

**GENERALIDADES PARA EL DISEÑO DE UN CUARTO PARA CRECIMIENTO  
VEGETAL**

Presentado por:

**Federico Johnson Navarro. est. mvz**

**Alejandro Olarte Tabón. est. mvz**

Asesor:

**Gregory Mejía Sandoval**

Facultad:

**MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA UNIVERSIDAD CES**

Medellín, Septiembre de 2013

**GENERALIDADES PARA EL DISEÑO DE UN CUARTO PARA CRECIMIENTO  
VEGETAL**

Presentado por:

**Federico Johnson Navarro. est. mvz**

**Alejandro Olarte Tobon. est. mvz**

Asesor:

**Gregory Mejía Sandoval**

Facultad:

**MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA UNIVERSIDAD CES**

Título al que se aspira:

**Médico Veterinario y Zootecnista**

Medellín, Septiembre de 2013

## INDICE DE CONTENIDO

1. FORMULACION DEL PROBLEMA
  - 1.1 Identificación del problema.
  - 1.2 Justificación de la propuesta.
- 2 MARCO TEORICO
  - 2.1 Aislamiento del cuarto para mantener las condiciones ambientales estables.
    - 2.1.1 Valor R.
    - 2.1.2 Calculo de la carga de calor.
  - 2.2 Temperatura en el crecimiento vegetal.
    - 2.2.1 Efecto de la temperatura sobre las plantas.
    - 2.2.2 Sistema de aire acondicionado.
      - 2.2.2.1 Sistema Split.
      - 2.2.2.2 Sistema multisplit.
      - 2.2.2.3 Sistema Split sin unidad exterior.
      - 2.2.2.4 Sistemas portátiles.
      - 2.2.2.5 Sistema de ventana.
      - 2.2.2.6 Sistema de conductos.
    - 2.2.3 Calculo de la potencia necesaria para un cuarto de cultivo.
    - 2.2.4 Consumo de un acondicionador de aire.
  - 2.3 Humedad relativa en el crecimiento vegetal.
  - 2.4 Dióxido de carbono (CO ).
    - 2.4.1 Como controlar la temperatura, la humedad y la cantidad de CO .
  - 2.5 Luz.
    - 2.5.1 Lámparas incandescentes.
    - 2.5.2 Tubos fluorescentes o lámparas de bajo consumo.
    - 2.5.3 Lámparas de sodio de alta presión.
    - 2.5.4 Lámparas rojas, azules y mixtas.
- 3 HIPOTESIS
- 4 OBJETIVOS
  - 4.1 Objetivo general.
  - 4.2 Objetivos específicos.
- 5 METODOLOGIA

## 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Deshumidificador.

#### 6.1.1 Funcionamiento.

### 6.2 Aire acondicionado.

### 6.3 Termohigrometro.

### 6.4 Luces.

### 6.5 Generador de CO<sub>2</sub>.

### 6.6 Medidor de concentración de CO<sub>2</sub>.

### 6.7 Material de construcción.

## 7 CONCLUSIONES

## 8 BIBLIOGRAFIA

## **RESUMEN**

Un cuarto de crecimiento vegetal controlado es un espacio en el cual se busca cultivar material vegetal simulando diferentes condiciones climáticas y ambientales, por medio de equipos encargados de modificar y controlar diferentes variables como la temperatura, humedad relativa, luminosidad y concentración de CO<sub>2</sub>. Para lograr el control y manejo de las condiciones ambientales, se deben tener en cuenta aspectos importantes de infraestructura y equipos, y así poder modelar de la manera más precisa condiciones de cultivo de cualquier especie vegetal.

## **1. JUSTIFICACIÓN**

La universidad CES en su plan de desarrollo institucional 2011 . 2020, específicamente en el área de crecimiento institucional, ha trazado varias estrategias y una de ellas es la articulación de la investigación y la extensión en una unidad de Gestión del Conocimiento, buscando fortalecer el impacto de la actividad investigativa, la transferencia de conocimiento a la sociedad, generación de productos académicos, científicos y de beneficio económico para la Universidad.

Por tanto la construcción de los cuartos de crecimiento vegetal estaría aportando a la generación de espacios para la realización de investigación de alto impacto en el ámbito académico, científico y social, en donde a través de las carreras de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Química Farmacéutica y Biología se estarían diseñando y desarrollando diversos proyectos de modelación de cultivos vegetales de alta importancia en sistemas productivos agropecuarios, químicos, farmacéuticos y ecológicos, en ciencia básica y aplicada.

## 2. MARCO TEORICO

Los cuartos de crecimiento vegetal consisten en una unidad prácticamente hermética. Construida con materiales que tienen una buena capacidad de aislamiento térmico y con algún tipo de revestimiento sanitario para evitar contaminaciones. Además poseen un mecanismo capaz de controlar la intensidad de luz, la temperatura y humedad por períodos programables, *La clave del éxito en el cultivo de interior está en lograr un clima perfecto*<sup>(1, 2)</sup>. Son utilizados por la industria en procesos de producción y estandarización de cultivos vegetales, en investigación de desarrollo vegetal, para controles de calidad de germinado de semillas, en estudios de crecimiento bajo condiciones controladas y en diversos desarrollos vinculados a la biotecnología vegetal tanto en ciencia básica como aplicada<sup>(2)</sup>.

Cuando una planta se cultiva en interior son muchos los factores que hay que controlar, pero las variables más importantes son la luminosidad, temperatura, humedad relativa y concentración de CO<sub>2</sub>. Emulando así las diferentes condiciones climatológicas bajo las cuales se desea modelar un desarrollo vegetativo específico.

### 2.1 AISLAMIENTO DEL CUARTO PARA MANTENER LAS CONDICIONES AMBIENTALES ESTABLES.

La energía térmica siempre fluye desde los objetos cálidos a los fríos, y dependiendo del material de estos objetos se ofrecerá mayor o menor resistencia al paso de la energía. Por esta razón algunos materiales pueden ser utilizados como aislantes con muy buenos efectos para tal labor, generando una mayor resistencia del paso de la energía a través de ellos.

La selección del aislante adecuado es una de las características que, desde el punto de vista técnico y arquitectónico deben tomarse con mayor cuidado. Se debe elegir un material que no sea muy costoso, pero que si sea eficiente para

esta labor, relación costo/beneficio. Las características de estos materiales varían considerablemente, y su eficiencia para la conducción debe ser el criterio más importante en la elección seguido de su precio. Algunas características importantes a mencionar son el valor de resistencia **R**, su costo y su comportamiento en presencia de humedad <sup>(1)</sup>.

### **2.1.1 Valor R**

Es una medida de la resistencia que el aislante ofrece al movimiento de calor, este se denomina factor de resistencia o valor R. Se encuentra directamente asociado con el ancho del material aislante a utilizar, cuanto mayor sea este valor, mayor será la resistencia y mejor serán las propiedades del material como aislante. El valor R generalmente se expresa en pulgadas de ancho o en términos del ancho total del material y la resistencia total al flujo de calor en cualquier pared, es simplemente, la suma de las resistencias totales de los componentes individuales, es decir la suma de las resistencias de: los aislantes, de los pegantes, del cemento, de la madera, de la celulosa, entre otros <sup>(1)</sup> (ver tabla 1).

Incluso, algunas veces es importante considerar la resistencia de las capas de pintura. Así que será importante tomar la mejor combinación de estos materiales para obtener un óptimo valor económico de la estructura aislada. De los materiales comúnmente utilizados en cuartos de crecimiento vegetal, la celulosa es el de menor costo, seguido de las cubiertas rígidas, y finalmente, los materiales de rociado o aislantes líquidos; estos últimos presentan la ventaja de sellar completamente la estructura a cualquier posible filtración de agua o entradas y/o salidas de aire (ver figura 1).

**Tabla 1.** Valor de R <sup>(1)</sup>.

	Ancho: 1" del material	Ancho característico
<b>Cubiertas rígidas</b>		
Fibra de vidrio	3.50	
<b>Aislantes de capa delgada</b>		
Celulosa	3.50	
Fibra de vidrio o mineral	2.50-3.00	
Vermiculita	2.20	
Madera con pegantes	2.22	
<b>Aislantes rígidos</b>		
Poliestireno	5.00	
Tableros flexibles	4.55	
Poliestireno expandido		
Pequeñas piezas moldeadas	3.57	
Poliuretano	6.25	
Fibra de vidrio	4.00	
Polisociruanato	8.00	
<b>Aislantes inyectados o espumas</b>		
Formaldehido	4.20-5.50	
<b>Materiales de construcción</b>		
Concreto sólido	0.08	
Bloques de concreto (8")	1.11	
Bloques de ligeros concreto (8")	2.00	
Bloques de concreto con partes de Vermiculita	5.03	
Metal		<0.01
Tableros de madera (3/8")	1.25	0.47
Tableros de madera (1/2")	1.25	0.62

**Figura 1.** Materiales de construcción <sup>(1)</sup>.



## 2. 1.2 Cálculo de la carga de calor

La temperatura óptima del ambiente dentro del cuarto debe ser mantenida continuamente para obtener todos los beneficios que brinda el cuarto con ambiente controlado. Para asegurar que el cuarto está a la temperatura indicada, debe calcularse la capacidad de refrigeración requerida <sup>(1)</sup>.

Las entradas de calor provienen de los siguientes campos:

- Calor de conducción: Calor que entra por las paredes techo y piso aislados.
- Calor de campo: Calor extraído de los materiales que se encuentran dentro del cuarto para ser llevados a la temperatura ideal establecida.
- Calor de respiración: Calor generado por las plantas, que es el resultado de las reacciones naturales.
- Carga de servicio: También llamada carga mixta; es el calor producido por las luces, el equipo, las personas que ingresan y por el aire caliente y húmedo que entra cuando se realiza la apertura de puertas <sup>(1)</sup>.

## 2.2 LA TEMPERATURA EN EL CRECIMIENTO VEGETAL

Las plantas tienen la capacidad de sobrevivir en un rango muy amplio de temperaturas pero, para obtener un buen desarrollo, es necesario mantener el cuarto de cultivo cerca de los valores óptimos: entre 22 y 24° C con las luces encendidas. Por debajo de 20° las plantas crecen más lentamente y disminuye la capacidad de absorción de nutrientes. De otro lado, si las temperaturas son superiores a 25° las plantas necesitan dedicar más energía a mantenerse frescas y disminuirá su desarrollo vegetativo; por encima de 31° C la planta se estresa y puede tener problemas de deshidratación; por tanto, en estas condiciones la

producción final y la calidad del material vegetal estarán afectadas negativamente.

### 2.2.1 Efecto de las temperaturas sobre las plantas

La temperatura, tiene efecto directo sobre la velocidad de crecimiento, germinación, transpiración, respiración, fotosíntesis, y absorción de agua y nutrientes <sup>(2)</sup>.

- Velocidad de crecimiento: es el aumento de tamaño de la planta por unidad de tiempo, y tiene una relación directa con la temperatura <sup>(3, 16)</sup>.
- Germinación: es el proceso por el cual el embrión de una semilla latente se expande hasta romper la cubierta de la semilla y emergiendo la radícula, para dar paso a una nueva planta. Para lograr esto, toda nueva planta requiere de elementos básicos para su desarrollo: luz, agua, oxígeno y sales minerales <sup>(17)</sup>. La temperatura es una variable importante en el proceso de germinación, por ejemplo temperaturas por debajo o por encima del cero de germinación pueden causar inhibición, retraso o aumento en el tiempo de expansión del embrión <sup>(3)</sup>.
- Transpiración: Se entiende por transpiración la pérdida de agua, en forma de vapor a través de las distintas partes de la planta, en mayor medida se presenta en las hojas. Esta pérdida de agua se realiza por medio de los estomas, cuya apertura es regulada por la iluminación y la temperatura <sup>(3)</sup>.
- Respiración: Consiste en el intercambio de gaseoso entre la planta y la atmósfera, tomando oxígeno y liberan dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este proceso se realiza a través de los estomas y hace parte de la fotosíntesis y generación de energía (ATP) en las mitocondrias. A menor temperatura menor actividad respiratoria y por el contrario al aumentar la temperatura aumenta la actividad respiratoria, hasta llegar a un máximo a partir del cual la actividad respiratoria decrece <sup>(3)</sup>.

- Fotosíntesis: Es un proceso de oxido-reducción, que se presenta en dos fases, reacciones lumínicas: se produce energía (ATP) y NADPH + H<sup>+</sup>, a través de la energía lumínica y agua en el tilacoide. Reacciones de oscuridad: se utilizan los productos de las reacciones lumínicas para que en conjunto con el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) sintetizar monosacáridos en el Ciclo de Calvin. El proceso global puede expresarse mediante la ecuación 1.



La fotosíntesis es regulada por la iluminación y la temperatura, al aumentar la intensidad lumínica aumenta la actividad fotosintética y viceversa; igualmente al aumentar la temperatura aumenta la actividad fotosintética hasta llegar a un máximo a partir del cual decrece; este máximo se sitúa según especies entre los 25 y 30 °C <sup>(3)</sup>.

- Absorción de agua y nutrientes: La iluminación y la temperatura tienen una relación directa con la absorción de agua y nutrientes por las raíces de las plantas, presentando disminución o aumento de las misma dependiendo de la intensidad lumínica y de la temperatura <sup>(3)</sup>.

Algunos términos utilizados:

- Cero de vegetación: es aquella temperatura por debajo de la cual la planta detiene su proceso de crecimiento. Los valores son difíciles de determinar y cambia mucho según la variedad de especie vegetal que se esté trabajando <sup>(3)</sup>.
- Temperaturas óptimas: valor térmico o de temperatura que garantiza el desarrollo óptimo vegetal. En general, está situado entre los 25 y 28 °C para la gran parte de las plantas, pero puede llegar a los 30 °C para plantas procedentes de zonas calientes como el maíz <sup>(3)</sup>.

- Temperaturas umbral o límite: es la temperatura que se encuentra por encima de una temperatura mínima límite, a la cual la planta puede realizar algunas de sus fases de desarrollo <sup>(3)</sup>.
- Temperaturas letales: son las temperaturas máximas y mínimas que puede resistir una planta para sobrevivir, temperaturas bajo cero o temperaturas mayores a 50 °C <sup>(3)</sup>.

## 2.2.2 Sistema de aire acondicionado

**2.2.2.1 Split:** el sistema de aire acondicionado tipo split consta de una unidad exterior y otra interior, comunicadas por unas pequeñas mangueras por donde pasa el refrigerante. Son muy eficientes y silenciosos (ver figura 2). Suelen ser más costosos que los portátiles, pero ofrecen mejores prestaciones, menor consumo y una amplia gama de potencias y modelos. Aunque la mayoría dan entre 2,5 y 4 kWh, los hay hasta de 8 kWh. Los sistemas Split se encuentran entre los más eficientes, sobre todo los que cuentan con sistema invertir.

**Figura 2.** Aire Acondicionado Split <sup>(15)</sup>.



**2.2.2.2 Multi Split:** similares a los Split, pero con la particularidad de que llevan una unidad exterior de mayor potencia, capaz de alimentar dos o tres unidades interiores. Existe una gran gama de modelos y potencias y, al igual que los Split, son muy eficientes y silenciosos (ver figura 3). Su ventaja principal respecto a los Split es que sólo hay que instalar una unidad exterior. Los Split son muy

silenciosos en el interior porque la mayor parte del ruido la hace la unidad exterior.

**Figura 3.** Aire Acondicionado Multi Split <sup>(15)</sup>.



**2.2.2.3 Split sin unidad exterior:** tienen un aspecto similar a los equipos Split pero la unidad exterior desaparece, integrándose en la interior. Deben instalarse en una pared que dé al exterior y sólo es necesario perforar dos agujeros de 16 a 20 cm de diámetro, para la entrada y salida del aire. Desde el exterior sólo se ven dos pequeñas rejillas de ventilación. Como llevan el motor en la unidad interior no son tan silenciosos como los Split o los multisplit.

**2.2.2.4 Portátiles:** son aparatos relativamente baratos y muy cómodos puesto que su instalación es extremadamente sencilla. Sin embargo, tienen algunos inconvenientes bastante molestos. No son, ni mucho menos, tan eficientes como los Split o los sistemas de conductos; además la mayoría tienen una potencia refrigerante de entre 2 y 3 kWh y sólo los más potentes llegan a 4 kWh.

**Figura.** Aire Acondicionado Portátil <sup>(15)</sup>.



**2.2.2.5 De ventana:** no son tan eficientes como los Split, pero suelen ser baratos y potentes, además de resultar muy prácticos para el cuarto de cultivo debido a que no requieren instalación. Deben situarse en una ventana con la parte delantera del aparato dentro de la habitación y la trasera en el exterior. Al igual que los sistemas Split, los acondicionadores de ventana tienen dos circuitos de aire separados que no se mezclan. El aire del cuarto de cultivo entra en el acondicionador, se enfría y vuelve a salir. En la parte exterior, el acondicionador toma aire y lo utiliza para refrigerar el condensador expulsándolo de nuevo al exterior.

**Figura.** Aire Acondicionado de ventana <sup>(15)</sup>.



**2.2.2.6 De conductos:** Son sistemas con una unidad central que produce el aire frío y una serie de conductos que lo reparten por todas las unidades a refrigerar. Son muy eficientes y silenciosos.

**Figura.** Aire acondicionado de conductos <sup>(15)</sup>.



### 2.2.3 Cálculo de la potencia necesaria para un cuarto de cultivo

Para el cálculo de la potencia necesaria para refrigerar constantemente un cuarto de cultivo vegetal, se deben tener en cuenta las siguientes variables:

- La etiqueta energética: todos los acondicionadores de aire a la venta deben llevar una etiqueta energética donde se indican los valores más importantes a tener en cuenta a la hora de adquirir uno.
- Clase de eficiencia energética: Hay siete clases (de la A a la G) y se otorgan teniendo en cuenta el índice de eficiencia energética que indica la eficiencia del aparato, la clase A es más eficiente y la G la menos eficiente. Los acondicionadores de aires portátiles y compactos requieren una menor eficiencia energética.
- Consumo de energía anual en kWh: calculado como el producto de la potencia nominal de entrada del aparato (los kWh que consume) por una media de 500 horas al año en modo refrigeración a carga completa. Si el aparato consume 1 kWh, la etiqueta indicará que el consumo de energía anual será de 500 kWh, pero ese dato no tiene nada que ver con el consumo real que tendrá cuando esté en funcionamiento, ya que puede que se encienda muchas más de 500 horas al año.
- La capacidad de refrigeración: refleja la cantidad de frío que se puede producir en una hora y se expresa en kilovatios/hora (kWh). En ocasiones se usan otras unidades como frigorías/hora, kilocalorías/hora o BTUs, aunque la más común hoy en día es el kilovatio. El cambio de unidades se realiza de acuerdo a la ecuación 2.

$$1\text{kWh} = 1.000 \text{ Wh} = 860 \text{ frigorías/h} = 860 \text{ kcal/h} = 3412.146 \text{ BTU (Ec. 2)}$$

- El índice de eficiencia energética (EER): es el número más importante de toda la etiqueta pues indica la eficiencia del aparato, en otras palabras, cuanto frío produce por cada vatio de electricidad consumido, cuanto más alto sea este índice, mejor.
- Ruido: indica el ruido que produce el aire acondicionado cuando está en funcionamiento. Los más silenciosos son los sistemas Split, multi-split y los de conductos, mientras que los de ventana, los portátiles y los Split sin unidad exterior son algo más ruidosos. Todos los sistemas con unidad exterior son más silenciosos, porque no tienen en cuenta el ruido que se produce fuera sino el de la unidad interior. Generalmente los modelos más silenciosos emiten entre 20 y 30 dB y los más ruidosos por encima de 50 dB.

La primera consideración, a tener en cuenta en el cálculo de la potencia necesaria para refrigerar eficientemente un cuarto de cultivo es determinar todos los equipos que van a ser utilizados en el desarrollo vegetativo de las plántulas, como tipo y cantidad de lámparas, balastos de las lámparas, sistema eléctrico, volumen del cuarto de cultivo y número de plántulas a cultivar. Por tanto se debe tratar de minimizar el cableado eléctrico y los balastos al interior del cuarto; esto puede reducir los requerimientos de potencia refrigerante hasta en un 20%. Además, de un óptimo aislamiento de las paredes.

Para calcular qué potencia de refrigeración necesita un cultivo concreto se puede usar una regla básica en función de la cantidad total de vatios de luz: 1,5 kWh (1.300 frigorías/hora) por cada kilovatio (1.000W) de luz. Por tanto, un cuarto con dos lámparas de 600W requeriría 1,8 kWh de refrigeración, que equivalen a unas 1.500 frigorías/hora. Como veremos más adelante en el cálculo detallado, esta cantidad puede resultar insuficiente si los balastos están dentro del cuarto de cultivo, la habitación es muy grande o sus paredes reciben mucha radiación solar.

El consumo eléctrico de un aire acondicionado dentro de un cuarto de cultivo vegetal es bastante alto pero se puede reducir considerablemente con unas sencillas medidas; en primer lugar, siempre que sea posible, hay que mantener el equipo eléctrico fuera del cuarto de cultivo, no sólo los balastos y las bombillas producen calor, las bombas de agua y de aire, los ventiladores y los extractores también generan calor, aunque en menor medida.

También, se puede reducir el calor que una pared soleada trasmite al cuarto de cultivo cubriéndola interiormente con algún material aislante utilizado en construcción (corcho, poliestireno, lana de roca, entre otros). Otra buena idea es instalar lámparas refrigeradas por aire, utilizando *cooltubes* o cualquier otro tipo de reflector al que se le pueda conectar un conducto de aire y un extractor, la refrigeración por aire de las bombillas reduce a la mitad la cantidad de calor que emiten.

En la tabla 2, se presenta un ejercicio del cálculo de dos cuartos de crecimiento vegetal en donde se hallará cuántos kilovatios de refrigeración son necesarios para mantener un cultivo dentro de unos parámetros razonables, incluso en verano siempre que las condiciones exteriores no sean extremas. El cálculo tiene en cuenta seis elementos básicos: volumen de la habitación, cantidad de lámparas y si están o no refrigeradas por aire, los balastos de las lámparas están al interior o en el exterior del cuarto de cultivo, cantidad de vatios por equipo que hay entre extractores, ventiladores, bombas de agua, entre otros. Por último, si las paredes de la habitación dan al exterior y reciben sol directo.

Con el detalle de estas variables y aplicando los factores indicados, se obtendrán los requerimientos de refrigeración para el cuarto de cultivo, en Wh. A la hora de comprar el equipo de aire acondicionado conviene escoger un modelo de una potencia ligeramente superior para tener cierto margen en los días más cálidos del verano, aproximadamente un 10% por encima del valor calculado.

En el ejercicio de cálculo, se utilizarán como ejemplo dos cuartos de cultivo diferentes, ambos iluminados por dos lámparas de 600 W. El cuarto de cultivo A (3 m x 2 m x 2,7 m), cuenta con dos lámparas no refrigeradas, los balastos están dentro de la habitación y una de las paredes da al exterior y recibe sol todo el día. Aunque el tamaño del cuarto B es exactamente igual que el del cuarto A, el cultivador ha instalado un falso tabique para partirlo por la mitad (1,5 m x 2 m x 2,7 m) de modo que el acondicionador de aire sólo enfría la zona donde están las lámparas y las plantas, mientras que, en la otra, están los balastos, depósitos de abonos, entre otros.

Las lámparas están montadas en reflectores refrigerados por aire, como los *cooltube*. La pared que recibe sol por el exterior queda fuera de la zona de plantas pero, además, el cultivador la ha recubierto interiormente con un material aislante para evitar que entre el calor del exterior.

**Tabla 2.** Características de los cuartos de cultivo.

	<b>Cultivo A</b>	<b>Cultivo B</b>
Volumen de la habitación	8,1 m <sup>3</sup>	8,1 m <sup>3</sup>
Iluminación no refrigerada	1.200 W	0
Iluminación refrigerada	0	1.200 W
Balastos en la habitación	1.200 W	0
Paredes soleadas	5,4 m <sup>2</sup>	0
Resto de equipo sin luces	200 W	200 W

<b>Calculo detallado de las necesidades de refrigeración</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Formula</b>	<b>Cultivo A</b>	<b>Cultivo B</b>
Volumen del cuarto de cultivo en m3	m3 x 50	405	405
Lámparas no refrigeradas en vatios	W x 1,2	1.440	0
Lámparas refrigeradas en vatios	W x 0,6	0	720
Balastos dentro del cuarto de cultivo en vatios	W x 0,5	600	0
Superficie de paredes soleadas en m2	m2 x 100	810	0
Resto de equipo sin luces en vatios	W x 1	200	200
<b>TOTAL</b>		<b>3.455 W</b>	<b>1.325 W</b>

El cuarto A requeriría un equipo de aire acondicionado de 3,45 kWh (3087 frigorías/hora). Como vemos es un valor más alto, de lo que resulta al aplicar la fórmula básica de 1,5 kWh por cada 1000w de luz (1,8 kWh), pero hay que tener en cuenta que las bombillas no están refrigeradas (si lo estuvieran se ahorrarían 0,72 kWh), los balastos están dentro del cultivo (0,6 kWh), hay una pared soleada (0,54 kWh) y el cuarto es relativamente grande (dos luces de 600 caben en un cuarto de la mitad de tamaño, lo que ahorraría 0,4 kWh). El diseñador de cuarto B ha corregido todos estos aspectos y ha conseguido reducir sus necesidades de refrigeración a tan sólo 1,33 kWh, un 60% menos que el cultivo A.

## 2.2.4 Consumo de un acondicionador de aire

Después de calcular la potencia refrigerante que se necesita, el diseñador puede escoger entre los distintos tipos y modelos de aire acondicionado, el que mejor relación costo/beneficio genere. Se pueden encontrar equipos Split, compactos y portátiles de distintas potencias aunque su eficiencia no es la misma. A la hora de tomar la decisión también hay que tener en cuenta la eficiencia energética, teniendo en cuenta que hará parte de un laboratorio académico y científico y será utilizado más horas al año que un equipo destinado al área comercial y/o doméstica.

Por ejemplo, entre un modelo Split de clase A y uno de clase G puede haber una diferencia de consumo eléctrico de más del 50 por ciento, pero entre ese mismo Split de clase A y un portátil de clase G el consumo aumenta en más de un cien por ciento. Es decir, un portátil de clase G gasta el doble de electricidad para generar la misma cantidad de frío. Conociendo el índice de eficiencia energética (EER) de cada aparato y la potencia de refrigeración que necesitamos, podemos calcular cuánta electricidad consumirá el aire acondicionado aplicando la ecuación 3:

$$\text{kWh de refrigeración} / \text{EER} = \text{kWh de consumo eléctrico (Ec. 3)}$$

En el ejemplo anterior se obtuvo un requerimiento de 3,45 kWh para refrigerar el cuarto de cultivo A y 1,33 kWh para el cuarto B. La tabla 3, muestra las diferencias de consumo entre distintos tipos de aparatos, en función de su índice de eficiencia energética para obtener 3,45 y 1,33 kWh de refrigeración.

**Tabla 3.** Comparación del consumo de electricidad de los cuartos de cultivo A y B.

<b>Tipo y clase</b>	<b>EER</b>	<b>Potencia 3,45 kWh</b>	<b>Potencia 1,33 kWh</b>
Split clase A	3,20	1,12 kWh	0,41 kWh
Split clase G	2,20	1,63 kWh	0,60 kWh
Portátil clase A	2,60	1,38 kWh	0,51 kWh
Portátil clase G	1,60	2,24 kWh	0,83 kWh

Según la eficiencia energética del equipo y lo bien diseñado que esté el cuarto de cultivo, el consumo eléctrico puede tener una gran variación; un sistema con lámparas refrigeradas, bien aislado y en el que los balastos de las lámparas y la mayor parte del equipo eléctrico estén instalados en el exterior del cuarto de cultivo, necesitará una potencia de refrigeración menor, por lo que el consumo de energía anual igualmente disminuirá y será menor que el consumo de energía por las lámparas utilizadas.

Sin embargo, en un sistema poco pensado donde todos los equipos que desprenden calor se encuentran en el mismo cuarto en que crecen las plantas, la potencia de refrigeración debe ser mucho mayor y, en consecuencia, el consumo eléctrico del acondicionador de aire puede llegar a ser el doble de lo que gastan las lámparas. Un cuarto de cultivo bien diseñado y equipado con sistema Split de clase A puede conseguir la temperatura óptima para las plantas con un gasto eléctrico de sólo el 20 por ciento de lo que necesitaría un portátil de clase G para enfriar un cuarto de cultivo mal diseñado.

### **2.3 La humedad relativa en el crecimiento vegetal**

La humedad relativa en un cuarto de cultivo es de alta importancia, debido a la relación directa con el ritmo de evapotranspiración de las plántulas, cuanto más humedad hay, menos evapotranspiración existirá, esto es debido a las diferencias de presión que hay en el medio y en las hojas de las plantas <sup>(4)</sup>. Si la

humedad relativa es baja la planta evapotranspira con mayor facilidad y si la humedad relativa es alta, la evapotranspiración disminuye, lo cual demora el proceso de obtención de nutrientes y el desarrollo vegetativo normal. El nivel ideal de humedad relativa para que las plantas será entre 60 y 70 %.

El control de la humedad relativa en un cuarto de crecimiento vegetal controlado es mediante un deshumidificador, el cual esta conformado por una bomba de calor cuyo objetivo es proporcionar una zona fría donde pueda condensarse la humedad y un área caliente para poder recuperar la temperatura del ambiente donde se encuentra instalado <sup>(6)</sup> (ver figura 4).

Una corriente de aire pasa por la zona fría, formada por el evaporador que se encuentra graduado a una temperatura inferior a la del rocío. Esto logra que la humedad presente en el lugar se condense, llevando los residuos de agua a un envase o sacándola directamente a un sistema de salida. Con este procedimiento se consigue recuperar la temperatura del ambiente y disminuir su humedad relativa (6). Cuando el aire frío pasa por el condensador, que es una zona caliente, produce la recuperación de la temperatura del ambiente y disminuye aún más la humedad relativa <sup>(6)</sup>.

Existen en el mercado acondicionadores de aire que enfrían y secan el ambiente, manteniendo baja la humedad ambiental. Muchos modelos tienen una función deshumidificadora en la que retiran humedad del aire pero no enfrían, esto resulta muy útil, cuando la temperatura no es un problema pero la humedad sí.

**Figura 4.** Deshumidificador <sup>(5)</sup>.



## 2.4 Concentración de CO

Las plantas consumen CO durante el proceso de la fotosíntesis, por tanto la cantidad de CO presente en la atmósfera es de alta importancia para el óptimo desarrollo vegetativo, el valor normal atmosférico de CO<sub>2</sub> es de 400 ppm aproximadamente. En cultivos al aire libre, el viento genera una dinámica constante ofreciendo un suministro inagotable de CO ; mientras que en el interior de un cuarto de cultivo con condiciones controladas, se debe asegurar dicha concentración de CO , requiriendo un generador de CO<sub>2</sub> que asegure una concentración específica de dióxido de carbono.

El sistema ideal para mantener los niveles de CO adecuados sin hacer forzar al equipo de aire acondicionado, consiste en instalar un generador de CO que vaya reemplazando el que consumen las plantas. Para que estos generadores tengan buen resultado requieren además un controlador que mida constantemente el nivel de CO del aire, para así añadir lo justo.

Los generadores de CO enriquecen la atmósfera del cuarto o del lugar con dióxido de carbono que ayuda a potenciar el crecimiento de los vegetales o plantas. La cantidad de CO en el cuarto de crecimiento vegetal puede ser entre 300 y 400 ppm; pero las plantas alcanzan su mayor velocidad de crecimiento

cuando el cuarto de crecimiento vegetal posee entre 1200 y 1500 ppm de dióxido de carbono. Los modelos suministrados utilizan gas propano como combustible, pero se pueden suministrar generadores para gas natural(7). Con un aire acondicionado y un generador de CO se puede configurar un sistema aislado, completamente independiente del exterior.

La luz y la temperatura están directamente correlacionadas, a mayores niveles de luz hay mayor temperatura, incrementando la evapotranspiración, el consumo de agua y de CO ;por el contrario, con falta de luz pueden descender las necesidades de los demás factores(9).

## **2.5 Requerimientos de luz en un cuarto de cultivo vegetal**

Los rayos del sol emiten un amplio espectro de luz, con varios tipos de radiaciones: Ultravioletas (0,6%), visibles fotosintéticas o luz fotosintéticamente activa PAR (37%), infrarroja corta (NIR) e infrarroja larga FR (ambas 62%). Las que realmente interesan en el proceso de fotosíntesis vegetal son las PAR, y en especial dentro de la radiación PAR el rojo y el azul son los colores que mayor impacto tienen sobre las plantas <sup>(9)</sup>. Dependiendo del ciclo de vida de la planta requerirán más concentración de un espectro o del otro <sup>(10)</sup>.

Los rayos de luz azules son absorbidos por los cloroplastos de una planta ayudando al crecimiento de las hojas y al desarrollo vegetativo, La longitud de onda de la luz azul en realidad ocasiona que una planta responda más rápidamente a la estimulación lumínica. La clorofila, o pigmento de absorción de luz, dentro del cloroplasto se alimenta y estimula. Como resultado más energía solar se convierte en energía química para el crecimiento, estos rayos de luz Actúan principalmente sobre la fotosíntesis, Fotomorfogénesis y Fototropismo <sup>(20, 21)</sup>.

Las bandas de color rojo de la luz fomentan el crecimiento del tallo, inducen la germinación de las semillas, el proceso del brote y la floración al desencadenar la liberación de hormonas. También actúan sobre el enraizamiento <sup>(21)</sup>. Una mezcla de luz azul y roja ocasiona la floración de las plantas. La luz roja posee más energía que la luz azul debido a los diferentes valores de longitudes de onda. Añadir luz roja a la luz azul crea un nivel de alta energía, estimulando a la planta para reproducirse a través de la generación de un brote de flor. Ambos colores se absorben fácilmente mediante la clorofila de una planta <sup>(20)</sup>.

La iluminación en un cuarto de crecimiento vegetal es uno de los factores críticos en el desarrollo vegetal, debido a que es un factor imprescindible para llevar adelante diferentes procesos fisiológicos en las plantas, siendo el más importante de todos la fotosíntesis <sup>(9)</sup>. A mayor luz disponible se obtendrá crecimiento más rápido y floración más abundante <sup>(8)</sup>, lo ideal es que por cada metro cuadrado de superficie se debe tener una fuente de luz de 400 a 600 W. Las plantas utilizan la luz comprendida entre los 400-700nm (conocida como radiación PAR, radiación fotosintéticamente activa, o luz de crecimiento), variando el efecto de la longitud de onda según las horas del día y los estadios de crecimiento de la planta.

El espectro de la radiación recibida puede afectar el aspecto y la floración, por ejemplo para plantas con aplicaciones medicinales, puede afectar al sabor, olor y el valor farmacéutico y/o nutricional <sup>(9)</sup>. El control del fotoperiodo es habitual en los cultivos que buscan regular la floración, para dicho fin existen diferentes tipos de lámparas, cada una de ellas caracterizada por tener una composición espectral particular, comparada con la luz solar <sup>(8)</sup>.

Existen diferentes estudios sobre la cantidad de luz que deben recibir la planta, en general se requieren intensidades de hasta 10000 lux para la producción de bandejas multi celdas, mientras que los requerimientos lumínicos pueden ascender a 40000 lux en la producción de flores y arbustos <sup>(8)</sup>. Algunas intensidades lumínicas en cultivos comerciales son:

- Brotes: 4000 lux de 20 a 24 horas de luz.
- Plántulas: 4000 lux de 15 a 24 horas de luz.
- Crecimiento: 20000 lux durante 16 horas de luz.
- Floración: 90000 lux durante 12 horas de luz.

Aunque de manera muy habitual se suelen seguir estos ciclos de luz:

- Durante el crecimiento, 18 horas de luz, 6 de oscuridad.
- Durante la floración, 12 horas de luz, 12 horas de oscuridad.

La duración del estímulo lumínico o fotoperiodo (cantidad de horas de luz durante el día) interviene en la transición del estado vegetativo al reproductivo en muchas especies. Así, las plantas producen flores o estructuras vegetativas sobre la base de esta información, según la época del año <sup>(8)</sup>. Durante los periodos de oscuridad la planta no debe recibir nada de luz, por lo que un truco para observarlas sin que sus ciclos se vean afectados es alumbrarlas con luz verde, ya que este tipo de planta no detecta esta longitud de onda <sup>(3)</sup>. Ideal es que todas las plantas reciban espectros de luz uniformes en cualquier lugar del cuarto de crecimiento vegetal para así lograr una distribución uniforme y pareja.

Durante muchos años se han utilizado las lámparas fluorescentes para el crecimiento de plantas sin sol, después se utilizaron lámparas de vapor de mercurio, aunque sin grandes mejoras; pero desde la aparición de las lámparas de alta presión: las de lámparas de vapor de sodio y las lámparas de haluros metálicos, que suelen utilizarse en el alumbrado público (autopistas, parques, estadios, entre otros), las demás se han quedado rezagadas. Aunque las lámparas fluorescentes se siguen utilizando, idóneas para ciertas fases del proceso de crecimiento.

Existen muchos tipos de lámparas para iluminación y cada una se caracteriza por tener una particular composición espectral comparada con la luz solar <sup>(8)</sup>. Las plantas poseen diferentes formas de detectar los cambios en las proporciones de

los espectros de luz por esta razón se usan diferentes tipos de fuentes lumínicas y la respuesta es diferente en cada caso.

### **2.5.1 Lámparas incandescentes**

Son las más utilizadas para la extensión de la duración del día, en este tipo de aplicaciones, bajas intensidades de luz ( $8 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  o 100 lux) son suficientes. No son utilizadas para iluminación suplementaria debido a que generan mucho calor, su composición espectral es de mala calidad y tienen baja eficiencia, convierten en luz sólo el 7% de la energía consumida <sup>(8)</sup>.

### **2.5.2 Tubos fluorescentes o lámparas de bajo consumo**

Son las más comunes en cámaras de cultivo y en cámaras de siembra, la baja intensidad de este tipo de lámparas hace que deban utilizarse un número mayor de fuentes para alcanzar valores aceptables. Existen distintos tipos, pero los más comunes son la luz fría y la luz cálida, ambas convierten el 20% de la energía consumida en luz. Debido a la elevada proporción de luz roja respecto a la roja lejana, inducen la producción de tallos más compactos, plantas más bajas, y provoca un retraso en la floración de plantas con respuesta fotoperiódica de días largos <sup>(8)</sup>.

### **2.5.3 Lámparas de sodio de alta presión**

Son las fuentes lumínicas más apropiadas para utilizar en un programa de suplementación lumínica, son muy eficientes al convertir en luz el 25 % de la energía consumida, los modelos más apropiados para invernaderos están disponibles a partir de los 400 W <sup>(8)</sup>.

#### 2.5.4 Lámparas LED rojas, azules y mixtas

Las luces LED (*light emitting diodes*) son las fuentes de luz más revolucionarias para aportar luminosidad en un cuarto de crecimiento vegetal, con ellas se tienen la posibilidad de diseñar sistemas LED para emitir un ancho acotado del espectro y permitiendo generar combinaciones adecuadas para el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Además, no producen calor excesivo, consumen poca energía y tienen una prolongada vida útil <sup>(8)</sup> (ver figura 5). Algunos tipos de LED:

- LED Azul: Son 168 LEDs azules 460 a 470 nm. Indicado en semillas jóvenes, frutas, verduras, vegetales, producción de plantas <sup>(10)</sup>.
- LED Rojo: Son 168 LEDs rojos de 620 a 630 nm. Indicado en cosechas o plantas en el estado final del ciclo de vida <sup>(10)</sup>.
- LED Espectromixto: Son 130 LEDs rojos 30 azules de 460 a 470 nm + 620 a 630 nm. Puede ser utilizada en el periodo intermedio del ciclo de vida <sup>(10)</sup>.

**Figura 5.** Luz tipo LED <sup>(11)</sup>.



## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un cuarto de crecimiento vegetal con condiciones controladas, en la universidad CES Sede Sabaneta.

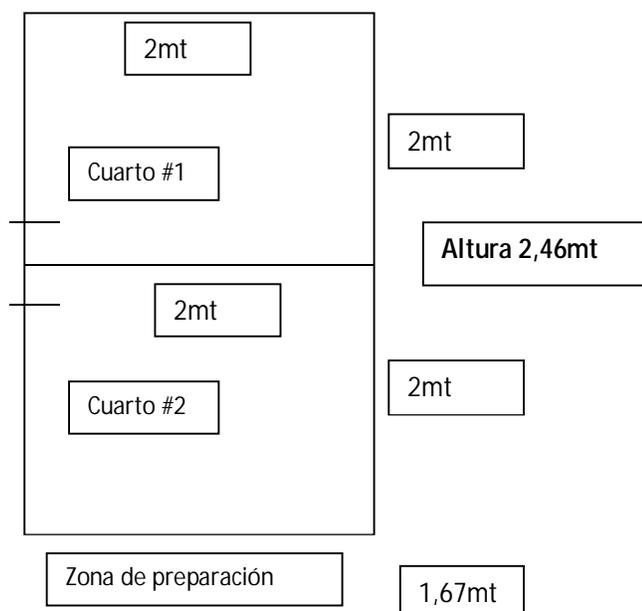
### **4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Diseñar un sistema controlado de temperatura, humedad relativa y luminosidad para un cuarto de crecimiento vegetal en la universidad CES, sede Sabaneta.
- Diseñar un sistema controlado de CO<sub>2</sub>, para un cuarto de crecimiento vegetal en la universidad CES, sede Sabaneta.
- Diseñar la estructura de un cuarto de crecimiento vegetal, con condiciones controladas en la universidad CES, sede Sabaneta.

## 5. RESULTADOS

Las medidas del cuarto de crecimiento vegetal son las siguientes: 2 m de ancho x 2 m de largo x 2.46 m de altura. En este cuarto se van a implementar 11 estanterías las cuales tienen un área de 0,84 m y estas 11 estanterías tendrán una capacidad máxima de 10000 plántulas.

Figura 6. Plano de los cuartos.



Según el área (4m<sup>2</sup>) y volumen (9,84m<sup>3</sup>) de un cuarto además del número de plántulas (5000 plántulas capacidad máxima) con el cual se va a trabajar, los equipos necesarios para que el proyecto funcione son los siguientes:

	<b>Cuarto CES</b>
Volumen de la habitación	9,84 m <sup>3</sup>
Iluminación no refrigerada	0
Iluminación refrigerada	1.200 W
Balastos en la habitación	0
Paredes soleadas	0
Resto de equipo sin luces	200 W

Cálculo de las necesidades de refrigeración:

<b>Concepto</b>	<b>Formula</b>	<b>Cuarto CES</b>
Volumen del cuarto de cultivo en m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> x 50	492
Lámparas no refrigeradas en vatios	W x 1,2	0
Lámparas refrigeradas en vatios	W x 0,6	720
Balastos dentro del cuarto de cultivo en vatios	W x 0,5	0
Superficie de paredes soleadas en m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> x 100	0

Resto de equipo sin luces en vatios	W x 1	200
<b>TOTAL</b>		<b>1.412 W</b>

Por cada cuarto se requeriría un equipo de aire acondicionado de 1,412 kWh. El recomendado se encuentra a continuación porque es el equipo que cumple con los requerimientos necesarios.

**5.1 Deshumidificador:** Deshumidificador General Electric Ader70lr, Deshumidificación de 65 pintas por día, Refrigerante R-410<sup>a</sup>, Controles electrónicos, Baja temperatura de funcionamiento, Recipiente frontal de condensación con indicador de nivel de agua.

- Dimensiones 23 5/8 Alt. x 15 3/8 An. x 11 P.
- Capacidad del recipiente 17.5 pintas
- Capacidad de deshumidificación (pt/día) 70 pintas
- Tipo de refrigerante R-410A
- Tipo de control Electrónico Panel digital de control
- Descarga de aire Parte superior posterior
- Tipo de recipiente Frente extraíble
- Flujo de aire seco (PCM) Alto/Bajo 195/175/155
- Tipo de enchufe Paralelo
- Luz indicadora de "Lleno de agua" Sí
- Conector de desagüe externo Sí
- Selecciones de velocidad del ventilador 3
- Filtro de aire lavable Sí
- Control automático de descongelación Sí
- Apagado automático Sí
- Longitud del cable de transmisión Mínimo de 72"
- Nivel de sonido (máx.) 59 dB

• Peso aproximado de embarque	49.0 libras
• Peso neto	45.0 libras
• Profundidad total	11.0 pulgadas
• Altura total	23.625 pulgadas
• Ancho total	15.375 pulgadas
• Amperios	7.5
• Tamaño del circuito (Amperios)	15
• Voltaje (MÁX)	115.0 voltios
• Voltaje/hertz/fase	115/60/1
• Vatios	745
• Garantía de las piezas años	Reemplazo por 1
• Precio	980.000 pesos

### 5.1.1 Funcionamiento

Consiste en una bomba de calor para proporcionar una zona fría donde condensar la humedad y una zona caliente para recuperar la temperatura ambiental. Su funcionamiento consiste en pasar una corriente de aire por el evaporador (zona fría), el cual está a una temperatura por debajo del punto de rocío, provocando que la humedad ambiental se condense y gotee a un depósito o un desagüe. Después de ser secado y enfriado el aire pasa por el condensador (zona caliente), con lo que recupera la temperatura ambiental y disminuye aún más su humedad relativa. A veces se puede producir hielo en la zona fría. En algunos aparatos, cuando detecta que la temperatura en la zona fría baja de 0 grados, se para la bomba de calor, pero se sigue moviendo el ventilador hasta que el hielo se derrita.

El deshumidificador se usa para reducir y controlar la humedad del ambiente, especialmente en el verano. No es para secar pisos ni otros artículos. También se usa en procesos industriales con aparatos de gran potencia

**Figura 7.** Deshumidificador General Electric Ader70lr <sup>(12)</sup>.



## 5.2 Aire acondicionado: aire acondicionado minisplit LG SJ122CD

- Capacidad de Enfriamiento 12,000 BTU/hr.
- Corriente 220 Volts / 60Hz / 1 fase
- Eficiencia Energética en Enfriamiento (EER) 10.4
- Consumo (W) 1.090
- Fase/Voltaje/Frecuencia ( $\emptyset$ /V/Hz) 1/220/60
- Eliminación de la humedad (pts/H) 1.26
- Dimensión Manejadora (W\*D\*Hmm) 895\*166\*282
- Dimensión Condensadora (W\*D\*Hmm) 717\*229\*498
- Peso neto Unidad para interiores (kg/lb) 8
- Unidad para exteriores (kg/lb) 33
- Circulación de Aire Interior 8.0 m3/min
- Circulación de Aire Exterior 25 m3/min
- Extracción de Humedad de 1.2 lts/h.
- Nivel de Ruido Interior: 40 dB(A)
- Nivel de Ruido Exterior: 51 dB(A)
- Control de temperatura por termisor
- Rango de Temperatura (Enfriamiento) 16-30°C
- Dehumidificación saludable
- Deflexión de aire de 4 vías

- Compresor rotativo PH180
- Enfriamiento Jet Cool. Emite la máxima frescura al instante con un solo botón
- 3 Niveles de ventilación
- Niveles de enfriamiento
- Apagado automático programable (7 horas)
- Modo automático para dormir Sleep, super silencioso
- Deflexión de aire vertical automática (arriba / abajo)
- Deflexión de aire horizontal manual (izq / der)
- Control remoto con pantalla de LCD
- Filtro antibacterial
- Dimensiones en cm: Interna Al. 27.0, An. 84.0, Fondo 15.3 Externa Al. 48.1, An. 71.7, Fondo 22.8
- Peso: Interior 7 Kg. / Exterior 25 Kg. LG
- Precio 890.000 pesos

Disponibles en LG electrónics Colombia Ltda.

**Figura 8.** Aire acondicionado minisplit LG SJ122CD <sup>(13)</sup>.



### 5.3 Termohigrometros

Se necesitan 4 termohigrometros ubicados en diferentes zonas del cuarto de crecimiento vegetal. El recomendado es termohigrometro digital fijo con certificado de calibración marca CONTROL COMPANY

- Rango temperatura sensor interno 0-50 grados centígrados
- Rango humedad 10-99% HR
- Exactitud + o . 1 grado centígrado
- Alimentación baterías 1.5 V AAA
- Disponible en almacenes via industrial, teléfono Medellín 418 9913
- Precio por unidad \$279.000 pesos

**Figura 9.** Termohigrometro <sup>(14)</sup>.



#### 5.4 Luces

Las recomendadas son las luces LED de color rojo, color azul y mixtas.

- Colocar de 3 a 12 pulgadas por encima de la planta.
- La lámpara iluminará de 1 a 2 metros cuadrados.
- En etapa de desarrollo de flor (floración) de 10 a 12 horas por día.
- En estado vegetativo de 16 a 24 horas por día.
- Consumo energético: 5 W.

- Mecanismo de luz: 168 LEDs (rojo y azul). En Lámpara mixta (130 Rojo, 30 Azul).
- Longitud de onda de luz: Rojo de 620 a 630 nm, Azul de 460 a 470 nm.
- Voltaje de entrada: 120 a 240 VAC.
- Angulo de apertura 120 Grados.
- Vida útil 50,000 horas.
- Dimensiones: 129.17 mm, Diámetro 121.87mm. Peso 4 onzas.
- Tipo de conector E26/27.
- Disponible en grupo adapta valor 120.00 \$ usd

**Figura 10.** Lámpara grow led 50 ufo mixta.



## 5.5 Generador de CO<sub>2</sub>

El recomendado por el área del cuarto es el generador de CO<sub>2</sub> de 0.75 Kw. Este puede trabajar con gas natural o propano incrementando el CO<sub>2</sub> hasta 1000 ppm en un área hasta de 20 mt<sup>2</sup> logrando así un crecimiento optimo.

- Gas: natural o propano
- CO<sub>2</sub> por hora: 0.2 kg
- Tamaño (cm): 16 x 21 x 35
- Peso: 3 kg
- Fuente de enegia: eléctrica

**Figura 11.** Generador de CO<sub>2</sub> maruplast <sup>(21)</sup>.



### **5.6 Medidor de concentración de CO<sub>2</sub>**

El medidor de concentración de CO<sub>2</sub> recomendado para el cuarto de crecimiento vegetal diseñado en este trabajo es marca ALNOR, el cual tiene un rango de medida de concentración de 0 a 5000 ppm.

- Rango: 0 5000 X 1 ppm CO<sub>2</sub>
- Exactitud + o . 3% de la lectura
- Display: LCD 4 digitos
- Alimentación energía: 4 baterías AA
- Disponible en almacenes via industrial, teléfono Medellín 418 9913

**Figura 12.** Medidor de concentración de CO2 ALNOR <sup>(22)</sup>.



### **6.7 Material de construcción del cuarto:**

De los materiales comúnmente utilizados en cuartos de crecimiento, la celulosa es la de menor costo, seguida de las cubiertas rígidas, y finalmente, los materiales de rociado o aislantes líquidos. Estos últimos presentan la ventaja de sellar completamente la estructura a cualquier posible filtración de agua o entradas y/o salidas de aire. Es por lo anterior que se sugiere realizar el cuarto en concreto con un acabado pulido y fino de tal manera que se pueda utilizar una pintura o recubrimiento que lo haga lo más hermético posible. La puerta debe ser corrediza y de un material que no permita la salida del aire.

## 6. CONCLUSIONES

1. Se planteo una revisión de literatura en donde se analizaron las diferentes variables que afectan el buen funcionamiento de un cuarto de crecimiento vegetal, teniendo las bases para poder calcular la carga refrigerante y elegir los equipos más adecuados para las actividades investigativas a desarrollarse en el cuarto de crecimiento, teniendo una buena relación costo/beneficio.
2. La carga refrigerante del cuarto de crecimiento vegetal fue de 1.412 kWh, lo que indica que teniendo en cuenta las diferentes variables que afectan a la generación de calor en el cuarto de crecimiento se puede disminuir hasta en un 50% la carga refrigerante, lo que se traducirá en menores costos en equipos y funcionamiento.
3. Los diferentes equipos seleccionados, de acuerdo a la carga refrigerante, tendrán una vida útil de 10 años y cumplirán a cabalidad con los objetivos investigativos del cuarto de crecimiento vegetal.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Estrategias en el diseño de cuartos de frío (sitio en internet) Disponible en: <http://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/cuartos.htm>. Acceso el 30 de octubre 2013.
- 2) Cuben, Ingeniería aplicada a la bioseguridad (sitio en internet). Disponible en: [www.cuben.com.ar](http://www.cuben.com.ar). Acceso el 30 de octubre 2013.
- 3) Acción de la temperatura sobre la vegetación (sitios en internet). Disponible en: <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-5/ACCION-DE-LA-TEMPERATURA-SOBRE-LA-VEGETACION.pdf> Acceso el 30 de octubre 2013.
- 4) M Robert, Fisiología vegetal. Barcelona: Omega S.A: 1982
- 5) Mafia G, Roa J, Aranzales E. Manual de procedimientos para la conservación in vitro del germoplasma. Debouk:1997
- 6) Elisa F. Funcionamiento deshumidificadores (sitio internet). Disponible en: <http://www.deshumidificadores.com.es/funcionamiento/>. Acceso el 30 de octubre 2013.
- 7) Horticultura técnica. Generador de CO (sitio internet). Disponible en: <http://hortitec.es/co2/4280-generador-de-co2.html>. Acceso el 30 de octubre 2013.
- 8) Diego M. Instituto nacional de tecnología agropecuaria luces artificiales (sitio internet). Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/luces-artificiales/>. Acceso el 30 de octubre 2013.

- 9) Concepto básico de la luz y su relación con las plantas (sitio internet).  
Disponible en: <http://cultivarlucel.com/index.php/home/conceptos-basicos-de-la-luz-y-su-relacion-con-las-plantas.html>. Acceso el 30 de octubre 2013.
- 10) Álvaro O. Adapta, lámparas de crecimiento agrícola (sitio internet).  
Disponible en: <http://www.grupoadapta.com.mx/HTML/Productos/LamparaEspeciales.html>. Acceso el 30 de octubre 2013.
- 11) LED wash light (sitio internet). Disponible en: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:LED\\_washlight\\_-\\_DMX\\_512\\_\(1123417564\).jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:LED_washlight_-_DMX_512_(1123417564).jpg) Acceso el 30 de octubre 2013.
- 12) General electric Dehumidifier (sitio internet). Disponible en: <http://products.geappliances.com/AppProducts/Dispatcher?REQUEST=SpecPage&Sku=ADER70LR> Acceso el 30 de octubre 2013.
- 13) LG, aire acondicionado (sitio internet). Disponible en: <http://www.lg.com/co/aire-acondicionado-split/lg-SJ122CD-jet-cool> Acceso el 30 de octubre 2013.
- 14) Control company, humidity control (sitio internet). Disponible en: <http://www.control3.com/4040p.htm> Acceso el 30 de octubre 2013.
- 15) José G. Cannabis.info (sitio internet). Disponible en: <http://www.cannabis.info/ES/enciclopedia/7365-ventilacioacuten-y-aire-acondicionado-en-interior/> Acceso el 30 de octubre 2013.
- 16) Fisiología vegetal (sitio internet). Disponible en: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Crecimiento.pdf> Acceso el 30 de octubre 2013.
- 17) Boletín agrario, germinación (sitio internet). Disponible en: <http://www.boletinagrario.com/ap-6,germinacion,441.html> Acceso el 30 de octubre 2013.
- 18) Transpiración en plantas (sitio internet). Disponible en: <http://transpiracionenlasplantas.blogspot.com/> Acceso el 30 de octubre 2013.
- 19) G Francisco, R Josefa, S Pilar, Introducción al funcionamiento de las plantas. Valencia: UPV: 2006

- 20) Conceptos básicos de la luz en relación a las plantas (sitio internet).  
Disponible en: <http://cultivarlucesled.com/index.php/home/conceptos-basicos-de-la-luz-y-su-relacion-con-las-plantas.html> Acceso el 30 de octubre 2013.
- 21) Maruplast, generados de CO (sitio internet) Disponible en:  
<http://www.maruplast.com/generadorCO2.html> Acceso el 30 de octubre 2013.
- 22) Alnor, medidor de concentración de CO<sub>2</sub> (sitio internet) disponible  
en:  
<http://www.viaindustrial.com/productos.asp?nombre=Medidor>  
concentracion de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> 5000 ppm