



**TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**

Sistema alternativo de energía para alimentar un invernadero prototipo para el cultivo de tomates Cherry, en el departamento de Santander.

**AUTORES**

Diego Guillermo Villarreal Peñaloza  
Jefferson Andrés Teatino Díaz

1098723246  
91523676

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS  
TÉCNICO PROFESIONAL EN INSTALACIÓN DE REDES ELÉCTRICAS  
BUCARAMANGA  
FECHA DE PRESENTACIÓN: 10-12-2017**



**TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**

Sistema alternativo de energía para alimentar un invernadero prototipo para el cultivo de tomates Cherry, en el departamento de Santander.

**AUTORES**

Diego Guillermo Villarreal Peñaloza  
Jefferson Andrés Teatino Díaz

1098723246  
91523676

**Trabajo de Grado para optar al título de**

Técnico profesional en instalación de redes eléctricas.

**DIRECTOR**

Fabio Alfonso González  
Ingeniero electricista.

Grupo de Investigación en Energía – GIE

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS  
TÉCNICO PROFESIONAL EN INSTALACIÓN DE REDES ELÉCTRICAS  
BUCARAMANGA  
FECHA DE PRESENTACIÓN: 10-12-2017**

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del Jurado

## DEDICATORIA

Para empezar quisiera dedicar este documento tan importante para mí a todas las personas que jamás han dudado de mis capacidades, capacidades que tenemos todos, es satisfactorio saber la determinación y fuerza que se tiene cuando se ponen metas claras.

A mis padres, Claudia Peñaloza, Guillermo Villarreal, todos los días agradezco a dios por haberme puesto entre ustedes, el tesoro más preciado es tenerlos a mi lado, y lo más valioso cada uno de los buenos valores que me han sabido inculcar.

A mi esposa Deicy Rojas que jamás ha dejado de creer en mí; mi compañera incondicional gracias a Dios por ponerla en mi camino que con su amor y apoyo me brindaron la fuerza para seguir y mi hijo Maximiliano Villarreal luz de mi camino.

A mis hermanos Andrés Villarreal y Alexis López por su compañía y apoyo en todo este proceso.

### **Diego Villarreal**

Quiero dedicar este trabajo a todas las personas que de alguna u otra forma colocaron su apoyo y ayuda para el logro de este objetivo tan importante.

A mis padres por su apoyo, compañía incondicional y su fe en mis capacidades y en especial a mi esposa luz helena y mi hijo Felipe quienes en el camino me dieron la motivación y el apoyo suficiente para seguir adelante y culminar este ciclo.

### **Jefferson Teatino**

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente toda nuestra gratitud a dios por otorgarnos la inteligencia, paciencia, sabiduría, discernimiento y el talento para ejercer este proyecto.

A nuestros padres por toda la comprensión, confianza y su incondicional apoyo.

A mi compañero de proyecto por la responsabilidad, empeño y sacrificio que aportamos para sacar adelante y poder realizar este proyecto.

Al ingeniero Fabio González por su ayuda constante y consejo en este documento aportándonos todo su conocimiento.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>LISTA DE ECUACIONES.....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
<b>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>14</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	15
1.3. OBJETIVOS .....	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES .....	17
<b>2. MARCOS REFERENCIALES .....</b>	<b>19</b>
2.1. MARCO TEÓRICO .....	19
2.1.1. INVERNADERO .....	19
2.1.1.1 PARÁMETROS PARA EL LEVANTAMIENTO DE UN INVERNADERO FOTOVOLTAICO.....	19
2.1.1.2 ELECCIÓN DEL MODELO DEL INVERNADERO: .....	19
2.1.2.3 ORIENTACIÓN: .....	19
2.1.2.4 INVERNADERO A DOS AGUAS.....	20
2.1.2.5 RADIACIÓN SOLAR: .....	20
2.1.2. TOMATE CHERRY .....	22
2.1.2.1 CLIMA Y SUELO EN EL CULTIVO DE TOMATE: .....	22
2.1.2.2 TEMPERATURA: .....	22
2.1.2.3 HUMEDAD:.....	24
2.1.2.4 LUMINOSIDAD: .....	24
2.1.2.5 TUTORADO DEL TOMATE .....	24
2.2. MARCO LEGAL.....	26
2.3. MARCO HISTÓRICO .....	26
<b>3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO .....</b>	<b>28</b>
3.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE PIEDECUESTA, SANTANDER.....	28
3.2. CRITERIOS Y ALTERNATIVAS PARA EL CULTIVO .....	32
3.2.1. INVERNADERO DE DOBLE CAPILLA.....	32
3.2.2. PLANO DEL INVERNADERO ESTIMADO AUTOCAD.....	33
3.2.3. CÁLCULO DE VENTILACIÓN. ....	37
3.2.4. CÁLCULO DE POTENCIA DE EXTRACTORES .....	37
3.2.5. CÁLCULO DE ILUMINACIÓN .....	37
3.2.6. CÁLCULO DEL RIEGO.....	38
3.3. CUADRO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS .....	40
3.4. CÁLCULO DE PANELES SOLARES .....	42

<b>3.5.</b>	<b>CÁLCULO DE BATERÍAS .....</b>	<b>42</b>
<b>3.6.</b>	<b>CALCULO DE INVERSORES .....</b>	<b>43</b>
<b>4.</b>	<b><u>RESULTADOS .....</u></b>	<b><u>44</u></b>
<b>4.1.</b>	<b>CURVA DE DEMANDA.....</b>	<b>44</b>
<b>4.2.</b>	<b>NÚMERO DE PANELES SOLARES .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3.</b>	<b>CÁLCULO DE LAS BATERÍAS .....</b>	<b>48</b>
<b>4.4.</b>	<b>RESULTADOS EXTRACTORES .....</b>	<b>48</b>
<b>4.5.</b>	<b>RESULTADOS DE ILUMINACIÓN .....</b>	<b>49</b>
<b>4.6.</b>	<b>RESULTADOS EL RIEGO .....</b>	<b>51</b>
<b>4.7.</b>	<b>RESULTADOS DE INVERSORES.....</b>	<b>52</b>
<b>4.8.</b>	<b>PROTOTIPO DE INVERNADERO .....</b>	<b>52</b>
<b>5.</b>	<b><u>CONCLUSIONES .....</u></b>	<b><u>55</u></b>
<b>6.</b>	<b><u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</u></b>	<b><u>57</u></b>
<b>7.</b>	<b><u>ANEXOS.....</u></b>	<b><u>59</u></b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. COSECHA DEL TOMATE EN COLOMBIA .....	17
FIGURA 2. INVERNADERO TIPO CAPILLA A DOS AGUAS CON DIENTE DE SIERRA .....	20
FIGURA 3. RADIACIÓN SOLAR EN EL INVERNADERO .....	21
FIGURA 4. TOMATE CHERRY.....	22
FIGURA 5. CULTIVO DE TOMATE EN INVERNADERO .....	24
FIGURA 6. TIPOS DE TUTORADO DEL TOMATE .....	25
FIGURA 7. CLIMA EL 28 DE OCTUBRE EN PIEDECUESTA. ....	28
FIGURA 8. CLIMA EL 28 DE OCTUBRE.....	29
FIGURA 9. CLIMA EL 28 DE OCTUBRE. ....	29
FIGURA 10. MAPA DE BRILLO SOLAR .....	30
FIGURA 11. MAPA DE IRRADIACIÓN SOLAR.....	31
FIGURA 12. MEJORA DEL CULTIVO .....	32
FIGURA 13. INVERNADERO DE DOBLE CAPILLA .....	33
FIGURA 14. VISTA FRONTAL .....	33
FIGURA 15. INVERNADERO 3D.....	34
FIGURA 16. VISTA LATERAL DEL INVERNADERO.....	34
FIGURA 17. VISTA FRONTAL INVERNADERO .....	35
FIGURA 18. SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO .....	39
FIGURA 19. CANTIDAD DE AGUA POR DÍA.....	39
FIGURA 20. CONEXIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS .....	41
FIGURA 21. CURVA DE DEMANDA POR CADA ELEMENTO .....	45
FIGURA 22. CURVA DE DEMANDA TOTAL.....	45
FIGURA 23. CARACTERÍSTICAS DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS .....	47
FIGURA 24. CARACTERÍSTICAS PANEL FOTOVOLTAICO .....	47
FIGURA 25. ESQUEMA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN .....	49
FIGURA 26. DISTRIBUCIÓN DE LA LUMINOSIDAD EN EL INVERNADERO .....	50
FIGURA 27. VALORES EN LUX.....	50
FIGURA 28. GOTERO.....	52
FIGURA 29. PROTOTIPO INVERNADERO .....	53
FIGURA 30. PROTOTIPO INVERNADERO .....	53
FIGURA 31. PROTOTIPO INVERNADERO .....	54
FIGURA 32. PROTOTIPO INVERNADERO .....	54



## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. RELACIÓN DE TEMPERATURA Y SUS EFECTOS EN CULTIVOS DE TOMATE .....	23
TABLA 2 TEMPERATURA EN ESTADO DE DESARROLLO DEL TOMATE CHERRY .....	23
TABLA 3. COMPARACIÓN COSTO Y TÉCNICAS DE CONTROL DE INVERNADERO .....	35
TABLA 4. CUADRO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS Y CONSUMO .....	40
TABLA 5. ESPECIFICACIÓN DE CONSUMO DE POTENCIA EN (W) / HORA .....	44

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 EXTRACTOR PARA EL INVERNADERO FOTOVOLTAICO .....	59
ANEXO 2. MARCA Y CARACTERÍSTICAS DEL PANEL SOLAR A UTILIZAR EN EL MODELO DE INVERNADERO FOTOVOLTAICO .....	60
ANEXO 3 MARCA Y CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR A UTILIZAR EN SISTEMA DE INVERNADERO FOTOVOLTAICO .....	61
ANEXO 4 PROGRAMADOR DE GRIFO .....	62
ANEXO 5 MARCA Y CARACTERÍSTICAS DE LUMINARIA A UTILIZAR EN INVERNADERO FOTOVOLTAICO .....	64

### LISTA DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 .....	37
ECUACIÓN 2 .....	37
ECUACIÓN 3 .....	38
ECUACIÓN 4 .....	40
ECUACIÓN 5 .....	42
ECUACIÓN 6 .....	42
ECUACIÓN 7 .....	43

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto está dirigido a la incorporación de energías alternativas en invernaderos, en particular mediante un análisis técnico de la agroindustria en el sistema de producción del tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L. var. Cerasiforme) en el municipio de Piedecuesta departamento Santander; se obtendrán de este las características de producción de este fruto, el riego y la producción en invernaderos. Mediante una metodología de tipo descriptivo-cualitativo, se toman las condiciones climáticas más adecuadas para la plantación, que permitan mejorar y optimizar los recursos monetarios, de material y humano así bajando los costos e incrementando las ganancias, que de manera directa beneficien a todo el personal del sector agrícola para una mejor calidad de vida, en el departamento de Santander.

El resultado fundamental de este trabajo parte de analizar de manera ordenada y clara los distintos procedimientos para poder cultivar el tomate cherry, para así valorar la implementación de instrumentos tecnológicos para diseñar un invernadero que haga aprovechamiento de energías alternativas y limpias de tipo fotovoltaico, deduciendo un ambiente controlado con lo cual se puedan elevar los grados de producción, minimizar los costos y favorecer la calidad del producto. Por otra parte se expone una nueva forma de empleo para el agricultor para así maximizar los beneficios en tan importante actividad para el desarrollo del país.

**PALABRAS CLAVE.** Tomate cherry, invernadero, energías, agrícola, fotovoltaico.

## INTRODUCCIÓN

Un invernadero fotovoltaico es una disposición cerrada cubierta por componentes plásticos translúcidos, que por dentro del cual se obtienen condiciones artificiales ideales para producir el cultivo de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L. var. Cerasiforme), así dentro de este invernadero se consigue un apartamiento tanto de calor como de partículas contaminantes de cultivos. Por otro lado es indispensable que estos invernaderos cuenten con artefactos que permitan dominar y cambiar los requisitos del microclima generado. Al terminar el proyecto se obtendrá un sistema estimado de un invernadero fotovoltaico, este contará con sistemas de iluminación, ventilación, deshumidificación y riego controlado; que permitirá cuidar a los cultivos de cambios climáticos bruscos como heladas, altísima humedad, largas sequías, abundantes viento, y demás factores que pudieran maltratar el cultivo. Con un invernadero fotovoltaico así se podrá cultivar tomate cherry todo el año en las mejores condiciones posibles utilizando como principal alimentación la energía solar una de las energías limpias y renovables más usadas a nivel mundial para el cultivo en invernadero que permite auto sostener las condiciones del cultivo mitigando costos y aumentando la producción en cualquier etapa del año con sus climas cambiantes ya que los microclimas creados son los adecuados para la obtención de un tomate cherry sano generando más comodidad al agricultor y confianza en las nuevas tecnologías Permitiendo un producto de excelente calidad, rentables y de acuerdo con las exigencias de los mercados.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un invernadero fotovoltaico tiene una función muy importante y la más principal es la de mantener y controlar el área del cultivo, con los requisitos más aptos dependiendo de la plantación para así poder controlar la luminosidad, temperatura, humedad, pesticidas y bióxido de carbono entre otros agentes, para poder producir plantas para diversos propósitos. El uso de pesticidas ocasionan daños para los seres humanos que trabajan en los invernaderos, una gran parte de los invernaderos fotovoltaicos son monitoreados por el sistema de descarte de climas y no por una serie de sensores programados que indican si las condiciones del medio ambiente dentro del invernadero son las mejores para la plantación de tomate cherry. Las exigencias en temperaturas de la planta de tomate, se puede catalogar como de planta exigente en temperatura, es decir, dan fruto en buenas condiciones con regímenes térmicos de 13/18° C durante la noche y 16-30° C durante el día (Agrícola, 2014).

Una opción para poder solucionar esta circunstancia han sido los invernaderos fotovoltaicos (Ortiz, 2015), con la finalidad de optimizar cada paso del desarrollo de la planta usando de la mejor manera las condiciones químicas y físicas imprescindibles para que la mata se desarrolle y crezca de una manera adecuada produciendo un tomate cherry sano y de alta calidad. Este tipo de invernadero permite que los modelos de calidad ideados por el ingeniero minimicen al máximo el error, de esta manera también se aumentan la velocidad y la capacidad de la producción del tomate cherry. Según el ancho de nave se puede dar mayor altura a la nave del invernadero y por tanto obtener mayor volumen de aire y mejor inercia térmica (Capua, 2011), la idea está logrando una gran acogida desde hace aproximadamente un año en una de las provincias de la costa en la República Popular China (Isan, 2012).

Por tal razón, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo reducir los costos altos de producción en la plantación de tomate cherry implementando un invernadero fotovoltaico?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Con la entrada de la tecnología en el campo las industrias grandes llegan a producir cada vez más y más y a bajos costos con la ventaja de mantener alta calidad en el producto, esto trae una dura competencia para el humilde trabajador agrícola que tiene unos recursos muy escasos y no puede alcanzar a usar la tecnificación agrícola en sus plantaciones ya sea para minimizar los costos o producir más vegetal. (Perfetti, 2013).

Por esta importante razón, se ha querido esquematizar y acondicionar un modelo a escala de un sistema de invernaderos fotovoltaicos, con un costo bastante bajo y un manejo muy factible para que accedan a usuarios de bajos recursos y que a su vez los ayuden a optimizar el tiempo dedicando a la familia u otros cultivos para ser más competitivos y prósperos. (Berrocal, 2015)

El mayor provecho de este sistema de invernadero fotovoltaico es el auxilio que ofrece a los campesinos para así competir de manera equitativa con más producción permitiendo tener invernaderos fotovoltaicos más auto sostenible y con gran precisión al bajar la participación del campesino ya que de esta manera lo mejorara mayormente la producción de la plantación de tomate cherry manteniendo un control total sobre la plantación.

Así mismo, este sistema aumenta el estándar de vida del campesino al aprobar que este pueda darle una mayor cantidad de tiempo a diferentes actividades a la agricultura ya sea laboral o familiar que asegure su felicidad teniendo siempre el control de todos los factores climáticos que puedan afectar el cultivo y la vigilancia del clima óptimo del tomate cherry dentro del invernadero fotovoltaico. Como valor agregado a este proyecto, se busca fortalecer la labor del proceso investigativo de la línea de investigación de Generación con energías renovables, del Grupo de Investigación en Energía - GIE.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Estimar un sistema de energía alternativo para un invernadero destinado al cultivo de tomates Cherry mediante el desarrollo de un modelo a escala del mismo

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

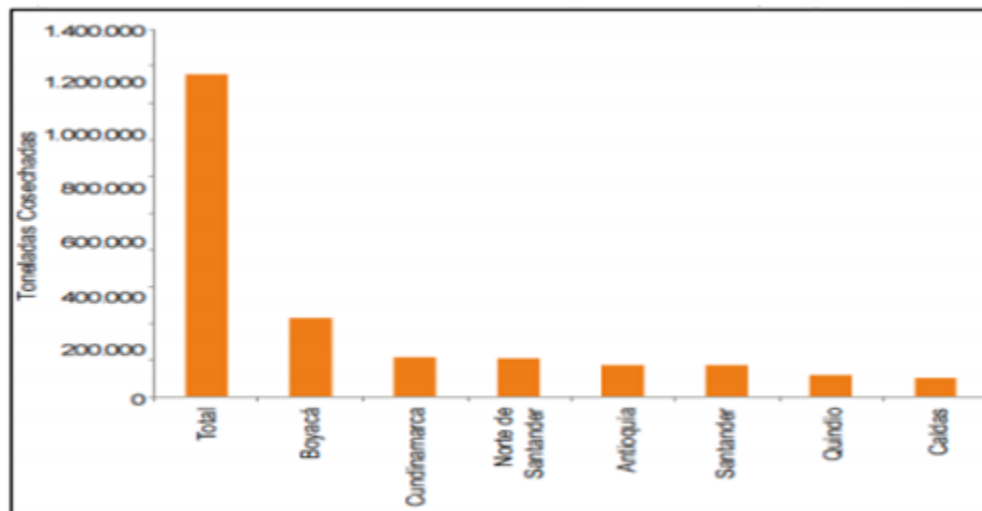
- Establecer las condiciones agroclimáticas para el cultivo del tomate cherry, mediante elaboración de un estado del arte.
- Realizar el inventario de cargas que serían necesarias, para implementar un microclima que favorezca la producción de tomate cherry en invernadero
- Estimar el sistema de energía alternativo de tipo fotovoltaico que suministre energía a un invernadero en el cual se pueda cultivar tomate cherry, tomando como referencia sistemas ya implementados.
- Implementar un modelo a escala para servir como elemento demostrativo, que permita ilustrar el uso de energías alternativas, para suplir de energía a proyectos que desarrollen el sector de la agricultura en Santander



#### 1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

Para empezar a hablar del tomate se parte de expresar que tiene su origen en el continente americano y que se cultiva en casi todo el mundo ya que se puede consumir sin ningún inconveniente. El tomate siempre se ha dado en territorio colombiano y es un producto indispensable en la cocina y es de los más cultivados después de la papa y la cebolla de rama. A continuación en la Figura 1 se muestra un porcentaje de las cosechas en los diferentes territorios de Colombia. (DANE, 2014).

**Figura 1. Cosecha del tomate en Colombia**



Fuente: (DANE, 2014)

El fin de este proyecto es usar energías alternativas en plantaciones con invernaderos fotovoltaicos, se nombra un término que va tomando cada vez mas y mas fuerza en el mundo del campo y es la agricultura de precisión donde se utiliza la tecnología en los cultivos o plantaciones incrementando así la eficiencia y el desempeño del mismo, para poder utilizar de manera óptima este término se debe controlar de manera exigente las diferentes variables climáticas que podrían dañar los cultivos permitiendo así manejar de forma fácil los cambios climáticos bruscos que afectan la salud de la mata. (Babu, 2013).

En la actualidad en Colombia se están utilizando los cultivos bajo invernadero; dentro del invernadero hay un ambiente que está aislado del medio por lo cual este protege las plantaciones de bacterias y de algunas plagas que están en el ecosistema donde se ubica el invernadero, armando esta estructura se quiere lograr tener un microclima óptimo y adecuado para poder controlar el cultivo

manteniendo así las variantes del clima en un equilibrio que mantenga a la planta dentro de su mejor rango de desarrollo. (DANE, 2014).

Colombia no es un país que este tecnológicamente muy desarrollado aunque sea un país en el cual su economía tiene un porcentaje alto en la rama de la agricultura, es por tal razón que es el mayor exportador de productos como las flores y el café del mundo. Para mantener el sector de la agricultura rentable se crean a diario estrategias para aumentar la eficiencia de los recursos tales como la utilización de agua lluvia en los cultivos y la invención de estrategias para cuando hallan cambios bruscos de clima que afecten a sobremanera el cultivo así como sistemas de riego más eficaces (Garzon, 2012). Iniciando con la utilización de un riego que no malgaste el agua y que sea eficiente, se decide tomar la opción de un sistema de riego por goteo que garantiza una humedad optima y un mínimo desperdicio de agua almacenando el agua lluvia en tanques que servirán para regar el cultivo. Acá es donde se propone usar la precisión en la agricultura que ayudará a mejorar los cultivos bajo invernaderos fotovoltaicos midiendo las variables de luminosidad, humedad y temperatura. (Digital, 2015)

En GEYTEC, durante años se realizó un proyecto mostrando que es posible la producción de vegetales bajo invernadero fotovoltaico colocando los paneles solares en el techo del invernadero ubicándolos de la mejor manera para aumentar la captación de luz solar lo que dará una mayor eficiencia del panel solar utilizando materiales que controlen a medida las variaciones y que soporten todas las adversidades del medio ambiente manteniendo seguro el cultivo.

## 2. MARCOS REFERENCIALES

### 2.1. MARCO TEÓRICO

#### 2.1.1. INVERNADERO

El invernadero es un recinto cerrado utilizado en el agro en donde se tiene un control establecido del clima en el medio ambiente del sector adaptando sus condiciones (suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad y ambiente atmosférico). Utilizando este tipo de técnicas en donde se crea el mejor clima para el entorno natural de la planta aumentando así su rendimiento, mejorando su calidad, equilibrar su producción y poder tener producto cuando las condiciones atmosféricas no sean las más favorables. La principal meta a cumplir con un cultivo monitoreado es obtener un producto de alta calidad. El factor más significativo de la actividad agrícola es precisamente el clima. Algunas de las características de las que las plantaciones carecen son: la falta de radiación solar, la temperatura insuficiente o demasiado alta, una alta o baja humedad, deficiencia en los nutrientes del suelo el exceso de viento o de dióxido de carbono en el aire.

**2.1.1.1 Parámetros para el levantamiento de un invernadero fotovoltaico:** para la fabricación de un invernadero fotovoltaico se debe tener en cuenta los siguientes pasos.

**2.1.1.2 Elección del modelo del invernadero:** el la figura y tipo de invernadero Se deben mirar en qué condiciones están los estados financieros de los fabricantes, siempre y cuando la construcción cumpla con todos los factores importantes para el buen desarrollo de la plantación, que sea practico y fácil de monitorear, sea versátil al cultivar otras especies de matas, y sea lo suficientemente resistente para aguantar las extremas condiciones atmosféricas, el sistema que está adentro completo y que sus piezas sean de larga duración y de fácil conservación. (Jaramillo, 2007).

**2.1.2.3 Orientación:** la localización del invernadero es un muy importante tema ya que juega de modo directo en la captura de irradiación solar y el aumento de la sombra que la misma estructura del invernadero fotovoltaico hace, estudiando las condiciones del invernadero es muy significativa la posición en la que este orientado de norte a sur logrando así que la irradiación solar llegue de manera uniforme al revestimiento a 90 grados. Por consiguiente es de gran relevancia que se deje pasar al menos un 70% de irradiancia solar; sino de manera contraria la luminiscencia fotosintéticamente activa (PAR) se ve disminuida iniciando dificultades tales como: baja producción y un follaje exuberante. Con mínimo porcentaje de irradiación del sol las plantas con sus frutos son más y más susceptibles a la arremetida de plagas y enfermedades, pero también baja la humedad y la consecuencia es la desnutrición de la mata (Hernandez, 2005).

### 2.1.2.4 Invernadero a dos aguas

Está conformado por un techo con forma a dos aguas en el que el primero de los perfiles de las caras inclinadas de la cubierta tiene diferente dirección y en lugar de ser paralelos las dos cubiertas dan la forma de un diente de sierra. La ventilación en este tipo de estructuras, siempre que las medidas no sean tan excesivas, es lo mejor, ya que el viento llega de manera uniforme de las paredes laterales se unen a la pared del centro, formada por las aberturas que conforman cada uno de los dientes en forma de sierra, como se muestra en la Figura 2. (Cemeño, 2005).

Figura 2. Invernadero tipo capilla a dos aguas con diente de sierra



Fuente: (Molina, 2012)

### 2.1.2.5 Radiación Solar:

Este tal vez sea el factor más importante agente del medio ambiente en las plantaciones en un invernadero fotovoltaico controlado, porque es el factor más influyente en el proceso con relación a la fotosíntesis, el equilibrio entre energía y

agua, y el desarrollo y aumento de la plantación. Por esta razón, un buen manejo de la irradiación del sol en el desarrollo del cultivo de tomate cherry bajo invernadero es la principal actividad y la más importante en el cultivo de vegetales protegidos bajo invernadero, tal factor significativo se mantiene en una relación de forma directa entre la producción del vegetal y el rendimiento de la irradiación que capta la plantación. (Hernández, 2005).

**Figura 3. Radiación Solar en el Invernadero**



Fuente: (Hernandez, 2005) (Sotillo, 2015)

Una vista trascendental a recalcar es la utilización de revestimientos en invernadero, independientemente del tono de color del revestimiento, estas deben tener materiales de difusión de luminosidad para conseguir poca sombra en el interior del cultivo al paso de la irradiación difusa; la pigmentación blanca del revestimiento plástico tiene superior cantidad de aditivos difusores que los de color verde.

### 2.1.2. TOMATE CHERRY

Solanum lycopersicum es su denominación científica. También se le puede llamar como tomate de cocina asimismo y tomate en otras zonas del país. Corresponde a el linaje solanaceae y a la clase Solanum (de ahí su nombre científico). Al día de hoy esta planta se puede ver cultivada en aproximadamente cualquier sitio. (Agromatica, 2015)

**Figura 4. Tomate Cherry**



Fuente: (Sotillo, 2015)

**2.1.2.1 Clima y suelo en el cultivo de tomate:** El tomate cherry es una especie de vegetal que se puede cultivar en aproximadamente cualquier clase de climas. Con una excepción en los climas donde hay grandes heladas, evento al que el tomate cherry es muy delicado. Y sabiendo los tiempos del germinado de tomate se establece que debe tener un periodo independiente de 110 días sin heladas. (Agromatica, 2015).

**2.1.2.2 Temperatura:** es el principal agente atmosférico y más influyente en todas las fases de perfeccionamiento y transformaciones fisiológicas de la mata. El progreso grato de sus distintas etapas (gestación, desarrollo vegetativo, floración, fructificación y maduración de frutos) todo esto depende del grado de temperatura que la mata alcance dentro del invernadero en cada fase afable. (Jaramillo, 2007)

**Tabla 1. Relación de Temperatura y sus efectos en cultivos de tomate**

Temperatura	Efecto que produce en la planta
Mínima 8-12° C	Los procesos de toma de nutrientes y crecimiento alcanzan una intensidad mínima o se detienen; si la temperatura mínima se prolonga por varios días la planta se debilita, y si ocurren temperaturas por debajo de este nivel, la planta sufre una progresiva decadencia o muerte.
Óptima 21-27° C	Todos los procesos bioquímicos se desarrollan normalmente; el crecimiento vegetativo, la floración y la fructificación son adecuadas.
Máxima 32-36° C	Los procesos bioquímicos y de toma de nutrientes están al máximo, son excesivos y agotadores para la planta, se presentan desórdenes fisiológicos y se detiene la floración; cuando estas temperaturas se prolongan ocurre la muerte de la planta.

Fuente: (Jaramillo, 2007)

El tomate es un vegetal que es capaz de crecer y desenvolverse en una gran variedad de condiciones climáticas. La temperatura mas favorable para el desarrollo está entre los siguientes rangos: 21 y 27 ° C; y para la germinación del fruto durante el transcurso del día está entre los 23 y 26 ° C y en la noche entre los 14 y 17 ° C.

**Tabla 2 Temperatura en estado de Desarrollo del Tomate Cherry**

Estado de desarrollo	T. mínima (° C)	T. óptima (° C)	T. máxima (° C)
Germinación	11	16-29	34
Crecimiento	18	21-24	32
Cuajado de frutos durante el día	18	23-26	32
Cuajado de frutos durante la noche	10	14-17	22
Producción de pigmento rojo (licopeno)	10	20-24	30
Producción de pigmento amarillo (β caroteno)	10	21-23	40
Temperatura del suelo	12	20-24	25

Fuente: (Jaramillo, 2007)

**2.1.2.3 Humedad:** una humedad adecuada para poder cultivar de la mejor manera el tomate cherry de estar entre unos 65% y un 75% para que el crecimiento y fertilidad sean las más óptimas si se pasan de este rango de porcentajes lo que se hace es ayudar al desarrollo de los hongos. (Agromatica, 2015).

Si la humedad del cultivo en su promedio es elevada, facilita que lleguen a la planta enfermedades dañinas como la *Phytophthora infestans*, *Botrytis cinerea* y *Erwinia carotovora*, y que perjudican el vegetal al cual le salen manchas y se madura a parches también una deficiencia de potasio que ocasiona grietas y rajaduras y frutos huecos además de esto dificulta el crecimiento y germinación de la mata. Cuando la humedad es bajita y la temperatura está en aumento se debe hacer una ventilación para facilitar el paso del aire. (Jaramillo, 2007)

**Figura 5. Cultivo de Tomate en Invernadero**



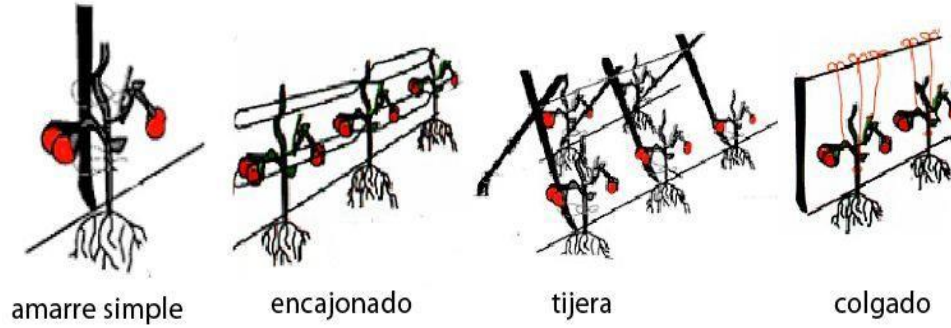
Fuente: (Agromatica, 2015)

**2.1.2.4 Luminosidad:** el tomate es un vegetal que necesita de días con buena radiación solar para un desarrollo favorable y que sea un fruto homogéneo. Días con baja radiación solar dificulta las fases de florecimiento, fecundación y desarrollo vegetativo de la mata. (Agromatica, 2015).

**2.1.2.5 Tutorado del tomate:** el tomate, por ser una vegetal de tipo enredadera, necesita una forma de sostén que no le haga daño a la planta y proteja los frutos del daño causado por la humedad en el terreno y la labor de las plagas, insectos y microorganismos (Jaramillo, 2007). Los sistemas de tutorado más comunes se muestran a continuación.



**Figura 6. Tipos de tutorado del tomate**



Fuente: (Agromatica, 2015)

## 2.2. MARCO LEGAL

La Ley 1715 promulgada en mayo del 2014, tiene como objetivo el desarrollo y usanza de fuentes no convencionales de energía adentro del régimen energético colombiano. Esta ley da incentivos tributarios a las empresas que ejecuten todo tipo de proyectos de energía renovable, pero solo hasta el 3 de febrero de este año salió su regulación, también falta el pormenor de cómo esta podrá ejecutarse y de qué modo se accederán a los incentivos mencionados.

Los incentivos tributarios son importantes, pues permiten rescatar la mala fama que se ha desarrollado alrededor de las energías renovables en corto tiempo. La disminución acelerada de los activos de un plan con una frontera de tiempo de cinco años se puede ver compensada, porque al depreciar un activo en una mayor participación se pagan menos impuestos, pues da la posibilidad de comprimir la utilidad a un 50% del coste de la inversión del plan dentro de los primeros cinco años de la ejecución y según el Artículo 12, de la ley hace que los equipos y servicios importados para la realización de estos proyectos de energías renovables estén exentos de IVA y aranceles.

El procedimiento ha sido una dificultad para reglamentar esta ley, pues el paso por distintos Ministerios y los costos asociados que esto supone, lo han ralentizado de cierta forma. La gestión a seguir son: Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), perteneciente al Ministerio de Minas y Energía, donde al cabo de 45 días hábiles de mostrar la documentación conveniente, se aprueba, objeta o rechaza el proyecto. Una vez aprobado, se debe realizar gestiones en el Ministerio de Medioambiente y Progreso Sostenible, sin estar al corriente aún qué se debe mostrar, ni en que tiempos dan el visto bueno para referir con los incentivos tributarios. En otros países latinoamericanos en los que para proyectos por debajo de 3 Mega vatios de potencia (MWp) de generación, solo requieren documentar el proyecto y sus ahorros para los controles ministeriales a modo de información y con un trámite de esta índole se entregan directamente las exenciones fiscales.

## 2.3. MARCO HISTÓRICO

Hablando un poco de historia de invernaderos los primeros de estos se construyeron aproximadamente hacia 1850 en el cultivo de uvas o viñedos. Se obtienen que al estar la plantas bajo un medio protegido y con mas irradiación con una adecuada temperatura se obtenían muy buenos resultados en la cosecha de la fruta, dependiendo del clima del lugar donde se desee ubicar se estudia el tipo de invernadero que se quiera utilizar (Snelder, 2017).

Para nombrar un ejemplo de utilización del invernadero fotovoltaico se habla de España en circunstancias climáticas en la bahía mediterránea, a mediados de 1970 se difundió el uso de invernaderos fotovoltaicos llegando a provincias como Alicante, Granada, Murcia, y Almería que son importantes sectores en el desarrollo de cultivos bajo invernadero en condiciones controladas donde se notó una mayor eficiencia en la cosecha (Varela, 2016).

Para los últimos 10 años, los invernaderos fotovoltaicos aumentan más y más el crecimiento, se les instalan ventanas de aire más grandes utilizando plásticos con propiedades muy definidas ayudando al aumento de la irradiación solar las estructuras de estos son mucho más grandes ya que el área para cultivar se aumenta y se vuelve muy eficiente en un ambiente controlado (Snelder, 2017).

En Colombia los campesinos renuncian al uso de la tecnología en el agro y la utilización de métodos nuevos promoviendo el uso de las energías renovables por esto la agricultura se ha vuelto mucho más complicada evitando que el campesino obtenga el mayor beneficio de las plantaciones.

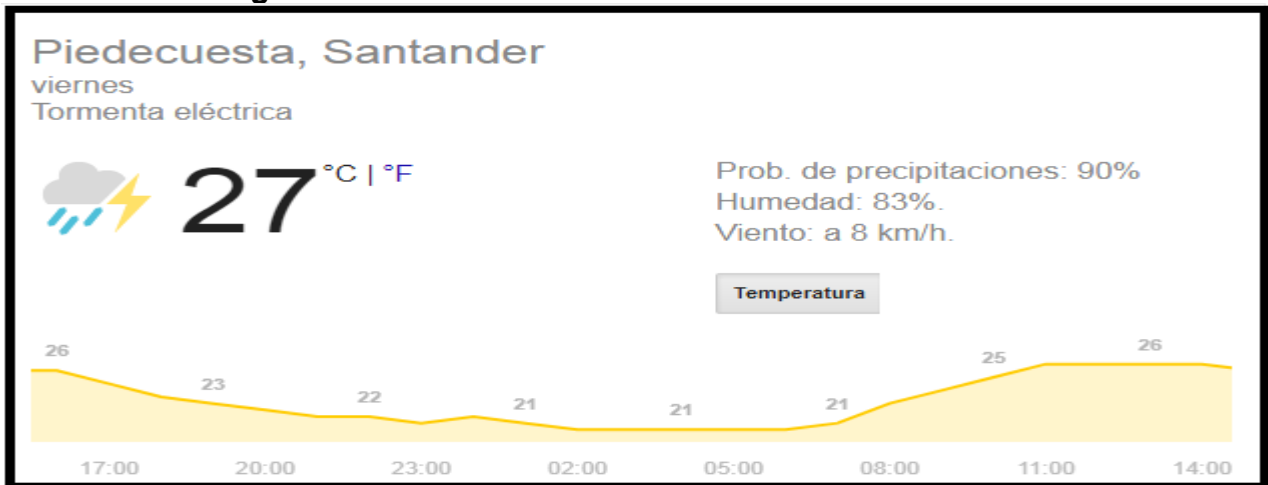
### 3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Se deben considerar diversos criterios técnicos muy importantes para conservar el tomate en óptimas condiciones. Dentro de esos elementos están fundamentalmente las características del clima, que se mencionan a continuación.

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE PIEDECUESTA, SANTANDER

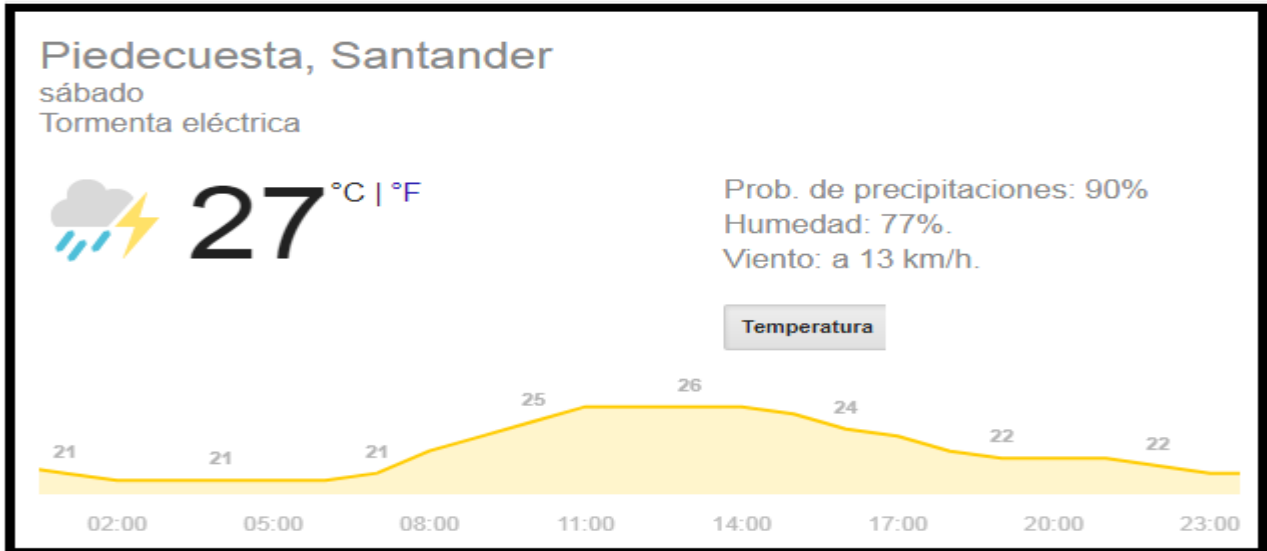
El clima es el conjunto de características meteorológicas que se dan en una superficie muy extensa durante un período largo de tiempo teniendo en cuenta esto; se miden las siguientes características como temperatura, precipitación, viento y humedad que son de gran importancia para el desarrollo del proyecto. El las Figuras 7, 8 y 9 se muestra los datos climáticos donde se encuentra una temperatura promedio de 28°C asumiendo que dentro del invernadero sube la temperatura al menos unos 5°C mas se tendría un total de temperatura de 32°C, un promedio de probabilidad precipitaciones de 93.333%, un promedio de humedad de 80% y un promedio de velocidad del viento de 11.333%

**Figura 7. Clima el 28 de Octubre en Piedecuesta.**



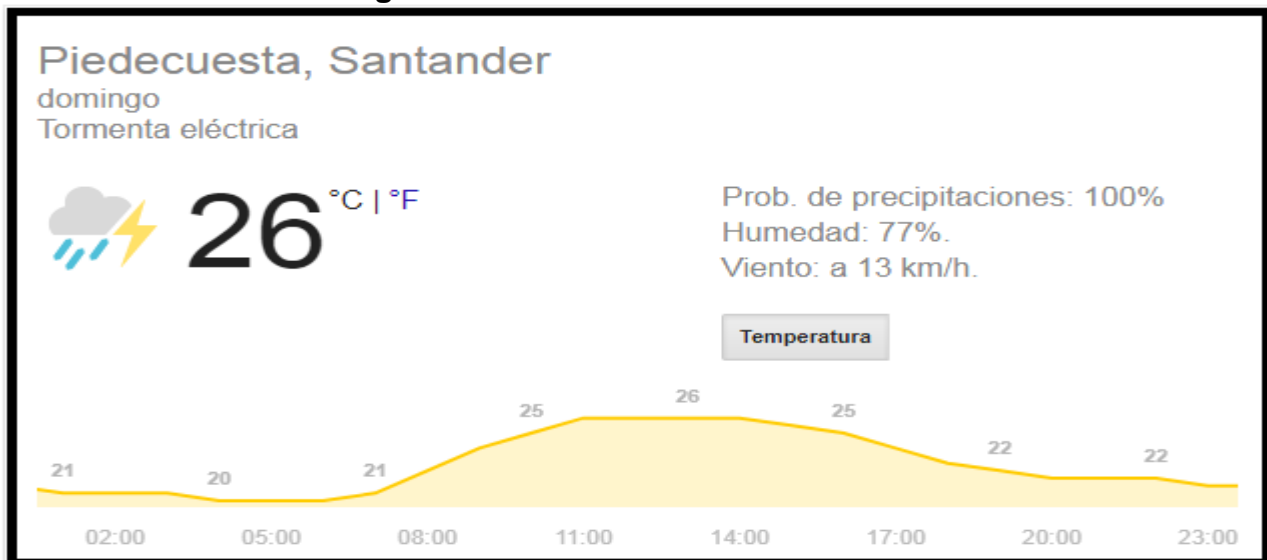
Fuente: (Accuweather, 2017)

**Figura 8. Clima el 28 de Octubre.**



Fuente: (Accuweather, 2017)

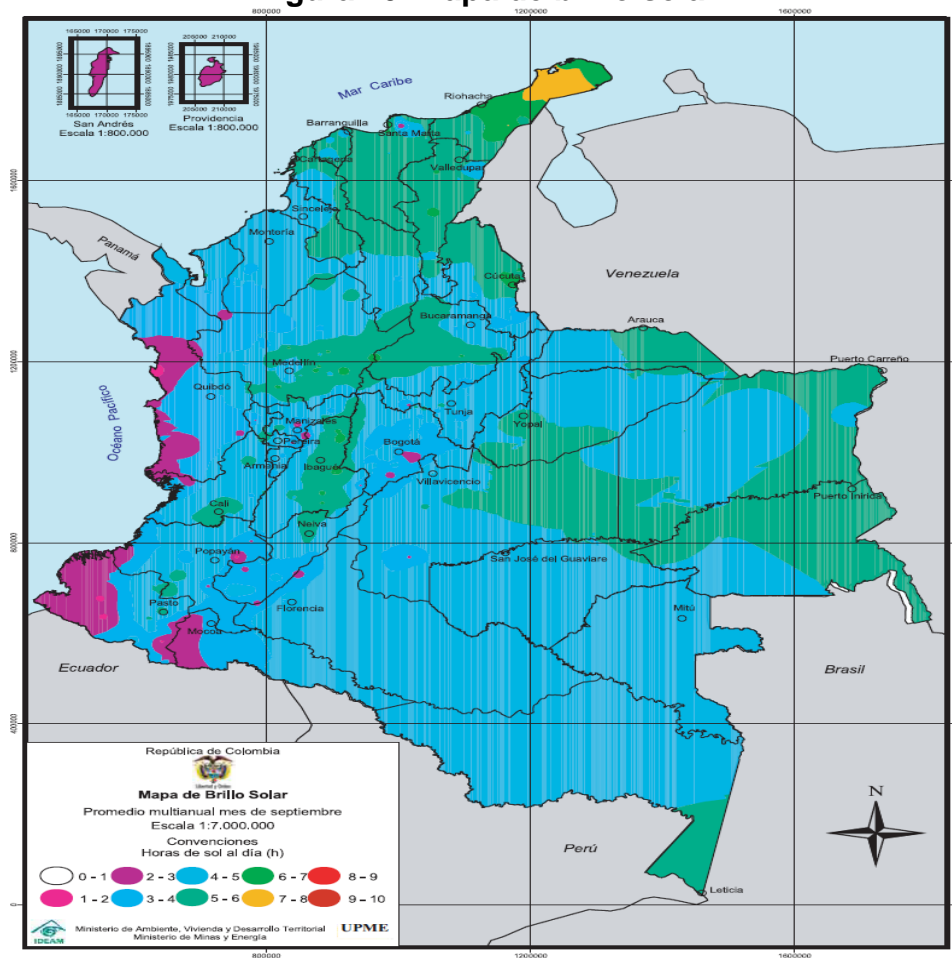
**Figura 9. Clima el 28 de octubre.**



Fuente: (Accuweather, 2017)

En la Figura 10, mediante convenciones de colores, donde la diferenciación desde el blanco hasta el rojo indica una mayor eficacia, se ilustra una aproximación de cociente anual cotidiano de la cifra de horas de sol, resplandor solar, sobre el espacio colombiano. El valor suministrado corresponde al número de horas que en promedio durante un día de cada mes o año se puede observar el sol en el cielo.(UPME, 2017)

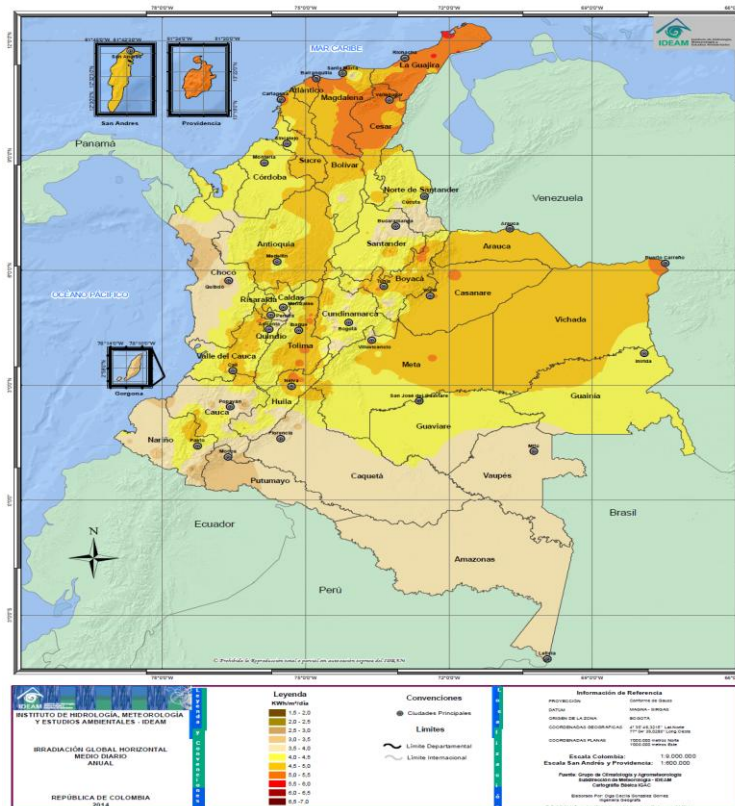
**Figura 10. Mapa de brillo solar**



Fuente: (UPME, 2017)

En la Figura 11 se tiene un mapa de irradiación solar específicamente del mes de octubre donde se presenta la distribución espacial de potencial energético de Colombia; en este mapa se coloca el valor del promedio diario de irradiación solar global, brillo y radiación ultravioleta que incide sobre un área plana por m<sup>2</sup>. Este mapa entrega la información referente a la disponibilidad del recurso renovable que es la energía solar y facilita identificar las zonas más favorables para la utilización de esta energía para la solución de las necesidades energéticas de la comunidad. El conocimiento de la cantidad de irradiación solar es indispensable ya que facilita el aprovechamiento adecuado de este recurso energético mediante el uso de nuevas tecnologías que lo transforma en diversas formas de energías útiles, como el que se propone en este proyecto: un sistema fotovoltaico para la producción de electricidad. (IDEAM, 2014)

Figura 11. Mapa de irradiación solar



Fuente: (IDEAM, 2014)

Recogiendo los datos climáticos del terreno se concluye que la temperatura es buena para el desarrollo del cultivo está dentro del rango favorable para producir un cultivo óptimo y saludable; en cuanto a la humedad está por encima del

máximo permitido por lo cual se estima un sistema de riego donde este sea mínimo ya que favorecería al crecimiento de hongos y al desarrollo de enfermedades que perjudicarían de manera abundante el cultivo; en cuanto a mantener la humedad en su punto favorable se propone ubicar un deshumidificador que ayude a convertir el aire húmedo en aire a temperatura ambiente y extractores para mantener ventilado el invernadero a una temperatura óptima durante el transcurso del día.

### 3.2. CRITERIOS Y ALTERNATIVAS PARA EL CULTIVO

En la Figura 12 se hace un análisis y determinando los agentes de más relevancia que afectan directamente la producción del tomate cherry en el departamento de Santander el objetivo más importante de esta investigación, se propone el diseño de un invernadero con una superficie de 40 m<sup>2</sup> y con un volumen de 160 m<sup>3</sup> de tipo fotovoltaico, donde se controlen los factores climáticos que afectan de manera negativa el cultivo para así mejorar la producción del tomate cherry.

**Figura 12. Mejora del cultivo**



Fuente: (MARTINEZ, 2007)

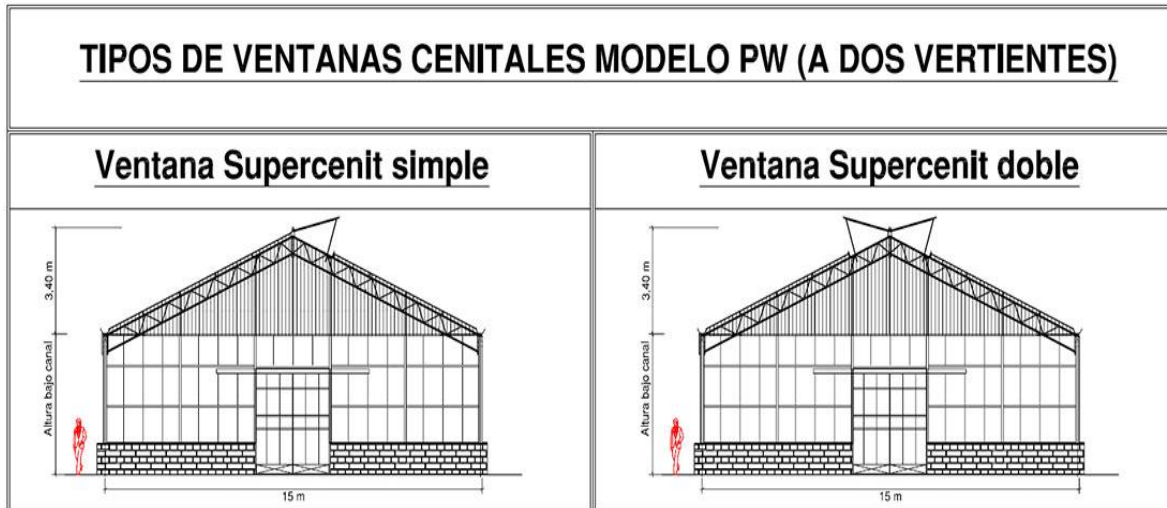
#### 3.2.1. INVERNADERO DE DOBLE CAPILLA

Los invernaderos fotovoltaicos de doble capilla están conformados por dos naves yuxtapuestas. Su ventilación es mejor que en otros tipos de invernadero, porque la ventilación central que tienen en cumbre de los dos escalones que forma la



yuxtaposición de las dos naves; estas rendijas de ventilación deben estar abiertas todo el tiempo y suelen ponerse en ellas malla mosquitera evitando la entrada de insectos que perjudiquen el cultivo. Este tipo de invernadero, mostrado en la Figura 13, no se usa demasiado debido a que su construcción es más complicada y costosa que el tipo de invernadero capilla simple a dos aguas. (Infoagro, 2016)

**Figura 13. Invernadero de doble capilla**

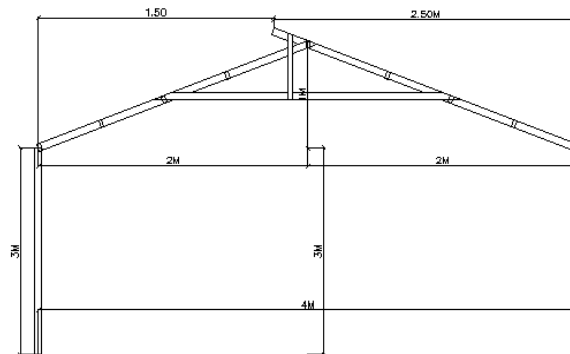


Fuente: (ININSA, 2016)

### 3.2.2. PLANO DEL INVERNADERO ESTIMADO AUTOCAD

En las siguientes Figuras 14 a 17, se presentan los bocetos del diseño propuesto.

**Figura 14. Vista frontal**



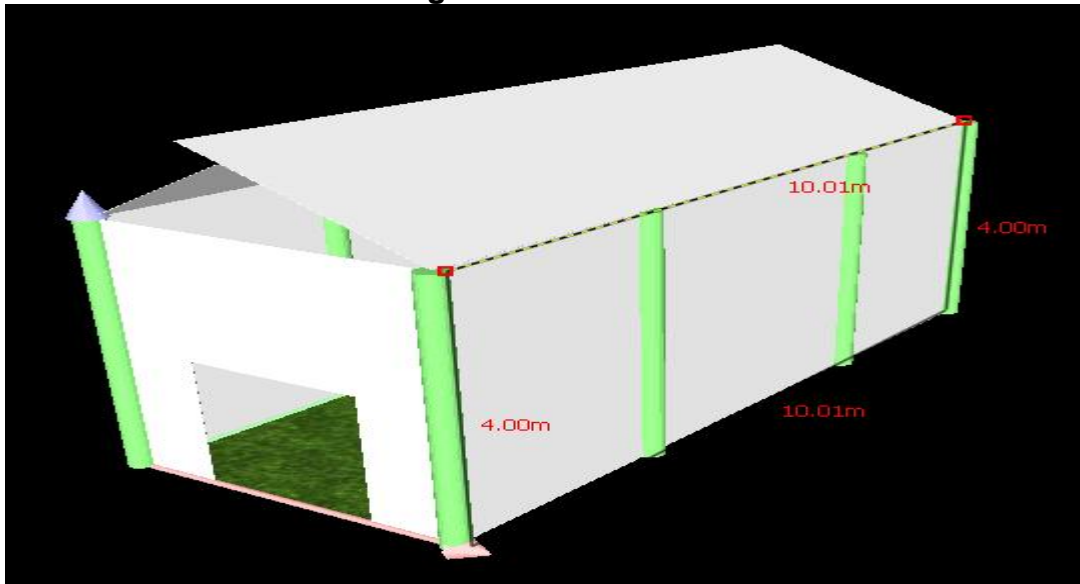
PROPUESTA DE INVERNADERO DE TOMATE

Escala 1:1

CUADRO DE CANTIDADES	
ÁREA TOTAL DE CADA INVERNADERO	40 M <sup>2</sup>
ANCHO POR SECCIÓN	4 M
LONGITUD DE INVERNADERO	10 M
CANTIDAD DE ELEMENTOS POR SECCIÓN	8 M

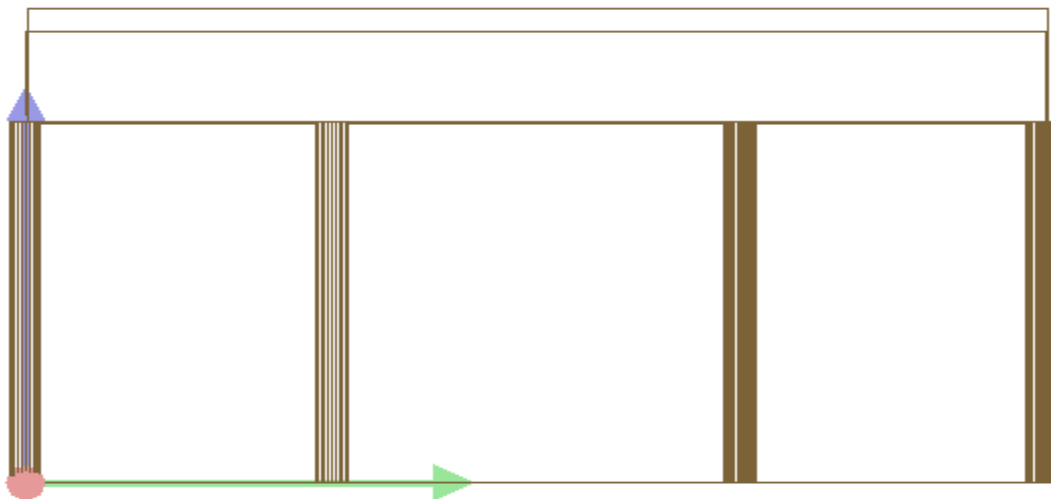
Fuente: Autores

**Figura 15. Invernadero 3D**



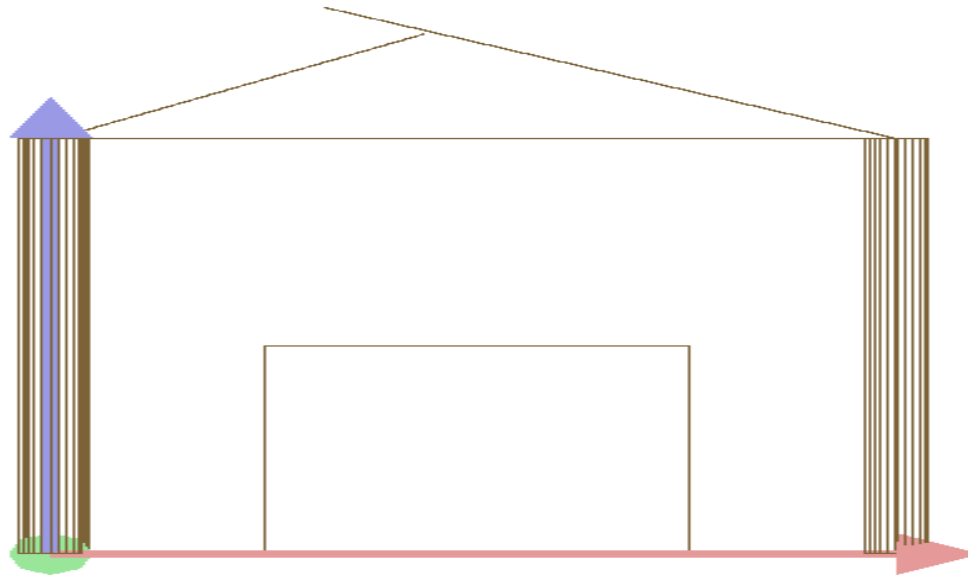
Fuente: Autores

**Figura 16. Vista lateral del invernadero**



Fuente: Autores

**Figura 17. Vista frontal invernadero**



Fuente: Autores

En la Tabla 3, se presenta la comparación de costo y diferentes tipos de modelos y materiales con los que sería posible construir un invernadero de acuerdo al tipo de cultivo que se requiera para este caso es el tomate cherry se escoge los sistemas más adecuados para estimar un sistema fotovoltaico que llene las condiciones necesarias para controlar los agentes climáticos de esta planta.

**Tabla 3. Comparación costo y técnicas de control de invernadero**

OBJETIVO	ALTERNATIVA	CRITERIO		SELECCIÓN
Tipo de control		Costo	Flexibilidad	Digital
	Analógico	Bajo	Medio	
	Digital	Alto	Alto	
Control de temperatura		Costo	Precisión	Ventilación mixta
	Ventilación natural	Bajo	Baja	
	Ventilación forzada	Medio	Media	
	Calefacción	Alto	Alta	
	Ventilación mixta	Medio	Media	
Control de humedad		Costo	Precisión	Ventilación mixta
	Ventilación natural	baja	baja	

OBJETIVO	ALTERNATIVA	CRITERIO		SELECCIÓN
	Ventilación forzada	media	media	
	Ventilación mixta	alta	media	
	Aspersión	media	media	
Riego		Costo	Ahorro de agua	Goteo
	Goteo	Medio	Alto	
	Inundación	Bajo	Bajo	
Técnica de control de riego temperatura y humedad		Costo	Precisión	Lazo cerrado
	Lazo abierto	Media	Alto	
	Lazo cerrado	Baja	Baja	
Técnica de control en riego y suministro de fertilizantes		Costo	Precisión	Lazo abierto
	Lazo abierto	Medio	Medio-alta	
	Lazo cerrado	Alto	Alta	
Material para el sistema de riego		Costo	Durabilidad	Tubería pvc
	Tubería PVC	Bajo	Media	
	Tubería de cobre	Alta	Alta	
Dimensión del invernadero		Costo		40 m <sup>2</sup>
	Hectárea	Medio		
	40 m <sup>2</sup>	Bajo		
Tipo de estructura		Costo	Ventilación	Capilla a dos aguas
	Parral	Bajo	Bajo	
	Capilla	Medio	Media	
	Túnel	Medio	Alto	
Material de la estructura		Costo	Duración	Pvc
	Madera	Bajo	Medio	
	Pvc	Bajo	Alto	
Tipo de cubierta		Costo	Luminosidad	Polietileno térmico
	Policarbonato celular	Alto	Media-alta	
	polietileno térmico	bajo	alta	

Fuente: (MARTINEZ, 2007)

### **3.2.3. CÁLCULO DE VENTILACIÓN.**

Tomando como punto de partida que la característica del aire térmico pesa menos que el aire frío y por ende tiende a elevarse por lo cual se aprecia utilizar un método de ventilación natural, apoyada de extractores. De esta condición se renovara velozmente el aire del invernadero, eliminando el exceso de humedad que acumula el trozo superior.

### **3.2.4. Cálculo de potencia de extractores**

Los extractores se van a utilizar para mantener la buena ventilación y apoyar la ventilación natural por tal razón se va hallar la potencia que utilizará sabiendo el volumen del invernadero (PAO, 2011). Lo que hay que hacer para saber la extracción es multiplicar los m<sup>3</sup> x renovaciones por hora = extractor.

Ecuación 1

$$\text{EXTRACTOR} = \text{VOL DEL INVERNADERO X RENOVACIONES POR HORA [W]}$$

Vol. del invernadero: se da en metros cúbicos m<sup>3</sup>

Renovaciones por hora: constante de renovación de 15 renovaciones por hora es lo ideal para el clima.

### **3.2.5. CÁLCULO DE ILUMINACIÓN**

Los cálculos de iluminación se hicieron mediante el programa **DIALUX 4.13** que permite la simulación de las luminarias en el espacio del invernadero; estos cálculos sirven para cuando no haya el destello solar por algún cambio climático, se pueda remplazar la luz natural solar por artificial. También para saber si cada rincón del invernadero queda bien iluminado para así si en algún momento se necesita ingresar en las horas de la noche no causara accidentes por falta de luminosidad.

**EI DIALUX 4.13** calcula los lux del área punto a punto.: (UPCOMMONS, 2015)

Ecuación 2

$$\Phi = (E \times S) / (\eta \times \delta)$$

$\Phi$ : Flujo total emitido por las luminarias (lm)

E: Iluminación media dependiendo de la zona (lux)

S: Superficie de la zona (m<sup>2</sup>)

$\eta$ : Factor de utilización de la zona.

$\delta$ : Factor de depreciación

### CÁLCULO DEL VALOR LÍMITE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA ILUMINACIÓN

El valor límite es la eficiencia energética de una instalación de la iluminación de una zona y esta expresado de la siguiente manera (W/m<sup>2</sup> por cada 100 lux). (UPCOMMONS, 2015)

Ecuación 3

$$VEEI = (P \times 100) / (S \times Em)$$

P: Potencia de las luminarias (W).

S: Superficie de la zona (m<sup>2</sup>).

Em: Luxes medios de la superficie a calcular (lux).

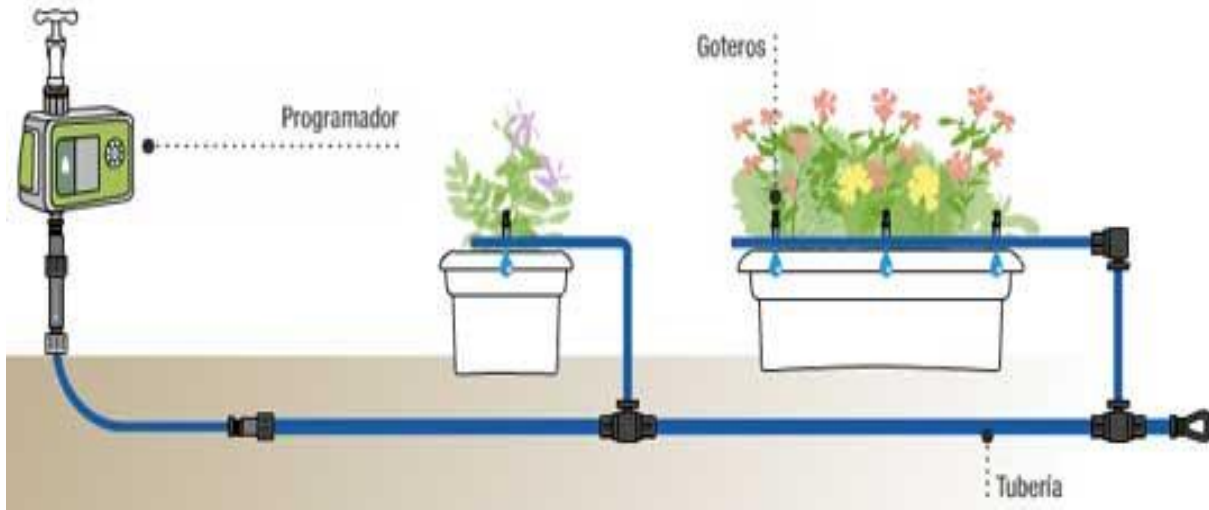
### 3.2.6. CÁLCULO DEL RIEGO

Para este tipo de invernadero se estima un sistema de goteo sencillo y básico además muy económico acorde a lo que se está optimizando. Que consta de (MARTINEZ, 2007) los siguientes elementos.

- Un grifo para proveer el empleo de agua.
- Un cabezal de aspersion o programador. Este aparato, normalmente funciona con pilas, se conectará a la llave y será el encargado de abrirlo y cerrarlo según se haya programado.
- Un regulador de presión. No es preciso pero es muy útil conectarlo a la salida del programador para que baje la presión a la que sale el agua de la llave (la presión que necesitan los goteros es más y más baja, por lo que así se protege la instalación).
- Red de repartimiento: conducto en PVC en la cual se abrirán pequeños orificios para así lograr completar en cada orificio su concerniente gotero para contener el caudal de riego obligatorio diario.
- Piezas auxiliares como llaves, codos para acoplar los tubos en curvas o ángulos, etc.

(MUÑOZ, 2014)

**Figura 18. Sistema de riego por goteo**



Fuente: (MERLIN, 2016)

**Figura 19. Cantidad de agua por día**

Semana de trasplante	Estado de desarrollo	Necesidad diaria (litros • m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )	
		Mínimo	Máximo
1	Enraizamiento	0,6	1,25
2-5	1° a 4° racimo floral	1,5	3,0
6	5° racimo floral	3,5	3,8
7-9	6° racimo floral	3,5	4,0
10-11	7°-8° racimo en flor	4,0	4,5
12-15	Inicio de cosecha	4,5	5,0
16-17		5,5	6,0
18-20		5,5	6,0
21-23		5,0	5,0
24-25		5,0	5,0
25		5,0	5,0
27		5,0	5,0

Fuente, (Hugo Escobar, 2012)

Con el fin de poder satisfacer las necesidades de recurso hídrico para cualquier sistema de plantación, cuando la necesidad sea la mayor. En este caso como refleja la Figura 19 es para empezar la cosecha (5 l/m<sup>2</sup> día). Para obtener la necesidad diaria para todo el invernadero fotovoltaico se tiene en cuenta que el riego está dividido por parcelas y no se riegan a la vez, sino de una en una por medio de unas válvulas con un programador de riego. Por tanto:

- Superficie: 40 m<sup>2</sup>
- Necesidad de la planta: 5 l/m<sup>2</sup> día.
- Necesidad invernadero: 40 x 5 = 200 l/día.

### 3.2.6.1 TIEMPO DE RIEGO

Utilizando la siguiente formula se obtiene el tiempo necesario para cubrir las necesidades de riego de un invernadero con características definidas:

Ecuación 4

$$TIEMPO DE RIEGO = \frac{NECESIDAD DE LA PLANTA}{\# DE GOTEROS POR m^2 \times CAUDAL DEL GOTERO}$$

### 3.3. CUADRO DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS

Teniendo en cuenta que hipotéticamente se estiman condiciones climatológicas óptimas para el cultivo teniendo en cuenta que el sol sale a las 6:30 am y se esconde a las 5:45 pm se obtiene la Tabla 4 referente a las cargas.

**Tabla 4. Cuadro de distribución de cargas y consumo**

#	EQUIPO	CARGA EN [W]	HORAS DE USO	HORAS DE CONSUMO W/H
2	EXTRACTOR A 400 W	800 W	15	12000
1	DESHUMIDIFICADOR	520 W	20	10400
10	LUMINARIAS LED A 10 W	100 W	12	1200
<b>TOTAL</b>				<b>23600</b>

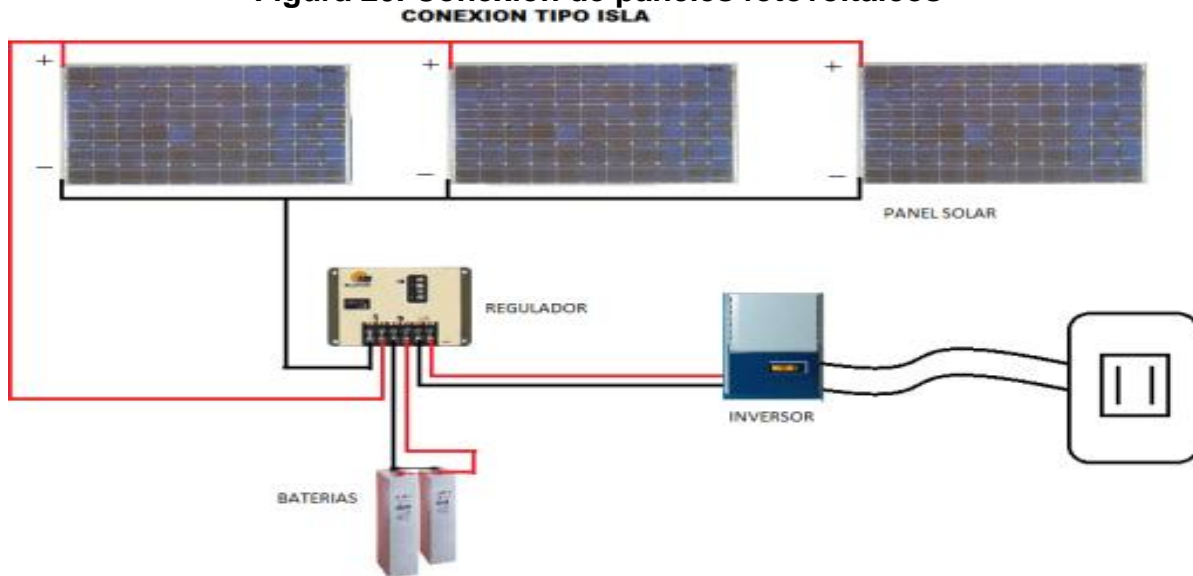
Fuente: Autores

### 3.6.1 PANELES FOTOVOLTAICOS.

La Figura 20, presenta un esquema de un sistema fotovoltaico, con cada uno de los elementos que la componen.



**Figura 20. Conexión de paneles fotovoltaicos**



Fuente: (CARBON, 2010)

**Generador fotovoltaico:** es un artefacto que convierte la energía solar en electricidad.

**Cuadro de protecciones:** protege contra aumentos desmedidos de energía al igual que bajas de electricidad que pueden dañar los equipos.

**Inversores:** son los encargados de tomar la energía captada por los paneles fotovoltaicos y convertirla en energía eléctrica continua o en energía eléctrica alterna son muchos los tipos de inversores que se usan actualmente en los invernaderos fotovoltaicos.

**Baterías:**

Son muchas las variedades de batería que existen según el material del cual se componen para distintas actividades con sistemas de paneles fotovoltaicos normalmente se usan baterías que sean hechas de plomo ya que son más económicas y ofrecen buen rendimiento.

### 3.4. CÁLCULO DE PANELES SOLARES

Teniendo los datos como carga eléctrica, la irradiación del sol y la eficacia promedio del panel fotovoltaico es demasiado fácil encontrar el vatiaje de un panel solar fotovoltaico que abarque toda la demanda encontrada. Hay diversos métodos y muy sencillos para poder hallar el tamaño del panel adecuado a la carga que debe tener el invernadero. La radiación del sol cambia año tras año al igual que el consumo son factores muy variables y en constante cambio por tal razón hay que hallar con mucho cuidado el tamaño del sistema eléctrico, ya que pueden surgir errores por el cambio de tiempo; por lo que se propone utilizar la siguiente ecuación. (CUIYTRONIC, 2017)

Ecuación 5

$$Ar = 1200 \times Ed / Id$$

Dónde:

**Ar:** Tamaño del panel (Wp)

**Ed:** Consumo de electricidad (kWh / día)

**Id:** Irradiación (kWh / m<sup>2</sup> / día)

El tamaño de un sistema FV está dado por el Watt Pico (Wp). Esta es la salida máxima de un panel solar fotovoltaico bajo las condiciones del departamento de Santander. (CUIYTRONIC, 2017)

### 3.5. CÁLCULO DE BATERÍAS

De antemano conociendo el número de paneles solares y su capacidad se procede con el cálculo del número de baterías de almacenamiento utilizando el siguiente método (ENERGIAS INTELIGENTES, 2014).

-Autonomía (AUT, tiempo sin brillo solar):

-Demanda energética (DE): Wh/día

-Eficiencia de las baterías (Rend): 80% <- asumiendo que son baterías de ciclo profundo

-Descarga máxima (Desc): 50% <- sugerido para no afectar demasiado la vida útil de las baterías

-Voltaje del sistema (V): 48 v <- se sugiere 48 v para sistemas mayores de 1500 Wh/día

Ecuación 6

$$\textit{Potencia del banco de baterías (PB)} = (\textit{AUT} \times \textit{DE}) / (\textit{Rend} \times \textit{Descarga})$$

$$\textit{Capacidad total del banco de baterías} = \textit{PB} / \textit{V}$$

### 3.6. CALCULO DE INVERSORES

Para calcular el número de inversores necesarios se utilizó la siguiente ecuación.

Ecuación 7

*# de inversores*

$$= \textit{total de watts consumidos} / \textit{watts maximos del nversor a utilizar}$$

## 4. RESULTADOS

Para el invernadero estimado de superficie de 40 metros cuadrados y de volumen 160 m<sup>3</sup> cada planta requiere un espacio de 0,5 m<sup>2</sup> para que tenga una adecuada respiración y crecimiento por tanto un número acertado de plantas sería de 40 unidades; dos (2) plantas por cada metro cuadrado con un estilo de tutorado de amarre simple. A continuación los resultados obtenidos del sistema estimado para el adecuado cultivo del tomate cherry.

### 4.1. CURVA DE DEMANDA

Teniendo en cuenta la Tabla 4, del capítulo anterior se hace el siguiente análisis de carga por hora del día con el cual se obtiene la curva de demanda para el cálculo del número de paneles solares. El resultado se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5. Especificación de consumo de potencia en (w) / hora**

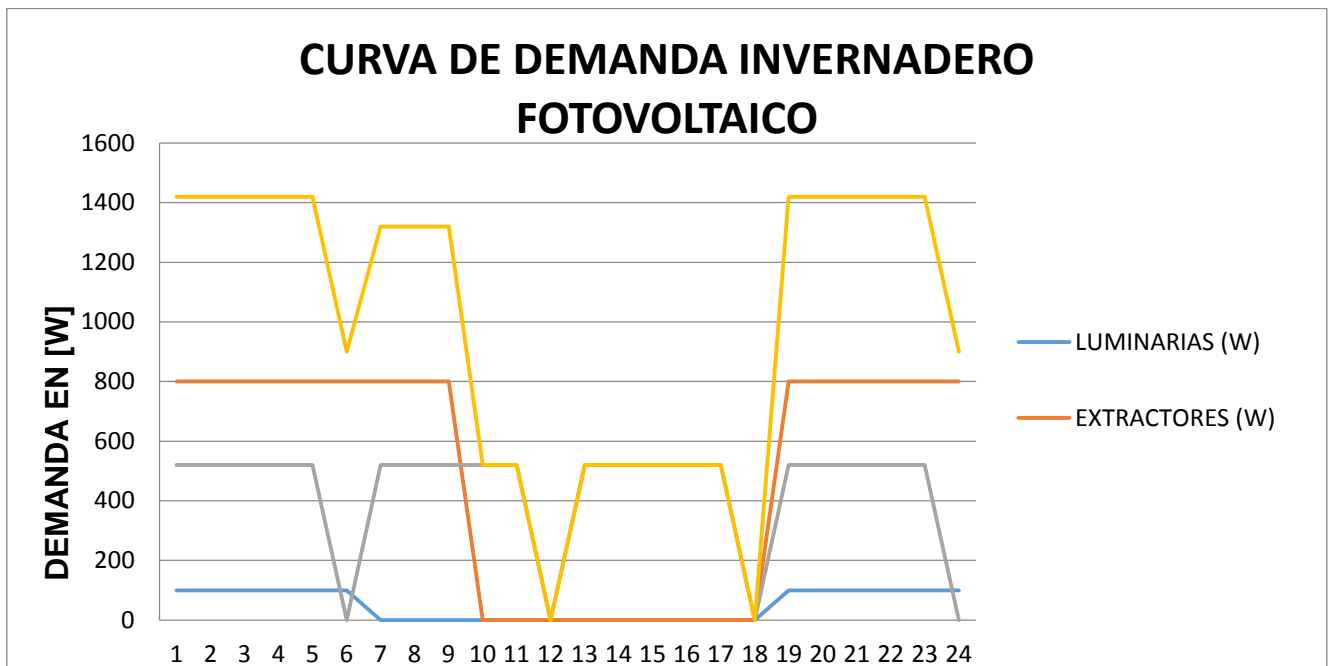
FECHA (Fecha-Hora)	LUMINARIAS (W)	EXTRACTORES (W)	DESHUMIDIFICADOR (W)	TOTALES POR HORA (W)
29/10/2017 12:00 AM	100,00	800,00	520,00	1.420,00
29/10/2017 01:00 AM	100,00	800,00	520,00	1.420,00
29/10/2017 02:00 AM	100,00	800,00	520,00	1.420,00
29/10/2017 03:00 AM	100,00	800,00	520,00	1.420,00
29/10/2017 04:00 AM	100,00	800,00	520,00	1.420,00
29/10/2017 05:00 AM	100,00	800,00	0,00	900,00
29/10/2017 06:00 AM	0,00	800,00	520,00	1.320,00
29/10/2017 07:00 AM	0,00	800,00	520,00	1.320,00
29/10/2017 08:00 AM	0,00	800,00	520,00	1.320,00
29/10/2017 09:00 AM	0,00	0,00	520,00	520,00
29/10/2017 10:00 AM	0,00	0,00	520,00	520,00
29/10/2017 11:00 AM	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/2017 12:00 PM	0,00	0,00	520,00	520,00
29/10/2017 01:00 PM	0,00	0,00	520,00	520,00
29/10/2017 02:00 PM	0,00	0,00	520,00	520,00
29/10/2017 03:00 PM	0,00	0,00	520,00	520,00
29/10/2017 04:00 PM	0,00	0,00	520,00	520,00
29/10/2017 05:00 PM	0,00	0,00	0,00	0,00
29/10/2017 06:00 PM	100,00	800,00	520,00	1.420,00
29/10/2017 07:00 PM	100,00	800,00	520,00	1.420,00
29/10/2017 08:00 PM	100,00	800,00	520,00	1.420,00

FECHA (Fecha-Hora)	LUMINARIAS (W)	EXTRACTORES (W)	DESHUMIDIFICADOR (W)	TOTALES POR HORA (W)
29/10/2017 09:00 PM	100,00	800,00	520,00	1.420,00
29/10/2017 10:00 PM	100,00	800,00	520,00	1.420,00
29/10/2017 11:00 PM	100,00	800,00	0,00	900,00
<b>TOTAL</b>	<b>1.200,00</b>	<b>12.000,00</b>	<b>10.400,00</b>	<b>23.600,00</b>

Fuente: Autores

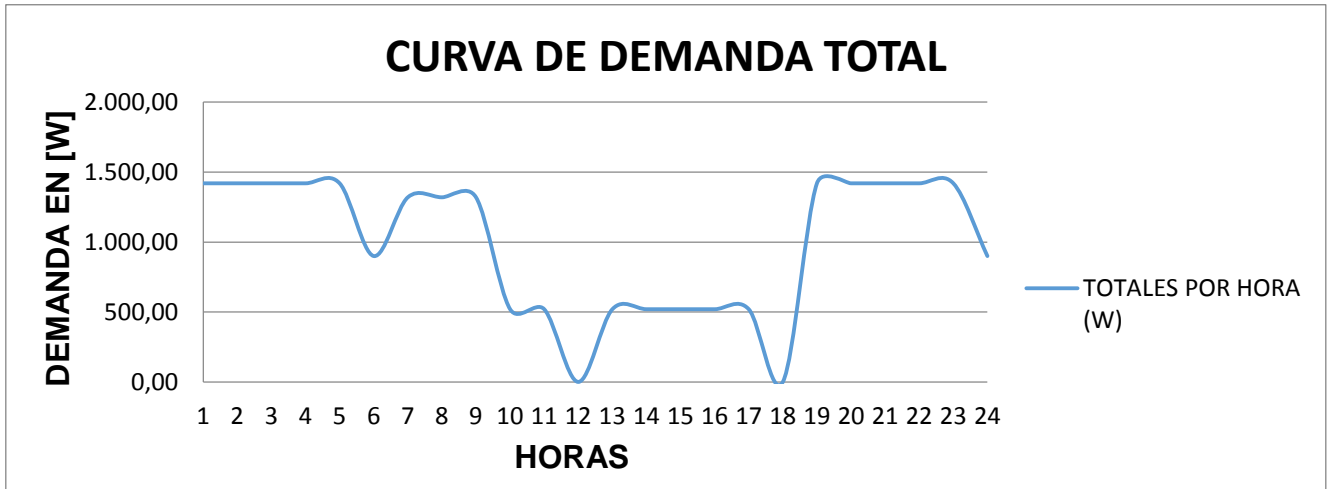
La Figura 21, presenta la demanda de cada elemento considerado. El total está presente en la Figura 22.

**Figura 21. Curva de demanda por cada elemento**



Fuente: Autores

**Figura 22. Curva de demanda total**



Fuente: Autores

#### 4.2. NÚMERO DE PANELES SOLARES

Según el mapa solar la radiación solar para Santander la medida promedio de 5 w/h/m<sup>2</sup>/día=id y el consumo diario promedio es de 23,6 kwh/día por tanto aplicando la fórmula, se obtienen los siguientes resultados.

$$Ar = 1200 \times Ed / Id$$

$$Ar = 1200 \times 23,6 / 5$$

$$Ar = 5664 \text{ watts pico}$$

Luego la capacidad del panel solar será de 5664 watts pico pero actualmente no existen paneles solares con capacidades de potencia tan altas por lo cual se deben sumar varios paneles a determinada potencia que nos sumen el total de la potencia que se necesita para abastecer el invernadero. El panel a escoger es el **GCL-P6/96** de la compañía **GCL System Integration Technology Co., Ltd**, con las siguientes características, expresas en las Figuras 23 y 24:

**Figura 23. Características de los paneles fotovoltaicos**

Características Eléctricas en STC				
Potencia máxima (Pmax)	435 Wp	440 Wp	445 Wp	450 Wp
Tensión en el punto de máxima potencia (Vmax)	50.3 V	50.5 V	50.7 V	50.9 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	8.65 A	8.71 A	8.78 A	8.84 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	60.8 V	61 V	61.2 V	61.4 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9.15 A	9.21 A	9.27 A	9.33 A
Eficiencia	16.8 %	17 %	17.2 %	17.4 %
Tolerancia de potencia (+)	+ 1 %	+ 1 %	+ 1 %	+ 1 %

Fuente: (GCL System Integration Technology Co., Ltd., 2017)

Para suministrar el total de la potencia se plantea colocar 13 paneles solares a 450 w da un total de 5850 w que copa la capacidad necesaria de energía para invernadero.

**Figura 24. Características panel fotovoltaico**

Características Mecánicas	
Dimensiones (A/A/F) ⓘ	2568x1008x40 mm
Peso	36.5 kg
Tipo de células	Policristalino
Numero de células	96
tipo de vidrio	alto transparente
grosor de vidrio	4 mm
Tipo de Trama	aleación de aluminio anodizado
Caja de proteccion de uniones	IP 67
Tipo de conector	MC4
Cables	4 mm <sup>2</sup>
Largo de cable	1300 mm

Fuente: (GCL System Integration Technology Co., Ltd., 2017)

### 4.3. CÁLCULO DE LAS BATERÍAS

Aplicando la ecuación 5 del capítulo anterior se van a calcular el número de baterías necesarias para el almacenamiento del total de paneles solares calculados.

- Autonomía (AUT, tiempo sin brillo solar): 2 días
- Demanda energética (DE): 23600 Wh/día <- *ejemplo*
- Eficiencia de las baterías (Rend): 80% <- *asumiendo que son baterías de ciclo profundo*
- Descarga máxima (Desc): 50% <- *sugerido para no afectar demasiado la vida útil de las baterías*
- Voltaje del sistema (V): 48 v

$$\text{Potencia total del banco de baterías (PB)} = (\text{AUT} \times \text{DE}) / (\text{Rend} \times \text{Descarga})$$

$$= (2 \times 23600) / (0.8 \times 0.5) = 118000 \text{ Wh}$$

$$\text{Capacidad total del banco de baterías} = \text{PB} / \text{V} = 118000 \text{ Wh} / 48\text{v} = 2458.3 \text{ Ah}$$

La batería adecuada para los resultados es de 48v a 625 Ah para un total de un banco de 4 baterías que multiplicadas por 625 nos daría un total de 2500 Ah que abarcaría la capacidad total de los paneles solares.

### 4.4. RESULTADOS EXTRACTORES

Se utiliza la ecuación 1 del capítulo anterior para conocer la potencia de extracción en la cual se multiplican los m<sup>3</sup> x renovaciones por hora = extractor.

Invernadero: 160 m<sup>3</sup>

Por lo tanto para 160 m<sup>3</sup> x 10 = 1600 m<sup>3</sup>/hora (PAO, 2011)

Lo anterior da como resultado que la potencia de los extractores sea de 1600 w. Se proponen dos extractores de 800 w para apoyar la ventilación natural manteniendo así la humedad del ambiente en el rango permitido para que el tomate no sufra enfermedades por exceso de la misma.

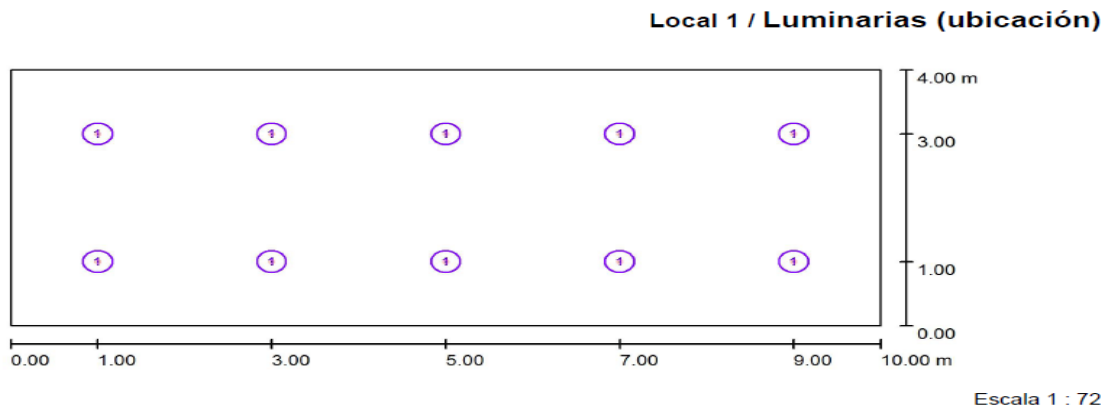


En el Anexo 1, se presenta la ficha técnica de los extractores a utilizar. Según los cálculos para los metros cúbicos se deben utilizar 2 extractores de 1.5 hp.

#### 4.5. RESULTADOS DE ILUMINACIÓN

A continuación se presentan en las Figura 25 al 27, los resultados del cálculo de iluminación.

Figura 25. Esquema del sistema de iluminación



**Lista de piezas - Luminarias**

N°	Pieza	Designación
1	10	ARLIGHT 012012 DG 1001 MIN 45D

**Local 1 / Resultados luminotécnicos**

Flujo luminoso total: 543 lm  
Potencia total: 10.0 W  
Factor mantenimiento: 0.80  
Zona marginal: 0.000 m

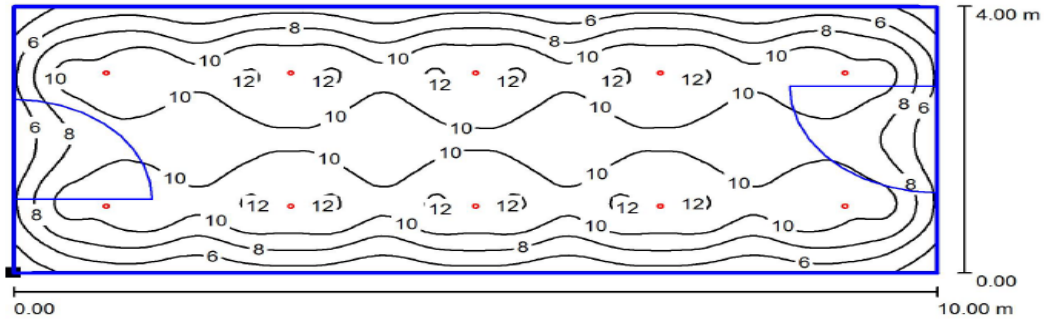
Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m <sup>2</sup> ]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	8.80	0.28	9.08	/	/
Suelo	7.98	0.37	8.36	29	0.77
Techo				57	
Pared 1	0.56	0.78	1.34	57	0.24
Pared 2	0.98	0.66	1.64	57	0.30
Pared 3	0.56	0.79	1.34	57	0.24
Pared 4	0.99	0.66	1.65	57	0.30

Simetrías en el plano útil  
E<sub>min</sub> / E<sub>m</sub>: 0.310 (1:3)  
E<sub>min</sub> / E<sub>max</sub>: 0.229 (1:4)

Valor de eficiencia energética: 0.25 W/m<sup>2</sup> = 2.75 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Base: 40.00 m<sup>2</sup>)

Figura 26. Distribución de la luminosidad en el invernadero

Local 1 / Plano útil / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 72

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)

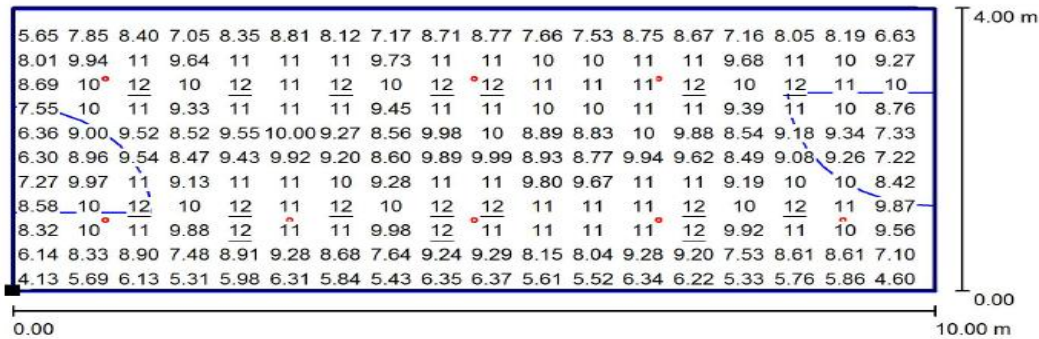


Trama: 128 x 128 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
9.08	2.82	12	0.310	0.229

Figura 27. Valores en Lux

Local 1 / Plano útil / Gráfico de valores (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 72

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
9.08	2.82	12	0.310	0.229

Según los cálculos de iluminación la eficiencia energética es la adecuada según el RETILAP para el sitio teniendo en cuenta que las características climáticas que se usan son las óptimas para este caso en el día siempre estará presente el sol por tanto la iluminación se tendrá en cuenta cuando la radicación solar no esté presente también para el caso de ingreso al invernadero en horario nocturno tener excelente visibilidad para el correcto cuidado del cultivo.

#### 4.6. RESULTADOS EL RIEGO

##### TIEMPO DE RIEGO

En el sistema de riego se colocan goteros auto compensables con un área de resarcimiento de 1 a 5 bares, situados a una distancia de 0,8 metros en el eje X y A 0.8 metros en el eje Y entre ellos. Para computar el tiempo de riego necesaria se ha de saber la cifra de goteros por metro cuadrado. Para ello se tiene:

- 16 goteros por parcela (2 líneas de 8 goteros por 2 ramas)
- Área de la parcela: 40 m<sup>2</sup>
- Número de goteros por metro cuadrado:  $16 \div 40 = 0.4$

Mediante la siguiente formula se obtiene el tiempo necesario para cubrir las necesidades hídricas de una parcela: (MUÑOZ, 2014)

$$TIEMPO DE RIEGO = \frac{NECESIDAD DE LA PLANTA}{\# DE GOTEROS POR m^2 \times CAUDAL DEL GOTERO}$$

Se obtiene un Tiempo de riego de 6,25 horas

$$TIEMPO DE RIEGO = \frac{5}{0.4 \times 2} = 6,25 \text{ HORAS}$$

Se necesita a diario un total de 6,25 horas de riego para el cultivo como las condiciones del terreno en cuanto a humedad son altas el riego por goteo es el adecuado ya que al haber una humedad alta la planta tiende a enfermarse perjudicando así la producción del tomate cherry.

Se usan goteros de ½ litro/ hora de tal manera en un aproximado de 12 horas se abarcara el riego necesario para la plantación. La figura 28, muestra un gotero.

**Figura 28. Gotero**



Fuente: (ININSA, 2016)

#### **4.7. RESULTADOS DE INVERSORES**

Utilizando la ecuación 6 del capítulo anterior se tienen los siguientes resultados (LUGO, 2017) :

**# DE INVERSORES= 5664 WP / 2850 W**  
**# DE INVERSORES = 1,987 ≈ 2 unidades**

Para el total de potencia consumida se necesitan 2 inversores de 2850 w en el anexo 3 se referencia el tipo de inversor a utilizar según la conexión de los paneles mostrada en la figura 20 se repartirán 7 paneles por un lado del invernadero y 6 por el otro lado del invernadero dando uso al número de inversores hallados.

#### **4.8. PROTOTIPO DE INVERNADERO**

Se construyó un prototipo a escala del invernadero estimado que es de 40 m<sup>2</sup> de área y de volumen 160 m<sup>3</sup> donde se muestran los extractores el sistema de riego y la iluminación del proyecto que se abastecen por medio de paneles fotovoltaicos de 10 v. Las Figuras 29 al 32, presentan diversas vistas del prototipo desarrollado.

**Figura 29. Prototipo invernadero**



Fuente: Autores

**Figura 30. Prototipo invernadero**



Fuente: Autores

**Figura 31. Prototipo invernadero**



Fuente: Autores

**Figura 32. Prototipo invernadero**



Fuente: Autores

## 5. CONCLUSIONES

- Se puede indicar que la tecnificación agrícola es una buena inversión no solo para la zona de Piedecuesta (Santander) sino para todo el país entero y por tal conocimiento se puede emplear a los diferentes cultivos que se dan en cada suelo térmico, con estas nuevas tecnologías se pueden optimizar la eficacia del cultivo y se minimizan los costos de creación, sería propicio para el progreso del agro predestinar más recursos en este prototipo de invernadero fotovoltaico para acrecentar la elaboración y reparar la calidad de Existencia de los campesinos.
- La implementación de esta tecnología en la formación de actividades diarias para el mantenimiento de un invernadero ha tolerado que los agricultores dispongan de más tiempo para otras actividades como participar con la familia con el propósito de que le puedan dar más tiempo de calidad a sus hijos o que puedan aumentar sus ingresos al poder vigilar en menos tiempo más número de cultivos.
- El modelo puede ser retocado y engrandecido con la implementación de otros componentes que puedan vigilar distintas variables que a medida que se vaya avanzando en el progreso de la tecnología o sea necesario fiscalizar otros agentes físicos. Esto quiere indicar que el diseño tiene una característica modular que le permite ser ampliada bien sea en tamaño, por si se requiere inspeccionar más cuantía de plantas o de cultivo.
- De la curva de demanda se puede decir que entre las 11 am y 4 pm es el horario donde menos carga se consume de acuerdo a las condiciones climáticas del sitio ya que en ese horario es donde los paneles solares se cargan y almacenan en sus baterías la energía para cuando la irradiación se esconda pueda suministrar lo necesario a todo el sistema del invernadero.
- En cuanto al control de la humedad los extractores estarán funcionando en el horario donde la humedad es más alta en conjunto con la ventilación natural manteniendo así la condición adecuada para la buena salud del cultivo

- Aunque se estiman condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo la buena iluminación del lugar complementara la radiación solar para que el cultivo se desarrolle de manera adecuada y con una buena luminancia se podrá ingresar en el invernadero en horario nocturno facilitando el control de las plantas.
- El diseño y cálculo del riego satisface las condiciones necesarias para el desarrollo adecuado de las plantas evitando así la fumigación con venenos que puede afectar la salud del consumidor.
- El sistema fotovoltaico estimado aunque su costo es alto los beneficios a largo plazo económico y sanitario así también como de tiempo se verán recompensados en el ahorro de energía al desconectarse de la red promoviendo así la utilización de energías limpias y obteniendo cultivo con mayor producción y en excelentes condiciones.



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrícola, N. (12 de 06 de 2014). *http://www.novedades-agricolas.com/es/invernaderos-tomate.*
- Agromatica. (14 de Noviembre de 2015). *Agromatica.* Obtenido de <http://www.agromatica.es/cultivo-de-tomates/>
- Babu. (2013). Satish. A software model for precision agriculture for small and marginal famers. *IEEE*, 12.
- Berrocal, E. M. (12 de Marzo de 2015). *Fundacion UNSAL.* Obtenido de <https://fundacion.usal.es/estrategia/images/stories/2015/enriquemonteroberrocal.pdf>
- Capua, D. D. (11 de Enero de 2011). *upcommons.* Obtenido de <https://upcommons.upc.edu>
- Castilla, N. (2007). *Invernadero de plastico.* Madrid: MUNDI-PRENSA.
- Cemeño, S. (2005). *Construcción de invernaderos.* Madrid: MUNDI-PRENSA.
- DANE. (2014). *Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria.* BOGOTA: BOLETIN MENSUAL.
- Digital, C. (17 de Noviembre de 2015). Obtenido de Colombia Digital: <http://colombiadigital.net/opinion/columnistas/artifice-innovacion/item/4866-como-las-tic-complementan-la-agricultura-de-precision.html>
- Garzon, L. (2012). Temperature, humidity and luminescence monitoring system using Wireless Sensor Networks (WSN) in flowers growing. *IEEE*, 12.
- Hernandez, V. (2005). *Cultivo de tomate en hidroponía e invernadero.* Chapingo: MUNDI-PRENSA.
- Houghton, J. (2002). *Fisica de la atmosfera.* Reino unido: Cambridge University.
- Isan, A. (30 de 11 de 2012). Obtenido de <https://energiasrenovadas.com>
- Jaramillo. (2007). *Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas.* Medellín: CTP Print Ltda.
- Molina, M. (6 de febrero de 2012). *unmarpeculiar.* Obtenido de <http://unmarpeculiar.blogspot.com.co/2012/02/invernadero-de-capilla.html>
- Murrillo. (2012). Andrés F., Peña Mauricio, & Martínez Diego. Applications of WSN in Health and Agriculture. *IEEE*, 12.
- Ortiz, E. S. (2015). Sistemas fotovoltaicos para invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13,14,15.
- Perfetti, j. j. (2013). políticas para el desarrollo de la agricultura en colombia. *políticas para el desarrollo de la agricultura en colombia*, 117,119.
- Perilla. (2011). Estudio técnico-económico del sistema de producción de tomate bajo invernadero en Guatemala, Sutatenza y Tenza (Boyacá). *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 220.
- Snelder. (18 de Mayo de 2017). *SNELDER.* Obtenido de <http://www.snelder.nl/es/historia-de-la-construccion-de-invernaderos>
- Sotillo, S. (15 de noviembre de 2015). *Tienda Ecologica En Madrid.* Obtenido de [www.tiendaecologicaenmadrid.com/home/37-tomate-cherry-ecologico.html](http://www.tiendaecologicaenmadrid.com/home/37-tomate-cherry-ecologico.html)

- Varela, D. (2016). *GREENHOUSE AGRICULTURE IN ALMERIA*. Almeria: CAJAMAR.
- 9, M. 6. (11 de 3 de 2010). *ENERGIAUNAM*. Obtenido de ENERGIAUNAM: <https://energiaunam.wordpress.com/2010/03/11/conexion-tipo-isla/>
- Accuweather. (12 de septiembre de 2017). *Accuweather*. Obtenido de Accuweather: <https://www.accuweather.com/es/co/piedecuesta/106558/hourly-weather-forecast/106558>
- ATERSA. (23 de noviembre de 2016). Ficha tecnica inversor.
- AUTORES. (25 de NOVIEMBRE de 2017). CUADRO DE CARGAS. BUCARAMANGA.
- CUYTRONIC. (17 de ABRIL de 2017). *ELECTRICIDAD GRATUITA*. Obtenido de ELECTRICIDAD GRATUITA: <http://www.electricidad-gratuita.com/calcular-numero-de-panel-solar-fotovoltaico/>
- ENERGIAS INTELIGENTES. (28 de MAYO de 2014). *ENERGIAS INTELIGENTES*. Obtenido de ENERGIAS INTELIGENTES: <http://www.energiasinteligentes.com/noticias/8/como-calcular-el-banco-de-baterias-de-un-sistema-solar>
- GCL System Integration Technology Co., Ltd. (12 de octubre de 2017). *GCL System Integration Technology Co., Ltd*. Obtenido de GCL System Integration Technology Co., Ltd.: [https://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/Polycrystalline/30923?utm\\_source=ENF&utm\\_medium=panel\\_list&utm\\_campaign=enquiry\\_product\\_directory&utm\\_content=11367](https://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/Polycrystalline/30923?utm_source=ENF&utm_medium=panel_list&utm_campaign=enquiry_product_directory&utm_content=11367)
- Hugo Escobar, R. L. (2012). Manual de produccion de tomate bajo invernadero. *Manual de produccion de tomate bajo invernadero*, 1-56. Obtenido de Avalon.Utadeo.
- IDEAM. (2014). *RADIACION SOLAR*. BOGOTA.
- Infoagro. (12 de 10 de 2016). *Infoagro*. Obtenido de Infoagro: [http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/tipo\\_invernaderos2.htm](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos2.htm)
- ININSA. (8 de 09 de 2016). *Fabricante invernaderos*. Obtenido de Fabricante invernaderos: <https://www.fabricanteinvernaderos.com/productos/invernaderos/multicapilla-de-techo-a-2-vertientes/>
- LUGO, J. E. (30 de NOVIEMBRE de 2017). *INVERSORES SOLARES*. Obtenido de INVERSORES SOLARES: <http://inversoressolares.net/>
- MARTINEZ, R. V. (7 de MAYO de 2007). TESIS DE GRADO. *PROPUESTA DE INNOVACION PARA PRODUCCION DE TOMATE ROJO*. MICHOACAN, MEXICO.
- MEGOEQUIPOS. (15 de NOVIEMBRE de 2017). *MEGOEQUIPOS*. Obtenido de MEGOEQUIPOS: <http://megoequipos.com/energia-solar/sistemas-aislados/baterias/>
- MERLIN, L. (1 de 2 de 2016). *LEROY MERLYN*. Obtenido de LEROY MERLYN: [http://www.leroymerlin.es/productos/jardin/riego/programadores\\_de\\_riego/como-elegir-programadores-de-riego.html](http://www.leroymerlin.es/productos/jardin/riego/programadores_de_riego/como-elegir-programadores-de-riego.html)

## 7. ANEXOS

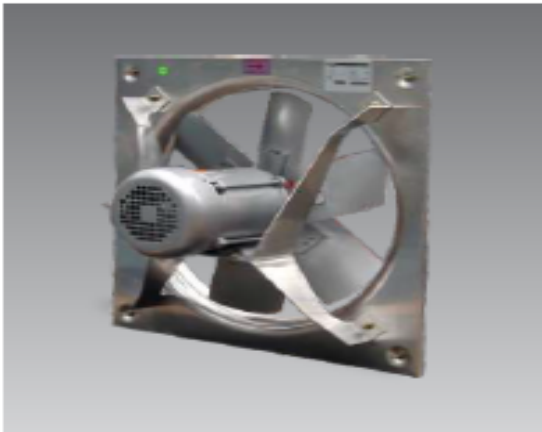
Marca y características de extractores a utilizar en el modelo estimado de invernadero fotovoltaico

### Anexo 1 Extractor para el invernadero fotovoltaico



# HEP

EXTRACTORES A PRUEBA DE EXPLOSIÓN  
400, 500 y 630 mm. de diámetro



Los extractores de tipo axial modelo HEP cuentan con tres tamaños que cubren un gran rango de prestaciones con gran eficiencia; han sido desarrollados para operar en ambientes de riesgo explosivo, en base a normas internacionales ya que el conjunto embocadura-hélice-motor, forma un sistema antichispa, en base a la publicación AMCA STANDARD 99-0401.

Tipo de construcción "A". "Todas las partes del ventilador en contacto con el aire o gas, deben fabricarse en un material no ferroso. Hay que tomar medidas para que la hélice, flecha y rodamientos no estén en contacto con algún material."

**Características Principales:**

Conjunto embocadura, soporte y hélice fabricados en aluminio, hélices en 6 diábolos, motor a prueba de explosión trifásico 4 polos 208-230/460 V. acoplado directamente a la hélice.

**Aplicaciones:**

Extracción de aire o ventilación de locales cuya atmósfera contenga uno o varios componentes explosivos: industria petroquímica, industria química, laboratorios, cuartos de pintura, bodegas de solventes, etc.

**Accesorios:**

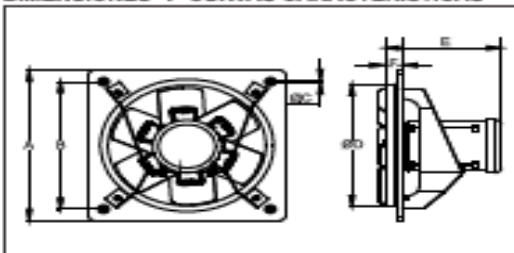
- Persianas, malla de protección, cubierta intemperie, unión persiana.

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Modelo	Velocidad RPM	Potencia HP	Tensión Volts	Intensidad A	Caudal a descarga libre m <sup>3</sup> /hr / CFM	Presión sonora dB(A)*	Peso aprox. Kg
HEP 400	1750	1/4	208-230/460	1.17-1.25/0.625	4,230 / 2,488	64	16
HEP 500	1740	1/2	208-230/460	1.75/0.875	7,850 / 4,588	71	19
HEP 630	1730	3/4	208-230/460	2.42-2.32/1.16	11,320 / 6,659	75	20

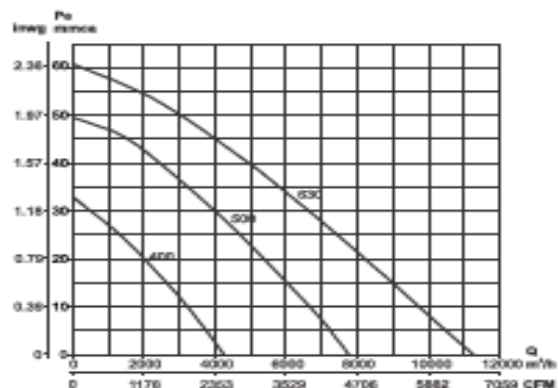
\*Nivel sonoro medido de acuerdo a las normas AMCA 300/05 y 301/06

**DIMENSIONES Y CURVAS CARACTERÍSTICAS**



MODELO	A	B	ØC	ØD	E	F
HEP 400	498	417	9.5	402	314	50
HEP 500	628	556	9.5	497	325	62
HEP 630	807	640	9.5	633	330	72

\*Dimensiones mm.



## Anexo 2. Marca y características del panel solar a utilizar en el modelo de invernadero fotovoltaico

**GCL-P6/96**  
HIGH EFFICIENCY  
MULTICRYSTALLINE MODULE  
**GCL-P6/96 435-450 Watt**

**450<sup>W</sup>**  
MAXIMUM POWER OUTPUT

**17.4%**  
MAXIMUM MODULE EFFICIENCY

**0~+5<sup>W</sup>**  
POWER OUTPUT GUARANTEE

**Trust GCL to Deliver Reliable Performance Over Time**

- World-class manufacturer of crystalline silicon photovoltaic modules
- Fully automatic facility and world-class technology
- Rigorous quality control to meet the highest standard:  
ISO9001:2008, ISO 14001: 2004 and OHSAS: 18001 2007
- Tested for harsh environments (salt mist, ammonia corrosion and sand blowing test: IEC 61701, IEC 62716, DIN EN 60068-2- 68)
- Long term reliability tests
- 2\*100% EL inspection ensuring defect-free modules

**LINEAR PERFORMANCE WARRANTY**  
10 Years Product Warranty    25 Years Linear Power Warranty

Additional value from GCL SI's linear warranty

- ✓ Ideal choice for large scale ground installation
- ♻️ High conversion efficiency due to top quality wafer and advanced cell technology
- ⚡/⊘ PID Selected encapsulating material and stringent production process control ensure product highly PID resistant
- ☂️ Passed sand blowing test, salt mist test and ammonia test; flexible for harsh environments
- ⬆️ Optimized system performance by module level current sorting
- ⚡ Special cell process ensures great performance in low irradiance environment
- 1500V Withstand up to 1500V system voltage effectively reduce BOS cost
- 🧼 Additional yield and easy maintenance with high transparent self-cleaning glass

Additional insurance backed by Swiss RE

**GCL**  
Bringing Green Power to Life

### Anexo 3 Marca y características del inversor a utilizar en sistema de invernadero fotovoltaico

#### INVERSOR SENOIDAL **TAURO BC**



Fuente: (ATERSA, 2016)

El inversor es un equipo diseñado para proporcionar energía en corriente alterna senoidal en sistemas fotovoltaicos autónomos. El funcionamiento del inversor consiste en transformar corriente procedente de una batería en tensión alterna senoidal a 120v ac 50 HZ.

#### INFORMACIÓN TÉCNICA

MODELO	712	1512	824	1524	1524/V	2024/V	3024/V	848	1548	2548	2548/V	5048/V	4120/V
<b>Especificaciones Eléctricas</b>													
Potencia Nominal a 20°C	700 VA	1500 VA	800 VA	1500 VA	1500 VA	2000 VA	3000 VA	800 VA	1500 VA	2500 VA	2500 VA	5000 VA	4000 VA
Tensión Nominal de Entrada	12 Vdc		24 Vdc		24 Vdc		48 Vdc		48 Vdc		120 Vdc		120 Vdc
Rango Tensión de Entrada (Vdc)	10-16		20-32		20-32		40-84		40-84		100-160		100-160
Desconexión Automática Baja Tensión (Vdc)	10.8-11.6		21.9-23.2		21.9-23.2		43.8-46.4		43.8-46.4		108-116		108-116
Potencia Pico de Arranque	+300%												
Intensidad máxima de Pico de Arranque en DC	160 A	150 A	180 A	300 A	350 A	150 A	180 A	350 A	180 A	350 A	90 A	350 A	90 A
Forma de Onda	Senoidal Pura												
Tensión Nominal de Salida	230 Vac o 110 Vac (según modelo)												
Rango Tensión de salida	± 7 %												
Frecuencia Nominal de Salida	50 Hz o 60Hz (según modelo)												
Rango Frecuencia de salida	± 0.1 Hz												
Distorsión Armónica Media	< 4 %												
Rendimiento Máximo	93 %												
Potencia en Régimen Constante	450 VA	1400 VA	500 VA	900 VA	1350 VA	1800 VA	2800 VA	800 VA	900 VA	1100 VA	2300 VA	4200 VA	3800 VA
Opción de tensión de salida 110V y 60Hz	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí			Sí		Sí	Sí	Sí
Sensibilidad para Arranque Automático	9 W												
Consumo aprox. en Vacío a tensión nominal generando AC.	0.70 A	0.80 A	0.35 A	0.39 A	0.65 A	0.85 A	0.15 A	0.25 A	0.30 A	0.88 A	0.30 A	0.88 A	0.30 A
Consumo Medio en automático	70 mA		48 mA	80 mA	70 mA	32 mA	38 mA	90 mA	38 mA	25 mA	90 mA	38 mA	38 mA
Consumo Mínimo en automático	47 mA		33 mA	33 mA	33 mA	25 mA	25 mA	25 mA	25 mA	25 mA	25 mA	25 mA	25 mA
Sistema de Aislamiento	Transformador toroidal según norma VDE-0550												
<b>Especificaciones Físicas</b>													
Formato (ver página siguiente)	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	B
Sistema de Refrigeración (por convección)	Natural	Forzada	Natural	Forzada	Natural	Forzada	Natural	Forzada	Natural	Forzada	Natural	Forzada	Forzada
Rango de Temperatura de Trabajo	-5 / +40 °C												
Humedad Relativa Máxima (sin condensación)	< 95%												
Dimensiones aprox. (en mm.)	425x250x195	678x330x233	425x250x195	678x330x233	425x250x195	678x330x233	425x250x195	678x330x233	425x250x195	678x330x233	425x250x195	678x330x233	678x330x233
Peso (aprox.)	14 Kg	30 Kg	14 Kg	17 Kg	34 Kg	34 Kg	14 Kg	17 Kg	19 Kg	34 Kg	14 Kg	17 Kg	32 Kg
Índice de protección	IP20												
Material envolvente	Chapa de Aluminio pintada con resina EPOXI en caliente												
Tornillería	Acero Inox												

(ATERSA, 2016)

Marca y características del programador de riego a utilizar en el sistema de invernadero fotovoltaico

#### Anexo 4 Programador de grifo



## PROGRAMADOR DE GRIFO E-DRIP1



GUARANTEE  
**2** years

4x  
24 h

0 - 4 h

ECO

3/4"

1"

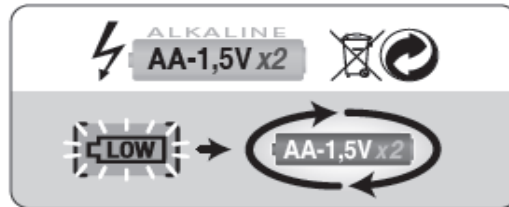
0,5 - 8 bars

## E-DRIP1

### 1 INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA



- Para la primera instalación o cuando se agoten las pilas.  
 Paso 1 : Retire el alojamiento de las pilas situado en la parte posterior  
 Paso 2 : Introduzca 2 pilas AALR6 1,5V  
 Paso 3 : Coloque el alojamiento en la posición inicial



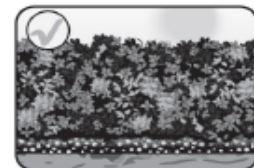
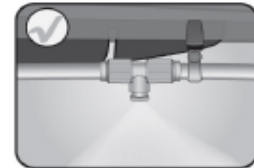
*Nota : cuando tenga que sustituir las pilas dispone de 20 segundos para que el programador no pierda ni la programación ni la hora actual. Después de 20 segundos, el programa de riego se mantiene, pero deberá actualizar la hora.*



#### IMPORTANTE :

Para grifos de rosca 3/4 "

- Quite la tuerca reductora M 1" - H 3/4" del programador y proceda a roscarla en el grifo. Apriete firmemente con la mano (no utilice herramientas)
- Rosque el programador (rosca H 1") en el adaptador. Apriete firmemente con la mano (no utilice herramientas)



## Anexo 5 Marca y características de luminaria a utilizar en invernadero fotovoltaico



### LUMINARIA LED 10W BCO FRIO CLASE I

#### Iniciar sesión

- Código: LEX211B
- Factor: 1
- Disponible

LUMINARIA LED 10W - JA-BH211 - AC85-250 50HZ/60HZ - IP65 - BLANCO FRIO 6500K - CLASE I