

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE RIEGO POR
GOTEO, UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA CULTIVOS DE
PIMIENTO DULCE EN EL CENTRO BIOTECNOLÓGICO DEL CARIBE SENA,
VIA A LA PAZ- CESAR

JULIO MARIO MONTERO DIAZ
ALVARO LEONEL PORTELA RUGE

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR

2019

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE RIEGO POR
GOTEO, UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA CULTIVOS DE
PIMIENTO DULCE EN EL CENTRO BIOTECNOLÓGICO DEL CARIBE SENA,
VIA A LA PAZ- CESAR

JULIO MARIO MONTERO DIAZ
ALVARO LEONEL PORTELA RUGE

DIRECTOR: PHD ANGEL DAVID POLO CORDOBA

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL
Y SANITARIO

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR
2019

Nota de aceptación:

Ing. Juan Evangelista Castillejo Beltrán
Jurado calificador

Ing. Jose Santander Duran Escalona
Jurado calificador

Valledupar, (día)/ (mes)/ 2019

DEDICATORIA

*Dedicado a mi hermosa familia
Mis padres Julio Montero Y Sonia Díaz
Mis hermanas Ana María y María José
A mis grandes amores Mario Andrés y Julieteh Ayure*

Julio Mario Montero Díaz

*Dedicado a mí querida familia
Mis padres Marlon Portela y Angélica Ruge
a mis hermanos Rosa, Luis Eduardo y Camilo Andrés*

Álvaro Leonel Portela Ruge

AGRADECIMIENTOS

Agradecerle primeramente a Dios porque nos ha brindado fortaleza y sabiduría para terminar nuestros estudios, a nuestras familias, por habernos apoyado y brindado su esfuerzo y dedicación para culminar esta etapa de nuestras vidas, agradecerles por acompañarnos en todos los momentos y ayudarnos a superar obstáculos que a diario nos convierten en mejores personas.

A la UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR, por ofrecernos la oportunidad de formarnos como ingenieros ambientales y sanitarios.

A nuestros DOCENTES a lo largo de la carrera, por haber cada uno aportado con sus conocimientos y tiempo un granito de arena, que terminó por infundir en nosotros una formación integral como ingenieros.

A nuestro director de proyecto; Phd ANGEL DAVID POLO CORDOBA, por dedicar su valioso tiempo; guiando, coordinando, evaluando y motivando nuestro desempeño en el desarrollo del proyecto.

Al Centro Biotecnológico del Caribe SENA que quienes nos permitieron con nobleza y agrado desarrollar esta investigación; en especial a los instructores JOSÉ REYES MORENO administrador del centro, y RUBÉN RUZ quien nos acompañó durante todo el proceso de desarrollo de este proyecto.

A los compañeros de estudio, en especial Laura Bolaños, quienes nos ayudaron a recorrer este camino duro pero que con esfuerzo y sacrificio pudimos desarrollar habilidades y competencias para llegar a ser unos excelentes profesionales.

RESUMEN

Esta investigación se realizó con la finalidad de determinar la viabilidad de un sistema de riego con energía solar dentro del CENTRO BIOTECNOLÓGICO DEL CARIBE SENA CBC ubicado en el km7 vía La Paz Cesar.

El centro, como institución educativa apunta a la descarbonización de los sistemas agrícolas y a la constante mejora de ellos, por esta razón se permite el desarrollo de este estudio dentro sus instalaciones.

Primero se realizaron ensayos para determinar la calidad del suelo y así mismo observar la calidad de la fuente de abastecimiento para el cultivo piloto, de igual forma se determinó hidráulicamente la presión dinámica total necesaria para abastecer uniformemente el cultivo. Teniendo en cuenta las fases previamente diseñadas se procedió con la más importante que es determinar y/o dimensionar el generador fotovoltaico protagonista del estudio quien permite el encendido de la bomba para poder impulsar el agua hacia el tanque elevado que luego va ser utilizada para el cultivo. Este estudio también cuantifica y compara el costo energético de un sistema convencional versus un sistema con energía limpia y no solo desde el factor monetario, sino también desde el punto de ambiental, debido a que trae consigo una reducción en la emisión de CO₂ con la implementación de este sistema teniendo en cuenta factores de sostenibilidad y resiliencia al cambio climático. Así mismo se hace acápite donde se tiene en cuenta los costos y las posibles utilidades que genera la prueba piloto.

Palabras clave: generador fotovoltaico, riego, goteo, descarbonización, producción, eficiencia.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	16
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2 JUSTIFICACION	20
3 OBJETIVOS	22
3.1 OBJETIVO GENERAL	22
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	22
4 MARCO REFERENCIAL	23
4.1 ANTECEDENTES.....	23
4.2 MARCO TEORICO	24
4.2.1 Radiación solar.....	24
4.2.2 Energía solar	26
4.2.1 Componentes del sistema solar fotovoltaico	26
4.2.2.1 Módulos fotovoltaicos:	26
4.2.2.2 Regulador de carga	32
4.2.2.3 Baterías y sistemas acumuladores solares	35
4.2.2.4 Inversor o Convertidor DC/AC	37
4.2.3 Pimiento dulce.....	40
4.2.4 Generalidades del sistema riego por goteo	40
4.2.4.1 Componentes del Sistema.....	42
4.2.4.2 Ventajas Y Desventajas Del Sistema De Riego Por Goteo	43
4.2.4.2.1 Ventajas.....	43
4.2.4.2.2 Desventajas.....	44
4.2.4.3 Componentes Necesarios Para La Instalación De Un Sistema De Riego Por Goteo	45
4.2.4.3.1 Cabezal de riego.....	45

4.2.4.3.2	Equipos De Filtración.....	45
4.2.4.3.3	Sistema De Filtrado	45
4.2.4.3.4	Rejillas o decantadores	46
4.2.4.3.5	Pre-filtrado en la succión	46
4.2.4.3.6	Clasificación de filtros.....	46
4.2.4.4	Cabezales de campo	48
4.2.4.5	Goteros.....	49
4.2.4.6	Cinta	49
4.2.4.7	Tuberías	50
4.2.4.8	Red de distribución.....	50
4.2.5	CROPWAT 8.0.....	51
4.3	MARCO CONTEXTUAL	53
4.4	MARCO CONCEPTUAL.....	53
4.5	MARCO INSTITUCIONAL	56
4.5.1	Misión.....	57
4.5.2	Visión	57
4.6	MARCO LEGAL.....	57
5	HIPOTESIS	60
6	METODOLOGIA.....	61
6.1	FASE I: CARACTERIZACION DEL SUELO Y CLIMA.....	61
6.2	FASE II: CARACTERIZACION DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO	62
6.3	FASE III: DISEÑO AGRONÓMICO (DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA).....	63
6.4	FASE IV: DISEÑO HIDRAULICO DEL SISTEMA DE RIEGO.	63
6.5	6.5 FASE V: DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR SOLAR.	64
6.6	FASE VI PUESTA EN MARCHA del sistema Y ANÁLISIS DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	65
7	RESULTADOS Y ANALISIS.....	66
7.1	FASE I: CARACTERIZACION DEL SUELO Y CLIMA.....	66

7.1.1	Propiedades Físicas Del Suelo	66
7.1.1.1	Textura	66
7.1.1.2	Infiltración	66
7.1.1.3	Densidad	69
7.1.1.4	Capacidad De Campo Y Punto De Marchitez Permanente	70
7.1.2	Propiedades Químicas Del Suelo.....	70
7.1.3	Diagnostico Clima	71
7.1.3.1	Estación Climatológica	71
7.2	FASE II: CARACTERIZACION DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO	73
7.2.1	Parámetros físico-químicos de la fuente	73
7.2.1.1	Salinidad.....	73
7.2.1.2	Obturación	74
7.2.1.3	Sodicidad.....	74
7.3	FASE III: DISEÑO AGRONÓMICO (DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA).....	75
7.3.1	Cálculo De La Precipitación Efectiva (pe).	76
7.3.2	Cálculo De La Evapotranspiración Potencial (ETo).	77
7.3.3	Plan De Cultivos.....	77
7.3.4	Cálculo Del Requerimiento De Riego Para El Cultivo.	78
7.3.5	Eficiencia Del Proyecto	79
7.3.6	Necesidades Brutas De Riego	80
7.4	FASE IV: DISEÑO HIDRAULICO DEL SISTEMA DE RIEGO.	83
7.4.1	Dimensionamiento Del Equipo De Bombeo	86
7.4.1.1	Caracterización Hidráulica De La Fuente De Abastecimiento	86
7.4.1.2	Determinación Y Selección De La Bomba	87
7.4.2	Tanque de Almacenamiento	87
7.5	FASE V: DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR SOLAR	88

7.5.1	Requerimientos del Equipo de Bombeo de Agua.....	89
7.5.2	Cálculo De La Instalación Solar Fotovoltaica	92
7.5.2.1	Radiación Solar Disponible.....	92
7.5.2.2	Determinación De Las Horas De Sol Pico (Hsp)	94
7.5.2.3	Potencia Pico Necesaria (pp)	94
7.5.2.4	Panel Solar Fotovoltaico.....	94
7.5.2.5	Protección Contra Sobrecarga.....	95
7.5.2.6	Disposición Del Modulo	96
7.6	FASE PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA Y ANÁLISIS DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	97
7.6.1.1	Tiempo de llenado	97
7.6.1.2	Caudal Que Entrega La Bomba Solar	98
7.6.1.3	Caudal Entregado Por La Cinta De Goteo.....	100
7.6.2	Plan de mantenimiento preventivo del sistema.....	101
7.6.3	Análisis De Los Costos De Construcción	102
7.6.3.1	Costo Energético Del Riego.....	102
7.6.3.2	Huella de carbono consumo eléctrico.....	103
7.6.4	Costos Generales Para El Sistema De Riego	104
8	CONCLUSIONES.....	106
9	RECOMENDACIONES	109
	BIBLIOGRAFÍA.....	111
	ANEXOS.....	117

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los horizontes del suelo	66
Tabla 2. Infiltración en la zona de cultivo CBC	67
Tabla 3. Infiltración acumulada	67
Tabla 4. Clasificación de la velocidad de infiltración básica.....	68
Tabla 5. Densidad y porosidad	69
Tabla 6. Clasificación de la porosidad	69
Tabla 7. Capacidad de Campo y Punto de marchitez.....	70
Tabla 8. Clasificación parámetros químicos	71
Tabla 9. Clasificación de pH y Conductividad eléctrica.....	71
Tabla 10. Diagnostico variables climáticas 2017	72
Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos de agua para riego	73
Tabla 12. Clasificación de amenaza de salinidad del agua de riego.....	73
Tabla 13. Clasificación de amenaza por obturación	74
Tabla 14. Clasificación de la sodicidad según la relación SAR y CE	75
Tabla 15. Precipitación efectiva con probabilidad de excedencia al 75 %	76
Tabla 16. Valores de la curva de probabilidad de excedencia al 50%.	77
Tabla 17. Plan de cultivos	77
Tabla 18. Requerimiento de riego para el cultivo.....	78
Tabla 19. Eficiencia de los sistemas de riego	79
Tabla 20. Valores de eficiencia para el cultivo dado	80
Tabla 21. Valores para caracterizar CU	80
Tabla 22. Necesidades brutas de riego	81
Tabla 23. Diseño agronómico para cultivo de pimiento en CBC Sena.....	82
Tabla 24. Especificaciones técnicas del modelo de emisor escogido para el goteo.	83
Tabla 25. Rangos recomendados de valores de CU	84
Tabla 26. Diseño hidráulico para cultivo de pimiento en CBC Sena	84
Tabla 27. Medición de caudal en la fuente de abastecimiento	86
Tabla 28. Características de la bomba solar.....	87

Tabla 29. Ficha técnica bomba solar	90
Tabla 30. Radiación solar disponible	92
Tabla 31. Ficha técnica panel solar fotovoltaico	95
Tabla 32. Orientación e inclinación de los módulos solares	96
Tabla 33. Tiempo real llenado de tanque de almacenamiento	98
Tabla 34. Medición coeficiente uniformidad derecha	100
Tabla 35. Medición coeficiente uniformidad Izquierda	101
Tabla 36. Costos generales para cultivo de piminetto	104
Tabla 37. Utilidades cultivo de pimiento CBC	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Panel Solar Fotovoltaico	27
Figura 2. Elementos que componen un módulo fotovoltaico	28
Figura 3. Curvas de funcionamiento de módulos fotovoltaicos	30
Figura 4. Curvas I-V y de Potencia	31
Figura 5. Regulador de carga	32
Figura 6. Baterías	35
Figura 7. Asociaciones de baterías	37
Figura 8. Inversor	38
Figura 9. Diseño de un sistema de riego por goteo	41
Figura 10. Hidrociclón	47
Figura 11 Filtro de grava	47
Figura 12. Filtro de malla	48
Figura 13. Cinta de goteo	49
Figura 14. Ubicación del CBC	53
Figura 15. Curva de infiltración	68
Figura 16. Cuadro de cultivo	88
Figura 17. Curva característica bomba solar	91

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Precipitación efectiva.....	76
Grafica 2. Necesidades Netas de cultivo	78
Grafica 3. Necesidades brutas de cultivo.....	81
Grafica 4. Radiación anual.....	93

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. DISEÑO AGRONÓMICO DE SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO ...	117
ANEXO B. DISEÑO HIDRÁULICO DE SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.....	119
ANEXO C. CÁLCULO DE INFILTRACIÓN	121
ANEXO D. CÁLCULO EL CAUDAL DE LLEGADA CON LA CABEZA DINÁMICA TOTAL NECESARIA PARA EL RIEGO	124
ANEXO E REGISTRO FOTOGRÁFICO	125
ANEXO F.PLANOS DEL SISTEMA DE RIEGO.....	129

INTRODUCCION

A lo largo de los años, la utilización de fuentes fósiles de energía en actividades domésticas, comerciales, industriales y agropecuarias, ha traído consigo un sinnúmero de problemas debido a su uso limitado para producir energía eléctrica y un considerable efecto negativo al ambiente, siendo el principal foco de emisión de contaminantes atmosféricos tales como material particulado, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, óxido de azufre, entre otros gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global, además efectos perjudiciales a la salud. La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma. Cuanto más bajos sean los niveles de contaminación del aire mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo. (OMS, 2017)

En la búsqueda de nuevas fuentes de energía el hombre se ha topado con la Energía Solar Fotovoltaica que es renovable, inagotable y amigable con el ambiente contribuyendo al desarrollo sostenible; obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante el Efecto Fotovoltaico reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Alexadre-Edmond Becquerel.

La energía solar fotovoltaica se emplea principalmente en la generación de electricidad a gran escala a través de redes de distribución, aunque también puede tener aplicaciones autónomas en telecomunicaciones y viviendas aisladas de la red eléctrica convencional o para sistemas de bombeo.

Haciendo uso de la energía solar fotovoltaica en el marco de la agricultura podemos establecer formas de cultivos cada vez más amigables con el ambiente y con mejores rendimientos, garantizando el suministro continuo y adecuado de agua aún en periodos secos.

Una producción más limpia de cultivos hortofrutícolas a través de sistemas de bombeo solar y un plan que busque la disminución del consumo de agua en temporadas seca, aumenta la productividad y disminuye el impacto ambiental negativo.

Es por eso que el siguiente proyecto se enfoca en el diseño de sistemas solares fotovoltaicos como una fuente alternativa de energía solar para el riego de un cultivo de Hortofrutícolas reduciendo la cantidad de agua y el consumo de energía; Además gracias a la implementación de energías renovables obtendríamos cero producciones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero proveniente de fuentes fósiles de energía, previniendo de esta manera la contaminación.

En los procesos de producción, la Producción Más Limpia aborda el ahorro de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas y la reducción en cantidades y toxicidad de desechos y emisiones.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Dificultad del acceso de la población rural a un sistema auto-sostenible y autosustentable de energía cada vez es más notoria. En primer lugar, la producción de bienes, insumos y materias primas del sector primario de la economía encuentra como limitante un sistema energético a su alcance lo que da paso al deterioro de la calidad de vida e impedir el desarrollo de estas zonas. Así mismo, impide potencializar y desarrollar tecnologías agrícolas, encaminadas también al cuidado del medio ambiente. En Colombia cerca de un 5 % de la población no tienen acceso a la energía eléctrica cuando este es un derecho fundamental de todo ser humano, así como lo es el acceso al agua potable y otros servicios básicos. Igualmente, otra limitante que encuentra el difícil acceso a la energía son los altos costos para la implementación de estas en las zonas rurales. Tal como asevera (Sáenz, En penumbras: 2.5 millones de colombianos no tienen energía eléctrica, 2017) en un informe para el periódico El Espectador, El exdirector de la UPME considera que los colombianos sin energía eléctrica se encuentran distribuidos a lo largo y ancho del país. “En las zonas más apartadas, incluso en algunos departamentos donde hay concentración de demanda, por ejemplo, Cundinamarca, Boyacá y Tolima”. Es costoso llegar con energía a la mayoría de los hogares en lugares más apartados y con mayor dificultad de acceso.

Por otra parte, no garantizar el acceso a la energía a estas poblaciones rurales aumenta la brecha de la desigualdad y la pobreza. Separando cada vez más la ciudad del campo cuando estas han de ir de la mano para el desarrollo integral del país. De la misma forma falta más inversión por parte del estado en aumentar la matriz energética, el apoyo y liderazgo político para desarrollo de tecnologías provenientes de fuentes naturales inagotables y de gran ayuda para el medio ambiente para garantizar el desarrollo de estas.

El riego por goteo de los cultivos hortofrutícolas en el CBC (Centro Biotecnológico Del Caribe) siendo estos uno de los cultivos con más expansión en las hectáreas de cultivo, se ve afectado por un sinnúmero de factores, entre ellos el más importante y relevante es el uso grandes cantidades energéticas en los ciclos de la bomba, divinando que el principal problema es este.

¿Será la energía solar fotovoltaica una alternativa para la disminución de las cantidades energéticas que demanda el sistema de riego para un cultivo de pimiento dulce en el CBC?

2 JUSTIFICACION

Debido a la problemática que representa el uso de energías convencionales para el campo y el difícil acceso a estas en distintas zonas rurales, urge fortalecer el desarrollo de tecnologías amigables con el medio ambiente, que sean eficaces y eficientes, que permitan economizar costos en operación y mantenimiento, disminuir la brecha de la desigualdad y que permitan dinamizar los procesos de producción.

La implementación de este tipo de energías favorece la producción de materias primas, ayudando al desarrollo del campo colombiano industrializando los sectores de producción, pero lo más importante es que se enfoca en un concepto de producción más limpia. Avanzando y ayudando al medio ambiente ya que es un sistema libre de emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual mitiga el cambio climático.

Aprovechar la ubicación geográfica en la que está Colombia en especial la costa caribe hace que se puedan desarrollar todo este tipo de tecnologías amigables con la naturaleza, contando con una radiación solar óptima para la producción de energía a partir sistemas solares fotovoltaicos. En el país la utilización de este tipo de energías comienza tomar auge tal como afirma (CORRAL, Energización y ruralidad, 2017) Gracias al desarrollo de las energías alternativas (como la solar y la eólica) y a la implementación del concepto de energización (en virtud del cual el problema de la energía y las soluciones energéticas van más allá de la energía eléctrica), se han abierto nuevas oportunidades para aplicar diversos tipos de soluciones en las zonas rurales alejadas.

El presente estudio pragmático se enfocará en realizar los cálculos y dimensionamiento para el diseño de un sistema de riego por goteo para los cultivos

hortofrutícolas, que se encuentran en el centro biotecnológico del caribe, teniendo en cuenta lo más importante: el concepto de producción más limpia. No sin antes tener en cuenta las especificaciones técnicas que tienen este tipo de cultivos, sistematizando y regulando el uso de recursos para su crecimiento que también es de vital importancia.

El departamento del Cesar tiene vocación agrícola y además de ello la radiación solar y su ubicación geográfica hace que viabilicen este tipo de energías. El departamento es una de las regiones con mayor potencial para la producción de energía fotovoltaica gracias a sus condiciones geográficas. Corpocesar trabaja en la construcción y evaluación de términos de referencia en proyectos de aprovechamiento con energías limpias. (CONtextogadero, 2017)

Lo anterior se apoya a que hay que potencializar los recursos renovables, viabilizar el uso de energías limpias que nos provee el medio ambiente, teniendo en cuenta los criterios de sostenibilidad, sustentabilidad y seguridad energética. Enfatizando lo viable y pertinente que es ayudar en los procesos productivos para generar así ingresos a las familias rurales, a las entidades que se dedican al campo.

Por tal razón el Centro Biotecnológico Del Caribe (CBC) apunta a implementación de energías renovables al campo, aprovechando su vocación agrícola y siendo pionero en la utilización de estos sistemas cumpliendo con objetivos de desarrollo sostenible tal como lo estipula el Programa Para Las Naciones Unidas Para El Desarrollo el cual es Expandir la infraestructura y mejorar la tecnología para contar con energía limpia en todos los países en desarrollo, aportando su grano de arena para mitigar el cambio climático.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar de un sistema piloto de riego por goteo, utilizando energía solar fotovoltaica para cultivos de pimiento dulce en el Centro Biotecnológico del Caribe SENA, kilometro7 vía La Paz- Cesar.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el requerimiento hídrico de un cultivo de pimiento dulce a través de un diseño agronómico.
- Elaborar el diseño hidráulico requerido por el sistema de riego por goteo.
- Realizar un estudio de carga para el dimensionamiento de los componentes requeridos en el sistema de riego por goteo utilizando energía solar.
- Implementar una prueba piloto del sistema de riego por goteo con aplicación de energía solar fotovoltaica en cultivos de pimiento dulce.

4 MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES

- **Navarro y Karan (2011).** Diseñaron e implementaron un prototipo para un sistema de riego automático alimentado con energía solar fotovoltaica como fuente de generación alternativa de electricidad, para satisfacer la necesidad de riego de jardines y zonas verdes de la Institución Educativa Corporación Universitaria de Costa, “CUC”, de forma automática. La energía eléctrica obtenida sirve para activar el sistema de control, el cual cuenta con un software previamente establecido que permitirá encender y apagar según sea su programación, una bomba sumergible ubicada dentro de un depósito de agua dispuesto para el riego de la zona establecida. El sistema es completamente automático, los módulos fotovoltaicos brindan la energía requerida, mientras que el sistema de control se encarga de dar las órdenes de cómo debe actuar la bomba para realizar el riego mediante los aspersores, todo esto promoviendo el buen uso del recurso hídrico teniendo en cuenta que la CUC no contaba con un sistema de riego para los jardines.
- **Arceda y Hernández (2012).** Los autores plantearon un riego por goteo para un cultivo de aguacate utilizando energía solar ubicado en la localidad de San Francisco Libre- Nicaragua; esta zona del país presenta un clima muy cálido y el recurso hídrico es limitado, además los productores estaban usando el agua de forma desordenada y excesiva esto conllevó a diseñar un sistema de riego por goteo que permite una distribución y captación eficiente del recurso hídrico para ser utilizado en el cultivo de Aguacate logrando un impacto ambiental positivo en el aprovechamiento del recurso hídrico en esa zona del país.
- **Guillen y Muñoz (2015).** Implementaron una planta piloto de energía solar fotovoltaica en el laboratorio del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar, el sistema es utilizado

principalmente para la iluminación de laboratorio y además es capaz de suplir la demanda eléctrica de los equipos de uso en el laboratorio que cumplan con las especificaciones del sistema. Este proyecto permite un ahorro económico y ambiental en la Universidad Popular del Cesar, reduciendo la contaminación atmosférica y por ende disminuyendo el efecto invernadero, promoviendo el uso e investigación de energías renovables dentro de la universidad.

- **USAID – Fundación Cerrejón Guajira Indígena (2015).** Implementarán un programa de energía renovable para bombeo de agua en 42 comunidades wayuu de los municipios de Maicao, Manaure y Uribia con el fin brindar acceso rápido al líquido a través de energía solar fotovoltaica. Una vez realizados los estudios técnicos y arreglos presupuestales para la implementación del proyecto, las partes firmaron un destinado al beneficio de 42 comunidades wayuu con la instalación de sistemas solares fotovoltaico y tanques de almacenamiento en 18 comunidades Wayuu, sistemas solares fotovoltaicos y tanques de almacenamiento de un jagüey comunitario y 23 bombas de lazo dual; los beneficiados tendrán acceso a tecnologías limpias y efectivas que les permitirá optimizar los procesos actuales de extracción del agua, evitar la contaminación del recurso hídrico y problemas de salud.

4.2 MARCO TEORICO

4.2.1 Radiación solar

Es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol se comporta prácticamente como un Cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6000 K. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la

atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m^2 (vatio por metro cuadrado). (Ecured, 2013)

En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir estos tipos de radiación (Ecured, 2013):

- **Radiación directa.** Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.
- **Radiación difusa.** Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.
- **Radiación reflejada.** La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

4.2.2 Energía solar

De acuerdo con (INTEF, 2012) Es la que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente) procedente del Sol, donde ha sido generada por un proceso de fusión nuclear. El aprovechamiento de la energía solar se puede realizar de dos formas: por conversión térmica de alta temperatura (sistema fototérmico) y por conversión fotovoltaica (sistema fotovoltaico).

- La conversión térmica de alta temperatura consiste en transformar la energía solar en energía térmica almacenada en un fluido. Para calentar el líquido se emplean unos dispositivos llamados colectores.
- La conversión fotovoltaica consiste en la transformación directa de la energía luminosa en energía eléctrica. Se utilizan para ello unas placas solares formadas por células fotovoltaicas (de silicio o de germanio).

4.2.1 Componentes del sistema solar fotovoltaico

4.2.2.1 Módulos fotovoltaicos:

Los módulos o paneles fotovoltaicos están formados por la interconexión de células solares dispuestas en serie y/o en paralelo de manera que la tensión y corriente que finalmente proporcione el panel se ajusta al valor requerido. (Ingemeconica, 2016)



Figura 1.Panel Solar Fotovoltaico

Fuente. Ingemecanica, 2016

La conexión entre células puede ir en serie y/o en paralelo, para adaptar el panel a los niveles de tensión y corriente requeridos. Cada célula de las que compone un panel fotovoltaico es capaz de ofrecer una tensión del orden de 0,5 voltios y una potencia eléctrica alrededor de los 3 vatios, aunque este valor dependerá de la superficie que mida la célula. De esta manera la potencia que pueda ofrecer un módulo dependerá del número de células que posea, estando diseñado para el suministro eléctrico en corriente continua (directa, DC), a un determinado voltaje (normalmente 12 ó 24 V). La tensión e intensidad de corriente que es capaz de ofrecer un panel fotovoltaico dependerá del número de células que disponga y el tipo de conexión entre células. Como norma general, los paneles solares se fabrican disponiendo primero las células necesarias en serie hasta que se alcance la tensión que se desee a la salida del panel, y a continuación, estos ramales de células se asocian en paralelo hasta alcanzar el nivel de corriente deseado. Por otro lado, al sistema completo formado por el conjunto de módulos o paneles fotovoltaicos dispuestos o conexicionados en serie y/o en paralelo se le suele denominar generador

fotovoltaico. Con el fin de poder ofrecer la potencia eléctrica deseada, así como de la tensión e intensidad de corriente a la salida del generador, los distintos módulos o paneles serán distribuidos en serie y/o en paralelo, según convenga. Para formar un panel o módulo fotovoltaico, las células conectadas unas con otras se dispondrán encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte o marco, conformando el llamado módulo fotovoltaico. Los elementos que componen un módulo fotovoltaico son los siguientes (Ingemecanica, 2016):

- Una cubierta exterior transparente realizado en vidrio templado de unos 3 ó 4 mm de espesor, con su cara exterior texturada de modo que mejore el rendimiento cuando la radiación solar ocurre a bajo ángulo de incidencia, así como para absorber mejor la radiación solar difusa del ambiente.

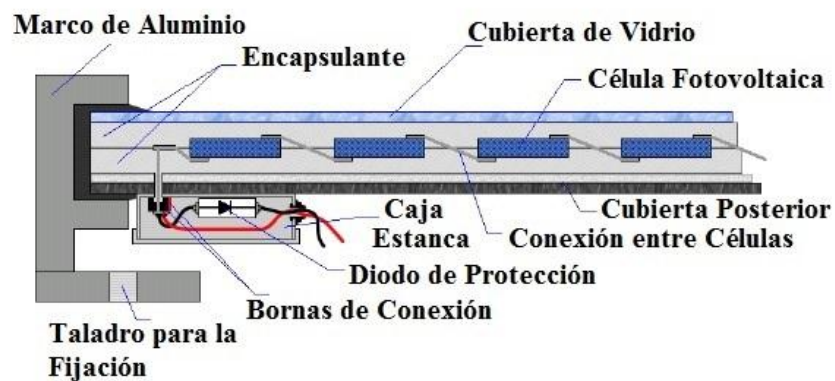


Figura 2. Elementos que componen un módulo fotovoltaico

Fuente. Ingemecanica, 2016

- Un material de relleno interior, que funciona de encapsulante, hecho a base de vinilo de acetato etileno (EVA), que sirve para recubrir las células fotovoltaicas dentro del módulo, protegiéndolas de la entrada de aire o humedad, y evitando así que se produzca la oxidación del silicio que conforma las células, dado que de producirse dejarían de funcionar.

- Una cubierta posterior realizada normalmente a base de fluoruro de polivinilo (PVF), que además de sus propiedades como aislante dieléctrico, ofrece gran resistencia a la radiación ultravioleta, contribuyendo a servir de barrera a la entrada de humedad y ofreciendo una gran adhesión al material del que está hecho el encapsulante interior.
- Las propias células fotoeléctricas, ya estudiadas en apartados anteriores.
- Elementos de conexión eléctrica entre células, para establecer el circuito eléctrico.
- Una caja estanca de conexiones, dotada de bornes de conexión normalizados y con grado de protección IP65, de donde parte el cableado exterior del módulo para su conexión con otros módulos que conforman el sistema completo de generación fotovoltaica. En dicha caja se incluyen los diodos de protección cuya misión es la de reducir la posibilidad de pérdida de energía debido a un mal funcionamiento por sombreados parciales de paneles y de evitar la rotura del circuito eléctrico por este efecto. Ello es así porque cuando se produce una sombra parcial sobre un panel, éste deja de generar corriente y se convierte en absorbedor de energía, lo que produciría un recalentamiento excesivo del mismo que podría dañarlo.
- El marco estructural realizado generalmente en aluminio anodizado que ofrece resistencia mecánica y soporte al conjunto. Se deberá comprobar en las especificaciones del fabricante del módulo su resistencia mecánica frente al viento y cargas de nieve, de manera que el conjunto se adecue a las condiciones ambientales del lugar donde se instalen.

Las prestaciones de los módulos que aparecen en la información técnica que proporciona cualquier fabricante están obtenidas sometiendo a los módulos a unas Condiciones Estándar de Medida (CEM) de irradiancia y temperatura, que son siempre las mismas y son utilizadas universalmente para caracterizar células, módulos y generadores solares. Estas condiciones son las siguientes: (Ingemecanica, 2016)

- Irradiancia solar: 1000 W/m²;
- Distribución espectral: AM 1,5 G;
- Temperatura de célula: 25 °C

No obstante, las condiciones reales de operación de los módulos serán distintas a los estándares anteriores, por lo que habrá que aplicar los correspondientes coeficientes correctores a los procedimientos de cálculos que se realicen.

Según se indican en las siguientes gráficas de la ilustración 3, donde se define el funcionamiento de un módulo fotovoltaico, el valor de corriente generado por el módulo crece con la intensidad de radiación solar, mientras que la tensión que ofrece cae conforme aumenta la temperatura alcanzada en las células del módulo. (Ingemecanica, 2016)

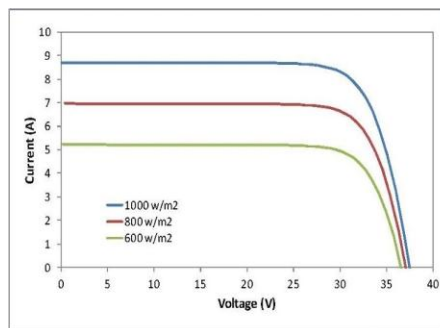


Figura Fa. Curvas I-V para distintos valores de la irradiación solar
Temperatura constante de la célula (25° C)

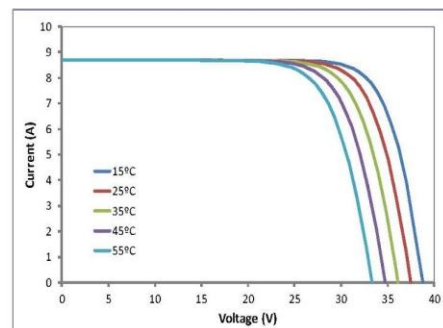


Figura Fb. Curvas I-V para distintas temperatura de la célula
Valor de irradiación solar constante (1000 W/m²)

Figura 3. Curvas de funcionamiento de módulos fotovoltaicos

Fuente. Ingemecanica, 2016

Cuando se habla de temperatura alcanzada en las células del módulo, se entiende que es la temperatura que tiene la superficie del panel fotovoltaico, que evidentemente no tiene que ser igual a la de la temperatura ambiente, puesto que la superficie del módulo se calienta por la radiación solar que recibe.

Un módulo fotovoltaico suele trabajar dentro de un rango determinado de valores de intensidad y voltaje, dependiendo de la intensidad de radiación solar recibida, de la temperatura alcanzada en su superficie o el valor de la carga eléctrica que alimenta.

En la siguiente figura se representa esquemáticamente en línea continua la curva intensidad-tensión (I-V) de un módulo fotovoltaico cualquiera, mientras que en línea discontinua se representa la potencia entregada por el módulo, para dos situaciones de trabajo (A y B) distintas. (Ingemecanica, 2016)

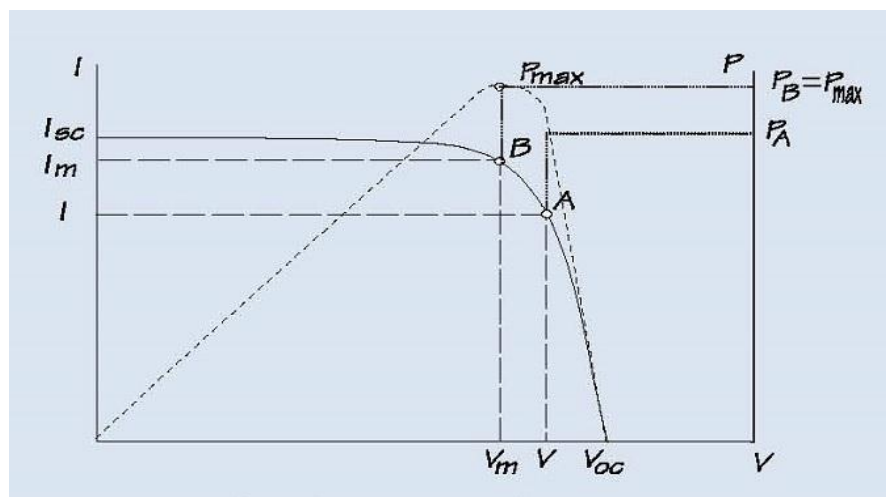


Figura 4. Curvas I-V y de Potencia

Fuente. Ingemecanica, 2016

De la anterior figura se observa que se debe hacer trabajar al módulo fotovoltaico en el rango de la tensión de máxima potencia, para sí obtener su mejor rendimiento.

En resumen, en función de la radiación solar, la temperatura de las células del módulo (que dependerá a su vez de la temperatura ambiente, humedad, velocidad del viento, material de fabricación del módulo, etc.) y de la carga eléctrica que alimenta, el módulo fotovoltaico generará una determinada intensidad de corriente

(I) a una determinada tensión (V), y cuyo producto marcará la potencia eléctrica (P) generada por el módulo.

4.2.2.2 Regulador de carga

Un regulador de carga, cuyo emplazamiento se indica con la letra B en la figura adjunta, es un equipo encargado de controlar y regular el paso de corriente eléctrica desde los módulos fotovoltaicos hacia las baterías. (Ingemecanica, 2016)

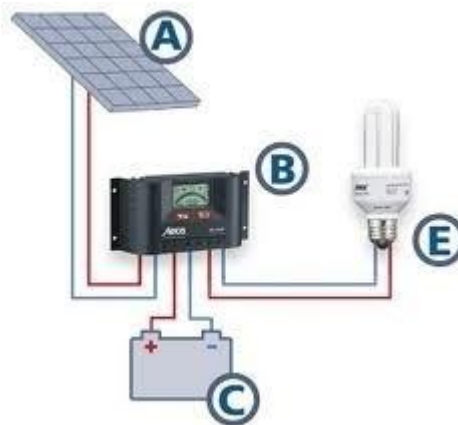


Figura 5. Regulador de carga

Fuente. Ingemecanica, 2016

Por lo tanto, estos dispositivos funcionan como un cargador de baterías, evitando además que se produzcan sobrecargas y a la vez limitan la tensión de las baterías a unos valores adecuados para su funcionamiento.

De este modo, un regulador de carga se encarga de controlar la forma de realizar la carga de las baterías cuando los paneles solares están recibiendo radiación solar evitando que se produzcan cargas excesivas.

Y a la inversa, esto es, durante el proceso de descarga de las baterías destinado al consumo de electricidad en la vivienda, el regulador evita igualmente que se produzcan descargas excesivas que puedan dañar la vida de las baterías.

De un modo sencillo, un regulador se puede entender como un interruptor colocado en serie entre paneles y baterías, que está cerrado y conectado para el proceso de carga de las baterías, y abierto cuando las baterías están totalmente cargadas.

Asimismo, en la actualidad la mayoría de los reguladores de carga disponen de una función que permite maximizar la energía capturada por el generador fotovoltaico mediante el uso de una tecnología específica de seguimiento y búsqueda del punto de máxima potencia de funcionamiento del generador (MPP, Maximum Power Point), también llamado MPP-tracking ó MPPT (del inglés, track: seguir, rastrear).

El regulador de carga se seleccionará para que sea capaz de resistir sin daños unos valores de tensión nominal e intensidad máxima de acuerdo a la configuración del sistema de generadores fotovoltaicos instalados. De esta manera, éste debe estar dimensionado para soportar la intensidad máxima de corriente generada en el sistema, tanto en la línea de entrada al regulador procedente de los generadores fotovoltaicos, como en la línea de salida hacia las cargas que alimenta.

En este sentido, la corriente máxima prevista por la línea de entrada al regulador desde los generadores fotovoltaicos es la correspondiente a la corriente de cortocircuito (ISC) del generador fotovoltaico más un margen de seguridad (generalmente un 25%), para tener en cuenta los posibles picos de irradiancia o los cambios de temperatura.

Por otro lado, la corriente máxima prevista por la línea de salida viene dada por el consumo de las cargas del sistema (aparatos eléctricos, electrodomésticos, etc.) también incrementada en un 25% (I_{salida}). La elección del regulador será aquel que soporte la mayor de las dos anteriores corrientes eléctricas, como se verá más adelante en este tutorial.

Como ya se ha visto, el regulador actuará interrumpiendo el suministro de electricidad desde las baterías de acumulación hacia la instalación interior de la vivienda cuando el voltaje de las baterías quede por debajo del umbral de

funcionamiento, con objeto de evitar su descarga total que pueda provocar daños en las baterías.

Igualmente, durante los periodos de insolación donde los paneles solares están generando electricidad y el voltaje de las baterías llegue a un valor límite máximo, el regulador interrumpirá la conexión entre los módulos fotovoltaicos y las baterías, o bien actuará reduciendo gradualmente la corriente media entregada por los paneles.

Todo regulador de corriente instalado deberá estar convenientemente protegido frente a cortocircuitos que se produzcan en la línea de consumo de la vivienda, además de contra la posibilidad de poder producirse una desconexión accidental de la batería mientras los paneles están generando energía.

Las caídas internas de tensión del regulador entre sus terminales de generador y acumulador serán inferiores al 4% de la tensión nominal (0,5 V para 12 V de tensión nominal), para sistemas de menos de 1 kW, y del 2% de la tensión nominal para sistemas mayores de 1 kW, incluyendo los terminales. Asimismo, las caídas internas de tensión del regulador entre sus terminales de batería y consumo serán inferiores al 4% de la tensión nominal (0,5 V para 12 V de tensión nominal), para sistemas de menos de 1 kW, y del 2 % de la tensión nominal para sistemas mayores de 1 kW, incluyendo igualmente los terminales.

En todo caso, las pérdidas de energía diarias causadas por el autoconsumo del regulador en condiciones normales de operación deberán ser inferiores al 3 % del consumo diario de energía.

Por último, indicar que todo regulador que se emplee en la instalación deberá estar etiquetado con al menos la siguiente información:

- Tensión nominal (V)
- Corriente máxima (A)
- Fabricante (nombre o logotipo) y número de serie
- Polaridad de terminales y conexiones

4.2.2.3 *Baterías y sistemas acumuladores solares*

Las baterías, también llamado acumuladores solares o fotovoltaicos, se utilizan para almacenar la energía eléctrica generada por el sistema de generadores fotovoltaicos, con objeto de disponer de ella en periodos nocturnos o en aquellas horas del día que no luzca el sol. (Ingemecanica, 2016)



Figura 6. Baterías

Fuente. Ingemecanica, 2016

No obstante, también pueden desempeñar otras funciones, como elementos que sirven para estabilizar el voltaje y la corriente de suministro, o para inyectar picos de corriente en determinados momentos, tales como en el arranque de motores.

Las baterías se componen básicamente de dos electrodos que se encuentran sumergidos en un medio electrolítico. Los tipos de baterías más recomendadas para uso en instalaciones fotovoltaicas son las de tipo estacionarias de plomo ácido y de placa tubular, compuestas de un conjunto de vasos electroquímicos interconectados de 2V cada uno, que se dispondrán en serie y/o paralelo para completar los 12, 24 ó 48 V de tensión de suministro y la capacidad de corriente en continua que sea adecuado en cada caso.

Generalmente a la asociación eléctrica de un conjunto de baterías se le suele llamar sistema acumulador o simplemente acumulador.

La capacidad de una batería se mide en amperios-hora (Ah), unidad de carga eléctrica que indica la cantidad de carga eléctrica que pasa por los terminales de una batería. Indica la cantidad de electricidad que puede almacenar durante la carga la batería, para después devolverla durante su descarga.

No obstante, el tiempo invertido en la descarga de la batería influye de manera decisiva en su capacidad de almacenaje. De esta forma, conforme más rápido se realice la descarga de la batería su capacidad de suministro disminuye, debido a que más energía se pierde por la resistencia interna, y a la inversa, conforme el tiempo de descarga aumenta y se realiza de forma más lenta, entonces la capacidad de la batería aumenta.

En la mayoría de las ocasiones, los sistemas de acumulación de energía estarán formado por asociaciones de baterías, que estarán conectadas en serie o en paralelo, para satisfacer las necesidades, bien de tensión, o bien de capacidad que sean demandadas.

Mediante las asociaciones en serie de baterías se consigue aumentar el voltaje final respecto a la tensión de servicio que cada batería por sí sola puede ofrecer. En el conexionado en serie de varias baterías se debe conectar el borne negativo de cada batería con el positivo de la siguiente, y así sucesivamente. La tensión o voltaje que proporciona el conjunto es igual a la suma de las tensiones de cada una de las baterías individuales.

Por el contrario, mediante las asociaciones en paralelo de baterías se consigue aumentar la capacidad de suministro del conjunto, es decir, su autonomía, sumando las capacidades nominales de cada batería y manteniendo el mismo voltaje de cada batería individual. (Ingemecanica, 2016)

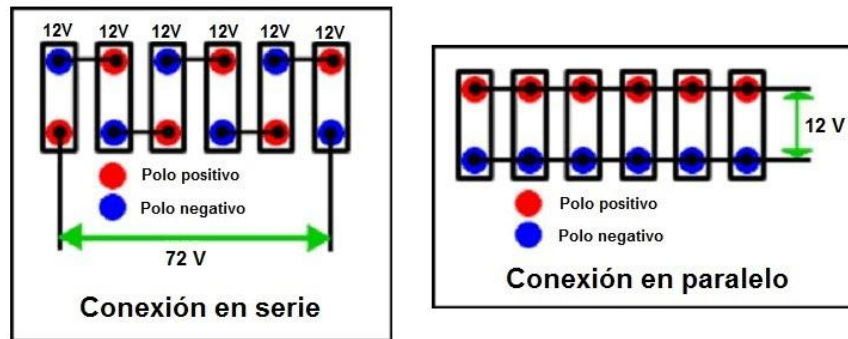


Figura 7. Asociaciones de baterías
Fuente. Ingemecanica, 2016

En otro orden de cosas, la capacidad nominal de los sistemas acumuladores empleados (medido en Ah) no excederá en 25 veces la corriente (en A) de cortocircuito en CEM del generador fotovoltaico seleccionado.

La vida de un acumulador o batería, definida como la correspondiente hasta que la capacidad residual caiga por debajo del 80% de su capacidad nominal, deberá ser superior a 1000 ciclos, cuando se descarga el acumulador hasta una profundidad del 50% a 20 °C.

4.2.2.4 Inversor o Convertidor DC/AC

El convertidor de corriente DC/AC, también llamado inversor u ondulator, es un dispositivo electrónico de potencia encargado de convertir la corriente continua (DC) proveniente de los generadores fotovoltaicos en corriente alterna (AC) para su consumo en la vivienda. Además, sincroniza la frecuencia de la corriente inyectada con la de la red, adaptándola a las condiciones requeridas según el tipo de carga, garantizando así la calidad de la energía vertida en la instalación eléctrica de la vivienda. (Ingemecanica, 2016)



Figura 8. Inversor

Fuente. Ingemecanica, 2016

Los inversores vienen caracterizados principalmente por la tensión de entrada desde las baterías, la potencia máxima que puede proporcionar y su eficiencia o rendimiento de potencia. Este último se define como la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega para su uso (potencia de salida) y la potencia eléctrica que extrae del sistema de baterías o de los generadores fotovoltaicos (potencia de entrada).

En general, los inversores en las instalaciones fotovoltaicas deben cumplir las siguientes exigencias:

- Deberán ofrecer una eficiencia lo más alta posible que minimice las pérdidas. El rendimiento de potencia de los inversores (cociente entre la potencia activa de salida y la potencia activa de entrada), oscila entre el 90% y el 97%. El valor del rendimiento depende mucho de la potencia de entrada, que deberá ser lo más cercana, o incluso tratar que sea igual a la nominal de funcionamiento del inversor, dado que si varía mucho entonces el rendimiento del inversor disminuye sensiblemente.
- Disponer de elementos que incorporen el rearme y desconexión automática del inversor.

- Poder admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 150% de su potencia máxima o nominal, con objeto de hacer frente a los picos de arranque que originan muchos electrodomésticos, como frigoríficos, lavadoras, etc., que van a demandar mayor potencia que la nominal en el momento de su puesta en marcha o arranque de sus motores.
- Ofrecer una baja distorsión armónica y bajo autoconsumo.
- Disponer de aislamiento galvánico.
- Disponer de sistema de medida y monitorización.
- Incorporar controles manuales que permitan el encendido y apagado general del inversor, y su conexión y desconexión a la interfaz AC de la instalación.
- Protección contra sobrecargas y cortocircuitos, que permitirá detectar posibles fallos producidos en los terminales de entrada o salida del inversor.
- Protección contra calentamiento excesivo, que permitirá desconectar el inversor si la temperatura del inversor sobrepasa un determinado valor umbral, y mantenerse desconectado hasta que el equipo no alcance una temperatura inferior preestablecida.
- Protección de funcionamiento modo isla, que desconectará el inversor en caso que los valores de tensión y frecuencia de red queden fuera de unos valores umbrales que permitan un funcionamiento correcto.
- Protección de aislamiento, que detecta posibles fallos de aislamiento en el inversor.
- Protección contra inversión de polaridad, que permite proteger el inversor contra posibles cambios en la polaridad desde los paneles fotovoltaicos.

4.2.3 Pimiento dulce

Tal como afirma (DANE, 2015) El pimentón es una especie dulce del género Capsicum, que hace parte de la familia botánica de las solanáceas. Es la especie más cultivada de este género. Tuvo su origen en el continente americano, probablemente en lo que hoy comprende la parte sur de Brasil; pero también se considera a Colombia como uno de los centros de origen (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2014).

En Colombia las variedades dulces más cultivadas son del tipo lamuyo y California.

- **Tipo lamuyo, tres puntas o rectangulares:** Son frutos largos de forma cónica que terminan en tres puntas, de pulpa gruesa, sabor dulzón, y acidez baja y turgente, lo cual permite pelarlos. Los hay de alto y medio peso promedio, pero son más valorados los de gran tamaño (Corpoica, 2014).
- **Tipo California, cuadrado o blocoso:** Son frutos con 7 a 10 centímetros de longitud y 6 a 9 centímetros de ancho. Son de pulpa gruesa y se diferencian del tipo lamuyo por tener cuatro hombros bien marcados (Universidad Jorge Tadeo Lozano [UJTL], 2012).

4.2.4 Generalidades del sistema riego por goteo

El riego por goteo es un método de riego moderno y sistematizado el cual permite regar gota a gota la zona radicular para el crecimiento de la planta. El riego por goteo permite ahorrar grandes cantidades de aguas y mejorar el crecimiento y la productividad del cultivo; ya que es aplicado a zonas específicas del campo y así mantener humedecido el suelo del cultivo.

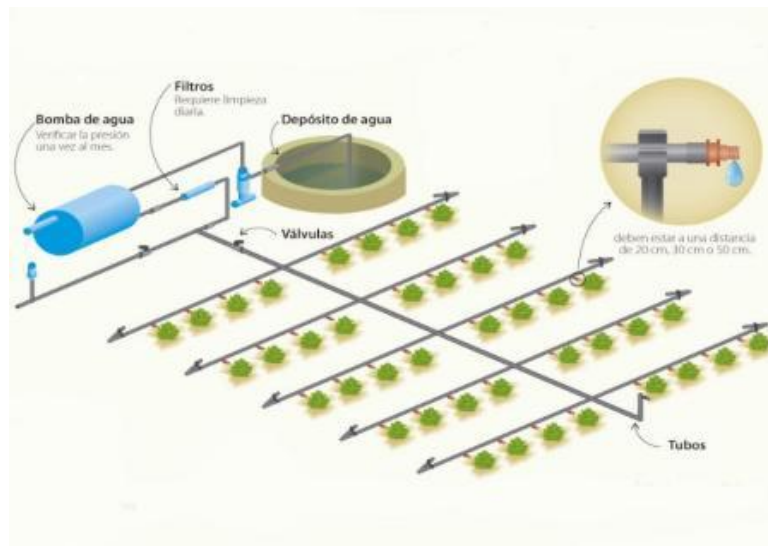


Figura 9. Diseño de un sistema de riego por goteo

Fuente. Gestiriego, 2015

Los sistemas de riego por goteo también permiten manejar la salinidad del suelo, dependiendo también de las sales que tenga el agua para el riego. Tal como lo afirma (Sela, 2014) Al aplicarse el agua en altas frecuencias y al mantenerse el nivel de humedad del suelo relativamente alto, el contenido de sales del suelo es apropiadamente similar a lo del agua de riego. Sin embargo, en este tipo de sistemas las sales también tienden a aglomerarse en el bulbo, teniendo un exceso de estas en el suelo.

La eficiencia del sistema de riego por goteo es muy alta (90- 95%) permitiendo la uniformidad y distribución del agua. La sistematización de un riego por goteo puede ajustarse a las condiciones que tengan el suelo y el requerimiento del cultivo.

El SRG es un sistema que se caracteriza por utilizar caudales bajos. Los caudales típicos de los emisores son de 0,6-16 L / h (0.16 a 4.0 galones por hora), y los emisores más comúnmente utilizados son de 1-4 L / h. (Sela, 2014)

4.2.4.1 Componentes del Sistema

Un sistema de riego por goteo consta de las siguientes partes:

- **Fuente principal de abastecimiento:** que pueden provenir de cuerpos superficiales o de extracción de aguas subterráneas
- **Cabezal de riego:** es el conjunto de elementos de la cual está compuesta toda la instalación que permite proveer caudal y presión al sistema.
- **Equipo de bombeo:** está constituido por un equipo de una o más bombas que succionan el agua para el sistema. Su capacidad y potencia dependen de la superficie de riego.
- **Filtro:** tiene la función de eliminar todo el tipo de partículas que trae el agua en suspensión y así evitar obstrucciones del sistema y deterioro de los goteros.
- **Tubería de conducción:** son el conjunto de tubos que abastecen y conducen el agua hasta la zona radicular de la planta. Las tuberías más empleadas son de cloruro de polivinilo (PVC) y de polietileno pueden ser:
 - **Tuberías maestras:** es el tipo de tubería que suministra agua a las tuberías laterales. Estas atraviesan el campo de riego perpendicularmente a la dirección de las hileras del cultivo
 - **Tuberías laterales:** es la tubería que se coloca en dirección de las hileras del cultivo y que suministra agua a los goteros.
- **Cabezales de campo:** son el tipo de válvulas que se instalan en el campo para abastecer el agua a las distintas unidades de riego.
- **Goteros:** son los que suministran el agua de forma lenta para asegurar que cada gota es utilizada de forma eficiente. Estos pueden ser de PVC

4.2.4.2 Ventajas Y Desventajas Del Sistema De Riego Por Goteo

Según (Mario Liotta, 2015) las ventajas y desventajas de un sistema de riego por goteo son:

4.2.4.2.1 Ventajas

- **Ahorro de agua:** la cantidad de agua que se aplica en un cultivo se ajusta en cantidad y oportunidad a la evapotranspiración. Se reducen las pérdidas por infiltración. La eficiencia del riego es muy alta (90-95 %).
- **Uniformidad de aplicación:** debido a que la aplicación se realiza por emisores con igual caudal y ubicados a distancias regulares. Debido a lo anterior es posible la entrega de agua con buen grado de uniformidad, inclusive en terrenos de topografía irregular
- **Aumento de la superficie bajo riesgo:** es posible incrementar la superficie con la misma disponibilidad de agua en un 30-35 %. Debido al incremento de la eficiencia de uso
- **Menor presencia de malezas:** contribuye a facilitar el control de las malezas al humedecer el suelo en forma localizada, ya que el agua se entrega directamente al lado de las plantas a lo largo de la hilera del cultivo, quedando seca gran parte de la superficie entre las líneas.
- **Ahorro de mano de obra:** el sistema permite disminuir la mano de obra involucrada. Un solo operador de riego puede manejar entre 80-100 ha.
- **Mejoras en la producción y calidad de frutos:** debido a que se encuentran mejor satisfechas las necesidades hídricas y nutritivas en todo momento a lo largo de la temporada.
- **Fertirriego:** la posibilidad de fertilizar continuamente y cuando se desee a través del sistema constituye una ventaja. Se aumenta la eficiencia de fertilización y se economiza en fertilizantes
- **Empleo de aguas salinas:** aquellas aguas de mala calidad que son altamente peligrosas por la concentración de sales pueden ser utilizadas con

el riego de alta frecuencia. Al mantenerse el suelo con alto grado de humedad, la tensión efectuada por partículas del suelo (tensión mátrica) es muy pequeña, por lo tanto, puede incrementarse la tensión osmótica originada por la solución del suelo.

- **Automatización:** es posible la automatización parcial o total del equipo facilitando la operación y permitiendo la aplicación de programas de ferti-irrigación.

4.2.4.2.2 Desventajas

- **Costo elevado de adquisición e instalación:** alta inversión inicial del sistema, también influye el tipo de cultivo y el grado de automatización requerido
- **Consumo de energía:** el costo de electricidad para el funcionamiento de la instalación y los combustibles es un factor a tener en cuenta.
- **Necesidad de un sistema de filtrado:** el sistema requiere de un especial cuidado en el filtrado del agua. Los emisores son sensibles a las obstrucciones por materia orgánica, algas y sólidos en suspensión. Esta condición se hace más exigente cuando el agua posee gran cantidad de sedimentos.
- **Necesidad de mantenimiento y limpieza del sistema:** es necesario la limpieza periódica del sistema tanto en la zona del cabezal como en tuberías y laterales. Dependiendo de la calidad del agua e impurezas esta operación varía entre una a tres veces por temporada.
- **Necesidad de mano de obra especializada:** requiere que los usuarios que operan el sistema tengan el conocimiento necesario en el manejo óptimo del equipo en operación
- **Necesidad de un buen diseño:** es condición fundamental que el equipo se diseñe correctamente, tanto desde el punto de vista agronómico como el hidráulico, y una correcta operación de la ferti-irrigación. Un diseño

inadecuado puede producir deficiencias en los rendimientos y la calidad de los cultivos, gastos de energía innecesarios y problemas de manejo.

4.2.4.3 Componentes Necesarios Para La Instalación De Un Sistema De Riego Por Goteo

4.2.4.3.1 Cabezal de riego.

Comprende toda la instalación, sistema de filtrado, fertilización, medición de volúmenes y presiones y controlar de forma automática o manual el funcionamiento del equipo. Junto con las tuberías y los goteros forman la parte fundamental del sistema.

Dentro de los elementos del cabezal de riego se encuentra:

- Medidores de presión
- Contadores volumétricos
- Electroválvulas
- Válvulas seccionadoras
- Válvulas limitadoras de caudal
- Válvulas reguladoras de presión
- Programadores

4.2.4.3.2 Equipos De Filtración

Es de vital importancia que las aguas provenientes bien sean de cuerpos de aguas superficiales o de aguas subterráneas sean limpias. Es por ello que se debe contar con equipos de filtración para que no obstruyan la tubería ni los goteros, así se garantiza la eficiencia del sistema.

4.2.4.3.3 Sistema De Filtrado

Es un parte clave del sistema y uno de los problemas más graves que suele presentarse en los equipos de riego es la obstrucción del gotero que se puede producir por diversas razones entre ellas:

- Partículas materiales en suspensión
- Materia orgánica
- Precipitados (principalmente carbonatos)

Para el sistema de filtrado encontramos:

4.2.4.3.4 Rejillas o decantadores

Las rejillas se usan en la entrada de agua al reservorio para retener grandes elementos tales como ramas y hojas. Los decantadores se utilizan para separar principalmente arenas. Consisten en depósitos donde el agua pierde velocidad y las partículas se precipitan en el fondo.

4.2.4.3.5 Pre-filtrado en la succión

la zona de succión debe protegerse en la válvula de retención antes de ingresar al cabezal, lo cual puede lograrse con un canasto construido con una malla fina que impide el ingreso de partículas minerales, algas, piedras o elementos sólidos que puedan ser succionados y deteriorar la turbina de la bomba.

4.2.4.3.6 Clasificación de filtros.

Dentro de los filtros los más usados son los siguientes:

- **Hidrociclones**

Se utilizan para separar gravillas y arenas. Las arenas decantan y se depositan en recipiente inferior que debe limpiarse frecuentemente. Se usan aguas provenientes de perforaciones. Se consigue separar hasta un 98 % de partículas superiores a 100 micrones. (Traxco, 2014)

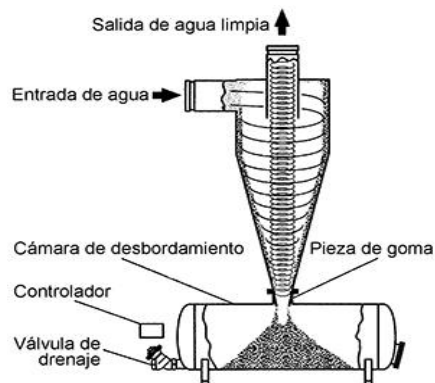


Figura 10. Hidrociclón

Fuente. Traxco, 2014

- **Filtros de grava**

Son tanques metálicos que contienen arena o grava tamizada de un determinado tamaño. El agua se filtra al pasar por el estrato de arena/grava.

Son muy efectivos para retener sustancias orgánicas y partículas, porque se emplea todo el espesor de la arena. (Paracetamoltec., 2016)

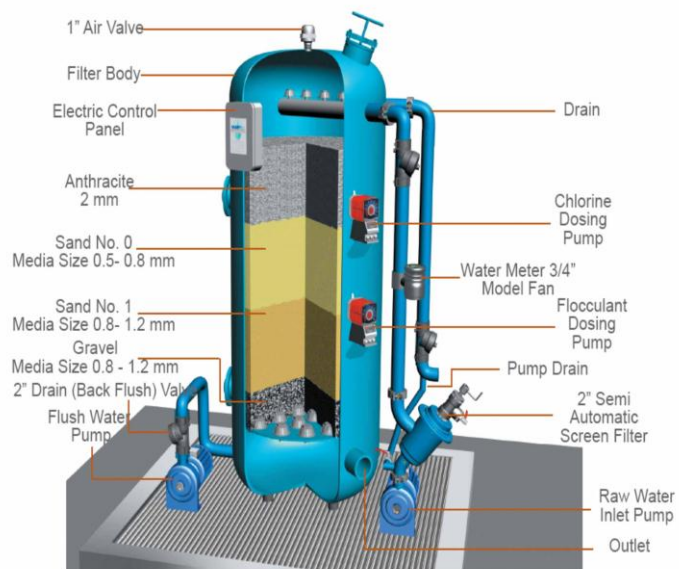


Figura 11 Filtro de grava

Fuente. Paracetamoltec., 2016

- **Filtros de malla**

El filtro de malla es una carcasa que aloja en su interior un cartucho con malla de diferentes diámetros u orificios. La malla puede ser metálica o plástica. El tamaño del orificio se define por el número de aberturas por pulgada lineal (25.4 mm) lo cual se denomina “mesh”. Para un riego por goteo se recomienda una malla de 140-150 mesh. (Copersa, 2015)



Figura 12. Filtro de malla

Fuente. Copersa,2015

4.2.4.4 Cabezales de campo

Son los dispositivos instalados en el lateral que controlan la salida del agua. Deben reunir las siguientes características:

- Caudal uniforme y poco sensible a la variación de presión.
- Poca sensibilidad a las obturaciones.
- Elevada uniformidad de fabricación.
- Resistencia a productos químicos y al ambiente.
- Costo reducido.
- Estabilidad de la relación caudal-presión en su vida útil.
- Perdida de carga reducida en sus conexiones.
- Resistencia al ataque de roedores e insectos.

4.2.4.5 Goteros

Existen una gran variedad de goteros de diferente forma y configuración para disipar la presión. Los más utilizados operan entre caudales entre 1 y 4 litros/hora. Los principales goteros que se usan en la actualidad son:

- **De laberinto:** son de largo conducto que obliga al agua a un recorrido en forma tortuosa y perder presión. Son de régimen turbulento, poco sensibles a la temperatura y las obstrucciones.
- **Tipo Vortex (de botón):** en este caso el agua después de atravesar un orificio, ingresa a una pequeña cámara en forma tangencial originando un movimiento en espiral que ocasiona una pérdida de carga y luego sale al exterior en forma de gota.

4.2.4.6 Cinta

Poseen emisores, normalmente espaciados entre 0,20 a 0,60 m. Su uso es más frecuente en cultivos de temporada (hortalizas) y trabajan con presiones inferiores a 10 m (1 kg/cm²). La pared de la cinta puede ser muy delgada (0,1-0,2 mm) por esta razón tienen bajo costo. (Ruben, 2013)



Figura 13. Cinta de goteo

Fuente. Ruben, 2013

4.2.4.7 Tuberías

Entre las que se destacan:

- **Tubería de PVC**

Tubería de PVC existe hasta 235 psi y desde ½ hasta 48 pulgadas de diámetro ideales para el transporte de agua potable y sistemas de irrigación para aplicaciones de agricultura y campos de golf. Sistema de unión con campana y anillo conforme a la norma ASTM F477 y ASTM D3139. (Milton Arceda, 2012)

- **Tubería De Polietileno**

Existen diferentes tipos:

- Polietileno de baja densidad (PE-BD) de densidad igual o inferior a 0,93 gr/cm³.
- Polietileno de media densidad (PE-MD) de igual densidad que el de alta.
- Polietileno de alta densidad (PE-AD) de densidad superior a 0,94 gr/cm³.

4.2.4.8 Red de distribución

La red de distribución es la que conduce el agua desde el cabezal hasta el cultivo, y está compuesta por:

- **Primaria o principal:** transporta el agua desde el cabezal de riego a la línea de distribución
- **Secundaria:** encargada de conducir el agua de la tubería principal a los laterales, actuando como cabecera de la línea porta emisor o lateral. Generalmente de PVC.
- **Lateral:** es la línea que contienen los emisores. Generalmente de PE y de DN 12,16 y 20 mm.

4.2.5 CROPWAT 8.0

CROPWAT es una herramienta de apoyo a las decisiones desarrollada por la División de Desarrollo de la Tierra y el Agua de la FAO.

CROPWAT 8.0 para Windows es un programa de computadora para el cálculo de requerimientos de agua de cultivos y requerimientos de riego basados en datos de suelo, clima y cultivo. Además, el programa permite el desarrollo de programas de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del suministro de agua del esquema para patrones de cultivo variables. CROPWAT 8.0 también puede usarse para evaluar las prácticas de riego de los agricultores y para estimar el rendimiento de los cultivos tanto en condiciones de secano como de riego.

Todos los procedimientos de cálculo utilizados en CROPWAT 8.0 se basan en las dos publicaciones FAO de la Serie de Riego y Drenaje, a saber, el No. 56 "Evapotranspiración de cultivos - Directrices para calcular los requerimientos de agua de los cultivos" y el No. 33 titulado "Rendimiento de respuesta al agua".

Como punto de partida, y sólo para ser utilizado cuando no se dispone de datos locales, CROPWAT 8.0 incluye datos de cultivo y suelo estándar. Cuando se dispone de datos locales, estos archivos de datos se pueden modificar fácilmente o se pueden crear otros nuevos. Asimismo, si no se dispone de datos climáticos locales, éstos se pueden obtener para más de 5.000 estaciones en todo el mundo de CLIMWAT, la base de datos climática asociada. El desarrollo de los programas de riego en CROPWAT 8.0 se basa en un balance diario suelo-agua utilizando varias opciones definidas por el usuario para las condiciones de suministro de agua y de manejo de riego. El régimen de abastecimiento de agua se calcula de acuerdo con el patrón de cultivo definido por el usuario, que puede incluir hasta 20 cultivos. CROPWAT 8.0 es un programa de Windows basado en las versiones anteriores de DOS. Aparte de una interfaz de usuario completamente rediseñada, CROPWAT 8.0

para Windows incluye una serie de características nuevas y actualizadas, incluyendo:

- Mensual, diaria y cotidiana de datos climáticos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o)
- Compatibilidad con versiones anteriores para permitir el uso de datos de la base de datos CLIMWAT
- Posibilidad de estimar datos climáticos en ausencia de valores medidos
- Década y cálculo diario de los requerimientos de agua del cultivo basado en algoritmos de cálculo actualizados incluyendo el ajuste de los valores del coeficiente de cultivo
- El cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y la programación de riego para el arroz con arroz y arroz con arroz, utilizando un procedimiento recientemente desarrollado para calcular los requerimientos de agua incluyendo el período de preparación de la tierra
- Horarios interactivos de riego ajustable por el usuario
- Tablas diarias del balance de agua del suelo
- Fácil ahorro y recuperación de sesiones y de programas de riego definidos por el usuario
- Presentaciones gráficas de datos de insumos, requerimientos de agua de cultivos y programas de riego
- Fácil importación / exportación de datos y gráficos a través de portapapeles o archivos de texto ASCII
- Extensas rutinas de impresión, compatibles con todas las impresoras basadas en Windows
- Sistema de ayuda sensible al contexto
- Interfaz multilingüe y sistema de ayuda: inglés, español, francés y ruso

(FAO, 2019)

4.3 MARCO CONTEXTUAL

El Centro Biotecnológico del Caribe está ubicado a las afueras de la ciudad de Valledupar en el kilómetro 7 de la vía Valledupar-La Paz.



Figura 14. Ubicación del CBC

Fuente. Google Maps, 2018

Teniendo en cuenta las actividades par formación agropecuaria que se realizan en el CBC, podemos encontrar una variedad de fauna como lo son los bovinos, especies menores (pollos, gallinas, codornices, conejos, cerdos, chivos, peces). Dentro de la flora predominan los bosques secos tropicales y los cultivos de leguminosas, hortalizas, forrajeros, frutales y de vivero.

4.4 MARCO CONCEPTUAL

- **Energía renovable:** Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales. (Ecured, 2013)
- **Fuentes de energía no renovable:** son aquellas fuentes de energía que tienen un carácter limitado en el tiempo y cuyo consumo implica su desaparición en la naturaleza sin posibilidad de renovación. Dentro de ellas

se encuentran: combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) y la energía nuclear (el núcleo atómico de elementos pesados como el uranio, puede ser desintegrado (fisión nuclear) y liberar energía radiante y cinética (Ecured, 2013)

- **Uso eficiente de la energía:** Es la utilización de la energía, de tal manera que se obtenga la mayor eficiencia energética, bien sea de una forma original de energía y/o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad, vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.
- **Amperaje:** La intensidad de circulación de corriente eléctrica por un circuito cerrado se puede medir por medio de un amperímetro conectado en serie con el circuito o mediante inducción electromagnética utilizando un amperímetro de gancho. (Ecured, 2013)
- **Celda solar:** Es el elemento semiconductor más pequeño en un módulo fotovoltaico donde se produce energía eléctrica de la radiación solar incidente. (GreenPeace, 2006)
- **Sistema PV:** Componentes del sistema que transforman la energía solar en energía eléctrica través de la tecnología fotovoltaica incluyendo los paneles y los componentes que conforman el balance del sistema. (GreenPeace, 2006)
- **Carga:** Potencia utilizada por los artefactos, instalaciones y otros elementos conectados a un circuito. (GreenPeace, 2006)
- **Ciclo de vida:** Número de ciclos de carga-descarga tolerada por una batería bajo condiciones normalizadas hasta que el comportamiento no cumple con las especificaciones; por ejemplo, hasta la capacidad disminuye a 80% de su capacidad nominal. (GreenPeace, 2006)
- **Condiciones STC:** Condiciones normalizados para el ensayo de paneles: Radiación solar de 1000 W/m^2 , temperatura de la célula fotovoltaica 25°C , Valor espectral = 1,5 AM. Cabe aclarar que la radiación es casi siempre

inferior a 1000 Watts/m², la temperatura frecuentemente excede los 25°C, mientras el valor espectral puede variar entre 0,7 (a gran altura sobre el nivel del mar) e valores muy grandes (al atardecer). (GreenPeace, 2006).

- **Corriente alterna (AC):** Corriente eléctrica con cambio frecuente del 3 sentido de flujo, típicamente 50 o 60 ciclos por segundo (50 Hz en Argentina). La variación de la corriente es sinusoidal. (GreenPeace, 2006)
- **Corriente continua (DC):** Corriente eléctrica constante en un sentido solamente. (GreenPeace, 2006)
- **Curvas I-V:** Curva que indica el comportamiento de un módulo o panel PV y su Punto de Potencia Máxima bajo Condiciones Normalizadas de Ensayo. Indica la relación entre corriente y voltaje según el nivel de radiación incidente. El producto entre la corriente y el voltaje indica la potencia. (GreenPeace, 2006)
- **Diodo de desvío:** Dispositivo eléctrico en los paneles que evita daños con sombras parciales. (GreenPeace, 2006)
- **Eficiencia del sistema:** La relación entre la energía eléctrica útil producida por un sistema PV, con todos sus componentes y la energía de la radiación solar incidente, bajo condiciones normalizadas de ensayo (eficiencia teórica) o bajo condiciones reales de uso (eficiencia en uso). (GreenPeace, 2006)
- **Kilowatt:** Unidad de potencia, equivale 1000 Watts. (GreenPeace, 2006)
- **Kilowatt hora:** La potencia de mil watts aplicada durante una hora (o una potencia equivalente). 1 kWhr es una unidad de energía - 1 kWhr = 3600 Joules. (GreenPeace, 2006)
- **Panel Fotovoltaico:** Panel con una serie de celdas o superficies fotovoltaicas, normalmente con marco y placa de montaje, preparado en fábrica. (GreenPeace, 2006)
- **Punto de potencia máxima:** Punto en una curva corriente – voltaje correspondiente a la potencia máxima. En una célula típica de silicio es aproximadamente 0,45V. (GreenPeace, 2006)

- **Silicio amorfo:** Color negro, o marrón oscuro uniforme. Bajo costo, pero con menor eficiencia (entre 5-7%, independiente de la temperatura. (GreenPeace, 2006)
- **Silicio monocristalino:** Color azul oscuro, levemente translucido. Alto costo, pero con mayor eficiencia (supera 13%) con valores menores cuando la temperatura supera 25 °C. (GreenPeace, 2006)
- **Silicio policristalino:** Color normalmente azul oscuro vetado, levemente translucido: también disponible en marrón o gris vetado, etc. Precio menor que
 - monocristalina con menor eficiencia (11%) con valores menores cuando la temperatura supera 25 °C. (Ingemecanica, 2016)
- **Voltio (V):** Unidad de 'fuerza' en un circuito eléctrico. Un volt produce un ampere de corriente en un circuito con una resistencia de un ohm. (GreenPeace, 2006)
- **Watt (W):** Unidad de potencia eléctrica o cantidad de trabajo en unidad de tiempo (Joule/segundo). Una corriente de un ampere con una potencia de un volt produce un Watt de potencia. (GreenPeace, 2006)
- **Watt pico (Wp):** La cantidad de potencia producida por una célula o módulo bajo las condiciones nominales de irradiación (STC). (GreenPeace, 2006)

4.5 MARCO INSTITUCIONAL

El Centro Biotecnológico del Caribe SENA, es un establecimiento público del orden nacional, con personería jurídica, patrimonio propio e independiente, y autonomía administrativa; adscrito al Ministerio del Trabajo, de Colombia.

Este encargado de cumplir los siguientes requerimientos:

- Impulsar la promoción social del trabajador, a través de su formación profesional integral, para hacer de él un ciudadano útil y responsable, poseedor de valores morales éticos, culturales y ecológicos.

- Organizar, desarrollar, administrar y ejecutar programas de formación profesional integral, en coordinación y en función de las necesidades sociales y del sector productivo.
- Velar porque en los contenidos de los programas de formación profesional se mantenga la unidad técnica.

4.5.1 Misión

El SENA está encargado de cumplir la función que le corresponde al Estado de invertir en el desarrollo social y técnico de los trabajadores colombianos, ofreciendo y ejecutando la formación profesional integral, para la incorporación y el desarrollo de las personas en actividades productivas que contribuyan al desarrollo social, económico y tecnológico del país.

4.5.2 Visión

En el 2018 el SENA será reconocido por la efectividad de su gestión, sus aportes al empleo decente y a la generación de ingresos, impactando la productividad de las personas y de las empresas; que incidirán positivamente en el desarrollo de las regiones como contribución a una Colombia educada, equitativa y en paz.

4.6 MARCO LEGAL

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA DE 1991: Presenta 17 artículos específicos, relacionados con la protección, conservación, control y mejoramiento de los recursos naturales: 49, 67, 79, 80, 81, 82, 88, 95, 277, 313, 317, 330, 331 y 334.

LEY 23 DE 1973: Tiene como prioridad la prevención y control de la contaminación del medio ambiente, mejoramiento, conservación y restauración de los recursos

naturales; determinando también como bienes contaminables el aire, el agua y el suelo.

LEY 99 DE 1993: Por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el sistema nacional ambiental SINA, y se dictan otras disposiciones.

LEY 697 DE 2001: Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

LEY 1665 DE 2013: Por medio de la cual se aprueba el “Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (Irena)”, hecho en Bonn, Alemania, el 26 de enero de 2009.

LEY 1715 DE 2014: Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.

LEY 1931 DE 2018: Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático

LEY 1972 DE 2019: Por medio de la cual se establece la protección de los derechos a la salud y al medio ambiente sano estableciendo medidas tendientes a la reducción de emisiones contaminantes de fuentes móviles y se dictan otras disposiciones

DECRETO LEY 2811 DE 1974: Por el cual se aprueba el código nacional de los recursos naturales renovable y de protección del medio ambiente.

DECRETO 3683 DE 2003: Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una Comisión Intersectorial.

DECRETO 1623 DE 2015: Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas

DECRETO 2469 DE 2014: Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración”

DECRETO 1543 DE 2017: Por el cual se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, Fenoge.

RESOLUCIÓN CREG 030 DE 2018: Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional

RESOLUCIÓN CREG 038 DE 2018: Por la cual se regula la actividad de autogeneración en las zonas no interconectadas y se dictan algunas disposiciones sobre la generación distribuida en las zonas no interconectadas

RESOLUCIÓN UPME 143 DE 2016: Establece los requerimientos para el registro de proyectos de generación con fuentes no convencionales de energía.

5 HIPOTESIS

El aprovechamiento de fuentes no convencionales de energía reduce la huella de carbono producida por la agricultura, generando así una producción más limpia en el campo.

6 METODOLOGIA

Este proyecto de grado se desarrolló a través de las siguientes fases:

6.1 FASE I: CARACTERIZACION DEL SUELO Y CLIMA

En esta fase del proyecto se realizaron estudios en campo y laboratorio con el fin de hacer un diagnóstico tanto del suelo como del clima y así establecer parámetros importantes para el diseño del sistema de riego, es importante aclarar que por tratarse de un proyecto a escala piloto los datos de Clima utilizados para el diseño fueron del año 2017.

El diagnóstico del suelo se hizo mediante de las siguientes actividades.

- Descripción de los perfiles del suelo.
- Determinación del color del suelo a cada horizonte, según la Tabla de Munsell.
- Establecer la textura del suelo por el método de Bouyocus.
- Cálculo de la velocidad de infiltración, teniendo en cuenta el método del cilindro.
- Toma de muestras, para determinar propiedades físicas como: densidad aparente (D_a), densidad real (D_r) y porosidad (n) del suelo.
- Determinación de la capacidad de campo (CC) y del punto de marchitez (PM).
- Toma de muestras, para determinar propiedades químicas (pH y conductividad eléctrica).

Las condiciones climáticas del área de estudio se estimaron con los datos obtenidos de la estación climatológica más cercana (Aeropuerto Alfonso López Pumarejo), teniendo en cuenta los siguientes parámetros.

- Temperatura, calculada con los promedios mensuales multianuales de la temperatura mínima y máxima.
- Humedad relativa mensual, a través de los datos de humedad relativa multianual.
- Velocidad del viento, determinado con los promedios mensuales multianuales.
- Promedio mensual multianual de brillo solar, a través de los datos de brillo solar mensual.
- Promedio mensual multianual de precipitación, determinado con los datos mensuales.

6.2 FASE II: CARACTERIZACION DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO

La fuente de abastecimiento tiene un volumen constante de 10 metros cúbicos provenientes de la recirculación de agua en las piscinas acuícolas del SENA CBC.

Para caracterizar la fuente se tomaron muestras con el fin de determinar parámetros como conductividad eléctrica, pH, calcio, sodio, magnesio y relación absorción sodio (SAR). Estos parámetros fueron fundamentales para determinar si la calidad del agua era óptima para ser usada en el cultivo y determinar si no generaría obstrucciones en el sistema de riego.

6.3 FASE III: DISEÑO AGRONÓMICO (DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA).

En esta fase se emplearon los datos obtenidos en las fases I y II, además del coeficiente del cultivo de pimiento dulce (K_c) tomado de ESTUDIO FAO RIEGO Y DRAÑAJE para determinar la Precipitación efectiva (P_e) y la evapotranspiración potencial (E_{To}), todo esto a través del software libre desarrollado por la FAO, CROPWAT 8.0

Para el diseño agronómico; se basó en la metodología establecida en el Manual práctico para el diseño de sistema de minirriego (Alocén, 2007), de igual forma se siguió la metodología establecida por el Grupo De Investigación Regar- Universidad del Valle, (AGUDELO MORENO & PINO MANQUILLO, 2012), Debido al extenso número de parámetros evaluados en el diseño agronómico, se muestran con detalle en los anexos del presente proyecto.

Todas estas variables son indispensables para que el sistema tenga una mayor eficiencia, de modo que haya un desarrollo óptimo del cultivo, y un aprovechamiento máximo del recurso hídrico.

6.4 FASE IV: DISEÑO HIDRAULICO DEL SISTEMA DE RIEGO.

Para esta fase se realizó el diseño hidráulico de los componentes del sistema de riego.

Una vez obtenido el diseño agronómico, los autores procedieron a realizar el diseño hidráulico donde se determinaron los componentes, dimensionamiento y funcionamiento de la instalación de riego, de tal forma que se proporcione agua al cultivo teniendo en cuenta el diseño agronómico previamente realizado. Para el diseño se calcularon las necesidades hidráulicas del sistema, junto con los

parámetros hidráulicos que corresponden como: coeficientes de múltiples salidas, pérdidas unitarias, cabezas dinámicas totales entre otros. Lo anterior se hace seleccionando que los componentes sean los adecuados teniendo en cuenta el mejor diseño económico, y por supuesto, que se adapten al terreno.

De igual forma ya que la fuente de agua es fija como se ha descrito en la fase *caracterización de la fuente de abastecimiento*, los autores procedieron a realizar una caracterización hidráulica de la fuente teniendo en cuenta el flujo volumétrico que proviene de ésta hacia donde se instala el sistema de riego, para luego seleccionar el equipo de bombeo y almacenamiento del recurso hídrico que cumpla con las necesidades proyectadas en este estudio.

Debido al extenso número de parámetros evaluados en el diseño hidráulico se muestran con detalle en los anexos del presente proyecto.

6.5 6.5 FASE V: DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR SOLAR.

Teniendo en cuenta el diseño hidráulico es necesario determinar la fuente de energía para el funcionamiento del equipo de bombeo.

En esta fase se dimensionó el generador solar teniendo en cuenta los requerimientos de la bomba, horas de sol y radiación; aprovechando al máximo el recurso sol para que la bomba cumpla con el pico máximo de eficiencia.

El diseño del generador solar fotovoltaico se hizo siguiendo la guía de **Instalación Solar Fotovoltaica para el Bombeo de Agua para Riego**, (Ingemecanica, 2015)

En esta fase se tienen en cuenta los parámetros necesarios como el consumo energético, la cantidad de módulos solares para satisfacer demanda prevista por el equipo de bombeo y demás que lo conforman.

6.6 FASE VI PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA Y ANÁLISIS DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

En esta fase se colocó a prueba todos los diseños realizados previamente y evaluar los percances que se podrían presentar para desde un punto de vista ingenieril analizar y ofrecer una solución a tiempo. De igual forma se estimaron todos los costos que genera y que beneficia la construcción de un sistema de riego con energía solar fotovoltaica. Teniendo en cuenta los cálculos en los diseños agronómico e hidráulico se estimaron los materiales requeridos para el montaje del sistema y se consultaron los precios de éstos. El análisis de costos también tuvo en cuenta todo el factor humano del sistema de riego para un óptimo funcionamiento. Consultados los precios de los materiales necesarios para todo el montaje del sistema se buscó la mejor alternativa económica; todo esto para cuantificar las posibles utilidades que pueden generar los cultivos una vez esté operando el sistema.

7 RESULTADOS Y ANALISIS

7.1 FASE I: CARACTERIZACION DEL SUELO Y CLIMA

7.1.1 Propiedades Físicas Del Suelo

7.1.1.1 Textura

En desarrollo de las etapas del proyecto, se hizo el respectivo análisis de suelo. Como preliminar se realizó una descripción del perfil del suelo, tomando muestras desde los distintos horizontes de este dónde se determinó la textura del suelo, así mismo, los autores determinaron su respectivo color en seco y color en húmedo. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 1. Descripción de los horizontes del suelo

Horizonte	Profundidad (Cm)	Textura			Color	
		%Are	%Lim	%Arc	Seco	Húmedo
A	18	55.59	22.41	22.00	10YR/5/4	7.5YR/3/3
B	57	54.98	17.62	27.40	7.5YR/5/6	7.5YR/3/4

Fuente. Autores

Los datos arrojados en la tabla 1, describen al suelo objeto de estudio del Centro Biotecnológico del Caribe SENA, en su primer horizonte es un suelo medio con una textura franco arcillo arenoso, en cuanto al segundo horizonte se puede inferir que el tipo de suelo es un liviano, con textura franco una arenosa.

7.1.1.2 Infiltración

En cuanto a la determinación de la infiltración se hizo por medio del método del cilindro, siguiendo el proceso se GUROVICH. Recopilados los datos de campo, por medio del modelo de Kostiakov se procedió a determinar la infiltración básica. Los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Infiltración en la zona de cultivo CBC

Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación del agua (cm)	Lamina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lamina acumulada (cm)	Vel de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	25.5		0	0	36
2	2	24.3		1.2	1.2	14
3	5	23.6		0.7	1.9	16.8
5	10	22.2		1.4	3.3	7.2
10	20	21		1.2	4.5	3
10	30	20.5		0.5	5	9
10	40	19		1.5	6.5	9.6
10	50	17.4		1.6	8.1	5.4
10	60	16.5	25.5	0.9	9	6
10	70	24.5		1	10	5.4
10	80	23.6		0.9	10.9	4.8
10	90	22.8		0.8	11.7	4.8
10	100	22		0.8	12.5	4.8
10	110	21.2		0.8	13.3	4.8
10	120	20.5		0.7	14	4.2

Fuente. Autores

Se procedió a tabular los datos de la infiltración acumulada, como se muestra en la tabla 3.

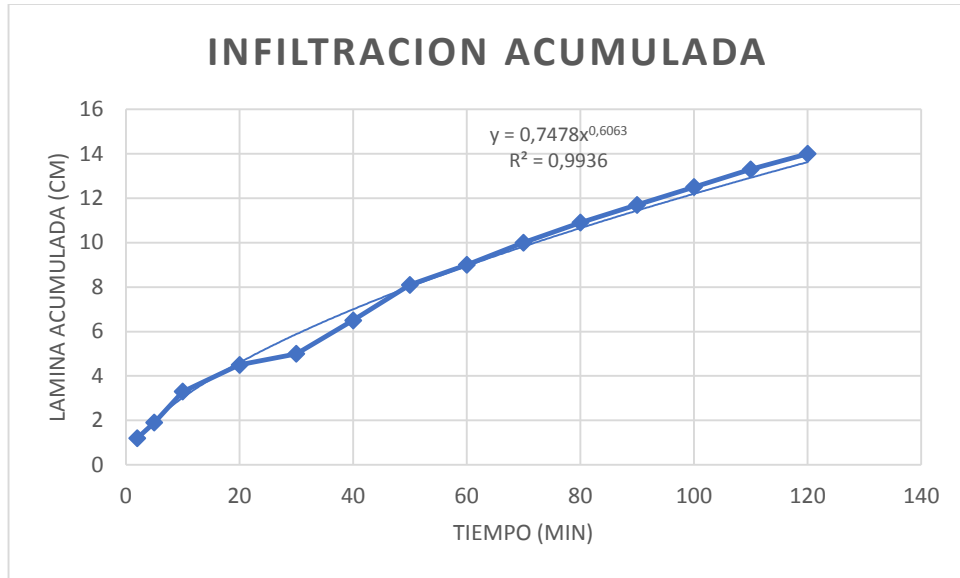
Tabla 3. Infiltración acumulada

Tiempo acumulado (min)	0	2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Lamina acumulada (cm)	0	1.2	1.9	3.3	4.5	5	6.5	8.1	9	10	10.9	11.7	12.5	13.3	14

Fuente. Autores

Con los datos obtenidos de la infiltración acumulada, procedimos a graficar en Excel para obtener la Curva de infiltración.

Figura 15. Curva de infiltración



Con esta grafica determinamos la ecuación de la infiltración acumulada.

Fuente. Autores

Con la ecuación de la infiltración acumulada calculamos el tiempo que se tarda en alcanzar la velocidad de infiltración básica.

T_b = 236 min

Para el tiempo (T_b) se obtiene una infiltración básica de: 31.65 mm/hr

Para el desarrollo del procedimiento de cálculo de infiltración básica ver Anexo C

Tabla 4. Clasificación de la velocidad de infiltración básica.

Clase	Infiltración básica (mm/h)
Muy Lenta	<1
Lenta	1 – 5
Moderadamente Lenta	5 – 20
Moderada	20 – 63
Moderadamente rápida	63 – 127
Rápida	127- 254
Muy Rápida	>254

Fuente. SCCS, 1991.

Esta clase de infiltración indica unas condiciones de desarrollo óptimas para la planta, favoreciendo la absorción de nutrientes a través de sus raíces y previniendo que la planta sufra de estrés hídrico.

7.1.1.3 Densidad

A continuación, la Densidad Real (D_r), la Densidad Aparente (D_a) y la Porosidad (n) los resultados se muestran en la tabla 5, donde la densidad aparente constituye un parámetro muy importante a la hora de diseñar sistemas de riego. Para su cálculo se tomaron las respectivas muestras y los parámetros se determinaron en laboratorios, a continuación, se muestran los resultados:

Tabla 5. Densidad y porosidad

Densidad Real (D_r) (gr/cm^3)	Densidad Aparente (D_a) (gr/cm^3)	Porosidad (n) (%)
2.71	1.82	46.49

Fuente. Autores

Tabla 6. Clasificación de la porosidad

POROSIDAD TOTAL %	INTERPRETACIÓN
<30	Muy baja
30 – 40	Baja
40 – 50	Media
50 – 60	Alta
>60	Muy alta

Fuente. Jordán 2005

7.1.1.4 Capacidad De Campo Y Punto De Marchitez Permanente

Unas de las propiedades más importantes para el diseño de distritos de riego son la Capacidad de Campo (CC) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP). La Capacidad de Campo se midió en campo y se determinó mediante la ecuación de (Bodman y Mahmud). El Punto de Marchitez Permanente se midió cuantitativamente por medio de la ecuación (Máximov) los datos se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 7. Capacidad de Campo y Punto de marchitez

Capacidad de Campo (CC) (%)	Punto de Marchitez permanente (PMP) (%)	Humedad del suelo disponible total $\left[\left(\frac{CC-PMP}{100} \right) \times Da \times 1000 \right]$ (%)
42.21	33.54	157.794

Fuente. Autores.

Tanto la capacidad de campo como el punto de marchitez permanente son parámetros importantes para el cálculo de las láminas de riego y la evapotranspiración de los cultivos, estos toman mucha relevancia la hora de realizar el diseño agronómico de cualquier cultivo.

7.1.2 Propiedades Químicas Del Suelo

Para la determinación de las propiedades químicas del suelo se midieron los parámetros que son importantes a la hora de analizar cómo influye este en el desarrollo de la planta. Para tal efecto se cuantificó el factor *potencial de hidrogeno* (pH) para observar la tendencia de acidez o alcalinidad. De igual forma otro factor importante es la Conductividad Eléctrica (CE) que se relaciona con la cantidad de sales presentes en el suelo.

Las muestras tomadas por triplicado fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Popular del Cesar. Los resultados se muestran a continuación en la tabla 8.

Tabla 8. Clasificación parámetros químicos

Parámetro químico	Unidades de medida	Clasificación
PH (potencial de hidrogeno)	No tiene	<6 ácidos
		6-7 neutro (ideal)
		>7 alcalino
CE (Eléctrica en la solución del suelo)	Decisiemens/m (dS/m)	<2 normal
		2-4 ligeramente salino
		>4 salino

Fuente. Jaramillo, 2007.

Tabla 9. Clasificación de pH y Conductividad eléctrica

Muestra	pH	Clasificación	CE (dS/m)	Clasificación
1	7.36	Normal	0.16	Normal
2	7.08	Normal	0.06	Normal
3	7.24	Normal	0.09	Normal

Fuente. Autores.

Con lo anterior podemos inferir que el suelo presenta unas propiedades químicas y físicas óptimas para el desarrollo de cultivos con un pH ligeramente alcalino lo cual no tiene relevancia para tomar medidas correctivas o preventivas; cuenta con una CE optima que lo ubica dentro de un rango normal, sin presencia de sales que deterioren este. Una infiltración moderada siendo de esta manera una condición óptima para los cultivos.

7.1.3 Diagnostico Clima

7.1.3.1 Estación Climatológica

Para el desarrollo de esta fase se utilizaron los datos del año 2017 facilitados por la estación meteorológica APTO Alfonso Lopez (28025502), ubicada en el Aeropuerto Alfonso López, jurisdicción del municipio de Valledupar. Esta se encuentra a 138

msnm, una latitud de 10.436167 y una longitud de -73.247667. En consiguiente se tomaron los datos de promedios mensuales de las variables de interés como lo son: temperaturas máximas y mínimas, precipitaciones, humedad relativa, entre otros, necesarios para los cálculos de este primer objetivo. A continuación, en la tabla 10 se muestran los datos de la estación.

Tabla 10. Diagnostico variables climáticas 2017

Meses	Temp. Mínima (°C)	Temp. Máxima (°C)	Humedad (%)	Viento (m/s)	Precipitación (mm)	Insolación (Horas)
Enero	21	37.6	54	4.6	2.3	9.7
Febrero	22.2	38.8	49	4.7	1	9.4
Marzo	22.6	37.5	59	4.4	97.2	10.3
Abril	23.4	41.2	62	3.3	52	10.7
Mayo	22.2	37.6	72	2.5	112.3	10.3
Junio	22.2	37.6	73	2.8	181.1	11.0
Julio	22.4	37	71	2.9	111.7	11.2
Agosto	21.4	37	75	2.5	126.3	11.2
Septiembre	22	35.8	79	2.2	231.3	9.9
Octubre	22.4	37.6	77	2.3	159.5	10.0
Noviembre	22.7	35.3	78	2.5	106.6	8.4
Diciembre	21.2	36.4	59	4.4	9.7	9.3
Promedio/total	22.14	37.45	67.33	3.26	1191.6	10.1

Fuente. IDEAM

Los datos presentados en la anterior tabla corresponden a una serie de datos del año 2017, utilizados para realizar los diseños para una prueba piloto de cultivo de pimiento

7.2 FASE II: CARACTERIZACION DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO

7.2.1 Parámetros físico-químicos de la fuente

En la tabla 11 se pueden observar los resultados obtenidos por triplicado del análisis físico químico del agua para riego:

Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos de agua para riego

Parámetro	Resultado	Unidades
Conductividad	120	uS/cm
SDT	60	mg/l
pH	7,53	
Na Mg Ca	0,23 0,43 0,74	meq/l
RAS	0,30	-----

Fuente. Autores.

7.2.1.1 Salinidad

El aumento de la concentración de sales en el suelo puede ser causado por el agua utilizada en el riego, causando una disminución del potencial osmótico de este dificultándole la correcta absorción del agua a las plantas por esto es un parámetro de vital importancia que debemos tener en cuenta para el correcto aprovechamiento del sistema de riego.

Tabla 12. Clasificación de amenaza de salinidad del agua de riego

INDICE DE SALINIDAD	CE (mmhos/cm)	AMENAZA DE SALINIDAD
1	<0,75	Baja
2	0,75-1,5	Media
3	1,5-3,0	Alta
4	>3,0	Muy alta

Fuente. Pizarro, 1996.

La conductividad eléctrica (CE) obtenida para este caso fue de 120 uS/cm que es equivalente a 0.12 mmhos/cm, indicando así que la fuente de abastecimiento presenta una **BAJA** amenaza de salinidad.

7.2.1.2 Obturación

Es importante tener en cuenta este aspecto en los sistemas de riego localizados, para prevenir la obturación de los goteros a causa de partículas coloides presentes en el agua de riego. En la tabla 13 podemos observar los valores de los parámetros químicos de calidad de agua para evaluar la amenaza por obturación en riego localizado.

Tabla 13. Clasificación de amenaza por obturación

PARAMETRO	UNIDAD	AMENAZA		
		Reducida	Media	Alta
pH		<7,0	7,0 - 8,0	> 8,0
Solidos Disueltos	mg/L	<500	500 - 2000	>2000

Fuente. Pizarro, 1996

Teniendo en cuenta los datos obtenidos para la fuente de abastecimiento podemos inferir que:

Para el pH = 7.53 tenemos una amenaza de obturación MEDIA.

Para los Solidos Disueltos = 60 mg/L, presenta una obturación REDUCIDA.

7.2.1.3 Sodicidad

El sodio se incorpora al suelo y deteriora su estructura; los agregados del suelo se dispersan en partículas pequeñas que tapan o sellan los poros y evitan que el agua pueda circular e infiltrarse con facilidad. (FAO, 2007). Es por esto importante

conocer la cantidad de sodio presente en el agua de riego, esto lo podemos determinar a través del índice RAS (relación de absorción de sodio).

Con en la RAS y la Conductividad Eléctrica (CE) podemos determinar el grado de amenaza por sodicidad del agua de riego a través de la tabla 14.

Tabla 14. Clasificación de la sodicidad según la relación SAR y CE

Clasificación	RAS	
	CE=0,1 - 0,75mmhos/cm	CE>CE=0,75mmhos/cm
S.1 baja sodicidad	0 - 10	0 - 6
S.1 baja sodicidad	10 - 18	6 - 12
S.1 baja sodicidad	18-26	12 - 18
S.4 Muy Alta Sodicidad	>26	>18

Fuente. Pizarro, 1996.

Según los resultados obtenidos de la fuente abastecimiento (RAS = 0.30 y CE = 0.12 mmhos/cm) podemos inferir que el agua para el riego es de **S.1 BAJA SODICIDAD**, lo que representa una baja amenaza por sodicidad.

7.3 FASE III: DISEÑO AGRONÓMICO (DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA).

Se determinaron los parámetros requeridos para calcular la demanda hídrica del cultivo teniendo en cuenta el procedimiento planteado en la metodología. Es importante resaltar que para el diseño de esta fase se tomaron los datos climatológicos de la estación de referencia con una serie anual del año 2017 proporcionados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) por el motivo de que el estudio es un proyecto escala a piloto. Los cálculos siguen a continuación:

7.3.1 Cálculo De La Precipitación Efectiva (pe).

Para determinar este parámetro se hizo uso del software libre CROPWAT 8.0 propiedad de la FAO que tiene en cuenta el método USDA S.C, con una probabilidad de excedencia del 75%, teniendo en cuenta los datos de precipitación, tomados de la estación meteorológica de referencia, ubicada en el Aeropuerto Alfonso López Pumarejo. Lo datos obtenidos se pueden observar en la tabla 15.

Tabla 15. Precipitación efectiva con probabilidad de excedencia al 75 %

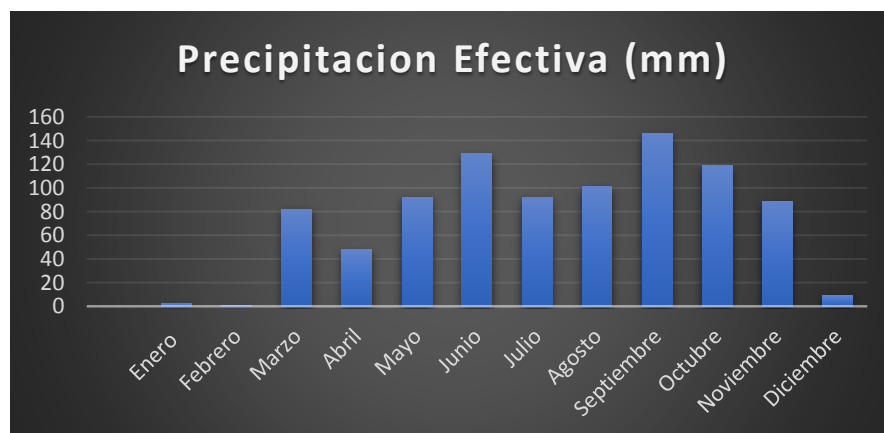
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Tot
Precipitación efectiva (mm)	2.3	1.0	82.1	47.7	92.1	129	91.7	101	146	119	88.4	9.5	910

Datos tomados del IDEAM 2017 y procesados por Cropwat.

Fuente. Autores.

Con los datos obtenidos anteriormente los autores hicieron una representación gráfica de la Precipitación Efectiva, para efectos de un mejor entendimiento, como se observa en la gráfica 1.

Grafica 1. Precipitación efectiva



Fuente. Autores, 2019

7.3.2 Cálculo De La Evapotranspiración Potencial (ETo).

La ETo se determinó a través del CROPWAT 8.0, teniendo en cuenta los datos obtenidos de la estación meteorológica; es importante recalcar que este software emplea el método de Penman-Monteih para la estimación de la ETo. En la tabla 16 se pueden observar los datos obtenidos junto con la radiación obtenida también a través del software para las condiciones de estudio.

Tabla 16. Valores de la curva de probabilidad de excedencia al 50%.

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Prom
Radiación (MJ/m2/día)	23.5	24.8	24.4	26.7	24	23.2	22.3	24.1	23	23.5	20.4	21.8	23.5
ETo (mm/día)	8	8.98	7.88	8.13	6.27	6.18	6.17	6.05	5.43	5.80	4.98	7.10	6.75

Fuente. Autores.

7.3.3 Plan De Cultivos

La zona objeto de estudio cuenta con un único cultivo: el Pimiento dulce. En este plan se describen patrones de cultivo de acuerdo a las fechas de siembra y periodo vegetativo. Todo lo anterior se definió de acuerdo a la guía N° 56 Riego y Drenaje de FAO y por supuesto el software CROPWAT 8.0 (FAO, 2006).

Tabla 17. Plan de cultivos

Cultivo	Siembra		Cosecha		
Pimiento	30/05		01/10		
	inicial		medio	final	total
Kc	0.60		1.05	0.90	
Etapas (días)	30	35	40	20	125
Prof. Radicular (m)	0.25			0.80	
Agotamiento crítico (Fracción)	0.20		0.30	0.50	

Fuente. Autores

7.3.4 Cálculo Del Requerimiento De Riego Para El Cultivo.

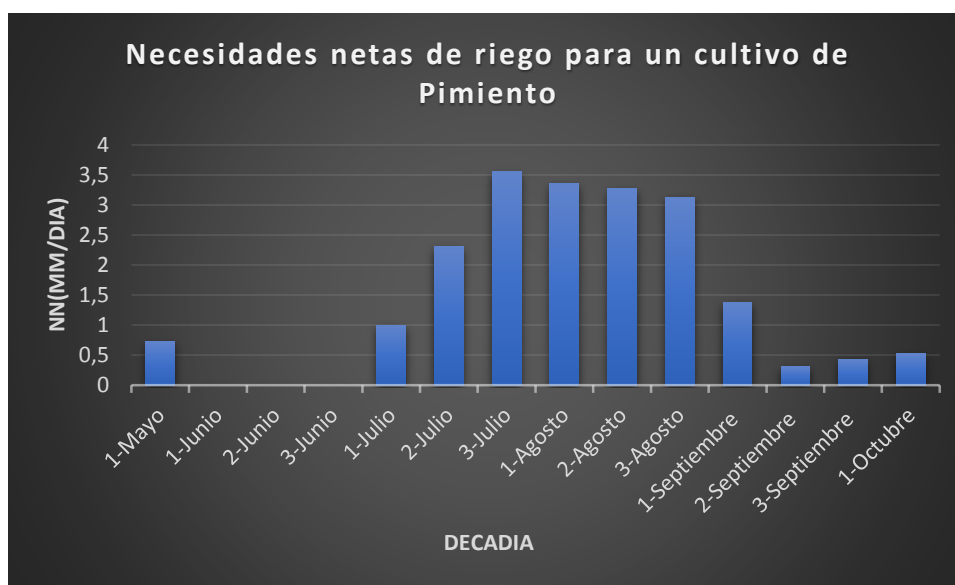
El requerimiento de riego se determinó a través del CROPWAT 8.0 que tiene en cuenta la etapa del cultivo y su respectivo coeficiente (Kc) para calcular la Evapotranspiración del cultivo (ETc) y junto con la precipitación efectiva (Pe) determinar el requerimiento de riego.

Tabla 18. Requerimiento de riego para el cultivo

mes	Mayo			Junio			Julio			Agosto			Septiembre			Oct	Total
Década	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	3			
Eto (mm/mes)	194	185			191			187			162			179			
Eto (mm/día)	6.27	6.18			6.17			6.05			5.43			5.80			
Kc	0.60	0.60	0.60	0.60	0.70	0.83	0.98	1.07	1.07	1.07	1.07	1.03	0.95	0.91			
ETc (mm/día)	3.67	3.73	3.71	3.73	4.32	5.15	5.98	6.50	6.47	6.25	5.96	5.51	5.22	5.20			
ETc (mm/dec)	7.3	37.3	37.1	37.3	43.2	51.5	65.8	65.0	64.7	68.7	59.6	55.1	52.2	5.2	649.9		
P Efec (mm/dec)	6.4	41.2	46.5	41.2	33.3	28.4	30.2	31.5	31.9	37.5	45.8	52.0	47.8	4.3	477.9		
Nn (mm/dec)	7.3	0.0	0.0	0.0	10.0	23.1	35.6	33.5	32.7	31.3	13.7	3.1	4.3	5.2	199.9		
Nn (mm/día)	0.73	0.0	0.0	0.0	1	2.31	3.56	3.35	3.27	3.13	1.37	0.31	0.43	0.52			

Fuente. Autores

Grafica 2. Necesidades Netas de cultivo



Los intervalos de tiempo están dados en decada (cada diez días).

Fuente. Autores

De la tabla 18 se puede observar que el máximo requerimiento de riego se da para el Decadía 3 del mes de Julio, lo que corresponde a un requerimiento diario de 3.56 mm/día. Cabe destacar que las necesidades netas varían de acuerdo al tiempo atmosférico de cada mes, y por supuesto, de la etapa en la que se encuentre el cultivo.

7.3.5 Eficiencia Del Proyecto

La eficiencia del proyecto se determinó de acuerdo al sistema de riego a implementar en la zona objeto de estudio. El porcentaje de eficiencia se adoptó de acuerdo a las recomendaciones del GRUPO REGAR en su estudio DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE UN MINI-DISTRITO DE RIEGO PARA LOS CORREGIMIENTOS LA PALMA Y TRES PUERTAS, MUNICIPIO DE RESTREPO (VALLE DEL CAUCA) (GRUPO REGAR, 2007) y siguiendo rigurosamente las especificaciones técnicas hechas por la FAO (FAO, 2006)

Tabla 19. Eficiencia de los sistemas de riego

Sistema de riego	Eficiencia de aplicación
Gravedad	30-50%
Aspersión	50-70%
Micro-aspersión	65-80%
goteo	80-95%

Fuente. Adaptado de Grupo Regar, 2007

El sistema implementado es el sistema de riego por goteo debido a su gran eficiencia de aplicación, lo que se buscó es que se utilizara de manera eficiente el recurso hídrico por lo que cada gota aplicada es una gota aprovechada (AGROVOZ, 2016), los sistemas de riego por goteo o riego localizado riegan directamente la superficie de la planta evitando de esta forma que se desperdicie la menor cantidad de agua por m².

Para el diseño de la red de conducción y distribución se tomó un valor de eficiencia del 95% puesto que se trata de PVC.

Tabla 20. Valores de eficiencia para el cultivo dado

Cultivo	Sistema de riego	Eficiencia del proyecto	Uniformidad de riego
Pimiento	Goteo	0.90	0.90

Fuente. Autores

Tabla 21. Valores para caracterizar CU

Clasificación	Rango (%)
Excelente	90-100
Bueno	80-90
Aceptable	70-80
Inaceptable	<70

Fuente. Merriam y Keller (1978), adaptado de (González y Estrada, 2011)

7.3.6 Necesidades Brutas De Riego

Tomando como premisa las necesidades netas del cultivo, la eficiencia del sistema de riego y la uniformidad del mismo, se procede a calcular las necesidades brutas o totales del cultivo.

Aunque la amenaza por salinidad es baja, cabe destacar que para el cálculo de las necesidades brutas se tuvieron presentes estos parámetros tanto para suelo como para agua debido a que hay que considerar una fracción de lavado para que no se acumulen sales, que pueden causar taponamiento en los poros y de esta manera puedan afectar el cultivo.

Tabla 22. Necesidades brutas de riego

Mes	Mayo			Junio			Julio			Agosto			Septiembre			Octubre	Total
Dec	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1			
Nn (mm/dec)	7.3	0.0	0.0	0.0	10	23.1	35.6	33.5	32.7	31.3	13.7	3.1	4.3	5.2			
Nn (mm/mes)	7.3			0.0			68.7			97.5			21.1	5.2			
Nn (mm/ día)	0.73	0.0	0.0	0.0	1	2.31	3.56	3.35	3.27	3.13	1.37	0.31	0.43	0.52			
LR	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67			
Cu	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90			
Nb(mm/dec)	24.57	0.0	0.0	0.0	33.7	77.7	120	113	110	105	46.1	10.4	14.4	17.5			
Nb(mm/mes)	24.57	-	-	-			231			328			71	17.5	672		
Nb(mm/día)	2.457	0.0	0.0	0.0	3.37	7.77	11.9	11.2	11	10.5	4.61	1.04	1.44	1.75			

Fuente. Autores

Grafica 3. Necesidades brutas de cultivo



Fuente. Autores

De la tabla 22 se puede observar que el máximo requerimiento bruto de riego se da para el Deca-día 3 del mes de Julio, lo que corresponde a una lámina de 11.9 mm/día de igual forma cabe resaltar que la lámina de agua es variable con respecto al tiempo atmosférico mensual

A continuación, se presentan los cálculos obtenidos para el diseño agronómico del cultivo de Pimiento Dulce.

Tabla 23. Diseño agronómico para cultivo de pimiento en CBC Sena

Datos de entrada			
Variable	Abreviatura	Valor	Unidades
Necesidad neta de riego	NnR	3,56	mm/día
Coefficiente de uniformidad	Cu	0,90	adimensional
CE agua de riego	CEaguariego	0,12	ds/m
CE del suelo	CEsuelo	0,09	ds/m
Distancia entre surcos	DES	1,00	m
Distancia entre plantas	DEP	0,40	m
Profundidad radicular	Pr	0,85	m
Porcentaje de traslape	a	30	%
Eficiencia de aplicación	Ea	90	%
Porcentaje de área a mojar	P	70	%
Cálculos previos			
Lamina de lavado sales	LR	0,67	adimensional
(1-Ea)		0,1	adimensional
K		0,67	adimensional
Rango mínimo de profundidad de bulbo húmedo	Pb	0,765	m
Rango máximo de profundidad de bulbo húmedo	Pb	0,935	m
Prueba de bulbo húmedo			
Caudal de diseño del gotero	qe	1,1	lph
Diámetro mojado por el bulbo	d	0,34	m
Profundidad del bulbo húmedo	Pb	0,78	m
Volumen aplicado	Va	1,08	l
Diseño agronómico			
Necesidad total del cultivo	Nt	11,87	mm/día
Necesidad diaria del cultivo	Nd	4,75	l/día-planta
Área mojada por un emisor	Ae	0,09	m ²
Numero de emisores por planta	e	3,08	emisores
Numero de emisores por planta Ajustado	e	3	emisores
Frecuencia de riego	Fr	0,68	días
Frecuencia de riego ajustada	Fr'	1,00	días
Tiempo de riego	tR	1,44	hora
Separación máxima entre emisores	Smax	0,29	m

Fuente. Autores

7.4 FASE IV: DISEÑO HIDRAULICO DEL SISTEMA DE RIEGO.

Para el diseño del componente hidráulico del sistema de riego se siguió la metodología del manual de sistema de riego por goteo (MENDOZA, 2013) este componente consta de los cálculos de diámetros, perdidas de carga, caudales, cabeza dinámica, entre otros parámetros necesarios para el diseño. En sus respectivos laterales, múltiples y primaria.

Para el cálculo de este componente se tuvo en cuenta obviamente los parámetros agronómicos determinados en el capítulo anterior.

Para el diseño del sistema se tomó la línea de gotero multi-estacional DP Line el cual es un gotero integrado, para sistemas económicos y flexibles el cual permite minimizar las pérdidas de carga y una entrega más homogenizada.

Tabla 24. Especificaciones técnicas del modelo de emisor escogido para el goteo.

Caudal emisor	1.1	L/H
Separación entre emisores	0.20	Cm
Diámetro del lateral	13.8	mm
espesor	9	mm
Constante beta (β)	1.85	Adimensional
Factor de perdida	1	Adimensional
Coefficiente de variación del emisor (CV)	0.03	Adimensional
Coefficiente de uniformidad (CU)	0.9	Adimensional
Presión mínima nominal	10	M.C.A
Exponente de descarga (x)	0.5109	Adimensional
Coefficiente de descarga (K)	0.3452	Adimensional
Fe	0.23	Adimensional

Fuente. Adaptado del fabricante

En cuanto al coeficiente de uniformidad (CU) se refiere se toma un valor del 90% debido a que la topografía del terreno es uniforme. Ya que según (MENDOZA, 2013) para propósitos de diseño los rangos recomendados de valores de CU a ser utilizados son los siguientes:

Tabla 25. Rangos recomendados de valores de CU

Para goteros en cultivos permanentes	
Topografía uniforme	86 < CU < 90
Topografía irregular u ondulada	84 < CU < 90

Fuente. Mendoza, 2013

Con los datos anteriores se procedió a realizar los cálculos hidráulicos y demás componentes en los laterales, presentados en la tabla 26.

Tabla 26. Diseño hidráulico para cultivo de pimiento en CBC Sena

Tolerancia de presiones			
h_a		9.66	m.c.a
q_m		1.01	lph
h_{min}		8.17	m.c.a
ΔH		3.73	m.c.a
ΔP		5.30	PSI
LATERALES			
Coeficiente de Christiansen	F_c	0.367	Adimensional
Perdida de carga en tubería lateral	H_{tal}	1.85	m
Diámetro	d	13.6	mm
Numero de goteros por lateral	n	150	emisores
Caudal de lateral	q_L	165	lph
Longitud del lateral	L	64.5	m
Perdida de carga unitaria	J	1.49	m/m
Perdida de carga unitaria corregida	J'	3.2	m
Perdidas por fricción en la tubería	h_f	0.76	m
Carga a la entrada del lateral	h_L	10.23	m
Carga al final del lateral	h_n	9.47	m
Diferencia de carga entre la entrada y el final	Δh_f	0.76	m
$\Delta h_f < H_{tal}$		0.76 < 1.85	cumple
MÚLTIPLE			
Numero de laterales por tramo	$N_{múltiple}$	12	---

Longitud del múltiple	$L_{\text{múltiple}}$	7.4	m
Caudal del múltiple	$Q_{\text{múltiple}}$	1980	lph
Diámetro del múltiple	d	54.48	mm
Perdida de carga unitaria	J	0.14	m/m
Perdida de carga unitaria corregida	J'	0.17	m/m
Coefficiente de Christiansen	F_c	0.407	Adimensional
Perdidas por fricción	H_f	0.01	m
Carga a la entrada del múltiple	H_M	10.24	m
Carga al final del múltiple	H_n	10.23	m
Diferencia de carga entre la entrada y el final	ΔH_f	0.01	m
Pérdidas totales en la subunidad	H_{sub}	0.77	m
Perdidas en el cabezal de riego	h_{cabezal}	1.1	m.c.a
Perdidas en conducción	$hf_{\text{conduccion}}$	0.06	m
Cabeza dinámica total	CDT	12.17	m

Fuente. Autores

7.4.1 Dimensionamiento Del Equipo De Bombeo

Teniendo en cuenta la cabeza dinámica total requerida por el sistema se determinó el equipo de bombeo requerido para este.

7.4.1.1 Caracterización Hidráulica De La Fuente De Abastecimiento

Teniendo en cuenta el diseño hidráulico del sistema de riego se determinó la bomba que cumpla con las características necesarias del proyecto, no sin antes tener en cuenta la fuente de abastecimiento.

Como ya se ha explicado en las fases anteriores la fuente de abastecimiento es un tanque de 10 m³, esta cuenta con un sistema integrado por una bomba solar con un sensor que no permite que el agua descienda a más de 8 m³. El sistema cuenta con un equipo de filtrado previamente diseñado para evitar obstrucciones en el sistema y/o daño del equipo de bombeo. Para examinar y caracterizar la fuente en la zona objeto de estudio se determinó el Q que llega por la línea de aducción desde el tanque hasta donde se localiza la zona de cultivo, para lo cual se hicieron las siguientes mediciones:

Tabla 27. Medición de caudal en la fuente de abastecimiento

Medición	Vol. de llenado (litros)	Tiempo (seg)
1	10	17
2	10	16
3	10	16
Promedio.		16.33

Fuente. Autores

Teniendo en cuenta la anterior información podemos inferir que la línea de aducción tiene un caudal de salida de 0.61 l/s

7.4.1.2 Determinación Y Selección De La Bomba

Tabla 28. Características de la bomba solar

Altura dinámica	H_B	12.17	m
Densidad del agua	ρ	1000	Kg/m^3
Coefficiente de gravedad	g	9.81	m/seg^2
caudal	Q	0.61×10^{-3}	m^3/seg
potencia	P	72,82	$Kg \times m^2/seg^3$
Potencia teórica	Hp	0,10	

Fuente. Autores

De la tabla podemos inferir que se necesita una bomba de 0.10 Hp para impulsar el líquido a una altura de 12.17 m

7.4.2 Tanque de Almacenamiento

Una vez determinado el equipo de bombeo y teniendo en cuenta el caudal de los laterales para el suministro de agua de la planta, se procedió a escoger el depósito del almacenamiento de agua que para efectos prácticos será este el que proporciona el agua al cultivo por gravedad. El depósito escogido es un tanque de 2000 litros proporcionado por el Centro Biotecnológico del Caribe., cuya cabeza estática o altura real es de 10 metros que sumadas las pérdidas da una cabeza dinámica total de 12.17 m, (ver tabla 26) además hidráulicamente también se determinó su tiempo de llenado (ver pag. 101)

7.5 FASE V: DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR SOLAR

Teniendo en cuenta los diseños agronómico e hidráulico previamente realizados, los autores procedieron a hacer el cálculo de todo el dimensionamiento del equipo solar basados en el procedimiento de (Ingemecanica, 2016) teniendo en cuenta la siguiente información:

Como ya es sabido el sistema de riego con energía solar fotovoltaica se realizará en el Centro Biotecnológico del Caribe SENA, el cual se encuentra en el Km 7 vía a La Paz Cesar, la parcela donde se hará la prueba piloto presenta las siguientes coordenadas DMS (Grados, Minutos, Segundos):

Latitud: 10° 24' 11" N

Longitud: 73° 14' 18" O

Cota de terreno: 120 m

La parcela del terreno, según muestra la imagen adjunta es de topografía relativamente plana y previamente destinada a cultivar.

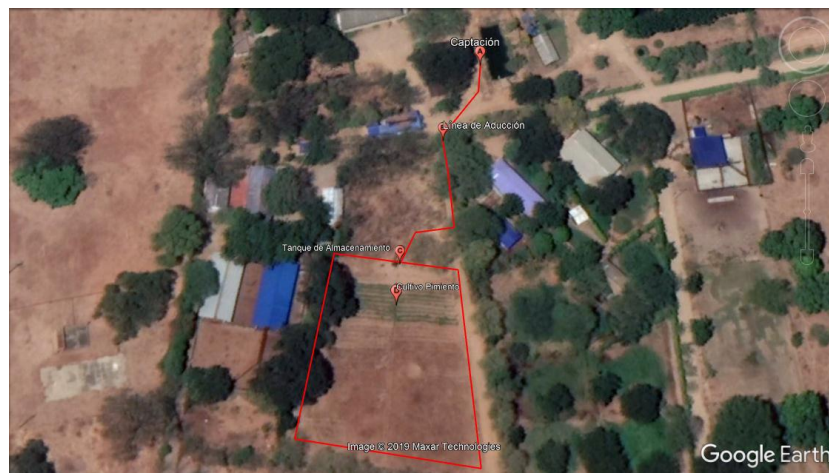


Figura 16. Cuadro de cultivo

Fuente. Adaptado de Google Earth, 2019

La separación entre plantas como ya se ha calculado en el diseño agronómico es de 0.40 m.

El área del terreno donde se hará la prueba piloto es de 350 m² donde se sembraron aproximadamente 750 plantas.

7.5.1 Requerimientos del Equipo de Bombeo de Agua

Según se ha indicado en el diseño agronómico las necesidades hídricas para un cultivo de pimiento es de 4.75 l/día.Planta

De lo cual podemos inferir teniendo en cuenta el área de la parcela y el número de plantas un Q total de 3562.5 l/día (3.56 m³/día)

De esta misma forma suponiendo que durante todas las etapas del cultivo los módulos solares funcionen a una media de 6 horas diarias y a plena carga, resultan un caudal horario de:

$$Q = 3.5 \text{ m}^3 / 6 \text{ horas} = 0.6 \text{ m}^3/h$$

Por lo tanto, podemos inferir que necesitamos un equipo de bombeo capaz de entregarnos 0.6 m³/h

Con los anteriores datos y teniendo en cuenta también el diseño hidráulico, el CBC proporcionó una bomba con las siguientes características:

Tabla 29. Ficha técnica bomba solar

Parámetros del producto								
Rendimiento			ZL50-20G					
Modelo								
Rango de tensión de funcionamiento			DC: 6-24 voltios					
Potencia nominal			6 voltios: 10-18 vatios / 12 voltios: 10-40 vatios / 24 voltios: 30-95 vatios					
Cabeza estática			2-15 metros					
Tráfico estático			10-35 l / min					
Vida de servicio máxima			24 horas bajo condiciones de trabajo normales, vida > 10000 horas					
Ambiente de trabajo			PH líquido aplicable: ácido débil, neutro, base débil. Anfíbio					
Ruido máximo			Condición de trabajo normal, la bomba está a 1 metro del probador <50 dB					
Temperatura máxima de trabajo			Control trifásico integrado, temperatura ambiente del medio líquido ≤ 90 ° C bajo temperatura ambiente normal					
Uso principal			Suministro de agua de gran altura, rociadores de jardín, riego, etc					
Tamaño			Nivel de protección	Entrada		Salida de agua		Observaciones
Longitud (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)		Diámetro externo (pulgada)	Diámetro interno (mm)	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interno (pulgada)	Hilo estándar de entrada y salida
63	63	146	IP68	G1 " tubería estándar roscada	φ25	φ25	G1 " tubería estándar roscada	

Fuente. Adaptado del fabricante

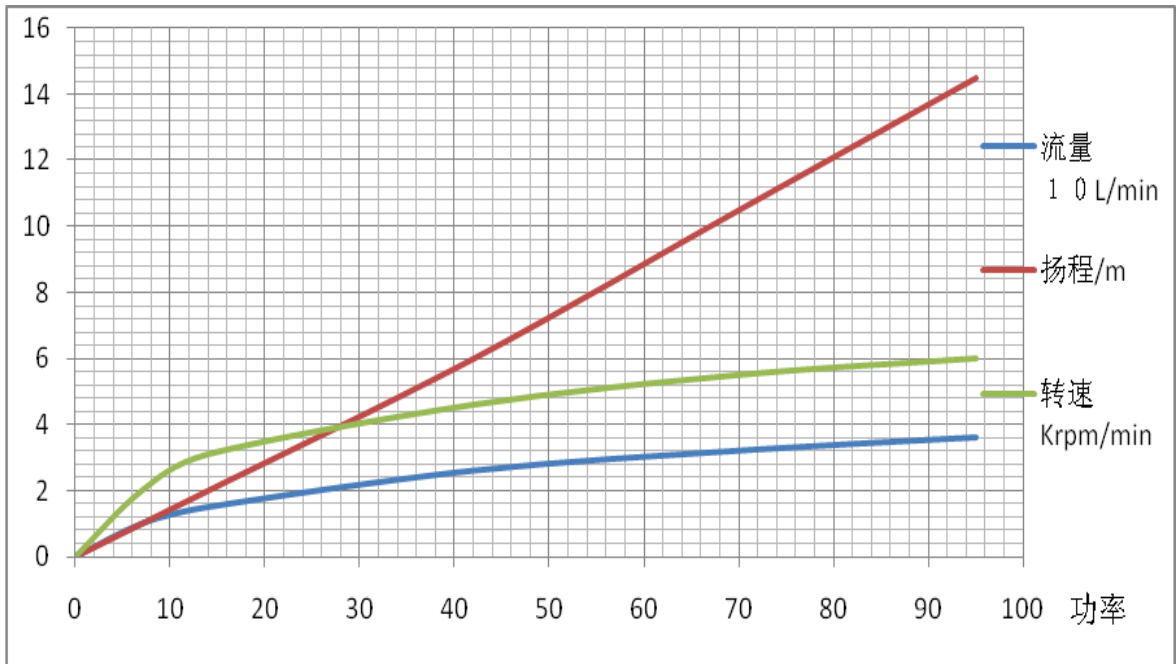


Figura 17. Curva característica bomba solar

Fuente. Adaptado del fabricante, 2018

Convenciones del gráfico:

- — Velocidad (Krpm/min)
- — Caudal (L/min)
- — Cabeza dinámica (m)

Teniendo en cuenta la potencia de la bomba proporcionada que difiere en cuanto a la potencia de la calculada en el diseño hidráulico los autores se fijaron en la altura de impulsión de esta, sin embargo, los autores realizaron pruebas que se mostrarán más adelante teniendo en cuenta el caudal proporcionado por esta a la CDT necesaria.

7.5.2 Cálculo De La Instalación Solar Fotovoltaica

7.5.2.1 Radiación Solar Disponible

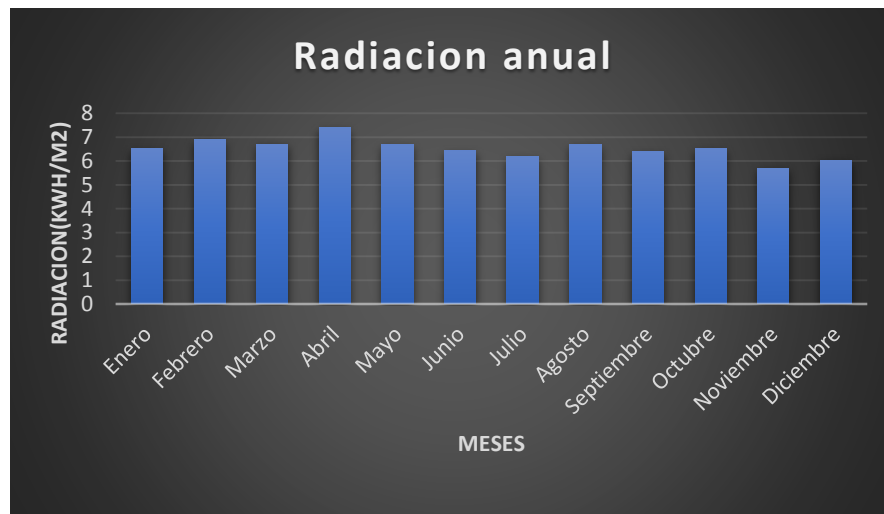
El conocimiento de la radiación solar disponible en donde se va a realizar la instalación solar fotovoltaica es importante, tanto como para conocer la energía disponible y así mismo analizar el comportamiento de los componentes del sistema. Recordemos que en el diseño agronómico por medio del programa CROPWAT 8.0 FAO se calculó la radiación solar teniendo en cuenta las coordenadas del punto en donde se instalara el sistema de riego

Tabla 30. Radiación solar disponible

Mes	Radiación (MJ/m ² /día)	Radiación (kWH/ m ²)
Enero	23.5	6.53
Febrero	24.8	6.9
Marzo	24.4	6.7
Abril	26.7	7.41
Mayo	24.0	6.67
Junio	23.2	6.44
Julio	22.3	6.19
Agosto	24.1	6.69
Septiembre	23.0	6.4
Octubre	23.5	6.52
Noviembre	20.4	5.7
Diciembre	21.8	6.05
promedio	23.5	6.52

Fuente. Cropwat, 2017

Grafica 4. Radiación anual



Fuente. Autores

Los meses de interés para el proyecto son los meses en los que opera el sistema de riego durante todas sus etapas de crecimiento los cuales son desde Mayo hasta Octubre. Para los cuales se tomó el mes más desfavorable el cual es Julio con una radiación de 6.19 kWh/ m²

El consumo horario de la bomba es de 91.2 W y se pretende usar aproximadamente 6 horas al día para compensar el vaciado y llenado del tanque de almacenamiento. Teniendo en cuenta que el sistema es aislado y solo funcionara en horas sol no es necesario dimensionar el banco de baterías ni el regulador de carga.

Se utiliza el concepto de HSP (horas sol pico) que es el número de horas equivalente que tendría que brillar el sol a una intensidad de 1 KW /m² para obtener la insolación total de un día, lo que quiere decir que una HSP equivale a 1KWh/m².

7.5.2.2 Determinación De Las Horas De Sol Pico (Hsp)

La determinación de las horas sol pico se calcula para el mes más desfavorable, que es el mes de Julio.

$$HSP = \text{Radiación} / (1KW/m^2)$$

$$HSP = (6.19 KWH/m^2) / (1KW/m^2)$$

$$HSP = 6 \text{ horas}$$

7.5.2.3 Potencia Pico Necesaria (pp)

Calculamos la potencia pico necesaria para el sistema

$$Pp = \text{Consumo de la bomba} * \text{Horas de uso}$$

** Factor de corrección por perdidas en el sistema.*

$$Pp = 91.2 W * 6 \text{ horas} * 1.2$$

$$Pp = 656.64 W/h$$

Calculando la potencia pico del sistema para HSP = 6 horas,

$$Pp = (656.64w/h) / 6h$$

$$Pp = 109.44 W$$

7.5.2.4 Panel Solar Fotovoltaico

Teniendo en cuenta la potencia pico necesaria quiere decir que necesitaremos una potencia de 109.44 W en paneles, pero teniendo en cuenta que la bomba trabaja con un rendimiento óptimo a 24 Vdc por lo tanto para no elevar los costos y utilizar paneles en serie; optamos por buscar en el mercado un panel de 24 Vdc que se adapte al requerimiento de la bomba; el panel que mejor se adapta a estas condiciones es de 200 W - 24 Vdc - Tipo Policristalino.

Tabla 31. Ficha técnica panel solar fotovoltaico

Tamaño del modulo	1332 x 992 x 35 mm
Tipo de célula	Policristalina 104 x 156 mm
Número de células	72 (6x12)
Potencia máxima (Wp)	200W
Tolerancia de potencia	±3%
Voltaje en circuito abierto (Voc)	44.5V
Intensidad cortocircuito (Isc)	5.81A
Voltaje a máxima potencia (Vm)	36.5V
Intensidad a máxima potencia (Im)	5.48A
Fusible máximo serie	10A
Numero de diodos	3
Longitud tipo cable	90cm, 4mm ²
Condiciones del test	1000W/m ² , 25°C, AM 1.5
Voltaje máximo sistema	1000Vdc
Coefficiente temperatura – Isc	+0.08558%/°C
Coefficiente temperatura – Uoc	-0.29506%/°C
Coefficiente temperatura – Pmpp	-0.38001%/°C
Temperatura normal trabajo célula	45°C
Eficiencia del modulo	15.1%
Certificados de producto	TUV(IEC 61215, IEC 61730), CE, ROHS
Peso	14.2Kg

Fuente. Adaptado del fabricante

7.5.2.5 Protección Contra Sobrecarga

Teniendo en cuenta que el consumo de la bomba es de 91.2W a 24v, calcularemos la intensidad de corriente en el circuito.

$$I = \text{Potencia}/\text{Voltaje}$$

$$I = 91.2W / 24v$$

$$I = 3.8 A$$

Es decir, un fusible en línea de 5A es el adecuado para proteger la bomba de posibles sobrecargas.

También se dispone de un interruptor de corriente para controlar el encendido de la bomba.

7.5.2.6 Disposición Del Modulo

La disposición del módulo, definidos por su orientación e inclinación debe hacerse de tal manera que se aproveche al máximo la radiación solar incidente.

Para el desarrollo de este estudio se hizo uso de módulos solares fijos montados en una estructura metálica por su economía y su facilidad de instalar.

La determinación de la posición del módulo se determina de manera en que se aproveche al máximo la radiación solar para que este trabaje con la máxima eficiencia y evitar que cualquier objeto le haga sombra. La orientación del panel se hará de tal manera de que este apunte siempre al ecuador terrestre. En el caso de nuestra posición geográfica (hemisferio norte) debe colocarse apuntando “mirando” hacia el sur geográfico.

Para las instalaciones que se sitúen en el hemisferio norte, como es el caso de este estudio, la orientación se define por el ángulo llamado azimut (α), que es el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano (orientación sur) del lugar (Ingemecanica, 2016). Debido a que el módulo está orientado hacia el sur este toma un valor de 0° .

Por otro lado, el valor del ángulo de inclinación se determina de acuerdo al tiempo de uso de la instalación. Para efectos prácticos los autores consultaron con el administrador del Centro el cual expreso que la idea era dejar el sistema operando durante todo el año. De acuerdo a lo anterior cuando se pretende que la instalación se use todo el año con un rendimiento aceptable, coincide aproximadamente con la latitud del lugar donde se instale (Ingemecanica, 2016) por lo tanto:

Tabla 32. Orientación e inclinación de los módulos solares

Orientación Sur (Azimut, α)	Inclinación (β)
0°	10°

Fuente. Autores

Sin embargo el módulo solar variara con respecto a una inclinación entre los 10° y los 15° para efectos de auto-lavado. En todo caso, se recomienda que la inclinación no sea menor a los 10° con respecto a la superficie horizontal (Leon, 2017).

En países como Colombia las consecuencias de desviaciones de las inclinaciones óptimas son poco importantes. El ángulo de inclinación de los módulos es pequeño y poco se desvía del ángulo promedio de incidencia sobre la irradiación solar (REY, 2017), de igual forma es mejor dejar que los módulos siempre miren al sol.

Cabe resaltar que el terreno donde se coloca el módulo solar es relativamente plano por lo cual no se tendrá mayor inconveniente con la correcta colocación de este.

7.6 FASE PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA Y ANÁLISIS DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

Teniendo ya todas las fases que componen el sistema, una de las fases más importantes es la de puesta en marcha ya que esta fase nos mostró si los diseños están correctamente realizados.

Una vez encendido todo el sistema los parámetros más importantes a analizar son: El Q (caudal) real que entrega la bomba solar donde también se calculó el tiempo de llenado teórico y luego compararlo con el tiempo de llenado real así mismo estos determinan la eficiencia real de la bomba

El Q (caudal) que está entregando la cinta de goteo concuerda con el de diseño.

Para lo anterior se realizaron pruebas:

7.6.1.1 Tiempo de llenado

Para el cálculo del tiempo de llenado se hizo por medio de un método teórico donde a través de parámetros hidráulicos se determinó este.

Teniendo en cuenta las características de la bomba suministrada por el CBC que tiene una potencia distinta a la necesaria pero que su altura de impulsión es 15 m. Por medio de la ecuación de Bernoulli se calculó el caudal de llegada con la cabeza dinámica total necesaria para el riego con un caudal de $7.45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ el tanque de 2000 litros se llenaría en 44 minutos. Pero también pudimos darnos cuenta que sobrepasa la capacidad de bombeo del equipo, por ello cuando se calculó el q real de llenado y así se determinó la eficiencia real de la bomba

Para el desarrollo del cálculo de la infiltración básica ver Anexo D.

7.6.1.2 Caudal Que Entrega La Bomba Solar

Para esta prueba los autores realizaron el procedimiento teniendo en cuenta el tiempo de llenado del tanque de almacenamiento.

Puesto en marcha los autores procedieron a calcular de manera manual el tiempo en el que el tanque alcanza su capacidad. Cronométricamente los autores determinaron el tiempo el cual fue el siguiente:

Tabla 33. Tiempo real llenado de tanque de almacenamiento

Hora de inicio	Volumen llenado (litros)	Hora de llenado	Tiempo (horas)
10:05	2000	11:33	1,28

Fuente. Autores

De la tabla anterior podemos inferir que el tiempo de llenado del tanque es de 1 hora con 16 minutos y teniendo en cuenta esta información se hizo el cálculo del caudal mediante la expresión:

$$Q = V/t$$

$$Q = \frac{2000 \text{ lit}}{4608 \text{ seg}}$$

$$Q = 0.43 \text{ lit/ seg}$$

A la altura ubicada del tanque el caudal de llegada es de 0.43 litros/seg aun cuando la característica de la bomba es de un Q de 0.5 litros/seg con una altura de impulsión de 15 m

Con el Q calculado y el Q real de la bomba pudimos calcular la eficiencia real de la bomba mediante la siguiente expresión:

$$Ef = \frac{Q_{real}}{Q_{bomba}}$$

$$EF = \frac{0.43}{0.5}$$

$$Ef = 0.86$$

De lo anterior podemos inferir que la eficiencia real de la bomba es de un 86%

Para el cálculo de la eficiencia de entrega teniendo en cuentas las pérdidas desde la bomba hasta la llegada del caudal hasta el depósito de almacenamiento se realizó de la siguiente manera:

$$Ef \text{ sistema} = \frac{Q_{real}}{Q_{entrega}}$$

$$Ef \text{ sistema} = \frac{0.43}{0.745}$$

$$Ef \text{ sistema} = 0.58$$

De lo anterior podemos inferir que debido las perdidas, la entrega del caudal de la bomba hacia el sistema de almacenamiento tiene un 58% de eficiencia.

7.6.1.3 Caudal Entregado Por La Cinta De Goteo

Para la prueba de medición del caudal en la cinta de riego los autores procedieron a realizar un muestreo en todo el sistema evaluando así si concuerda el coeficiente de uniformidad escogido. Para determinar el CU se hizo mediante la guía de (MENDOZA, 2013) con la siguiente expresión:

$$CU = 100 \times \left(\frac{q_{25}}{q_a} \right)$$

Los resultados se muestran a continuación divididos en dos secciones derecha e izquierda

Tabla 34. Medición coeficiente uniformidad derecha

	1 gotero	gotero 1/3	gotero 2/3	ult gotero
sección 1	1,08	0,95	0,9	0,9
sección 2	1	0,91	0,9	0,84
sección 3	1,05	0,99	1	0,98
sección 4	1,02	0,88	0,84	0,84

Fuente. Autores

Para la sección derecha el coeficiente de uniformidad es de:

$$CU = 100 \left(\frac{0.85}{0.94} \right)$$

$$CU = 90.4$$

Tabla 35. Medición coeficiente uniformidad Izquierda

	1 gotero	gotero 1/3	gotero 2/3	ultimo gotero
sección 1	1,09	0,96	0,91	0,89
sección 2	0,99	1	0,93	0,9
sección 3	1,04	0,85	0,85	0,85
sección 4	1	0,85	0,83	0,8

Fuente. Autores

Para la sección izquierda el coeficiente de uniformidad es de:

$$CU = 100 \left(\frac{0.83}{0.92} \right)$$

$$CU = 90.21$$

Teniendo en cuenta la prueba de CU realizada una vez puesto en marcha el sistema, los autores encontraron que corresponde al CU de diseño, por tal motivo este reúne las condiciones óptimas que permitieron el desarrollo uniforme del cultivo.

7.6.2 Plan de mantenimiento preventivo del sistema

Para el correcto funcionamiento del sistema en general los autores diseñaron un plan de mantenimiento de este, así:

- Semanalmente remover la maleza circundante para evitar una afectación en el cultivo.

- Cada dos días antes del primer riego someter los filtros a un lavado para prevenir obstrucción en los conductos, que pueden afectar la eficiencia del sistema.
- El lavado del múltiple se debe realizar cada 10 días, para evitar la posible sedimentación de partículas en la tubería.
- El lavado de la línea porta-goteros se debe realizar cada 5 días, para evitar obstrucción de los goteros.
- Cuando sea necesario o cuando el operador lo determine limpiar el módulo fotovoltaico de posibles suciedades evitando que este pierda su eficiencia

7.6.3 Análisis De Los Costos De Construcción

En el análisis de costos de construcción no solo se tuvo en cuenta los costos de todos los componentes que genera el sistema en general, sino también los costo-beneficios que genera este para el medio ambiente y como contribuye este con la des-carbonización de la agricultura y resiliencia al cambio climático. Es por eso que los autores calcularon en primera medida el costo energético del riego

7.6.3.1 Costo Energético Del Riego

El costo debemos calcularlo suponiendo que usamos una electrobomba con la mismas condiciones de operación, en el mercado encontramos **Electrobomba 1/2 Hp Aquastrom Ref. Ekm60 Periférica** con un consumo de ½ hp a 110v AC.

Para el cálculo de este se hizo mediante la siguiente expresión:

$$CE = HP \times 0.746 \frac{kW}{h} \times PR \times 478.36$$

Donde:

CE = Costo Energético

HP = Potencia Del Motor

$PR = \text{Periodo De Riego}$

$\$478,36 = \text{Costo kW/h en el centro}$

Reemplazando

$HP = 0.5$

$PR = 6 \text{ horas}$

$\$478,36 = \text{Costo kW/h en el centro}$

$$CE = 0.5 \times 0.746 \frac{\text{kW}}{\text{h}} \times 6 \times 478,36$$

$CE = 1070,56$

$CE = 1.070,56 \text{ pesos/día}$

Calculando con los 125 días que duró el desarrollo del estudio se tiene,

$CE = \$1070,56 \times 125 \text{ días}$

$CE = \$133.820$

Lo que equivale decir que el CBC con esta prueba piloto ahorró \$133.820

7.6.3.2 Huella de carbono consumo eléctrico

Según (CeroCo2, 2019) para el consumo eléctrico la huella de Co₂ generada por este es:

1 kW/h = 0,37 kg de Co₂ eq

Para un día de riego equivale:

$$0,37 \text{ Kg } CO_2eq \times 0,373 \text{ kW/h} \times 6 \text{ Horas}$$

$$= 0.828 \text{ Kg } CO_2eq \times 125 \text{ dias}$$

$$= 103,5 \text{ Kg } CO_2eq$$

Lo cual quiere decir que el estudio en general redujo 103,5 kg de Co2 eq, en esta prueba piloto de 350 m²

7.6.4 Costos Generales Para El Sistema De Riego

Tabla 36. Costos generales para cultivo de pimineto

ítem	unidad	Costo por unidad	cantidad	Costo total (COP)
Red de distribución				
Tubería 2" RDE 41	m	7323	30	219690
Filtro 10 micras 1 ^{1/2}		130.000	1	130.000
Tanque de almacenamiento (colempaques 2 ^{m3})		652.900	1	652.900
Estructura tanque	estructura	250.000	3	750.000
Válvula de control 2"	válvula	35.500	4	142.000
Cinta de riego DP line 16 mm con gotero integrado	m	2200	700	1'540000
Conector cinta de riego	conector	500	20	1.0000
Equipo solar				
Panel solar	panel	519.900		519.900
Cableado solar fotovoltaico 6 mm ²	m	5450	4	21800
Porta Fusible Automotriz de cable		5000	1	5000
Estructura panel	estructura	95.000		95.000
Electrobomba solar	electrobomba	995.000		995.000
Recursos humanos				
Operador	Día	30.000	60	1'800.000
Obrero	Día	30.000	30	900.000
Total				7'982.490

Fuente. Autores

Con un total \$7'982.490 de cuesta producir un piloto de cultivo de pimiento, cabe resaltar que hay que tener en cuenta la inversión versus las posibles utilidades que puede generar el cultivo para el Centro Biotecnológico del Caribe, las estimaciones se basan en la producción por hectárea de cultivo tenidas en cuenta por (Amigo, 2019). El precio del producto al consumidor fue reportado de acuerdo a las centrales de abastos de Valledupar teniendo en cuenta un promedio de los porcentajes de lo que se invierte en la cosecha y en las ganancias que estos generan a los distribuidores de la central. De igual forma el administrador del centro también proporciono información clave para tener en cuenta las utilidades del cultivo

Cabe destacar que los resultados arrojados pueden diferir de la realidad, sin embargo resulta de vital importancia a la hora de definir la viabilidad del proyecto en todo el aspecto sostenible.

Tabla 37. Utilidades cultivo de pimiento CBC

	Producción por hectárea (Ton)	Producción en el centro (Ton)	Precio actual al consumidor (COP)	Utilidades por cosecha (COP)
Pimiento	40	1.4	3500	4.900.000

Fuente. Autores

La información anterior muestra las utilidades aproximadas para un cultivo de pimiento en el centro biotecnológico del caribe, neto el cultivo produce unas utilidades de 5 millones de pesos colombianos por lo cual el valor de construcción del sistema estaría convertido en la segunda cosecha del año. Cabe destacar que se omiten los costos por concesiones de agua debido a que como ya se dijo antes en un agua residual que se reutiliza para el riego. Aun con un posible margen de error en los cálculos de costos, teniendo en cuenta el ahorro del costo energético, se hace viable la construcción desde el punto de vista económico y no menos importante el ambiental.

8 CONCLUSIONES

Las propiedades físicas y químicas de los suelos estudiados del “CENTRO BIOTECOLOGICO DE EL CARIBE” brindaron condiciones apropiadas para el cultivo de pimiento dulce.

Las propiedades físicas y químicas de la fuente de abastecimiento, no presentan un riesgo para el desarrollo óptimo del cultivo desarrollado dentro del centro, teniendo en cuenta que son aguas residuales de estanque piscícolas.

Las pérdidas de humedad por evaporación y transpiración vegetal fueron cercanas a 6.50 mm/día requerimiento importante que determinó la lámina de riego óptima para el crecimiento adecuado del cultivo.

La necesidad del recurso hídrico para la prueba piloto de un cultivo de pimiento dulce en un área aproximada de 350 mts² es de 4.75 l/día-planta utilizando un sistema de riego por goteo con una descarga por planta en promedio de 2.9 lph. Así mismo la variabilidad climática determina la cantidad de lámina de riego, la eficiencia del sistema y el rendimiento del cultivo estudiado.

El sistema de riego para el cultivo estudiado cubre todas las necesidades hídricas y por lo tanto un mejor aprovechamiento del recurso hídrico. La topografía del terreno permite que el caudal entregado por la cinta sea uniforme en todo el terreno entregando el caudal bajo las condiciones previamente diseñadas.

Se determinó que para el riego piloto de 350 mts² se necesita un equipo de bombeo con una potencia de 0.10 Hp. El equipo de bombeo suministrado por el centro fue de 0.12 Hp. Este, cumple con los requerimientos de diseño para el funcionamiento del sistema.

Conocer el contexto y ubicación de cada lugar, en profundidad, es imprescindible para determinar cuáles son los requisitos de diseños específicos para cada instalación.

La posición del módulo fotovoltaico fue fundamental para el éxito del proyecto ya que se aprovechó al máximo la radiación solar emitida diseñada bajo las condiciones más adversas durante los meses que se desarrolló el estudio, entregando una potencia óptima para la utilización del equipo de bombeo en la periodicidad de uso.

En el diseño del sistema fotovoltaico el régimen de bombeo es de 0.43 litros/seg lo cual determina que la eficiencia del equipo de bombeo es de 86% esto no afectó el desarrollo óptimo del cultivo teniendo en cuenta que el sistema estuvo funcionando durante horas de sol pico y no afectó en la entrega de caudal al cultivo (la demanda).

Al comparar el coste energético del sistema con un sistema convencional se alcanza un ahorro de \$133.820 el cual es beneficioso no solo para el centro sino también para el medio ambiente ya que la prueba piloto disminuye cerca de 103,5 kg de CO₂ eq. Contribuyendo de esta manera con la reducción de la huella de carbono en el sector agrícola, notando de esta manera que es una muy buena alternativa para replicar.

La utilización de la energía solar fotovoltaica es ideal para este tipo de proyectos pilotos que no demandan grandes cantidades de energía eléctrica, con su implementación relativamente sencilla resulta una alternativa para zonas donde la conexión a la red eléctrica tiene un grado de dificultad bastante alto, siendo esta una buena alternativa a implementar.

El plan de mantenimiento resultó siendo esencial para prolongar la vida útil del proyecto y de esta manera no se viera afectada su eficiencia, lo cual permitió que los costos del proyecto no aumentaran.

Como ya se observó en el acápite de costos de construcción del sistema que inicialmente ascienden a los COP \$7'982.490 demuestra que se puede llevar a cabo un piloto para cultivos hortícolas que tanto para un escenario realista como para uno optimista el proyecto presenta un periodo de retorno relativamente corto generando utilidades cercanas a los COP \$5'000.000 Permitiendo de esta manera que se recupere el costo invertido en un lapso corto de funcionamiento.

Los sistemas de bombeo de agua con energía solar requieren de una “alta” inversión inicial, pero su costo de operación y mantenimiento es bajo en contraste con los sistemas que utilizan combustible donde su inversión inicial es baja y alto costo de operación y mantenimiento, se recupera rápidamente su inversión.

La elección de los materiales para la instalación se estudió tal que estos sean de fácil acceso en el mercado local de ellos dependió en gran parte el éxito del proyecto.

El mantenimiento periódico y la practicidad del sistema determinaron el uso de este para que no se limite solo a los meses en que fue estipulado este estudio, permitiendo que el encargado del área de cultivo pueda llevar a cabo las labores sin necesidad de contactar a un tercero. Con esto no se limita el diseño de sistema a que esté potenciado solamente para los meses desde mayo a octubre, ya que la posición geográfica en la nos encontramos, la inclinación del módulo no varía durante cualquier época del año

9 RECOMENDACIONES

Ante los cambios constantes de las condiciones climáticas de la zona es de vital importancia revisar un monitoreo para que en el caso que sea necesario hacer un ajuste a la lámina de riego calculada.

Capacitar al personal para una correcta utilización del sistema y así este opere con una mayor eficiencia.

El tanque de almacenamiento y la red de distribución requieren un lavado periódico para evitar la proliferación de algas debido a las aguas provenientes de los estanques piscícolas.

A la hora de colocar el sistema en funcionamiento, no es recomendable colocar las cintas de goteo sin los filtros, lo anterior se recomienda para que no se obstruyan los goteros. De la misma forma lavar los filtros después de ciertos periodos de operación para evitar pérdidas de eficiencia por colmatación de estos.

Para una mejor operación del sistema automatizarlo disminuiría los costos de mano de obra y se tendría una mejor eficiencia y rendimiento de este. La automatización debe estar acompañada de sensores de luz y de humedad para analizar mejor el comportamiento del cultivo durante su desarrollo.

Para futuras evaluaciones del sistema de riego se recomienda instalar en la red un manómetro de presión para verificar que las presiones del sistema se están dando y verificar si hay posibles fugas para actuar con rapidez.

Para efectos de investigación, realizar un estudio del estanque piscícola para estimar cuales son los limites inferiores y superiores del caudal y así tener un mayor conocimiento de esta.

BIBLIOGRAFÍA

- 20MINUTOS.ES / EFE. (2016). *La FAO alerta de que agricultura y ganadería generan un 20% de las emisiones de tipo invernadero.*
- ABCBRICOTEN. (2016). TUBERÍA TUBERÍA CON GOTEROS AUTOCOMPENSANTE.
- AGROVOZ. (14 de Diciembre de 2016). *Las 15 ventajas del riego por goteo subterráneo.* Obtenido de AGROVOZ: <http://agrovoy.lavoz.com.ar/espacio-publicidad/las-15-ventajas-del-riego-por-goteo-subterraneo>
- AGUDELO MORENO, L. J., & PINO MANQUILLO, V. (2012). *DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE UN MINI-DISTRITO DE RIEGO PARA LOS CORREGIMIENTOS LA PALMA Y TRES PUERTAS, MUNICIPIO DE RESTREPO (VALLE DEL CAUCA).* SANTIAGO DE CALI: UNIVERSIDAD DEL VALLE.
- Alocén, J. C. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego.* Honduras: PESA.
- Amigo, A. (2019). *Mundo Huerto.* Obtenido de Mundo Huerto: <https://www.mundohuerto.com/cultivos/pimiento/cuantos-da-una-planta>
- CeroCo2. (2019). *CeroCo2.org.* Obtenido de CeroCo2.org: <https://www.ceroco2.org/calculadoras/home>
- CONTEXTO GANADERO. (08 de 09 de 2017). Obtenido de <http://www.contextoganadero.com/regiones/cesar-sera-pionero-en-convertir-energia-solar-en-electrica-gran-escala>
- CONtextoganadero. (8 de septiembre de 2017). Cesar será pionero en convertir energía solar en eléctrica a gran escala. *CONtextoganadero.*
- Copersa. (2015). Obtenido de www.copersa.com: www.copersa.com/es/catalogo/odis-filtros-de-plastico-de-malla-o-anillas/filtros-de-malla-o-anillas-serie-2100/_p:99/

- CORRAL, J. J. (24 de 11 de 2017). ENERGIZACION Y RURALIDAD. *El Colombiano*.
- CORRAL, J. J. (24 de NOVIEMBRE de 2017). Energización y ruralidad. *El Colombiano*, pág. 1.
- DANE. (1 de Julio de 2015). *DANE*. Obtenido de DANE: www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_jul_2015.pdf
- DNP. (20 de Enero de 2009). www.dnp.gov.co. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/desarrollo%20empresarial/hortofruticola.pdf>
- Ecured. (15 de Abril de 2013). Recuperado el 1 de Mayo de 2018, de www.ecured.cu: www.ecured.cu/Radiaci%C3%B3n_solar
- Ecured. (2013). Obtenido de www.ecured.cu: https://www.ecured.cu/Energ%C3%ADa_renovable
- EFE. (02 de 06 de 2010). Agricultura y combustibles fósiles causan el mayor impacto medioambiental. *Color ABC*.
- FAO. (2006). Evapotranspiración Del Cultivo. *Evapotranspiración Del Cultivo*, 298.
- FAO. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. *Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA)*, 218.
- FAO. (Octubre de 2007). www.fao.org. Obtenido de <http://www.fao.org/3/at787s.pdf>
- FAO. (2017). *FAO fiat panis*. Obtenido de <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/>
- FAO. (06 de 05 de 2019). www.fao.org. Obtenido de www.fao.org: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/es/>
- Gestiriego. (2015). www.gestiriego.com. Obtenido de www.gestiriego.com/noticia/38/COMPONENTES-INSTALACION-RIEGO-POR-GOTEO
- González, R. C., & Estrada, O. P. (2011). Evaluación de la uniformidad del riego por goteo en condiciones de casas de cultivo en explotación. *Revista Ciencias*

Técnicas

Agropecuarias,

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542011000100007.

Google Maps. (s.f.).

GreenPeace. (2006). Obtenido de www.greenpeace.org:
<https://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2006/3/greenpeace-solar-glosario-tec.pdf>

GRUPO REGAR. (2007). *DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE UN MINI-DISTRITO DE RIEGO PARA LOS CORREGIMIENTOS LA PALMA Y TRES PUERTAS, MUNICIPIO DE RESTREPO (VALLE DEL CAUCA)*. SANTIAGO DE CALI: UNIVERSIDAD DEL VALLE.

Ingemecanica. (2015). *ingemecanica.com*. Obtenido de ingemecanica.com:
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn193.html>

Ingemecanica. (14 de Febrero de 2016). Recuperado el 15 de Abril de 2018, de ingemecanica.com:
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

Ingemecanica. (s.f.). Instalación Solar Fotovoltaica para Bombeo de Agua para Riego. *Tutorial n° 193*.

INTEF. (20 de Octubre de 2012). (Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (INTEF)) Recuperado el 19 de Abril de 2018, de recursostic.educacion.es:
http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/solar.htm

Leon, N. R. (2017). *Caracterización del desempeño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red de distribución eléctrica en la Sede el Bosque de la Universidad Libre*. Bogota.

Mario Liotta, R. C. (2015). Manual de capacitación de riego por goteo.

MENDOZA, A. E. (2013). *Riego po Goteo*. El Salvador: CENTA.

Milton Arceda, A. H. (2012). *PROYECTO DE RIEGO POR GOTEO UTILIZANDO ENERGIA SOLAR PARA EL CULTIVO DEL*. Managua.

- Murillo Hernandez , W. J. (2008). *La investigación científica*. Madrid: Semphis. Recuperado el Abril de 2018, de <http://www.monografias.com/trabajos15/invest-cientifica/invest-cientifica.shtml>
- OMS. (5 de Febrero de 2018). *www.who.int*. Recuperado el 1 de Mayo de 2018, de [www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Paracetamoltec. (2016). Obtenido de paracetamoltec.pbworks.com:paracetamoltec.pbworks.com/w/page/102342610/M%C3%A9todo%20de%20producci%C3%B3n%20industrial
- PNUD. (2018). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
- REY, C. M. (2017). *GUIA METODOLOGICA PARA LA IMPLEMENTACION DE SISTEMAS*. BUCARAMANGA.
- Ruben. (2013). Técnica De Riego Por Goteo. *flor de planta* .
- Sáenz, J. (07 de 08 de 2017). En penumbras: 2,5 millones de colombianos no tienen energía eléctrica. *EL ESPECTADOR*.
- Sáenz, J. (7 de Agosto de 2017). En penumbras: 2.5 millones de colombianos no tienen energia electrica. *EL ESPECTADOR*, pág. 1.
- Sela, S. G. (2014). Los Sistemas de Riego por Goteo. *Smart Fertilizer Management*
- Traxco. (2014). Hidrociclón, separador de arena.
- (2015). Obtenido de [www.copersa.com: www.copersa.com/es/catalogo/odis-filtros-de-plastico-de-malla-o-anillas/filtros-de-malla-o-anillas-serie-2100/_p:99/](http://www.copersa.com:www.copersa.com/es/catalogo/odis-filtros-de-plastico-de-malla-o-anillas/filtros-de-malla-o-anillas-serie-2100/_p:99/)
- DNP. (20 de Enero de 2009). *www.dnp.gov.co*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/desarrollo%20empresarial/hortofruticola.pdf>
- Ecured. (15 de Abril de 2013). Recuperado el 1 de Mayo de 2018, de [www.ecured.cu: www.ecured.cu/Radiaci%C3%B3n_solar](http://www.ecured.cu:www.ecured.cu/Radiaci%C3%B3n_solar)

Ecured. (2013). Obtenido de www.ecured.cu:https://www.ecured.cu/Energ%C3%ADa_renovable

EFE. (02 de 06 de 2010). Agricultura y combustibles fósiles causan el mayor impacto medioambiental. *Color ABC*.

FAO. (Octubre de 2007). www.fao.org. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-at787s.pdf>

Gestiriego. (2015). www.gestiriego.com. Obtenido de www.gestiriego.com/noticia/38/COMPONENTES-INSTALACION-RIEGO-POR-GOTEO

Google Maps. (s.f.).

GreenPeace. (2006). Obtenido de www.greenpeace.org:https://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2006/3/greenpeace-solar-glosario-tec.pdf

Ingemecanica. (2015). ingemecanica.com. Obtenido de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn193.html>

Ingemecanica. (14 de Febrero de 2016). Recuperado el 15 de Abril de 2018, de ingemecanica.com:
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

INTEF. (20 de Octubre de 2012). (Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (INTEF)) Recuperado el 19 de Abril de 2018, de recursostic.educacion.es:
http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/solar.htm

Mario Liotta, R. C. (2015). Manual de capacitacion de riego por goteo.

Milton Arceda, A. H. (2012). *PROYECTO DE RIEGO POR GOTEO UTILIZANDO ENERGIA SOLAR PARA EL CULTIVO DEL*. Managua.

Murillo Hernandez , W. J. (2008). *La investigación científica*. Madrid: Semphis. Recuperado el Abril de 2018, de <http://www.monografias.com/trabajos15/invest-cientifica/invest-cientifica.shtml>

OMS. (5 de Febrero de 2018). *www.who.int*. Recuperado el 1 de Mayo de 2018, de [www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Paracetamoltec. (2016). Obtenido de paracetamoltec.pbworks.com:paracetamoltec.pbworks.com/w/page/102342610/M%C3%A9todo%20de%20producci%C3%B3n%20industrial

PNUD. (2018). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.

Ruben. (2013). Técnica De Riego Por Goteo. *flor de planta* .

Sela, S. G. (2014). Los Sistemas de Riego por Goteo. *Smart Fertilizer Management*

Traxco. (2014). Hidrociclón, separador de arena.

ANEXOS

ANEXO A. DISEÑO AGRONÓMICO DE SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

No.	ECUACION	PARAMETROS
1	$Nd = Nt \times DES \times DEP$	<p>Nt: Necesidad total del cultivo [mm/día]. NnR: Necesidad neta de riego [mm/día]. k: Es el valor más alto entre (1-Ea) y LR. Ea: eficiencia de aplicación LR: lámina de lavado de sales</p> <p style="text-align: center;">$LR = CE_{\text{aguariago}} / 2CE_{\text{suelo}}$</p> <p style="text-align: center;">$L_R = \frac{CE_{\text{aguariago}}}{2CE_{\text{suelo}}}$</p> <p>Cu: Coeficiente de uniformidad.</p>
2	$Nt = \frac{NnR}{(1 - k) \times Cu}$	<p>Nd: Necesidad diaria del cultivo [l/día-planta]. Nt: Necesidad total del cultivo [mm/día]. DES: distancia entre surcos [m]. DEP: distancia entre plantas [m].</p>
3	<p>El porcentaje de área a mojar [P], se elige según el tipo de cultivo: Arbóreos (33 % – 50 %) – herbáceos (50% - 70%).</p> <p style="text-align: center;">$Pb = [0,9 Pr - 1,1Pr]$</p>	<p>Pb: Rango de profundidad de bulbo húmedo [m]. Pr = profundidad radicular del cultivo [m].</p>
4	<p>Se define el caudal del emisor, de acuerdo a las características del cultivo y su requerimiento hídrico y se realiza una prueba de bulbo húmedo, donde se determina el diámetro mojado por el emisor.</p> <p style="text-align: center;">$Ae = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$</p>	<p>Ae: Área mojada por un emisor [m²]. d = diámetro mojado [m].</p>

5	$e > P \times \frac{[DEP * DES]}{100\% \times Ae}$	<p>e: Número de emisores por planta. P: Porcentaje de área a mojar [%]. DEP: Distancia entre plantas [m]. DES: Distancia entre surcos [m]. Ae: Área mojada por un emisor [m²].</p>
6	$Fr = \frac{e Va}{Nd}$	<p>Fr: Frecuencia de riego [días]. e: Número de emisores por planta. Va: Volumen aplicado [l], este valor se toma de acuerdo al diámetro mojado seleccionado en la prueba de bulbo húmedo. Nd: Necesidad diaria del cultivo [l/día].</p>
7	$t_R = \frac{Nd \times FR}{e \times q_e}$	<p>tR: Tiempo de riego [h]. Nd: Necesidad diaria del cultivo [l/día]. FR: Frecuencia de riego [días]. e: Número de emisores por planta. qe: caudal de diseño del aspersor [l/s].</p>
8	$S_{max} = \frac{d}{2} \left[2 - \frac{a}{100} \right]$	<p>S_{máx}: Separación máxima entre emisores [m]. d: Diámetro mojado [m]. a: Porcentaje de traslape [%], se escoge dentro del intervalo [15-30%].</p>

ANEXO B. DISEÑO HIDRAULICO DE SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

ECUACIÓN	PARÁMETRO
$F = 1/\sqrt{1 + \beta} + 1/2n + \sqrt{\beta - 1}/6n^2$	<p>F: coeficiente de christiansen.</p> <p>N: número de salidas o emisores.</p> <p>B: constante para emisores=1.75.</p>
$S = s_e + f_e/s_e$	<p>S_e: separación entre emisores (m).</p> <p>f_e: efecto de conexión de emisores.</p> <p>S: factor de pérdida entre la conexión del emisor y la tubería.</p>
Cintas de riego S=1	<p>S: factor de pérdida entre la conexión y la tubería del emisor.</p>
$h_f = J * L * F * S$	<p>h_f: pérdidas totales de carga en el lateral (m.c.a).</p> <p>J: pérdida unitaria del lateral (m).</p> <p>F: coeficiente de christiansen.</p> <p>S: factor de pérdida entre la conexión del emisor y la tubería.</p>
$C_u = \left(1 - 1.27CV/\sqrt{e}\right) q_{ns}/q_a$	<p>q_{ns}: tolerancia a los caudales (l/h).</p> <p>C_u: coeficiente de uniformidad.</p> <p>CV: coeficiente de variación del emisor.</p> <p>e: número de emisores por planta.</p> <p>q_a: caudal nominal del emisor (l/s)</p>
$\Delta H = 2.7[h_a - h_{ns}]$ <p>Los valores h_a y h_{ns} se determinan de acuerdo con la ecuación de diseño del emisor.</p>	<p>ΔH: tolerancia a las presiones (m.c.a).</p> <p>h_a: presión nominal del emisor (m.c.a).</p> <p>h_{ns}: presión de tolerancia de caudales (m.c.a).</p>
$h_f < \Delta H$ <p>Si se cumple con la anterior condición, se prosigue con el diseño, de lo contrario se ajusta el diámetro.</p>	<p>h_f: pérdidas totales de carga en el lateral (m.c.a).</p> <p>ΔH: tolerancia a las presiones (m.c.a).</p>
$h_m = h_a + 0.733h_f$ <p>Para terrenos planos.</p>	<p>h_m: pérdidas en el lateral medio (m.c.a).</p> <p>h_a: presión nominal del aspersor (m.c.a).</p>
$h_m = h_a + 0.733h_f + \Delta z/2$ <p>Para terrenos con pendiente.</p>	<p>h_m: pérdidas en el lateral medio (m.c.a).</p> <p>h_f: pérdidas totales en el lateral (m.c.a).</p> <p>Δz: desnivel en el lateral (m).</p>

$H_f = J * L * F$	H_f : pérdidas en el múltiple (m.c.a).
$H_a = h_{mlateral}$	H_a : presiones en el múltiple (m.c.a). h_{mlateral} : pérdidas en el lateral medio (m.c.a).
$H_m = H_a + 0.733H_f$	H_m : presiones en el múltiple (m.c.a). H_a : presiones en el múltiple (m.c.a). H_f : pérdidas en el múltiple (m.c.a).
$H_f < (\Delta H - h_{flateral})$	H_f : pérdidas en el múltiple (m.c.a). ΔH : tolerancia a las presiones (m.c.a). h_{flateral} : pérdidas totales de carga en el lateral (m.c.a).
$CDT = \{ [H_e + (0.75H_{flateral} \pm 0.75\Delta z_{lateral}) + (0.75H_{fmultiple} \pm 0.75\Delta z_{multiple}) + H_{conduccion} + H_{cabezal}] * 1.1 \} + H_{cg}$	CDT : cálculo de la cabeza dinámica total (m.c.a). H_e : presión del emisor (m.c.a). H_{flateral} : pérdidas en el lateral (m.c.a). $\Delta z_{lateral}$: desnivel en el lateral (m). H_{fmultiple} : pérdidas en el múltiple (m.c.a). $\Delta z_{multiple}$: desnivel del múltiple (m). H_{conduccion} : pérdidas por conducción (m.c.a). H_{cabezal} : pérdidas en el cabezal (m.c.a). 1.10 : pérdidas en los accesorios. H_{cg} : pérdidas en el cabezal general (m.c.a).

ANEXO C. CALCULO DE INFILTRACION

Una vez tomado los datos in situ por parte de los autores, estos procedieron con el cálculo de la infiltración, el proceso se describe a continuación:

Por medio del cilindro los autores tomaron los datos que se describen en la tabla a continuación:

Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación del agua (cm)	Lamina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lamina acumulada (cm)	Vel de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	25.5		0	0	36
2	2	24.3		1.2	1.2	14
3	5	23.6		0.7	1.9	16.8
5	10	22.2		1.4	3.3	7.2
10	20	21		1.2	4.5	3
10	30	20.5		0.5	5	9
10	40	19		1.5	6.5	9.6
10	50	17.4		1.6	8.1	5.4
10	60	16.5	25.5	0.9	9	6
10	70	24.5		1	10	5.4
10	80	23.6		0.9	10.9	4.8
10	90	22.8		0.8	11.7	4.8
10	100	22		0.8	12.5	4.8
10	110	21.2		0.8	13.3	4.8
10	120	20.5		0.7	14	4.2

Una vez obtenido los valores se procedió con el cálculo de los coeficientes para la infiltración acumulada

Tiempo acumulado (min)	0	2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Lamina acumulada (cm)	0	1.2	1.9	3.3	4.5	5	6.5	8.1	9	10	10.9	11.7	12.5	13.3	14

Con los datos obtenemos los valores de la ecuación de infiltración acumulada

$$I_{cum} = 0,7478t^{0,6063} \quad Ecu. 1$$

Velocidad de infiltración instantánea

Para definir la ecuación de la velocidad de infiltración instantánea, se emplean las equivalencias definidas al obtener la ecuación 2. Es decir: $B = b + 1$ de donde se obtiene que $b = B - 1$ $A = a / B$ de donde se obtiene que $a = A * B$

Reemplazando los valores obtenidos	
$b = B - 1$	$a = A * B$
$b = 0,6063 - 1$	$a = 0,7478 * 0,6063$
$b = -0,3937$	$a = 0,4534$

Reemplazando a y b en la ecuación 1

$$I = 0.4534t^{-0,3937}$$

Ecuación de la velocidad de infiltración instantánea para el caso estudiado

Determinación del tiempo que se tarda en alcanzar la velocidad de infiltración básica mediante la ecuación

$$tb = -10 \times b$$

Asi reemplazando el valor determinado de b en la ecuación

$$tb = -10 \times b$$

$$tb = 3,94 \text{ horas}$$

$$tb = 236 \text{ minutos}$$

Determinación de la velocidad de infiltración básica reemplazando el valor del tiempo en minutos, en la ecuación

$$I_b = 0.4534t^{-0,3937}$$

$$I_b = 0.4534(236)^{-0,3937}$$

$$I_b = 0,05 \text{ cm/min}$$

$$I_b = 3,17 \text{ cm/hora}$$

$$I_b = 32,65 \text{ mm/hora}$$

$$I_b = 759,68 \text{ mm/dia}$$

Esta es la infiltración básica necesaria para la elaboración del diseño agronómico.

**ANEXO D. CALCULO EL CAUDAL DE LLEGADA CON LA CABEZA DINÁMICA TOTAL
NECESARIA PARA EL RIEGO**

Potencia: 0.122 Hp

Coeficiente de pérdidas: $1.8 \frac{V^2}{2g}$

Diámetro: 30 mm

Cota de reservorio: 120.00 m

Cota de tanque de almacenamiento: 132.17

La altura de bombeo H_B , se determina a partir de la potencia de la bomba; así:

$$P = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H_B}{75} \rightarrow H_B = \frac{75 \cdot P}{Q \cdot \gamma}$$

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre los puntos de reservorio y almacenamiento se tiene,

$$0.00 + 0.00 + 120.00 + \frac{75P}{1000Q} = 0.00 + 0.00 + 132.17 + 1.8 \frac{V^2}{2g}$$

Como $Q = V \cdot A \rightarrow V = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}(0.03)^2}$ se obtiene al sustituir

$$120.00 + \frac{75 \cdot 0.122}{1000Q} = 132.17 + 1.8 \frac{\left(\frac{Q}{0.785 \cdot 0.03^2}\right)^2}{2g}$$

Resolviendo se obtiene:

$$Q = 7.45 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

ANEXO E REGISTRO FOTOGRAFICO



Adecuación del terreno



Prueba de Infiltracion



Disposición del módulo solar fotovoltaico.



Características técnicas de la bomba



Lavado del múltiple



Fuente de abastecimiento.



Cultivo en desarrollo.

ANEXO F.PLANOS DEL SISTEMA DE RIEGO

