronautics and Space Administration (NASA) ha mostrado un acertado interés para la investigación y desarrollo de prototipos pensados para la producción de alimento fuera de la tierra. Los invernaderos desarrollados por la NASA se encuentran totalmente automatizados, ya no es necesario el hombre para operarlos. Dentro de los prototipos más completos están el Greenhouse II/NASA 3; sin embargo, el costo tecnológico aún no es redituable a nivel agroindustrial y mucho menos para espacios pequeños.

Los asentamientos de invernaderos por todo el mundo se hacen cada vez más evidentes, por ejemplo en Holanda donde, la agricultura en invernaderos es muy importante para su economía, ya que el 80% de los productos holandeses de invernadero están destinados a la exportación, también existen invernaderos en USA, Inglaterra, Israel, España; sin ir muy lejos, principalmente en Chihuahua, México, donde se han construido invernaderos, impulsados por el gobierno del estado para apoyar la producción de alimentos en la región y aunque el gobierno de México se esfuerza en hacer crecer el apoyo agrícola, España parecería tener una mejor infraestructura de apoyo no solo a la producción sino a la comercialización de los productos; la mayoría de las veces el gobierno mexicano brinda ayuda económica a los productores, pero, ¿Qué pasa cuando los productores no pueden poner en el mercado a sus productos?, la respuesta es la pérdida de la inversión e inclusive la quiebra.

El gobierno español promueve cursos gratuitos para los agricultores sobre procedimientos de cultivo, manejo de invernaderos, normativas, etc., lo cual ayuda a capacitar al personal para evitar pérdidas por mal manejo; la capacitación en México es muy técnica y por ello los agricultores pierden el interés al no comprender tecnicismos como medición de pH, conductividad, etc., lo cual puede provocar la pérdida de cosechas por infecciones o falta de nutrientes.

Se pueden economizar espacios y aumentar la producción agrícola, analizando las áreas de oportunidad del ecodiseño sustentable; para hacer una propuesta de invernaderos automatizados que impulsen el cultivo hidropónico bajo las consideraciones necesarias para que sean ecológicos y autosostenibles y de ésta manera aprovechar los recursos naturales y propiciar sistemas inteligentes capaces de producir vida en climas áspers. La construcción de invernaderos tipo túnel ha sido elegida debido a la eficiencia estructural que brinda en climas como el de Tenancingo y Veracruz; pero es necesario aprovechar los recursos disponibles de cada localidad para lograr un ahorro energético y de insumos, ya que es directamente proporcional a la ubicación respetando la geografía, condiciones climatológicas y recursos con los que se cuenta.

El uso de plaguicidas orgánicos y métodos de control biológico deberían ser preferidos por los agricultores, debido a que el impacto ecológico que generan en el ambiente va a favor de la naturaleza, no así el uso de productos químicos que pueden dañar la salud, incluso, de los que utilizan éste tipo de métodos.

En cuanto a la fertirrigación, el principal inconveniente del uso de riego localizado es la obstrucción de las terminales de fertirrigación; ésta se debe a que cuando la mezcla de nutrientes no ha sido suficientemente homogeneizada, la acción de las partículas de calcio causan obstrucciones o bien por la acción de los compuestos se generan electrodeposiciones de sales en las tuberías que con el tiempo dan como resultado obstrucciones en tuberías secundarias y posteriormente las primarias; aunado a ello está la diferencia de altitudes en el tendido del mallado de tuberías.

Si éste es muy accidentado la presión de riego no será la misma en todas las secciones, por lo que no hay una alimentación homogénea al cultivo.

Si pudiera cambiarse el medio de transporte esto podría resolver el inconveniente; aunque esto equivale a un cambio drástico en la forma de producción y lejos de obtener una solución podría convertirse en una disyuntiva parecida a la propuesta de rediseño de un corta uñas; el cual nadie ha podido resolver o proponer un mejor diseño minimizando o igualando el número de partes operativas que lo componen.

Para lograr la automatización de sistemas es necesario **separar** para **unir** los procesos hasta llegar a la producción y empaque. Algunas de las opiniones plantean que el uso irracional de la tecnología provoca sobreriego en los cultivos causando la pudrición del mismo. Considero que una mala programación secuencial de las máquinas sin considerar las características del suelo puede provocar este tipo de problemas, ya que la tecnología es una ayuda para realizar las tareas y aún no se dispone de mecanismos que puedan aprender y actuar por sí mismas, lo cual indica la falta de personal calificado que pueda verificar el estatus real del cultivo, tomando en consideración los factores climatológicos, físicos, químicos, etc. del invernadero atendiendo a sus demandas en vez de gastar en un gran número de sensores que se requerirían para lograr un sistema autónomo, ecológico y robusto.

La competitividad de los mercados de Almería se ve influenciado por productos que vienen principalmente de África, según exponen los entrevistados con nivel de estudios superiores, la regulación normativa de los productos cosechados en España tienen altos regímenes de sanidad pero a pesar de ello, se ven en desventaja con los productos importados de África, donde es más barato producir, además, no siempre cumplen los estándares de calidad de la Unión Europea y sin embargo se permite la entrada de estos productos. La diferencia de precios es debido al costo de producción determinado por el costo de la mano de obra y el consumo energético, principalmente.

Almería no cuenta con apoyos económicos directos a la producción, sino que se otorgan por la generación de biomasa, lo cual es lo que sustenta la productividad; en palabras de técnicos agrarios especializados, esto representará un problema el día que el gobierno decida quitar las subvenciones porque entonces la automatización ya no será rentable debido al gasto energético.

Se teme que la agricultura no sea prioritaria tras promover este tipo de apoyos, tal como ha pasado en Holanda, ya que ahora se concentran más en generar energía que en producir con calidad (de ahí que pueda surgir otro tema de debate de carácter ético), lejos de remediar el primario que es la escasez de alimento, éste sería un punto a considerar por el gobierno mexicano para no caer en este tipo de problemas.

La diferencia de opiniones entre los investigadores y los técnicos calificados son muy discrepantes debido a que los primeros consideran que la automatización de procesos es el futuro de la agricultura; mientras que los segundos opinan que es posible implementar la tecnología hasta la total ruina del productor; a mi parecer, es conveniente establecer un mecanismo mediador para evitar el uso irracional de la tecnología y que sea utilizada únicamente para cubrir las deficiencias propias de la región donde se encuentra el cultivo, manifestando una tecnología de soporte y no por deporte y de ésta manera evitar el vender por vender o comprar por comprar.

Aunque existen muchas posibilidades tecnológicas para cultivo en hidroponía, aún hay trabajo por hacer en cuanto a la automatización de la siembra, cambio de fases de crecimiento, poda, cuidados sanitarios, embalaje, embarque, trazabilidad, entre otros.

Para incrementar el nivel de vida de los agricultores se podría considerar un sistema de inversión agrícola de producción comunal, que sea apoyado por una comercializadora y donde se lleven a cabo labores de investigación en automatización y ecología, si se proporcionan unas buenas bases para el desarrollo del campo se puede avanzar a paso lento pero asegurando la estabilidad de los precios de algunos productos agrícolas, incrementando la calidad de vida de los campesinos que actualmente se encuentran marginados, tener mayor control en los mercados locales, nacionales e internacionales brindando confiabilidad, calidad y sanidad de los productos mexicanos. Es posible llevar a cabo este modelo de inversión debido a que ya existe, hasta cierto punto, en España, pero es mejorable, aun considerando que las dimensiones de México es 3.89 veces mayor que el territorio Español.

## CAPITULO 8. CONCLUSIONES.

*"La innovación es lo que distingue a un líder de los demás".*

*Steve Jobs.*

**CONCLUSIONES.**

- ☑ En base a las discusiones y resultados puedo decir que los objetivos propuestos han sido alcanzados.
- ☑ La automatización de los procesos permite el monitoreo, supervisión remota, activación de alarmas basadas en límites de control pre-establecidos; registro y análisis de datos; todo ello ayuda a poder establecer un sistema en retroalimentación que pueda predecir su estado actual y futuro para corregir en caso de ser necesario.
- ☑ El control del aporte de fertilizantes generalmente se realiza mediante la introducción de unas consignas de pH y CE en el programa de fertirrigación y además pueden establecerse porcentajes de tiempo de inyección para los distintos depósitos.
- ☑ Durante la incorporación del fertilizante al tanque, se mantienen cerradas las dos llaves que lo comunican con la red de riego para impedir el paso del agua a través de éste; posteriormente se abren las dos llaves de paso y se deja entreabierto la llave situada en la red de riego entre las dos válvulas anteriores para regular la diferencia de presión que obliga al agua a pasar por el fertirrigador, arrastrando la mezcla hacia la red. Con este sistema de abonado, la concentración de fertilizantes en el agua de riego no es constante a lo largo de tiempo de riego, pero es el más extendido en los invernaderos de la provincia de Almería debido a su bajo coste y fácil manejo.
- ☑ Es recomendable la colocación de agitadores, normalmente de inyección de aire (burbujas) o de hélice, para mantener homogénea la disolución y evitar precipitaciones u obstrucciones en la red de distribución.
- ☑ El uso de Internet da la posibilidad de gestionar de un modo eficiente la monitorización de los sistemas de control del invernadero en su totalidad; aunque la transmisión podría llevarse a cabo mediante el uso de antenas direccionales que permitan el control integral de diferentes invernaderos dentro del mismo sistema; sin embargo éstas generalmente se emiten en anchos de banda que ya están regulados, es decir, que implican gastos adicionales por la renta de operación, al igual que la comunicación satelital.
- ☑ La literatura que se consultó posee partes muy repetitivas que se arrastran desde inicios de la publicación de las investigaciones, lo cual no ayuda a avanzar rápido en las mejoras porque toma tiempo en descartar la literatura que habla de lo mismo; por lo que sería conveniente tener una base de información que depure la duplicada para evitar atrasos y solo anexar la que contenga relevancia o sea completamente nueva y además genere y contribuya a un verdadero avance tecnológico.
- ☑ El papel de la educación dentro de programas de formación y comunicación tienen como objetivo la participación entre las diferentes áreas del conocimiento y las culturas, a pesar de ello aún falta establecer una cultura en beneficio de la humanidad de compañerismo y ecuanimidad así como evitar el sentido de propiedad intelectual.
- ☑ Los problemas socioeconómicos y de cultura a los que se enfrenta en México, no equidistan de los encontrados en España, cada una de las naciones poseen características similares que si pudieran homogeneizar y compartir desaventajadamente podría impactar no solo en el desarrollo de la tecnología sino también en sus relaciones culturales, comerciales, políticas y sociales.
- ☑ La implicación que tiene la aparición de la tecnología es el requerimiento de gente calificada para su operación, lo cual pone en desventaja a los individuos que no tienen posibilidades de ingresar a la educación que requerirían este tipo de automatismos.
- ☑ El clima y la fertirrigación son dos sistemas independientes, por lo que plantean problemas de control diferentes. Empíricamente, se conocen las necesidades de agua y nutrientes de cada especie de cultivo y, de hecho, los primeros sistemas que se automatizaron son los que controlan

estas variables. Como el problema de control de crecimiento de un cultivo bajo invernadero es complejo, una base de partida común en este ámbito consiste en suponer que las plantas reciben la cantidad de agua y fertilizantes que requieren en cada momento.

- ☑ Para el ahorro y la eficiencia energética en los invernaderos en cuanto a las características constructivas se recomienda la orientación Este -Oeste para maximizar la captación de energía solar.
- ☑ Como sistemas de apoyo pasivos se deben utilizar pantallas térmicas suministradas cuando se utilice la calefacción para reducir las pérdidas de calor por conducción, convección y por radiación nocturna de onda larga.
- ☑ Dividir el invernadero durante los periodos fríos para evitar una incorrecta distribución del calor y emplear malla de sombreo en los períodos cálidos para reducir el aporte de calor debido a la radiación.
- ☑ Para evitar la estanqueidad se debe asegurar la hermeticidad de la cubierta y el correcto cierre de las ventanas, así como disponer de mallas corta vientos que permitan su uso en el periodo invernal y que se puedan desmontar en los períodos cálidos para no disminuir la ventilación.
- ☑ Los materiales de cubierta a utilizar materiales de cubierta con una tranquilidad a la radiación solar (3000 -2500 nm) superior al 80% y una trasmisividad máxima a la radiación infrarroja (2500 - 40,000 nm) inferior al 50%.
- ☑ El invernadero se debe blanquear en la cubierta en períodos cálidos para disminuir las necesidades de refrigeración.
- ☑ La orientación de las ventanas genitales perpendiculares a los vientos dominantes en el periodo cálido.
- ☑ La superficie de ventilación debe ser de al menos 30% de la superficie de suelo cubierto por el invernadero.
- ☑ La porosidad de las mallas antiáfidos debe ser superior al 40% para no disminuir el exceso de ventilación natural.
- ☑ Si se tiene iluminación artificial se deben reemplazar las lámparas incandescentes por fluorescentes.
- ☑ Se deben aislar las calderas, registrar el consumo energético de la calefacción, disminuir al máximo posible las consignas de temperatura y aumentar la humedad relativa; utilizar tuberías de calefacción al nivel del cultivo para optimizar la distribución de calor y emplear biocombustibles para las calderas.
- ☑ Se deben instalar ventiladores de recirculación para mejorar la distribución de calor y mejorar la uniformidad del clima.
- ☑ Los equipos deben tener una bitácora de revisión y mantenimiento.
- ☑ Realizar labores de limpieza en la cubierta del invernadero para maximizar la captación de energía solar, así como reparar las posibles roturas en la cubierta del invernadero para evitar la pérdida de calor por infiltración de aire y renovar la cubierta del invernadero respetando la vida útil del material.
- ☑ Se deben calibrar y renovar periódicamente los sensores de climáticos.

**FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.**

Lo que se esperaría en un futuro para la mejora de invernaderos y la automatización de los mismos los puntos que se mencionan a continuación.

- ≡ Investigar sobre estructuras móviles con paneles intercambiables que permita el cambio de los materiales por sección para evitar el desperdicio del material de cobertura y de la misma forma la contaminación.
- ≡ Investigar sobre estructuras inteligentes que cambien la pendiente de la parte superior del invernadero dependiendo la época del año, para evitar condensación en la parte superior de los invernaderos multitúnel, ya que en el arco, debido a la escasa pendiente de plástico, el agua no escurre por gravedad, lo cual, en zonas húmedas y frías este hecho puede representar un serio problema.
- ≡ Investigar si las secciones intermedias de las estructuras de los invernaderos pueden ser utilizadas con paneles solares para evitar la construcción de plantas de captación solar y hacer que el invernadero genere su propia fuente de energía en el espacio que ocupa su construcción.
- ≡ Investigar en cuanto a los plásticos y mallas, para generar materiales inteligentes. Como las mallas poseen espacios libres y espacios que ocupan las fibras, que éstas últimas puedan transformar parte de la radiación en energía eléctrica y los espacios libres den a las plantas la radiación que les es benéfica.
- ≡ Investigar mayores posibilidades de automatización en cada uno de los procesos considerando las variantes climáticas, arreglos de cultivo y otros factores que puedan intervenir en el cultivo.

**ÍNDICE DE FIGURAS.**

FIG 1	Uso de chinampas en la agricultura Mexica[INT4].	17
FIG 2	Esquema de planta eudicotiledónea. El cuerpo de la planta se divide en sistema radicular y un sistema de brotes, que están conectados entre sí por tejido vascular, es continuo a lo largo de toda la planta[17].	18
FIG 3	Captación de nutrientes. A partir del CO <sub>2</sub> , el O <sub>2</sub> , el H <sub>2</sub> O y los minerales, el vegetal produce todas las sustancias orgánicas[17].	18
FIG 4	Composición de las plantas[8].	19
FIG 5	Parte mineral de las plantas[8].	19
FIG 6	Espectro de radiación PAR (Photosintetically Active Radiation)[17][16][45].	21
FIG 7	Experimentos para determinar la longitud de onda más eficaz para impulsar la fotosíntesis. a) Espectro de absorción; b) Espectro de acción; c) Experimento de Engelmann[17].	21
FIG 8	Experimento para determinar la longitud de onda que estimula la inclinación fototrópica hacia la luz[17].	22
FIG 9	Sistema NGS, int., 2011.	23
FIG 10	Componentes de un sistema NFT (Imagen modificada[8]).	24
FIG 11	Ejemplo de un invernadero, Villa guerrero, Edo., Mex.	25
FIG 12	Ejemplo de un invernadero multitúnel, Almería, España.	25
FIG 13	Macrotúnel en el Estado de México.	25
FIG 14	En la orientación A, el invernadero recibe mayor luminosidad que en ninguna otra orientación. En el caso B, la luz se reparte más uniformemente dentro del invernadero. Mod[21].	27
FIG 15	Análisis de flujo de la ventilación cenital y lateral en un invernadero. En "A" solo se tiene ventilación cenital, se observa estanqueidad del flujo, lo cual no ayuda a la movilidad de gases y otros factores para la regulación de la temperatura, humedad, etc.; mientras que en "B" se observa la movilidad del flujo por la acción de una ventilación lateral combinada con la cenital, lo cual ayuda al intercambio calórico, de gases y humedad que contribuye a una atmósfera más saludable dentro del invernadero[22] pág. 214.	28
FIG 16	Efecto de cubierta en el invernadero. Int., 2011.	28
FIG 17	Depósitos de agua. Internet, 2010.	30
FIG 18	Tratamiento de aguas negras y tecnología de humedales artificiales. Imagen de internet, 2011.	30
FIG 19	Tratamiento de aguas residuales.	31
FIG 20	a) Mariquita Vedalia Australiano atacando a la cochinilla algodonosa. b) Mariquita atacando a un pulgón.	35
FIG 21	Abejas polinizadoras para invernadero.	36
FIG 22	Método de monitorización de plaga dentro del invernadero.	36
FIG 23	Esquema de las variables que intervienen en el problema de control climático[45].	37
FIG 24	Esquema general del sistema de medida para el control en un invernadero[46].	39
FIG 25	Sensor de lluvia.	42
FIG 26	Interdependencia entre la ciencia del riego y otras materias agronómicas.	42
FIG 27	Teleoperación de un sistema de riego.	43
FIG 28	ciclo del agua en el invernadero. Imag. Int. 2010.	44
FIG 29	Esquema del proceso de fertirrigación. Modif.[45].	45
FIG 30	Clasificación de robots según el entorno de movimiento.	50
FIG 31	Diagrama de flujo de las Fases del diseño conceptual en el proceso de diseño[4].	55
FIG 32	Invernaderos semiautomatizados en Villa Guerrero, Edo. Mex.	60

FIG 33 Invernaderos en Xochimilco, México. El deterioro y la imposibilidad de reinversión dan como resultado éstas imágenes.....	60
FIG 34 Invernadero semiautomatizado en Tenancingo, Edo. Méx. ....	61
FIG 35 Invernadero semiautomatizado en Tenancingo, Edo. Méx. ....	61
FIG 36 Evaluación de prototipo para invernaderos automatizados. ....	62
FIG 37 Estación Experimental de la Fundación Cajamar. El ejido, España.....	62
FIG 38 Izq. invernadero automatizado tipo túnel; der. Invernadero semi- automatizado. Almería, España. ....	62
FIG 39 Evolución de la producción en cultivo protegido[134]......	63
FIG 40 Planta general de propuesta de invernadero para cultivo hidropónico.....	65
FIG 41 Con una disposición de Norte-Sur, la luz se reparte más uniformemente dentro del invernadero, además se aprovechan las corrientes de aire para equilibrar la transferencia de calor..	66
FIG 42 Cultivo de verdolaga en Xochimilco, México. ....	67
FIG 43 Faldón para invernadero, construcción en Almería, diseño único de la misma Universidad en colaboración con la estación Experimental de cajamar.....	67
FIG 44 Plano general del diseño de la nave principal de un invernadero.....	68
FIG 45 Invernadero de prueba para la localidad de Tenancingo, Edo. Méx. ....	69
FIG 46 Ciclo de aprovechamiento del agua en un invernadero. ....	73
FIG 47 Edificio con techo de celdas solares (imag. internet, sept,2011). ....	74
FIG 48 Tubería para un sistema NFT[8]......	77
FIG 49 Instalación de un sistema NFT (imagen obtenida en el curso de hidroponía básica. Atlamehualco,2010) .....	78
FIG 50 Diagrama de tuberías a utilizar dentro de los invernaderos. ....	78
FIG 51 Disposición de la tubería de producción dentro del invernadero. ....	79
FIG 52 Algoritmo de cálculo de la posición de la ventilación. Analizadas con Francisco Rodríguez[45]. ....	80
FIG 53 Estación climática ubicada en la Estación Experimental de Cajamar, unidad Palmerillas, Almería. España.....	81
FIG 54 Izquierda, procesamiento de datos de fertirrigación; al centro, contenedores de solución nutritiva para fertirriego. Derecha, dosificador para fertirrigación.....	82
FIG. 55 a) Riego localizado en una planta de tomate en un invernadero; b) Riego localizado en un árbol de níspero chino; c) Riego localizado en un parque de la Ciudad de Almería; d) riego localizado en la universidad de Almería.....	83
FIG 56 Sembradoras[23]......	85
FIG 57 Llenado de contenedores. ....	86
FIG 58 Estructura del proceso de llenado de contenedores y siembra. La deposición de la semilla se considera otro proceso a analizar para conformar la línea automatizada para siembra. ....	86
FIG 60 Máquina trasplantadora automática, imagen de internet, 2010. ....	87
FIG 59 Línea automatizada de siembra, imagen de internet, 2010. ....	87
FIG 61 Trasplante automatizado de plántulas, imagen de[23]. ....	88
FIG 62 Cultivo protegido con un crecimiento en la segunda etapa de desarrollo, Almería, España. ....	88
FIG 63 Recolección manual, imagen de internet, 2010. ....	89
FIG 64 Recolección automatizada, imagen de internet, 2010. ....	89
FIG 65 Planta empacadora de manzana semiautomatizada, imagen de internet, 2010. ....	90
FIG 66 Planta automatizada para empaque de jitomate, imagen de internet, 2010. ....	90
FIG 67 Ejemplo de segmento de código para llenado de contenedores en BASCAD. ....	91

**ÍNDICE DE TABLAS.**

Tabla 1 Elementos esenciales de las plantas.....	20
Tabla 2 Rendimiento de cultivos.....	25
Tabla 3 Variables a controlar.....	37
Tabla 4 Variables de control.....	38
Tabla 5 variables de perturbación.....	38
Tabla 6 Matriz de correlaciones de las variables a controlar.....	39
Tabla 7 Comparativa de sensores de temperatura.....	40
Tabla 8 Comparativa de sensores de humedad relativa.....	40
Tabla 9 Comparativa de sensores de radiación.....	41
Tabla 10 Comparativa de sensores de velocidad del viento.....	41
Tabla 11 Indicadores de nutrientes.....	47
Tabla 12 Clasificación de los robots según su inteligencia.....	49
Tabla 13 Tabla comparativa de procesos.....	84
Tabla 14 Comparativa: ventajas y desventajas en cuanto a la estructura y mantenimiento del invernadero.....	92
Tabla 15 Comparativa: ventajas y desventajas en cuanto a la hidroponía.....	92
Tabla 16 Comparativa ventajas y desventajas en cuanto a recursos vs automatización.....	92
Tabla 17 Comparativa ventajas y desventajas en cuanto a la población vs la automatización.....	93
Tabla 18 Costo de un invernadero según la tecnología de inversión.....	93
Tabla 19 Costo de invernaderos según su material.....	93
Tabla 20 Rango de precio de inversión en invernaderos.....	94
Tabla 21 Programas de apoyo al campo.....	94
Tabla 22 Porcentaje de transmisión de luz por material de cubierta.....	111
Tabla 23 Características de los principales materiales de cubierta. Martín Vicente y otros, 1994.....	111
Tabla 24 Comparativa de los principales materiales plásticos utilizados en cubierta de invernadero.....	111
Tabla 25 Valoración de las principales propiedades de PE, PVC, EVA y PC.....	112
Tabla 26 Formulación 1 para solución hidropónica.....	112
Tabla 27 Formulación 2 para solución hidropónica.....	112
Tabla 28 Formulación 3 para solución hidropónica.....	112
Tabla 29 Formulación 4 para solución hidropónica.....	113
Tabla 30 Formulación 5 para solución hidropónica.....	113
Tabla 31 Formulación 6 para solución hidropónica.....	113
Tabla 32 Formulación 7 para solución hidropónica.....	113

## ANEXOS

Tabla 22 Porcentaje de transmisión de luz por material de cubierta.

Porcentaje de luz transmitida a varias longitudes de onda (transmitancia espectral (%) en nanómetros)			
Material de cubierta	ultravioleta	luz visible	Infrarroja
Vidrio flotado	--	89.3	--
Doble capa de polietileno	47.9	77.8	79.6
Doble pared de acrílico (8 mm)	44.7	84.5	73.9
Doble pared de policarbonato (8 mm)	18.1	79.3	76.3
Policarbonato con coextruido (cubierta de UV)	10.0	86.9	85.0
Plástico reforzado con fibra de vidrio	19.6	90.5	86.6

Tabla 23 Características de los principales materiales de cubierta. Martín Vicente y otros, 1994.

Flexibles	Espesor (micras)	Luz (%)	IR(%)	Transmisión de calor W/m <sup>2</sup>
Polietileno (PE)	100 -200	90	62 -65	8-9
PE térmico	200	83	13	6-7
EVA12%	200	90	11	6-7
PVC	200	90	30	7-8
PVC reforzado	300 -500	75	16	6
PVC rígidos	Mm	--	--	--
Vidrio	3	90	0	6-7
Poliéster	1-2	85	4	5.5-6.0
Policarbonato greca	--	88	0	5.5- 60
Policarbonato doble pared	4-16	83 -75	0	4.0-4.8
PVC biorientado	0.8	81	6	5.5-6.0
PMMA greca	--	91	0	5.5-6.0

Tabla 24 Comparativa de los principales materiales plásticos utilizados en cubierta de invernadero.

CARACTERÍSTICAS	FLEXIBLES		RÍGIDOS			
	Polietileno (0.08 mm)	PVC (0.1 mm)	PVC ondulado (1-2mm)	PMM(4m m)	Poliéster estratificado (4mm)	Cristal (2.7mm )
Densidad	0.92	1.3	1.4	1.18	1.5	2.40
Índice de refracción	1.512	1.538	--	1.489	1.549	1.516
% de dilatación antes de que se rompa	400 -500	200 -500	50 -100	Escasa	Escasa	Nula
Resistencia al frío y calor	-40 + 50 °C	-10 + 50 °C	-20 +70 °C	-70 +80 °C	-70 + 100 °C	Muy elevada
Duración	2 años	2-3 años	Elevada	Elevada	Elevada	Elevada
Transparencia % (0.38-0.76 micrones)	70 -75	80-87	77	85 -93	70 -80	87 -90
Transmisión %(0.24-2.1 micrones)	80	82	82	73	60 -70	85
Transmisión %(7- 35 micrones)	80	30	0	0	0	0

Tabla 25 Valoración de las principales propiedades de PE, PVC, EVA y PC

PROPIEDAD	PE	PVC	EVA	PC
Resistencia a UV	+/-	-/+	+	+
Transparencia a radiaciones visibles	-/+	+	+	-
Propiedades térmicas	-/+	+	+/-	+
Antigoteo	-	-	-	+
Propiedades mecánicas	-/+	+/-	+	+
Compatibilidad con aditivos	-/+	+	+	+
Resistencia al rasgado	-	+	-	+
Resistencia a las bajas temperaturas	-	-/+	+	+
Resistencia a las altas temperaturas	+	-	-	+
Alturas grandes	+	-	+	-
Precio	+	-	+	-

Ejemplos de concentración de soluciones para cultivo hidropónico.

Tabla 26 Formulación 1 para solución hidropónica.

Fórmula 1. Bechhart y connors (Estación Experimental Agrícola de Nueva Jersey).		
Elemento básico	Fórmula	Cantidad
Sulfato de amonio	$SO_4(NH_4)_2$	30 gr.
Fosfato de potasio monobásico	$KH_2PO_4$	57 gr.
Sulfato de magnesio	$MgSO_4 + 7H_2O$	114 gr.
Nitrato de calcio	$K(NO_3)_2 + H_2O$	486 gr.
Para disolver directamente en 200litros de agua.		

Tabla 27 Formulación 2 para solución hidropónica.

Fórmula 2. Colegio de Agricultura, Universidad de California.		
Elemento básico	Fórmula	Cantidad
Nitrato de calcio	$Ca(NO_3)_2 + H_2O$	90gr.
Nitrato de potasio	$KNO_3$	90gr.
Fosfato ácido de amonio	-	20gr.
Sulfato de magnesio	$MgSO_4 + 7H_2O$	30gr.
Para disolver directamente en 200litros de agua.		

Tabla 28 Formulación 3 para solución hidropónica.

Fórmula 3. Shive Boyce Thompson Institute.		
Elemento básico	Fórmula	Cantidad
Nitrato de calcio	$Ca(NO_3)_2 + H_2O$	0.085% de agua
Fosfato monopotásico	$PO_4H_2K$	0.200% de agua
Sulfato de magnesio	$MgSO_4$	0.180% de agua

Tabla 29 Formulación 4 para solución hidropónica.

Fórmula 4 Shive Boyce Thompson Institute.		
Elemento básico	Fórmula	Cantidad
Ácido sulfúrico	$H_2SO_4$	0.0379% de agua
Ácido nítrico	$HNO_3$	0.0277% de agua
Ácido fosfórico	$H_3PO_4$	0.0394% de agua
Hidróxido de potasio	$KOH$	0.0143% de agua
Hidróxido de amonio	$NH_4OH$	0.0155% de agua
Óxido de calcio	$CaO + H_2O$	0.0140% de agua
Óxido de magnesio	$MgO$	0.0165% de agua

Tabla 30 Formulación 5 para solución hidropónica.

Formula 5 R.B. Farnham y R.P. White Estación Experimental de Nueva Jersey.		
Elemento Básico	Fórmula	Cantidad
Sulfato amónico	$SO_4(NH_4)_2$	15.0 gr.
Fosfato monopotásico	$KH_2PO_4$	28.5 gr.
Sulfato magnésico	$MgSO_4 + 7H_2O$	57.0 gr.
Nitrato de calcio	$Ca(NO_3)_2$	243.0 gr.
Para 100 litros de agua. Para un mejor rendimiento de ésta fórmula hay que variar el PH de 6 a 7 para rosas, 5.5 a 6.5 para claveles, 4.5 a 5.5 para gardenias.		

Tabla 31 Formulación 6 para solución hidropónica.

Fórmula 6 R.B. Farnham y R.P. White Estación Experimental de Nueva Jersey.		
Elemento básico	Fórmula	Cantidad
Fosfato monopotásico	$SO_4(NH_4)_2$	60.8 gr.
Sulfato magnésico	$MgSO_4 + 7H_2O$	113.0 gr.
Nitrato de calcio	$Ca(NO_3)_2$	326.0 gr.
Para 100 litros de agua. Para un mejor rendimiento de ésta fórmula hay que variar el PH de 6 a 7 para rosas, 5.5 a 6.5 para claveles, 4.5 a 5.5 para gardenias.		

Tabla 32 Formulación 7 para solución hidropónica.

Formula 7 Robert Withrow, Universidad de Purdue.		
Elemento básico	Fórmula	Cantidad
Sulfato amónico	$SO_4(NH_4)_2$	28.0 gr
Superfosfato triple	$(PO_4)_2H_4Ca$	31.0 gr.
Sulfato magnésico	$MgSO_4 + 7H_2O$	26.0 gr.
Nitrato de potasio	$KNO_3$	88.0 gr.

**BIBLIOGRAFÍA.**

- [1] Montalvo, Enrique. *Historia de la cuestión agraria mexicana. Modernización, lucha agraria y poder político 1920-1934*. Tomo 4, Siglo XXI, México, 1988.
- [2] Escobar Toledo, Saúl. *Historia de la cuestión agraria mexicana. El cardenismo: un parteaguas histórico en el proceso agrario. 1934-1940*. Segunda parte, Siglo XXI, México, 1990.
- [3] *México y su historia precolombina*. UTEHA. México, 1984.
- [4] Ullman, David G. *The Mechanical Design Process*. Tercera ed.; Ed. Mc GRAW-HILL, New York, 2003.
- [5] F. Love, Sydney .*Planning and Creating Successful Engineered Designs*.Ed. Van Nostrand Reinhold.
- [6] Mital, Anil, Desai, Anoop. *Product development a structured approach to consumer product development, design and manufacture*. ED. BH, USA.
- [7] Martyn, S. Ray. *Element of engineering design*. Ed. Prentice- Hall.
- [8] Curso de hidroponía básica, Atlamehualco, 2010.
- [9] *El proyecto diseño en ingeniería*. Universidad politécnica de Valencia, Ed. Alfaomega.
- [10] Dorf ,Richard C., Byers Thomas H. *Technology ventures from idea to Enterprise*.ed. Mc Graw-Hill.
- [11] Wales, Charles E., Stager, Robert A., Long, Thomas R.. *Guided Engineering design Project book wales. Stager and Long, 2a ed.*, Ed. West Publishing Company.
- [12] Munari, Bruno. *Apuntes para una metodología proyectual*, Ed. Gustavo Gili S.A., Barcelona.
- [13] Tjalve, Eskild. *Short course to industrial Design*, Ed. Newnes-Butterworths.
- [14] Coronado Maldonado, Margarito. *TRIZ, la metodología más moderna para inventar o innovar tecnológicamente de manera sistemática*. ED. Panorama, México, 2005.
- [15] Curtis, Helena. *Biología*. Ed. Médica Panamericana, 7ª Ed, México, 2008.
- [16] Presson, Joelle C.. *Biology: dimensions of life*. Ed. Mc Graw-Hill, Boston, 2008.
- [17] Campbell, Neil A. *Biología*. Ed. Panamericana, 7ª ed., Madrid, 2010.
- [18] Córdoba, Carlos Vicente, Lagaz González, Ma. Estrella. *Fisiología vegetal ambiental*. Ed. Síntesis, España, 2000.
- [19] Vásquez Yañes, Carlos, Orozco, Alma. *La reproducción de las plantas: semillas y meristemas*. La ciencia para todos N°157.
- [20] Martínez Saldaña, Tomás. *Riegos ancestrales en Iberoamérica. Técnicas y organización del pequeño riego*.Ed. Mundi-prensa, CYTED, CONACYT, 2009.
- [21] Serrano Cermeño, Z.. *Construcción de Invernaderos*.3era ed., Ed. Mundi-Prensa, Barcelona, 2005.
- [22] Castilla, N.. *Invernaderos de Plástico. Tecnología y manejo*. ED. Mundi-Prensa, México, 2005.
- [23] Lesure, Luis R., Esquivel. *Manual de invernaderos agrícolas*. Ed. Trillas, México, 2011.
- [24] Urrestarazo Gavilán, Miguel. *Tratado de cultivo sin suelo*. 3era Edición, ED Mundi-Prensa. España, 2004
- [25] Sánchez del Castillo, Felipe; Escalante Rebolledo Edgardo. *Hidroponía*, UCh. México, 1988.
- [26] Almudena, Antón, Lizaso , Jesús. *Nitritos, Nitratos y Nitrosaminas*. Fundación Ibérica para la Seguridad Alimentaria
- [27] Ing. Agr. Barbado José Luis. *Microemprendimientos. Hidroponía. Su empresa en cultivos de agua*. ED. Albatros, Argentina, 2005.
- [28] Huterwal. *Hidroponía*. ED Albatros, Argentina, 2000.
- [29] Caffarena, J. Santos. *Cultivos hidropónicos y en tubos*. ED. Mundi-Prensa Castelló 37, Madrid, 1975.

- [30] Res, H.M. h. *Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción*. 3ª ed. ED. Mundi-Prensa. Castelló 37, Madrid, 1992.
- [31] Samperio Ruiz Gloria. *Hidroponía Básica*. Ed. Diana, 1999.
- [32] Samperio Ruiz Gloria. *Hidroponía comercial*. Ed. Diana.
- [33] Velazco Hernández, Ezequiel, Nieto Ángel, Raúl. *El cultivo del tomate en hidroponía e invernadero*. Ed. bba, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 2011.
- [34] De Garrido, Luis. *Análisis de proyectos de arquitectura sostenible*. Ed. Mc. Graw Hill.
- [35] Manual de hidroponía, basado en el manual técnico "La huerta hidropónica popular " de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)
- [36] Barros, Patricio. *¿La hidroponía?...pero si es muy fácil*.
- [37] Medrano, Evangelina. *Relaciones hídricas y programación de riego en cultivos hortícolas en sustratos, consejería de innovación, ciencia y empresa*. Unión Europea.
- [38] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M.. *Evaporación del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO Serie Riegos y drenajes nº 56. 322 pp., 1998
- [39] Méndez Martínez, Alberto. *Riegos. Sistemas de control automático para zonas regables*. Consejería de Agricultura y Pesca. Universidad de Sevilla, 161pp.
- [40] Bolton, W. *Ingeniería del control*. Ed. Marcombo. 732 pp., 2001.
- [41] Ruiz Canales, Antonio. *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. Ed. Marcombo, Barcelona, 2010.
- [42] Martín de Santaolalla, F., de Juan, J.A. (1993). *La programación de riegos*. Ed. Mundi-prensa. Universidad de Castilla-La Mancha
- [43] Martín de Santaolalla, F., de Juan, J.A.. *Agronomía del riego*. Mundi-prensa. Universidad de Castilla-La Mancha.
- [44] Monografías ciencia y tecnología nº25. Ed. Universidad de Almería. 433 pp.
- [45] Rodríguez, F., Berenguel, M. (2004). *Control y robótica en agricultura*. Ed. Universidad de Almería. 433 pp.
- [46] Rodríguez Díaz, Francisco. *Modelado y Control Jerárquico de crecimiento de cultivos en invernadero*. Tesis Doctoral. Universidad de Almería. Escuela Politécnica Superior. Departamento de Lenguajes y Computación, Almería, 2002.
- [47] Martínez Carrillo, María de los Llanos. *Los paisajes fluviales y sus hombres en la baja edad media. El discurrir del segura*. Universidad de Murcia, 1997.
- [48] Barbero Martín, Ángel. *Guía sobre evaluación de impacto ambiental de proyectos de regadío*. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. V.A. impresores, S.A. , 2007 [www.060.es (servicios en línea/oficina virtual/publicaciones)]
- [49] Lenselink, K. L.. *An inventory of irrigation software for microcomputers*. Wageningen, January 1993. International institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI, Wageningen, the Netherlands.
- [50] Losada Villasante, A. *El riego, Fundamentos hidráulicos*. Mundi-Prensa Ed., 3era ed. , Madrid, 2000.
- [51] *Manual de tratamiento de aguas* departamento de sanidad del Estado de Nueva York. Ed. LIMUSA, México, 2011 (habla sobre yipos de pruebas, cálculos matemáticos y requerimientos generales).
- [52] Zubicaray, Viejo. *Energías eléctricas y renovables. Turbinas y plantas generadas/proyecto hidroeléctrico la Yesca*. Ed. LIMUSA, 4ª ed., México 2010.
- [53] Sánchez, Miguel Ángel. *Energía solar fotovoltaica*. Ed. LIMUSA, México, 2011. (Análisis cualitativo y cuantitativo sobre energía solar fotovoltaica, inversión y cálculos.)

- [54] Sánchez, Miguel Ángel. *Energía solar térmica*. Ed. LIMUSA, México, 2011. (Análisis cualitativo y cuantitativo sobre energía solar térmica, inversión y cálculos.)
- [55] Enciclopedia QUOD. Ed. Larousse, 4ª ed., México, 2009.
- [56] Geankoplis, Christie. *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. Ed. CECSA, 3ra. Edición, México 1998.
- [57] Bentley, J.. *Sistemas de Medición*, Ed. CECSA, México, 1993.
- [58] Perry, Robert / Green, Don. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, sexta edición, McGraw-Hill, San Francisco, USA, 1996.
- [59] Barderas, Antonio. *Problemas de flujo de fluidos*. Ed. Limusa, cop. México 1990.
- [60] Beckwith, Marangoni-Lienhard. *Mechanical measurements*. Ed. Adison Wesley.
- [61] Fuentes Yaguë, Jose Luis. *Curso de riego para regantes*. Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación. Mundi-Prensa Ed. Segunda ed., Madrid, 1998.
- [62] Cadahía López Carlos. *Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y hornamentales*, 3era ed. Mundi-prensa Ed., Barcelona, 2005.
- [63] Castro P. M.; Águila M. *Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro*. Agricultura Técnica en México., 2008.
- [64] Cedergren, Harry R.. *Seepage, Drainage and Flow Nets*. Wiley Profesional paperback series, 3era ed., Ed. Wiley Interscience Publication, USA, 1989.
- [65] Marzocca, Angel. *En busca de Tecnología para el pequeño agricultor*. Ed. ICCA, San José Costa Rica, 1985.
- [66] Navarro Márquez J.A.. *Sistemas de medida y regulación*. Ed. Ceysa, 2002.
- [67] Piedrafita, R.; 2004; Ingeniería de la automatización industrial; Ed. Ra-ma; España
- [68] Hagan, R.M. Haise, H. R. *Irrigation of agricultural lands*. American society of Agricultural Engineers (ASAE) Monograph, St. Joseph Michigan, 1967
- [69] De Pablo Valenciano, Jaime. *Ciencias del hombre y la sociedad. El sector hortícola en la provincia de Almería: perspectivas y situación actual*. Instituto de estudios Almerienses. Caja Rural Provincial de Almería, 1996.
- [70] Joan Corominas Masip. *El sector agrario y agroalimentario de Almería ante el siglo XXI. Evolución y perspectiva de nuestra agricultura en el año 2000. Producción integrada. Incidencia de las nuevas normativas de residuos de plaguicidas sobre la horticultura almeriense*. Instituto de estudios Almerienses, Diputación de Almería 2001.
- [71] Gómez Pompa, Pedro. *Riegos a presión, aspersión, goteo*. Biblioteca agrícola aedos 3era ed. Barcelona, 1988.
- [72] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M.. *Evaporación del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO Serie Riegos y drenajes nº 56. 322 pp., 1998
- [73] Castro P. M.; Águila M. *Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro*. Agricultura Técnica en México., 2008.
- [74] Serrano Jiménez, Pilar García; Ruano Criado, Sebastián. *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*. Ministerio De Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- [75] Panorama Agrícola Magazine. *Design and Operation of an Aquaponics System* by Rakocy James. Mayo-Junio 2007.
- [76] Sandoval Barraza, Lidyeth Azucena; Santos López Leyv. La aportación de los invernaderos al desarrollo agrícola en Sinaloa. Octavo Congreso Nacional y Cuarto Congreso Internacional de Red de Investigación y Docencia sobre Innovación Tecnológica, 2007.

- [77] Lop, Alberto F., Peiteado, Celsa; Bodas de Aliara, Vicente. *Curso de riego para agricultores. Proyecto de autogestión del agua en la agricultura*. Acciones integradas de desarrollo. WWF, Marzo 2005.
- [78] Herrera, Rosa María. Casas inteligentes vs casas ecológicas.
- [79] Tiwari, G. N. *Greenhouse Technology for Controlled Environment*. Ed. Alpha science International Ltd. Pangbourne, England, 2003.
- [80] Nelson, Paul V. *Greenhouse Operation and Management*, 5a ed. , Ed. Prentice Hall, New jersey, 1998.
- [81] Hidroponía El lagar. Todo en un mismo lugar.
- [82] Núñez, Patricia; Urquiza Stefanie. La hidroponía en México.
- [83] *Cartillas de capacitación. Hidroponía Simplificada*. Editor Juan Izquierdo. Oficina Regional de Producción Vegetal. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Casilla 10095, Santiago, CHILE. Diciembre 2003.
- [84] *Norma Mexicana para el Diseño y Construcción de Invernaderos*. (NMX-E-255-CNCP-2008).
- [85] *Construcción, equipamiento y operación de invernaderos. Prácticas seguras en el sector agrícola*. Gobierno Federal de México, 2009. (habla de las medidas preventivas para la construcción y equipamiento de invernaderos)
- [86] Seginer, I.; Boulard, T.; Bailey, B.J.; 1994; *Neural network models of the greenhouse climate*. Journal of Agricultural Engineering Research; Vol. 59.
- [87] Spaceflight. The Magazine of Astronautics and Outer space. Cultivating the future, growing food in space. Vol. 48 No 5, May 2006.
- [88] Linares Ontiveros Heladio. *Manual del participante. Manejo de Invernaderos*. Diciembre, 2004.
- [89] Marulanda, César. *Manual Técnico. La Huerta Hidropónica Popular*, 3era ed., Santiago de Chile, 2003.
- [90] Carrasco, Gilda. *Manual Técnico. La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT)*. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 1996. (proporciona materiales, concentraciones de soluciones nutritivas e incluso costos y rentabilidad).
- [91] *Tu jardín. El huerto Orgánico*. Ed. Susaeta, Madrid, España.
- [92] *Tu jardín. El huerto Completo en Poco Espacio*. Ed. Susaeta, Madrid, España. (describe los errores más comunes cuando se inicia un cultivo)
- [93] Carrasco, G., Tapia, Jaime, Urrestarazu, Miguel. *Nitrate Content in Lettuces Grown in Hydroponic Systems*. Vol. 24, N°1, pags 25-30. IDESIA, Chile. Enero-Abril, 2006.
- [94] Méndez, Rosendo. *Cultivos Orgánicos*. Fundación Eco-huellas. Ecoediciones. Colombia, 2004. (posee unas tablas de plantas, su principio activo y las plagas que controlan)
- [95] Cervantes Mayagoitia, José Francisco. *Fundamentos de control Biológico en México*, num 51. Universidad autónoma Metropolitana. México, 2003. (identificación de plagas y afecciones a los cultivos)
- [96] Brooklyn Botanic Garden. *Control natural de Insectos*. Ed. Trillas. México, 2001. (descripción de algunos insectos en cuanto a ciclo de vida, síntomas y control biológico)
- [97] Domínguez García, Francisco, Tejero. *Plagas y enfermedades de las plantas cultivadas*. 9ª ed., ED. Mundi-Prensa, México, 2004. (anatomía, identificación, daños que causan algunas plagas)
- [98] *Manual de fruticultura. Una guía paso a paso*. Colección Cómo hacer bien y fácilmente, Ed. Trillas. México, 2003.
- [99] Resh, H. M.. *Cultivos Hidropónicos*. 5ª ed. ED. Mundi-Prensa. Madrid, 2001.
- [100] Corona, Leonel. *Teorías económicas de la innovación tecnológica*, ED. Instituto Politécnico Nacional /Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales, México, 2002.

- [101] López, Santos. La vinculación de la ciencia y la tecnología con el sector productivo: Su perfil económico, editorial UAS, 1997.
- [102] Lira, Ricardo Hugo, Saldivar. *Bioplaguicidas y control biológico*. Centro de investigación en química aplicada, CONACYT, COECYT, COFUPRO, FUNDACIÓN PRODUCE.
- [103] Fhalmería. *Revista agraria mensual de la provincia de Almería*. Num. 40, Abril, 2011.
- [104] Tema 5: *Autómatas programables*, curso2011 ceiA3 Technical Training Courses. Automatización de procesos agroalimentarios. Universidad de Almería, del 13-17 de junio de 2011.
- [105] Agricultura2000. El periódico mensual del campo almeriense para el siglo XXI. N°126, Mayo, 2011.
- [106] Navegando. *Revista de la fundación Cajamar* N°3, sept-oct, 2010.
- [107] Seborg, D.E.; 1999; *A perspective on advanced strategies for process control (revisited); Advances in control*. Highlights of ECC'99; (Ed. P.M. Frank); Ed. Springer.
- [108] Kuo, B. C. *Sistemas de control automático*, Ed. Prentice Hall, México, 1996.
- [109] Bolton, W.. *Ingeniería de control moderno*. Ed. Marcombo, México, 2001.
- [110] Ogata, K.. *Ingeniería de control moderno*. Ed. Prentice Hall, México 1998.
- [111] Piedragrafita Moreno, Ramón. *Ingeniería de la automatización industrial*, Ed. RaMa
- [112] Porras, A.. *Autómatas programables*. Ed. McGraw Hill, Madrid, España, 1994.
- [113] Groover, M.P.; Weiss, M. *Robótica industrial. Tecnología, programación y aplicaciones*. Ed. McGraw Hill, Madrid, España, 1989.
- [114] Escalera, A.. *Visión por computador. Fundamentos y métodos*. Ed. Prentice Hall, España, 2001.
- [115] White, Philip, Belletire, Steve. *Okala. Learning ecological design*, Staford, 2ª ed, Phenix, USA, 2009.
- [116] Brown, Tim. *Design thinking*. Harvard Business Review ,june, 2008 ( ejemplifica la una estrategia de diseño en 3 pasos: inspiración, ideación e implementación)
- [117] Brown, Tim. *Strategy by Design*. Masters of Design, june, 2005.
- [118] Bruce Nessbaum. The power of Design. BusinessWeek, May17, 2004. (Metodología de IDEO.)
- [119] Bennett, Paul. *Listening lessons. Make consumers part of the design process by tuning in*. Advertising Age's Point, March, 2006. (habla sobre 5 pasos para diseñar: observar, lluvia de ideas, generar prototipos rápidos, implementar y comunicar)
- [120] Hubka, Bladimir, Eder, Ernst. *Design Science*. Download from: <http://deseng.ryerson.ca/DesignScience/> (23/08/2010) (habla sobre diseño como ciencia; la creatividad, invención, heurística, como parte del diseño y su correlación con otras ciencias)
- [121] *Defining Good or Bad Design*, The New York Times. Davos Diary, Jan 28-Feb 1, 2009.
- [122] Litinetski, T. B.. *Iniciación a la biónica*. Ediciones de bolsillo. Barcelona, 1974.
- [123] Peters, Pamela. *Biomimetics: biologically inspired technologies*. Ed. Yoseph Bar-Cohen. Boca Raton, Florida, 2006.
- [124] Kahn, Peter H.. *Technological nature: adaptation and the future of human life*. Cambridge, Massachusetts. Ed. MIT Press, 2011.
- [125] Esquerra Pizá, Pere. *Dispositivos y sistemas para el ahorro de energía. Productiva N°20*. Ed. Marcombo, Barcelona, 1988. (habla sobre conservación, gestión, valoración de la energía; tipos de energía, calderas, energía térmica, cogeneración de calor y electricidad, posibilidades de automatización)
- [126] Beverley, Deena, Philipps, Barty. *El Jardín. Planificación, Diseño, cultivo y poda*. Ed. Parragon. China, 2008.
- [127] *Guía biblok de jardinería para huertos rurales y urbanos*. Ed. Biblok, España ,2010.

- [128] Chase, Richard B., Jacobs, Robert F., Aquilano, Nicholas J.. *Administración de Operaciones. Producción y cadena de suministros*. Ed. Mc Graw-Hill. China, 2009.
- [129] Mauleón Torres, Mikel. *Gestión de Stock. Excel como herramienta de análisis*. Ed. Diaz de Santos. España, 2008.
- [130] Bowerson, Donald J., Closs, David J.. *Administración y logística en la cadena de suministros*. Ed. Mc. Graw-Hill, 2ª ed., 2007.
- [131] Revista Énfasis. *Logística*. Año XII, N°131, julio, 2011. (habla sobre la logística como forma de monitorización de productos)
- [132] Revista Énfasis. *Packaging*. Año XVII, N°3, Mayo/junio, 2011. (habla sobre las tendencias actuales del empaque).
- [133] Revista Énfasis. *Alimentación*. Año XVI, N°8, Septiembre, 2011. (habla sobre trazabilidad, buenas prácticas de alimentación y confiabilidad para el consumidor en materia alimenticia).
- [134] Material didáctico. Curso de Automatización de Procesos Agroalimentarios. CeIA3. Curso 2010/2011, Almería, España.

### MESOGRAFÍA.

Es probable que alguna de las direcciones haya cambiado debido a la dinámica de internet.

- [INT1] <http://neuronilla.com/desarrolla-tu-creatividad/tecnicas-de-creatividad> (2009)
- [INT2] <http://www.inta.gov.ar/santacruz/info/documentos/agri/horti/invernadero.htm>(2011)
- [INT3] <http://www.jardinyplantas.com/invernaderos/construccion-de-invernaderos.html>(2010)
- [INT4] <http://filosofiasanfelipecatriz.blogspot.com/2009/02/economia.html>(2010)
- [INT5] <http://acea.com.mx/invernaderos/> (puede mostrar una gran variedad de diseños en invernaderos) (2011)
- [INT6] <http://www.youtube.com/watch?v=GcdqN0AK9Is&feature=related> (video agricultura intensiva en El Ejido, parte 1/3) (2011)
- [INT7] <http://www.youtube.com/watch?v=mVTKAaShNTU&feature=related> (video agricultura intensiva en El Ejido, parte 2/3) (2011)
- [INT8] [http://www.youtube.com/watch?v=r\\_6OWx5oan0&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=r_6OWx5oan0&feature=related)(video agricultura intensiva en El Ejido, parte 3/3) (2011)
- [INT9] <http://www.youtube.com/watch?v=qa309qhleis&feature=related> (documental, historia de la agricultura en México 1/7) (2011)
- [INT10] [http://www.youtube.com/watch?v=3Qqv4\\_h01-U&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=3Qqv4_h01-U&feature=related)(documental, historia de la agricultura en México 2/7) (2011)
- [INT11] [http://www.youtube.com/watch?v=T6NCd\\_dDgU8&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=T6NCd_dDgU8&feature=related)(documental, historia de la agricultura en México 3/7) (2011)
- [INT12] <http://www.youtube.com/watch?v=PvDfOgOHokw&feature=related>(documental, historia de la agricultura en México 4/7) (2011)
- [INT13] <http://www.youtube.com/watch?v=Y-Ynm6TTXHI&feature=related>(documental, historia de la agricultura en México 5/7) (2011)
- [INT14] <http://www.youtube.com/watch?v=DNmw1p5Px6o&feature=related>(documental, historia de la agricultura en México 6/7) (2011)
- [INT15] <http://www.youtube.com/watch?v=NBS7cpCvT9M&feature=related>(documental, historia de la agricultura en México 7/7) (2011)
- [INT16] <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Paginas/subagri.aspx>(2011)
- [INT17] [http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/tipo\\_invernaderos2.htm](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos2.htm)(2011)

- [INT18] <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/ProveedoresPROAP%202011.pdf> (lista de empresas que se dedican al diseño, construcción y venta de insumos para invernaderos). (2011)
- [INT19] [http://www.avocadosource.com/books/cisnerosfausto1995/CPA\\_9\\_PG\\_148-231.pdf](http://www.avocadosource.com/books/cisnerosfausto1995/CPA_9_PG_148-231.pdf)(2011)
- [INT20] <http://www.inegi.org.mx>(2011)
- [INT21] [http://seduv.edomexico.gob.mx/planes\\_municipales/Tenancingo/DPUtngo.pdf](http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/Tenancingo/DPUtngo.pdf)(2011)
- [INT22] [http://seduv.edomexico.gob.mx/dgau/pdf/plan\\_estatal/D-07.pdf](http://seduv.edomexico.gob.mx/dgau/pdf/plan_estatal/D-07.pdf)(2011)
- [INT23] <http://www.doschivos.com/trabajos/tecnologia/761.htm>(2011)
- [INT24] <http://www.turevista.uat.edu.mx/alimentos.htm>(2011)
- [INT25] <http://www.formaselect.com/areas-tematicas/energias-renovables/energia-solar.htm>(2011)
- [INT26] <http://www.mma.es>(2011)
- [INT27] <http://www.mapya.es>(2011)
- [INT28] <http://www.jccm.es>(2011)
- [INT29] <http://www.inia.es>(2011)
- [INT30] <http://www.lapton.es>(2011)
- [INT31] <http://www.wateright.org>(2011)
- [INT32] <http://www.dynamax.com>(2011)
- [INT33] <http://www.life-hagar.com>(2011)
- [INT34] <http://www.agrodigital.com>(2011)
- [INT35] <http://www.agroinformación.com>(2011)
- [INT36] <http://www.unidata.de> (2011)
- [INT37] <http://www.infoagro.com>(2011)
- [INT38] <http://www.agroterra.com>(2011)
- [INT39] <http://www.agricultura.com>(2011)
- [INT40] <http://www.bioe.orst.edu>(2011)