



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
INGENIERIA**

**DISEÑO DE UN  
SISTEMA DE RIEGO  
AEROPÓNICO  
AUTOMATIZADO**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA**

ING. MECÁNICA - MECATRÓNICA

P R E S E N T A :

**JOSÉ ALVARO  
VÁZQUEZ RIVERA**

TUTOR:  
**DR. ALEJANDRO  
CUAUHTÉMOC  
RAMÍREZ REIVICH**

2012

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. González González Leopoldo Adrián  
Secretario: Dr. Dorador González Jesús Manuel  
Vocal: Dr. Ramírez Reivich Alejandro Cuauhtémoc  
1er. Suplente: Dr. Espinosa Bautista Adrián  
2do. Suplente: Dr. González Villela Víctor Javier

Lugar donde se realizó la tesis:

San Luis Potosí, S.L.P.

**TUTOR DE TESIS:**

DR. ALEJANDRO CUAUHTÉMOC RAMÍREZ REIVICH

**FIRMA**

# I. Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>4</b>
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	4
2.2 OBJETIVO GENERAL.....	5
2.3 OBJETIVO ESPECÍFICO .....	5
2.4 ALCANCES .....	5
2.5 LIMITACIONES.....	5
2.5 JUSTIFICACIÓN .....	5
<b>3. ANTECEDENTES.....</b>	<b>7</b>
3.1 LA PLANTA.....	7
3.1.1 <i>Semilla</i> .....	7
3.1.2 <i>La planta</i> .....	8
3.1.3 <i>Funciones principales de las plantas.</i> .....	9
3.1.4 <i>Requerimientos para el desarrollo de la planta</i> .....	11
3.2 LA HIDROPONÍA.....	15
3.2.1 <i>Principio de la técnica hidropónica</i> .....	16
3.2.2 <i>Componentes de la técnica hidropónica</i> .....	17
3.2.3 <i>Técnicas de riego</i> .....	22
3.3 ESTADO DEL ARTE .....	23
<b>4. DISEÑO.....</b>	<b>27</b>
4.1 SISTEMA DE RIEGO.....	27
4.2 SELECCIÓN DE LOS NUTRIENTES .....	27
4.3 FUNCIÓN PRINCIPAL.....	28
4.3.1 <i>Diseño del Módulo Generador de Solución Nutritiva</i> .....	30
4.3.2 <i>Diseño del Módulo Germinador de Plántula</i> .....	40
4.3.3 <i>Diseño del Módulo Generador de Neblina Nutritiva</i> .....	55
4.4 TÉCNICA ALTERNATIVA PARA GENERAL NEBLINA NUTRITIVA.....	63
<b>5 CONCLUSIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>72</b>

# Capítulo I

## “Introducción”



## 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura ha sido uno de los pilares principales en la economía de los países en vías de desarrollo y México no es la excepción, sin embargo, en los últimos años esta ha perdido gran parte de sus integrantes. La Secretaría de la Reforma Agraria identificó que uno de cada dos ejidatarios y comuneros supera los 50 años de edad, y el 29% de ellos supera los 65 años. Podríamos decir que el campo se está “volviendo viejo” y esto aunado al poco interés de los jóvenes en continuar con esta labor, se ha calculado que en aproximadamente 50 años lo producido por el campo no bastara para sostener a toda la población mexicana.

Esto crea la necesidad de impulsar o desarrollar nuevas técnicas de agricultura, y una propuesta que ha tenido un gran auge en los últimos años es la técnica hidropónica que básicamente consiste en cultivar sin tierra.

Las ventajas que otorga la técnica hidropónica comparada con las técnicas tradicionales son: alimentos de mayor calidad, volúmenes de producción elevados, menor tiempo de germinación y desarrollo de la planta, no se requiere esperar una estación específica del año, ni contar con terrenos especiales para el cultivo, además de que combinada con tecnología de invernaderos se pueden maximizar estas ventajas.

Este proyecto presenta el diseño de un sistema de riego automatizado, utilizando una de las técnicas hidropónicas más novedosas (aeroponía), si bien el alcance actual es diseñar un módulo para 6 plantas, este se puede reproducir el número de veces necesarias para alcanzar un nivel comercial. Otros módulos que se pretende diseñar es un Módulo Germinador, ya que para implementar la técnica Aeropónica es necesario contar ya con la plántula, y el Modulo Generador de Neblina Nutritiva, el cual se utiliza en los dos módulos anteriores para alimentar a la plántula y las plantas respectivamente.

Una de las desventajas de la técnica hidropónica automatizada, es que la tecnología proviene principalmente de países desarrollados, como Holanda y España, esto hace difícil la adquisición de los elementos necesarios para su implementación debido a sus elevados costos. Por lo que uno de los retos en este proyecto fue utilizar componentes que se puedan obtener fácilmente en el mercado mexicano y que su costo no sea tan elevado tanto en su desarrollo como en su mantenimiento.

# Capítulo 2

## “Planteamiento del Problema”



## 2. Planteamiento del Problema

### 2.1 Descripción del Problema

Se tiene conocimiento de que técnicas hidropónicas primitivas eran utilizadas desde el año 382 a.C. La primera información escrita data del año 1600, sin embargo, en la actualidad estas técnicas han tenido gran avance debido al uso de la tecnología como son la implementación de computadoras, mecanismos y plásticos.

Estas técnicas se han extendido hasta nuestro país y han despertado un gran interés; que incluso en 1994 se formó la Asociación Hidropónica Mexicana A.C. que imparte cursos y talleres de hidroponía, así como también se han publicado libros como: Hidroponía Básica, Hidroponía Comercial de la autora Gloria Samperio Ruíz, entre muchos otros.

En estos libros y cursos se describe la teoría y el funcionamiento básico de estas técnicas, e incluso se proponen algunos modelos para implementarse en el hogar a modo de pasa tiempo y en algunos casos se describe de manera superficial la tecnología necesaria para automatizar estos sistemas, si se desean llevar a nivel comercial.

Las técnicas propuestas en los libros mencionados anteriormente son muy susceptibles al error humano puesto que un descuido de este puede traer consecuencias fatales al cultivo, un ejemplo de esto sería errar la dosis en la formulación de la solución nutritiva (nutrientes que se le proporcionan a la planta para que crezca) lo cual impactaría en la mala nutrición de la planta y en casos extremos la intoxicación de la misma o el hecho de que el riego debe de ser periódico lo cual lo hace una tarea monótona y su descuido afecta negativamente a la planta.

Las tareas repetitivas y donde influye el error humano son candidatas ideales para automatizarlas. Desde hace un par de años se han empezado a comercializar, principalmente en Estados Unidos, Alemania y Japón, sistemas de riego hidropónicos automatizados, si bien la mayoría tienen un fin ornamental, algunos han evolucionado pretendiendo alcanzar un nivel comercial. El presente proyecto no pretende criticar ni competir con ninguno de estos sistemas sino diseñar un Sistema de Riego Aeropónico Automatizado desde la perspectiva Mecatrónica, el cual consiste en una base mecánica (formada por una estructura y actuadores), una base electrónica (formada por sensores y microcomputadoras), un software de monitoreo y manejo de información.

## 2.2 Objetivo General

Diseñar un Sistema de Riego Aeropónico Automatizado con recursos y tecnología de fácil acceso en México.

## 2.3 Objetivo Específico

Diseñar un módulo germinador de plántula.

Diseñar un módulo generador de solución nutritiva.

Diseñar un módulo generador de neblina nutritiva.

## 2.4 Alcances

- Generar 600 plántulas por periodo de germinación.
- Generar 300 litros de solución nutritiva estática general de forma automática, y suministrarla a los otros módulos.
- Generar neblina nutritiva para un módulo de 6 plantas.

## 2.5 Limitaciones

- Tecnología no fácil de adquirir y no barata.
- Formula aeropónica no detallada.

## 2.5 Justificación

El desarrollo de un sistema de riego aeropónico automatizado con recursos y tecnología de fácil acceso en México y probablemente en latino América ayudara a reducir los costos de implementación de este tipo de sistemas, logrando así su popularización en el mercado.

# Capítulo 3

## “Antecedentes”



### 3. ANTECEDENTES

Para tener éxito tanto en el desarrollo del sistema de riego como en el cultivo, es necesario que se conozcan, por lo menos de manera *superficial*, las plantas y los requerimientos mínimos que tiene estas para lograr un desarrollo óptimo, así como los principios básicos de las técnicas hidropónicas y la tecnología utilizada para su desarrollo.

Este capítulo se divide en 3 secciones:

- La planta: Se describen generalmente las partes y procesos necesarios para el crecimiento y desarrollo de esta, y que están relacionados con el sistema de riego que se pretende desarrollar.
- La hidroponia: Se define el principio de la hidroponia, se describen sus componentes y sistemas principales.
- Estado del arte: Se describe la técnica más novedosa y sus tendencias en la investigación.

#### 3.1 La planta

##### 3.1.1 Semilla

Todo comienza con una semilla, la semilla es una planta completa en letargo (alimento almacenado en forma de tejido, envuelto por una cubierta permeable cuya vida está suspendida por falta de agua y oxígeno), así que al absorber agua (o humedad) y tener condiciones de temperatura adecuada, se reactiva su metabolismo e inicia su crecimiento.

La semilla necesita diferentes condiciones de germinación dependiendo del tipo de cultivo deseado, sin embargo, el tipo de planta (jitomate, pepino, pimiento morrón) que se desea utilizar en la mayoría de los sistemas hidropónicos necesitan condiciones muy similares.

### 3.1.1.1 Aspectos a cuidar para germinar una semilla

**Temperatura.** La temperatura y el tiempo de germinación son dos cosas que están muy relacionadas, la mayoría de las plantas pueden germinar a temperaturas de 18° a 30° C, sin embargo, ambos extremos harán que la germinación sea lenta por lo cual la temperatura ideal es de 25° C.

**Humedad.** Se necesita mucha humedad para que la semilla comience a germinar es conveniente estarla regando continuamente y proporcionarle una correcta ventilación para que haya una buena cantidad de oxígeno.

**Trasplante.** Una vez que emergen las plántulas es necesario colocarlas en donde vayan a seguir creciendo, dependiendo de la especie de cultivo es necesario saber sus características para que se pueda realizar el trasplante, por ejemplo, en el caso del jitomate se considera listo para el trasplante cuando ha alcanzado 10 cm de altura.

**Fertilizante.** Hay que empezar a alimentar a las plántulas con la solución nutritiva (que se describirá más adelante) en cuanto emergen.

**Cantidad correcta de luz.** Siempre que una planta se alarga cuando recién emerge, es que está buscando luz. Eso significa que la luz que lo que se le está proporcionando es insuficiente. Es recomendable utilizar una fuente de luz externa como la High Intensity Discharge (HID, que se describe en páginas posteriores).

**Oxigenación.** Debe haber una circulación de aire para que haya una correcta oxigenación. Esto por lo general no es un problema a menos que estén en un recipiente sin ventilación.

### 3.1.2 La planta

La planta está constituida por cinco partes básicas, que son: la raíz, tallo, hojas, flores y fruto.

La *raíz* es un órgano vegetal generalmente subterráneo carente de hojas que crece en dirección inversa al tallo, y cuyas funciones principales son la fijación de la planta al suelo y la absorción de agua y sales minerales.

El *tallo* es el eje de la planta que sostiene las hojas, flores y frutos, cuya función principal es la de constituir la vía de circulación de agua y nutrientes entre las raíces y las hojas de las plantas.

Las *hojas* típicas son estructuras laminares o aciculares que contienen sobre todo tejido foto-sintetizador, situado siempre al alcance de la luz. En las hojas se produce la mayor parte de la transpiración, provocándose así la aspiración que arrastra agua y nutrientes inorgánicos desde las raíces. Secundariamente las hojas pueden modificarse para almacenar agua o para otros propósitos.

La *flor* es la estructura reproductiva característica de las plantas llamada fanerógama, la función de una flor es producir semillas a través de la reproducción sexual. Para las plantas, las semillas son la próxima generación, y sirven como el principal medio a través del cual las especies se perpetúan y se propagan.

El *fruto* es el *órgano* procedente de la flor, o de partes de ella, que contiene a las semillas hasta que estas maduran y luego contribuye a diseminarlas. Desde un punto de vista ontogenético, el fruto es el ovario desarrollado y maduro de las plantas con flor. La pared del ovario se engrosa al transformarse en la pared del fruto y se denomina pericarpio, cuya función es proteger a las semillas.

### **3.1.3 Funciones principales de las plantas.**

En este punto no se pretende describir todas las funciones que realizan las plantas, solo se describen de manera superficial las que se verán principalmente afectadas por el buen o mal funcionamiento del sistema de riego y otros factores externos que dependerán de la ubicación del cultivo.

#### **3.1.3.1 La respiración.**

El proceso de respiración es el movimiento controlado de componentes orgánicos y su oxidación, liberando así la *energía que servirá para el desarrollo de la planta*. En general los tejidos jóvenes respiran más que los viejos y cuando estos efectúan acciones metabólicas, como la absorción de nutrientes, las disminuyen o detienen, las plantas respiran menos, y el proceso respiratorio cambia el desarrollo de la planta.

La temperatura también afecta a la respiración y otros procesos metabólicos, ya que el aumento de la temperatura a más de 35°C puede disminuir la respiración de la planta y la producción de enzimas, lo cual se debe a la falta de mecanización en la respiración.

El oxígeno tiene efectos en la respiración, ya que es vital para el metabolismo oxidativo. El bióxido de carbono ayuda a la respiración de la planta, debido que afecta directamente a las estomas. Una alta concentración de bióxido de carbono hace que las estomas se cierren y dificulten la respiración.

### **3.1.3.2 La fotosíntesis**

La fotosíntesis es la conversión de energía luminosa en energía química estable, cuando un rayo de luz golpea sobre una planta, éste es absorbido por las moléculas de la clorofila. En consecuencia, la clorofila “atrapa” la energía y la convierte en potencial químico, que es aprovechado por la planta en reacciones de respiración.

El único pigmento que absorbe la luz es la clorofila y ésta absorbe sólo la luz roja y azul, pero no la verde; se sabe que la clorofila es un grupo de pigmentos interrelacionados. La clorofila está siempre presente en todas las plantas fotosintéticas (plantas verdes) y tiene una gran capacidad para la absorción lumínica.

### **3.1.3.3 La floración**

La floración produce un cambio total en las características del patrón de desarrollo de la planta. Los factores que llevan a la floración de la planta son muy diversos: edad, desarrollo, periodicidad de luz, temperatura, etcétera.

### **3.1.3.4 Movimiento de los nutrientes**

Los minerales que alimentan a las plantas se mueven hacia el sitio de demanda o hacia donde existe carencia de metabolitos, debido a la gran actividad metabólica. De este modo, cuando se cortan las raíces disminuyen el transporte hacia abajo y se produce una deficiencia de nitrógeno (que es el que regula el

crecimiento) principalmente de las hojas y frutos; por tanto, aumenta el requerimiento para las raíces y disminuye el consumo de hojas y frutos. Si las raíces se cortan o se exponen al frío, la tasa fotosintética de la planta disminuye y las plantas quedan expuestas a periodos cambiantes (de ajuste), durante los cuales pueden dañarse o morir.

En el caso de los árboles, cuando su entorno es demasiado frío, éstos se deshojan y se liberan así del peligro de la desecación; además, el ápice del tallo forma yemas a prueba de agua y de gases. En la mayoría de las plantas las partes aéreas mueren, y si las plantas hibernan y sobreviven al periodo de frío o sequía en letargo subterráneo (como los bulbos, rizomas o tubérculos, después), cuando las condiciones son propicias, reanudan su crecimiento.

Se observa que por estas razones la planta debe de ser cuidada de no sufrir daños, ya sea en sus raíces o en su estructura causados por variaciones de temperatura o manipulación, porque esto consumirá energía y nutrientes en su saneamiento suspendiendo su crecimiento y producción.

### **3.1.4 Requerimientos para el desarrollo de la planta**

#### **3.1.4.1 Agua.**

El agua, aparte de ser requerida por los vasos del vegetal, es el vehículo de los elementos nutrientes, que no se les puede aportar en su estado natural como minerales, sino disueltos.

La calidad del agua es de suma importancia, pues las aguas duras tienen un gran contenido de sales, sodio, magnesio, calcio, entre otras. Si exceden de las partes por millón requeridas por la planta dificultará la absorción por parte de las raíces. Dependiendo de la fuente de agua podría llegar a ser necesario desinfectarla para evitar que se propaguen virus, bacterias o plagas. Para desinfectar el agua se puede considerar lo siguiente:

- Se agrega cloro en una proporción de un mililitro por cada litro, se deja en reposo por dos o tres horas, después se agrega oxígeno (aireación) para oxidar y desinfectar. Así en el fondo del tanque quedarán los restos de la oxidación. El agua podrá ser utilizada de seis a ocho horas después.

- Otro método consiste en espolvorear cal sobre el agua. Esto desempeña una función muy parecida a la que hace un floculador, es decir, agrupa sólidos y permite su descenso al fondo del tanque. De este modo se clarifica el agua en algunos lugares en los que no se cuenta con la tecnología para ello.
- O bien, puede construir una planta tratadora simple como la que se muestra en la figura 3.1.

Si el problema es la dureza del agua, se utiliza resina catiónica, que realiza un intercambio iónico y suaviza el agua.

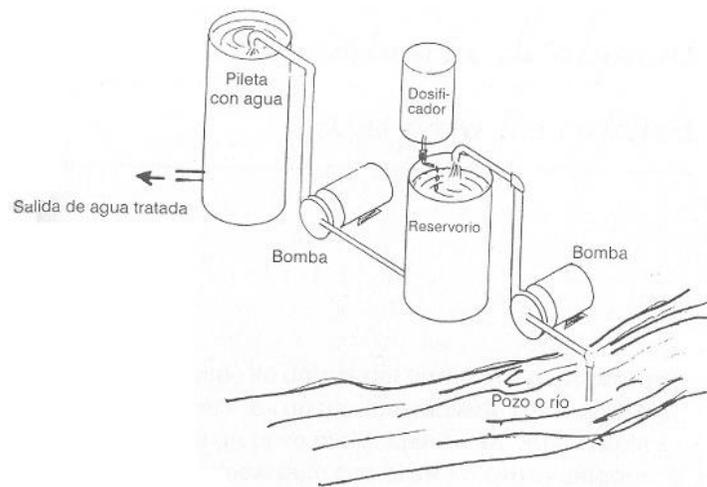


Fig. 3.1 Planta Tratadora de Agua Básica.

### 3.1.4.2 Luz.

La luz es un factor indispensable para el buen desarrollo de la planta, pues es la energía que necesita para realizar la fotosíntesis, por medio de la cual logran llevar a cabo sus diferentes etapas desde su crecimiento hasta su reproducción.

Primero se consideró que la luz era indispensable para el crecimiento de las plantas, después se comprobó que la luz era necesaria para el proceso por el cual las plantas toman nutrientes del aire, para que sus partes verdes puedan absorber CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Sin embargo, ahora se sabe que, además de producir oxígeno, cuando se les ilumina, también absorben agua y, con la ayuda de la luz, los elementos inorgánicos se convierten en materia orgánica.

Si al entorno de las plantas se le reduce la concentración de CO<sub>2</sub>, disminuye la tasa fotosintética en ellas. En cuanto a la intensidad de luz, ésta afecta directamente a la tasa de fotosíntesis. Acerca de los espectros luminosos, se ha comprobado que el uso de la luz azul aumenta la producción de proteínas y que el uso de la luz roja estimula los carbohidratos.

Nada es mejor que el sol cuando se trata de cultivar, sin embargo, nuevos tipos de iluminación hacen que cultivar en interiores sea una alternativa viable. Este tipo de iluminación se le conoce como HID (High Intensity Discharge). Estos sistemas consisten en: una lámpara, reflector y sistema de potencia. Que están diseñados para proporcionar una máxima salida de radiación fotosintéticamente activa (PAR, Photosynthetically Active Radiation) para la potencia consumida. También se pueden utilizar lámparas fluorescentes convencionales pero los resultados serán limitados.

- **Intensidad luminosa.** La intensidad luminosa se define como potencia sobre unidad de área. Para que la fotosíntesis ocurra de manera eficiente se debe suministrar una intensidad de 20 a 50 watts por pie cuadrado.
- **Fotoperiodo.** La mayoría de las plantas crecen mejor cuando son expuestas entre 16 y 18 horas de luz por día, horas adicionales de luz no incrementan significativamente su crecimiento. Plantas que presentan fotoperiodismo se les puede estimular la floración si son expuestas a 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad total, también, es importante exponerlas a este ciclo para el periodo de desarrollo del fruto.

**Espectro fotosintético.** Es más pronunciada con luz de longitudes de onda del rojo (600-680nm) y azul (380-480nm), se observa su comportamiento en la figura 3.2. Los sistemas HID están diseñados para cubrir estas específicas longitudes de onda conocidas como espectro PAR. Existen dos tipos de lámparas HID las cuales emiten dos tipos distintos de espectro de color:

**Lámparas Metal Halid (MH),** las cuales emiten espectros blanco/azul. Las lámparas MH son usadas como fuente de luz principal (si no hay luz solar presente).

**Lámparas High Pressure Sodium (HPS)** emiten luz en el espectro amarillo-naranja. Son las mejores lámparas para luz suplementaria o secundaria. Este tipo de luz estimula el afloramiento de las plantas y son ideales para invernaderos y aplicaciones comerciales en conjunto con luz natural.

Existen además convertidores de HPS a MH con los cuales se puede iluminar un espectro azul para el crecimiento y amarillo para el afloramiento.

### 3.1.4.3 Temperatura

La temperatura y crecimiento son cosas que están muy relacionadas, la mayoría de las plantas pueden crecer a temperaturas de 18° a 30° C, sin embargo, ambos extremos harán que el crecimiento sea lento por lo cual la temperatura ideal es de 25° C.

Cuando no se realiza la fotosíntesis, la planta puede estar a temperaturas más bajas y no afectara su desarrollo.

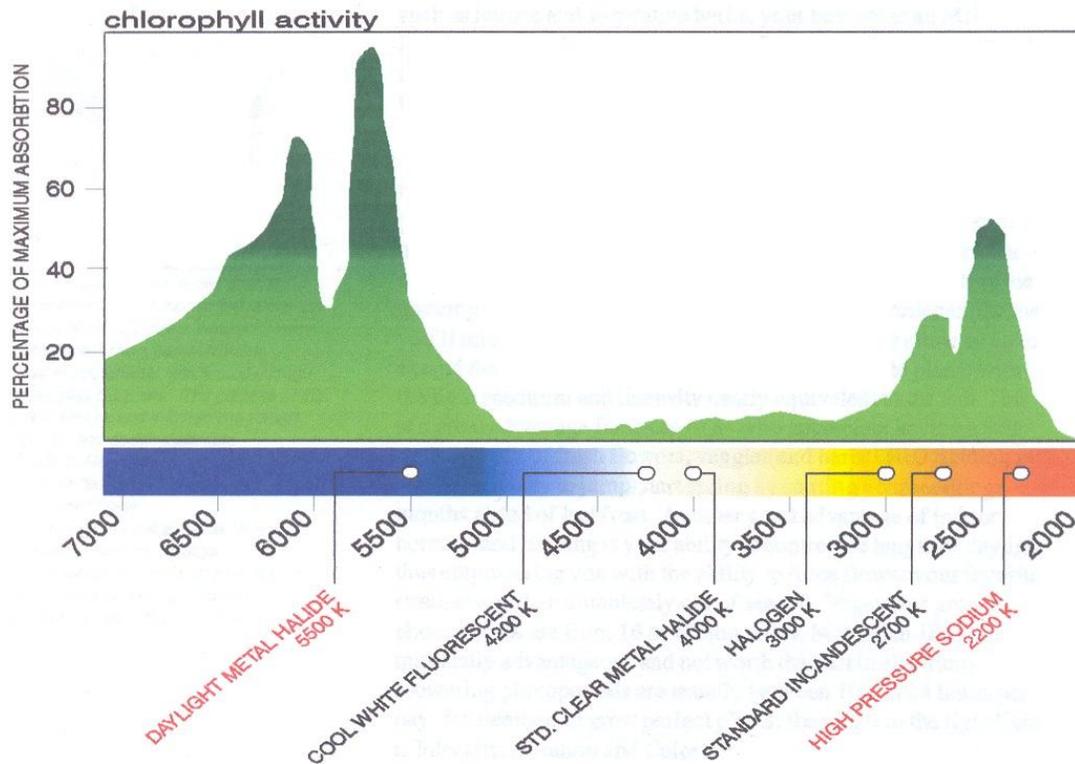


Fig. 3.2 Respuesta de la clorofila a la temperatura del color.

### 3.1.4.1 Nutrientes

Los nutrientes de la planta son sales minerales que se encuentran en el suelo, la presencia de estos influye directamente en el desarrollo de la planta. En

el caso de la hidroponia, como veremos a continuación, estos se suministran a través de una solución nutritiva.

### **3.2 La hidroponía**

La RAE (Real Academia Española de la Lengua) tiene en su diccionario la palabra “hidroponía” para referirse a la palabra anglosajona “hydroponics”, sin embargo, en la mayoría de la bibliografía consultada para este proyecto, así como en el lenguaje cotidiano se utiliza comúnmente la palabra “hidroponia”. Por lo que en este documento se utiliza el término hidroponia.

La palabra “Hidroponia” proviene de los vocablos griegos “hydro” que significa agua y “ponos” que significa trabajo, lo que podríamos entender como “el trabajo realizado por el agua”.

La hidroponia es un método de cultivo de plantas en un medio que no es tradicional (tierra), sino artificial, y que se basa en aplicar, en la práctica racional, la teoría de que los minerales son la principal alimentación de los vegetales. Estos minerales son suministrados a través de una solución de agua y sales (solución nutritiva).

- Ventajas de la Hidroponia:
- Reducción de costos de producción.
- Independencia de los fenómenos meteorológico.
- Permite producir cosechas fuera de estación.
- Se requiere mucho menor espacio y capital para una mayor producción.
- Ahorro de agua.
- No se usa maquinaria agrícola.
- Mayor higiene en el manejo del cultivo.
- Producción de semilla certificada.
- Producción de almácigos altamente fecundos.
- Rápida recuperación de la inversión.
- Mayor precocidad del cultivo
- Posibilidad de automatización casi completa.
- No provoca riesgos de erosión (por no utilizar la tierra).
- Producción en zonas áridas o frías combinada con tecnología de invernaderos.
- Se puede cultivar en ciudades.
- Se obtiene uniformidad en los cultivos.

- Permite ofrecer mejores precios en el mercado.
- Es una técnica adaptable a distintos espacios y recursos.
- No se abona con materia orgánica.

### 3.2.1 Principio de la técnica hidropónica

Todos los métodos o sistemas hidropónicos se rigen por el mismo principio básico: utilizar elementos minerales para elaborar una solución acuosa que alimente las plantas, esto se logra colocando el sistema radicular (raíces) de las plantas en un medio nutriente, líquido o vaporizado, o en un sustrato relativamente inerte (grava, arena, aserrín, gránulos o espuma de plástico) alimentado con una solución nutritiva que contenga, en una determinada concentración, los elementos necesarios para la nutrición.

Hay tres sistemas principales para realizar la hidroponía:

El *cultivo en agua*: Las plantas viven directamente en el agua, en la que se han disuelto los nutrientes, que están en contacto con las raíces de la planta. El agua es oxigenada previamente para evitar que las plantas sufran por falta de oxígeno y mueran.

El *cultivo con sustrato*: Las plantas crecen en un material sólido, inerte y libre de nutrientes que es el sustrato, este ayuda a fijar a la raíz de la planta sirviéndole de sostén. Los nutrientes son disueltos en el agua, que al circular por el sustrato, está en contacto con las raíces de las plantas. El sustrato guarda el aire y la humedad, y debe de tener un buen drenaje para eliminar el exceso de agua y de nutrientes. Este sistema es el más utilizado por los agricultores.

El *cultivo Aeropónico*: Existe un tercer sistema, que si bien no ha alcanzado todavía una gran popularidad a nivel comercial, debido a sus altos costo de implementación ha demostrado tener mejores resultados, en este sistema las raíces no están en un sustrato ni directamente sobre el agua, las raíces se encuentran suspendidas en una neblina nutritiva de donde toman los nutrientes y mejoran considerablemente su oxigenación, lo cual es un factor fundamental para el desarrollo de la planta.

### 3.2.2 Componentes de la técnica hidropónica

El sustrato Se llama sustrato a un medio sólido inerte que cumple 2 funciones esenciales:

- Anclar y sostener las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles respirar.
- Contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan.

Los gránulos de que está compuesto el sustrato deben permitir la circulación del aire y de la solución nutritiva. Se consideran buenos los que permiten la presencia entre 15% y 35% de aire y entre 20% y 60% de agua, en relación con el volumen total. Muchas veces resulta muy útil mezclar sustratos buscando que unos aporten lo que les falta a otros. Para elegir o combinar los sustratos, hay que tener en cuenta las características que se espera que tenga como:

- Retención de humedad.
- Alto porcentaje de aireación.
- Físicamente estable.
- Químicamente inerte.
- Biológicamente inerte.
- Excelente drenaje.
- Que posea capilaridad.
- Liviano.
- De bajo costo.
- Alta disponibilidad.

Los sustratos más utilizados son:

*Orgánicos.* La cascarilla de arroz, la viruta y el aserrín de madera, la cáscara de coco, sin embargo, estos sustratos no son muy recomendados para el cultivo hidropónico, ya que no son duraderos y, al degradarse, pueden obstruir el paso de la solución nutritiva o del oxígeno. Además, pueden contaminar el cultivo con facilidad pues al pudrirse desarrollando hongos o lama.

*Naturales.* La grava, la arena (fina, media o gruesa, puede ser de cuarzo, de río o de construcción), el tezontle, la piedra pómez con carbón mineral, la piedra volcánica (como el basalto), la perlita (que se vende como agrolita), la vermiculita, el ladrillo triturado, las tejas molidas (libres de elementos calcáreos o

cemento), la mica (que es un mineral que forma como laminitas transparentes. En el espacio que queda entre estas laminitas cabe una cantidad enorme de agua, por lo que este mineral es bastante apropiado para realizar la germinación).

*Sintéticos.* El hule espuma, los pellets o esponjas de polipropileno (trozos de plástico), el poliuretano, el poli estireno, el polietileno, la espuma plástica.

**Contenedores** Como su nombre lo indica, el contenedor es cualquier recipiente con una regular capacidad, en la que se deposita el sustrato o agregado, la solución nutritiva y obviamente la planta que se desea cultivar. Estos dependen proporcionalmente de la escala a la que se desea producir, que puede ser algo simple y económico como: macetas, cubetas, piletas, hasta contenedores comerciales (fig. 3.3) y tubería de PVC.

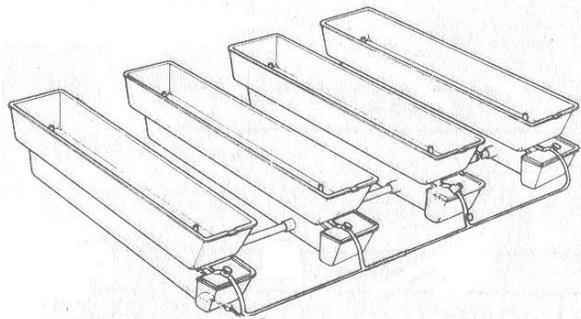


Fig. 3.3 Contenedores comerciales para hidroponía.

**Tutores.** Cuando las plantas alcanzan cierta altura requieren de un apoyo extra, aéreo o superficial para poder sostenerse erectas, permitiendo que la savia fluya en forma correcta, estos reciben el nombre de tutores. Estos también ayudan a que se tenga una mejor distribución visual de las plantas, facilitando las operaciones que requiere el manejo del cultivo.



Fig. 3.4 Tutor

Existen dos tipos de tutores:

Los *tutores superficiales* pueden ser estacas a los lados de los contenedores o canales, apoyados o clavados en la parte exterior de los mismos.

Los *tutores aéreos* serán a base de alambre, que corre a todo lo largo del contenedor, sujetando a cuatro soportes colocados en los vértices del contenedor. Para sujetar los tallos podemos utilizar estambre, hilo grueso, rafia, cordel o algún otro material suave pero resistente que no lastime a la pequeña planta en su desarrollo. Con ello se amarra en tramos progresivos el tallo a la estaca o punto de apoyo, cuidando que no queden apretados los nudos. Este procedimiento es recomendable a partir de que la planta haya alcanzado de 15 a 20 cm. de altura.

**Solución Nutritiva** La solución nutritiva es el alimento que se le da a la planta para que germine, crezca vigorosa, se desarrolle y de frutos abundantes y sanos. Existen distintas formulas para generar la solución nutritiva, sin embargo, casi todos los investigadores están de acuerdo en que no puede haber una solución nutritiva cuya composición sea notablemente superior a la otra.

Dicha solución se compone de macronutrientes que son los elementos que se requieren en mayor cantidad para la nutrición y el desarrollo, y los micronutrientes, aquellos que solo en pequeñas cantidades son necesarios.

<b>Nombre</b>	<b>Símbolo</b>
Carbono	C
Hidrógeno	H
Oxígeno	O
Nitrógeno	N
Fósforo	P
Potasio	K
Calcio	Ca
Magnesio	Mn
Azufre	S

Tabla 1. Macronutrientes y su símbolo.

<b>Nombre</b>	<b>Símbolo</b>
Manganeso	Mg
Hierro	Fe
Zinc	Z
Cobre	Cu
Boro	B
Molibdeno	Mo
Cloro	Cl
Sodio	Na
Níquel	Ni
Cobalto	Co
Sílice	Si

Tabla 2. Micronutrientes y su símbolo.

En la naturaleza estos elementos se encuentran combinados con otros y su separación es difícil y resulta costosa, es por eso, que para generar la solución nutritiva no se recomienda el uso de sales puras si no la combinación de compuestos y fertilizantes comerciales.

Las fórmulas para la solución nutritiva se pueden clasificar en formulas estáticas y dinámicas. Las formulas estáticas son las que se mantienen constantes durante todo el periodo del desarrollo de la planta y las dinámicas son las que van cambiando en cada etapa del desarrollo de la planta, es decir, una fórmula para la germinación, otra para el crecimiento y otra para el afloramiento. Las cantidades de los elementos de la formulación dependerán del tipo de cultivo y del periodo del desarrollo de este, sin embargo, en forma comercial la formulación se mantiene constante por su facilidad de automatización principalmente.

Existen distintas fórmulas para un mismo cultivo, sin embargo los resultados entre estas no son significativos tanto que también se ha vuelto popular utilizar una formula general hidropónica que puede ser utilizada para cualquier cultivo, a continuación se mencionan dos de las fórmulas más populares:

<b>Nombre</b>	<b>Cantidad en gr.</b>
Nitrato de Potasio	64
Fosfato de Amonio	13
Cloruro de Calcio	73
Sulfato de Magnesio	34
Sulfato Ferroso	2
Nitrato de Sodio	64
Sulfato de Zinc	0.02
Sulfato de Cobre	0.2
Ácido Bórico	0.01

Tabla 3. Formula estática para el jitomate, a disolver en 100 litros de agua.

<b>Nombre</b>	<b>Cantidad en gr.</b>
Nitrato de Calcio	90
Nitrato de Potasio	90
Fosfato Ácido de Amonio	20
Sulfato de Magnesio	30

Tabla 4. Formula General Hidropónica de la Universidad de California, a disolver en 400 litros de agua.

Existen diferentes parámetros para la solución nutritiva que debemos considerar:

Potencial de Hidrogeno (pH). El desarrollo de los cultivos depende en gran parte de la acides o alcalinidad de la solución nutritiva, cuyo parámetro para medirla se llama pH. Mediante la acides o alcalinidad de la solución nutritiva se rompen los enlaces de los elementos nutrientes, formando compuestos más simples y por lo tanto más asimilables para la planta. Si la solución es muy ácida o muy alcalina puede quemar las raíces de las plantas. Se considera como concepto general que un pH de 6 a 6.5 favorece el crecimiento de los cultivos satisfactoriamente.

Concentración. La concentración de sales nunca deberá ser superior a 2.5 gr. por litro de agua debido a que esto eleva la concentración osmótica y dificulta la absorción de nutrientes. La forma más común de medir la concentración es medir la conductividad eléctrica la cual nos informa de las sales contenidas o sólidos disueltos en el agua, por partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/l), miliMhos por centímetro (mMhos/cm) o Siemens (S). Generalmente, el agua recomendada para el manejo de cultivos hidropónicos ha de ser de baja salinidad, esto es, de 1.00 a 1.20 mMhos/cm.

### 3.2.3 Técnicas de riego

Existen varios sistemas para proporcionar a la planta la humedad y alimento que requieren para una producción óptima. A continuación se describen 2 de las formas más fáciles, usuales y económicas de hacerlo:

**Subirrigación:** En este sistema, la solución nutritiva entra a los contenedores o canales a través de una instalación o tubería (que puede ser poliducto o PVC) a todo lo largo del contenedor, recipiente o canal. Al accionarlo, el sustrato o agregado y por tanto las raíces se inundan de abajo hacia arriba. Este sistema de riego también puede aprovechar la fuerza de gravedad.

Cuando la solución haya alcanzado el nivel apropiado en el contenedor o canal se mantiene ahí durante 20 a 30 minutos, tras de lo cual se procederá a drenarla o enviarla hacia una cisterna o tanque de recolección que habrán de estar localizados a un nivel más bajo que el contenedor, desde donde se renviará al tanque elevado por medio de una bomba. Una vez drenado el contenedor, cuando la solución de nutrientes se haya desaguado los espacios entre los gránulos del sustrato se llenarán de oxígeno, lo cual facilitará la oxigenación de las raíces.

Una de las principales ventajas de este sistema es que la solución nutritiva se recicla casi enteramente, permitiendo de esta manera un importante ahorro de agua y nutrientes. Una desventaja de este sistema es que se requiere de un complejo sistema de control y monitoreo de la solución.

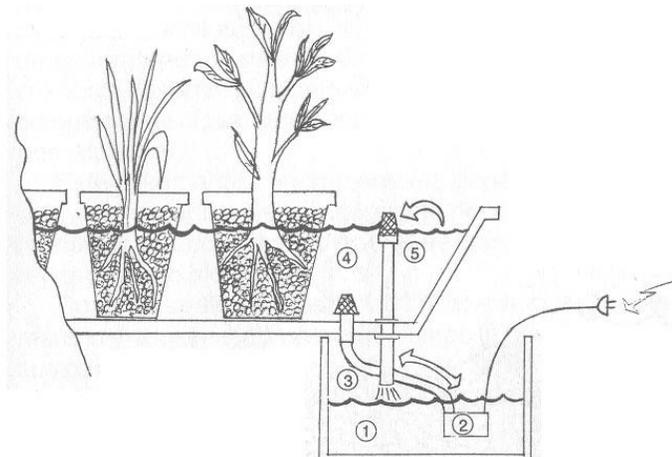


Fig. 3.5 Sistema de Riego por Subirrigación.

**Goteo:** Este sistema consiste en tener una red hidráulica uniformemente presurizada conectada a dispositivos llamados válvulas de goteo, con el fin de que

este ocurra de manera uniforme. La longitud de esta red nunca deberá de ser de más de 30 metros. La frecuencia de riego por goteo depender} de los requerimientos específicos de la especie vegetal cultivada, así como la profundidad y extensión del área que se quiere regar. En promedio, se puede tomar como parámetro el efectuar de 6 a 8 riegos por día con una duración de entre 10 y 17 minutos, usando goteros de bajo gasto (entre 1 y 2 litros por hora por cada gotero o emisor) teniendo siempre presente que, como norma general, hay que situar el gotero lo más cerca posible de la raíz de la planta.

Este sistema es el más utilizado en México de forma comercial, sin embargo, no se cuenta con sistema de recirculación por lo cual se desperdicia una gran cantidad de solución nutritiva.

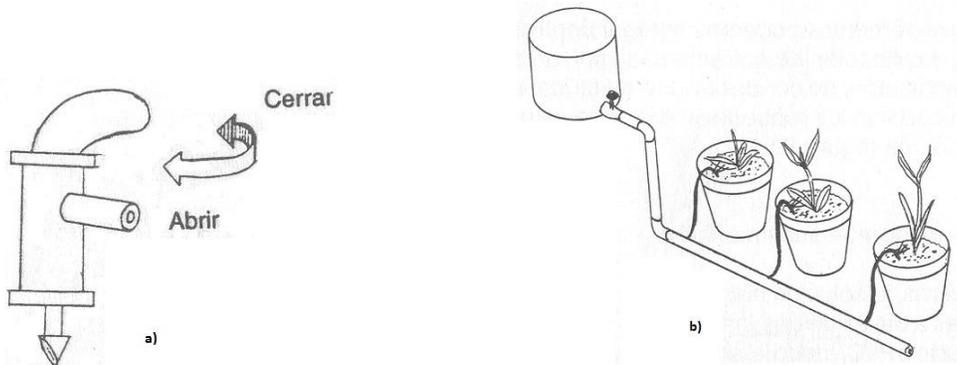


Fig. 3.6 a) Válvula de goteo

b) Sistema de Riego por Goteo.

### 3.3 Estado del arte

Como se mencionó anteriormente existen distintas técnicas de riego para sistemas hidropónicos, cada una con sus ventajas y desventajas, siendo el principal problema la oxigenación de la raíz. Una variante relativamente reciente de los cultivos hidropónicos es “la aeroponía”, que representa una técnica más avanzada y de más alta tecnología en el sistema hidropónico tradicional. Hasta ahora esta técnica solo había sido utilizada con fines ornamentales debido a su complejidad.

Esta técnica se diferencia fundamentalmente de las otras técnicas de riego en que las raíces no están sumergidas en la solución nutritiva, sino que esta se les suministra periódicamente en forma de nebulización o de rocío.

La aeroponía surge al investigar el modo como las raíces de la planta absorben el oxígeno. La oxigenación es uno de los factores que más influyen en el

desarrollo de los cultivos, y todo cuanto se haga por potenciar la oxigenación redundará en un mayor rendimiento del cultivo.

La innovación de este sistema consiste, precisamente, en que al estar las plantas suspendidas dentro de un panel, sus raíces se encuentran libres en el aire, por lo tanto, el aporte de oxígeno está permanentemente asegurado.

En la actualidad, la aeroponía es practicada en forma comercial en diferentes países como Estados Unidos, Japón y Alemania, habiéndose alcanzado un diferente desarrollo según los lugares. En Israel, la compañía Adj Ltd demostró, en 1982, que el sistema aeropónico era comercialmente viable. Pero los usuarios lo encontraban relativamente complejo, costoso y este no alcanzó su madurez hasta 2003.

En Asia se siguen llevando a cabo investigaciones para perfeccionar la técnica, de tal forma que algunas compañías han puesto a la venta unidades domésticas basadas en modelos piloto, que cuentan con un sistema de control ambiental integrado, sin embargo, estos tienen un precio que oscila entre los 1000 y 1500 dólares.

Son varias las razones por las que se piensa que en el futuro se generalizará la aplicación de esta técnica. Uno de los motivos es la alta productividad de las cosechas en comparación con las obtenidas con los cultivos tradicionales inclusive superando a otros sistemas hidropónicos.

En este sistema las plantas se desarrollan en un sistema cerrado. Sus raíces son constantemente rociadas con una niebla o micro-gotas ricas en nutrientes, y pueden crecer suspendidas y encerradas en una caja o contenedor oscuro y amplio, lo cual hace que, al no pasar la luz al interior, se evite el crecimiento de algas.

Otra de las grandes ventajas para las plantas cultivadas en esta variante tan peculiar, es que en sus raíces se reducen o no se presentan enfermedades por hongos, con lo cual se mantienen sanas, limpias, bien desarrolladas, y no tienen que limitar su crecimiento a una cierta medida por el espacio reducido, como sucede en los contenedores usuales, y por consiguiente las raíces son más vigorosas.

Al cultivar con este sistema, es mayor la densidad de plantas que se pueden desarrollar en un espacio menor que el que requieren otros sistemas hidropónicos.

Por otra parte, el requerimiento de agua es sumamente bajo, pues al permanecer la planta “colgada”, sólo es preciso rociar sus raíces, con lo que la alimentación y aireación de las mismas está perfectamente asegurada. Precisamente el poco consumo de agua para operar el sistema hace que esta técnica sea una excelente alternativa para cultivar en ciudades y regiones donde el preciado líquido escasea, ya que el agua es un recurso que va disminuyendo de forma alarmante en todo el mundo.

Las investigaciones con respecto a la aeroponía tienen dos vertientes:

- Reformulación de la solución nutritiva. Al solucionarse el problema de la oxigenación de las raíces, los investigadores se han dado cuenta de que la planta se desarrolla más rápido que en otros sistemas hidropónicos y por lo tanto necesita más nutrientes y en un tiempo menor, por lo que se ha vuelto necesario reformular la solución nutritiva para el sistema Aeropónico para obtener mejores resultados.
- Generación de la neblina nutritiva. Se ha descubierto que la eficacia de la absorción de la raíz, está relacionada con el tamaño de las partículas que componen la neblina nutritiva. Se está investigando como generar neblina con partículas más pequeñas (menor a 10 micrones) que sustituyan a las de tamaño actual (100 micrones). Al parecer los sistemas ultrasónicos son los que han mostrado un mejor resultado y sustituirán a los sistemas por aspersión.

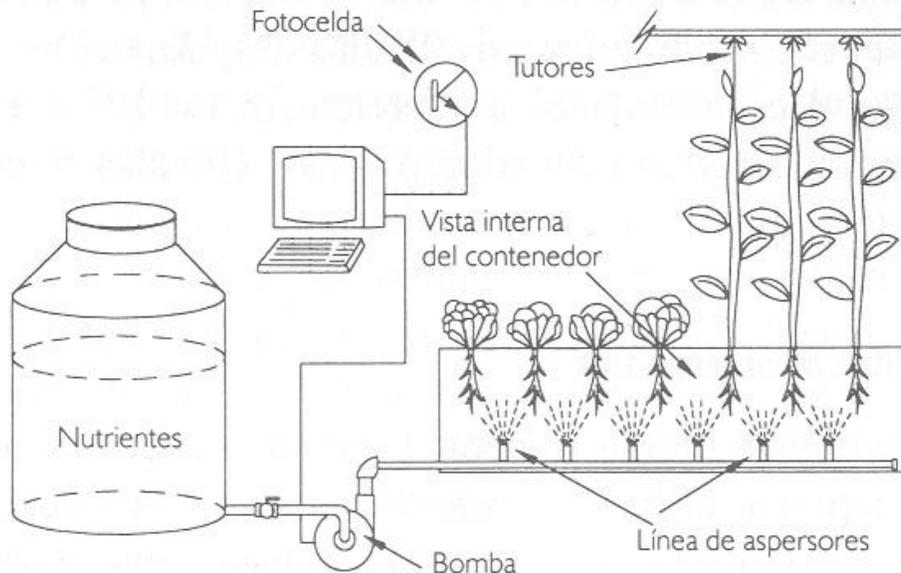


Fig. 3.7 Sistema Aeropónico Básico.

# Capítulo 4

## “Diseño”



## 4. Diseño

### 4.1 Sistema de riego

Como se comentó en capítulos anteriores existen diversas técnicas de riego como son por subirrigación y por goteo (que son las más comunes en el ámbito comercial), sin embargo, distan mucho de ser las mejores en eficacia, ahorro de agua y nutrientes, siendo la más avanzada una técnica llamada Aeroponía, ésta, se diferencia fundamentalmente de las otras técnicas de riego en que las raíces no están sumergidas en la solución nutritiva, sino que se encuentran suspendidas en el aire; lo cual mejora notablemente la oxigenación y la solución nutritiva que se les suministra periódicamente en forma de nebulización o rocío.

Cosecha	Método Tradicional (Kg)	Método Hidropónico (Kg)	Método Aeropónico(Kg)
Soya	273	18000	21420
Arroz	455	682	812
Avena	455	682	825
Papa	8000	70000	84000
Col	5900	8180	No probado
Lechuga	4090	9500	No probado
Tomate	10000	200000	300000

Tabla 4.1 Producción en Invernadero Aeropónico Japonés.

Como se muestra en la tabla anterior, el método Aeropónico logro superar al cultivo hidropónico en un 20%, esta es la razón principal por lo que **se selecciona la aeroponía como técnica de riego para este proyecto.**

### 4.2 Selección de los nutrientes

Diseñar el sistema de riego requiere determinar la forma en que se van a suministrar los nutrientes; existe una gran diversidad de presentaciones de los componentes nutritivos: solución concentrada, barra, polvo concentrado, fertilizantes, entre otros.

Las soluciones concentradas son las más utilizadas para niveles grandes de producción y automatizar su dosificación resulta caro por sus actuadores de gran precisión, los componentes en barra prácticamente se usan para generar la

solución de forma manual para sistemas no automatizados (como lo podría ser un huerto familiar), los polvos concentrados se usan en volúmenes de producción mediano y pequeño; existen proveedores locales con los cuales se consiguen a un precio conveniente. Para sistemas con fines no comerciales se suelen mezclar fertilizantes para cultivo en agua, sin embargo, las proporciones no son las adecuadas y se obtienen rendimientos pobres.

Por esto, **la opción más conveniente para este sistema es adquirir los nutrientes en polvos concentrados**, se ha seleccionado el de la marca “Xipe y Asociados” que es una mezcla previamente preparada que sirve para generar solución hidropónica madre o genérica; contiene nutrientes para cultivar lechugas, jitomates, rábanos, cebollas, entre otros. La medida recomendada para su utilización es agregar por cada litro de agua un gramo de polvo concentrado, su precio al menudeo es de \$150 pesos por kilogramo; pudiendo alcanzar precios menores a \$100 pesos al mayoreo, con esto obtenemos una relación de \$150 pesos/1000 litros de agua para obtener 15 centavos por litro como máximo lo cual es un excelente precio para producciones medianas y pequeñas.



4.2.1 Fertilizantes para la solución nutritiva.

### 4.3 Función Principal

Una vez conocidos los requerimientos de la planta, el sistema hidropónico y los nutrientes, se determina la función principal que realiza el sistema. Como en todo sistema de riego hidropónico lo que se desea obtener son raíces húmedas, para lograr esto nuestros requerimientos son: agua, nutrientes (en forma de químicos) y semillas.



Figura 4.3.1 Diagrama Funcional Principal del Sistema de Riego.

Las semillas no pueden utilizarse de manera directa en un sistema Aeropónico (debido a que no tienen raíces), estas deben de germinarse primero para transformarse en plántula. Tanto en la germinación como en el lugar definitivo de desarrollo ya se debe contar con la solución nutritiva. Por esto se decidió dividir la función principal en 3 funciones secundarias que se convertirán en módulos del sistema.

Estos 3 módulos como se puede observar en la figura 4.3.2 y son: Generador de Solución Nutritiva, Germinador, Generador de Neblina Nutritiva.

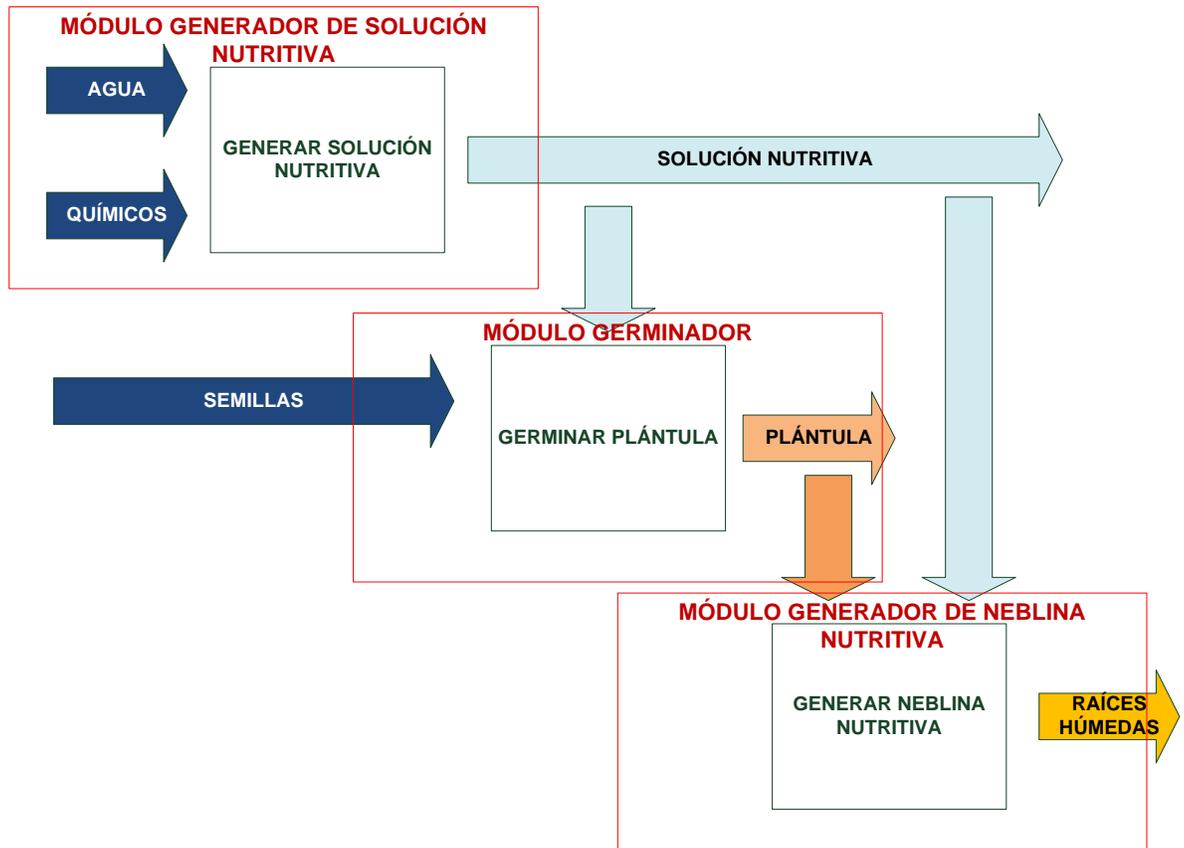


Figura 4.3.2 Diagrama propuesto del Sistema de Riego (modular).

### 4.3.1 Diseño del Módulo Generador de Solución Nutritiva

Los módulos Germinador y Generador de neblina nutritiva utilizan el producto entregado por el Generador de Solución Nutritiva, por lo que primero se desarrolla este módulo.



Figura 4.3.1.1 Diagrama General del Módulo Generador de Solución Nutritiva

La solución nutritiva, debe tener las características apropiadas para el cultivo, por lo cual este módulo debe resolver las siguientes necesidades:

- Dosificar los nutrientes en determinada cantidad de agua.
- Controlar pH, salinidad y conductividad.
- Mantener la mezcla homogénea.

Los requerimientos del diseño permiten identificar las siguientes especificaciones:

- Dosificar polvo nutritivo con resolución mínima de 1 gramo.
- Dosificar agua con resolución mínima de 1 litro.
- Solución nutritiva con un PH de 6.5
- Conductividad de 3.5 ms.
- Mezcla homogénea.

Si bien mantener estos parámetros es muy importante para un buen desarrollo de la planta podemos tener tolerancias de +- 10%.

Con estas necesidades se identifican las siguientes funciones:

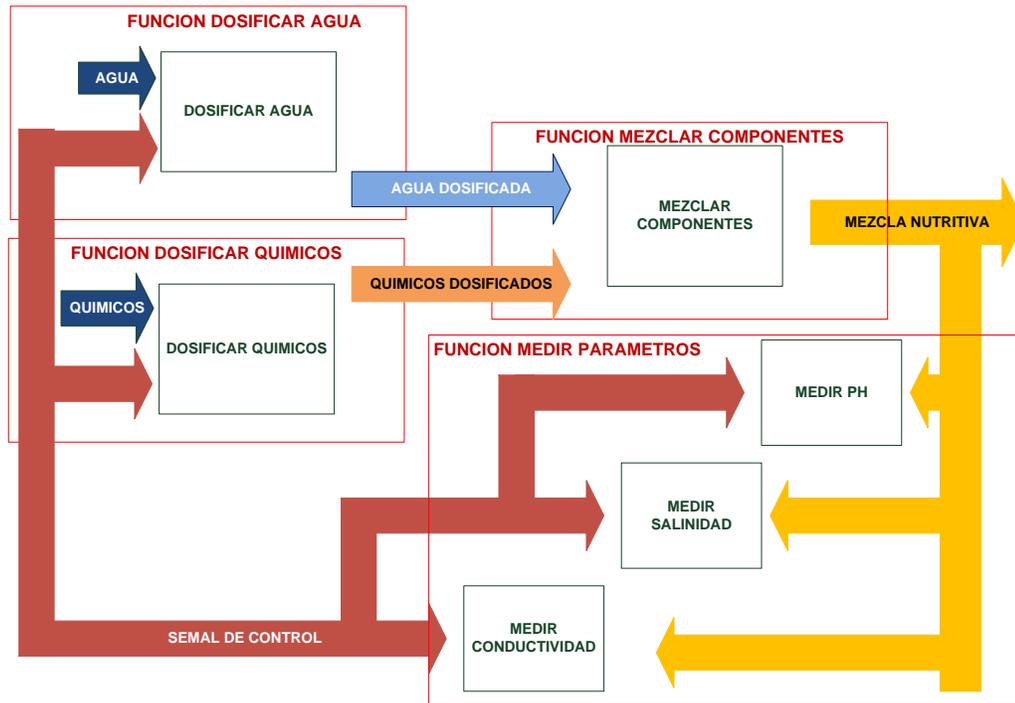


Figura 4.3.1.2 Diagrama de Funciones de Modulo Generador de Neblina Nutritiva.

Como se mencionó anteriormente la presentación de los nutrientes es una mezcla previamente preparada de polvos concentrados, por lo que al suministrarla en proporciones adecuadas ya cuenta con **los valores deseados de pH, salinidad y conductividad por lo que se vuelven indicadores estos sistemas de control, siendo omitidos en este desarrollo para reducir costos.** El diagrama funcional se simplifica y queda de la siguiente forma:

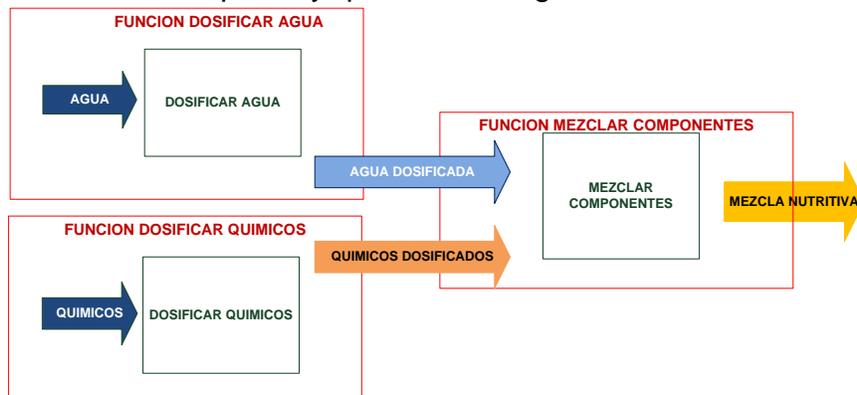


Figura 4.3.1.3 Diagrama Simplificado de las Funciones del Módulo Generador de Neblina Nutritiva.

La función dosificar agua debe resolver las siguientes necesidades: suministrar agua, contener agua y medir el nivel en el contenedor.

Debido a que no hay componentes reactivos y la concentración de sales es muy reducida, prácticamente **cualquier tanque puede servir, sin embargo, es recomendable utilizar un tanque de plástico**, ya que uno metálico a largo plazo podría reducir su calidad. El tamaño del tanque contenedor puede variar dependiendo de la escala de producción, **en este caso se selecciona un tanque de 200 litros**, cuyo precio oscila alrededor de los \$100 pesos.



Figura 4.3.1.4 Tanque contenedor de agua de 200 litros.

Para dosificar agua, la mayoría de los sistemas de riego automatizados utilizan bombas de agua debido a su disponibilidad y bajo costo en el mercado.

La bomba es una máquina que absorbe energía mecánica que proviene generalmente de un motor eléctrico y la transforma en energía hidráulica la cual permite que el fluido pueda ser transportado de un lugar a otro, a un mismo nivel y/o a diferentes niveles y/o a diferentes velocidades. Las bombas se clasifican normalmente por su presión máxima de funcionamiento y por su caudal de salida en litros/minuto ó galones/minuto a una velocidad de rotación determinada

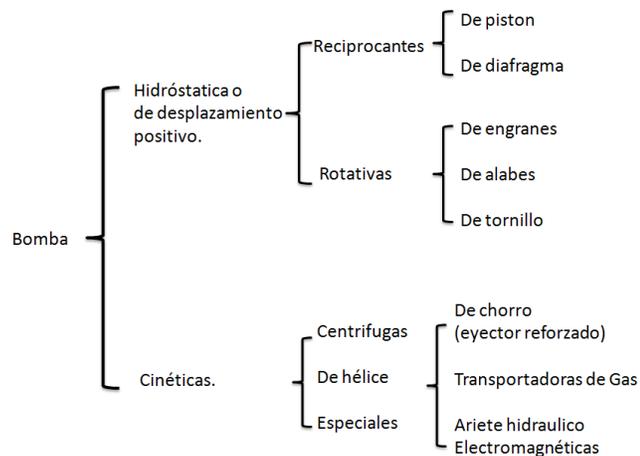


Figura 4.3.1.5 Tipos de bombas

Bombas cinéticas: Estas bombas, también llamadas de desplazamiento no positivo, se usan principalmente para transferir fluidos donde la única resistencia que se encuentra es la creada por el peso del mismo fluido y el rozamiento. La mayoría de este tipo de bombas funciona mediante la fuerza centrífuga, según la cual el fluido, al entrar por el centro del cuerpo de la bomba, es expulsado hacia el exterior por medio de un impulsor que gira rápidamente. No existe ninguna separación el orificio de entrada y de salida, y su capacidad de presión depende de la velocidad de rotación.

Por lo tanto, **se selecciona una bomba de agua centrífuga de ¼ de HP** debido a que no son necesarios grandes volúmenes de agua (200 litros) ni grandes velocidades de llenado.



Figura 4.3.1.6 Bomba centrífuga.

El control de flujo en esta aplicación consiste en dejar pasar agua o no de forma automática por la tubería, por lo que una electroválvula cumple con lo requerido.

Una electroválvula es un dispositivo diseñado para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.

Por lo tanto **se selecciona la electroválvula ORBIT modelo ER-2400 con un precio aproximado de \$250** en tiendas departamentales, cuyas características son: una válvula piloteada que trabaja a 24 V AC, corriente de

arranque 340 mA, corriente de trabajo 200mA, a una presión mínima de 15 psi y la temperatura máxima de flujo es de 70°C.



Figura 4.3.1.7 Electroválvula ORBIT.

Para monitorear el nivel del tanque se estudiaron distintas opciones. Los sensores de nivel se utilizan para conocer el estado de llenado de depósitos de líquidos o sólidos y pueden ser:

- Sensores todo-nada: para líquidos conductores es frecuente emplear flotadores con un contacto entre dos electrodos sumergidos. Para sólidos o líquidos no conductores suelen emplearse métodos fotoeléctricos o detectores de proximidad capacitivos.
- Sensores por presión: la diferencia de presiones entre el fondo y la superficie es directamente proporcional al nivel y al peso específico del líquido.
- Sensores ultrasónicos: se basan en la medición del tiempo total de ida y vuelta de un impulso de presión (ultrasonido) que es reflejado por la superficie del material y recogido por un receptor colocado al lado del emisor. Este tiempo es proporcional a la distancia y a la densidad del medio.

Se requiere estar monitoreando constantemente el nivel del agua del tanque, por lo que un **sensor ultrasónico SRF05** cuyo precio oscila alrededor de \$400 pesos y pueden medir distancias de hasta 6 metros con una precisión de 1 mm, cumple satisfactoriamente el objetivo.

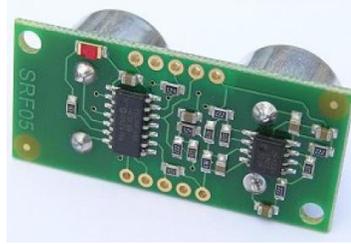


Figura 4.3.1.8 Sensor Ultrasónico SRF05

Para la función dosificar polvo se revisaron dispensadores comerciales pudiéndose clasificar principalmente en dos tipos:

- Control de flujo por válvula: Este control generalmente es accionado neumáticamente y no cuenta con mucha precisión debido a que la cuantificación es por tiempo.
- Control de flujo por tornillo sin fin: Este control generalmente es accionado por un motor eléctrico y cuenta con mucha precisión debido a que el volumen desplazado puede ser calculado.

Debido a la precisión del control de **flujo por tornillo sin fin se selecciona este método para el dosificador del polvo** nutritivo concentrado, y se basa en el dispositivo propuesto en la patente ES 2 067 353 A2 publicada el 16/03/1995.

El dispensador consiste en un recipiente vertical, donde se almacena el polvo nutritivo, que alimenta un tornillo sin fin, también colocado de manera vertical, provista con paso constante que desplaza el polvo a través de una salida hacia el recipiente contenedor de la mezcla.

El tornillo sin fin se selecciona de modo que sea comercial o se pueda maquinar fácilmente, cuyas características son: rosca cuadrada de 10 mm de diámetro y 5mm de paso (M10x5). Para calcular el volumen desplazado en una vuelta completa del tornillo se emplea la siguiente fórmula:

$$V = A * h = \left( \frac{\pi * d^2}{4} \right) * h$$

$$V_d = V_t - V_c = \left[ \left( \frac{\pi * (10mm)^2}{4} \right) - \left( \frac{\pi * (5mm)^2}{4} \right) \right] * h$$

$$V_d = V_t - V_c = \left[ \left( \frac{\pi * (10mm)^2}{4} \right) - \left( \frac{\pi * (5mm)^2}{4} \right) \right] * (2.5mm)$$

$$V_d = V_t - V_c = 147.26mm^3$$

Una vez obtenido el volumen desplazado y sabiendo que 100mm cúbico pesa 5 gr obtenemos que para dosificar un gramo de polvo son necesarias 0.135 vueltas del motor. El motor utilizado es un motor de CA síncrono de 5W y10 RPM, y la tolva es capaz de contener 100cm cúbicos de polvo nutritivo.

En la **función mezclar químicos** se necesita mantener la mezcla homogénea y las dos principales formas de hacer esto es por aspas e **inyección de aire, se selecciona este último puesto que aparte de mezclar la solución, la ayudaría a mantenerse oxigenada.**

Una vez seleccionados todos los componentes que integran el Módulo Generador de Solución Nutritiva, se genera el siguiente diagrama de bloques:

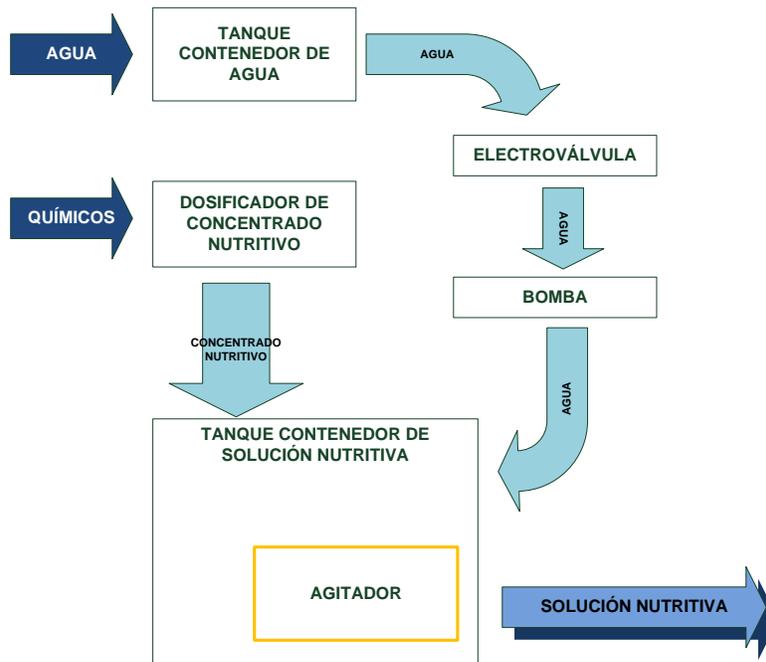


Figura 4.3.1.9 Diagrama a bloques del Módulo Generador se Solución Nutritiva.



Figura 4.3.1.10 Diseño de configuración del Módulo Generador de Neblina Nutritiva.

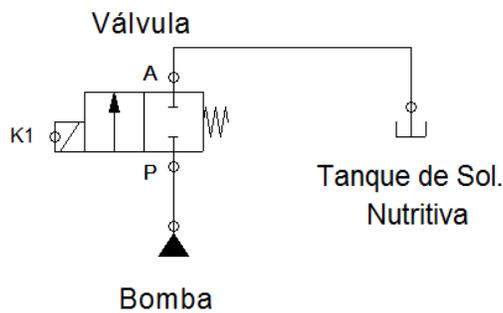


Figura 4.3.1.11 Diagrama hidráulico del módulo generador de solución nutritiva.

### Control

Las opciones más comunes para implementar el control del módulo son: PLC, DAQ de National Instruments y microcontroladores, siendo este último la opción seleccionada por su fácil adquisición, bajo costo, y tanto el hardware como el software para su programación se pueden conseguir de forma gratuita en internet, por lo tanto también será utilizado en el resto del proyecto.

El microcontrolador consiste en la integración en un chip de un microprocesador con memoria, interfaces de entrada/salida y otros dispositivos periféricos como temporizadores. Un microcontrolador común tiene terminales para la conexión externa de entradas y salidas, alimentación eléctrica y señales de reloj y de control. Las conexiones de entrada y de salida se agrupan en unidades

denominadas puertos E/S. Por lo general estos puertos tienen el tamaño del bus de datos del microprocesador.

El microcontrolador seleccionado para este proyecto es el ATMEGA8 de la familia AVR de Atmel debido a su fácil adquisición, alta velocidad de procesamiento (16 MIPS), 3 Canales PWM, alta capacidad de memoria y costo reducido, como se muestra en la figura 4.3.1.9.

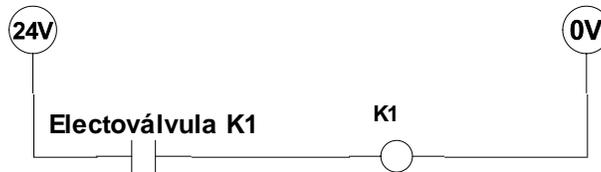


Figura 4.3.1.12 Diagrama eléctrico de potencia del módulo generador de solución nutritiva

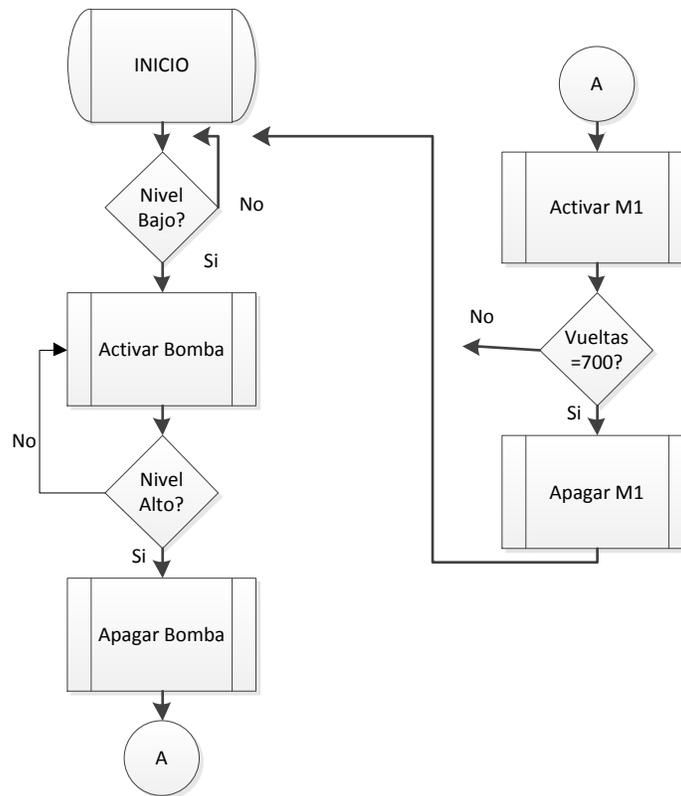


Figura 4.3.1.13 Diagrama de flujo de control del módulo generador de solución nutritiva.

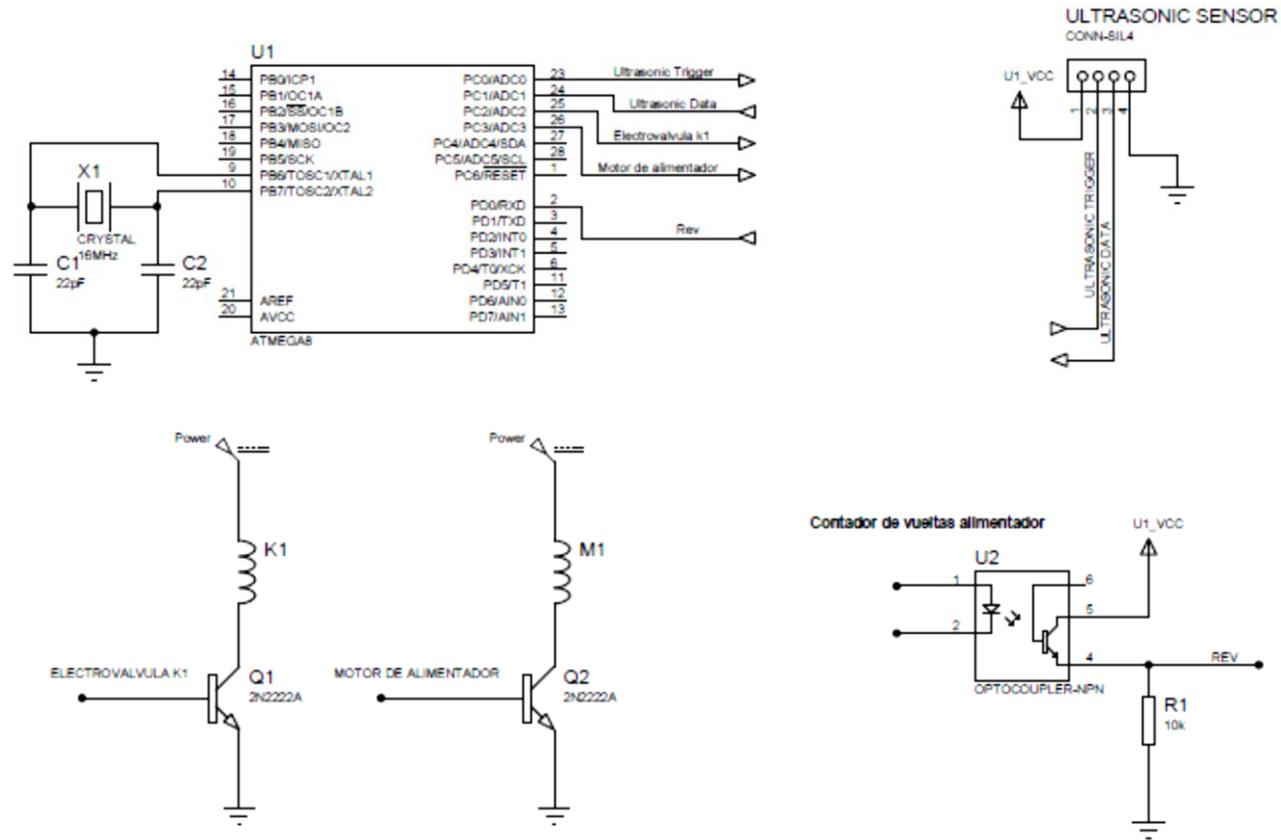


Figura 4.3.1.14 Diagrama Electrónico de control del módulo generador de solución nutritiva.

### 4.3.2 Diseño del Módulo Germinador de Plántula

Para el funcionamiento de este módulo se requieren las entradas: solución nutritiva y semillas, las cuales se utilizan para producir la plántula.



Figura 4.3.2.1 Diagrama de Funciones del Módulo Germinador de Plántula.

Este módulo debe de proporcionar las condiciones necesarias para la correcta germinación de la semilla y desarrollo de la plántula, por lo cual debe de cumplir con las siguientes tareas:

- Proteger del medio ambiente.
- Proporcionar la temperatura y ventilación adecuada.
- Proporcionar la luz necesaria.
- Suministrar solución nutritiva.
- Regar frecuentemente.
- Mantener ambiente húmedo.

Los requerimientos del diseño permiten identificar las siguientes especificaciones:

- Estructura cubierta que de soporte al semillero y a los sistemas de control de temperatura, iluminación y aspersión.
- Control de temperatura de 25°C.
- Sistema de aspersión de neblina automático, con un periodo mínimo de una aspersión de 5 segundos cada 15 minutos. Humedad relativa entre un 50 y 70%.

Si bien mantener estos parámetros es muy importante para un buen desarrollo de la planta podemos tener tolerancias de +- 10%.

Con estas necesidades se identifican las siguientes funciones:

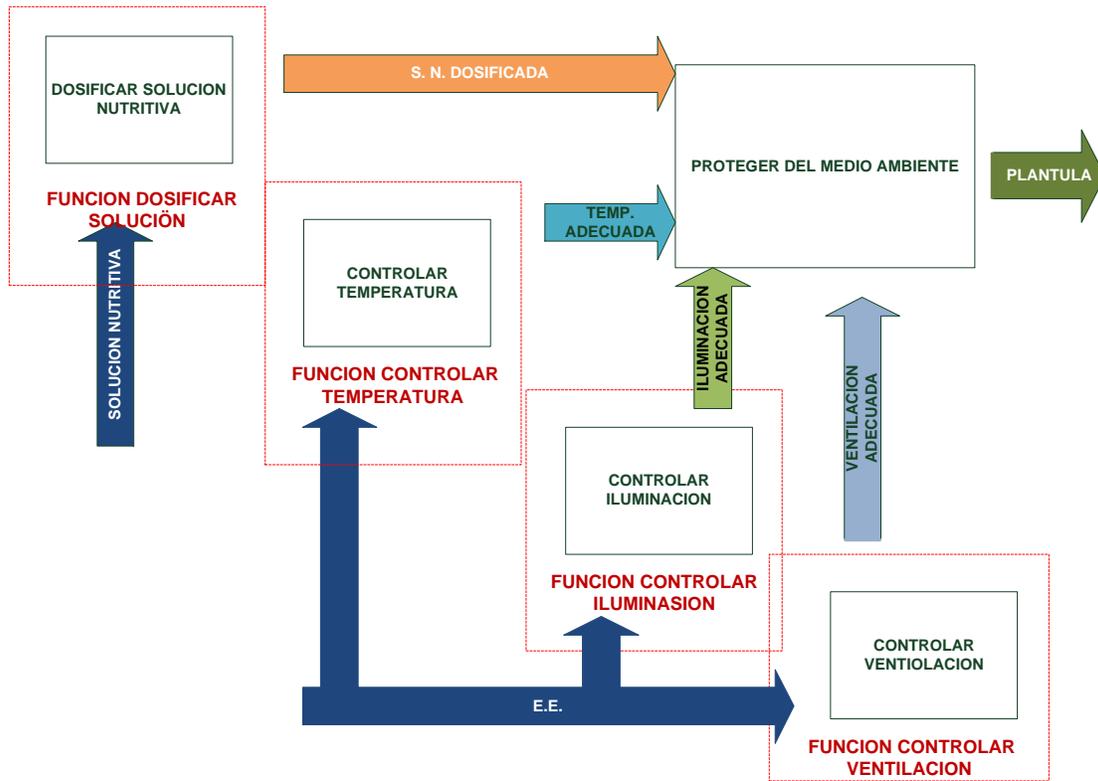


Figura 4.3.2.2 Diagrama de Funciones de Módulo Germinador del Plántula.

La función Dosificar Solución Nutritiva debe resolver la siguiente necesidad: suministrar en dosis correcta la solución nutritiva.

Determinar la dosis correcta de la solución nutritiva para sistemas aeropónicos no se encuentra definida exactamente ya que varía dependiendo del tipo de cultivo y de la experiencia del productor, sin embargo, por lo recopilado en distintas fuentes se ha optado por poner el promedio de cada 5 segundos cada 15 min.

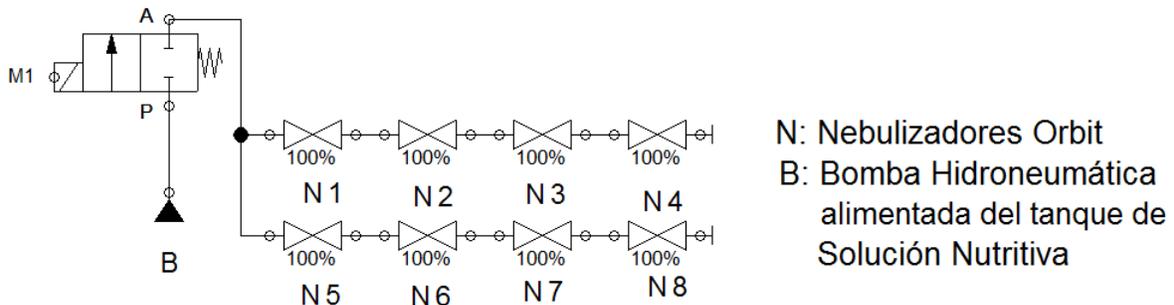
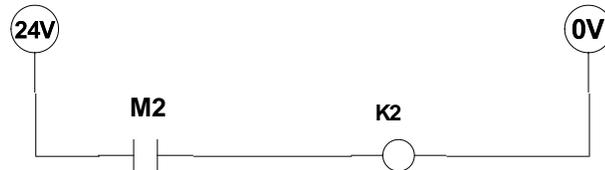


Figura 4.3.2.3 Diagrama Electrohidráulico del Módulo Germinador del Plántula.



Figura 4.3.2.4 Nebulizadores Orbit.



. Figura 4.3.2.5 Diagrama Eléctrico de Potencia del Módulo Germinador del Plántula.

Para la realización de esta tarea se seleccionó una bomba hidroneumática, ya que por su capacidad de mantener la solución a presión no hace necesaria la activación de la bomba cada periodo de riego. La bomba hidroneumática adecuada es de ¼ de HP sin importar la marca aunque se recomienda una marca “Pedrollo” por su alta calidad.

El dispositivo encargado de controlar el flujo de la solución nutritiva será una electroválvula con las mismas especificaciones del módulo generador de solución nutritiva debido a que su funcionamiento sigue siendo adecuado.



Figura 4.3.2.6 Electroválvula

La **Función Controlar Temperatura** resuelve la siguiente necesidad: mantener la temperatura óptima para el crecimiento del cultivo seleccionado.

La **Función Controlar Iluminación** resuelve la siguiente necesidad: proporcionar la iluminación adecuada para que la plántula pueda realizar la fotosíntesis.

La **Función Controlar Ventilación** resuelve las siguientes necesidades: mantener la temperatura homogénea y oxigenar el aire.

Las técnicas más utilizadas para proporcionar calor a las plántulas son: Por gas, por resistencias o con calentadores solares. En las opciones de gas y calentadores solares se requiere agregar más infraestructura al módulo germinador, así que se opta por una variante de calentamiento por resistencia. Esta consiste en **utilizar las lámparas que proporcionan luz a las plántulas como fuentes de calor.**

Las lámparas ideales para la germinación son las lámparas HID (High Intensity Discharge) **Metal Halid**, ya que estas emiten luz en la longitud de onda del espectro azul, y en esta es la longitud de onda necesaria en esta etapa de desarrollo. El modelo recomendado es el OSRAM SYLVANIA METALARC®. Esta lámpara tiene un costo de \$1600 para una potencia de 250Wattsy solo se consigue bajo pedido en México por lo que de manera provisional se sustituye por una lámpara OSRAM de 300W convencional con un precio que oscila en \$120, sin embargo, está muy lejos de dar la calidad deseada de luz pero ha probado tener resultados satisfactorios en las pruebas.

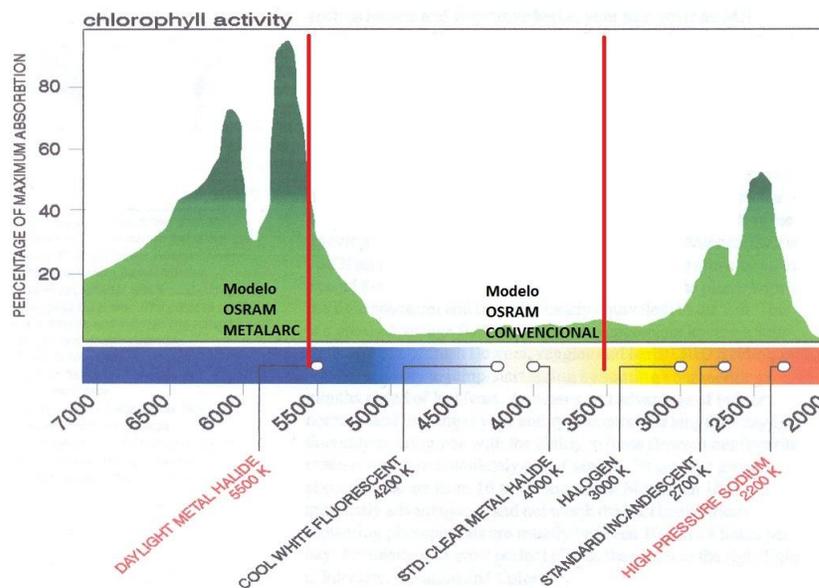


Figura 4.3.2.7 Espectro de Absorción

El Sistema de Iluminación, control de temperatura y control de ventilación se encuentran integrados; el calor generado por los focos será el encargado de calentar el ambiente para dejarlo en condiciones óptimas. Si es necesario disminuir la temperatura se activan ventiladores que recirculan el aire dentro y fuera del módulo germinador así como también aumenta la frecuencia del riego.

La fuente de luz, que se compone de **dos focos OSRAM de 300 Watts separados a una distancia de 40cm**, se encuentran a una longitud de 19 cm del semillero; a esta distancia se necesita una potencia de 50W para iluminar la zona del semillero apropiadamente, un aumento en la potencia hará que haya un incremento en la intensidad luminosa la cual no será aprovechada por la plántula, sin embargo, si se aprovechará para mantener la temperatura. Los focos se mantienen funcionando de manera permanente a un mínimo de 25W cada uno, con la finalidad de generar 50W en total, para que puedan proporcionar la luz necesaria, si la temperatura disminuye, entonces el controlador incrementará la potencia utilizada por los focos para regular la temperatura.

Se implementa un dispositivo de recirculación de aire para homogeneizar la temperatura en el semillero. Se encuentran distribuidos dos ventiladores en la parte superior que desplazan el aire hacia abajo para crear turbulencia, otro se encuentra en la parte frontal y se encarga de introducir aire al módulo y otro en la parte posterior encargado de extraer aire del módulo.

Se utilizan ventiladores con potencia de 12W, los cuales son suficientes para lograr la recirculación del aire. **En este caso se utilizan ventiladores de 12VCD y 1 Amper tipo fuente de PC.**

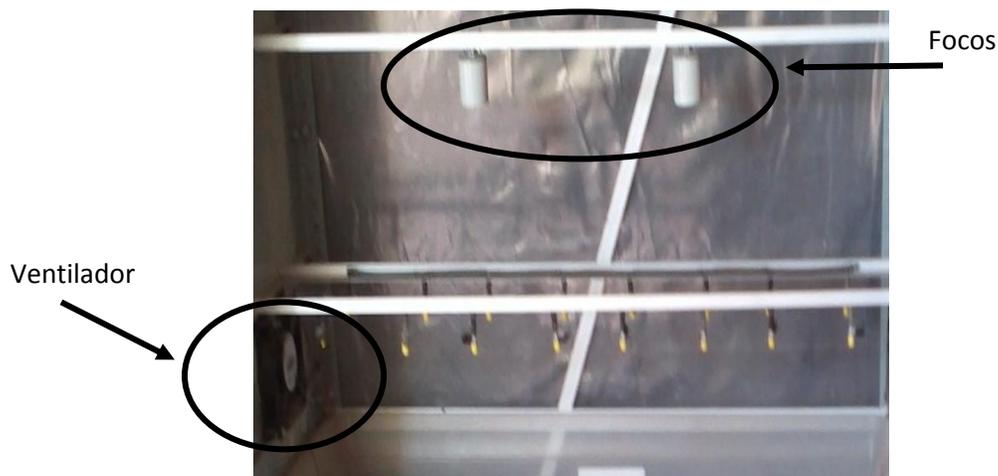


Figura 4.3.2.8 Ventilador y focos utilizados.

Un sistema de control de temperatura on-off puede llegar a ser suficiente, sin embargo, se producen oscilaciones que pueden mermar el desarrollo óptimo de la plántula. Un tipo de control que puede evitar dichas oscilaciones es el llamado control PID que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional determina la reacción del error actual, el Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplica un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se tiende a cero y el Derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso vía un elemento de control como la posición de una válvula de control o la energía suministrada a un calentador por ejemplo.

El control PID puede implementarse fácilmente en un microcontrolador siguiendo el algoritmo mostrado en la figura siguiente:

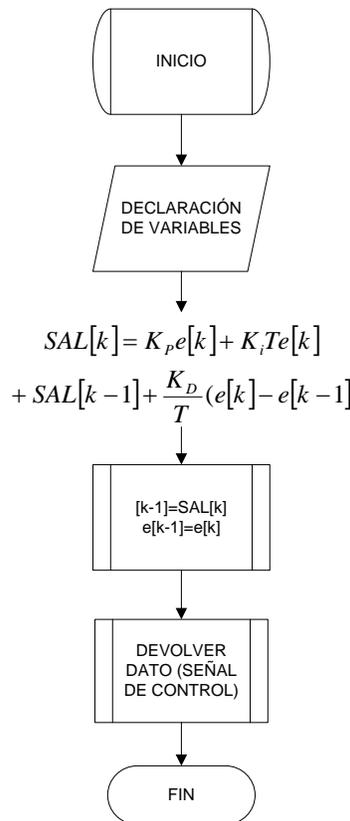


Figura 4.3.2.9 Algoritmo de control PID (Ogata)

Para medir la variable temperatura se selecciona el modelo HHT02D de la marca Hoperf Electronics que es capaz de medir esta variable y además la humedad relativa, lo cual nos da un “plus” en el monitoreo de las variables y no es necesario agregar circuitería externa para acoplar los niveles de voltaje a niveles óptimos para el microcontrolador, puesto que la salida es por un protocolo similar al I2C y opera de 3 a 5 volts. Su precio al menudeo es de \$200 pesos.

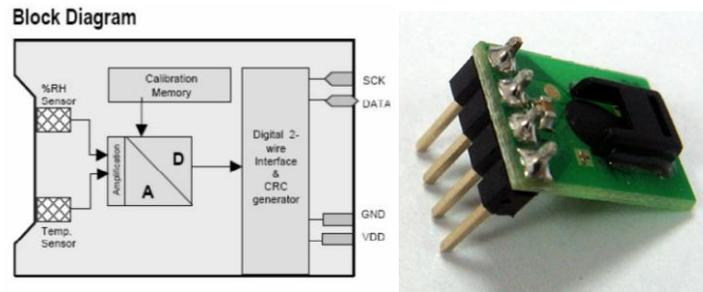


Figura 4.3.2.10 Esquema de funcionamiento y sensor HHT02D

Para tener un control más eficiente de las variables y el estado de los actuadores se agregó la opción de que estos pudieran ser monitoreados a distancia y para lograrlo se agregó un módulo de comunicación inalámbrica basada en los componentes LAIPAC TLP434A (transmisor) y el LAIPAC RLP434A que se comunican utilizando el protocolo RS-232.

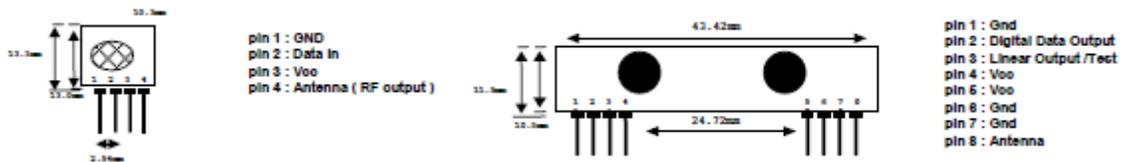


Figura 4.3.2.11 Patillaje de módulos inalámbricos

## CONTROL

El esquema general de la tarjeta de control para este módulo se muestra en la figura siguiente:

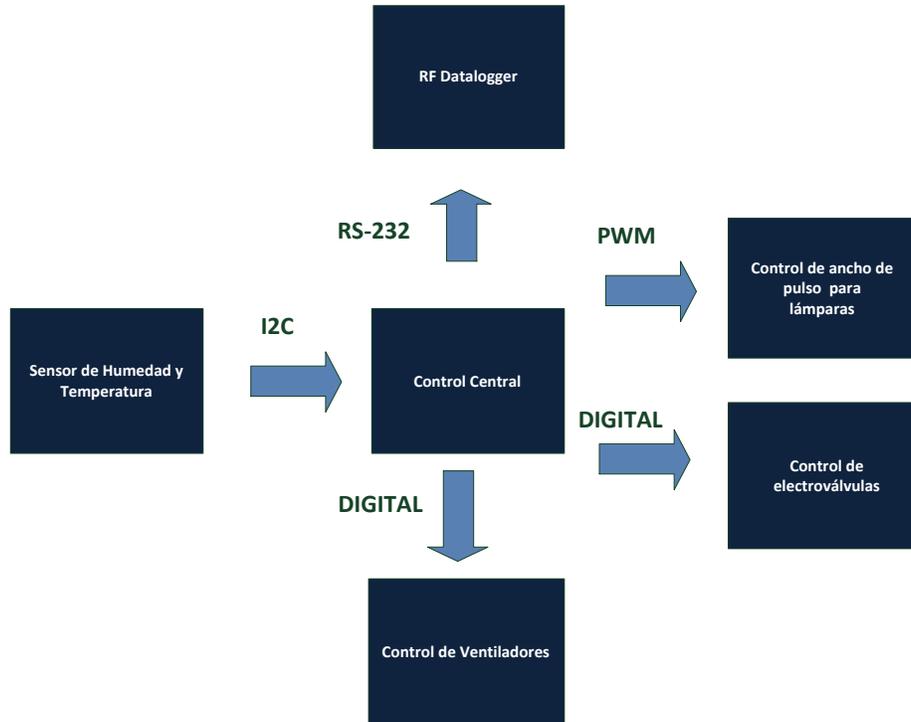


Figura 4.3.2.12 Esquema general de tarjeta de control del Módulo Germinador del Plántula.

Para simplificar la programación del microcontrolador las tareas se dividieron en subrutinas como se muestra a continuación en el diagrama de flujo:

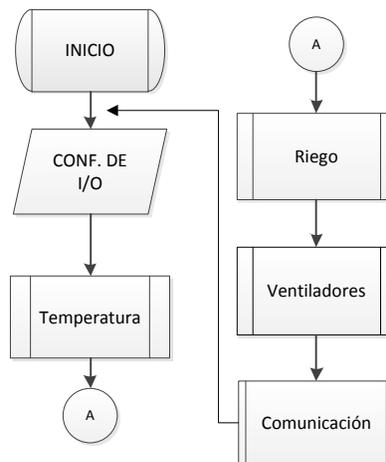


Figura 4.3.2.13 Diagrama de flujo principal del Módulo Germinador del Plántula.

La base de tiempo se logró utilizando la interrupción por desbordamiento del T0.

*Subrutina de temperatura:* Esta subrutina es la encargada de implementar el control PID de temperatura, su diagrama de flujo se muestra a continuación:

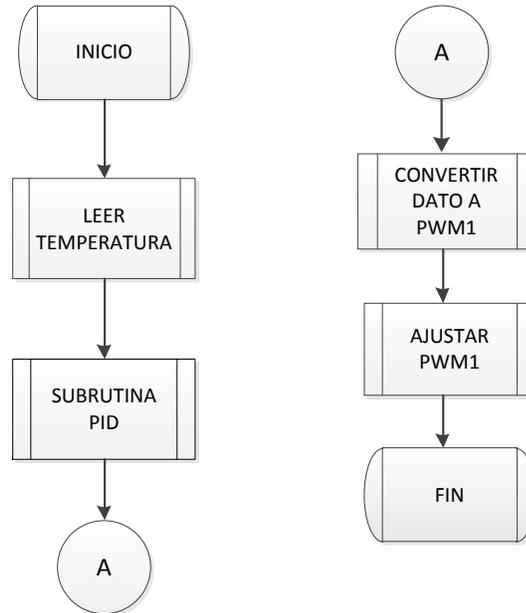


Figura 4.3.2.14 Diagrama de flujo de la subrutina “Temperatura” del Módulo Germinador del Plántula.



Figura 4.3.2.15 Pantalla de prueba de sensor de Temperatura Relativa en LabView

*Circuito Electrónico de actuación:* para controlar la potencia de las cargas de CA se utilizan generalmente las técnicas de control de fase, sin embargo, con esta no alcanzaríamos niveles óptimos de resolución. Para solucionar esto y aprovechando que los focos son prácticamente cargas resistivas se diseñó el siguiente circuito:

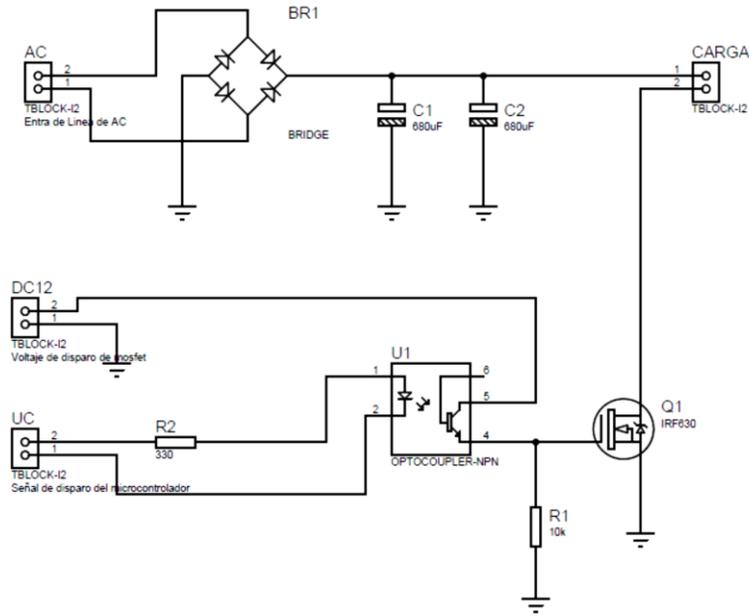


Figura 4.3.2.15 a)



Figura 4.3.2.15 b)

Figura 4.3.2.16 Diagrama electrónico de potencia para control de lámparas  
 a) esquemático y b) físico.

*Subrutina de riego:* Esta subrutina se encarga de cronometrar los periodos de riego, que es de 5 segundos cada 15 min., y activar la electroválvula, el diagrama de flujo que la representa se muestra a continuación:

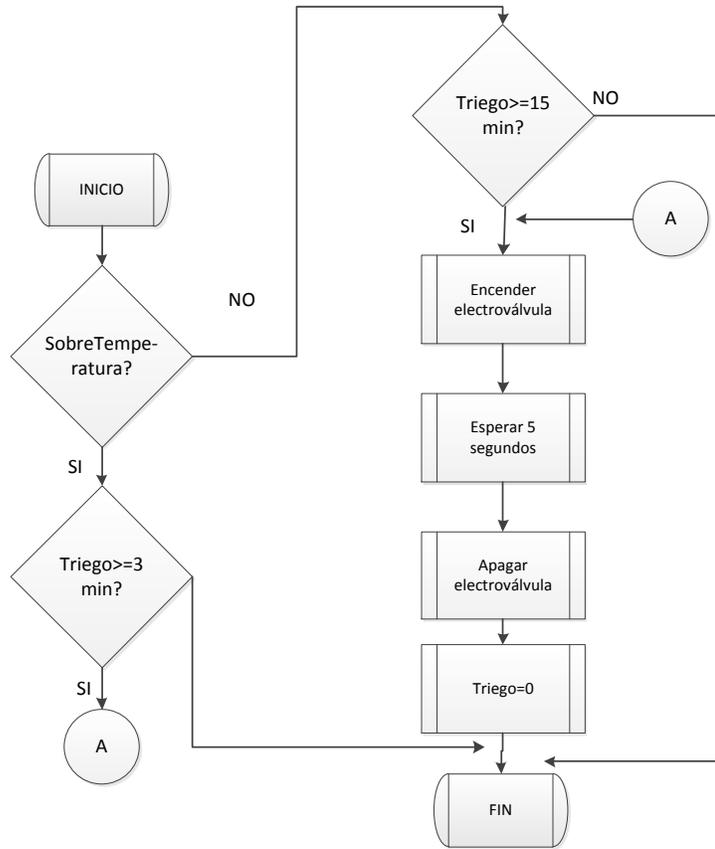


Figura 4.3.2.17 Diagrama de flujo de la subrutina “Riego” del Módulo Germinador del Plántula.

*Circuito Electrónico de actuación:* Solamente se requiere actuar la electroválvula por lo que se utiliza un relevador, que sirven para controlar carga de AC.

*Subrutina de ventiladores:* Esta subrutina se encarga de renovar el aire en la cámara del semillero cuando haya sobrecalentamiento:

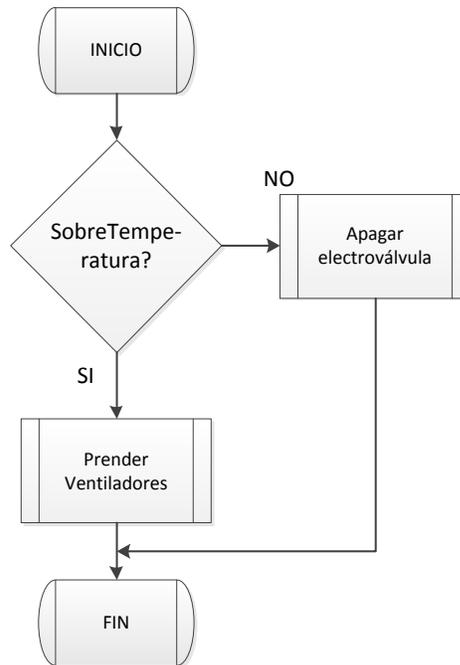


Figura 4.3.2.18 Diagrama de flujo de la subrutina “Ventiladores” del Módulo Germinador del Plántula.

*Subrutina de comunicación:* Esta subrutina se encarga de medir las variables y enviarlas al canal inalámbrico.

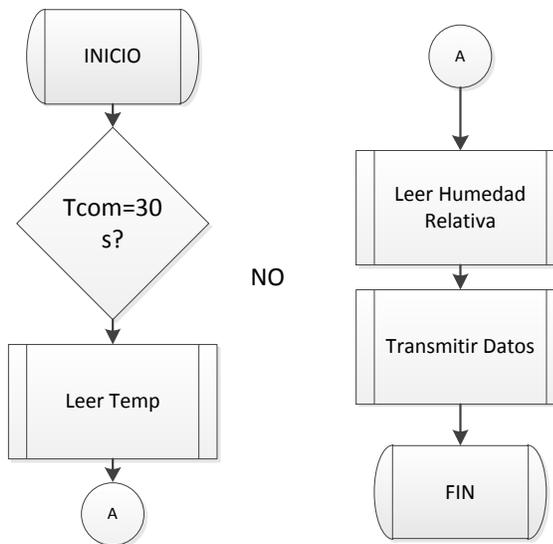


Figura 4.3.2.19 Diagrama de flujo de la subrutina “Comunicación” del Módulo Germinador del Plántula.

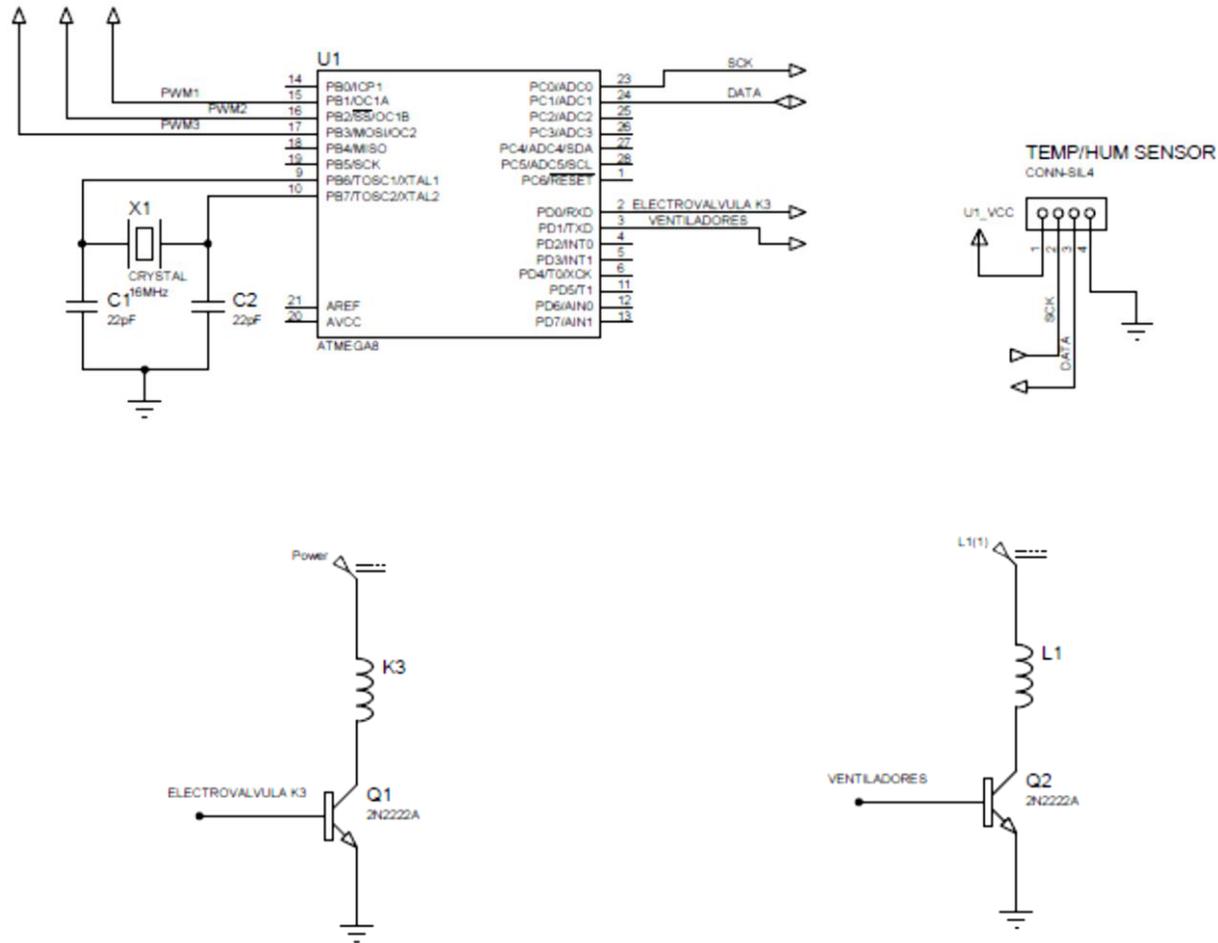


Figura 4.3.2.20 Diagrama Electrónico de control del módulo germinador de plántula.

Para lograr **Proteger del medio ambiente** a las plantas y al equipo se identificó la necesidad de construir una estructura cubierta que de soporte al semillero y a los sistemas de control de temperatura, iluminación, ventilación y aspersión.

La estructura está fabricada con lámina perforada para estantería de 1.5” calibre 18 y está cubierta con una capa de polietileno para retener el calor y esté a su vez cubierto con malla sombra para evitar sobrecalentamiento, cuenta con un sistema de aspersores, sistema de control de temperatura, sistema de iluminación y un recipiente para colocar el semillero; se encuentra distribuido como se muestra en la figura siguiente:



Figura 4.3.2.21 Estructura básica de módulo germinador de plántula.

Para ahorrar espacio, el modelo implementado está construido de manera vertical con 3 niveles como la siguiente figura:

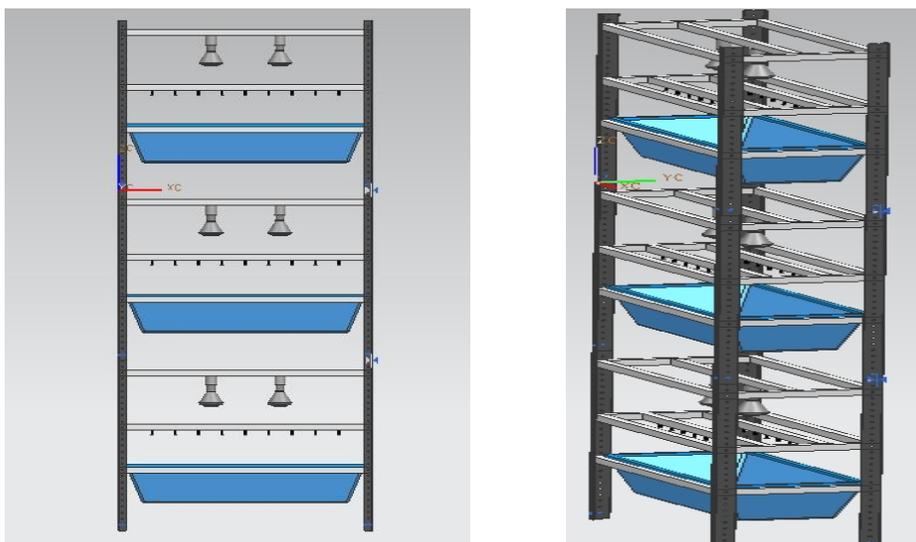


Figura 4.3.2.22 Estructura triple de módulo germinador de plántula.

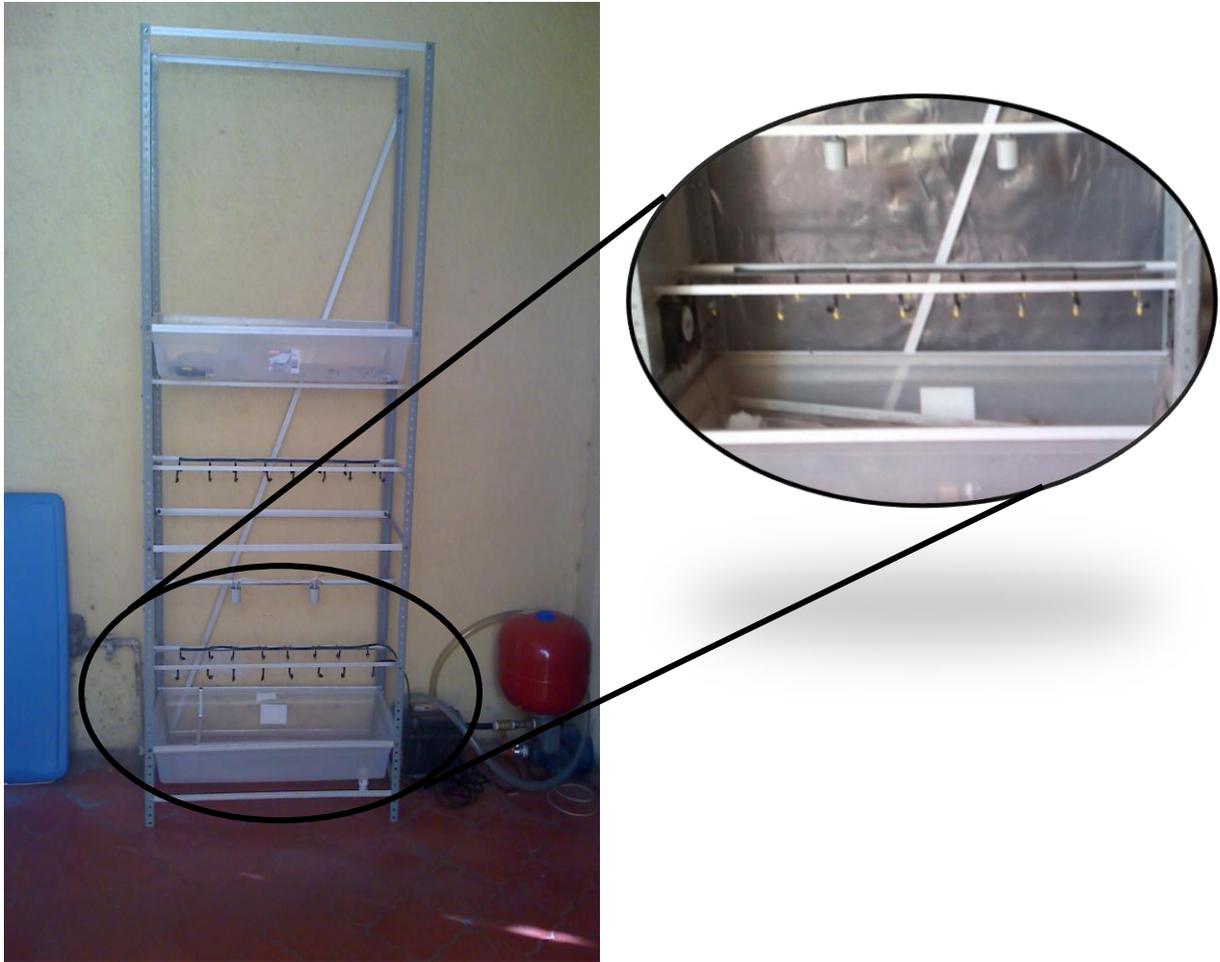


Figura 4.3.2.23 Estructura real del módulo germinador.

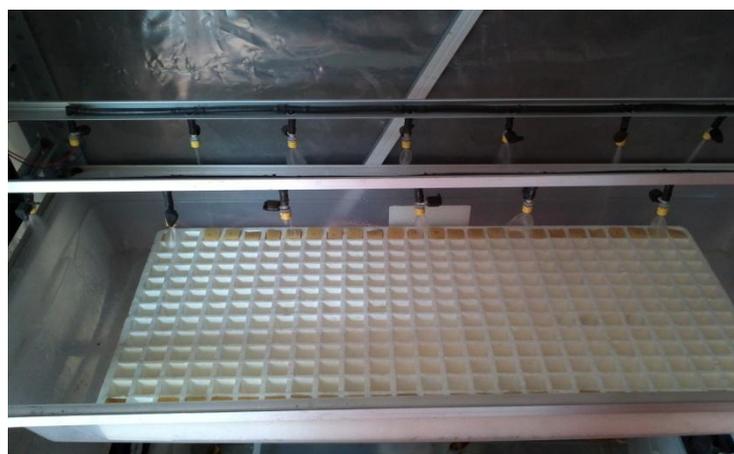


Figura 4.3.2.24 Vista interna del módulo semillero

### 4.3.3 Diseño del Módulo Generador de Neblina Nutritiva

Este módulo es el encargado de desarrollar la planta hasta niveles de producción; utilizando la plántula entregada por el germinador, y la solución nutritiva entregada por el generador de solución de neblina nutritiva. El objetivo de este módulo es mantener las raíces húmedas con la solución nutritiva para que éstas se puedan alimentar.



Figura 4.3.3.1 Diagrama General del Módulo Generador de Neblina Nutritiva.

La neblina nutritiva, debe tener las características apropiadas para el cultivo, por lo cual este módulo debe resolver las siguientes necesidades:

- Suministrar solución nutritiva a la planta en forma de Neblina.
- Regar frecuentemente.
- Mantener húmedo el ambiente.

Los requerimientos del diseño permiten identificar las siguientes especificaciones:

- Nebulizar la solución Nutritivas en partículas menores a 100  $\mu$
- Humedad relativa entre el 50 y 70%.

Si bien mantener estos parámetros es muy importante para un buen desarrollo de la planta podemos tener tolerancias de +- 10%.

Con estas necesidades se identifican las siguientes funciones:

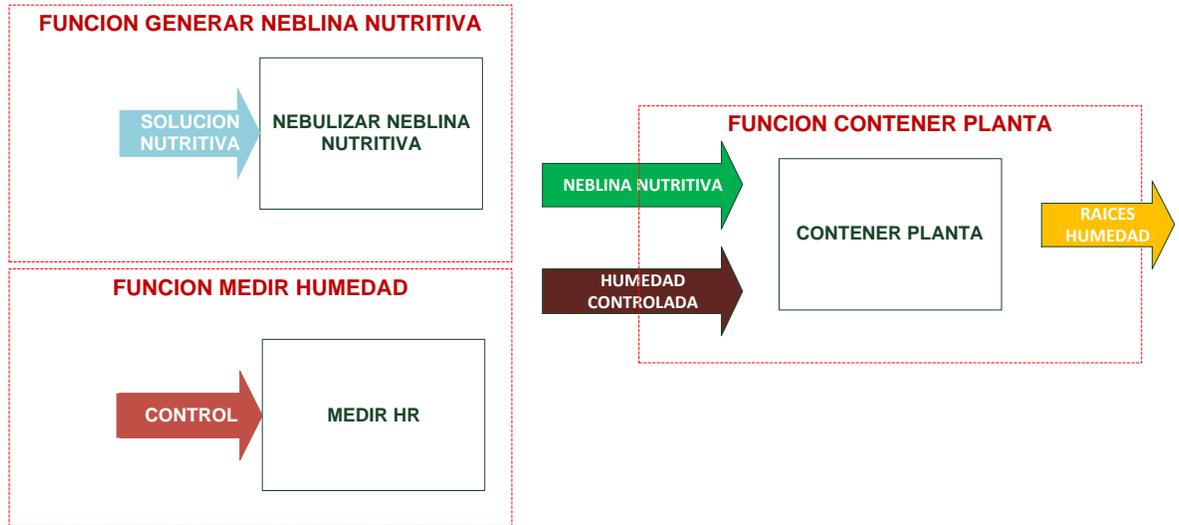


Figura 4.3.3.2 Diagrama de Funciones del Módulo Generador de Neblina Nutritiva.

Si el periodo de riego se propone de cada 15 min y la duración de la nebulización de 5 segundos; la humedad relativa tendera a mantenerse dentro de los valores apropiados sin necesidad de un sistema de control de humedad, por lo que los bloques funcionales quedarían reducidos como se muestra en la siguiente figura. Sin embargo para esta aplicación se implementó el sensor de humedad relativa.

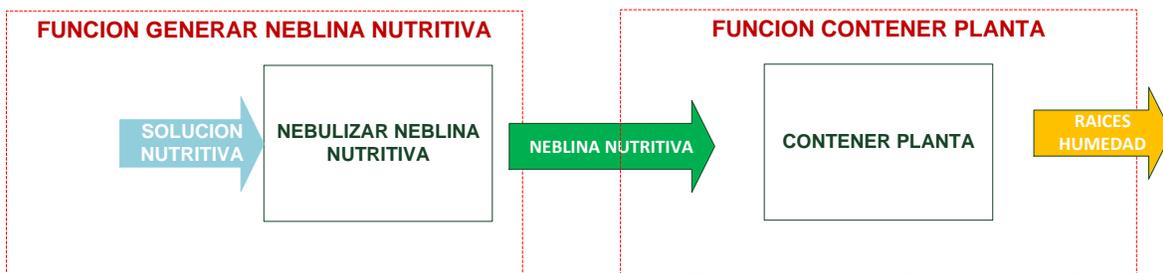


Figura 4.3.3.3 Diagrama de Funciones simplificado del Módulo Generador de Neblina Nutritiva.

La función **Generar Neblina** será la encargada de nebulizar la solución nutritiva para que esta pueda ser entregada a la raíz, con la característica de que las partículas que la componen deben tener el tamaño más pequeño posible para una mejor absorción de la raíz. A la fecha, el método comercial más utilizado para lograr esta nebulización es un sistema hidráulico de alta presión, debido a que de manera mecánica es muy difícil obtener partículas demasiado pequeñas (que sería lo ideal); se optó por buscar un método alternativo.

Existen distintas técnicas para generar neblina como lo son: evaporación capilar, presurización, aspersión, calentamiento, choque térmico y ultrasonido.

Siendo la más conveniente para esta aplicación el sistema de aspersión, debido a que los actuadores se pueden encontrar con relativa facilidad dentro del mercado mexicano; y la partícula de la neblina generada por estos actuadores es de 80; por lo cual entra dentro de las especificaciones.

Se eligió un aspersor para neblina modelo **FOGGER** de la marca **NAANDAN IRRIGATION** que tiene las siguientes características:

- Presión de trabajo: 40-70 psi
- Caudal: 28 litros/hora
- Atomización: 55  $\mu$

Y tiene un precio que oscila entre los 50 y 100 pesos mexicanos; la bomba hidroneumática tiene las mismas características que la elegida para los sistemas anteriormente mencionado.



Figura 4.3.3.4 Aspersor FOGGER

Si bien ya no se requiere un control de humedad se implementó uno para monitorear los parámetros de humedad en la etapa de prototipo y así comprobar que con el periodo de riego expuesto anterior mente es suficiente para mantener la humedad adecuada en las plantas. Para esto, se implementó el sensor anteriormente mencionado que es capaz de medir humedad y temperatura.

A continuación se muestra los diagramas neumático y eléctrico que realizan esta función:

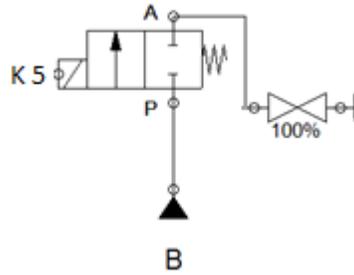


Figura 4.3.3.5 Diagrama Electrohidráulico del Módulo Generador de Neblina Nutritiva.

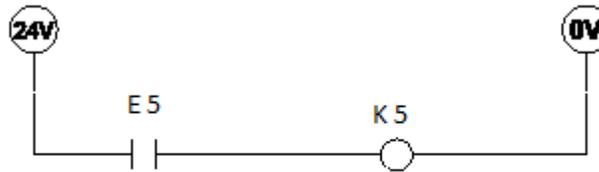


Figura 4.3.3.6 Diagrama Eléctrico de Potencia del Módulo Germinador del Plántula

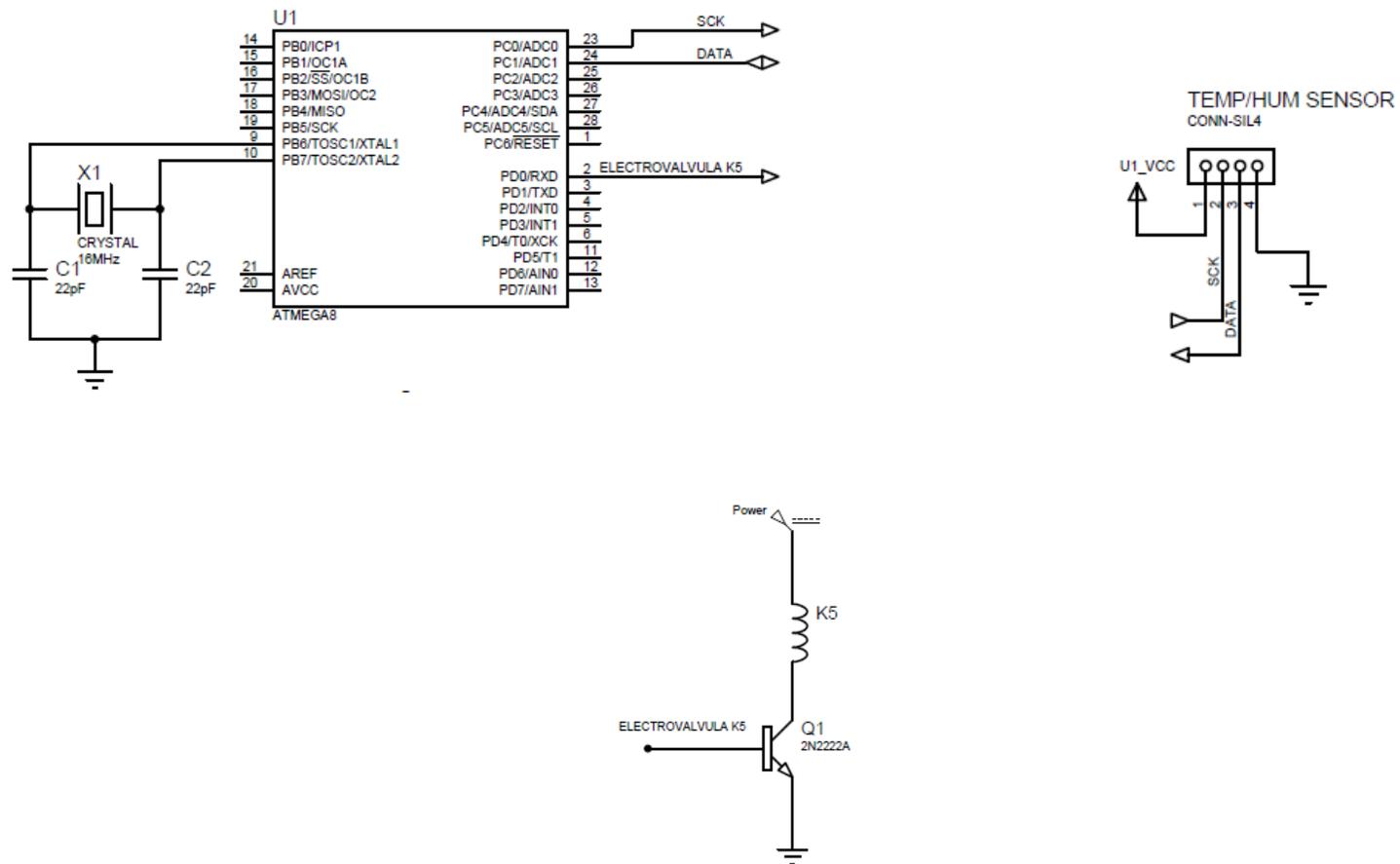


Figura 4.3.3.7 Diagrama Electrónico de control del módulo germinador de plántula.

Debido a que el sistema de control es modular, a continuación se muestra el diagrama de flujo para este módulo:

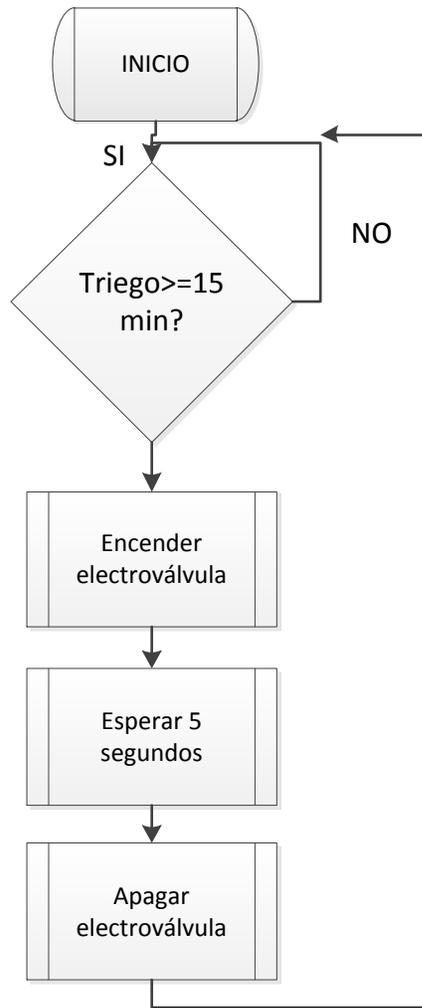


Figura 4.3.3.8 Diagrama de Flujo del Módulo Generador de Neblina Nutritiva.



Figura 4.3.3.9 Generador de Neblina Nutritiva.

La función **Contener Planta** será la encargada de dar soporte a la plántula y al sistema de aspersión, la cual consiste en un contenedor rectangular de 1 cm por 50 cm (similar a una hielera) con 2 hileras de 3 perforaciones a 30 distancia entre cada perforación; que darán soporte a la plántula y una más en el centro para posicionar el aspersor.

Se recomienda utilizar un recipiente rectangular de 31 galones de color oscuro mate para evitar exponer las raíces a la luz y así evitar la destrucción de la raíz, como se muestra en la siguiente imagen:

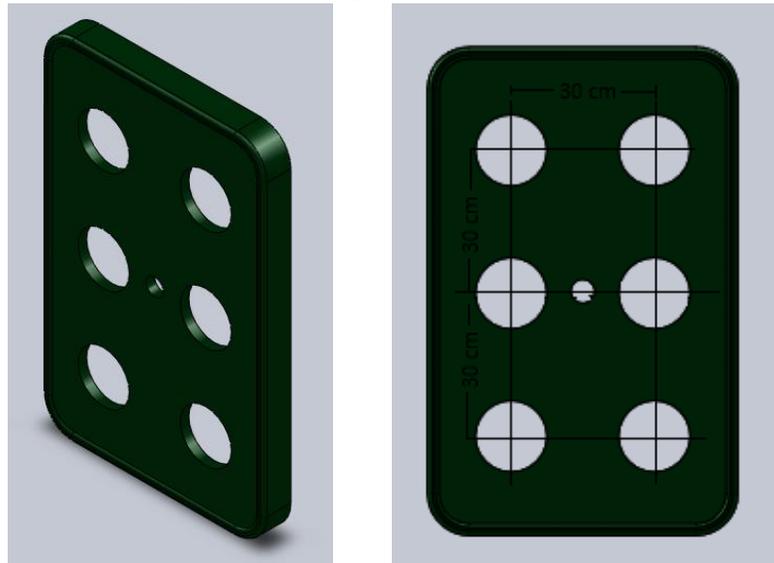


Figura 4.3.3.9 Medidas para los orificios que contendrán las plántulas.

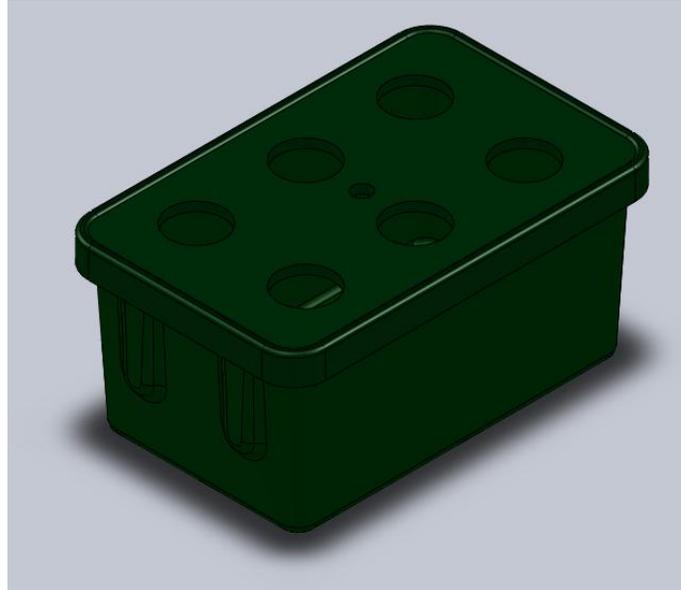


Figura 4.3.3.10 Caja contenedora.



Figura 4.3.3.11 Caja contenedora.

#### 4.4 Técnica alternativa para general neblina nutritiva

Cabe recordar que mientras más pequeña es la partícula de la nebulización, mejor será la absorción de ésta por la raíz, como se mencionó en el capítulo 3 (Antecedentes), existen dos vertientes en la técnica aeropónica en la forma de generar neblina nutritiva: una es por medios mecánicos, descrita en el capítulo anterior (aspersores especiales), y otra por medio de ondas ultrasónicas.

Esté método consiste en aplicar ondas sonoras de alta frecuencia en rangos mayores a las 18,000 vibraciones por segundo (18 kHz), las cuales son usadas como fuente de energía vibratoria. Si estas ondas son de alta potencia aumentan los cambios físicos y químicos en un medio líquido a través de la generación y subsecuente destrucción de burbujas de cavitación.

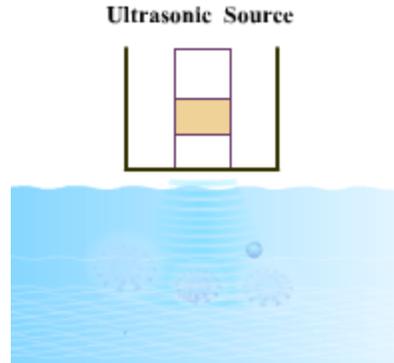


Figura 4.4.1 Onda sonoras de ultra frecuencia aplicadas en agua.

Los principales actuadores para este tipo de aplicaciones son los llamados “osciladores piezoeléctrico” que en la mayoría de las aplicaciones se encuentran en contacto directo con la solución a humidificar.

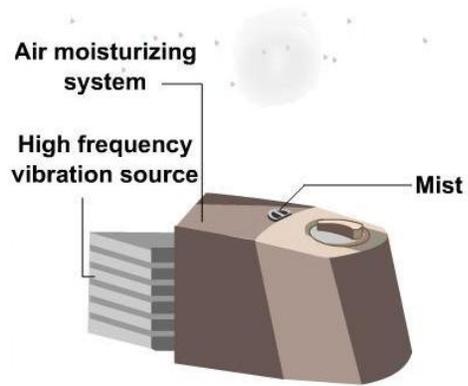


Figura 4.4.2 Principio de funcionamiento de ultrasonido.

El elemento activo en la mayoría de los dispositivos y transductores ultrasónicos es un elemento piezoeléctrico, que puede pertenecer a uno de estos grupos: cristales de cuarzo, hidrosolubles, monocristales, semiconductores piezoeléctricos, cerámicas piezoeléctricas, polímeros y compuestos piezoeléctricos. Las cerámicas piezoeléctricas pertenecen al grupo que da mayor flexibilidad de formato y de propiedades, siendo ellas ampliamente utilizadas en la fabricación de equipos industriales, específicamente en sistemas de limpieza, equipos de soldadura por ultrasonido, para ensayos no destructivos y generación de ondas ultrasónicas.

Los materiales piezoeléctricos de alto rendimiento empleados en la actualidad están formados por cristales formados de manera especial y con una composición mixta, conocidos como "soluciones sólidas", difíciles de estudiar y de costosa fabricación.

Debido a la falta de información en la aplicación de ondas ultrasónicas para la generación de neblina nutritiva, no se contaba con la certeza de que este método fuera eficiente, es decir, se temía que las sales contenidas en la solución nutritiva se sedimentaran mientras ocurría la evaporación.

Para probar el principio se realizaron los siguientes experimentos:

### **Experimentación**

Para los experimentos se utilizó el modulo "Generador electrónico de niebla y humedad por ultrasonido", dicho modulo soluciones en humidificación consta del actuador piezoeléctrico, que es el encargado de oscilar y una fuente de poder (que es la encargada de entregar la señal al actuador).

#### *"Humidificar solución salina por ultrasonido"*

Objetivo: Verificar la transportación de sales a través de la neblina.

Material:

- Actuador Piezoeléctrico
- Módulo de potencia
- Fuente de poder
- Solución salina al 10%
- Tela oscura de 3 mm de grosor



Figura 4.4.3 Actuador piezoeléctrico.



Figura 4.4.4 Módulo de potencia comercial para actuador piezoeléctrico.



Figura 4.4.5 Modulo “Generador electrónico de niebla y humedad por ultrasonido”



Figura 4.4.6 Tela negra para experimento.

El primer experimento se realizó humidificando agua natural para comprobar el funcionamiento del equipo, el cual comenzó a burbujear y a hacer una nube de agua.



Figura 4.4.7 Funcionamiento con agua natural del dispositivo.

Posterior a esta prueba se prosiguió a crear la solución salina: agregar 5 gr de sal a un litro de agua y disolver; esta solución se agregó al dispositivo humidificador, la neblina proveniente de este último experimento fue retenida por la tela, después de 5 minutos se retiró de la nube de vapor la maquina permaneció encendida hasta que se hubo terminado la solución salina que la alimentaba.

Resultados: Se observó que en el tanque de la solución había muy poca sal sedimentada (la que no se mezcló con el agua) y que el área que retenía la nube de vapor tenía un tono blanco y contenía sales en gran cantidad.



Figura 4.4.8 Resultado de la nebulización con sales.

Conclusión de la experimentación: Este experimento nos lleva a concluir que una solución saturada tiene una sedimentación mínima y que las partículas de esta solución pueden transportarse eficientemente a través de la neblina por lo tanto se concluye que es un método eficiente para generar la neblina nutritiva, y por las características del actuados el tamaño de las partículas es menor a 10 micrones lo cual garantiza una mejor absorción de minerales por la planta debido a que la partícula es muy pequeña es más fácil que sea absorbida por los poros de la planta.



Figura 4.4.9 Resultado de la nebulización con sales visible en la tela negra.

Si bien los resultados obtenidos de los experimentos fueron satisfactorios debido a que no necesita una gran potencia para generar una neblina fina; y el tamaño de las partículas es de alrededor de 10 micrómetros, no es fácil su implementación; esto debido a la complejidad de sus características técnicas (procesador más rápido al que se viene utilizando en módulos descritos en el capítulo de diseño para generar una frecuencia de oscilación lo suficientemente alta para que opere adecuadamente el actuador y los interruptores y disparadores de interruptores no se consiguen tan fácilmente) y a que es difícil encontrarlos comercialmente, aunado a estola inversión para su implementación en grandes volúmenes es mayor que en el método propuesto en este proyecto. Debido a estas dificultades para los dispositivos piezoeléctricos, se trató de diseñar un módulo de potencia con dispositivos fáciles de encontrar en el mercado mexicano pero no se tuvieron los resultados esperados.



Figura 4.4.11 Circuito físico para oscilación de piezoeléctrico.

Si bien este circuito nos dio los resultados esperados, el circuito recomendado por algunos autores es el mostrado a continuación, el cual está comprobado que funciona.

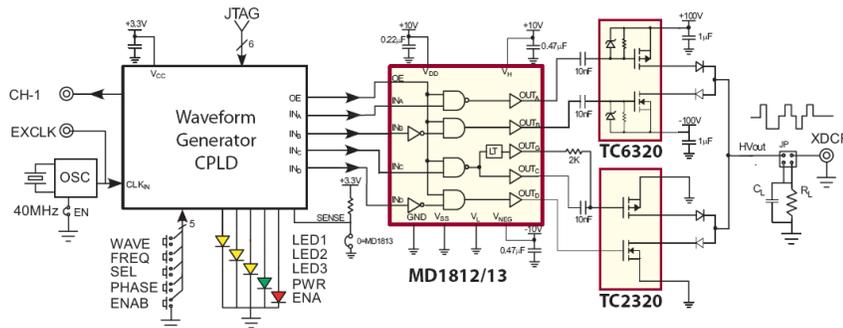


Figura 4.4.10 Circuito para oscilación de piezoeléctrico.

# Capítulo 5

## “Conclusiones”



## 5 Conclusiones

La conclusión a la que se llega con este proyecto es que se puede implementar un sistema de riego hidropónico automatizado con tecnología no cara y de fácil acceso en México y probablemente en Latinoamérica, esto debido a que los componentes propuestos en el diseño, para la parte electrónica e hidráulica, son de fácil implementación y adquisición.

- Módulo Generador de Solución nutritiva, el cual consta de (detallado en capítulo anterior):
  - Sistema hidráulico: Bombas, mangueras, electroválvulas
  - Sistema electrónico: Microcontrolador, relevadores, electroválvulas, motor, compresor, sensores de ultrasónicos.
  - Sistema mecánico: Contenedores, tornillo sin fin.
  
- Germinador de plántula, el cual consta de (detallado en capítulo anterior):
  - Sistema electrónico: Microcontrolador, focos, relevadores, electroválvulas, sensores de temperatura, sensor de humedad.
  - Sistema hidráulico: Aspersores, tubería, mangueras, bomba hidroneumática.
  - Estructura.
  
- Módulo Generador de Neblina Nutritiva el cual consta de (detallado en capítulo anterior):
  - Sistema electrónico: Sensores, electroválvulas y Microcontrolador.
  - Sistema Hidráulico: Aspersor, bomba hidroneumática, tuberías, mangueras.

Para la implementación de los tres módulos el tiempo aproximado es de una semana, esto sin tomar en cuenta el tiempo de entrega de los componentes. Una persona con conocimientos básicos en hidráulica y neumática puede realizar la instalación, pero se necesitara una persona con conocimientos en programación de Microcontroladores para programar cada módulo.

Si bien esta propuesta de diseño es para baja producción o huertos familiares, es fácilmente escalable para fines comerciales y de alta producción, para lo cual los componentes hidráulicos y mecánicos cambiarían pero los componentes electrónicos permanecerían siendo prácticamente los mismos; tan solo siendo necesario ajustar sus parámetros de funcionamiento.

Se encontró que la partícula producida mediante el ultrasonido es más pequeña y que por lo tanto tiene una mayor absorción por la planta, lo que aumenta su eficiencia en el tiempo de producción. Se cree que el tamaño de la partícula tiene un límite mínimo para absorción pero esto aun no está 100% comprobado por lo que se necesita seguir investigando es esta técnica.

En la actualidad el campo sigue siendo una de las principales áreas de oportunidad para mejorar sus procesos, la implementación de técnicas hidropónicas es una de las respuestas a estas áreas, incluso actualmente a niveles gubernamentales se está apoyando la implementación de este tipo de proyectos.

Esta tecnología ha incrementado su aplicación que ha saltado de ser para fines productivos a ser también para ornamental y de entretenimiento, por lo que se espera que este proyecto ayude a popularizar aún más esta técnica, y de la pauta para seguir investigando la humidificación por ultrasonido con aplicaciones para la aeroponía, así como también ayude a disminuir los costos de implementación y tal vez ayude a mejorar la nutrición de quien la practique.

## 6. Bibliografía

- Samperio Ruiz, G. (2007). Hidroponia Básica. 10 ed. Editorial: Diana.
- Samperio Ruiz, G. (1999). Hidroponia Comercial. 1ra ed. Editorial: Diana, México.
- Samperio Ruiz, G. (2004) .Un paso más en la hidroponia.1ra ed. Editorial: Diana. México.
- Keith, R. (2003). How to Hydroponics. 4ta Ed.
- Johnson A. Asumadu, Boris Smith, Numan S. Dogan (1996). Microprocessor-Based Instrument for hydroponics growth chambers used in ecological life support systems.
- Yasushi Hashimoto, Haruhiko Murase, Tetsuo Morimoto and Toru Torii (2001). Intelligent systems for agriculture in Japan.
- Yang chenzhong, Huang yinchun, Zheng weihong (2004). Research of Hydroponics Nutrient - Solution Control Technology.
- G.K. Banerjee, Rahul Singhal (2010) .Microcontroller based Polyhouse Automation Controller.
- Teemu Ahonen, Reino Virrankoski and Mohammed Elmusrati (2008). Greenhouse monitoring with Wireless Sensor Network.
- Junlong Fang, Fulu Wang (2011). Design of greenhouse remote monitoring system based on Labview.
- Zhiwei Zhang (2011) .Design of Greenhouse Monitoring System Based on Sigsbee.
- Wu Li, Liang Zhujun, Zhang Chunfeng (2010). Research and Application of the Fuzzy Control Used in the Wireless Illumination Measurement and Control System of the Greenhouse.
- A.Yardimci (2011). Microcontroller based Jet Nebulizer Design with ANFIS Compressor Control for Domiciliary use.
- S. C. Shen, S. N. Lioul, Y. R. Wang, C. P. Chien, Y. C. Chen, C. S. Yen, I. K. Pan', C. J. Lee, C. W. Yang and M. R. Wang ( 2004 ) . The Design and Manufacturing of New Micro Nebulizer
- Minoru Kurosawa, Akira Futami, and Toshiro Higuchi (1997). Characteristics of Liquids AtomizationUsing Surface Acoustic Wave.
- Gennadiy V. Leonov, Ekatherina I. Savina (2006). Modeling of Cavitation, Initiated by Ultrasonic Oscillators.