

**TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**

Implementación de sistema alternativo de energía para alimentar un invernadero prototipo para el cultivo de Solanum phureja (papa criolla)

AUTORES

Jaime Alexander Benítez Pachón - 1098732169
Yily Eliana Ortiz Barajas - 1095817436
Jonathan Schneider Alfredo Benítez Bohórquez -1098735131

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD
BUCARAMANGA
8 DE MARZO DEL 2019**

**TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**

Implementación de sistema alternativo de energía para alimentar un invernadero prototipo para el cultivo de Solanum phureja (papa criolla)

AUTORES

Jaime Alexander Benítez Pachón - 1098732169
Jonathan Schneider Alfredo Benítez Bohórquez -1098735131

&

Yily Eliana Ortiz Barajas - 1095817436

**Trabajo de Grado para optar al título de
TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD Y TELEFONÍA**

&

TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD

DIRECTOR

MPE Ing. Fabio Alfonso González

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA - GIE

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD
BUCARAMANGA
8 DE MARZO DEL 2019**

Nota de Aceptación

Firma del jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a las personas más importantes en mi vida; con sus consejos, su sabiduría, que sin dudar de mis capacidades me hicieron una persona de bien, llevándome a lograr las metas que me he propuesto y he cumplido debido a su apoyo.

A mis padres que me han dado fuerzas para llegar a este punto de mi vida, por su acompañamiento incondicional, por la fe que pusieron en mí y sobretodo le dedico este trabajo y meta a mi hijo Andrey Steban Ortiz que ha sido mi mayor alegría y bendición que me ha llenado de mucho amor, alegrías y acompañamiento en mi vida.

YILY ELIANA ORTIZ BARAJAS

En primer lugar, dedico este trabajo a Dios por permitirme llegar hasta este punto, y por su infinita bondad.

A mi madre quien fue un apoyo incondicional durante este proceso, por su amor y su ejemplo de perseverancia y constancia.

A mis profesores quienes fueron mi guía y me ayudaron en el proceso hacia la formación de un profesional íntegro y completo.

A mis amigos y aquellas personas que de una u otra manera me acompañaron durante esta etapa. Gracias.

JONATHAN SCHNEIDER ALFREDO BENITEZ BOHORQUEZ

Primeramente, a Dios todo poderoso por iluminarme y fortalecer mi corazón y mente durante mi periodo universitario.

A mis padres por creer en mí, guiarme y siempre apoyarme durante mi carrera. Todo se lo debo a ustedes.

A mis hermanos quiero que en mi vean un ejemplo para salir adelante y mediante la educación vean una salida para ser exitoso en la vida.

A todos mis compañeros de estudio gracias por ser siempre un apoyo durante todos los trabajos en grupo y estudiar para los parciales

JAIME ALEXANDER BENÍTEZ PACHÓN

AGRADECIMIENTOS

De primer lugar un agradecimiento a Dios por permitirnos llegar hasta este punto de nuestras vidas por otorgarnos inteligencia sabiduría y paciencia para el proceso final de este proyecto.

A nuestros padres y familiares que nos dieron su confianza, su apoyo, sus palabras de aliento, su comprensión y su acompañamiento en todo este proceso para dar la convicción de una preparación integral como profesional.

Al ingeniero Fabio González y Néstor Martínez por su ayuda y consejo para el mejoramiento de este trabajo apoyándonos con su conocimiento y llevándonos a adquirir conocimientos
Muchas gracias

**YILY ELIANA ORTIZ BARAJAS,
JONATHAN SCHNEIDER ALFREDO BENITEZ BOHORQUEZ,
JAIME ALEXANDER BENÍTEZ PACHON**

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN EJECUTIVO..... | 13 |
| INTRODUCCIÓN..... | 14 |
| 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN | 15 |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 15 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN | 16 |
| 1.3. OBJETIVOS..... | 16 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL | 16 |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 16 |
| 1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES..... | 17 |
| 1.4.1. INVERNADERO EN AUSTRALIA..... | 17 |
| 1.4.2. IMPLEMENTACIONES DE FUENTES ALTERNATIVAS HACIA LA AGROINDUSTRIA..... | 18 |
| 1.4.3. PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS BAJO CUBIERTA..... | 19 |
| 1.4.4. CULTIVO DEL TOMATE BAJO INVERNADERO..... | 20 |
| 1.4.5. EL CULTIVO EN INVERNADERO Y SU RELACIÓN CON EL CLIMA | 21 |
| 2. MARCOS REFERENCIALES | 23 |
| 2.1. MARCO TEÓRICO:..... | 23 |
| 2.1.1. LA SOLANUM PHUREJA | 23 |
| 2.2. DIVERSIDAD DE INVERNADEROS..... | 25 |
| 2.2.1. INVERNADERO TIPO TÚNEL: | 26 |
| 2.2.2. INVERNADERO TIPO CAPILLA:..... | 27 |
| 2.2.3. INVERNADERO TIPO DIENTES DE SIERRA:..... | 27 |
| 2.2.4. INVERNADERO CAPILLA MODIFICADA (TIPO CHILENO):..... | 28 |
| 2.2.5. INVERNADERO TIPO PARRAL: | 28 |
| 2.2.6. INVERNADERO TIPO VENLO..... | 29 |
| 2.3. PANELES SOLARES. | 30 |
| 2.4. MARCO LEGAL: | 31 |
| 2.5. MARCO AMBIENTAL: | 32 |
| 2.5.1. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL GENERADA POR EL CULTIVO | 32 |
| 2.5.2. EL IMPACTO AMBIENTAL QUE GENERARÍA UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA .. | 32 |
| 3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO | 33 |
| 3.1. ESPECIFICACIONES DE ZONA. | 33 |
| 3.2. ESPECIFICACIONES DEL CULTIVO DE SOLANUM PHUREJA (PAPA CRIOLLA)..... | 36 |
| 3.3. PROCEDIMIENTO SOBRE ESTIMACIÓN DE ILUMINACIÓN | 37 |
| 3.3.1. FLUJO LUMINOSO NECESARIO..... | 37 |
| 3.3.2. CÁLCULO DEL ÍNDICE DEL LOCAL (K)..... | 38 |
| 3.4. PROCEDIMIENTO PARA LA ESTIMACIÓN DEL AIRE ACONDICIONADO | 39 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 3.5. | PROCESO PARA EL CÁLCULO DE RIEGO (ASPERSORES) | 39 |
| 3.6. | PROCESO PARA LOS CÁLCULOS DE PANELES SOLARES | 43 |
| 3.6.1. | CONEXIÓN EN SERIE | 43 |
| 3.6.2. | CONEXIÓN EN PARALELO | 44 |
| 3.6.3. | CONEXIÓN MIXTA..... | 44 |
| 4. | <u>RESULTADOS</u> | 47 |
| 4.1. | CÁLCULO CON ESPECIFICACIONES DE LA ZONA | 47 |
| 4.2. | CÁLCULO ESPECIFICACIONES DEL CULTIVO | 48 |
| 4.3. | CÁLCULO DEL INVERNADERO | 48 |
| 4.4. | CÁLCULOS DE ILUMINACIÓN | 50 |
| 4.5. | CÁLCULOS DEL AIRE ACONDICIONADO | 59 |
| 4.6. | CÁLCULOS DE RIEGO. | 61 |
| 4.7. | CÁLCULOS DE LOS PANELES | 66 |
| 4.8. | PRESUPUESTO DE LAS CARGAS DEL SISTEMA DE IMPLEMENTACIÓN..... | 73 |
| 4.9. | DESARROLLO DEL PROTOTIPO..... | 73 |
| 4.9.1. | CÁLCULO DE CARGA | 73 |
| 5. | <u>CONCLUSIONES</u> | 88 |
| 6. | <u>RECOMENDACIONES</u> | 89 |
| 7. | <u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> | 90 |
| 8. | <u>ANEXOS</u> | 94 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|---|----|
| Figura. 1 | Desierto sur de Australia, invernadero. | 17 |
| Figura. 2 | Semilla <i>Solanum phureja</i> | 23 |
| Figura. 3 | Brote <i>Solanum phureja</i> | 23 |
| Figura. 4 | Desarrollo de la <i>Solanum phureja</i> | 24 |
| Figura. 5 | Enfermedad de tizón tardío. | 25 |
| Figura. 13 | Invernadero tipo túnel. | 26 |
| Figura. 14 | Invernadero tipo capilla | 27 |
| Figura. 15 | Invernadero tipo dientes de sierra. | 27 |
| Figura. 16 | Invernadero capilla modificado. | 28 |
| Figura. 17 | Invernadero tipo parral. | 29 |
| Figura. 18 | Invernadero tipo venlo | 29 |
| Figura. 7 | Panel solar. | 30 |
| Figura. 8 | Alimentación de la carga con panel solar. | 30 |
| Figura. 9 | Clima de Ruitoque (a). | 33 |
| Figura. 10 | Clima de Ruitoque (b). | 34 |
| Figura. 11 | Radiación anual. | 35 |
| Figura. 12 | Rango de brillo solar. | 36 |
| Figura. 19 | Diagrama de Moody. | 42 |
| Figura. 20 | Conexión Paneles en serie | 43 |
| Figura. 21 | Conexión paneles en paralelo. | 44 |
| Figura. 22 | Conexión mixta de paneles. | 44 |
| Figura. 23 | Trayectoria del sol. | 46 |
| Figura. 24 | Ubicación del invernadero. | 47 |
| Figura. 25 | Esquema del invernadero | 48 |
| Figura. 26 | Medidas del domo. | 49 |
| Figura. 27 | Asignación del local | 50 |
| Figura. 28 | Orientación del local | 51 |
| Figura. 29 | Distribución de las plantas en el local | 51 |
| Figura. 30 | Selección de luminarias | 52 |
| Figura. 31 | Parámetros de distribución de las luminarias | 52 |
| Figura. 32 | Distribución de luminarias | 53 |
| Figura. 33 | Resultado de iluminación | 53 |
| Figura. 34 | Resumen de los cálculos de iluminación. | 54 |
| Figura. 35 | Selección catalogo luminaria. | 55 |
| Figura. 36 | Cambio de selección de luminaria | 55 |
| Figura. 37 | Selección de luminaria externa | 56 |
| Figura. 38 | Distribución de luz recalculada. | 57 |
| Figura. 39 | Resumen final de iluminación | 57 |
| Figura. 40 | Nivel de iluminancias en el recinto | 58 |
| Figura. 41 | Consumo de las luminarias. | 58 |
| Figura. 42 | Equipo de aire acondicionado | 60 |
| Figura. 43 | Consumo de energía del aire acondicionado | 60 |
| Figura. 44 | Datos de boquilla de aspersión | 62 |

| | |
|---|----|
| Figura. 45 Bomba del riego..... | 65 |
| Figura. 47 Consumo del sistema de riego..... | 65 |
| Figura. 48 Consumo total..... | 67 |
| Figura. 49 Panel solar flexible..... | 68 |
| Figura. 50 Inversor de corriente..... | 70 |
| Figura. 51 Sistema on-grid..... | 72 |
| Figura. 52 Panel solar flexible..... | 74 |
| Figura. 53 Estructura armada..... | 75 |
| Figura. 54 Impermeabilización base..... | 76 |
| Figura. 55 Instalación luminaria..... | 76 |
| Figura. 56 Adecuación del sistema de riego..... | 77 |
| Figura. 57 Adecuación aire acondicionado..... | 78 |
| Figura. 58 Organización componentes..... | 78 |
| Figura. 59 Pronóstico clima 21 de octubre..... | 81 |
| Figura. 60 Gráfica corriente pruebas prototipo..... | 86 |
| Figura. 61 Gráfica voltaje pruebas prototipo..... | 86 |
| Figura. 62 Variación de carga de batería..... | 87 |
| Figura. 63 Relación voltaje-corriente pruebas..... | 87 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Altura de suspensión de las luminarias en locales de altura elevada. | 38 |
| Tabla 2. Cálculo del índice del local..... | 38 |
| Tabla 3. Cálculo del coeficiente de mantenimiento | 38 |
| Tabla 4 Cuadro de consumo general | 66 |
| Tabla 5 Datos técnicos del panel flexible | 68 |
| Tabla 6 Datos técnicos del inversor | 71 |
| Tabla 7 Medidas pruebas prototipo..... | 84 |

LISTA DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1 Flujo luminoso..... | 37 |
| Ecuación 2 Calculo de BTU..... | 39 |
| Ecuación 3 Calculo de evopotranspiracion | 39 |
| Ecuación 4 Cantidad neta de agua | 40 |
| Ecuación 5 Cantidad de boquillas | 40 |
| Ecuación 6 Boquillas por ramal | 40 |
| Ecuación 7 Caudal por ramal | 40 |
| Ecuación 8 Caudal total | 40 |
| Ecuación 9 Conservación de la energía hidráulica..... | 41 |
| Ecuación 10 Presión en termino de altura..... | 41 |
| Ecuación 11 Pérdidas de presión..... | 41 |
| Ecuación 12 Factor Moody flujo laminar | 41 |
| Ecuación 13 Factor Moody flujo turbulento | 41 |
| Ecuación 14 Formula Reynolds..... | 42 |
| Ecuación 15 Potencia de bomba en KW | 43 |
| Ecuación 16 Potencia de bomba en HP | 43 |
| Ecuación 17 Energía de un panel | 45 |
| Ecuación 18 Energía total de los paneles | 45 |
| Ecuación 19 Potencia generada por arreglo de paneles | 45 |
| Ecuación 20 Amperaje del arreglo de paneles | 45 |
| Ecuación 21 voltaje del arreglo de paneles | 45 |
| Ecuación 22 Angulo de grados a radiales | 49 |
| Ecuación 23 Área sector circular | 49 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo 1 Clima zona Ruitoque..... | 94 |
| Anexo 2 Consumo eléctrico de aires acondicionados | 95 |
| Anexo 3 Coeficientes de reflexión..... | 96 |
| Anexo 4 Tabla irradiación solar (NASA)..... | 97 |
| Anexo 5 Radiación solar extraterrestre | 98 |
| Anexo 6 Datos técnicos del aire acondicionado | 99 |
| Anexo 7 Referencia aspensor..... | 100 |
| Anexo 8 Datos técnicos de panel..... | 101 |

RESUMEN EJECUTIVO

Se realiza la presentación de una idea innovadora en donde la implementación de un sistema de energía alternativo sirve para suministrar electricidad a un invernadero mediante el desarrollo de un modelo a escala del mismo; este será diseñado para el cultivo de *Solanum phureja* (papa criolla), y donde se propone que la mejor opción de energía alternativa ES la energía solar. Esta sirvió para crear un microclima propicio en donde la *Solanum phureja* se puede desarrollar en las condiciones adecuadas de crecimiento. La investigación se realizó con la metodología descriptiva y ya basándose en esta investigación se tomó en cuenta el método deductivo logrando llegar a los cálculos y procedimientos para que esta idea sea viable, llevando así la implementación de energía solar ejecutada a futuro en una mayor escala, logrando tener un control mejorado de los cultivos para que haya menos contaminación por plaguicidas y esto redundaría en que el país pueda comercializar la *Solanum phureja* según demandas de consumo y sea más accesible económicamente a la gente de escasos recursos.

PALABRAS CLAVE. Cultivo, generación, solar, invernadero, papa criolla.

INTRODUCCIÓN

Se presenta un planteamiento acerca del aprovechamiento de las energías alternativas para hacer más viable el desarrollo, no solo del producto que estamos mencionando (*Solanum phureja*) sino también cualquier variedad de cultivo; el cual requiera un tipo de clima extremo en el caso de la *Solanum phureja* mantiene un ambiente frío para que su desarrollo sea favorable; realizando las debidas investigaciones y procesos se pudo calcular un sistema eléctrico mediante paneles solares, este alimenta las cargas necesaria para que el clima sea idóneo para el crecimiento de las plantas, el invernadero se diseñó de tal manera que quedara semi-hermético para que al momento de adaptarle los aires acondicionados el clima se mantuviese constante y no verse afectado por el clima exterior; así se propicia el ambiente necesario para el desarrollo de la planta. También se implementó un sistema de iluminación LED ultravioleta el cual aportaría la intensidad luminosa que la planta requiere para crecer; el sistema de riego para este tipo de cultivo es por aspersión y solo es necesario activarlas por un periodo corto de tiempo debido a que la *Solanum phureja* no requiere de mucha humedad en el terreno, por ende la bomba de agua estaría en funcionamiento de una a dos hora en el día; implementado todas las cargas eléctricas anteriormente mencionadas para que el cultivo se desarrolle será alimentado por los paneles solares los cuales no contarán con un sistema de almacenamiento sino que se conectara directamente al operador de red, esta conexión es llamada on-grid la cual llegado el caso si hay algún tipo de falla en la alimentación de los paneles, la red lo suplirá cuando sea necesario.

Recopilando toda esta información se desarrolló un prototipo a escala el cual muestra el funcionamiento que se requiere para el desarrollo de cualquier tipo de cultivo con ambiente controlado, se comprobó que la implementación del sistema de alimentación con paneles es viable y para proyectos futuros se pueden realizar un sistema autónomo implementando sistemas de control en temperatura humedad y otros.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Las dificultades que tiene el país con los cultivos de la *Solanum phureja* más conocida como la papa criolla están relacionadas con la ausencia de conocimiento a fondo de esta y la baja productividad que existe en este tipo de cultivo, debido a que su plantación se genera en zonas y condiciones específicas y delicadas. Algunos autores expresan que esta cadena agrícola en particular, evidencia una problemática vigente, que se caracteriza por una oferta escasa y baja producción y competitividad, requieren soluciones radicales y concertadas a los retos y desafíos planteados por las necesidades de los mercados nacional e internacional.” El proceso de este producto es de cuidado debido a que hay diversas variedades de plagas que atacan el cultivo y hay que usar varios tipo de insecticidas, “se recomienda aplicar directamente al tubérculo una dosis de 5 kg de baculo-virus (controlador biológico) por tonelada de semilla. Cuando se trata de áfidos, específicamente pulgones, insectos que se alimentan de los brotes y transmiten virus, se recomienda el uso de Lorsban, entre otros productos, para prevenir el ataque de esta plaga. Finalmente, para prevenir el ataque de hongos se recomienda proteger la semilla con vitavax a razón de un kilogramo por tonelada de semilla al momento del almacenamiento”. (SIPSA, DANE, & MinAgricultura, 2013)(Gómez Susa, 2014) (Rozo Rodriguez Diego, 2011)

Otra problemática que se puede observar es la falta de participación de las personas locales en investigación y planificación territorial sobre las infraestructuras eléctricas, para ser más específicos, en cómo implementar las energías alternativas sin causar mayor impacto ambiental. La falta de conocimiento e interés por parte de entidades no industriales o empresas respecto hacia el tema de energías alternativas, hace que no sean tomadas en cuenta como posibles soluciones para problemáticas cotidianas ya sea el sector residencial, industrial o agrícola. (Frolova & Pérez Pérez, 2008)(Ramírez-Medina, 2011)(Uninorte & Alianza El Heraldo, 2016) (Belmonte, Franco, Núñez, & Viramonte, 2013)

Tomando en cuenta todo lo anterior se podrá sugerir la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo las energías alternativas pueden mejorar la productividad del sector agro industrial específicamente en productos de valor agregado que usen infraestructura tipo invernaderos?

1.2. Justificación

Una de las causas desfavorables por la parte ambiental es debido a que no hay un sistema de energía alternativo implementado en los invernaderos, el consumo de energía es costoso por ello las empresas de energía eléctrica deben de hacer consumo de los recursos naturales para poder satisfacer esta necesidad; otro impacto son la falta de terrenos viables o controlados para realizar los cultivos de la papa criolla, debida a las plagas se utilizan insecticidas llevando a una contaminación del subsuelo, el riesgo a una decadencia en la producción de este o cualquier cultivo debido a cambios climáticos no favorables.

Al implementar un sistema generador de energía alternativa para poder suministrar el consumo necesario del debido manejo del invernadero, se disminuye la implementación de insecticidas; económicamente el gasto de energía sería bajo o incluso sería nulo, se podría estabilizar el clima favorable para que se pueda desarrollar el producto, esto a su vez genera mayor producción de la papa criolla, llevando así que el costo de la misma sea más bajo y más accesible para su consumo. Este planteamiento es favorable para la línea de proyectos porque alimenta estratégica y tecnológicamente al grupo de investigación GIE que pertenece a las Unidades Tecnológicas de Santander y que está adscrito al programa de Tecnología en Electricidad.(Reynoso, 2015)(Cámara de Comercio de Bogotá, 2015)(Gómez, 2008)(Calefacción solar, 2014)

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo General*

Implementar un sistema de energía alternativo para suministrar electricidad a un modelo a escala de un invernadero diseñado para el cultivo de *Solanum phureja* (papa criolla) mediante el uso de energía solar.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

1. Determinar las condiciones agroclimáticas para el cultivo del *Solanum phureja* mediante elaboración de un estado del arte.
2. Establecer el inventario de cargas que serían necesarias, para implementar un microclima que favorezca la producción de *Solanum phureja* en invernadero
3. Estimar el sistema de energía alternativo de tipo fotovoltaico que suministre energía a un invernadero en el cual se pueda cultivar *Solanum phureja*
4. 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

1.4.1. *Invernadero en Australia*

En todo el mundo durante los últimos años se han podido observar grandes avances en el área de generación de energía y realizando la implementación de este en la agroindustria, por ejemplo, en la Figura 1 se puede observar el desierto del sur de Australia en el cual se ha creado un invernadero futurista que solo se emplea agua marina y sol para que funcione, no necesita tierra, pesticidas, combustibles fósiles ni agua dulce. El proyecto se empezó a ejecutar en el año 2010 con un invernadero de prueba cerca de la ciudad de Port Augusta y tras los buenos datos obtenidos, en 2014 se construyó otro invernadero gigante en la misma zona que se completó en el 2016.

Uno de los principales problemas que ocurren al organizar un proyecto de invernaderos es la disposición de recursos que haya en el medio en el cual se vaya a ejecutar la planeación del invernadero como lo es el agua potable y luz eléctrica, las cuales son indispensables para la realización de cualquier proyecto viable. (Klein, 2016)

Figura. 1 Desierto sur de Australia, invernadero.



Fuente: (Klein, 2016)

1.4.2. **Implementaciones de fuentes alternativas hacia la agroindustria**

Dentro de otras investigaciones que se encuentran sobre la implementación de energías alternativas, se encuentran menciones referentes a su uso y en particular al entorno donde sea más viable adaptarlas para su aplicación en la agricultura, haciendo especial énfasis a las características y el impacto ambiental que estas generarían. En el caso de los invernaderos puede decirse, que la posibilidad de mayor viabilidad para su manejo e integración, es la energía solar. Teniendo en cuenta cualquier tipo de fuente renovable es importante tener las siguientes consideraciones:

- La ubicación donde se va a hacer uso de la energía alternativa seleccionada (fotovoltaico) y en la cual se tenga la menor interrupción posible.
- El uso de sistemas ON GRID que ofrecen el abastecimiento por parte de la red.

La primera referencia, se da en el sentido en que no en todos los lugares se encuentra, por ejemplo, la misma irradiación para adaptar el sistema fotovoltaico; adicionalmente tomando en cuenta la presencia del ecosistema se dispone de áreas en las cuales es muy posible que se encuentren circundadas de vegetación y las sombras pueden llegar a generar dificultades a la hora de poner en funcionamiento el sistema fotovoltaico.

La segunda referencia, es alusiva a la necesidad de realizar el levantamiento de cargas con el fin de determinar la demanda eléctrica, que requiere en general cualquiera que sea el tipo de invernadero y así se adapte a las necesidades del mismo. Este aspecto, no puede ser sistematizado, ya que es intrínseco a cada tipo de cultivo y las características de construcción que se han dado en este tipo de alternativas (invernaderos con energías renovables). En algunas ciudades de España, como Almería es de gran conocimiento, a pesar de los altos costos que implica elegir este tipo de estructuras. Una forma con la cual se ha logrado disminuir los costos en particular aquellos invernaderos que están cerca a los sistemas convencionales de energía, es a través de la interconexión del sistema renovable con la red; sin duda aquellos sistemas que no disponen de dicha cercanía van a requerir ser autónomos llevándolos a ser altamente onerosos.

Las energías renovables cubren un amplio campo de tecnologías, las que tienen en común el aprovechamiento de las fuentes de origen natural, manteniendo infortunadamente una fuerte relación con el comportamiento del clima, la cual en la mayoría de casos las vuelve impredecibles, por lo que su disponibilidad continua y permanente, queda en entredicho. Esto en contraparte con las energías fósiles las cuales generan un impacto ambiental negativo, pero que por su disponibilidad

continúa, y mientras existan, ofrecen mejores posibilidades para mantener constante el servicio.

Se puede identificar algunos tipos de energías aplicables a los invernaderos como son:

- Generación de energía a partir de biomasa.
- Generación de energía solar.
- Generación de energía solar térmica de baja temperatura.

Se pueden encontrar otros tipos de energías renovables, como la micro y mini energía eólica, la energía geotérmica, las cuales tienen un alto potencial de uso y aprovechamiento y podrían ser muy aptos para aprovecharlos en los invernaderos, siempre y cuando los recursos climáticos adecuados existiesen en el área a emplear.(Pérez García & Sánchez Molina, 2012)

1.4.3. Producción de hortalizas bajo cubierta

Algunos de los tópicos importantes que dan fuerza a la opción de implementar cultivos en invernaderos son los siguientes:

Consecución de una producción del cualquier cultivo, fuera de la época de desarrollo; en circunstancias normales no se daría en ambiente normal. Lo que se quiere es que ciertas especies de hortalizas se desarrollen rápido, aunque también puede interesar la producción en un tiempo tardío (Por lo común, hortalizas de hoja).

Se observa el incremento en los niveles de producción, esto es posible debido a los resultados directos del método ejecutado en los cuidados y condiciones excelentes del medio ambiente. Por ejemplo, “la productividad que hay en el Alto Valle se desarrolla normalmente una dosificación de tomate la cual se da en 12-15 kg/m², los rendimientos reconocidos puntualmente son superiores a los 20 kg/m². Indirectamente, aumenta el rendimiento debido a las mejores circunstancias de mercado para vender la mercancía (mejores Precios)”.(Iglesias, 2006)

La calidad de los productos debe aumentar, con una mayor posibilidad de frutos. Esta se puede producir o ser probable, debido a la conservación que brindan los invernaderos sobre fenómenos climáticos externos como internos como pueden ser, por ejemplo: las sequías, las heladas, los vientos, las lluvias, entre otras.

Las características principales de los invernaderos para poseer una producción excelente son: eficacia y funcionalidad. Se entiende por eficiencia a la capacidad para sobrellevar algunos de los elementos climáticos que este dentro de límites bien definidos y de acuerdo con las exigencias que requieran los cultivos, y funcionalidad

al conjunto de requerimientos que permite el mejoramiento de utilización en el invernadero, tanto como en la parte económica, como en la técnica. Teniendo presente estos dos conceptos, es importante tener en cuenta todas las características que hay que tomar en cuenta al momento de construir un invernadero como son:

- Lo más general del invernadero: el material de la cobertura; si es posible que se coloque transparente para que la radiación solar y radiación infrarroja nocturna compenetre, dando cabida a que se produzca el efecto invernadero.
- Los materiales de la estructura que se vayan a instalar deben ser de proporciones estables y ligeras.
- En el área en donde se conecta la cobertura con la estructura debe ser de tal naturaleza, que pueda verse en su mayoría con hermeticidad.
- Teniendo en cuenta lo anterior es recomendable que el costo de esta instalación sea económicamente posible. (Iglesias, 2006)

1.4.4. Cultivo del tomate bajo invernadero

Evaluaciones de la FAO indican que el tomate es la hortaliza más cultivada e importante en el mundo, las principales hortalizas cultivadas en términos de superficie y producción, ocupando el 40to lugar en siendo el consumo fresco e industria los dos principales destinos de producción, alcanzando en 2013; 4,7 millones de hectáreas (ha) y una producción de 164 millones de toneladas (t). En Chile, el tomate es una de superficie mundial, con 13.864 ha, y el lugar 24to en producción, con 872.485 toneladas, cuyo rendimiento promedio (63 t/ha) supera a países como China, Italia, México, Brasil, entre otros. El cultivo de tomate presenta una alta rentabilidad, lo que ha permitido que experimente hace más de una década un sostenido desarrollo, incorporando tecnologías importadas desde países donde el cultivo de tomate es tradición y vanguardia (mediterráneo). No obstante, hoy la estrechez de mercado sumado a los altos volúmenes de comercialización, especialmente la introducción del cultivo en invernaderos para consumo fresco, colocan al rubro en un nivel altamente competitivo, forzando a los agricultores a manejar costos y a aumentar la búsqueda de mercados externos para mantener la rentabilidad.

En Chile, el tomate para consumo fresco ocupa el tercer lugar de los cultivos hortícolas con mayor superficie; sólo lo antecede el maíz para consumo fresco (choclo) y la lechuga. El cultivo de tomate a lo largo de Chile tiene ciclos productivos distintos según la época de siembra estacional durante el año, diferenciándose el tomate de invierno de Arica con el tomate de verano de Talca u otra localidad. Por esta razón, debiera existir una comparación de la superficie entre ciclos por separado. La combinación de estos ciclos por la distribución geográfica del cultivo, hacen posible una oferta continua de tomate para consumo fresco durante todo el

año, consolidando el abastecimiento del mercado por la incorporación de innovaciones tecnológicas, como sistemas de cultivo protegidos (malla antiácida, plástico y mixtos), nuevas variedades, porta injertos, entre otros.

El tomate es una hortaliza que presenta una alta diversidad genética, existiendo innumerables variedades con distinto aspecto, color y sabor, además de una demanda que aumenta continuamente y, con ella su producción y comercialización. No obstante, este incremento de la producción obedece más bien a un mayor rendimiento que a un crecimiento en la superficie cultivada. Estos rendimientos superiores a su vez, son producto de la incorporación de altas tecnologías de cultivo, que permiten el manejo de los factores ambientales (climáticos) y recursos naturales (agua, suelo, fertilizantes) conjuntamente al manejo y prácticas adecuadas del cultivo. Esto permite la oferta de tomate durante todo el año. (Instituto de Desarrollo Agropecuario & Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2017)

1.4.5. ***El cultivo en invernadero y su relación con el clima***

El ambiente donde se desarrollan los cultivos, es esencial para que los resultados sobre el crecimiento del vegetal sean óptimos en la reproducción del producto final y tiene una alta dependencia con el aprovechamiento de la radiación. Las características climáticas ejercen una gran influencia sobre las plantas lo cual sin duda se ve reflejado en los frutos que allí se producen, para lo cual se debe conocer de antemano como es la respuesta del cultivo de interés antes las fluctuaciones que pueda tener el clima en el lugar en donde se construye el invernadero y de esa forma garantizar óptimos resultados.

En los invernaderos la radiación es un elemento preponderante para el proceso de fotosíntesis que desarrolla cada cultivo esto depende de:

- La irradiación incidente la cual cambia según la época del año y el lugar en donde se esté proyectando el cultivo además de la nubosidad (Lorenzo, 2012)
- La geometría escogida para la construcción del invernadero, afecta el ángulo de incidencia de la radiación en cualquier momento del año. Algunos estudios proponen prototipos con 27° de pendiente en ambas vertientes de la cubierta (sur-norte), además de la orientación de oriente-occidente, esto aplica para la costa del mediterráneo en España. La transmisión de la radiación se ve afectada por el incremento de la suciedad la cual se da por aglomeración de polen, polvo y cualquier otro tipo de agentes extraños, y que se dan con mayor presencia en áreas de climas secos y bajas precipitaciones; es importante mencionar que la calidad del material que se utilice para la construcción del invernadero, afecta considerablemente la transmisión de la

radiación a medida que pase el tiempo, las condiciones son diferentes en invernaderos con cubiertas menores a 30° , es muy probable que la condensación de vapor sea alta y poco desplazamiento en las gotas de agua, lo cual va afectar la radiación que llega a las plantas y por lo tanto a su producción, sumado a aspectos estructurales como mallas anti insectos entre otros, que se genera una distribución de la radiación más heterogénea. (Lorenzo, 2012)

La presencia de agentes exógenos como la suciedad, polvo y polen, se hace más presente en ambientes donde predominan los climas secos y reducidas precipitaciones, provoca una considerable reducción de la transmisión de radiación hacia el interior del invernadero. El envejecimiento es otro fenómeno que afecta la transmisión y depende principalmente de la calidad del material utilizado, además de la afectación del clima. Un aspecto que también es importante es la condensación del vapor de agua, la cual se hace más crítica cuando el ángulo del invernadero es inferior a los 30° , puesto que no permite un deslizamiento del agua, la cual entonces afecta la radiación que les llega a las plantas. Comúnmente este aspecto se resuelve con la capacidad de difusión del material utilizado. Un factor adicional que no puede dejarse de mencionar, es lo referente a la común presencia en los invernaderos de mallas anti-insectos, que se colocan en las ventanas cenitales y otros tipos de elementos opacos, los cuales terminan por afectar la distribución homogénea de la radiación sobre las hojas de las plantas presentes en el invernadero. (Lorenzo, 2012)

El desarrollo tecnológico ha garantizado avances en la construcción de materiales para las cubiertas de los invernaderos, las cuales ofrece mayor capacidad de difusión de la radiación. Algunos autores proponen que la radiación difusa es de mayor beneficio para los cultivos del invernadero, ya que han encontrado que un aumento de la fracción difusa aumenta la radiación absorbida de las plantas, sin embargo la transmisión de la radiación que se presenta en estructuras que tienen cubiertas con material transparente y con alta capacidad de difusión, el coeficiente de transmisión es menor aunque se obtenga una mayor distribución en la reducción en la radiación global respecto a la radiación fotosintéticamente activa (PAR). Otros estudios en los cuales se han hecho análisis de cubiertas, han encontrado que la radiación absorbida por las plantas distribuidas en línea no presentan ventajas considerables si el cultivo tiene un índice de área de hoja bajo (LAI) (Lorenzo, 2012)

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1. Marco Teórico:

2.1.1. *La Solanum phureja*

Es una especie de planta tuberculosa de piel delgada de color amarillo con una fuente muy rica de proteínas, vitaminas y minerales, en Colombia se conoce comúnmente como papa criolla, esta se cultiva en valles montañosas del sur

La *Solanum phureja* se cultiva entre 2600 y 3500 msnm. Por lo tanto se maneja niveles de temperatura que oscilan entre 10°C a 20°C un buen suelo para el cultivo de la papa criolla es aquel que presenta una textura franca, suelta y profunda que pueda evitar la acumulación de humedad en la raíz, y un pH entre 5,2 y 5,9, además un alto contenido de materia orgánica (Reynoso, 2015) (Ramírez & Rozo R, 2012)

Figura. 2 Semilla *Solanum phureja*.



Fuente: (Reynoso, 2015)

Figura. 3 Brote *Solanum phureja*.



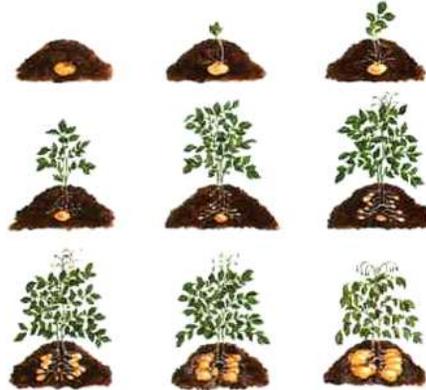
Fuente:(Reynoso, 2015)

La semilla de la *Solanum phureja* como se muestra en la Figura. 2 se caracteriza por que se desarrolla del mismo tubérculo, pues apenas se siembra esta empieza a producir la planta rápidamente se observa en la Figura. 3, para identificar el estado óptimo del tubérculo para poder utilizarla para el cultivo se observa, la parte de los

ojos o yemas de la papa de empiezan a producir una raíz o tallos que salen de estos.

Para que la planta se desarrolle requiere de frio y pleno sol una de las mejores épocas para plantar es agosto y diciembre, el suelo es importante que no retenga humedad, para que dicho terreno tenga un buen drenaje de agua puede mesclar el terreno con un pequeño porcentaje de arena, fibra de coco o tezontle trozado. Las distancias más recomendables entre cada planta es de 25-30cm entre ellas y 10-15cm de profundidad. La Figura. 4 muestra cada una de las etapas de crecimiento de la *Solanum phureja*.

Figura. 4 Desarrollo de la *Solanum phureja*



Fuente: (Reynoso, 2015)

Plagas y enfermedades: Tecia, chiza, tiroteador, gusano blanco, y babosa trozador (Ligarreto & Suárez C., 2003)

Salta hojas (*Empoasca ssp*): es un pequeño insecto alargado de color verde grisáceo, se encuentra en la base de la planta, esta se alimenta de la savia y al mismo tiempo inyecta una toxina que detiene el crecimiento de la planta.

Mosca blanca: insecto pequeño que trasmite enfermedades, al volar pareciera polvo blanco.

Pulgones: insecto chupador de color verde.

Polilla de la papa: daña las hojas y perfora el tubérculo

Tizón tardío (*Phytophthora infestans*): es un cultivo agresivo que puede acabar con un cultivo en 10 días, para identificarlo se observa lesiones de color café o negro en las hojas y color amarillo en el tallo, este aparece en condiciones húmedos.

Figura. 5 Enfermedad de tizón tardío.



Fuente: (Reynoso, 2015)

2.2. Diversidad de invernaderos

En el invernadero se debe tener claro a que temperatura crece el cultivo, debido a que en el ambiente de la estructura en comparación con el ambiente exterior, tiende a aumentar aproximadamente de 5 a 7 °C, en el caso donde las plantas requieren una temperatura más baja se recomienda que se instale algún sistema de circulación de aire o enfriamiento del mismo, para que el cultivo crezca en óptimas condiciones

Existen varios tipos de invernaderos, pero lo principal en saber es para que sirven, la base fundamental del invernadero es proteger el cultivo, estos ayudan a la generación de diversas temperaturas óptimas de acuerdo al cultivo que se deseara realizar, algunas de las ventajas que tienen los invernaderos es:

- Se pueden encontrar los frutos en óptimas condiciones mejorando la calidad y rendimiento de los frutos sobre todo en temporadas diferentes a las que normalmente se dan los frutos.
- Ayuda en el ahorro del consumo del agua y los fertilizantes que se le aplica a un cultivo normalmente en época de cosecha.
- Se es posible cultivar más de una vez por año
- Al tener una cubierta de plástico ayuda a proteger a la plantación como en días de verano en donde los rayos solares son más fuertes.

Hay varias clases de invernaderos los cuales se escogen según preferencia de la efectividad o que mejor convenga para el desarrollo del cultivo asignado, a continuación, se nombrarán los tipos de invernaderos que existen:

2.2.1. *Invernadero tipo túnel:*

El Invernadero tipo Túnel se caracteriza por no tener paredes rectas y verticales, ya que toda su estructura es totalmente curva desde el punto donde la estructura se fija al suelo hasta la cumbre. La forma de los arcos puede ser construidos tipo curvo u ojival. La forma que posee la estructura permite alojar un mayor volumen de aire en su interior y así proporcionar seguridad en periodos de lluvia un ejemplo de este se puede observar en la Figura. 6.

Figura. 6 Invernadero tipo túnel.



(ULMA, 2015)

2.2.2. **Invernadero tipo capilla:**

Tiene unas medidas aproximadas de entre 6 y 12 metros de largo, 2.5 metros de altura y de entre 3 a 3.5 metros la pendiente de su techo. Entre sus ventajas está que su realización no es muy compleja y puede construirse con materiales de bajo costo. A pesar de esto, no es ideal por la ventilación cuando son invernaderos de baterías se puede observar un ejemplo de su estructura en la Figura. 7

Figura. 7 Invernadero tipo capilla



(Serviestructuras, 2016)

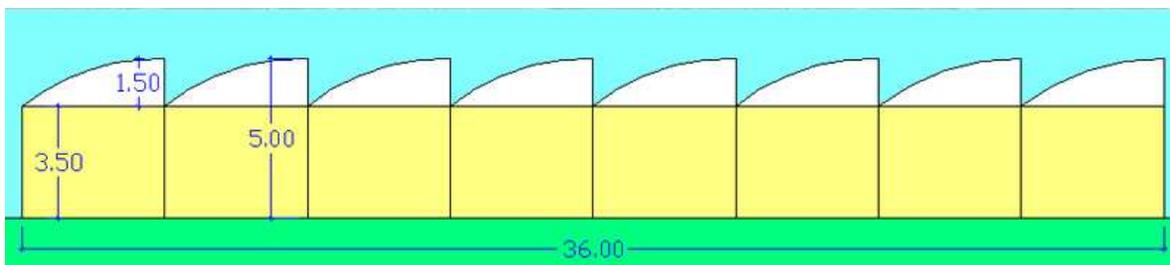
2.2.3. **Invernadero tipo dientes de sierra:**

Este invernadero dientes de sierra tiene una curvatura en los dientes del techo, lo que mejora las capacidades aerodinámicas y el aprovechamiento del clima externo dentro del invernadero.

La construcción del techo debe ser única inclinada en Angulo de 5° a 15°, orientados en sentido este-oeste y con presentación del techo hacia la posición del sol-norte para el hemisferio sur.

Debe haber una inclinación en las zonas de recogida desde la mitad hacia ambos extremos para evacuar el agua de precipitación, como se puede ver en la Figura. 8.

Figura. 8 Invernadero tipo dientes de sierra.



Fuente:(Hortelana, 2010)

2.2.4. ***Invernadero capilla modificada (tipo chileno):***

La diferencia con el invernadero capilla es que **este genera un espacio adicional** para una ventana cenital. Este tipo de invernaderos tiene buena ventilación, pero genera también mayor sombra como se puede observar en la

Figura. 9

Figura. 9 Invernadero capilla modificado.



Fuente: (Herasme, 2013)

2.2.5. ***Invernadero tipo parral:***

Este invernadero tiene un estilo muy parecido a una casa, ya que la hace libre de dimensiones poniéndose a modificar a gusto del constructor, tiene un techo con dos direcciones inclinadas, sus bases están basados en tubos de distintos espesores y diámetros, las alturas y cubiertas varían según los requerimientos de lo que se quiera cultivar y producir, internamente está entrelazado con tensores y cables que hacen la estructura más estable y tenga buena resistencia a la carga de cultivos si estos son de tipo enredadera como por ejemplo un cultivo de uvas, este tipo de invernaderos son factibles para climas con poca humedad y con vientos variables. (Rufepa, 2016)

Figura. 10 Invernadero tipo parral.



Fuente: (Rufepa, 2016)

2.2.6. ***Invernadero tipo venlo***

Tienen buena capacidad térmica y el material con el que es construido es el vidrio. Están contruidos por módulos y cada uno tiene 3 metros con una altura de hasta 7 metros y más. Cada módulo está compuesto por una separación de 3 metros entre ellos.

Figura. 11 Invernadero tipo venlo



Fuente: (Agroexpo, 2018)

2.3. Paneles solares.

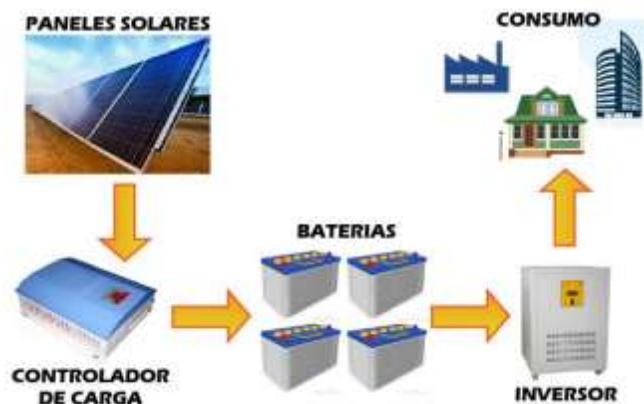
El panel solar es el que se emplea para la generación de energía, estos paneles cuentan con diversas células o celdas de silicio que aprovechan el efecto fotovoltaico en mejores palabras absorbe los rayos solares la Figura. 12 se aprecia uno de los diseños en paneles solares. Este fenómeno se basa en la producción de cargas negativas y positivas en semiconductores de distinta clase, esto puede romper la barrera potencial de la unión P-N, saliendo así a través de un circuito exterior, lo que da lugar a la generación de un campo eléctrico la alimentación de la carga a través del panel se observa en la Figura. 13.

Figura. 12 Panel solar.



Fuente: (Aerosolar México, 2016)

Figura. 13 Alimentación de la carga con panel solar.



Fuente: (Aerosolar México, 2016)

2.4. Marco Legal:

Es posible encontrar en la constitución y norma colombiana las siguientes leyes correspondientes en los campos agrícolas y energía

- REGLAMENTO ESPECÍFICO DE SEMILLA DE PAPA DECRETO SUPREMO N° 105-82-AG -Tiene Ley colombiana N° 23056 con 3 artículos correspondientes
- REGLAMENTO ESPECÍFICO DE SEMILLA DE PAPA
- CAPÍTULO I (DE LOS FINES) hasta el CAPÍTULO VII (TARIFAS)

En la parte de invernaderos se encuentran las siguientes reglas o normas

- Reglamento General del Invernadero Tecnificado El presente reglamento, es aplicable en el invernadero de las instalaciones del Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, donde se realicen trabajos de docencia e investigación. Su observancia es obligatoria para el personal académico, alumnos, trabajadores administrativos, y no existe otra reglamentación que resulte aplicable. Por la seguridad de todos y para mantener el orden, se siguen las siguientes instrucciones:

1. Toda aquella persona que quiera hacer uso del invernadero deberá programar su solicitud, registrarse, comunicar el tipo de experimento, proyecto, su duración y preferentemente avisar con tiempo.
2. Solo podrán tener acceso al invernadero personal autorizado, tanto alumnos como académicos que realicen prácticas y trabajos de investigación.
3. Todas las personas que entren en las instalaciones son responsables de las actividades que realicen.
4. Todas las personas antes de entrar deberán limpiarse los zapatos en el tapete y/o charola fitosanitario (productos químicos contra enfermedades).
5. No dejar abiertas las puertas, y mantener ambas cerradas.
6. Queda prohibida la entrada a menores de edad en el invernadero.
7. El uso de bata es obligatorio y usar guantes, en caso de que el experimento lo exija.
8. Todas las personas se deberán registrarse al entrar al invernadero.
9. Toda persona deberá anotar la actividad que realice, fecha, hora de entrada, hora de salida y el área a ocupar.
10. Dejar limpia su área de trabajo al desocuparla y las herramientas de trabajo.
11. Mantener limpio el invernadero, por fuera y por dentro.
12. Está prohibido fumar y comer dentro del invernadero.
13. Está prohibido el uso de zapatos abiertos.
14. No usar encendedores, herramientas punzocortantes y químicos.
15. Está prohibido tocar las especies que se encuentran en cuarentena
16. Queda prohibido el uso de materiales sin autorización.
17. Lavarse las manos antes y después de salir del invernadero.

18. No introducir alimentos. Este reglamento se dará a conocer a todo el personal involucrado, académico, alumnos, trabajadores administrativos, etc. Este reglamento deberá estar en un lugar visible en el plantel.

2.5. Marco ambiental:

2.5.1. **Contaminación ambiental generada por el cultivo**

En la agricultura se ha dicho que genera un impacto ambiental fuerte debido a que hay zonas en las cuales, ya que hay que talar árboles para tener un suelo apto para el cultivo, hacer embalses de agua para regar, canalización de ríos, y procesos a fines, en la agricultura moderna estos impactos se han multiplicado volviendo inerte el suelo, debido al exceso de plaguicidas y fertilizantes o la pérdida de biodiversidad genética, son problemas muy importantes. Los principales impactos negativos son:

- a) Erosión del suelo
- b) Salinización y anegamiento de suelos muy irrigados
- c) Uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas
- d) Agotamiento de acuíferos
- e) Pérdida de diversidad genética
- f) Deforestación
- g) Consumos combustibles fósiles y liberación de gases invernadero
- h) Consumo de combustibles fósiles y liberación de gases invernadero

2.5.2. **El impacto ambiental que generaría un sistema de energía fotovoltaica**

Un exagerado incremento de uso de energía solar en forma paradójica podría representar una amenaza en la preservación del medio ambiente y cuidado de los ecosistemas, esto debido a la gran cantidad de área requerida para instalar parques fotovoltaicos, que puedan entregar energía suficiente para satisfacer necesidades de cierta región; es conocido que dependiendo de la tecnología, topografía del sitio y ubicación, las estimaciones indican que la generación con sistemas PV requiere de 12.000 m² hasta 40,000 m² por MW. (Craig, 2018) (Fylladitakis, 2015)

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

La finalidad de este proyecto es poder realizar implementación de un sistema fotovoltaico a un invernadero. El cual sea utilizado o instalado en cualquier área del país sin importar el clima externo de este; por lo tanto para este análisis se escogerá un lugar al azar para verificar si es posible realizar dicha implementación, ya teniendo datos claros de cómo se desarrolla el cultivo de la Solanum phureja (papa criolla). Se procede a determinar que equipos serán indispensables para crear dichas condiciones de desarrollo.

Ya teniendo los datos de la potencia que será necesaria para el desarrollo del cultivo, se procede al calcular cuántos paneles serían esenciales teniendo en cuenta área disponible para realizar la implementación del sistema fotovoltaico y poder suplir las cargas eléctricas del invernadero.

3.1. Especificaciones de zona.

La zona en cual se propone la implementación del proyecto está ubicada en Floridablanca vereda Ruitoque alto; en esta área se encuentra una temperatura máxima de 25 grados centígrados y una temperatura mínima de 17 grados centígrados, los datos más relevantes se pueden observar en la Figura. 14 y (FORECA, 2018)

Figura. 15.



(FORECA, 2018)

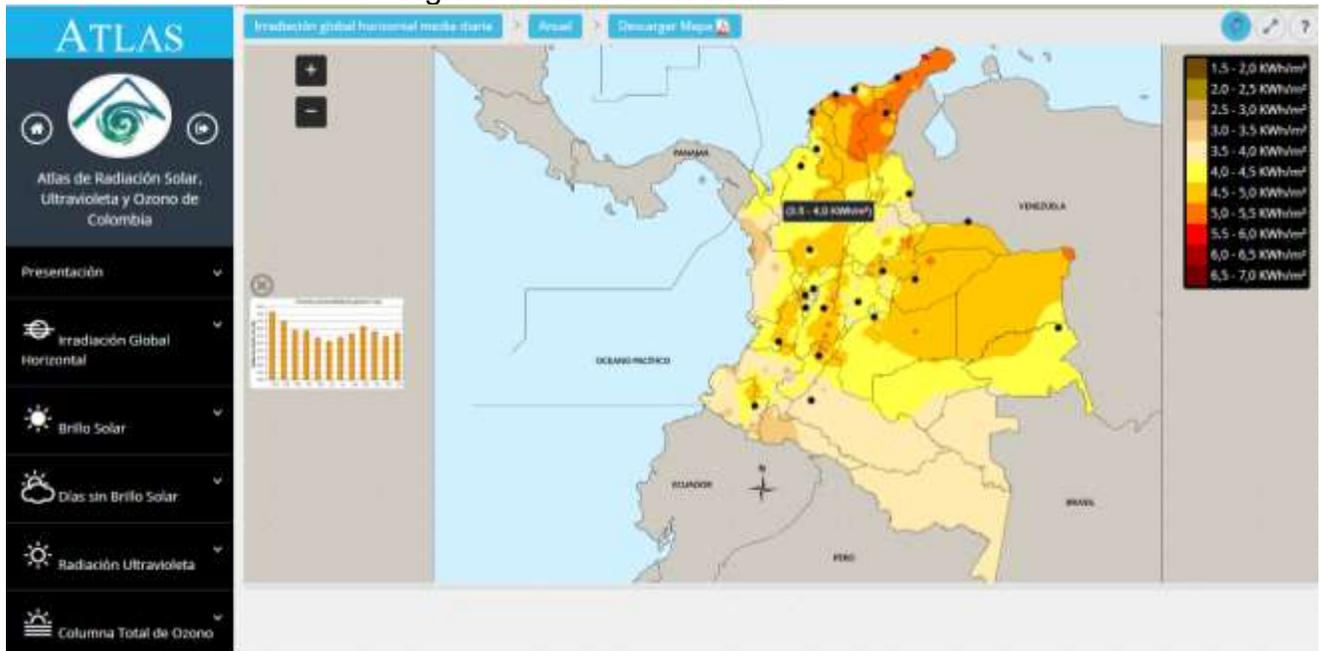
Figura. 15 Clima de Ruitoque (b).

| Hora | | Temp. | Sensación térmica | Viento | Hum. rel. | Lluvia | Pronóstico |
|-------|---|-------|----------------------|--------|-----------|--------|-------------------------------------|
| 00:00 |  | +18° | NaN° | ↖ 4 | 82% | | Algunas nubes |
| 01:00 |  | +18° | NaN° | ↖ 4 | 82% | | Algunas nubes |
| 02:00 |  | +18° | NaN° | ↖ 4 | 82% | | Parcialmente nuboso |
| 03:00 |  | +17° | NaN° | ↖ 4 | 82% | | Parcialmente nuboso |
| 04:00 |  | +17° | NaN° | ↖ 4 | 82% | | Nublado |
| 05:00 |  | +17° | NaN° | ↖ 4 | 81% | | Parcialmente nuboso |
| 06:00 |  | +17° | NaN° | ↖ 4 | 79% | | Parcialmente nuboso |
| 07:00 |  | +17° | NaN° | ↖ 4 | 78% | | Parcialmente nuboso |
| 08:00 |  | +18° | NaN° | ↗ 0 | 75% | | Parcialmente nuboso |
| 09:00 |  | +19° | NaN° | → 4 | 73% | | Parcialmente nuboso |
| 10:00 |  | +20° | NaN° | → 4 | 70% | | Algunas nubes |
| 11:00 |  | +21° | NaN° | ↘ 7 | 68% | 0,2 mm | Parcialmente nuboso y lluvia ligera |
| 12:00 |  | +22° | NaN° | ↘ 7 | 66% | 0,2 mm | Parcialmente nuboso y lluvia ligera |
| 13:00 |  | +23° | NaN° | ↘ 11 | 64% | 0,2 mm | Parcialmente nuboso y lluvia ligera |
| 14:00 |  | +23° | NaN° | ↘ 11 | 67% | 0,4 mm | Parcialmente nuboso y chaparrones |

(FORECA, 2018)

En la Figura. 16 se puede observar el mapa de radiación solar anual, en este se enfatiza la incidencia de la radiación solar en KW/h sobre metro cuadrado, dato de gran importancia a tomar en cuenta al momento de hacer la selección del área donde se adaptase un sistema fotovoltaico, como el que se propone en el presente proyecto.

Figura. 16 Radiación anual.

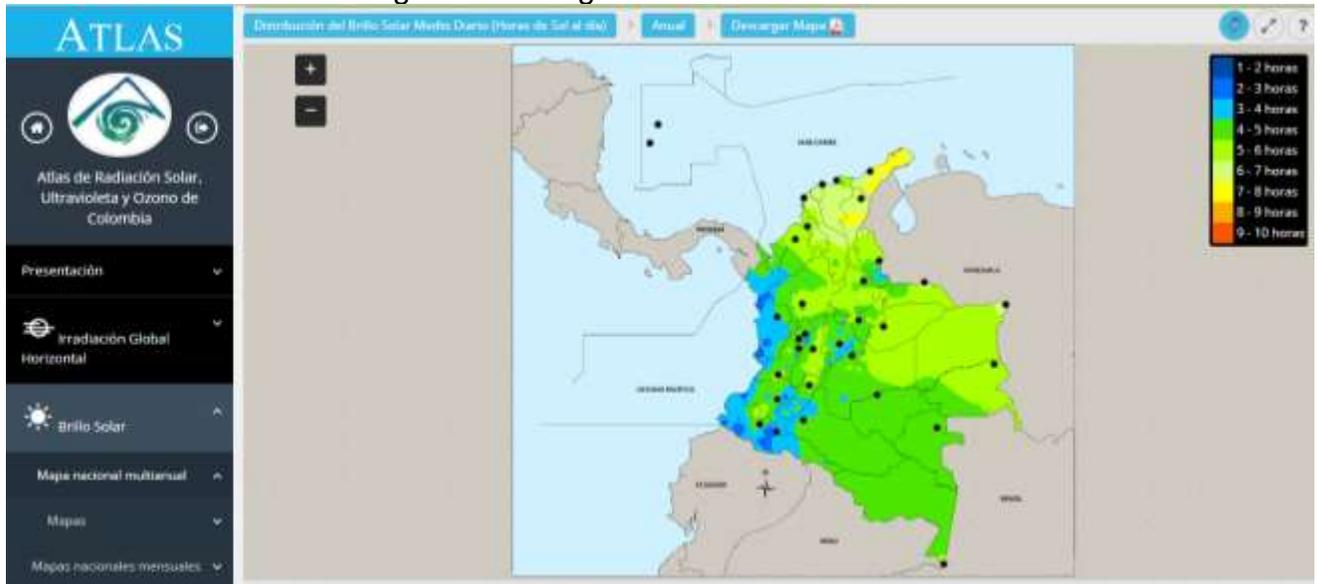


(IDEAM, 2017)

En la

Figura. 17, se puede apreciar el rango de brillo solar, en este se puede evaluar las horas del sol al día, o también conocida como horas de Sol efectivo en el día, u horas de insolación diaria, esto brinda información adecuada del régimen de brillo solar, permitiendo obtener características cuantitativas de la nubosidad y radiación solar de forma que se puede obtener la disponibilidad luz del sol para el aprovechamiento de la energía solar en el país.

Figura. 17 Rango de brillo solar.



Fuente: (IDEAM, 2017)

3.2. Especificaciones del cultivo de *Solanum phureja* (papa criolla)

Se toma como referencia en el capítulo 2 de este documento que el cultivo de *Solanum phureja* (papa criolla) se desarrolla bajo las siguientes características:

ELABORADO POR:
 Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
 soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
 FECHA APROBACION:

- Es necesario que el clima o temperatura ambiente sea de 10 a 20°C
- El suelo en donde se cultive la planta debe tener una textura franca, suelta y profunda que evita la acumulación de humedad en la raíz.
- Para que dicho terreno sea apto se recomienda que tenga un buen drenaje de agua
- La planta requiere que de pleno sol y las mejores épocas para el desarrollo del cultivo es en agosto y finales de diciembre
- La distancia recomendada para ubicar cada planta es de 25 a 30 cm entre ellas y 10 a 15 cm de profundidad

Dando así una perspectiva de las especificaciones para la adecuación del invernadero

3.3. Procedimiento sobre estimación de iluminación

Los cálculos de iluminación se pueden realizar mediante fórmulas ya existentes que se pueden encontrar en páginas científicas o en artículos, otra forma de obtener estos cálculos es por medio de un programa llamado DIALUX 4.12, en donde se puede diseñar toda la parte de la instalación de iluminación e incluso se puede observar cómo quedaría distribuidas las luminarias en el área seleccionada. (Nuria Castilla Cabanes, 2018) (Javier Garcia Fernandez, 2018)

Para la iluminación de tipo interior hay dos tipos de métodos para calcular iluminación como lo es:

- **Método de lúmenes, también denominado sistema general o factor de utilización**
Este método es adecuado al momento de calcular el medio de iluminación en un área específica, proporcionando una medida con un error de ±5 % dando una idea aproximada de la iluminación necesaria para el área en cuestión.
- **Método del punto por punto (o iluminación puntual)**
Este método se utiliza si se desea conocer los valores de la iluminancia en puntos concretos.

Cálculo luminoso total necesario por el método de lúmenes:

$$\Phi_T = \frac{E_m * S}{C_u * C_m} \text{ Ecuación 1 Flujo luminoso}$$

Dónde: E_m = nivel de iluminación medio (en LUX)

Φ_T = flujo luminoso que un determinado local o zona necesita (en LÚMENES)

S = superficie a iluminar (en m²).

Este flujo luminoso es afectado por unos coeficientes de utilización (CU) y de mantenimiento (Cm), estos se definen a continuación:

Cu = Coeficiente de utilización. Es la relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por la fuente luminosa. Lo proporciona el fabricante de la luminaria.

Cm = Coeficiente de mantenimiento. Es el cociente que indica el grado de conservación de una luminaria.

3.3.1. Flujo luminoso necesario

Hay que tener en cuenta para el cálculo las dimensiones del espacio (A, B, H), y la zona de trabajo, esta última depende de la actividad que será realizada en el área a emplear, el procedimiento básico para el cálculo del flujo es el siguiente:

1. Ejemplo: Para una oficina de 2.6 m de alto(H), se toma en cuenta una altura prima de trabajo de 0.85m (h') en cualquier caso donde se manejen escritorios
2. Según la norma hay que mirar cuantos luxes se requieren para el área de trabajo
3. Se identifica el tipo de lámpara que se colocaría en la zona a trabajar
4. Determinar la altura de suspensión a la que se va a colocar la luminaria

Tabla 1. Altura de suspensión de las luminarias en locales de altura elevada.

| | | |
|--|---|---|
| Locales con iluminación directa, semi-directa y difusa | Mínimo: $h = \frac{2}{3} * (H - h')$ | Óptimo: $h = \frac{4}{5} * (H - h')$ |
| Locales con iluminación indirecta | $d = \frac{1}{5} * (H - h')$ | $h = \frac{3}{4} * (H - h')$ |

3.3.2. Cálculo del índice del local (K)

Este está relacionado con la geometría del local o área a trabajar a = ancho; b = largo; h = altura.

Tabla 2. Cálculo del índice del local

| Sistema de iluminación | Índice del local |
|---|--|
| Iluminación directa, semi-directa, directa-indirecta y general difusa | $K = \frac{a * b}{h * (a + b)}$ |
| Iluminación indirecta y semi-indirecta | $K = \frac{3 * a * b}{2 * (h + h') * (a + b)}$ |

Después de haber determinado el índice del local, se toma referencia Anexo 3 Coeficientes de reflexión en la cual se obtiene los coeficientes de reflexión de algunos materiales y de color, adicionalmente para el cálculo del flujo luminoso se tiene en cuenta la Tabla 3, la cual muestra un factor de mantenimiento esencial para este cálculo.

Tabla 3. Cálculo del coeficiente de mantenimiento

| Ambiente | Coeficiente de mantenimiento (Cm) |
|----------|-----------------------------------|
| Limpio | 0.8 |
| Sucio | 0.6 |

3.4. Procedimiento para la estimación del aire acondicionado

Los cálculos de los aires acondicionados básicamente se realizan calculando el volumen total a refrigerar, hay que tener en cuenta que cada fabricante usa ciertas unidades para la selección de los equipos, por tal motivo es conveniente tener a la mano las conversiones y equivalencias entre las unidades para un cálculo óptimo. Las conversiones son:

1 BTU (British thermal unit) = 1,054 kJ

1 BTU = 0.252Kcal.

1 frigoría = 1Kcal

1 Ton refrigeración = 12000 BTU

El cálculo de las BTU necesarias se realiza al calcular el volumen del recinto a acondicionar multiplicado por un factor de corrección, luego teniendo este valor se selecciona el equipo que satisfaga el valor hallado

$$C = 230 \times V + (\# \text{ PyE} \times 476) \text{ Ecuación 2 Cálculo de BTU}$$

Donde:

230 = Factor calculado para América Latina "Temp máxima de 40°C" (dado en BTU/hm³).

V = Volumen del AREA donde se instalará el equipo, Largo x Alto x Ancho en metros cúbicos m³.

PyE = # de personas + Electrodomésticos instalados en el área

476 = Factores de ganancia y pérdida aportados por cada persona y/o electrodoméstico (en BTU/h).(Corrado, 2012) (Elaireacondicionado.com, 2016)

3.5. Proceso para el cálculo de riego (aspersores)

Los sistemas de riego para los cultivos son muy complejos los cuales requieren de estudios previos del terreno, de la humedad del área, en resumen de varios tipos de información. Ya adquirida esta información se pueden realizar los cálculos para el riego, estos van de la siguiente manera:

La evapotranspiración la cual se puede calcular con la siguiente fórmula (ADIGRA, 2007):

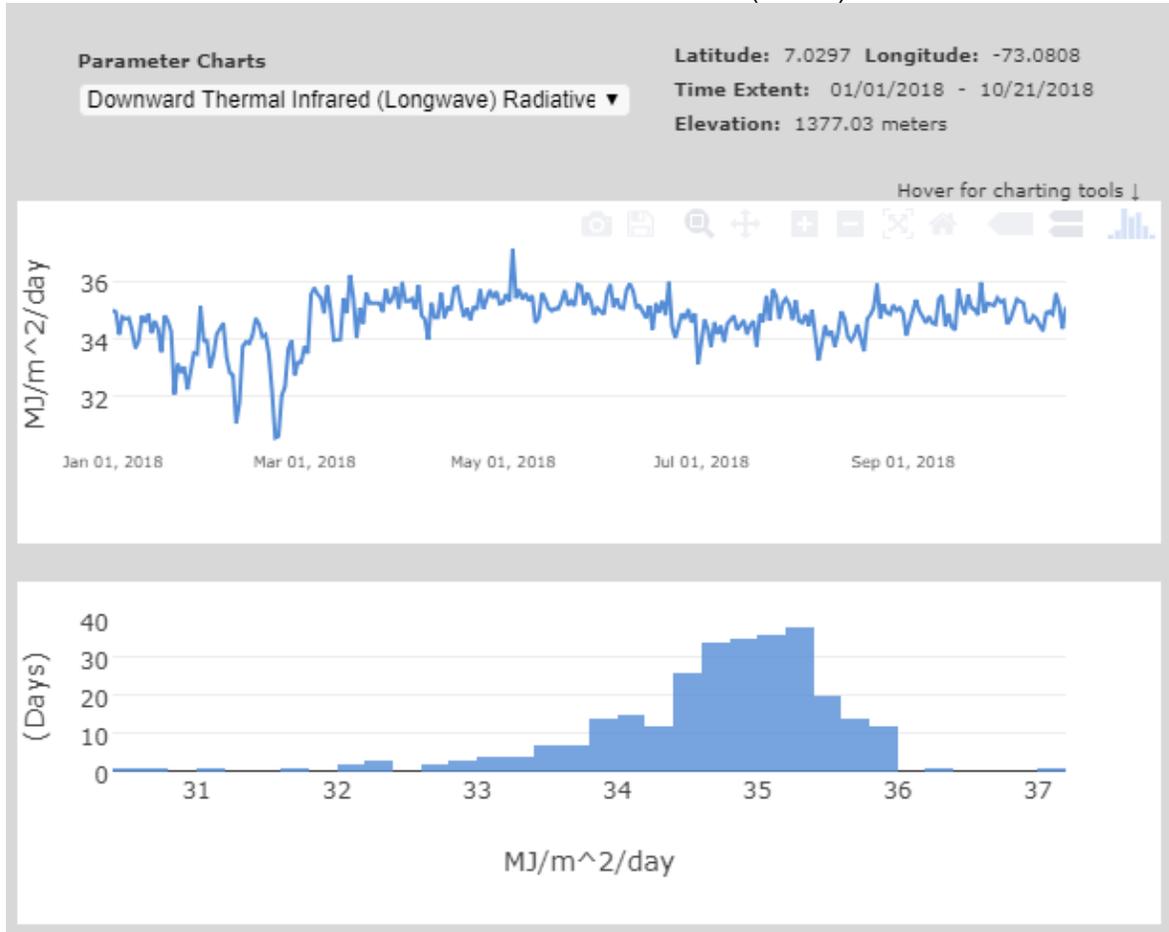
$$ET0 = 0,0023 (t_{med} + 17,78) R0 * (t_{max} - t_{min})^{0.5}$$

Ecuación 3 Cálculo de evopotranspiracion

Donde: ET0 = evapotranspiración potencial diaria, mm/día

Tmed = temperatura media diaria, °C

R0 = Radiación solar extraterrestre, en mm/día (tabulada en el Anexo 4 Tabla irradiación solar (NASA))



Fuente: (NASA, 2018)

Anexo 5 Radiación solar extraterrestre y Anexo 5 Radiación solar extraterrestre)

Tmax = temperatura diaria máxima

Tmin = temperatura diaria mínima

Requerimiento hídrico del cultivo

Área de riego en m²

Eficiencia del riego, depende del sistema de riego

Se calcula la cantidad neta de agua

$$CNA = \frac{(ET_0 + \text{requerimiento hídrico}) * \text{area de riego}}{\text{eficiencia del riego}}$$

Ecuación 4 Cantidad neta de agua

Una vez teniendo el agua neta que se requiere se realiza la distribución del sistema de riego

Se selecciona la boquilla de aspersión en la cual se obtienen los datos del caudal y la presión mínima de la boquilla,

En número de boquillas se obtiene dividiendo la cantidad neta de agua entre el caudal de cada boquilla

$$\#boquilla = \frac{CNA}{Q_{boquilla}}$$

Ecuación 5 Cantidad de boquillas

Con base a este resultado se halla el número de boquillas por cada ramal

$$\#boquilla(ramal) = \frac{\#boquilla}{\#ramal}$$

Ecuación 6 Boquillas por ramal

Se halla el caudal de cada ramal y el caudal total del sistema

$$Q_{ramal} = Q_{boquilla} * \#boquilla(ramal)$$

Ecuación 7 Caudal por ramal

$$Q_{total} = Q_{ramal} * \#ramal$$

Ecuación 8 Caudal total

Dependiendo del caudal hallado con un catálogo de tuberías, se hace la selección de la tubería donde se da el dato de pérdida de presión dependiendo del caudal y el diámetro seleccionado.

Otros datos a tener en cuenta son la distancia entre los aspersores, distancia entre los ramales y recurriendo a la ecuación de Bernoulli para calcular las presiones del sistema.

$H1 = H2 + H_{per}$ Ecuación 9 Conservación de la energía hidráulica

$$H = \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z \text{ Ecuación 10 Presión en términos de altura}$$

H pérdidas = pérdidas de presión en el sistema representado en altura.
Algunos fabricantes dan los datos de pérdidas de las tuberías por cada 100 metro, en caso de no tener este dato se calcula a través de las siguientes formulas

$$h_p = f \frac{LV^2}{2gD} = \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 D^5} \text{ Ecuación 11 Pérdidas de presión}$$

f= factor de Moody el cual se calcula con la siguiente formula

Si el flujo es laminar

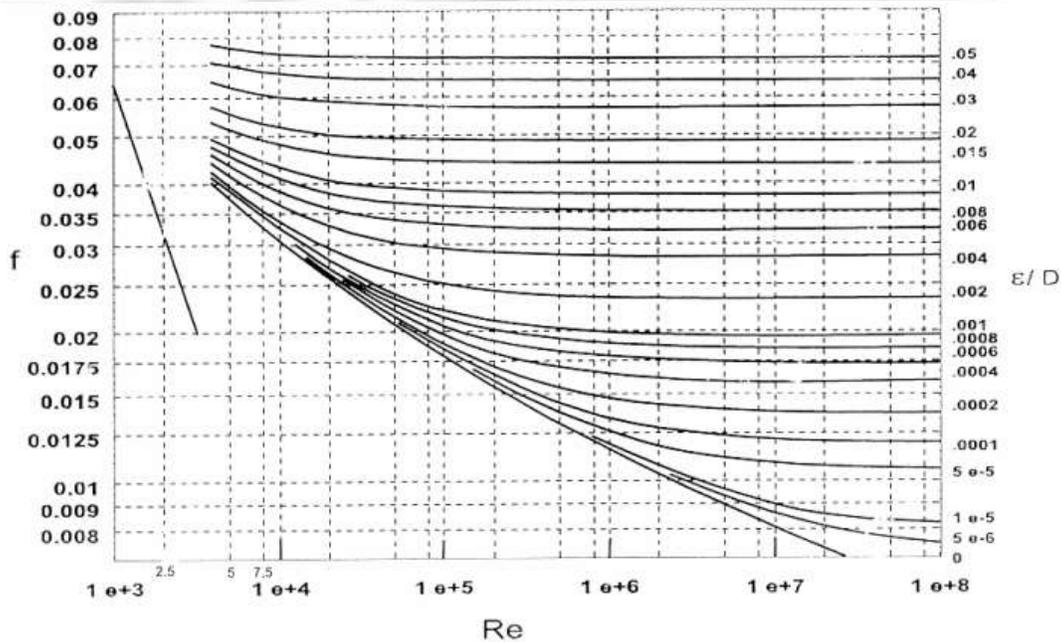
$$f = \frac{64}{Reinolds} \text{ Ecuación 12 Factor Moody flujo laminar}$$

Si el flujo es turbulento

$$f = 0.001375 \left[1 + \left(200\epsilon r + \frac{10^6}{RE} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \text{ Ecuación 13 Factor Moody flujo turbulento}$$

O bien se calcula al tomar los datos de la Figura. 18

Figura. 18 Diagrama de Moody



Fuente: (Ponce Victoria, 2006)

$$RE = Reynolds = \frac{\rho V D}{\mu} \text{ Ecuación 14 Formula Reynolds}$$

- ρ= densidad del fluido
- μ= viscosidad del fluido
- ε= rugosidad del material
- D= diámetro de la tubería

Cada accesorio tiene sus propias fórmulas para calcular las pérdidas que presentan y dependen de cada fabricante

Se evalúa todo el sistema teniendo en cuenta las alturas de las boquillas para determinar la presión de entrada del sistema y junto con el caudal total, se realiza el dimensionamiento y selección del sistema de bombeo.

Para hallar la potencia de la bomba se tienen en cuenta las siguientes fórmulas:

$$Pot(KW) = \frac{P(bar) * Q(\frac{l}{min})}{600} \text{ Ecuación 15 Potencia de bomba en KW}$$

$$Pot(HP) = \frac{P(bar) * Q(\frac{l}{min})}{450} = \frac{P(PSI) * Q(GPM)}{1714} \text{ Ecuación 16 Potencia de bomba en HP}$$

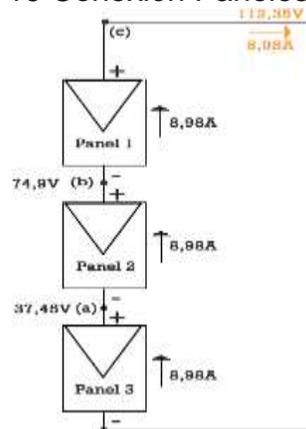
3.6. Proceso para los cálculos de paneles solares

Para realizar los cálculos de los paneles solares necesita conocer la carga total que se requiere satisfacer, es decir, la suma de la potencia que consume el aire acondicionado, la potencia total de las luminarias, la potencia del sistema de riego, entre las más importantes. Al tener la potencia total que se necesita satisfacer, se calculan cuántos paneles son necesarios y el arreglo más óptimo para cumplir la demanda requerida

3.6.1. Conexión en serie

Al realizar las conexiones de los paneles en serie se logra tener una ganancia en voltaje manejando una corriente baja

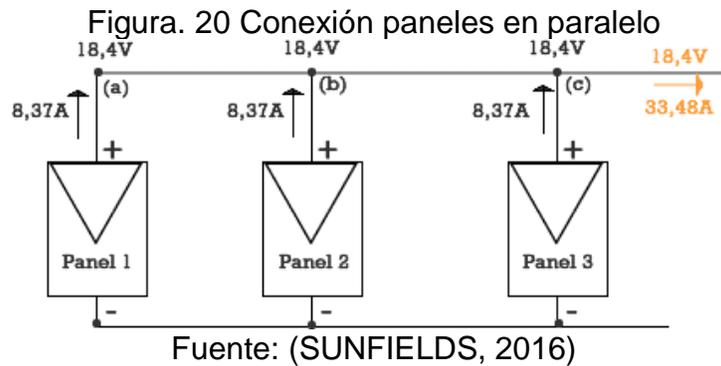
Figura. 19 Conexión Paneles en serie



Fuente: (SUNFIELDS, 2016)

3.6.2. **Conexión en paralelo**

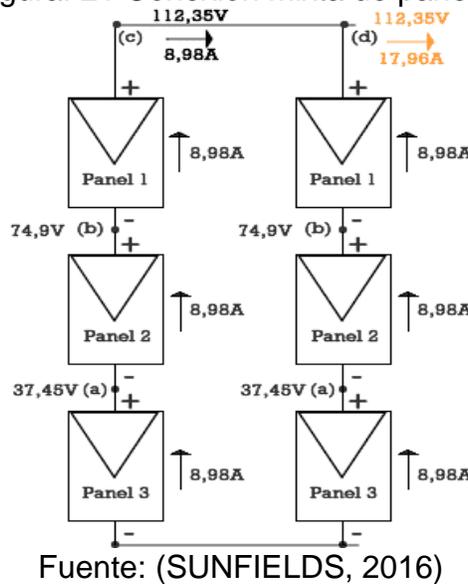
Al realizar las conexiones de los paneles en paralelo se logra tener una ganancia en corriente manteniendo el voltaje del panel.



3.6.3. **Conexión mixta**

Esta conexión se realiza al poner en paralelo varias ramas dispuestas en serie, esta configuración se realiza cuando se necesita altos requerimientos de potencia

Figura. 21 Conexión mixta de paneles



Para realizar los cálculos que determinan la cantidad de paneles se toman las siguientes fórmulas

Energía que produce un solo panel

$E_{panel} = I_{panel} * V_{panel} * HSP * 0,9$ [Whd] Ecuación 17 Energía de un panel

Donde:

I_{panel} = corriente máxima del panel

V_{panel} = Voltaje máximo del panel

HSP= horas pico de sol

0,9= eficiencia y rendimiento del panel

Se puede tomar el número aproximado de paneles que requiere la instalación tomando la siguiente fórmula

$E_{generada} = I_{panel} * V_{panel} * HSP * 0,9 * \#Paneles$ [Whd]
Ecuación 18 Energía total de los paneles

Se configura un arreglo ya sea en serie, paralelo o mixto, teniendo en cuenta el número de paneles calculado anteriormente y así satisfacer de manera óptima la demanda de energía, una vez se realiza este proceso se calcula la potencia que genera el arreglo y se compara con el requerido

$E_{req} \leq E_{gen_ftv} = I_{gen} \cdot V_{gen} \cdot HSP \cdot 0,9$
Ecuación 19 Potencia generada por arreglo de paneles

Donde

$I_{gen} = I_{panel} * \# ramas en paralelo$ Ecuación 20 Amperaje del arreglo de paneles

$V_{gen} = V_{panel} * \# paneles en el ramal$ Ecuación 21 voltaje del arreglo de paneles

Estos cálculos se realizan tomando que los paneles son iguales y que trabajan a su máxima capacidad, por tal razón se recomienda que la potencia que genera el arreglo fotovoltaico sea mayor al requerido, con el objetivo de cubrir ineficiencias adicionales que se presenten en la instalación.

Con lo referente a la ubicación y dirección de los paneles solares tiene gran importancia la latitud en la cual está ubicado el sitio en el que se va a implementar el sistema fotovoltaico, así como la época del año; el objetivo de esta ubicación es conseguir que el área del panel solar quede con la mayor perpendicularidad posible con respecto a la radiación solar incidente. (Beltrán Soto, 2017)

Como se mencionó anteriormente la inclinación del panel se hace según la ubicación geográfica del sitio, es decir, si el sitio está ubicado en latitud norte, la inclinación que tendrán los paneles, será de tal manera que estén mirando hacia al sur, de manera análoga ocurre si el sitio está ubicado en latitud sur, la inclinación de los paneles estará de tal manera que queden mirando hacia el norte.

La época del año influye en la inclinación del panel y se debe tener en cuenta la ubicación solar en 2 épocas importantes en el año, el solsticio de verano y del invierno como se muestra en la Figura. 22 la cual muestra la ubicación solar de un sitio ubicado a 47° latitud norte a medio día de estas dos fechas (MPPT- Solar, 2018)

Figura. 22 Trayectoria del sol



Fuente: (MPPT- Solar, 2018)

4. RESULTADOS

4.1. Cálculo con Especificaciones de la zona

Como se había mencionado anteriormente el sitio en el cual se va a implementar el sistema fotovoltaico es en la vereda mesa de Ruitoque, municipio de Floridablanca Santander, por tal motivo las características de la zona son:

Nombre del sitio: la mesa de Ruitoque

Temperatura Máxima: 24°C

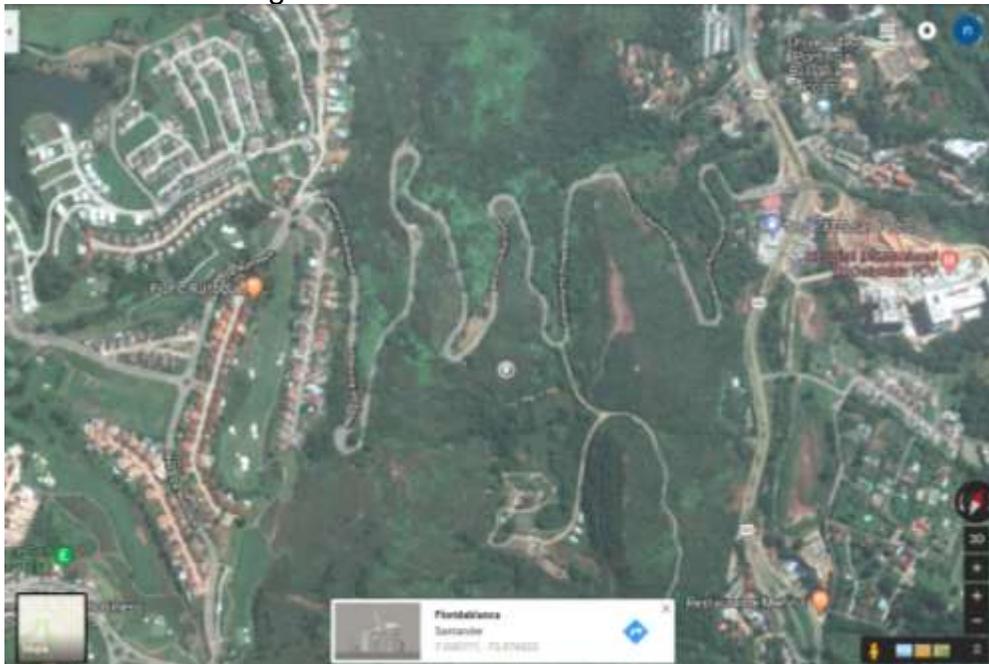
Temperatura mínima: 17°C

HSP=4 a 5 horas (ver Figura. 14)

Radiación solar=3.5 a 4 KW/h/m² (ver Figura. 16)

Latitud==7° norte aproximadamente

Figura. 23 Ubicación del invernadero



Fuente: (Google, n.d.)

Por lo tanto se concluye que esta zona cumple con algunas de las especificaciones adecuadas para realizar el cultivo y seria apto para mirar si se puede realizar dicha implementación en cualquier parte del país sin importar el clima que allá en la región.

4.2. Cálculo Especificaciones del cultivo

Teniendo en cuenta la bibliografía ya consultada se pueden determinar las especificaciones más características que requiere el cultivo para su óptima producción las cuales son:

Temperatura del cultivo= 10 a 20 °C

Requerimiento hídrico= 600 y 800 mm al año

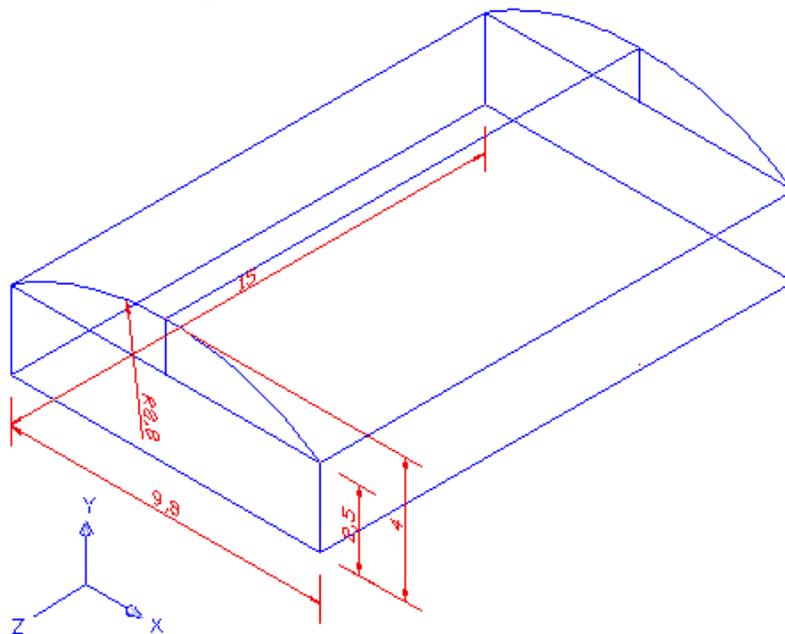
HSNM= 2000 a 3500 msnm

(S.A.S., 2015)

4.3. Cálculo del invernadero

Teniendo en cuenta las condiciones del sitio y el área en el que se va a utilizar el invernadero, se hace la selección de una estructura tipo capilla el cual contará con las dimensiones estándar, aunque estas dimensiones varían dependiendo del cliente o lo que se quiera producir; en la Figura. 24. Se puede observar las dimensiones que se manejarán para esta implementación. La cual por la forma curva de su techo se puede hacer la distribución de los paneles solares de tal manera que abarca gran parte de la trayectoria solar y no me genera un gran impacto ambiental realizar dicha implementación.

Figura. 24 Esquema del invernadero



Fuente: Autores

Largo = 15 m
Ancho= 9.8 m
Alto total = 4 m
Alto de pared= 2.5 m
Radio de curvatura = 8.8 m

Teniendo en cuenta las dimensiones de la cúpula con el ángulo que se visualiza en la Figura. 25 Medidas del domo en radianes, se realizan los cálculos del volumen interno del invernadero el cual se tiene que: (Carlos, 2009)

$$\text{Angulo radianes} = \frac{\pi}{180} * 68 \text{ Ecuación 22 Ángulo de grados a radiales}$$

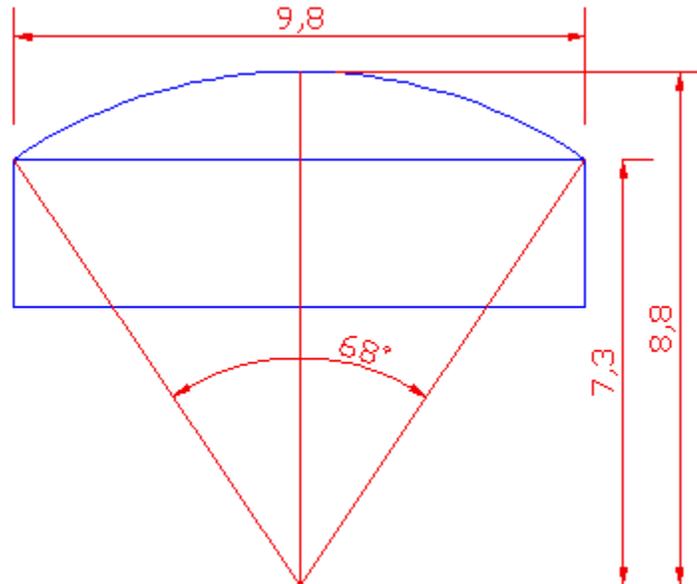
$$\text{Area} = \frac{\text{angulo} * r^2}{2} \text{ Ecuación 23 Área sector circular}$$

Se suma el volumen del cubo de la base con el volumen de la sección de cilindro, esta sección se halla tomando el área de la sección circular menos el área del triángulo, todo multiplicado por la longitud.

$$V = (15 * 9.8 * 2.5) + \left(\frac{\frac{68\pi}{180} * 8.8^2}{2} - \frac{9.8 * 7.3}{2} \right) * 15$$

$$\text{Volumen} = 520.2 \text{ m}^3$$

Figura. 25 Medidas del domo



Fuente: Autores

4.4. Cálculos de iluminación

Los cálculos de iluminación se realizan mediante el programa Dialux, teniendo en cuenta los tipos de lámpara que se requiere para la producción efectiva del cultivo.

Para realizar el cálculo de iluminación se debe tener en cuenta la cantidad de pantas son la que requieren la luz ultravioleta, por lo tanto se distribuye el espacio en el invernadero en donde se deja un espacio de trabajo de un metro en los lados y un pasillo central de un metro como lo veras en la(figura 29.) tomando la distancia mínima de plantación se colocan cada 25cm dando como resultado 25 plantas por cada metro cuadrado, entonces:

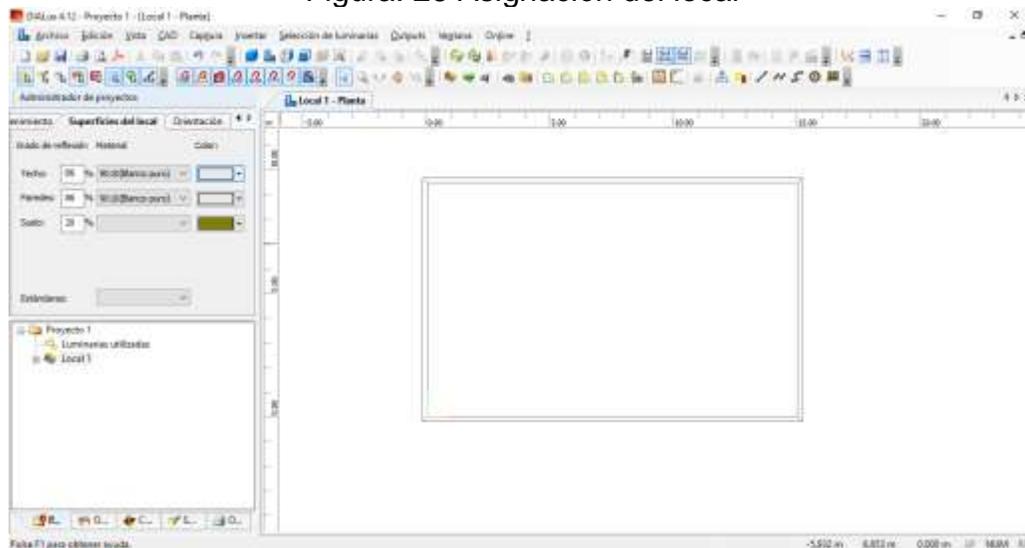
$$(13m) \times (3m) = 39m^2$$

$$39m^2 \times 2 = 78m^2$$

$$78m^2 \times 25 = 1950 \text{ plantas}$$

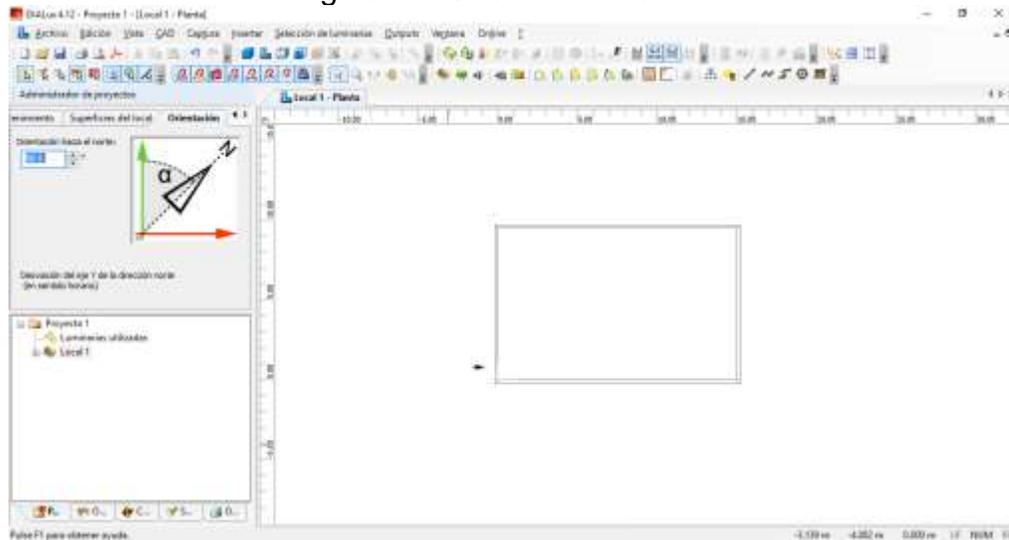
Ya con las dimensiones claras se introducen los datos y se tiene en cuenta la dirección con respecto al norte que tendrá el invernadero, el material de las paredes y techo, sabiendo que es para un invernadero se selecciona plástico blanco.

Figura. 26 Asignación del local



Fuente:(Dial, 2018)

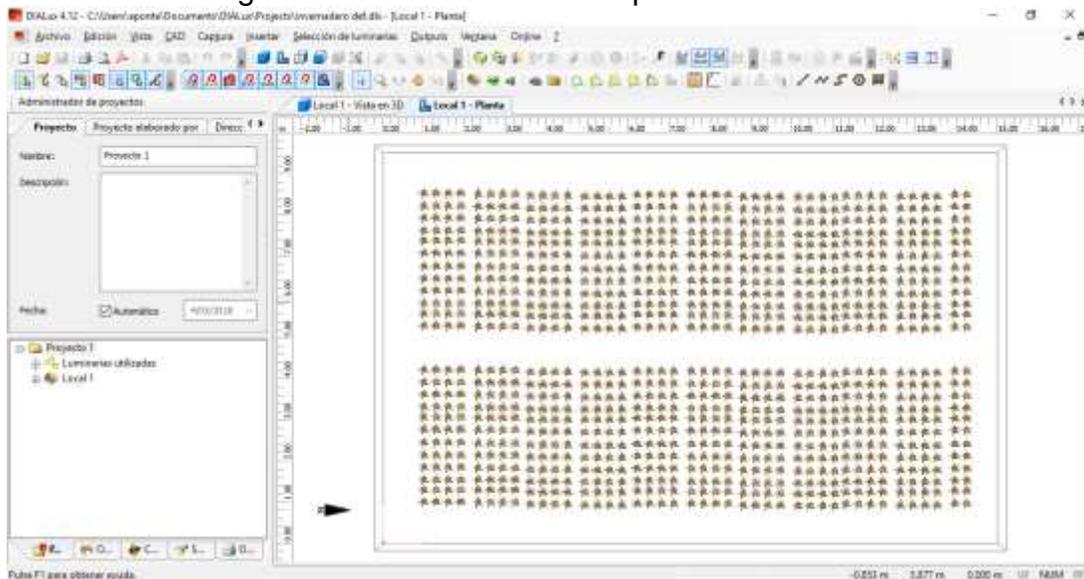
Figura. 27 Orientación del local



Fuente: (Dial, 2018)

A continuación, se ubican los elementos simulando del cultivo de las 1950 plantas que tendría el invernadero

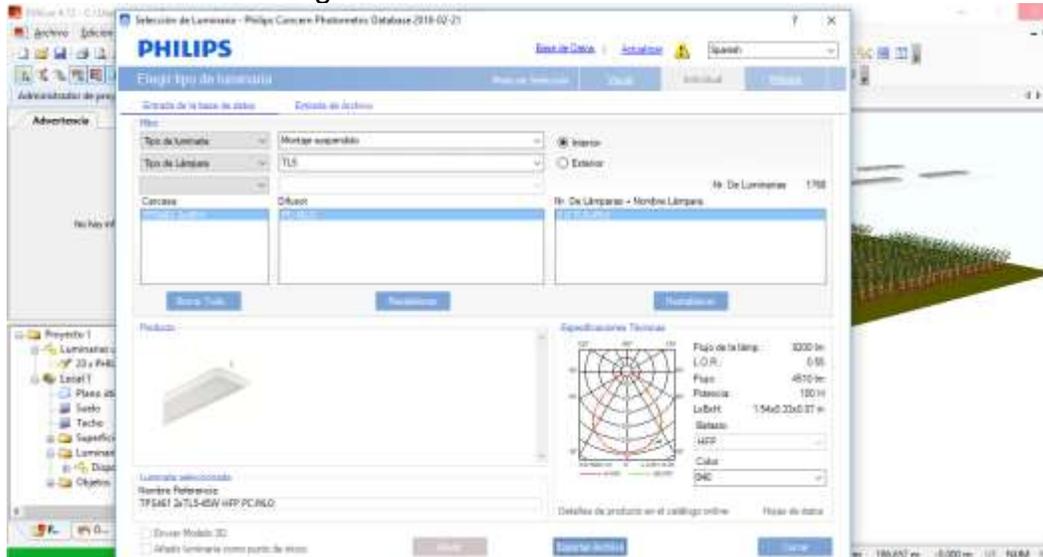
Figura. 28 Distribución de las plantas en el local



Fuente: (Dial, 2018)

En este paso se realiza la selección de las luminarias que se van a implementar en el invernadero teniendo en cuenta la cantidad de luxes o lúmenes requeridos por la planta

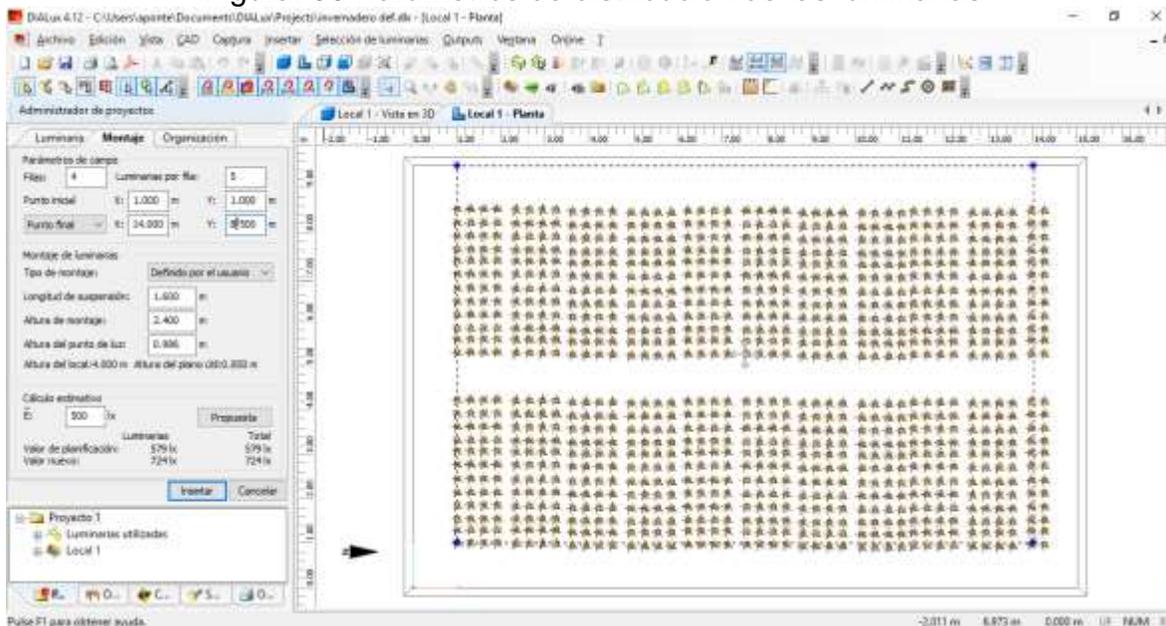
Figura. 29 Selección de luminarias



Fuente: (Dial, 2018)

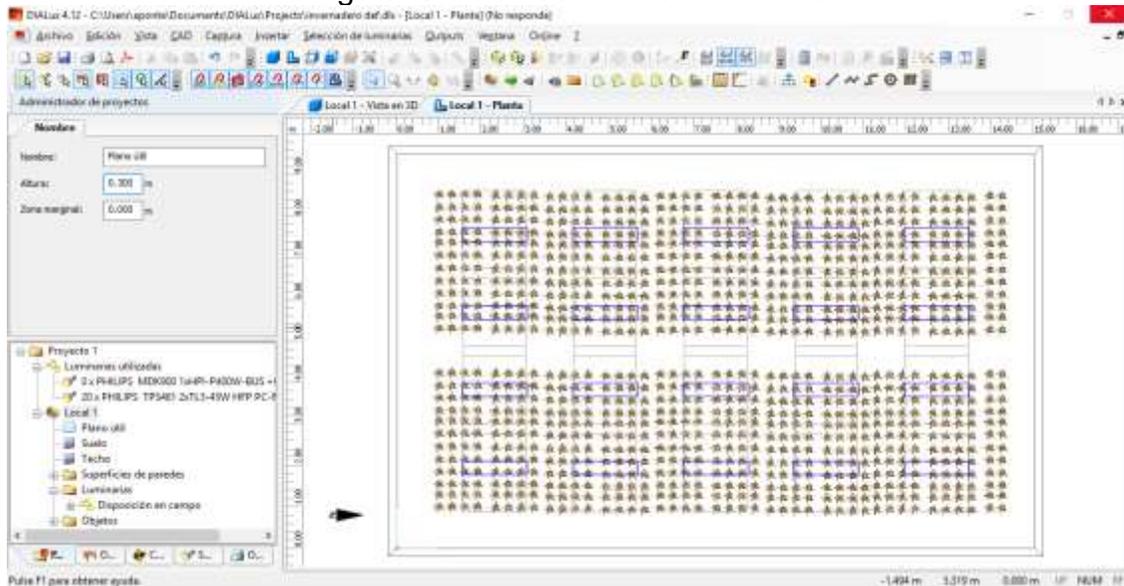
Seguidamente se realiza la distribución de las luminarias y se calcula la cantidad que se requieren de las mismas

Figura. 30 Parámetros de distribución de las luminarias



Fuente: (Dial, 2018)

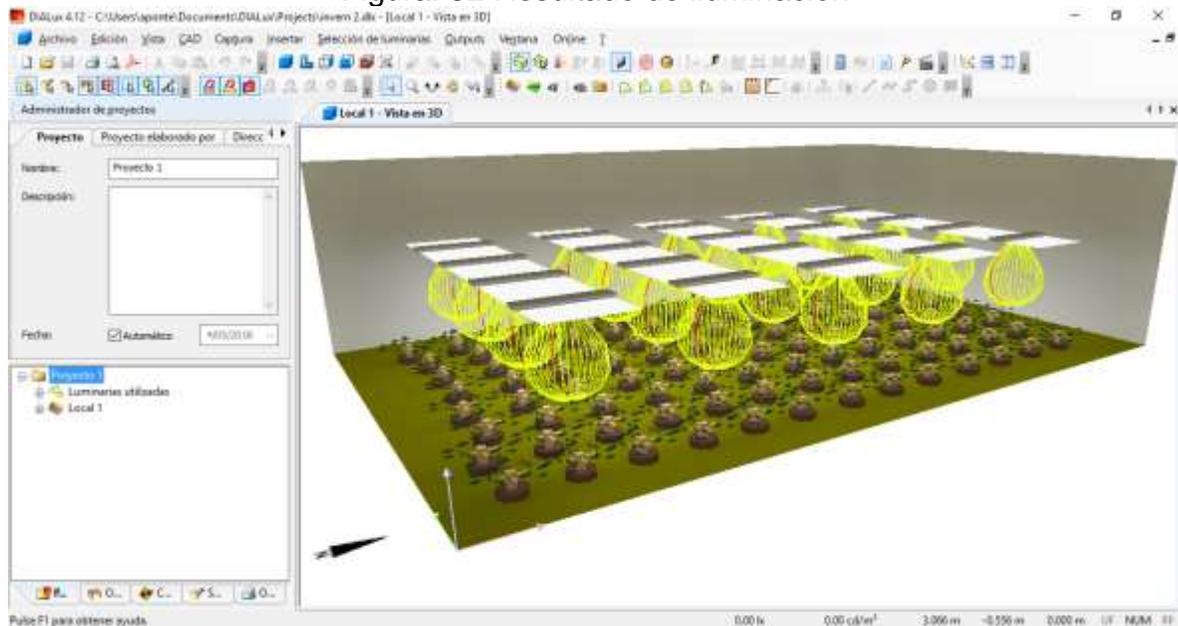
Figura. 31 Distribución de luminarias



Fuente: (Dial, 2018)

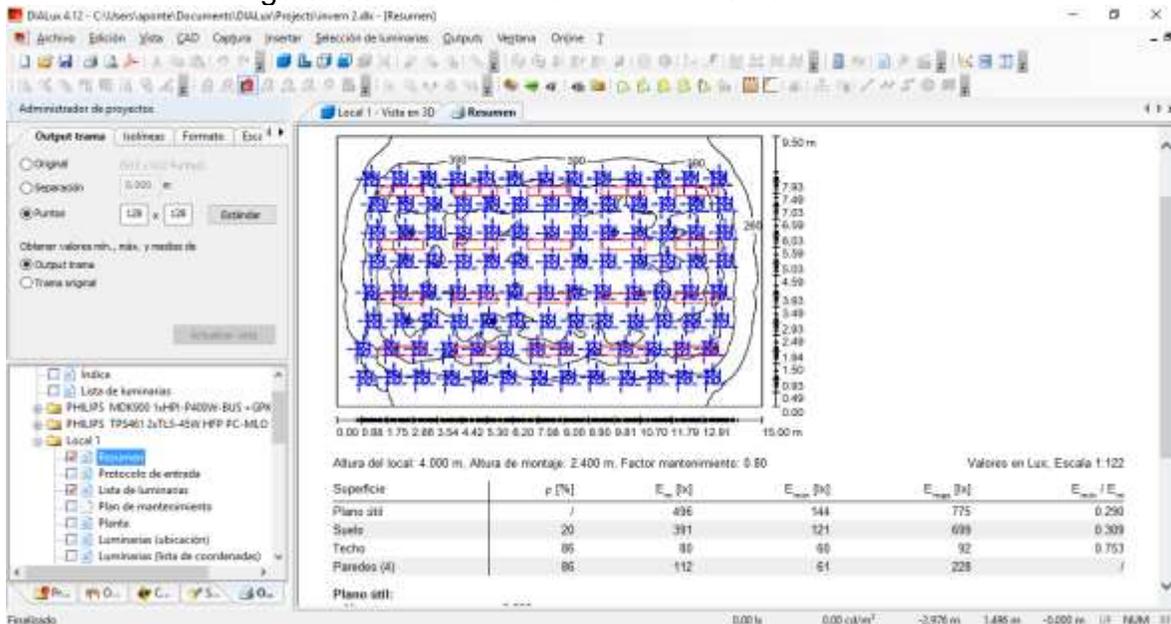
Se realiza el análisis del sistema y se obtienen los resultados de la distribución lumínica del recinto, así como una representación 3D de la iluminación efectiva de la luminaria con la cual se puede concluir que la primera selección no satisface a cabalidad los requerimientos de iluminación.

Figura. 32 Resultado de iluminación



Fuente: (Dial, 2018)

Figura. 33 Resumen de los cálculos de iluminación



Fuente: (Dial, 2018)

Debido a que en el programa se encuentran tipos de luminarias para la iluminación de recintos y exteriores (luz blanca y amarilla), no se encuentran las luminarias de luz ultravioleta ya que estas son para aplicaciones especiales, por lo que para efectos de cálculos se toma la referencia de la luminaria ultravioleta y se busca en el catálogo una luminaria con las mismas especificaciones de potencia y distribución lumínica.

Se vuelven a realizar los cálculos para adaptar a las nuevas luminarias dejando o cambiando la distribución de las luminarias.

Revisando catálogos led para iluminación de horticultura, se toma la referencia LCR+200, la cual brinda un flujo de 27000 lúmenes a una potencia de 200W

Figura. 34 Selección catalogo luminaria

**LED LINEAR 200W
LCR / LPRB / LPW SERIES**

WARRANTY 3 YEARS

CREE HORTICULTURE **MW** **CE** **RoHS**

MEAN WELL HLG-350A
4 X ARTIC FI SLENT

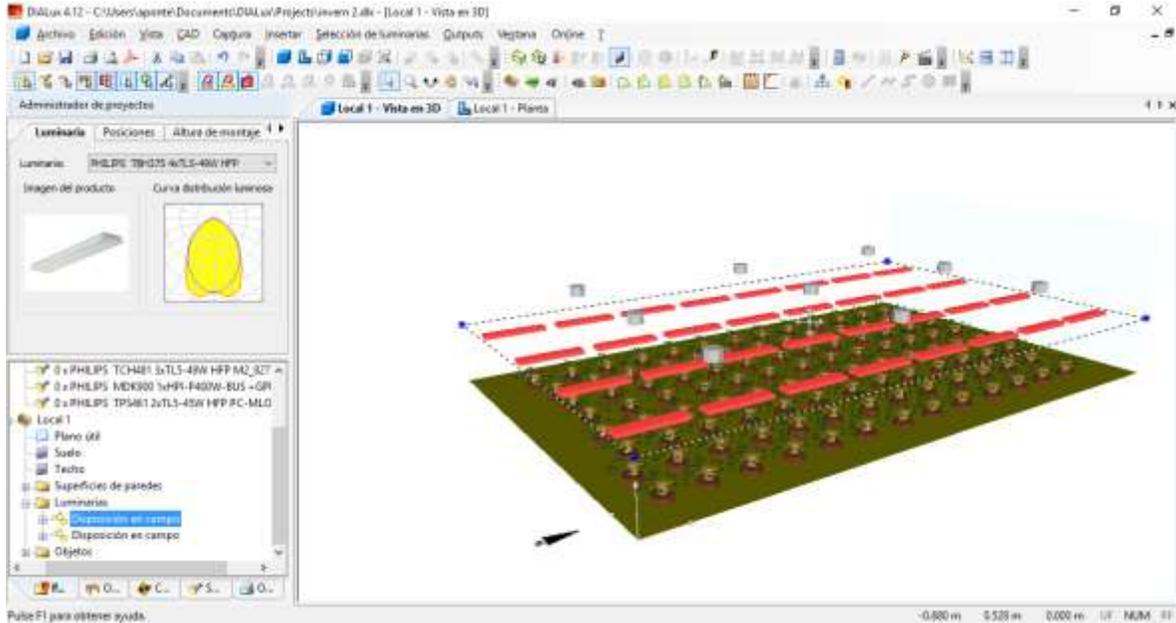
CXB 3590 CXB 3070 CLU04H-PW CLU04H-PRB

| Ref. | P | LED | CHIP | N.º LED | T.º Color PPF | Beam angle | PFC | IP | Lumens | Flowering Area (mm) | Material | Dimens. (mm) | LED Life | Warranty |
|-----------|------|--|-------------------------|---------|--------------------------|------------|-------|------|--------|---------------------|-----------------|--------------|----------|----------|
| LCR-200 | 200W | CREE | CXB3590 | 4 | 3500K | 120º | >0,98 | IP25 | 27.000 | 1200x600 | Active heatsink | 800x100x15 | 50.000 h | 3 Years |
| LCR-200 | 200W | CREE | CXB3070 | 4 | 3500K | 120º | >0,98 | IP25 | 23.000 | 1200x600 | Active heatsink | 800x100x15 | 50.000 h | 3 Years |
| LPRB-200 | 200W | HORTICULTURE | CLU04H-PRB | 4 | 306µ mol/s | 120º | >0,98 | IP25 | 11.000 | 1200x600 | Active heatsink | 800x100x15 | 50.000 h | 3 Years |
| LPW-200 | 200W | HORTICULTURE | CLU04H-PW | 4 | 317µ mol/s | 120º | >0,98 | IP25 | 16.700 | 1200x600 | Active heatsink | 800x100x15 | 50.000 h | 3 Years |
| LCPRB-200 | 200W | CREE HORTICULTURE | CXB3070 CLU04H-PRB | 2 2 | 3500K 153µ mol/s | 120º | >0,98 | IP25 | 17.000 | 1200x600 | Active heatsink | 800x100x15 | 50.000 h | 3 Years |
| LPRBW-200 | 200W | HORTICULTURE HORTICULTURE | CLU04H-PRB CLU04H-PW | 2 2 | 153µ mol/s 158µ mol/s | 120º | >0,98 | IP25 | 13.850 | 1200x600 | Active heatsink | 800x100x15 | 50.000 h | 3 Years |

Fuente: (LUMILIGHT, 2017)

Revisando el catálogo de Phillips se toma la referencia de iluminaria TBH375 4xTL5 49w HFP, la cual da una potencia de 210 W, esta referencia la se toma haciendo homologa a la referencia de la luminaria led, ya que en el programa de dialux no se encuentra específicamente el tipo de luminaria.

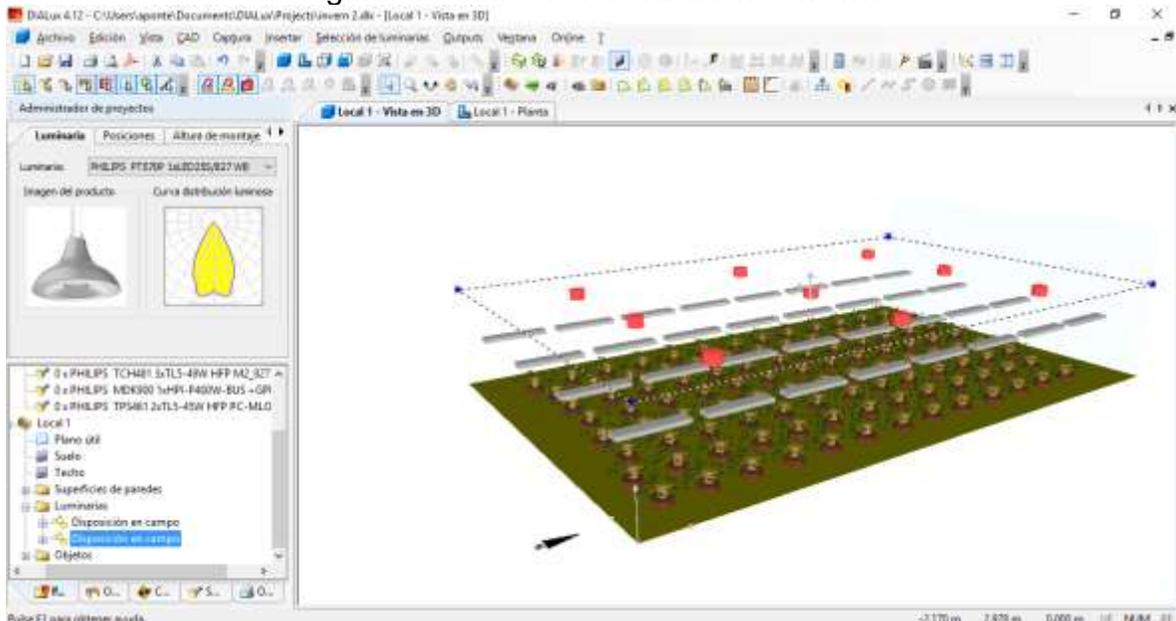
Figura. 35 Cambio de selección de luminaria



Fuente: (Dial, 2018)

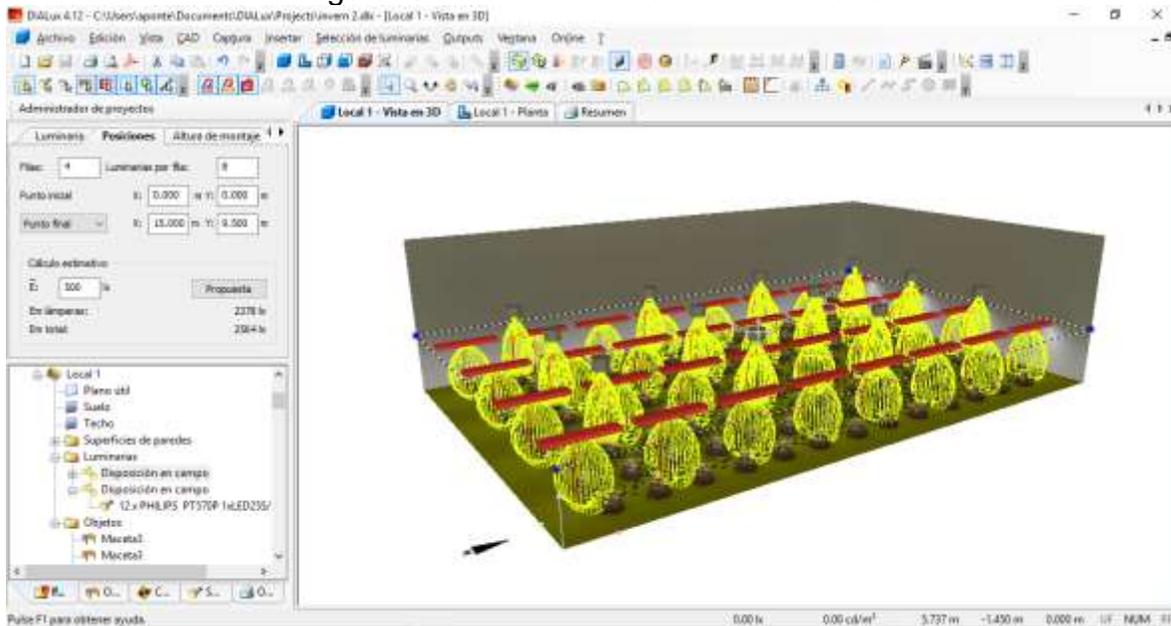
Se selecciona una lámpara para iluminación de manejo de personal

Figura. 36 Selección de luminaria externa



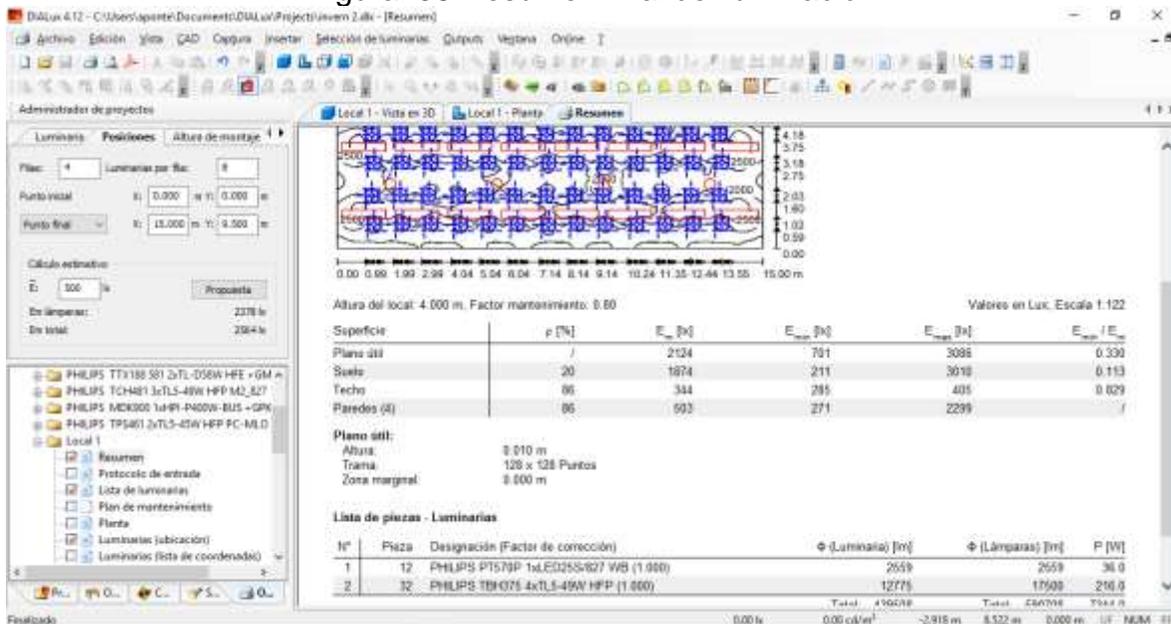
Fuente: (Dial, 2018)

Figura. 37 Distribución de luz recalculada



Fuente: (Dial, 2018)

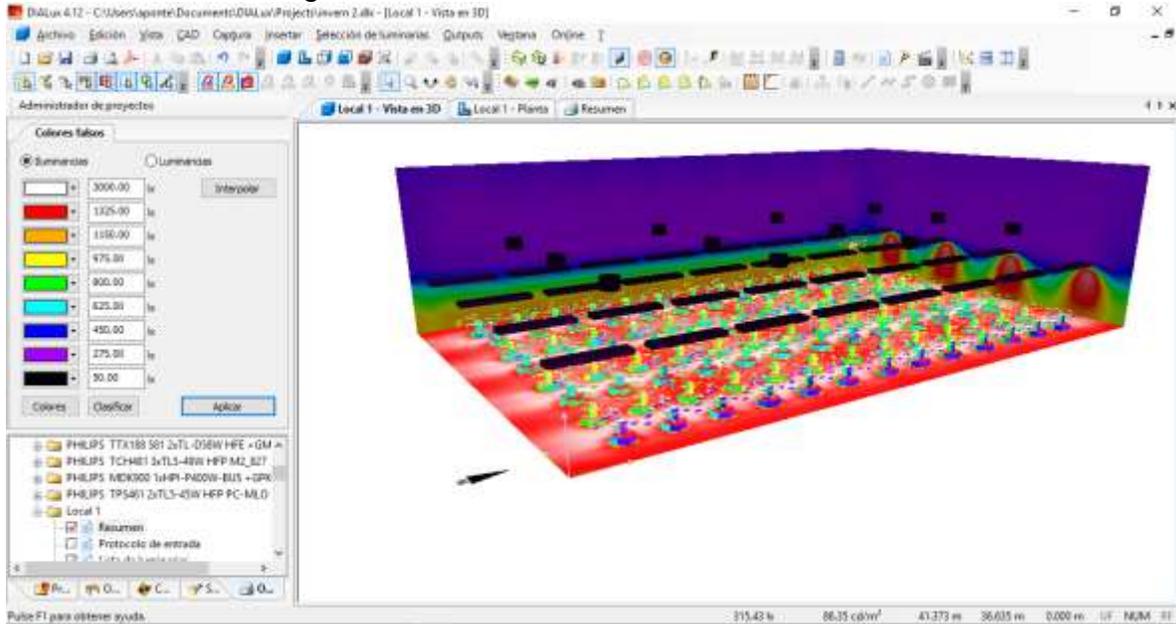
Figura. 38 Resumen final de iluminación



Fuente: (Dial, 2018)

En la Figura. 39 se puede observar la distribución lumínica que se presentará en la instalación de las luminarias para que la planta en si pueda desarrollarse.

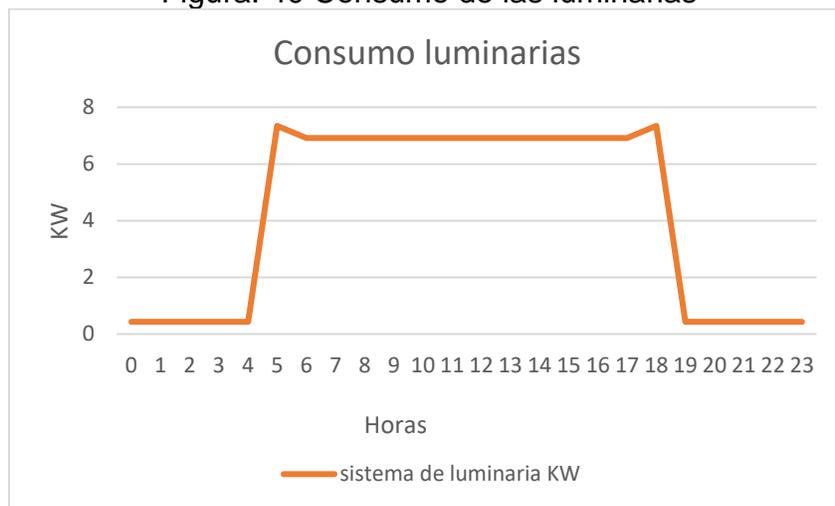
Figura. 39 Nivel de iluminancias en el recinto



Fuente: (Dial, 2018)

Con estos resultados se puede ver que se requieren un total de 32 luminarias led para el crecimiento de las plantas, las cuales tendrían un consumo de aproximadamente 7KW-h y las luminarias para el personal las cuales tendrían un consumo de 0.5 KW-h aproximadamente
El consumo durante el día estaría dado por la Figura. 40

Figura. 40 Consumo de las luminarias



Fuente: Autores

4.5. Cálculos del aire acondicionado

Tomando la fórmula antes vista para el cálculo aproximado de la capacidad de aire acondicionado. se observa que no es necesario tener en cuenta el aumento que tiene el invernadero, debido a que el coeficiente 230 se tiene estimado para una zona general que es Latinoamérica y la cual se maneja con un rango de temperatura máxima de 40°C por lo tanto se usa la $C = 230 \times V + (\# PyE \times 476)$ Ecuación 2

$$C = 230 \times A + (\# PyE \times 476) [BTU]$$

A=520,2 m³ aproximadamente

#PyE = 32 (por cada elemento o equipo que pueda producir calor en este caso las luminarias que se van a instalar)

$$C = 230 \times 520.2 + (32 \times 476)$$

$$C = 134.878 BTU$$

$$C = 11 Ton_{ref} = 33263.44 Kcal = 38.68 Kw$$

Los datos presentados son la capacidad calorífica que debe tener el sistema de aire acondicionado en diferentes unidades para su posterior comparación y selección de equipo(s) que satisfagan la demanda requerida y de esta manera saber la carga de potencia que se requiere.

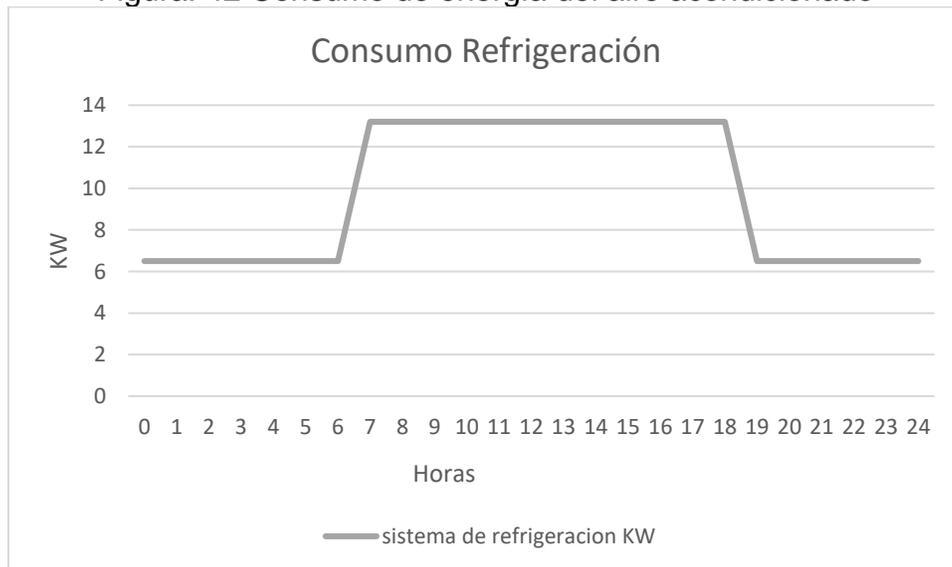
Al realizar la búsqueda de catálogos de aires acondicionados y teniendo en cuenta el resultado final de la capacidad requerida a suplir, se selecciona 2 equipos ACY 200-250 LHTA como se observa en la Figura. 41, del catálogo de FUJITSU pagina 110, para que cumpla con la carga de refrigeración, las características técnicas se pueden observar en el Anexo 6 Datos técnicos del aire acondicionado

Figura. 41 Equipo de aire acondicionado



Fuente: (FUJITSU, 2017)

Figura. 42 Consumo de energía del aire acondicionado



Fuente: Autores

4.6. Cálculos de riego.

Se realiza el cálculo de la cantidad neta de agua tomando la Ecuación 3 Cálculo de evapotranspiración.

Evapotranspiración

T Max= 24°C

T Min= 17°C

T Med= (Tmax +Tmin)/2= (24+17)/2= 20.5°C

Radiación extraterrestre aproximadamente ver Anexo 4 Tabla irradiación solar (NASA) y Anexo 5 Radiación solar extraterrestre

$R_o = 14.59 \text{ MJ/m}^2/\text{día} = 14.59 [\text{MJ/m}^2/\text{día}] * 1/2.45 [(\text{mm/día}) / (\text{MJ/m}^2/\text{día})]$

$R_o = 5.955 \text{ mm/día}$

$$ET_0 = 0,0023 (t_{med} + 17,78) R_0 * (t_{max} - t_{min})^{0.5}$$

$$ET_0 = 0,0023 (20.5 + 17,78) 5,955 * (24 - 17)^{0.5}$$

$$ET_0 = 1.387 \text{ mm/día}$$

Requerimiento hídrico=600 a 800 mm/año

Se toma el promedio requerimiento hídrico =700mm/año*1año/365días

Req hidr=1.918mm/día

Área riego= 15m*9.5m

Área riego =142.5m²

Se toma la eficiencia de riego en un 90% teniendo en cuenta posibles fugas en las conexiones, y se usa la Ecuación 4 Cantidad neta de agua.

$$CNA = \frac{(ET_0 + \text{requerimiento hídrico}) * \text{area de riego}}{\text{eficiencia del riego}}$$

$$CNA = \frac{(0.001387 + 0.001918) * 142.5}{0.9}$$

$$CNA = 0.52044 \text{ m}^3 = 520.44 \text{ Lt}$$

Se toma que cada riego puede durar aproximadamente 2 horas, esto se debe a que el cultivo no requiere un riego constante para su producción.

$$CNA = 260.22 \text{ Lt/h}$$

Se

Figura.

Datos técnicos

| Presión (bar) | BOQUILLA - Caudal (l/h) | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 4L | 8L | 12L | 16L | 20L | 25L | 30L | 35L | 40L | 45L |
| 1.5 | 27 | 33 | 41 | 48 | 55 | 62 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| 2.0 | 31 | 40 | 48 | 57 | 66 | 75 | 85 | 97 | 110 | 125 |
| 2.5 | 35 | 45 | 54 | 63 | 73 | 83 | 95 | 110 | 125 | 145 |

Figura de Datos Técnicos RAINTEC suministrada por el fabricante

Fuente: (AZUD RAINTEC, 2018)

Modelo negro, bailarina de largo alcance
Diámetro de aspersion= 8m
Presión= 2 Bar=20.4mca
Mca =significa metros de columna de agua
Caudal=69 L/h

S

El número de boquillas es

c
a
l

$$\#boquilla = \frac{CNA}{Q_{boquilla}} = \frac{260.22}{69}$$

$$\#boquilla = 3.77 \approx 4$$

Por facilidades de la instalación se hacen 2 ramales para el riego, por lo tanto se obtiene

l
a

$$\#boquilla(ramal) = \frac{\#boquilla}{\#ramal} = \frac{4}{2}$$

$$\#boquilla(ramal) = 2$$

e

El caudal por cada ramal será de: ($Q_{ramal} = Q_{boquilla} * \#boquilla(ramal)$)

Ecuación 7 Caudal por ramal

n

$$Q_{ramal} = Q_{boquilla} * \#boquilla(ramal) = 69 * 2$$

$$Q_{ramal} = 138 \text{ l/h}$$

m
e

r

o

d

e

s

l

a

s

a

s

b

o

q

u

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1.79 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$$

$$H1 = 20.4 \text{ m}$$

$$Hb = H1 + Hp_1 + Hp_2 + Hp_3 + Hp_{ac} + \text{altura de montaje}$$

- Cálculo primer tramo: caudal es el que llega a la última boquilla (69 l/h)

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1.9175 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} (0.0127 \text{ m})^2} = 0.151 \text{ m/s}$$

$$RE = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{1000 (0.151) (0.0127)}{1.79 \times 10^{-3}} = 1071.34$$

Flujo laminar por lo tanto

$$f = \frac{64}{RE} = \frac{64}{1071.34} = 0.059$$

$$Hp_1 = \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 D^5} = \frac{8 * 0.059 * 7 * (1.9175 \times 10^{-5})^2}{9.81 * \pi^2 * 0.0127^5} = 0.038 \text{ m}$$

- Cálculo segundo tramo: el caudal es el del ramal

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{3.835 \times 10^{-5}}{\frac{\pi}{4} (0.0127)^2} = 0.302 \text{ m/s}$$

$$RE = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{1000 (0.302) (0.0127)}{1.79 \times 10^{-3}} = 2142.68$$

Flujo laminar por lo tanto

$$f = \frac{64}{RE} = \frac{64}{2142.68} = 0.029$$

$$Hp_2 = \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 D^5} = \frac{8 * 0.029 * 7 * (3.835 \times 10^{-5})^2}{9.81 * \pi^2 * 0.0127^5} = 0.074 \text{ m}$$

- Cálculo tercer tramo

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{7.67 \times 10^{-5}}{\frac{\pi}{4} (0.0127)^2} = 0.605 \text{ m/s}$$

$$RE = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{1000 (0.605) (0.0127)}{1.79 \times 10^{-3}} = 4292.46$$

Considerando flujo laminar, por lo tanto se tiene:

$$f = \frac{64}{RE} = \frac{64}{4232.46} = 0.015$$

$$H_{p_3} = \frac{8fLQ^2}{g\pi^2D^5} = \frac{8 * 0.015 * 7 * (7.67 \times 10^{-5})^2}{9.81 * \pi^2 * 0.0127^5} = 0.154m$$

Para las pérdidas de los accesorios se toma un valor total aproximada de un 5% por accesorio, y debido a que en el montaje se contarán aproximadamente con 10 accesorios (2T, 1Y, 5 codos, sistema de abono(es decir un tubo de Venturi) aparte de la tubería normal se tiene

$$H_{p_{acc}} = H_{salida} * \%perd * \#accesorios = 20 * 0.3 * 10 = 60$$

La altura a la que estarían los accesorios sería aproximadamente 1.5 metros como la planta no crece mayor a medio metro, por lo tanto H de altura de las boquillas = 1m para una aspersión amplia del agua

$$H_b = 20.4 + 0.038 + 0.074 + 0.154 + 60 + 1$$

$$H_b = 81.66 mca = 8.1Bar$$

La potencia de la bomba es:

$$Pot_{bomba}(Kw) = \frac{P(bar) * Q(\frac{l}{min})}{0.7 * 600} = \frac{8.1 * 4.6}{420}$$

$$Pot_{bomba} = 0,087kw = 87.72 w$$

Este dato es bajo ya que es una instalación de bajo caudal y baja presión, debido a que el cultivo no requiere una gran humedad, Se concluye que una bomba de 1/4 de caballo de fuerza es suficiente para satisfacer la demanda requerida por el cultivo; para mejor referencia se puede ingresar a la página web <https://www.grundfos.com/> permite hacer la selección de la bomba ya especificada.

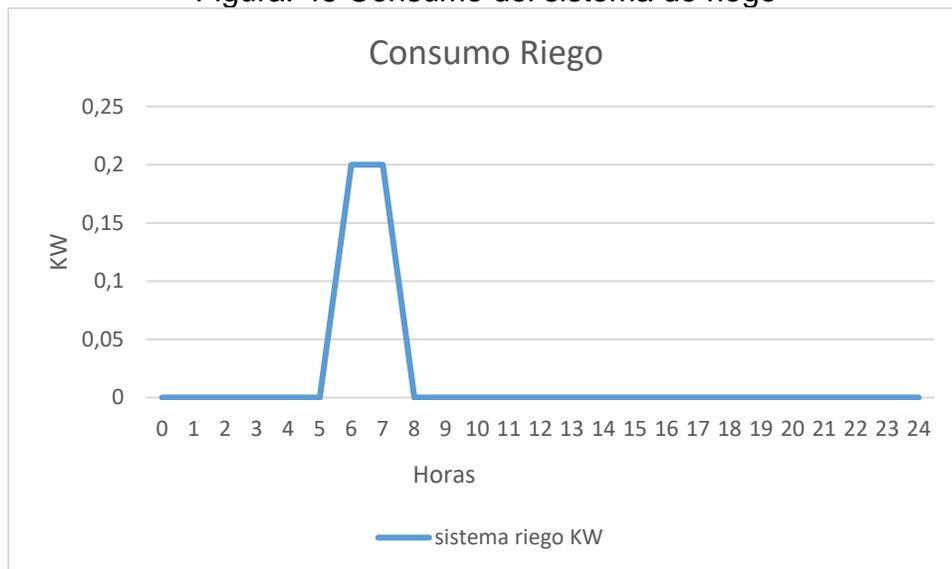
La bomba recomendada en este caso tiene referencia SCALA2 3-45 A – 98562862 y se observa en la Figura. 44 Bomba del riego también se muestra la gráfica de potencia respecto al caudal de la bomba, vista en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**; en la Figura. 45 se observa el consumo que tendrá la bomba en el transcurso del día.

Figura. 44 Bomba del riego



Fuente: (GRUNDFOS, 2018)

Figura. 45 Consumo del sistema de riego



Fuente: Autores

4.7. Cálculos de los paneles

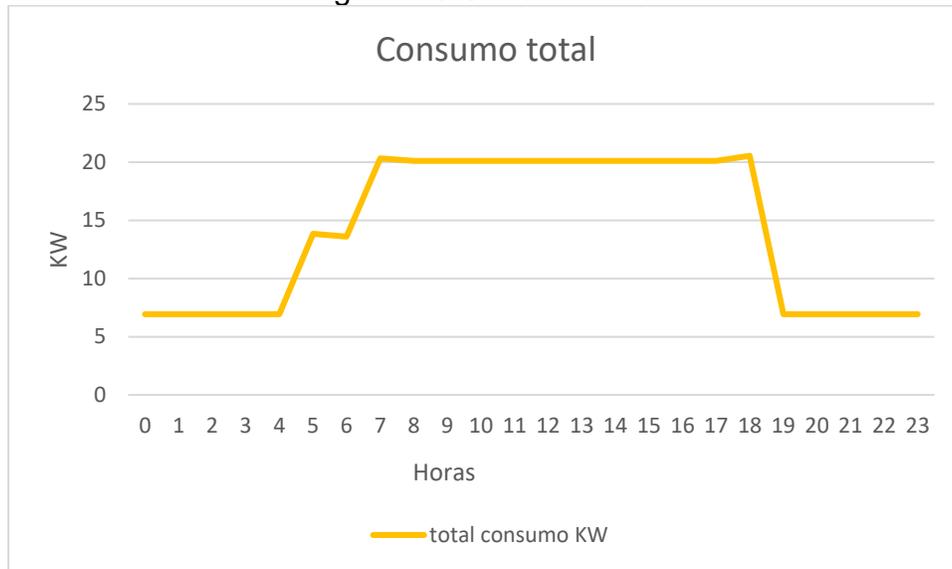
Al tener determinada toda la demanda energética que se requiere se puede proceder al cálculo de la cantidad de paneles solares que se instalarán para ello se tiene el cuadro de carga del invernadero:

Tabla 4 Cuadro de consumo general

| HORAS | SISTEMA RIEGO KW | SISTEMA DE LUMINARIA KW | SISTEMA DE REFRIGERACIÓN KW | TOTAL CONSUMO KW |
|-------|------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------|
| 0 | 0 | 0,432 | 6,5 | 6,932 |
| 1 | 0 | 0,432 | 6,5 | 6,932 |
| 2 | 0 | 0,432 | 6,5 | 6,932 |
| 3 | 0 | 0,432 | 6,5 | 6,932 |
| 4 | 0 | 0,432 | 6,5 | 6,932 |
| 5 | 0 | 7,344 | 6,5 | 13,844 |
| 6 | 0,2 | 6,912 | 6,5 | 13,612 |
| 7 | 0,2 | 6,912 | 13,2 | 20,312 |
| 8 | 0 | 6,912 | 13,2 | 20,112 |
| 9 | 0 | 6,912 | 13,2 | 20,112 |
| 10 | 0 | 6,912 | 13,2 | 20,112 |
| 11 | 0 | 6,912 | 13,2 | 20,112 |
| 12 | 0 | 6,912 | 13,2 | 20,112 |
| 13 | 0 | 6,912 | 13,2 | 20,112 |
| 14 | 0 | 6,912 | 13,2 | 20,112 |
| 15 | 0 | 6,912 | 13,2 | 20,112 |
| 16 | 0 | 6,912 | 13,2 | 20,112 |
| 17 | 0 | 6,912 | 13,2 | 20,112 |
| 18 | 0 | 7,344 | 13,2 | 20,544 |
| 19 | 0 | 0,432 | 6,5 | 6,932 |
| 20 | 0 | 0,432 | 6,5 | 6,932 |
| 21 | 0 | 0,432 | 6,5 | 6,932 |
| 22 | 0 | 0,432 | 6,5 | 6,932 |
| 23 | 0 | 0,432 | 6,5 | 6,932 |
| 24 | 0 | 0,432 | 6,5 | 6,932 |

Fuente: Autores

Figura. 46 Consumo total



Fuente: Autores

Al hacer el análisis de la gráfica se obtiene un promedio aproximado de consumo de 14.115KW-h durante el día, el cual da un consumo diario de 338.8 KW-h/día.

Se van a implementar el siguiente panel flexible:

Figura. 47 Panel solar flexible



Fuente: (ShenZhen MeiSongMao Industrial, 2017)

Tabla 5 Datos técnicos del panel flexible

| | |
|---|-------------------------|
| Número de modelo: | MSM-S300W |
| potencia máxima-Wp (W): | 300W±0.25W |
| Voltaje de funcionamiento óptimo-Vmp (V): | 24V±0.3V |
| Corriente de funcionamiento óptima-Imp (A): | 12.5A±0.15 ^a |
| Voltaje de circuito abierto-Voc (V): | 28V±0.8V |
| Corto Circuito actual-Isc (A): | 13A±0.15 ^a |
| Número (pcs): | 96pcs |
| Tamaño del módulo (mm): | 1559*1046*4.6mm |
| La eficiencia de la célula (%): | 20%-24% |
| peso(kg): | 3.5kg |
| Temperatura de funcionamiento (°C): | -40°C to +85°C |
| Tolerancia de la energía (%): | ±5% |
| Junction Tipo de caja: | IP65 o IP67 puntuación |

Fuente: (ShenZhen MeiSongMao Industrial, 2017)

Se utiliza la

$E_{panel} = I_{panel} * V_{panel} * HSP * 0,9$ [Whd] Ecuación 17 Energía de un panel teniendo en cuenta los datos del panel a instalar y la hora pico de sol tomadas de la

Figura. 17.

$$E_{panel} = 12.5 A * 24 V * 4 * 0,2 [Whd]$$

$$E_{panel} = 240 [Whd] = 20 Wh$$

El número de paneles aproximado según la geometría del espacio disponible, se toma dividiendo el área del techo del invernadero entre el área del panel, el área del techo se halla tomando la longitud del invernadero por la longitud del arco del techo la cual es igual al radio por el Ángulo en radianes (ver medidas en la Figura. 25)

$$\#panel = \frac{area\ techo}{area\ panel} = \frac{15m * \left(\frac{68\pi}{180} * 8,8\right)}{1,559m * 1,046m} = 96,06 \approx 96$$

$$E_{generada} = I_{panel} * V_{panel} * HSP * 0,9 * \#Paneles [Whd]$$

$$E_{generada} = 12.5 A * 24V * 4 * 0,2 * 96 [Whd]$$

$$E_{generada} = 23040 [Whd]$$

Para el cálculo de los paneles teniendo en cuenta la potencia a suplir se halla tomando la energía requerida sobre la energía que suministra el panel

$$\#panel = \frac{E\ requ}{E\ panel} = \frac{14.115}{0.2} = 71 \approx 71$$

Mirando el ancho del techo y dividiéndola en el ancho del panel, se obtiene el número de paneles que se pueden instalar en esta dirección, de igual manera se hace para el número de paneles que se pueden instalar a lo largo del techo

$$\#panel\ ancho = \frac{ancho\ techo}{ancho\ panel} = \frac{\left(\frac{68\pi}{180} * 8,8\right)}{1,049m} = 9.95 \approx 10$$

$$\#panel\ largo = \frac{largo\ techo}{largo\ panel} = \frac{15m}{1.559} = 9.62 \approx 10$$

Por motivo que hay equipos que funcionan con corriente alterna, se hace necesario hacer la selección de un inversor el cual posea la capacidad necesaria de suplir la carga como lo es el aire acondicionado, algunas luminarias, entre otros.

Al tomar el consumo máximo que tendrá el invernadero (verTabla 4) se necesita una potencia aproximada de 21 KW, por lo que se toma un inversor de Sunny TriPower Core 1 el cual tiene una potencia máxima de 50 KW

Figura. 48 Inversor de corriente



Fuente: (EXEL SOLAR, 2018)

Tabla 6 Datos técnicos del inversor

| Technical data* | Sunny Tripower CORE1 (US) |
|--|--------------------------------|
| Input (DC) | |
| Max. usable DC power (@ cos φ = 1) | 51000 W |
| DC Voltage (max) | 1000 V |
| Rated MPPT voltage range | 500 V... 800 V |
| MPPT operating voltage range | 150 V... 1000 V |
| Min. DC voltage / start voltage | 150 V / 188 V |
| Number of independent MPP trackers / strings per MPP input | 6 / 2 |
| Max. operating input current / per MPP tracker | 120 A / 20 A |
| Max. short circuit current per MPPT / string input | 30 A / 30 A |
| Output (AC) | |
| AC nominal power | 50000 W |
| Max. AC apparent power | 53000 VA |
| Output phases / line connections | 3 / 3-N-PE |
| Nominal AC voltage | 480 V / 277 V WYE |
| AC voltage range | 244 V... 305 V |
| Rated AC grid frequency | 60 Hz |
| AC grid frequency / range | 50 Hz, 60 Hz / -6 Hz... +5Hz |
| Max. output current | 64 A |
| Power factor at rated power / adjustable displacement | 1 / 0.0 leading... 0.0 lagging |
| Harmonics THD | <3% |
| Efficiency | |
| Max. efficiency / CEC efficiency / European efficiency | >98% / >98% / >98% |

Fuente:(SMA, 2016)

Para el cálculo final del arreglo de los paneles, se tiene en cuenta el voltaje y el amperaje máximo de entrada que tiene el inversor. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \#Max \text{ paneles serie} &= \frac{V_{inv-max}}{V_{panel}} = \frac{800v}{24v} = 33.33 \approx 34 \\ \#Min \text{ paneles serie} &= \frac{V_{inv-min}}{V_{panel}} + 1 = \frac{150v}{24v} + 1 = 7.25 \approx 8 \\ \#ramas \text{ en paralelo} &= \frac{I_{inv-mzx}}{I_{panel}} = \frac{30v}{12.5v} = 2.4 \approx 2 \end{aligned}$$

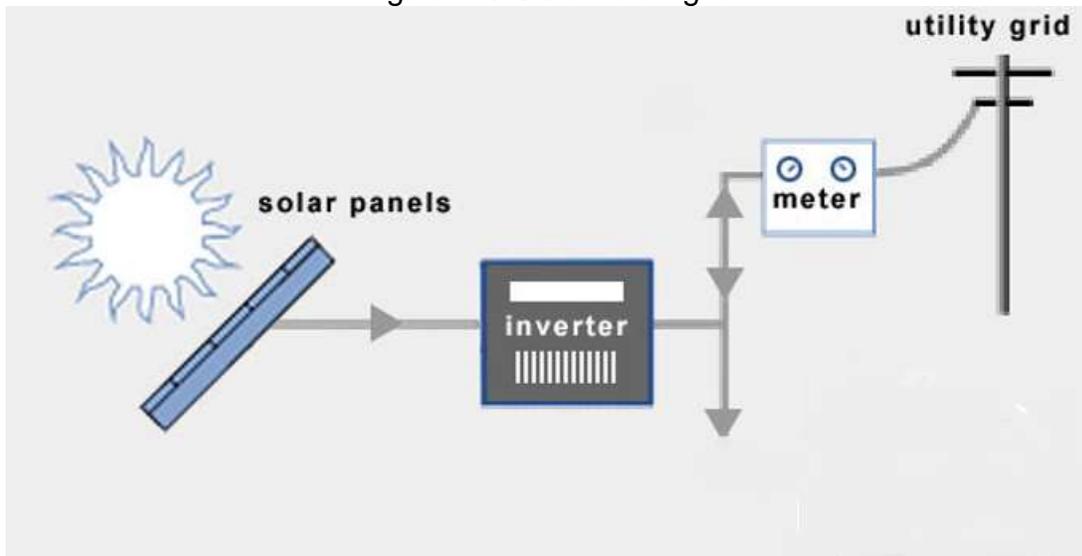
Con estos datos se hace el arreglo de los paneles en el techo para conseguir la mayor eficiencia posible y tomando el espacio donde se van a instalar el Sistema fotovoltaico se realiza la conexión mixta para aumentar la eficiencia de la instalación la cual se calcula con la Ecuación 19 Potencia generada por arreglo de paneles

Se toman 10 paneles por ramal en serie y 2 ramales paralelo, como el inversor tiene 6 entradas, se multiplica por 6 y se halla la energía total del sistema

$$\begin{aligned}
 I_{gen} &= I_{panel} * \# \text{ ramas en paralelo} \\
 I_{gen} &= 12.5 * 2 = 25 \text{ A} \\
 V_{gen} &= V_{panel} * \# \text{ paneles en el ramal} \\
 V_{gen} &= 24 * 10 = 240 \text{ v} \\
 E_{gen_{ftv}} &= 25 \cdot 240 \cdot 4 \cdot 0,2 * 5 = 24000 \text{ Wh} = 24 \text{ KWh}
 \end{aligned}$$

Debido a la alta potencia que se requerirá para suplir toda la demanda energética y que el sistema fotovoltaico puede que no satisfaga toda la demanda durante el día, y el invernadero seguirá consumiendo energía durante la noche, es viable ver la opción de implementar el sistema on-grid o un sistema híbrido; el sistema on-grid, consiste en la conexión del sistema fotovoltaico y la red de energía comercial, esta conexión requiere de un inversor de corriente continua a corriente alterna, y un contador de potencia como se puede observar en la Figura. 49 (Maehlum, 2013). Cabe aclarar que se debe tener un inversor con salida más alta a la de la red para que el flujo de corriente tenga dirección hacia la red.

Figura. 49 Sistema on-grid



Fuente: (Aarre Maehlum, 2013)

4.8. Presupuesto de las cargas del sistema de implementación.

Luminarias led = $\$1.563.520 \times 32 \text{ luminarias} = \$50.032.640$

Aire acondicionado = $\$36.097.070 \times 2 \text{ aires} = \$72.194.140$

Bomba de agua = $\$3.228.533$

Aspersor de agua y accesorios = $\$431.000$

Panel solar = $2.312.000 \times 96 = \$221.952.000$

Inversor = $\$16.608.910$

Caja de distribución con protecciones = $\$276.550$

Total, costo de cargas = $\$364.724.373$.

4.9. Desarrollo del prototipo

El prototipo se realizó de 50x75cm, revisando lo que se instaló, se calculó y escogió el tipo de panel ideal para el funcionamiento del prototipo.

Paso 1

Se compraron los materiales para la construcción según los requerimientos estipulados para el prototipo, luces led (12V-1.2A), bomba sumergible (12V-0,4A), aire acondicionado (12V-5,6A), base para la estructura, un regulador de (12V/24V-10A), aspersores tipo fijos, manguera de aspersión, pintura, acrílico, remaches y tornillos. Recopilando la información y calculando la carga se escoge el tipo de panel.

4.9.1. Cálculo de carga

Luces LED ultravioleta = 10 W

Bomba agua = 4,8 W

Consumo de refrigeración = 90 W

Total consumo = 105 W

- Tomando la
-
-
- $E_{panel} = I_{panel} * V_{panel} * HSP * 0,9 [Whd]$ Ecuación 17 Energía de un panel se calcula la potencia del panel

$$E_{panel} = 12.5 A * 24 V * 4 * 0,2 [Whd]$$

$$E_{panel} = 240 [Whd] = 20 Wh$$

Los paneles teniendo en cuenta la potencia a suplir se halla tomando la energía requerida sobre la energía que suministra el panel

$$\#panel = \frac{E_{requ}}{E_{panel}} = \frac{104}{100} = 1,2 \approx 2$$

Aproximando los datos se necesitarían dos(2) paneles, tomando en cuenta que no se trabajó con plena carga, solo se trabajó con un solo panel para el prototipo; la ficha técnica del panel se muestra en el Anexo 8 Datos técnicos de panel

Figura. 50 Panel solar flexible



Fuente: (ShenZhen MeiSongMao Industrial, 2017)

Paso 2

Se armó la estructura con perfiles de aluminio, teniendo la estructura armada se dispuso a lijar la base y a ubicar la estructura según se vaya a dejar, en definitiva

Figura. 51 Estructura armada



(a)



(b)



(c)

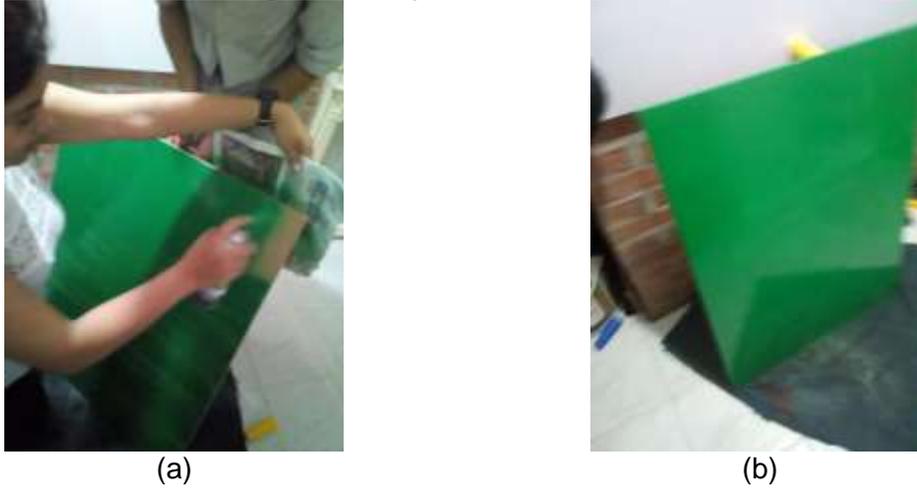


(d)

Paso 3

Se toma la base lijada y se impermeabiliza con sellante y se pinta para que al momento de implementar el sistema de riego no afecte la base del prototipo.

Figura. 52 Impermeabilización base



Paso 4

Teniendo la base lista, se fijo la estructura en la base y se dispuso a colocarse un acrilico en las paredes de la estructura, despues se instalo los elementos para la funcionalidad del prototipo, ya teniendo listo el acrilico de la estructura se dispuso a colocar la luminaria ultravioleta led.

Figura. 53 Instalación luminaria



Paso 5

En el proceso se instaló una bomba sumergible mostrando buen funcionamiento, la bomba al dia siguiente de probarla demostró dificultades y dejo de funcionar, realizando la revision de la bomba, se encontró que de alguna manera el mecanismo interno se bloqueó, una de las hipótesis que se sacó es que se pudo filtrar el agua y esté quemó o bloqueó la bomba, no habiendo mas se buscó una bomba de 12

voltios de una grabadora y se modificó para que sirviera como tipo sumergible, se reutilizaron los álabes de la bomba dañada para que funcionara en la alimentación de aspercion, ya teniendo eso listo se instaló una puerta de aquilico para que al momento de ubicar el aire el prototipo pueda enfriarse.

Figura. 54 Adecuación del sistema de riego



(a)



(b)

Paso 6

Para el aire acondicionado, se modificaron unos sistemas de refrigeración de una CPU y se adaptaron unas celdas de peltier a los aires, para que se comportara como un aire acondicionado y así poder enfriar el ambiente del prototipo.

Se instaló el plástico en la parte superior de la estructura para que el aire acondicionado pudiera cumplir con su función de enfriar el área ya devidamente sellada.

Figura. 55 Adecuación aire acondicionado



(a)



(b)

Paso 7

Para que todo quedara en orden se armaron unas cajas las cuales llevan la batería, el regulador y un pequeño control para prender y apagar la carga del prototipo.

Figura. 56 Organización componentes



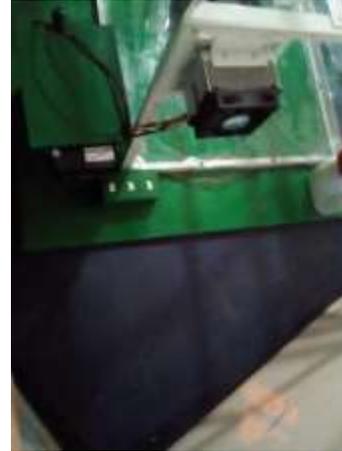
(a)



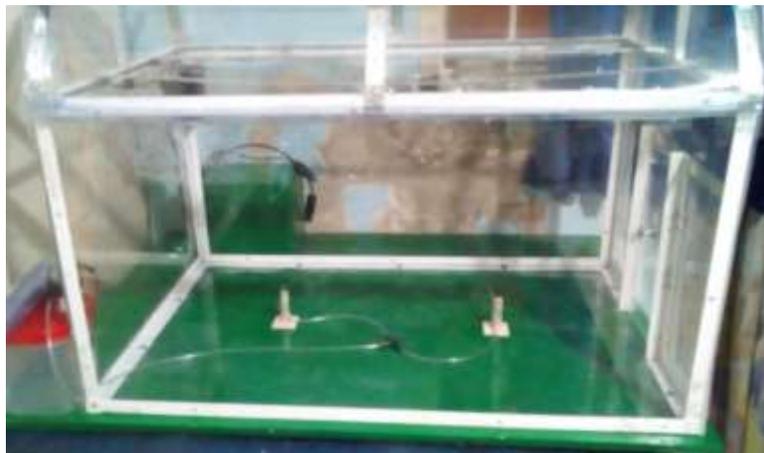
(b)



(c)



(d)



(e)

Paso 8

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Teniendo en cuenta los cálculos de carga se escogió el panel para que cumpliera con la alimentación de la carga eléctrica y así finalizando con la construcción del prototipo.



(f)

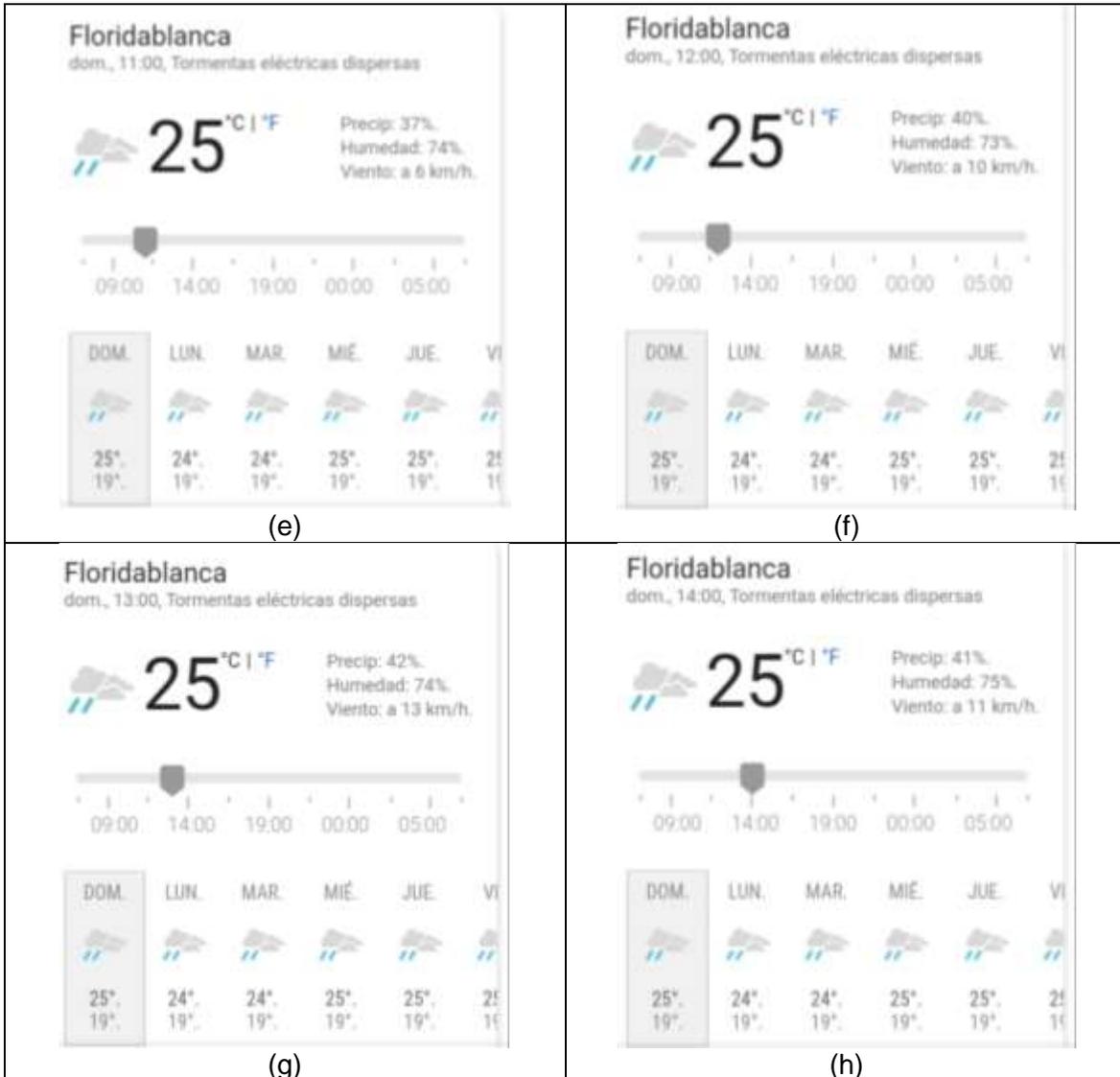
Ya instalado el panel y sus cargas, se realizaron pruebas de funcionamiento las cuales se anexan a continuación.

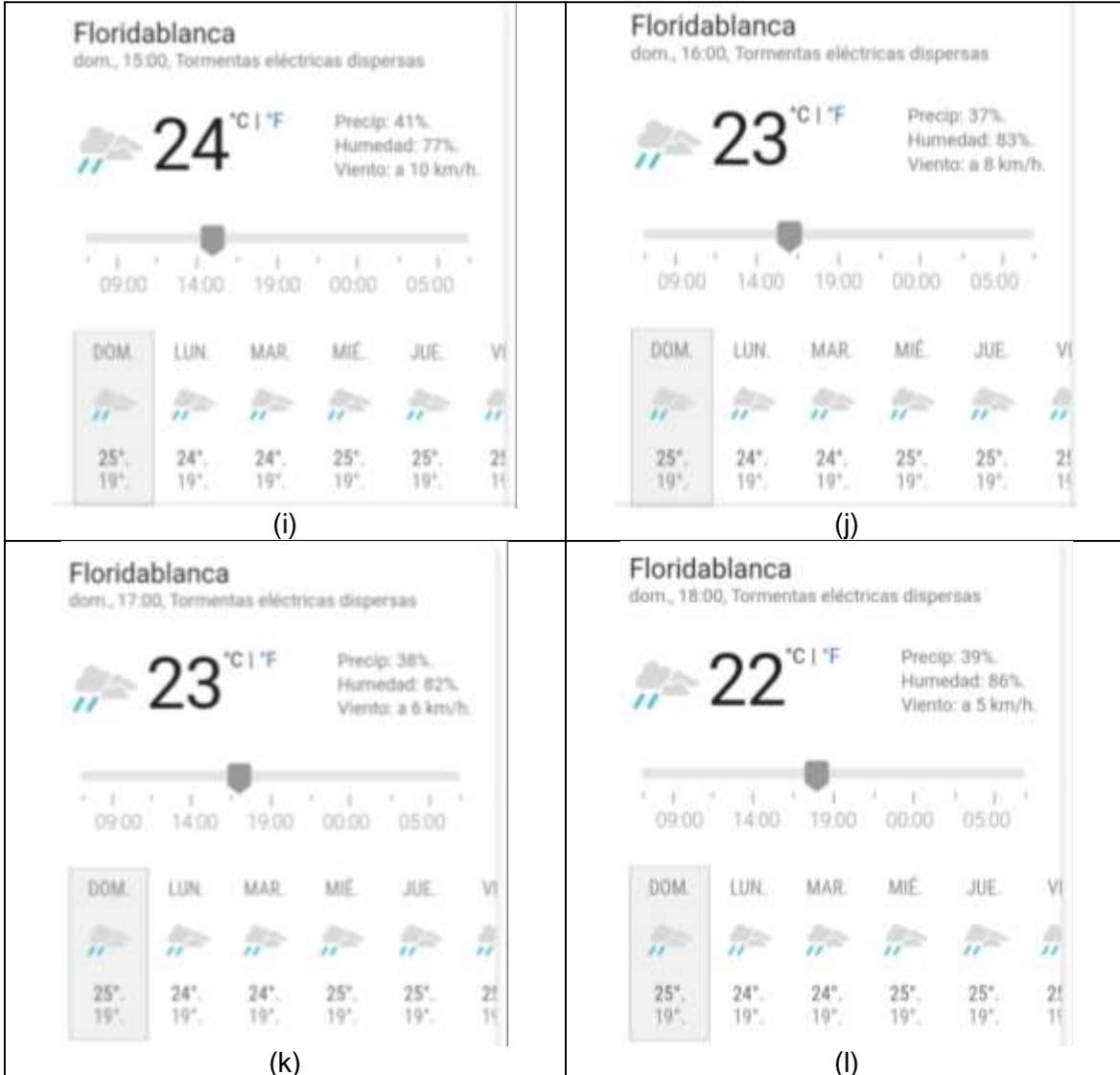
Pruebas del prototipo

Se realizaron las pruebas el día 21 de octubre, a continuación se observa el pronóstico climático de todo el día.

Figura. 57 Pronóstico clima 21 de octubre







Realizando las pruebas, se tomaron medidas de corriente y voltaje cada 15 minutos, desde las 7 de la mañana hasta las 5 de la tarde.

Tabla 7 Medidas pruebas prototipo

| HORA DEL DÍA | CORRIENTE | VOLTAJE | % BATERÍA |
|--------------|-----------|---------|-----------|
| 07:15 | 0,17 | 11,85 | 0% |
| 07:45 | 0,24 | 12,00 | 5% |
| 08:00 | 0,80 | 12,20 | 20% |
| 08:15 | 0,73 | 12,40 | 22% |
| 08:30 | 0,81 | 12,70 | 22% |
| 08:45 | 0,76 | 12,50 | 35% |
| 09:00 | 1,30 | 12,80 | 40% |
| 09:15 | 1,35 | 13,00 | 50% |
| 09:30 | 1,78 | 13,40 | 67% |
| 09:45 | 1,82 | 13,50 | 72% |
| 10:00 | 2,27 | 14,00 | 100% |
| 10:15 | 3,02 | 14,50 | 100% |
| 10:30 | 0,00 | 12,00 | 100% |
| 10:45 | -2,50 | 12,00 | 80% |
| 11:00 | -2,87 | 10,60 | 60% |
| 11:15 | 0,00 | 14,10 | 40% |
| 11:30 | 6,33 | 11,90 | 30% |
| 11:45 | 6,22 | 11,70 | 10% |
| 12:00 | 5,96 | 11,30 | 0% |
| 12:15 | 1,06 | 12,10 | 5% |
| 12:30 | 1,10 | 12,20 | 7% |
| 12:45 | 0,92 | 12,30 | 10% |
| 13:00 | 1,83 | 12,20 | 17% |
| 13:15 | 1,25 | 12,20 | 20% |
| 13:30 | 1,58 | 12,80 | 22% |
| 13:45 | 1,48 | 12,50 | 42% |
| 14:00 | 2,03 | 13,10 | 52% |
| 14:15 | 2,72 | 13,20 | 60% |
| 14:30 | 1,40 | 13,00 | 70% |
| 14:45 | 2,72 | 13,70 | 79% |

| HORA DEL DÍA | CORRIENTE | VOLTAJE | % BATERÍA |
|--------------|-----------|---------|-----------|
| 15:00 | 2,72 | 13,80 | 80% |
| 15:15 | 2,42 | 13,70 | 85% |
| 15:30 | 2,77 | 13,80 | 87% |
| 15:45 | 2,04 | 13,80 | 90% |
| 16:00 | 1,55 | 13,70 | 92% |
| 16:15 | 1,18 | 13,60 | 95% |
| 16:30 | 0,72 | 13,40 | 97% |
| 16:45 | 0,28 | 13,10 | 100% |
| 17:00 | 0,15 | 13,00 | 100% |
| 17:15 | 0,00 | 12,00 | 100% |

Fuente: Autores

Con la batería descargada, se iniciaron las pruebas realizando la medida de corriente y voltaje para revisar la capacidad de carga del panel con respecto a la irradiación del día. En las dos primeras horas del día la batería se cargó en un aproximado de 2 horas entrándole un aproximado de 4 (A) amperios por hora. Después de tener la batería totalmente cargada se puso en funcionamiento toda la carga eléctrica del prototipo y demoró en descargarse un aproximadamente una hora a su máxima capacidad.

A continuación, se apagaron todos los elementos eléctricos y se procedió con la carga de la batería, y se puede observar que la carga de la batería fue más lenta que en las horas de la mañana debido a que la irradiación solar es más bajas en horas de la tarde.

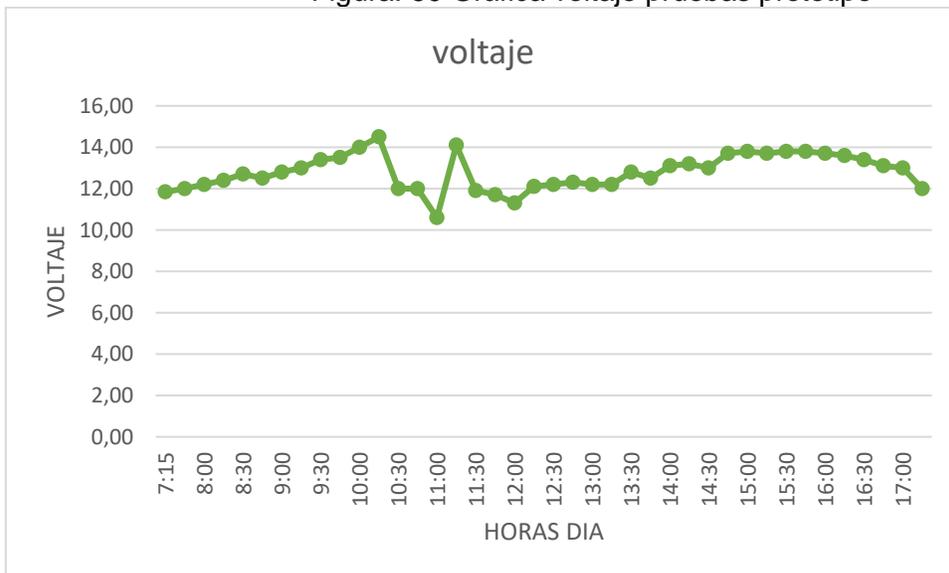
A continuación, se representó en gráficas la relación de la carga de la batería.

Figura. 58 Gráfica corriente pruebas prototipo



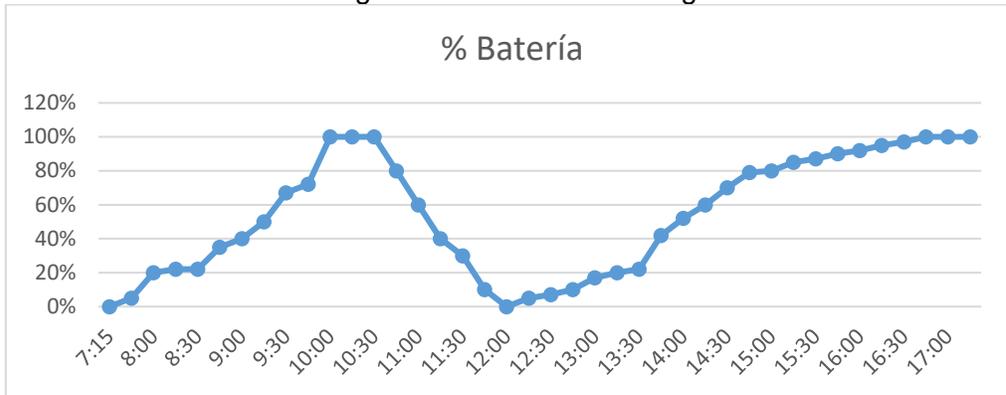
Fuente: Autores

Figura. 59 Gráfica voltaje pruebas prototipo



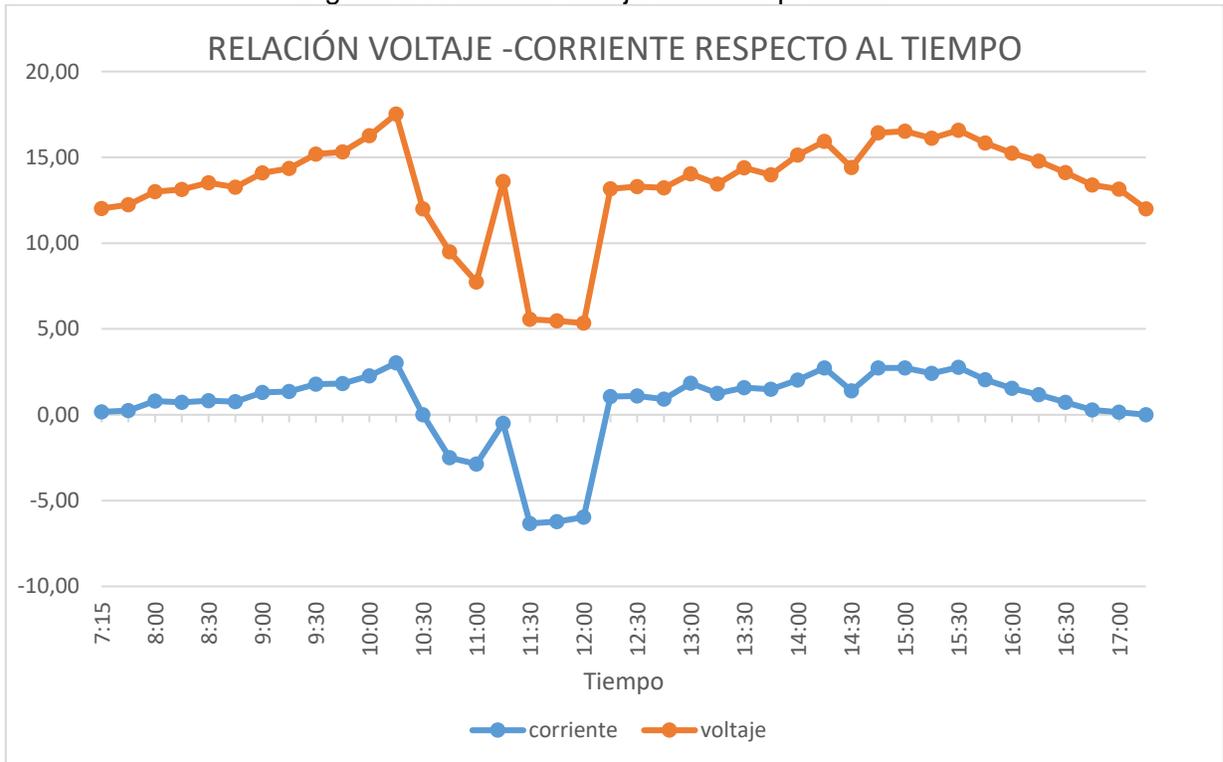
Fuente: Autores

Figura. 60 Variación de carga de batería



Fuente: Autores

Figura. 61 Relación voltaje-corriente pruebas



Fuente: Autores

5. CONCLUSIONES

- Para las cargas del invernadero, se tomó en cuenta que en el terreno donde se podría hacer la posible implementación del proyecto tenía unas condiciones viables para el cultivo, y al ser un invernadero tiende a aumentar aproximadamente 5° a 7°C en comparación a la temperatura exterior debido a esto se realizaron cálculos de aire acondicionado y así poder generar un clima ideal para el cultivo.
- En la iluminación se encontró que no era necesario calcular ni conseguir las lámparas tradicionales de luz ultravioleta para ayudar el crecimiento de las plantas, se podían sustituir por lámparas o focos led así llevando a una reducción de carga; este tipo de lampara se encuentra de luz roja, azul o mixta es decir tiene ambos colores, supliendo los luxes que requiere las plantas para desarrollarse.
- Para este tipo de proyecto se pudo concluir que esta implementación de energía fotovoltaica se puede realizar con cualquier tipo de cultivo que requiera de un clima extremo; ya que las tecnologías van avanzando, mejorando la producción de alimentos que debido a los climas extremos es poca su producción.
- Las tecnologías que hay actualmente en el mercado no harían viable la implementación del sistema, debido a que puede llegar a ser costoso, un ejemplo clave para este proyecto es que los paneles solares flexible o semi flexibles de 100 w son más costosos teniendo un valor de 450.mil pesos a comparación de uno rígido que tiene un valor de 120 mil teniendo la misma capacidad de generación de potencia.
- Con la construcción del prototipo se logró simular algunos aspectos del funcionamiento del invernadero, como la radiación solar en la zona de estudio y el trabajo del panel. Con los datos arrojados de estas pruebas se puede concluir que la propuesta desarrollada en este proyecto es viable desde el punto de vista técnico, pues permite recrear las condiciones climatológicas que la mayoría de cultivos necesitan para su producción. Viabilidad económica no fue tomada en cuenta en este trabajo y se propone para trabajos futuros.
- El tipo de riego para este tipo de cultivo es por aspersión, se puede utilizar tipo fija o bailarina, con este tipo de riego, solo es necesario encender el sistema de riego una a dos horas en el día ya que la papa criolla no depende que la tierra sea húmeda.
- En los aires acondicionados se pensó en un diseño que fuera semi hermético para que el clima fuera estable dentro del invernadero y las pérdidas de frío fueran mínimas, a futuro se puede implementar un sistema controlado por sensores.

6. RECOMENDACIONES

- Para este proyecto al utilizar el dialux se encontró que el catálogo de luminarias es escaso, ya que lo enfatizan a las áreas comerciales e industriales lo que se recomienda con este programa es revisar más afondo la posibilidad de implementarle más catálogos o información que se enfoque en áreas agrícolas.
- Tener muy en cuenta la dirección correcta para posicionar los paneles solares es esencial, en este caso se es recomendable que los paneles se posicionen mirando hacia la línea del ecuador, debido a que es más la intensidad solar que se consigue en el área y por lo tanto se aprovecha la irradiación solar
- En caso que la persona o entidad comercial quiera realizar esta implementación, se le sugiere si lo desea que, al momento de realizar la construcción y funcionamiento del aire acondicionado, se pueda instalar un sistema automatizado con sensores los cuales ayudarían llevar un mejor control eficiente del clima para cualquier tipo de cultivo que lo requiera.
- En cuanto a lo económico se sugiere esperar a que las tecnologías que hay actuales sean más económicas, la implementación de este proyecto, como ya se había mencionado en las conclusiones, los paneles flexibles son más costosos que uno convencional rígido, debido al material en el que están construidas se estima que en unos pocos años esta tecnología sea más asequible al público o entidades pertinentes.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarre Maehlum, M. (2013). Grid-Tied, Off-Grid and Hybrid Solar Systems - Energy Informative. Retrieved January 24, 2019, from <http://energyinformative.org/grid-tied-off-grid-and-hybrid-solar-systems/>
- ADIGRA. (2007). *Ecuaciones para bombas y motores*. Retrieved from <http://www.adigra.com.ar/Formulas.pdf>
- Aerosolar México. (2016). Sistemas Autónomos de Paneles Solares. Retrieved December 10, 2017, from <http://www.aerosolarmexico.com/productos-aerosolar-mexico/sistemas-de-paneles-solares/sistemas-autonomos-de-paneles-solares/>
- AZUD RAINTEC. (2018). *La perfección existe*. Murcia. Retrieved from www.azud.com
- Belmonte, S., Franco, J., Núñez, V., & Viramonte, J. (2013). Las energías renovables como oportunidad y desafío para el desarrollo territorial. *AUGMDOMUS*, 5, 22. Retrieved from <http://congresos.unlp.edu.ar/index.php/CCMA/7CCMA/paper/view/890>
- Beltrán Soto, J. M. (2017). *Metodología de diseño para instalaciones solares residenciales en la ciudad de Medellín*. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/58668/1/1037605169.2017.pdf>
- Calefacción solar. (2014). 5 Ventajas y desventajas de las energías alternativas. Retrieved December 10, 2017, from <http://calefaccion-solar.com/5-ventajas-y-desventajas-de-las-energias-alternativas.html>
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). Manual: La papa. *Programa de Apoyo Agrícola y Agroindustrial*, 54.
- Castilla Cabanes, N., Blanca Giménez, V., Martínez Antón, A., & Pastor Villa, R. M. (1995). *Luminotecnia: Cálculo según el método de los lúmenes*. Valencia. Retrieved from https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12833/articulo_docente_Cálculo_método_de_los_lúmenes.pdf
- Corrado, G. (2012). Cálculo para aire acondicionado y su instalación. Retrieved January 23, 2019, from <http://www.climatizacion.ws/aires-acondicionados/calculo-para-aire-acondicionado/>
- Craig, B. (2018). El impacto ambiental de los paneles solares | Geniolandia. Retrieved January 21, 2019, from <https://www.geniolandia.com/13128252/el-impacto-ambiental-de-los-paneles-solares>
- Dial. (2018). Dialux. Lüdenscheid. Retrieved from <https://www.dial.de/en/dialux-desktop/download/>
- Elaireacondicionado.com. (2016). Calcular frigorías aire acondicionado. Retrieved January 23, 2019, from <https://www.elaireacondicionado.com/calcular-frigorias-aire-acondicionado>
- EXEL SOLAR. (2018). *Catálogo 2018-1019*. México. Retrieved from www.exelsolar.com/alta
- FORECA. (2018). Tiempo en Loma Mesa de Ruitoque. Retrieved from <https://www.foreca.es/Colombia/Departamento-de-Santander/Loma--Mesa-->

de--Ruitoque

- Frolova, M., & Pérez Pérez, B. (2008). El desarrollo de las energías renovables y el paisaje: algunas bases para la implementación de la convención europea del paisaje en la política energética española. *Cuadernos Geográficos de La Universidad de Granada.*, 43, 289–309. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/171/17104314/>
- FUJITSU. (2017). ACY 200-250 LHTA. Retrieved from <https://www.disfrutaelfujitsu.com/gama-comercial/serie-lhta-alta-capacidad/>
- Fylladitakis, E. (2015). *Impactos ambientales de los sistemas fotovoltaicos*. Reino Unido. Retrieved from http://www.labri.fr/perso/billaud/Helios2/resources/es15/Chapter_15_ES.pdf
- Gómez, M. (2008). *La papa, su comercialización y el caso especial frente a la comunidad de Pasquilla*. Escuela superior de administración pública especialización en gerencia social. Retrieved from [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos PDF/a6890 - la papa, su comercialización y el caso especial frente a la comunidad de pasquilla \(pag 48 - 1.427 kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos PDF/a6890 - la papa, su comercialización y el caso especial frente a la comunidad de pasquilla (pag 48 - 1.427 kb).pdf)
- Gómez Susa, A. B. (2014). *Análisis de la cadena productiva de la papa criolla en Colombia*. Universidad de la Salle. Retrieved from <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/3809/T12.14 G633a.pdf?sequence=3>
- Google. (n.d.). Mapa de vereda Mesa de Ruitoque, Floridablanca, Santander.
- GRUNDFOS. (2018). SCALA2 3-45 A 98562862. Retrieved January 24, 2019, from <https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?custid=GMA&productnumber=98562862&qcid=465400429>
- Herasme, E. (2013). ¿Que es un Invernadero? | Invernaderos. Retrieved January 22, 2019, from <http://invernaderord.blogspot.com/2013/07/que-es-un-invernadero.html>
- Hortelana. (2010). INTRODUCCION. Retrieved January 22, 2019, from <http://www.hortelana.com/dientedesierra.html>
- IDEAM. (2017). Atlas Interactivo - Radiación IDEAM. Retrieved January 21, 2019, from <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Iglesias, N. (2006, September). Producción de hortalizas bajo cubierta. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, 1–89. Retrieved from http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_produccion-de-hortalizas-bajo-cubierta_2006.pdf
- Instituto de Desarrollo Agropecuario, & Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (2017). Manual de cultivo del tomate bajo invernadero, 112. Retrieved from <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/12 Manual de Tomate Invernadero.pdf>
- Klein, A. (2016). First farm to grow veg in a desert using only sun and seawater. Retrieved December 10, 2017, from <https://www.newscientist.com/article/2108296-first-farm-to-grow-veg-in-a->

- desert-using-only-sun-and-seawater/
- Ligarreto, G. A., & Suárez C., M. N. (2003). Evaluación del potencial de los recursos genéticos de papa criolla (*solanum phureja*) por calidad industrial. *Agronomía Colombiana*, 21(2), 83–94. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/21407/1/17781-56961-1-PB.pdf>
- Lorenzo, P. (2012). El cultivo en invernadero y su relación con el clima. *Cuadernos De Estudios Agroalimentarios*, 23–44.
- LUMILIGHT. (2017). *LED GROW LIGHT SOLUTIONS*. Valencia. Retrieved from <https://lumilightgrow.com/wp-content/uploads/2017/08/CATALOGO-LUMILIGHT-LED-GROW.pdf>
- MPPT- Solar. (2018). Orientación e inclinación de los Paneles Solares Fotovoltaicos. Retrieved January 23, 2019, from <https://www.mpptsolar.com/es/orientacion-inclinacion-paneles-solares.html>
- NASA. (2018). Power data access viewer. Retrieved from <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Pérez García, M., & Sánchez Molina, J. A. (2012). Energías renovables en los invernaderos. *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios*, 181–210. Retrieved from <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/publicaciones-periodicas/cuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea/3/3-532.pdf>
- Ponce Victoria, F. (2006). *Manual para ensayo de pérdidas de energía en accesorios de tubería del laboratorio de hidráulica*. Guatemala. Retrieved from http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2668_C.pdf
- Ramírez-Medina, L. (2011). Contribución a la educación energética territorial desde el complejo expositivo sobre fuentes renovables de energía del museo de historia natural “Tranquilino Sandalio de Noda” de Pinar del río. *Avances*, 13(1), 8. Retrieved from <http://www.ciget.pinar.cu/Revista/No.2011-1/Art%EDculos/Energ%EDa.pdf>
- Ramírez, L. N., & Rozo R, D. (2012). Diseño de la gestión logística para la cadena productiva de la papa criolla en el municipio de El Rosal Cundinamarca. Caso proveedores de insumos. *Gestión & Sociedad*, 5(1), 133–145.
- Reynoso, V. (2015). Cómo Cultivar Papa Orgánica en Casa - Vía Orgánica. Retrieved December 10, 2017, from <http://viaorganica.org/papa-como-producirla-en-mi-huerto/>
- Rufepa. (2016). Invernadero tipo parral o almeria. Retrieved from <http://www.rufepa.com/invernadero/familia-productos/1/invernaderos/1/invernaderos-de-plastico/81/invernadero-tipo-parral-o-almeria.html>
- Sánchez San Román, J. (2006). *Cálculo de la Evapotranspiración Potencial mediante la fórmula de Hargreaves*. Retrieved from <http://hidrologia.usal.xn--espg-7na.1>
- Serviestructuras. (2016). Serviestructuras | Productos y Servicios. Retrieved January 22, 2019, from <https://www.serviestructuras.com/productos-servicios>
- ShenZhen MeiSongMao Industrial. (2017). 100w Flexible solar panel-Flexible Solar

- Panel-ShenZhen MeiSongMao Industrial Co.,LTD. Retrieved January 24, 2019, from <http://meisongmao.com/content/?264.html>
- SIPSA, DANE, & MinAgricultura. (2013, September). El cultivo de la papa, *Solanum tuberosum*: Alimento de gran valor nutritivo, clave en la seguridad alimentaria mundial. *Boletín Mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA*, 1–92. Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_sep_2013.pdf
- SMA. (2016). *SUNNY TRIPOWER CORE1*. Retrieved from www.SMA-Solar.com.
- SUNFIELDS. (2016). Cómo dimensionar y calcular paneles solares necesarios. Retrieved January 23, 2019, from <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/calcular-paneles-solares-necesarios/>
- Superintendencia de Electricidad. (2007). Tabla-homologada-de-consumos-de-energia-y-potencia. República Dominicana. Retrieved from http://www.academia.edu/22885690/TABLA_DE_CONSUMO_ELECTRICO
- ULMA. (2015). Invernadero túnel - Economía y rentabilidad. Retrieved January 22, 2019, from <https://www.ulmaagricola.com/es/invernaderos/tunel/>
- Uninorte, & Alianza El Heraldo. (2016, March 20). Crisis energética en Colombia es por falta de planeación. *El Heraldo*, pp. 3–5. Retrieved from <https://www.elheraldo.co/economia/crisis-energetica-en-colombia-es-por-falta-de-planeacion-249806>

8. ANEXOS

Anexo 1 Clima zona Ruitoque



Fuente. (FORECA, 2018)

Anexo 2 Consumo eléctrico de aires acondicionados

| No. | EQUIPOS | POTENCIA NOMINAL (KW) | HRS USO/DIA | DIAS USO/MES | FACTOR DE OPERACION | MENSUAL ENERGIA (KWH/MES)/ EQUIPO | CANTIDAD EQUIPOS | CONSUMO MENSUAL ENERGIA (KWH/MES) | MENSUAL POTENCIA (KW/MES) |
|-----------|--|-----------------------|-------------|--------------|---------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) = (7)x(8) | (10) = (3)x(8) |
| A | EQUIPOS DE COMFORT | | | | | | | | |
| A1 | ACONDICIONADOR DE AIRE DE VENTANA | | | | | | | | |
| 1 | AIRE ACONDICIONADO 6,000 BTU | 0.630 | 8 | 30 | 0.65 | 98.3 | | 0.0 | 0 |
| 2 | AIRE ACONDICIONADO 8,000 BTU | 0.850 | 8 | 30 | 0.65 | 132.6 | | 0.0 | 0 |
| 3 | AIRE ACONDICIONADO 10,000 BTU | 1.065 | 8 | 30 | 0.65 | 166.1 | | 0.0 | 0 |
| 4 | AIRE ACONDICIONADO 12,000 BTU | 1.350 | 8 | 30 | 0.65 | 210.6 | | 0.0 | 0 |
| 5 | AIRE ACONDICIONADO 14,000 BTU | 1.550 | 8 | 30 | 0.65 | 241.8 | | 0.0 | 0 |
| 6 | AIRE ACONDICIONADO 18,000 BTU | 2.100 | 8 | 30 | 0.65 | 327.6 | | 0.0 | 0 |
| 7 | AIRE ACONDICIONADO 24,000 BTU | 2.830 | 8 | 30 | 0.65 | 441.5 | | 0.0 | 0 |
| 8 | AIRE ACONDICIONADO 36,000 BTU | 4.070 | 8 | 30 | 0.65 | 634.9 | | 0.0 | 0 |
| A2 | ACONDICIONADOR DE AIRE TIPO SPLIT | | | | | | | | |
| 9 | AIRE ACONDICIONADO SPLIT 9,000 BTU | 0.900 | 8 | 30 | 0.65 | 140.4 | | 0.0 | 0 |
| 10 | AIRE ACONDICIONADO SPLIT 12,000 BTU | 1.250 | 8 | 30 | 0.65 | 195.0 | | 0.0 | 0 |
| 11 | AIRE ACONDICIONADO SPLIT 18,000 BTU | 1.950 | 8 | 30 | 0.65 | 304.2 | | 0.0 | 0 |
| 12 | AIRE ACONDICIONADO SPLIT 24,000 BTU | 2.650 | 8 | 30 | 0.65 | 413.4 | | 0.0 | 0 |
| 13 | AIRE ACONDICIONADO SPLIT 36,000 BTU | 3.600 | 8 | 30 | 0.65 | 561.6 | | 0.0 | 0 |
| 14 | AIRE ACONDICIONADO SPLIT 48,000 BTU | 4.100 | 8 | 30 | 0.65 | 639.6 | | 0.0 | 0 |
| 15 | AIRE ACONDICIONADO SPLIT 60,000 BTU | 5.100 | 8 | 30 | 0.65 | 795.6 | | 0.0 | 0 |
| A3 | ABANICOS | | | | | | | | |
| 16 | ABANICO DE MESA 16" | 0.070 | 8 | 30 | 1 | 16.8 | | 0.0 | 0 |
| 17 | ABANICO DE PEDESTAL 18" | 0.070 | 8 | 30 | 1 | 16.8 | | 0.0 | 0 |

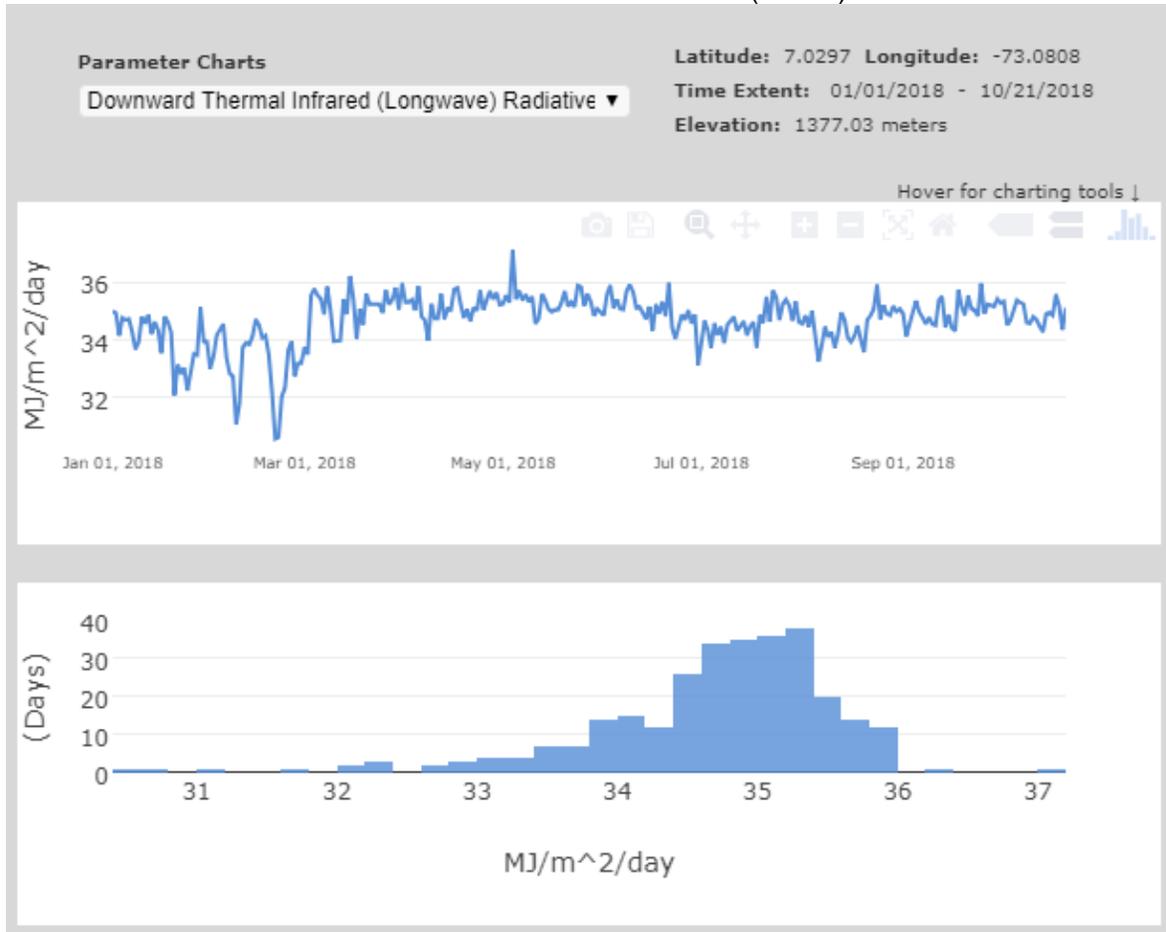
Fuente: (Superintendencia de Electricidad, 2007)

Anexo 3 Coeficientes de reflexión

| PINTURA/COLOR | COEF. REFL. | MATERIAL | COEF. REFL. |
|--|-------------|--------------------------------------|-------------|
| BLANCO | 0.70-0.85 | MORTERO CLARO | 0.35-0.55 |
| TECHO ACÚSTICO BLANCO (según orificios) | 0.50-0.65 | MORTERO OSCURO | 0.20-0.30 |
| GRIS CLARO | 0.40-0.50 | HORMIGON CLARO | 0.30-0.50 |
| GRIS OSCURO | 0.10-0.20 | HORMIGON OSCURO | 0.15-0.25 |
| NEGRO | 0.03-0.07 | ARENISCA CLARA | 0.30-0.40 |
| CREMA, AMARILLO CLARO | 0.50-0.75 | ARENISCA OSCURA | 0.15-0.25 |
| MARRON CLARO | 0.30-0.40 | LADRILLO CLARO | 0.30-0.40 |
| MARRON OSCURO | 0.10-0.20 | LADRILLO OSCURO | 0.15-0.25 |
| ROSA | 0.45-0.55 | MARMOL BLANCO | 0.60-0.70 |
| ROJO CLARO | 0.30-0.50 | GRANITO | 0.15-0.25 |
| ROJO OSCURO | 0.10-0.20 | MADERA CLARA | 0.30-0.50 |
| VERDE CLARO | 0.45-0.65 | MADERA OSCURA | 0.10-0.25 |
| VERDE OSCURO | 0.10-0.20 | ESPEJO DE VIDRIO PLATEADO | 0.80-0.90 |
| AZUL CLARO | 0.40-0.55 | ALUMINIO MATE | 0.55-0.60 |
| AZUL OSCURO | 0.05-0.15 | ALUMINIO ANODIZADO Y ABRILLANTADO | 0.80-0.85 |
| | | ACERO PULIDO | 0.55-0.65 |

Fuente: (Castilla Cabanes, Blanca Giménez, Martínez Antón, & Pastor Villa, 1995)

Anexo 4 Tabla irradiación solar (NASA)



Fuente: (NASA, 2018)

Anexo 5 Radiación solar extraterrestre

Tabla de Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998) (Original en MJ-m²-día⁻¹; 1 mm/día = 2,45 MJ-m²-día⁻¹)

| Latitud | HEMISFERIO NORTE | | | | | | | | | | | | HEMISFERIO SUR | | | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| 70 | 0.0 | 1.1 | 4.2 | 9.4 | 14.4 | 17.3 | 16.1 | 11.4 | 6.1 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 16.9 | 11.7 | 6.4 | 2.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 4.4 | 9.6 | 15.2 | 18.5 |
| 68 | 0.0 | 1.5 | 4.8 | 9.8 | 14.4 | 17.1 | 15.9 | 11.7 | 6.6 | 2.4 | 0.3 | 0.0 | 16.7 | 12.0 | 6.9 | 2.4 | 0.3 | 0.0 | 1.3 | 4.9 | 10.0 | 15.3 | 18.2 | |
| 66 | 0.2 | 2.0 | 5.3 | 10.1 | 14.5 | 16.9 | 15.8 | 12.0 | 7.1 | 2.9 | 0.6 | 0.0 | 16.7 | 12.2 | 7.4 | 2.9 | 0.6 | 0.0 | 1.7 | 5.3 | 10.4 | 15.3 | 18.0 | |
| 64 | 0.6 | 2.4 | 5.8 | 10.5 | 14.7 | 16.8 | 15.8 | 12.2 | 7.5 | 3.5 | 1.0 | 0.2 | 16.7 | 12.6 | 7.9 | 3.4 | 1.0 | 0.2 | 2.2 | 5.9 | 10.7 | 15.5 | 17.9 | |
| 62 | 0.9 | 2.9 | 6.3 | 10.9 | 14.8 | 16.8 | 15.9 | 12.5 | 8.0 | 4.0 | 1.4 | 0.5 | 16.8 | 12.9 | 8.3 | 3.9 | 1.4 | 0.5 | 2.6 | 6.3 | 11.1 | 15.6 | 17.9 | |
| 60 | 1.3 | 3.4 | 6.8 | 11.2 | 14.9 | 16.8 | 16.0 | 12.8 | 8.4 | 4.4 | 1.8 | 0.9 | 16.9 | 13.2 | 8.8 | 4.4 | 1.8 | 0.8 | 3.1 | 6.8 | 11.5 | 15.8 | 17.9 | |
| 58 | 1.8 | 3.9 | 7.2 | 11.6 | 15.1 | 16.9 | 16.1 | 13.1 | 8.9 | 4.9 | 2.2 | 1.3 | 17.0 | 13.5 | 9.2 | 4.9 | 2.2 | 1.2 | 3.6 | 7.3 | 11.8 | 16.0 | 18.0 | |
| 56 | 2.2 | 4.4 | 7.7 | 11.9 | 15.3 | 16.9 | 16.2 | 13.3 | 9.3 | 5.4 | 2.7 | 1.7 | 17.1 | 13.8 | 9.6 | 5.4 | 2.7 | 1.6 | 4.0 | 7.8 | 12.2 | 16.1 | 18.0 | |
| 54 | 2.7 | 4.9 | 8.2 | 12.2 | 15.4 | 16.9 | 16.2 | 13.6 | 9.7 | 5.9 | 3.2 | 2.1 | 17.2 | 14.0 | 10.0 | 5.9 | 3.1 | 2.0 | 4.5 | 8.2 | 12.5 | 16.3 | 18.1 | |
| 52 | 3.1 | 5.4 | 8.6 | 12.6 | 15.6 | 17.0 | 16.4 | 13.8 | 10.1 | 6.4 | 3.7 | 2.6 | 17.3 | 14.3 | 10.4 | 6.4 | 3.6 | 2.4 | 2.9 | 5.0 | 8.7 | 12.8 | 16.4 | 18.1 |
| 50 | 3.6 | 5.9 | 9.1 | 12.9 | 15.7 | 17.0 | 16.4 | 14.0 | 10.5 | 6.9 | 4.2 | 3.1 | 17.4 | 14.5 | 10.9 | 6.8 | 4.1 | 2.9 | 3.3 | 5.5 | 9.1 | 13.1 | 16.6 | 18.2 |
| 48 | 4.1 | 6.4 | 9.5 | 13.1 | 15.8 | 17.1 | 16.5 | 14.2 | 10.9 | 7.4 | 4.7 | 3.6 | 17.5 | 14.8 | 11.2 | 7.3 | 4.5 | 3.3 | 3.8 | 6.0 | 9.5 | 13.4 | 16.7 | 18.2 |
| 46 | 4.6 | 6.9 | 9.9 | 13.4 | 16.0 | 17.1 | 16.6 | 14.4 | 11.2 | 7.8 | 5.1 | 4.0 | 17.6 | 15.0 | 11.6 | 7.8 | 5.0 | 3.8 | 4.2 | 6.4 | 9.9 | 13.7 | 16.8 | 18.2 |
| 44 | 5.1 | 7.3 | 10.3 | 13.7 | 16.0 | 17.1 | 16.6 | 14.7 | 11.6 | 8.3 | 5.7 | 4.5 | 17.6 | 15.2 | 12.0 | 8.2 | 5.5 | 4.3 | 4.7 | 6.9 | 10.3 | 13.9 | 16.9 | 18.2 |
| 42 | 5.6 | 7.8 | 10.7 | 13.9 | 16.1 | 17.1 | 16.7 | 14.8 | 11.9 | 8.7 | 6.2 | 5.1 | 17.7 | 15.4 | 12.3 | 8.7 | 6.0 | 4.7 | 5.2 | 7.3 | 10.7 | 14.2 | 17.0 | 18.2 |
| 40 | 6.1 | 8.3 | 11.1 | 14.2 | 16.2 | 17.1 | 16.7 | 15.0 | 12.2 | 9.2 | 6.7 | 5.6 | 17.7 | 15.6 | 12.6 | 9.1 | 6.4 | 5.2 | 5.7 | 7.8 | 11.1 | 14.4 | 17.1 | 18.2 |
| 38 | 6.6 | 8.8 | 11.5 | 14.4 | 16.3 | 17.1 | 16.7 | 15.1 | 12.5 | 9.6 | 7.1 | 6.0 | 17.7 | 15.7 | 12.9 | 9.5 | 6.9 | 5.7 | 6.2 | 8.2 | 11.4 | 14.6 | 17.1 | 18.2 |
| 36 | 7.1 | 9.2 | 11.8 | 14.6 | 16.3 | 17.0 | 16.7 | 15.3 | 12.9 | 10.0 | 7.6 | 6.6 | 17.7 | 15.9 | 13.2 | 9.9 | 7.4 | 6.2 | 6.6 | 8.7 | 11.8 | 14.8 | 17.1 | 18.1 |
| 34 | 7.6 | 9.7 | 12.2 | 14.7 | 16.3 | 17.0 | 16.7 | 15.3 | 13.1 | 10.4 | 8.1 | 7.1 | 17.7 | 16.0 | 13.5 | 10.3 | 7.8 | 6.6 | 7.1 | 9.1 | 12.1 | 15.0 | 17.1 | 18.1 |
| 32 | 8.1 | 10.1 | 12.5 | 14.5 | 16.3 | 16.9 | 16.6 | 15.5 | 13.4 | 10.9 | 8.6 | 7.6 | 17.7 | 16.1 | 13.8 | 10.7 | 8.3 | 7.1 | 7.6 | 9.5 | 12.4 | 15.1 | 17.1 | 18.0 |
| 30 | 8.6 | 10.5 | 12.8 | 15.0 | 16.3 | 16.8 | 16.6 | 15.5 | 13.6 | 11.3 | 9.1 | 8.1 | 17.6 | 16.2 | 14.0 | 11.1 | 8.7 | 7.6 | 8.0 | 9.9 | 12.7 | 15.3 | 17.1 | 17.9 |
| 28 | 9.1 | 10.9 | 13.1 | 15.1 | 16.3 | 16.7 | 16.5 | 15.6 | 13.8 | 11.6 | 9.5 | 8.6 | 17.6 | 16.2 | 14.2 | 11.5 | 9.2 | 8.0 | 8.4 | 10.3 | 13.0 | 15.4 | 17.1 | 17.8 |
| 26 | 9.6 | 11.3 | 13.4 | 15.3 | 16.3 | 16.6 | 16.4 | 15.6 | 14.1 | 12.0 | 10.0 | 9.1 | 17.5 | 16.3 | 14.4 | 11.8 | 9.6 | 8.5 | 8.9 | 10.7 | 13.3 | 15.5 | 17.1 | 17.7 |
| 24 | 10.0 | 11.8 | 13.7 | 15.3 | 16.2 | 16.4 | 16.3 | 15.6 | 14.2 | 12.3 | 10.4 | 9.5 | 17.3 | 16.3 | 14.6 | 12.2 | 10.0 | 8.9 | 9.3 | 11.1 | 13.5 | 15.6 | 17.0 | 17.6 |
| 22 | 10.5 | 12.1 | 13.9 | 15.4 | 16.1 | 16.3 | 16.2 | 15.7 | 14.4 | 12.7 | 10.9 | 10.0 | 17.2 | 16.4 | 14.8 | 12.5 | 10.4 | 9.4 | 9.8 | 11.5 | 13.8 | 15.7 | 16.9 | 17.4 |
| 20 | 10.9 | 12.5 | 14.2 | 15.5 | 16.0 | 16.1 | 16.0 | 15.6 | 14.6 | 13.0 | 11.3 | 10.4 | 17.1 | 16.3 | 14.9 | 12.8 | 10.9 | 9.8 | 10.2 | 11.8 | 14.0 | 15.8 | 16.8 | 17.2 |
| 18 | 11.4 | 12.9 | 14.4 | 15.5 | 15.9 | 16.0 | 15.9 | 15.6 | 14.7 | 13.3 | 11.7 | 10.9 | 16.9 | 16.3 | 15.1 | 13.1 | 11.2 | 10.2 | 10.6 | 12.2 | 14.2 | 15.8 | 16.7 | 17.0 |
| 16 | 11.8 | 13.2 | 14.6 | 15.6 | 15.8 | 15.8 | 15.7 | 15.6 | 14.9 | 13.6 | 12.1 | 11.4 | 16.8 | 16.3 | 15.2 | 13.4 | 11.6 | 10.7 | 11.0 | 12.5 | 14.4 | 15.8 | 16.6 | 16.8 |
| 14 | 12.2 | 13.5 | 14.7 | 15.6 | 15.7 | 15.6 | 15.6 | 15.5 | 15.0 | 13.8 | 12.5 | 11.8 | 16.6 | 16.2 | 15.3 | 13.6 | 12.0 | 11.1 | 11.4 | 12.8 | 14.5 | 15.8 | 16.4 | 16.6 |
| 12 | 12.6 | 13.8 | 14.9 | 15.5 | 15.5 | 15.3 | 15.3 | 15.4 | 15.1 | 14.1 | 12.9 | 12.2 | 16.4 | 16.2 | 15.4 | 13.9 | 12.3 | 11.5 | 11.8 | 13.1 | 14.7 | 15.8 | 16.2 | 16.3 |
| 10 | 13.0 | 14.1 | 15.1 | 15.5 | 15.3 | 15.1 | 15.1 | 15.3 | 15.1 | 14.3 | 13.2 | 12.7 | 16.1 | 16.0 | 15.4 | 14.1 | 12.7 | 11.9 | 12.2 | 13.4 | 14.8 | 15.7 | 16.0 | 16.1 |
| 8 | 13.4 | 14.4 | 15.2 | 15.4 | 15.1 | 14.8 | 14.9 | 15.2 | 15.2 | 14.5 | 13.6 | 13.1 | 15.9 | 15.9 | 15.5 | 14.3 | 13.0 | 12.2 | 12.5 | 13.6 | 14.9 | 15.7 | 15.8 | 15.8 |
| 6 | 13.8 | 14.6 | 15.3 | 15.3 | 14.9 | 14.6 | 14.7 | 15.1 | 15.2 | 14.7 | 13.9 | 13.4 | 15.6 | 15.8 | 15.5 | 14.5 | 13.3 | 12.6 | 12.9 | 13.9 | 15.0 | 15.6 | 15.6 | 15.5 |
| 4 | 14.1 | 14.9 | 15.3 | 15.3 | 14.7 | 14.3 | 14.4 | 14.9 | 15.2 | 14.9 | 14.2 | 13.8 | 15.3 | 15.6 | 15.5 | 14.7 | 13.6 | 13.0 | 13.2 | 14.1 | 15.1 | 15.5 | 15.3 | 15.2 |
| 2 | 14.4 | 15.1 | 15.4 | 15.1 | 14.4 | 14.0 | 14.1 | 14.7 | 15.2 | 15.1 | 14.5 | 14.2 | 15.1 | 15.5 | 15.5 | 14.9 | 13.9 | 13.3 | 13.5 | 14.4 | 15.1 | 15.4 | 15.1 | 14.9 |
| 0 | 14.8 | 15.3 | 15.5 | 15.0 | 14.2 | 13.6 | 13.8 | 14.6 | 15.2 | 15.3 | 14.8 | 14.5 | 14.8 | 15.3 | 15.5 | 15.0 | 14.2 | 13.6 | 13.8 | 14.6 | 15.2 | 15.3 | 14.8 | 14.5 |

Fuente : (Sánchez San Román, 2006)

Anexo 6 Datos técnicos del aire acondicionado

Características técnicas:

| Modelos | | | | ACY 200 LHTA | ACY 250 LHTA |
|--|----------------------|-------------|--|-----------------------|-----------------------|
| Código | | | | 3NGF5620 | 3NGF5625 |
| Potencia frigorífica | | W | | 19000 | 22400 |
| Potencia calorífica | | W | | 22000 | 27000 |
| Ratio ahorro energético (EER/COEP) | Frío / Calor | | | 2,94 / 3,4 | 2,83 / 3,3 |
| Tensión / Fases / Frecuencia | Ud.int. | V / n° / Hz | | 230 / 1 / 50 | 230 / 1 / 50 |
| | Ud.ext. | V / n° / Hz | | 400 / 3 / 50 | 400 / 3 / 50 |
| Consumo eléctrico | Frío / Calor | kW | | 6,46 / 6,59 | 7,77 / 8,18 |
| Intensidad máx. funcionamiento Ud.int. | Frío / Calor | A | | 3,2 / 3,2 | 3,5 / 3,5 |
| Intensidad máx. funcionamiento Ud.ext. | Frío / Calor | A | | 11,2 / 11,5 | 13,5 / 14,1 |
| Caudal de aire Ud.ext. | Máximo | m³/h | | 8400 | 9000 |
| Presión estática | Estándar | Pa | | (72) 50 - 150 | (72) 50 - 150 |
| Presión sonora Ud.int. | A / M / B / SQ | dB (A) | | 46 / 43 / 41 / 39 | 47 / 44 / 42 / 40 |
| Presión sonora máx. Ud. ext. | Frío / Calor | dB (A) | | 55 / 55 | 55 / 57 |
| Dimensiones Ud. int. | Ancho / Fondo / Alto | mm | | 1400 / 850 / 360 | 1400 / 850 / 360 |
| Dimensiones Ud. ext. | Ancho / Fondo / Alto | mm | | 1080 / 480 / 1428 | 1080 / 480 / 1428 |
| Peso neto | Ud.int. / Ud.Ext. | kg | | 69 / 165 | 80 / 174 |
| Diámetro de tubería | Líquido - Gas | mm | | 12,7 - 25,4 | 12,7 - 25,4 |
| Distancias máx. permitidas | Total / Vertical | m | | 100 / 30 | 100 / 30 |
| Precarga | | m | | 30 | 30 |
| Refrigerante | | | | R410A | R410A |
| Carga de refrigerante | | kg | | 6,5 (11,7) | 7,1 (14,8) |
| Rango de funcionamiento | Refrig. / Calent. | °C | | -15 - +46 / -20 - +24 | -15 - +46 / -20 - +24 |

Fuente: (FUJITSU, 2017)

Anexo 7 Referencia aspersor

| | | | | | |
|---|---|--------------------------------------|---------|-----|----|
| 5 | MICROASPERSOR COMPLETO INVERTIDO Upside down configuration | Microaspersor / Micro-sprinkler | 7x4.3 | 150 | 4V |
| | | Estabilizador / Stabilizer | | | |
| | | Conexión de tubería / Pipe connector | 6.5X4.5 | 150 | 4V |
| | | Microtubo / Microtube | | | |

| Boquillas / Nozzles | | | DIÁMETRO MOJADO / WETTED DIAMETER (m) | | | | | Difusor Sprayer | |
|---------------------|---|-------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|-----|-----------------------------|-----|
| Modelo Model | Orificio boquilla Nozzle size (mm) | Caudal Flow (l/h) | Largo Alcance Long range* | Corto Alcance Short range* | Con deflector Stream deflector* | Invertida Upside Down** 0.60 1.50 (m) | | Nebulizador Mist sprayer | |
| Gris / Grey | 30L | 0.80 | 31 | 5.5 | 3.5 | 1.80 | 5.5 | 6.5 | 1.0 |
| Bianco / White | 40L | 0.90 | 40 | 6.0 | 4.0 | 1.80 | 6.0 | 6.5 | 1.1 |
| Marrón / Brown | 50L | 1.00 | 48 | 6.5 | 4.0 | 1.80 | 6.5 | 6.5 | 1.2 |
| Azul / Blue | 60L | 1.10 | 57 | 8.0 | 4.0 | 1.80 | 6.5 | 7.5 | 1.3 |
| Negro / Black | 70L | 1.20 | 69 | 8.0 | 4.5 | 1.80 | 6.5 | 8.0 | 1.3 |
| Verde / Green | 80L | 1.30 | 81 | 8.5 | 4.5 | 1.80 | 6.5 | 8.5 | 1.4 |
| Rojó / Red | 100L | 1.40 | 97 | 9.5 | 4.5 | 1.80 | 6.5 | 8.5 | NR |
| Amarillo / Yellow | 120L | 1.65 | 127 | 9.5 | 5.5 | 1.80 | 8.0 | 9.0 | NR |
| Violeta / Violet | 160L | 1.90 | 164 | 9.0 | 6.0 | NR | 8.0 | 9.0 | NR |

*Microaspersor dispuesto a 20 cm del nivel del suelo. / Results at 20 cm above the ground.

**Altura respecto al suelo a 0.60 m y 1.50 m. / 0.6 m and 1.5 m high above the ground.

Datos obtenidos según norma ISO 8026 / Data obtained according to ISO 8026 Standard.

Valores nominales de caudal y diámetro mojado obtenidos a 2 bar de presión / Nominal Data of flow and wet diameter obtained at 2 bar of pressure.
NR: No recomendado / Not-recommended.



Fuente: (AZUD RAINTEC, 2018)

Anexo 8 Datos técnicos de panel

| Electrical characteristics | |
|-----------------------------------|------------|
| Product code | SPV-100M32 |
| Maximum power (Pmax) | 100Wp |
| Voltage at Pmax (Vmp) | 17.8V |
| Current at Pmax (Imp) | 5.62A |
| Open-circuit voltage (Voc) | 21.6V |
| Short-circuit current (Isc) | 5.97A |
| Temperature coefficient of Voc | -0.36%/K |
| Temperature coefficient of Isc | 0.05%/K |
| Temperature coefficient of power | -0.44%/K |
| Normal operating cell temperature | 44±2°C |
| Operating temperature | -40~+85°C |
| Maximum system voltage | 600VDC |
| Power tolerance | 0 to +5% |

*Measured at standard test conditions: irradiance 1,000 W/m², air mass 1.5 spectrum, temperature 25°C
Electrical parameters may vary by -5% to +5%



Fuente: (ShenZhen MeiSongMao Industrial, 2017)