Formulación de un Sistema de Riego por Goteo usando Energía Solar Fotovoltaica como Suministro Energético para la Fundación Arqueológica USMEKA

Paula Camila Castañeda Gómez

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Ingeniería Sanitaria

Bogotá, D.C

2023

Formulación de un Sistema de Riego por Goteo usando Energía Solar Fotovoltaica como Suministro Energético para la Fundación Arqueológica USMEKA

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Paula Camila Castañeda Gómez

Director

Ing. Rafael Eduardo Ladino Peralta

Presentado para optar el título de: Ingeniera Sanitaria

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Ingeniería Sanitaria

Bogotá, D.C

2023

Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico a mi familia quien siempre creyó en mí y me han apoyado incondicionalmente en todas mis metas y logros académicos. Su constante aliento y sabias palabras me han guiado en cada paso de este camino y me han ayudado a convertirme en la persona que soy hoy. Este proyecto está dedicado a ustedes, con todo mi amor y gratitud.

Principalmente dedico cada esfuerzo que trajo el lograr cumplir este sueño a mi abuela quien cada día estuvo conmigo, quien fue el motor de este gran proyecto de vida y que aun lo sigue siendo, la persona que me enseño las cosas más valiosas de la vida. A mi madre quien ha sido la fuente de inspiración para cada proyecto que propongo en mi vida. También quiero dedicárselo a mi padre quien día a día creyó en mí.

Además, dedicar este proyecto a todas las personas que hicieron parte de este bonito camino, quienes han sido una fuente de apoyo y aliento en los momentos difíciles. Agradezco su paciencia, comprensión y motivación para alcanzar mis metas

Finalmente, dedico este proyecto a todos aquellos que luchan por una educación de calidad día a día, a aquellos que creen en el poder de la educación para transformar vidas y comunidades. Espero que este proyecto contribuya a ese objetivo y sirva como un pequeño paso hacia un futuro más brillante para todos.

Agradecimientos

Agradezco la guía de mi familia frente cada paso que doy en mi vida, por ser el pilar de todo este gran esfuerzo, por sus consejos y palabras de aliento ante cualquier adversidad que en la vida se me ha presentado, a mi madre, mi abuela y mi padre porque sin ellos esto no hubiese sido posible, agradezco a mi tío Sergio Gómez por ser siempre mi ejemplo a seguir y retarme siempre superarme. Doy gracias a Nelson Bonilla por todas las veces que creyó en mi y no me permitió renunciar a este gran objetivo.

Agradezco a mi director Rafael Eduardo Ladino Peralta, que sin su ayuda y conocimiento no hubiese sido posible este proyecto.

A la Fundación Usmeka Patrimonio Ancestral Cultural Y Ambiental por abrirme sus puertas y permitirme ser parte de su equipo de trabajo, darme la oportunidad de reconocer el gran trabajo que hacen día a día por el territorio.

Doy gracias a la grandiosa Universidad Distrital Francisco José de Caldas por permitirme formarme profesionalmente, gracias a todas las personas que fueron participes de este gran proyecto, agradezco a todos los docentes que con su sabiduría, conocimiento y apoyo motivaron a desarrollarme como persona y profesional.

Tabla de contenido

Resumen 11

ABSTRACT 12

Introducción 13

Planteamiento del problema 16

Objetivos 17

Objetivo General 17

Objetivos Específicos 17

Marcos de Referencia 18

Marco Geográfico 18

Contexto 19

Marco conceptual 27

Energías Renovables 28

Energía Eólica 28

Energía fotovoltaica 28

Sistema de Riego por goteo 28

Marco legal 29

Metodología 30

FASE I. Viabilidad del proyecto 31

Recopilación de información 31

Identificación del terreno 32

Valoración del manejo de energías renovables en el territorio 39

FASE II. Diagnóstico 40

Interpretación y análisis de los datos obtenidos 40

Evaluación del diagnóstico 43

FASE III. Formulación técnica 48

Medición del caudal disponible 48

Diseño Agronómico 52

Cálculo de necesidades de riego 55

Diseño Hidráulico 58

Elección del panel solar 62

Numero de paneles 65

Diseño del sistema de riego con energía solar fotovoltaica 65

Funcionamiento de un sistema de riego solar. 66

Variables que influyen en el sistema de riego 66

Suministros del sistema de riego 67

Costos 76

FASE IV. Implementación 76

Primera parte 77

Segunda parte 82

Tercera parte 87

Cuarta parte 89

Conclusiones 90

Recomendaciones 92

Referencias Bibliográficas 93

Anexos 96

Anexo 1. 96

Anexo 2. 96

Lista de tablas

Tabla 1. Marco normativo aplicable a las energías renovables en Colombia. 29

Tabla 2. Profundidades por sección. 51

Tabla 3. Propiedades del agua. 60

Tabla 4. Costos de inversión inicial. 76

Lista de figuras

Figura 1. Zona delimitada del Área Arqueológica y de Patrimonio Hacienda el Carmen. 18

Figura 2. Yacimientos arqueológicos encontrados durante la excavación. 20

Figura 3. Organigrama mesa de patrimonio Usmeka. 21

Figura 4. Galería de actividades pedagógicas para la comunidad en torno al patrimonio y medio ambiente. 22

Figura 5. Jaime Adalberto Beltrán Salamanca (1963-2020), líder campesino defensor del territorio y del hallazgo arqueológico de Usme. 23

Figura 6. Bosque - Jardín Comunitario Jaime Beltrán ubicado en el Área Arqueológica y de Patrimonio Hacienda el Carmen. 25

Figura 7. Mapa de localización de las estaciones dentro del parque. 26

Figura 8. Metodología para el proyecto 30

Figura 9. Mapa de la localidad de Usme, presentado zona de desarrollo del proyecto. 32

Figura 10. Mapa de radiación solar para la localidad de Usme. 33

Figura 11. Promedio mensual radiación solar global en Bogotá. 34

Figura 12. Rango de temperatura para la localidad de Usme. 35

Figura 13. Temperatura en la localidad de Usme – Colombia 36

Figura 14. Rango de humedad localidad de Usme. 36

Figura 15. Humedad localidad de Usme - Colombia 37

Figura 16. Rango de lluvia en la localidad de Usme 38

Figura 17. Lluvia Usme, Colombia 38

Figura 18. Ubicación geoespacial del Jardín comunitario Jaime Beltrán. 44

Figura 19. Mapa de la topografía de la localidad de Usme. 45

Figura 20. Mapa de usos del suelo rural de la localidad de Usme. 46

Figura 21. Mapa de la hidrografía de la localidad de Usme. 47

Figura 22. Materiales para la medición del caudal por trazador de sal por conductividad. 49

Figura 23. Datos meteorológicos de la localidad de Usme. 53

Figura 24. Precipitación efectiva anual de la localidad de Usme, Colombia 55

Figura 25. Fresh water pumps model 4008-101-a65 62

Figura 26. Sistema de riego solar..... 66

Figura 27. Bomba SH centrífuga superficial, de 12 voltios, 7.5 amperios y con una capacidad de bombeo de 680 l/h..... 69

Figura 28. Rendimiento típico de una bomba SH centrífuga superficial, de 12 voltios, 7.5 amperios y con una capacidad de bombeo de 680 l/h..... 70

Figura 29. Kit de riego directo por goteo..... 71

Figura 30. Curvas de funcionamiento de módulos fotovoltaicos. 73

Figura 31. Luz diurna media / Promedio de insolación Usme, Colombia..... 73

Figura 32. Promedio del índice UV Usme, Colombia. 74

Figura 33. Kit de riego directo por goteo..... 74

Figura 34. Estructura del panel solar. 75

Figura 35. Galería adecuación del terreno para la instalación del sistema de riego. 78

Figura 36. Galería adecuación del terreno para la instalación del soporte para el panel. 79

Figura 37. Galería construcción de caja de seguridad para la bomba..... 80

Figura 38. Galería instalación soporte para el panel..... 81

Figura 39. Galería instalación para el panel..... 83

Figura 40. Ilustración de los componentes de una bomba shurflo superficial modelo 4008-101-A65..... 84

Figura 41. Galería de instalación de una bomba shurflo superficial modelo 4008-101-A65. 85

Figura 42. Temporizador rele relay programable modelo CN101A 12V. 86

Figura 43. Prueba de vacío para la bomba. 87

Figura 44. Herramientas para instalación sistema de distribución de riego. 88

Figura 45. Instalación sistema de red de distribución para el sistema de riego. 88

Figura 46. Puesta en marcha del sistema de riego solar por goteo. 90

Resumen

El crecimiento de una plantación depende de que esta cuente con un ambiente favorable para este fin, un ambiente favorable ofrece espacio para crecer, temperatura adecuada y lo más importante, agua. El crecimiento del individuo arbóreo depende en gran medida de su riego, por esta razón, el proyecto tiene como propósito el diseño e implementación de un sistema de riego por goteo utilizando energía solar fotovoltaica en el parque arqueológico y de patrimonio hacienda el Carmen, ubicado en la localidad de Usme.

El desarrollo de este proyecto está basado en el aprovechamiento de las energías renovables como energías limpias y no contaminantes, esto con el fin de promover y motivar el uso de este tipo de energías que mitigan el impacto del cambio climático. La metodología del proyecto se divide en; recopilación de información mediante búsqueda investigativa en plataformas digitales y visitas al territorio, diagnostico que generara las tendencias del territorio en términos de energías renovables, formulación del sistema de riego usando energía solar fotovoltaica, teniendo en consideración criterios específicos para la optimización de recursos y la implementación del sistema de riego solar. De acuerdo con los diferentes mecanismos de funcionamiento del sistema de riego, se decidió escoger el sistema que estuviera más acorde con las necesidades y características de la zona de estudio, a partir de estas consideraciones, se eligió desarrollar un sistema de riego solar por goteo directo, el cual permite mayor cobertura de aplicación, brindando a su vez una mayor frecuencia generando ventajas económicas y de calidad en el crecimiento de los individuos arbóreos.

Hacer uso de la energía solar fotovoltaica trae consigo grandes esfuerzos económicos de inversión para su puesta en marcha. Sin embargo, su instalación y funcionamiento presenta a

mediado plazo beneficios económicos dado que se evita el uso de energías convencionales, puesto que a partir de la energía fotovoltaica se podrá proveer de energía a la plantación durante toda la vida útil de los módulos solares. Además, la energía solar se encuentra en cualquier parte del territorio, es especialmente útil en zonas no interconectadas como algunas zonas rurales donde no tienen cobertura de energía eléctrica por sistemas de cableado.

Palabras claves: riego, sistema, Fotovoltaico, energía, renovables, sostenible.

ABSTRACT

The growth of a plantation depends on it having a favorable environment for this purpose, a favorable environment offers space to grow, adequate temperature and most importantly, water. The growth of the individual tree depends to a large extent on its irrigation, for this reason, the purpose of the project is the design and implementation of an automated irrigation system using photovoltaic solar energy in the archaeological and heritage park Hacienda el Carmen, located in the Town of Usme.

The development of this project is based on the use of renewable energy as clean and non-polluting energy, to promote and motivate the use of this type of energy that mitigates the impact of climate change. The methodological development of the project is divided into; collection of information through investigative search on digital platforms and visits to the territory, diagnosis that will generate the trends of the territory in terms of renewable energies, formulation of the irrigation system using photovoltaic solar energy, based on specific criteria for the optimization of resources and implementation of the solar irrigation system. According to the different operating mechanisms of the irrigation system, the system that would be more in accordance with the needs and characteristics of the study area was dedicated, based on these

considerations, a direct drip solar irrigation system was developed, the which allows greater application coverage, providing a greater frequency, generating economic and quality advantages in the growth of tree individuals.

Making use of photovoltaic solar energy brings with it large economic investment efforts for its implementation. However, its installation and operation present medium-term economic benefits since the use of conventional energy is avoided since photovoltaic energy can provide energy to the plantation throughout the useful life of the solar modules. In addition, solar energy is found in any part of the territory, it is especially useful in non-interconnected areas such as some rural areas where they do not have electricity coverage by wiring systems.

Keywords: irrigation, system, Photovoltaic, energy, renewable, sustainable.

Introducción

El riego hace referencia a la aplicación de agua sobre los suelos de forma artificial, principalmente sobre aquellos suelos áridos en los que las condiciones climatológicas no satisfagan las exigencias de una siembra de plantas (Leiton Soubannier, 1985). Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, el agua constituye un recurso imprescindible en el crecimiento óptimo de plantas y cultivos donde su disponibilidad se encuentra relacionada con la formación de nueva biomasa vegetal, mediante la técnica de riego se logra un aporte de agua en los cultivos, capaz de suplir las necesidades hídricas de las plantas, que no se ven cubiertas únicamente por las precipitaciones. Este aporte puede realizarse con el fin de incrementar la producción de una parcela, transformando zonas agrícolas de secano en zonas de regadío (Innovatione AgroFood Design, 2019).

La siembra y la agricultura son consideradas los sectores con mayor demanda de agua entre las diferentes actividades que el hombre designa a este recurso, el agua es considerada un nutriente esencial para las plantas y comprende hasta el 95% del tejido de una planta, este recurso se requiere para que brote una semilla y, a medida que la planta crece, el agua transporta nutrientes por toda la planta. Adicionalmente, es responsable de varias funciones importantes dentro de los tejidos vegetales, el agua permite el transporte de nutrientes y azucares desde las áreas de alta concentración de las plantas hasta las de menor concentración (Richmond, 2021)

El riego permite el crecimiento óptimo de las siembras y cultivos en lugares que son más propensos a verse afectados por lluvias estacionales y sequías, un sistema de riego puede facilitar la regulación de la cantidad de agua que reciben sus cultivos, lo que le permite crecer durante todo el año sin esperar la temporada de lluvias, además de ello, el riego asegura una distribución más consistente de nutrientes, hidrógeno y oxígeno a sus raíces, proporcionando los niveles apropiados de cada uno en el suelo fomentando a su vez mejores rendimientos (Woofter Construction & Irrigation, 2023).

Con el fin de proporcionar plantas sanas estas deben ser regadas de manera rutinaria en los momentos y proporciones adecuadas, siendo altamente proporcional con el hecho de lograr resultados de crecimiento y desarrollo de las plantas, esto en cuanto a las tasas adecuadas de agua a proporcionar y los tiempos efectuados, debido a que en muchas zonas del mundo entero se están viendo los efectos del cambio climático, las condiciones climatológicas pueden no ser las más adecuadas para lograr que las siembras cuenten con los parámetros de humedad que permitan su posible desarrollo y crecimiento, es por ello que se ha empleado el uso de sistemas de riego con el fin de asegurar la cantidad necesaria de agua cuando las lluvias se presentan de

manera irregular y/o sean insuficientes, teniendo la posibilidad de brindar los diferentes nutrientes que necesitan las plantaciones de manera regular y por periodos de tiempo prolongados.

Hoy en día existen diferentes clases de riego, los más comunes son riego por goteo, por aspersión, por bombeo y por gravedad. Teniendo en cuenta lo anterior el riego por goteo se ha convertido en una de las técnicas con mayor eficiencia en términos económicos y ambientales, puesto que con este se genera ahorro del uso del agua, este sistema funciona a partir del uso de goteros o emisores, los cuales descargan el agua por gotas a lo largo de hileras de plantas, cada boquilla de estos goteros o emisores descarga la misma cantidad de agua, teniendo de esta manera perdidas de presión mínimas. Por lo cual, la distribución del agua es uniforme y puede ser controlada (Merea, 1982). Por ello, no generara desperdicios del agua a utilizar y lo convierte en una técnica con mayor eficiencia, además de ello, la aplicación excesiva o inadecuada de agua tiene un impacto significativo frente a la salud de las plantas, dado que al aumentar la cantidad de agua se genera un aumento de nutrientes afectando las mismas, causando estrés hídrico principalmente cuando se trata de suelos arenosos (Moreno F, 2009)

Existen muchas zonas del país que no cuentan con cobertura de sistemas eléctricos, lo que limita el uso de los sistemas de riego cuando se requiere del bombeo del agua, por tal motivo la eficiencia del riego debe ser directamente asociada a la eficiencia del uso de la energía, los sistemas de riego que utilizan energía solar como suministro energético, día a día están tomando mayor fuerza sobre todo en países en desarrollo, según la FAO (2018), los sistemas de riego que utilizan la energía solar tienen el potencial de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por unidad de energía utilizada para el bombeo de agua en más del 95 por

ciento en comparación con las alternativas alimentadas por redes eléctricas que utilizan combustibles fósiles o Diesel.

Por lo anterior, nace la necesidad de implementar un sistema de un sistema de riego por goteo para el jardín que se encuentra ubicado en la fundación arqueológica USMEKA, usando energía solar fotovoltaica como suministro energético, teniendo en cuenta que esta zona carece de sistemas eléctricos, además de ello, el jardín se encuentra rodeado de las quebradas la Taza y Fucha, por lo cual presenta ser una solución óptima para favorecer el crecimiento y desarrollo de más de 100 individuos arbóreos que se encuentran plantados en el jardín, con este proyecto de planea garantizar la humedad de las plantaciones, ya que presentan deficiencia de riego para los periodos de sequía y con mayor radiación solar.

Planteamiento del problema

La participación de la comunidad guiada por líderes sociales, campesinos y jóvenes ha sido un escenario clave para la transición de territorios en áreas de protección y conservación. En el área arqueológica y de patrimonio hacienda el Carmen, la comunidad lucho por salvaguardar aquellos territorios determinados como áreas de protección y conservación ambiental, patrimonial y arqueológica y en honor a esta lucha liderada por el campesino Jaime Beltrán, crearon el jardín - bosque que representa la unión y la fuerza de la comunidad en torno a intereses comunes y nombrado en honor del líder campesino, quien fue pieza clave en la declaración de área arqueológica protegida. No obstante, el jardín – bosque ha presentado dificultades para prosperar, ya que no cuenta con un ambiente favorable para su desarrollo y crecimiento. Debido a la variabilidad climática se han presentado días de sol con altas temperaturas marcadas por un cambio climática inminente, y esto se ha repetido por varios días

en los que el jardín no recibe ningún riego natural o artificial, por lo tanto, los individuos arbóreos no reciben el suministro de agua suficiente para su desarrollo y no tiene los nutrientes necesarios para su crecimiento, generando como consecuencia el deterioro de las plantaciones.

Para poder sostener el legado que representa el jardín – bosque para la comunidad y su lucha por la protección de los territorios, se presenta la posibilidad de formular e implementar un sistema de riego solar para el jardín – bosque, para que así, el jardín cuente con el ambiente favorable necesario para un desarrollo óptimo.

Objetivos

Objetivo General

Implementar un sistema de riego por goteo por medio energía solar fotovoltaica como suministro energético para la fundación arqueológica USMEKA.

Objetivos Específicos

Diseñar el sistema de riego solar de acuerdo con las necesidades climáticas, necesidades topográficas y necesidades de riego de las plantaciones en la zona de estudio.

Analizar los costos de instalación y mantenimiento del sistema de riego por goteo usando energía solar como suministro energético.

Socializar el funcionamiento de los componentes del sistema de riego por goteo con energía solar al personal encargado.

Marcos de Referencia

Marco Geográfico

Ubicación: Descripción de la zona de elaboración del sistema de riego solar. El proyecto se desarrolló en el parque arqueológico y de patrimonio hacienda el Carmen, el cual está ubicado en la localidad de Usme en la vereda la Requilina en Bogotá. La vereda La Requilina al sur de Bogotá, cuenta con 11 fincas (El Triángulo, La Esmeralda, El Pantano, la Providencia, La Cueva del Chulo, La Esperanza, La Beraka, Aguadulce, La Ruidosa, Centro Histórico y La Tormenta).

Figura 1.

Zona delimitada del Área Arqueológica y de Patrimonio Hacienda el Carmen.



Nota. Satélite hacienda el Carmen. (2023). Bogotá, Usme, Colombia. [Imagen satelital]. Google Earth. https: http://bitly.ws/D9Br

El Área Arqueológica Protegida de la Hacienda el Carmen cuenta con 30 hectáreas la cual fue declarada Área Protegida, bajo la potestad del ICANH (Instituto Colombiano de Antropología e Historia), entidad que está bajo el Decreto 138 de 2019, el cual “Establece y

regula las funciones del Instituto Colombiano de Antropología e Historia, como la única institución competente en el territorio nacional respecto del manejo del patrimonio arqueológico. Para el ejercicio de las competencias asignadas por la ley y enunciadas en este Decreto, el ICANH deberá establecer los trámites y procedimientos técnicos que sean necesarios para la protección del patrimonio arqueológico. Para dicho efecto, deberá expedir la reglamentación pertinente dentro de los seis (6) meses siguientes a la expedición de esta normatividad." (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2019)

En esta área de protección, se encuentra el descubrimiento de indicios de viviendas indígenas, canales de cultivo y numerosos enterramientos humanos, este lugar se encuentra considerado como sitio ritual, y cuya historia inició hace 1.200 años, contiene una gran cantidad de tumbas en un espacio distribuido en 30 hectáreas. Considerada área de gran importancia, ya que es la única área declarada protección arqueológica en la Ciudad de Bogotá, además de ser uno de los yacimientos arqueológicos prehispánicos de gran magnitud y con señales de preservación bastantes marcadas (ICANH - Instituto Colombiano de Antropología e Historia, 2014).

Contexto

Mesa de Patrimonio Ancestral, Cultural y Ambiental de Usme

"Somos un colectivo establecido dentro de los mecanismos de participación ciudadana, a partir de la voluntad de un grupo de personas que concebimos el patrimonio como un elemento identitario vital para la apropiación y configuración de los territorios." (USMEKA, s.f.)

El hallazgo arqueológico

A partir del proyecto de vivienda Ciudadela Nuevo Usme de la constructora Metro vivienda, ubicado en la localidad de Usme, en el año 2007, se realizó el descubrimiento de un cementerio o necrópolis indígena, este descubrimiento fue generado por la excavación en los trabajos de construcción por parte de la constructora encargada de este proyecto. Inicialmente la empresa optó por no indagar acerca de estos vestigios, pero la comunidad al darse cuenta del descubrimiento denunció públicamente los hallazgos y le solicitó a la constructora contratar un estudio arqueológico liderado por la Universidad Nacional.

Posteriormente en el año 2014 fue reconocido por parte del Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH) como patrimonio arqueológico, por lo tanto, el proyecto de vivienda tuvo que parar y el área quedó a disposición del Instituto Distrital de Patrimonio Cultura (IDPC) y demás entidades públicas.

Figura 2.

Yacimientos arqueológicos encontrados durante la excavación.



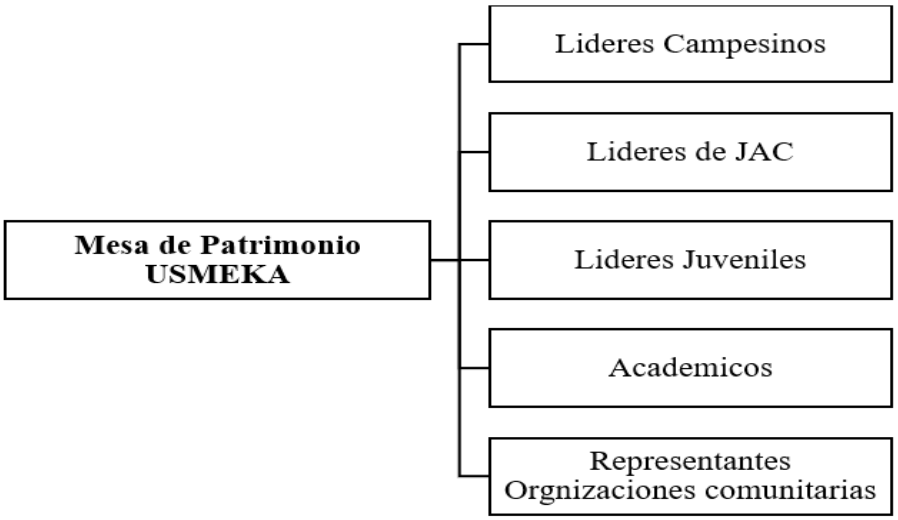
Nota: Adaptada de página oficial USMEKA [Fotografía] por Instituto Distrital de Patrimonio Cultura (https://usmeka.org/).

En la Figura 2 se evidencia el hallazgo arqueológico se hallaron piezas que datan de unos 3.500 años antes de Cristo, se encontraron grupos precerámicos que tienen vestigios de la Cultura pre-muisca y más de 3500 individuos enterrados y distribuidos en un espacio de 30 hectáreas (USMEKA, s.f.).

Organigrama

Figura 3.

Organigrama mesa de patrimonio Usmeka.



Nota. Fuente: El autor.

En la Figura 3 se presenta el organigrama de la fundación USMEKA, el cual permite reconocer a partir de esta representación gráfica la estructura de la fundación, que incluye las relaciones jerárquicas y competenciales dentro de la organización.

Recorridos de patrimonio, cultura y ambiente

Figura 4.

Galería de actividades pedagógicas para la comunidad en torno al patrimonio y medio ambiente.



Nota: Adaptada de página oficial USMEKA [Fotografía] por Instituto Distrital de Patrimonio Cultura (https://usmeka.org/).

En la Figura 4 se presenta evidencia fotográfica de las charlas, recorridos informativos y pedagógicos en virtud del patrimonio y el medio ambiente.

La fundación tiene como misión promover y preservar el patrimonio cultural, coyunturalmente la protección y cuidado del medio ambiente. Generando estrategias pedagógicas interactivas a través de las cuales se busca la apropiación de los territorios por parte de la comunidad, por medio de recorridos y diálogos y demás actividades que fomentan la identidad ancestral y patrimonial de los territorios. Promoviendo la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente como principal fuente cultural.

Líder Social

"Jaime Adalberto Beltrán Salamanca (1963-2020), nació en la vereda El Tesoro de Usme y de allí se trasladó a la vereda Olarte donde se estableció y se dedicó a las labores del campo en una pequeña propiedad que le daría el sustento para él y su familia. Consciente de las graves consecuencias de la conurbación, trabajó por la defensa de la vocación agrícola de Usme y las más de 121.500 hectáreas que conforman la zona rural de Bogotá. Cuando la hacienda El Carmen, iba a ser urbanizada, las excavaciones dejaron al descubierto restos humanos y elementos de cerámica que correspondían, dijeron los expertos ante las consultas de Jaime, a un importante cementerio indígena. Ante la incredulidad de muchos y la amenaza de poderosos intereses, el dirigente campesino recurrió a la academia y logró, a la postre, que se suspendiera la urbanización del predio, que ese importante hallazgo arqueológico pasará a manos de la Universidad Nacional y que el Distrito y la Nación aportaran recursos para convertirlo en un museo, abierto a las gentes sencillas de la zona, para conocer y valorar las expresiones culturales de nuestros antepasados." (Abello García, s.f.)

Figura 5.

Jaime Adalberto Beltrán Salamanca (1963-2020), líder campesino defensor del territorio y del hallazgo arqueológico de Usme.



Fuente: Imagen adaptada de Prezi. [Fotografía] sin autor (Prezi.com/p/hg-g2mttruk7/parque-arqueologico-2/).

Bosque - Jardín Comunitario Jaime Beltrán

El jardín - bosque comunitario fue un desarrollo social entre líderes y campesinos, para gritar victoria en torno al área protegida de patrimonio y cultura ambiental. Actualmente se encuentran sembradas más de 100 individuos arbóreos, que pretenden a largo plazo generar un ecosistema de bosque, donde se aproveche una reestructuración ecológica y ambiental (USMEKA, s.f.).

Las especies que se encuentran allí situadas son: Aliso (*Alnus glutinosa)*, Hayuelo *(Dodonaea viscosa),* Mano de Oso *(Oreopanax bogotensis),* Siete Cueros *(Tibouchina lepidota),* Arrayán *(Myrcianthes leucoxyla),* Corono *(Xylosma spiculifera),* Garrocho *(Viburnum triphyllum)*, Cedro *(Cedrela odorata)* y tuno *(Miconia biappendiculata).* Estas especies son consideradas predominantes en los ecosistemas de bosque alto andino, estas son zonas consideradas de transición entre la selva amazónica y los páramos andinos, por lo que su composición vegetal es muy variada y se caracteriza por una gran biodiversidad (Mora Osejo & Sturm , 1994).

Para conocer el requerimiento hídrico para especies pertenecientes a ecosistema de bosque alto andino, se deben considerar las necesidades de agua de cada especie de árbol y las condiciones climáticas de la zona. Sin embargo, según Guariguat Manuel y Sánchez Arturo (s.f), se recomienda que los árboles reciban al menos 30 litros de agua por semana durante la temporada de crecimiento (primavera y verano).

Los árboles de bosque alto andino tienen necesidades de agua específicas que dependen de la especie y las condiciones climáticas del área. En general, estos árboles necesitan una cantidad adecuada de agua para crecer y sobrevivir en el ambiente húmedo y fresco de las montañas andinas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible , 2021).

Teniendo en cuenta que el jardín cuenta con 100 individuos arbóreos los cuales requieren alrededor de 30 litros de agua por semana, la cantidad de agua para la totalidad de los arboles seria de 3000 litros por semana, lo que equivale a 428,57 Litros al día.

Figura 6.

Bosque - Jardín Comunitario Jaime Beltrán ubicado en el Área Arqueológica y de Patrimonio Hacienda el Carmen.



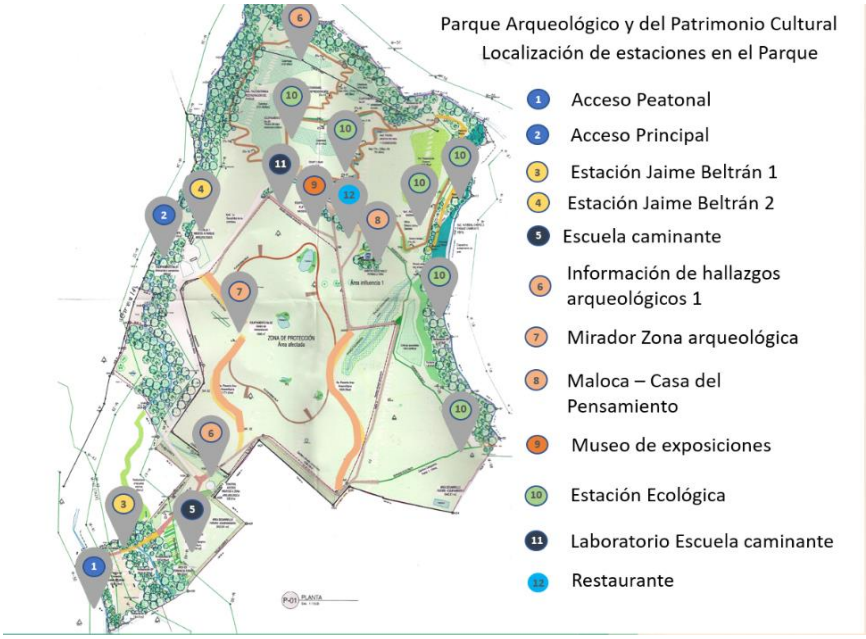
Nota. Fuente: El autor.

Proyecto del parque arqueológico en El Carmen

Se busca promover la apropiación y la salvaguardia integral del patrimonio, así como fomentar la memoria histórica, las buenas prácticas ambientales, la investigación participativa y la recreación pasiva. Con el liderazgo del IDPC, el parque se convertirá en un centro de interpretación conformado por un museo de sitio, laboratorios y senderos ambientales, entre otros elementos, con la capacidad de albergar las piezas arqueológicas, profundizar la investigación, reconstruir el pasado prehispánico de Usme y conectar las tres quebradas que atraviesan el predio (Castellanos Agamez, 2020)

Figura 7.

Mapa de localización de las estaciones dentro del parque.



Nota: Adaptada de página oficial USMEKA por Instituto Distrital de Patrimonio Cultura (https://usmeka.org/).

En la Figura 7 el mapa muestra la propuesta para transformar el área de protección arqueológica en parque arqueológico y de patrimonio cultural, donde se aproveche el turismo sostenible como forma pedagógica de fomentar el patrimonio y el cuidado al medio ambiente.

Escuela Caminante

Es una escuela que estudiara y resaltara el paisaje cultural por medio de la gastronomía y la música, sus transformaciones y los procesos buscaran marcar el territorio con el objetivo de mantener vivas estas prácticas (USMEKA, s.f.). Cursos que se ofertaran:

- Gastronomía campesina
- Música de la resistencia

Rutas y recorridos dentro del parque, se plantean tres rutas:

- Ruta arqueológica
- Rutas de estaciones ecológicas (Educación ambiental, experiencia concepto verde, protección de rondas, goce y apropiación)
- Ruta de los sabores (desde el mirador hasta la zona de restaurantes)

Hallazgos Arqueológicos - Museo de exposiciones

- Artefactos y cerámicas
- Arquitectura civil y funeraria

Marco conceptual

Es necesario tener ciertos conocimientos claros en cuanto a los diferentes conceptos y temas en relación del proyecto con el fin de tener una mejor concepción de la problemática que

se presenta actualmente en el jardín comunitario Jaime Beltrán, a continuación, se definirán los conceptos de mayor relevancia para llevar a cabo el desarrollo de la elaboración del sistema de riego por goteo haciendo uso de la energía solar fotovoltaica como suministro energético:

Energías Renovables

Se denomina Energía Renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o por ser capaces de regenerarse por medios naturales (Trashorras Montecelos, 2021).

Energía Eólica

La energía eólica es la energía cuyo origen proviene del movimiento de masa de aire, es decir, del viento. En la tierra el movimiento de las masas de aire se debe principalmente a la diferencia de presiones existentes en distintos lugares de esta, moviéndose de alta a baja presión (Spiegeler & Cifuentes, 2016)

Energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial (Spiegeler & Cifuentes, 2016).

Sistema de Riego por goteo

El riego por goteo se adapta a las pequeñas áreas de terreno y a los sistemas de riego fotovoltaicos. Los sistemas de riego localizados contribuyen al mejoramiento de la eficiencia del

manejo del agua; debido a que las dosis relativamente pequeñas multiplican la producción (Blair, 1979)

Marco legal

Tabla 1.

Marco normativo aplicable a las energías renovables en Colombia.

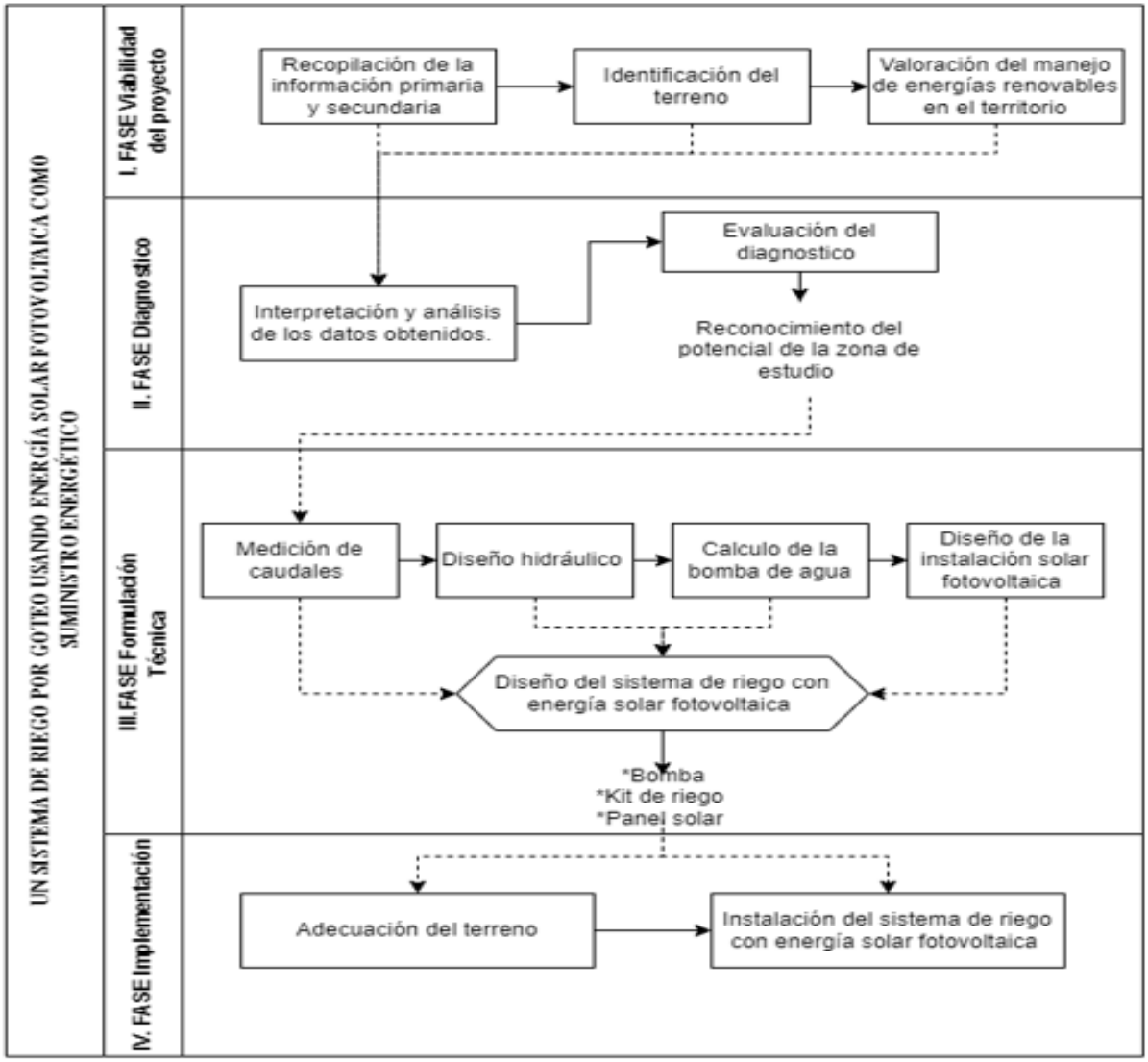
NORMA	ALCANCE
Ley 2099 de 2021	Tiene por objeto la modernización de la legislación vigente en materia de transición energética, la promoción de fuentes no convencionales de energía.
Ley 2036 del 27 de julio de 2020	Por medio del cual se promueve la participación de las entidades territoriales en los proyectos de generación de energías alternativas renovables y se dictan otras Disposiciones.
Resolución Ministerio de Ambiente 1312 de 11 agosto de 2016	Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones.
Resolución Ministerio de Ambiente 1283 de 8 agosto de 2016	Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables – FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones
Resolución CREG 167 de 2017	Por la cual se define la metodología para determinar la energía firme de plantas eólicas.

Nota. Fuente: El autor.

Metodología

Figura 8.

Metodología para el proyecto



Nota. Fuente: El autor

FASE I. Viabilidad del proyecto

Recopilación de información

En el proceso de recopilación de información se observaron, examinaron y establecieron las características de la naturaleza exacta del territorio de estudio, esto permitió hacer los primeros razonamientos en cuanto al recurso energético disponible (radiación, viento o biomasa) y las posibilidades de éxito de su desarrollo posterior (limitaciones medioambientales, capacidad de conexión y otra serie de limitaciones técnicas y normativas).

Esto se realizó a partir de visitas y recorridos al predio, se dividieron las visitas en 4 visitas en total divididas en cuatro semanas, una visita por semana para recopilación de información. En estas visitas se tomaron datos básicos descriptivos de cada zona visitada del predio. La base de desarrollo fue el método científico, en donde inicialmente se realizó la formulación de preguntas que permitan filtrar los propósitos de la búsqueda de información, como: ¿Según la topografía del terreno, en qué área me genera más provecho que recurso energético? ¿Cómo influyen las características climáticas de la zona en el suministro de las energías renovables? ¿Cómo incide la caracterización transitoria urbana-rural en el aprovechamiento de las energías renovables? La investigación se basó en los estudios y análisis de la viabilidad técnica, donde se determinó su ubicación y se analizará la disponibilidad de recursos naturales de la zona, los mismos pueden ser: la radiación solar; la velocidad, frecuencia y dirección del viento, o el acceso a suficientes residuos de biomasa.

Por medio de las visitas al predio y la información obtenida por medios investigativos se logró establecer una hipótesis de los posibles suministros energéticos y su potencial para uso en energías renovables en la alimentación de un sistema de riego.

Para el desarrollo metodológico en la búsqueda de información se basó en los tres tipos de fuentes de información (Primaria, secundaria y terciaria). La elección de fuentes de información confiables requiere observación, análisis y pertinencia en el proyecto que se está desarrollando. Por tal razón, las tres fuentes de información proporcionan suficientes bases sólidas para construir argumentos confiables y verídicos, ya que, en el desarrollo metodológico se logró relacionar de manera científica la utilidad de la información con los objetivos del proyecto y arrojó como resultados la validez en la toma de decisiones.

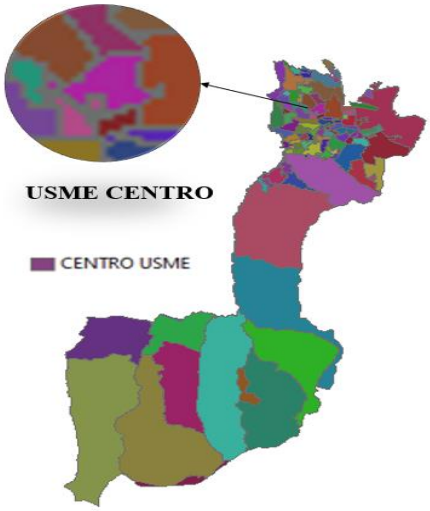
En el proceso de investigación se llevó a cabo la actividad de obtención de información por medio de plataformas virtuales y reconocimiento de componentes, características y datos relevantes en el potencial energético solar, eólico y de biomasa para generación de energía eléctrica en el territorio.

Identificación del terreno

Localidad de Usme

Figura 9.

Mapa de la localidad de Usme, presentado zona de desarrollo del proyecto.



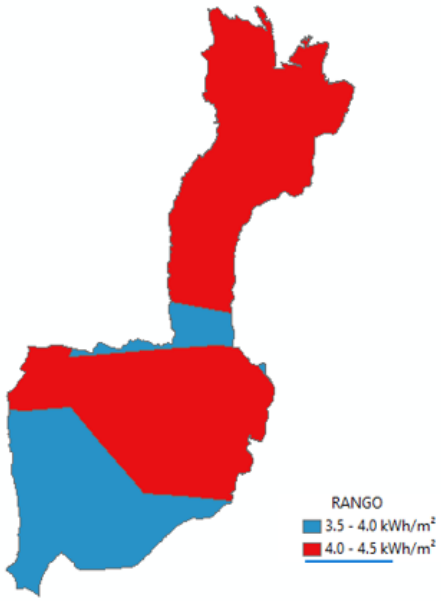
Nota. Esta figura muestra la localización de la zona de estudio del proyecto haciendo énfasis en la localidad de Usme, barrio Usme Pueblo, [Mapa]Adaptada de ArcGIS.

La Hacienda el Carmen está ubicada al sur de Bogotá y hace parte de la localidad de Usme, esta se encuentra en la cuenca media del río Tunjuelo y limita a con la quebrada la Fucha al norte, con la quebrada la Requilina al oriente, y con la quebrada Aguadulce al occidente. En la actualidad, el predio se localiza en una zona de transición entre la ciudad y la ruralidad. Presenta limitación sobre el barrio Usme centro.

Radiación Solar

Figura 10.

Mapa de radiación solar para la localidad de Usme.

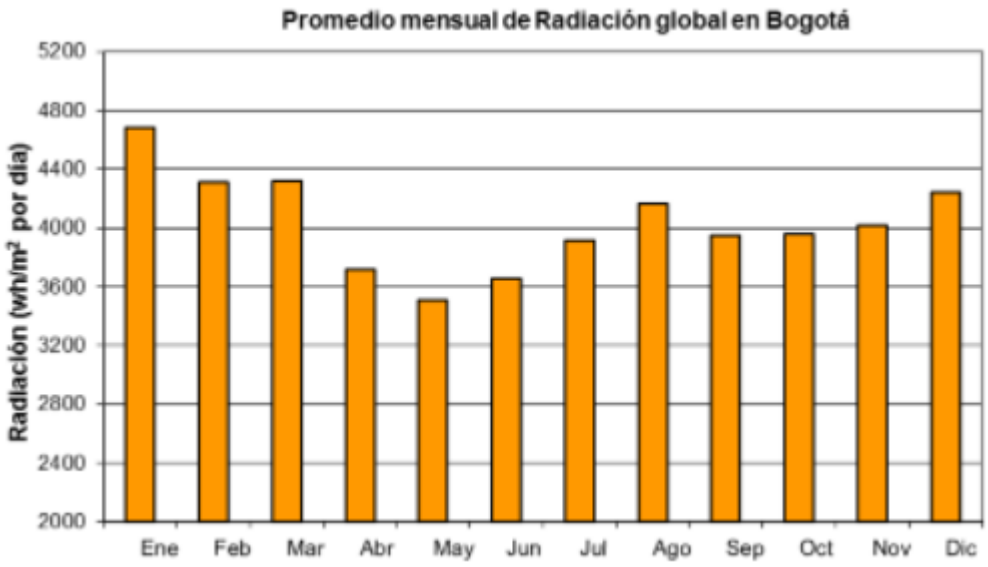


Nota. Esta figura presenta el rango de radiación solar en la localidad de Usme, identificando rango de la zona de estudio, [Mapa]Adaptada de ArcGIS.

Para establecer la disponibilidad del recurso solar en el área de estudio los datos fueron obtenidos mediante el uso de la Herramienta de geoprocesamiento de ArcGIS, la cual permitió lograr identificar a radiación solar entrante en la localidad de USME, donde fue posible evidenciar que este valor corresponde a 4,0 KWh/(m^2 ∗ día)y 4,5 KWh/(m^2 ∗ día)Ver Figura 10.

Figura 11.

Promedio mensual radiación solar global en Bogotá.



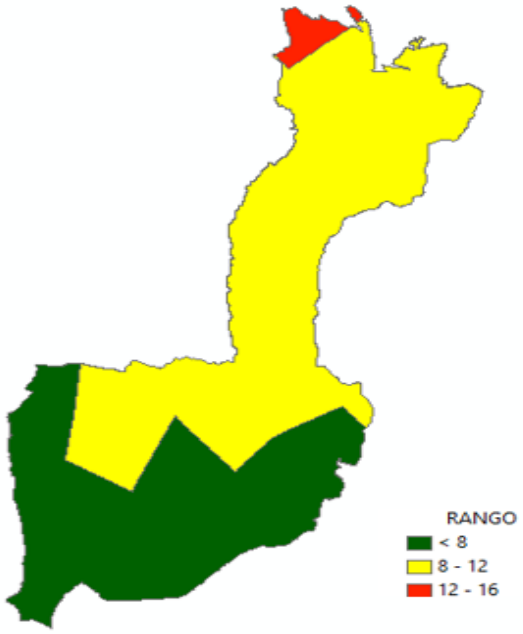
Nota. El grafico representa la radiación solar promedio mensual en la ciudad de Bogotá. Imagen adaptada de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2014

En la figura 11 es posible evidenciar la serie de datos correspondientes a los valores promedios máximos de radiación solar mensual para el año 2014 en la ciudad de Bogotá, dado obtenido mediante la página del (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2014)

Temperatura

Figura 12.

Rango de temperatura para la localidad de Usme.

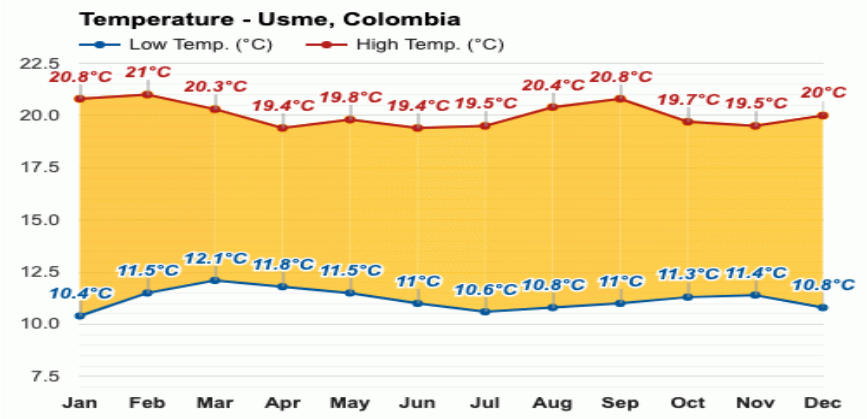


Nota. Esta figura presenta el rango de temperatura en C° en la localidad de Usme, identificando rango de la zona de estudio, [Mapa]Adaptada de ArcGIS, elaboración propia.

A partir del uso de la Herramienta de geoprocesamiento de ArcGIS se logra determinar los rangos de temperatura para la localidad de Usme, específicamente la zona de interés del proyecto, como se evidencia en la imagen esta puede variar de 8°C a 16°C.

Figura 13.

Temperatura en la localidad de Usme – Colombia



Nota. Fuente: Adaptado de Aladin. (s/f). Usme, Colombia - Clima y Previsión meteorológica mensual. Weather Atlas.

Humedad

Figura 14.

Rango de humedad localidad de Usme.

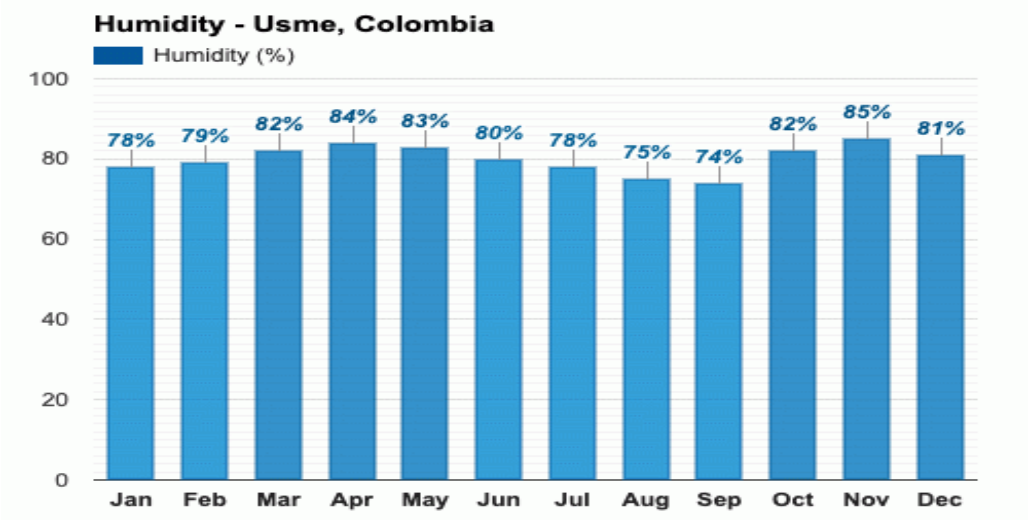


Nota. Esta figura presenta el rango de humedad en la localidad de Usme, identificando rango de la zona de estudio, [Mapa]Adaptada de ArcGIS, elaboración propia.

Según los datos obtenidos mediante el uso de la herramienta ArcGIS se puede denotar que la localidad de Usme cuenta una humedad promedio de 80% a 90%, sobre la zona de estudio esta se encuentra en un rango de 80% a 85%.

Figura 15.

Humedad localidad de Usme - Colombia



Nota. Fuente: Adaptado de Aladin. (s/f). Usme, Colombia - Clima y Previsión meteorológica mensual. Weather Atlas.

El mes con la humedad relativa más alta es Noviembre (85%). El mes con la humedad relativa más baja es Septiembre (74%) (Weather Atlas, s.f.)

Lluvia

Figura 16.

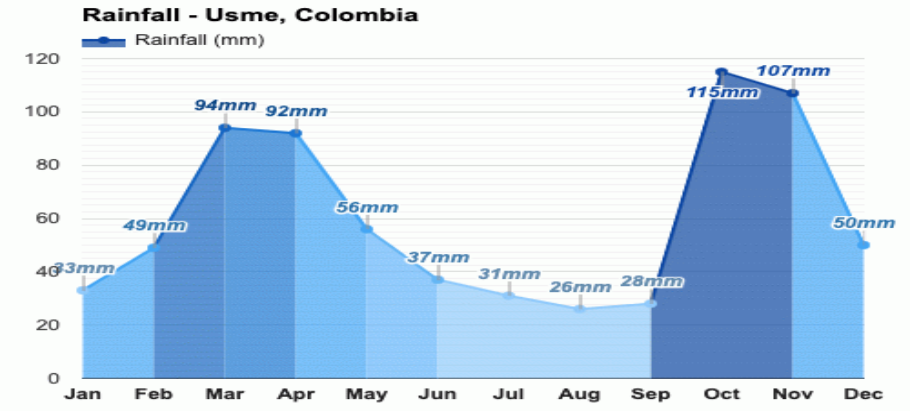
Rango de lluvia en la localidad de Usme



Nota. Esta figura presenta el rango de lluvia en la localidad de Usme, identificando rango de la zona de estudio, [Mapa]Adaptada de ArcGIS, elaboración propia.

Figura 17.

Lluvia Usme, Colombia



Nota. La figura representa estadísticamente los niveles de lluvia mensual para la localidad de Usme Fuente: Adaptado de Aladin. (s/f). Usme, Colombia - Clima y Previsión meteorológica mensual. Weather Atlas.

Valoración del manejo de energías renovables en el territorio

Para la valoración del manejo de energías renovables en el territorio, se llevó a cabo la actividad de observación y reconocimiento de componentes, características y datos relevantes en el proceso de estructuración y aprovechamiento de energías renovables en el territorio y en la Localidad de Usme. Esta valoración se hizo por medio de estudios investigativos a través de plataformas informativas en la web. Esta valoración se hizo por medio de una búsqueda de información actual en torno a normativas en pro de los recursos naturales, para ello se basó principalmente en el Plan Energético Nacional Colombia: ideario energético 2050. También se generó el uso de otras fuentes informativas normativas como: La Ley 2099 de 2021 se modifica y adiciona la Ley 1715 de 2014. Ley No. 2036 del 27 de julio de 2020. Entre otras.

La valoración del manejo de energías renovables en el territorio, reflejo el atraso normativo y estructural en cuanto a energía renovables en el país, no se tiene un contexto claro para la instalación y operación de energías alternativas. Se evidencia el potencial energético de Colombia para el uso de energías renovables, al ser un país con gran biodiversidad, gracias a su ubicación geográfica y a sus características climáticas, se puede aprovechar cualquier sistema energético basado en energías renovables. Principalmente se resalta el potencial de energías para sistema eólicos y solares, por su posición geográfica el potencial de radiación es constante durante todo el año, resaltando las regiones del Caribe como principales escenarios de implementación, así mismo, Antioquia y Valle del Cauca presentan grandes potenciales. De

igual manera, al estar posicionado en la ZCIT (Zona de convergencia intertropical) la zona donde convergen los vientos alisios del hemisferio norte con los del hemisferio sur, presenta grandes potenciales en materia de energía eólica, principalmente en zonas de la Guajira y el caribe. A pesar del potencial energético en materia de energía renovables del país, la inversión en este tipo de infraestructuras es mínima, se sigue invirtiendo en obtención de energía por sistemas hidroeléctricos por la abundancia del recurso hídrico, pero esto se ha visto afectado por el cambio climática y el aumento de la temperatura a nivel mundial. Así mismo, el uso de combustibles fósiles sigue siendo el principal factor en la economía colombiana, sin tener en cuenta, que las reservas de este recurso se agotan cada vez más rápido. Por esta razón, la transición energética a energías alternativas es inminente, donde se basa en el aprovechamiento de los recursos naturales sin que estos se vean afectados, de la mano con cambios normativos y de inversión que impulsen la infraestructura a nivel masivo de este tipo de sistemas renovables.

FASE II. Diagnóstico

Interpretación y análisis de los datos obtenidos

Se describió, analizó e interpretó la información reunida, en términos claros y precisos (descripción cuantitativa y cualitativa). Esto a partir de los datos obtenidos de las visitas realizadas al terreno y su vez el resultado de la búsqueda literaria a través de diferentes fuentes de información.

Se diagnosticó que según la caracterización climatológica de la zona (Localidad de Usme), cuenta con grandes beneficios ambientales en torno al recurso natural hídrico, viento, radiación solar y biomasa al contener gran parte de zona rural. Los recursos hídricos de Usme son abundantes: los ríos Tunjuelo, Curubital, Chisacá, Lechoso y Mugroso son los más

importantes. En el área urbana de la localidad se destacan entre otras quebradas: La Requilina, La Taza, El Piojo, Chiguaza, Yomasa, Bolonia, La Resaca, Santa Librada, Morales y El Zuque. Esta localidad cuenta con una temperatura promedio de 13° grados promedio anual, Humedad Relativa entre seca y semiseca, Precipitación Total 800 a 1.000 mm promedio anual (Periodo más lluvioso abril a octubre) (Periodo más seco noviembre a marzo) y Altitud 2276 metros sobre el nivel del mar.

También se evidencio que los vientos están condicionados por aspectos generales o sinópticos, los cuales influencian el flujo en las direcciones noreste y sureste; igualmente, también influencian por situaciones de carácter local, los cuales originan comportamientos de direcciones variables. Por lo tanto, al no tener un flujo constante, con datos constantes en variables de velocidad y dirección, la energía eólica no era la mejor opción. Esto también ligado al estudio tipológico de la localidad, ya que la zona de estudio se encuentra en una zona de transición urbano- rural, y en términos arquitectónicos, sumado a la planeación del territorio construcción de edificaciones de grandes alturas, puede incidir en la velocidad y dirección del viento que pueda aprovechar el terreno para ejecutar un proyecto de energía eólica.

El terreno de Área de Protección Arqueológica está ubicado en zona de transición rural-urbano, es decir, el lugar aún cuenta con varias zonas rurales, específicamente la zona de estudio presenta en todo su terreno área rural, la cual está abastecida por varios cuerpos hídricos y gran potencial ambiental. Además, está rodeado por varias fincas que poseen una cantidad considerable de cabezas de ganado, estas dos variables son indicadores importantes para la generación de biomasa, aunque no se puede contar con este recurso ya que las cabezas de ganado no son propiedad del parque arqueológico, sino de los campesinos que habitan el alrededor de la

zona. Para sacar provecho de este recurso energético se tendría que hacer alianzas con los propietarios de las reses y generaría otro tipo de proyecto de aprovechamiento ya que se pierde el enfoque para el área de protección, aunque se gestionó la recomendación sobre este recurso a la población campesino para su aprovechamiento. También no se considera viable la implementación de esta energía para producción de electricidad por las complicaciones estructurales y procedimentales necesarias para la generación de electricidad a partir de la biomasa.

La variabilidad climática de la ciudad de Bogotá en conjunto con el cambio climático, han sido contingencias para el estudio y ejecución de proyectos de energías renovables. A partir de estos razonamientos, se identificó varios tipos de clima a lo largo de la ciudad: Semiseco, Semi Húmedo, Ligeramente Húmedo, Moderadamente Húmedo, Húmedo, Muy Húmedo y Súper Húmedo. Todos estos tipos de clima se pueden evidenciar en cada localidad de la Ciudad, con incidencias diferentes, pero siempre presentes. En este orden de ideas, el clima de la localidad de Usme, al estar asociado a un clima de páramo por estar limitado con el páramo de Sumapaz, ha presentado variabilidad climática que implica diferentes características climáticas a lo largo del año y que no está predominado por un clima específico. En términos de aprovechamiento energético, puede influir en contar con una variedad de selección de uso de este tipo de recursos.

Como es el caso de la radiación solar, los registros son obtenidos en las tres estaciones meteorológicas representativas de la ciudad de Bogotá (Aeropuerto El Dorado, Escuela de Ingeniería y Departamento de Física de la Universidad Nacional); estas estaciones muestran que

Bogotá cuenta con un recurso solar adecuado para realizar dimensionamientos de sistemas fotovoltaicos.

El diagnóstico arrojó como resultado la elección del tipo de recurso energético más aprovechable según las características de la zona de estudio. Se constató que, aunque los recursos renovables están dispuestos en todos los territorios de forma ilimitada, el potencial energético de cada uno de ellos dependerá de características específicas del territorio.

Evaluación del diagnóstico

Por medio del diagnóstico se determinaron las características de cada recurso energético y su aprovechamiento en la zona de estudio, así mismo se evidencio la situación actual del uso de energías renovables en el país.

La evaluación arrojó el potencial energético de la zona de estudio, para esto, la elección más favorable fue el uso de la energía solar para aprovechamiento en materia de energías renovables. A partir de la información recolectada de la geografía del terreno, se ubicó el mejor lugar para desarrollar este proyecto de energía solar, realizando la elección del Bosque - jardín comunitario Jaime Beltrán para el desarrollo del proyecto.

El jardín cuenta con un área de 881.48 $\boldsymbol{m^2}$ y una extensión con un perímetro de 144.15m. Actualmente cuenta con la plantación de más de 100 individuos arbóreos. Y se encuentra rodeado por la quebrada la Taza y la quebrada Fucha.

Figura 18.

Ubicación geoespacial del Jardín comunitario Jaime Beltrán.



Nota. Adaptada de imagen satelital geoespacial ubicación del jardín comunitario Jaime Beltrán tomada de Google Earth.

A partir de la evaluación del diagnóstico, se evidenció la necesidad de instalar un sistema de riego para el jardín comunitario, ya que para que los individuos arbóreos logren prosperar y cumplir su objetivo de convertirse en un ecosistema de bosque, tiene que contar con un entorno favorable que contribuya al crecimiento de los individuos. Por lo tanto, se decidió realizar el proyecto de un sistema de riego solar para el jardín comunitario. Haciendo uso de las energías renovables y así mismo, se logra contribuir a la comunidad y al área de protección arqueológica al cuidado de su entorno ambiental y social.

De acuerdo con los diferentes mecanismos de funcionamiento del sistema de riego, se decidió escoger el sistema que estuviera más acorde con las necesidades y características de la

zona de estudio, a partir de estas consideraciones, se eligió desarrollar un sistema de riego solar por goteo directo.

Tipo de suelo

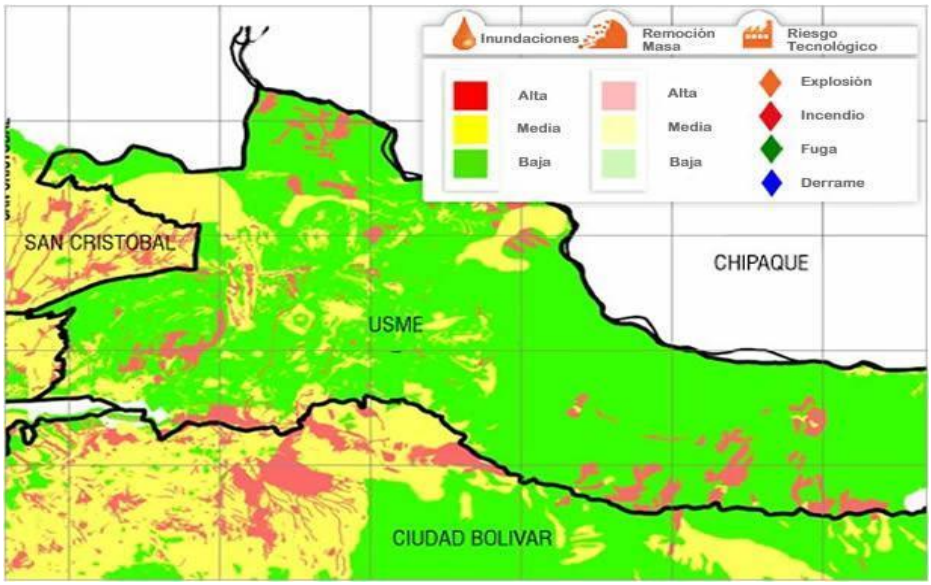
Se debe conocer como dato primordial el tipo de suelo en el cual se encuentran las plantaciones, ya que este importante dato será clave para determinar la cantidad de agua necesaria que habrá que destinar a las plantaciones para su correcto crecimiento.

Topografía del terreno

Con el fin de determinar la superficie, forma, pendientes, localización del terreno.

Figura 19.

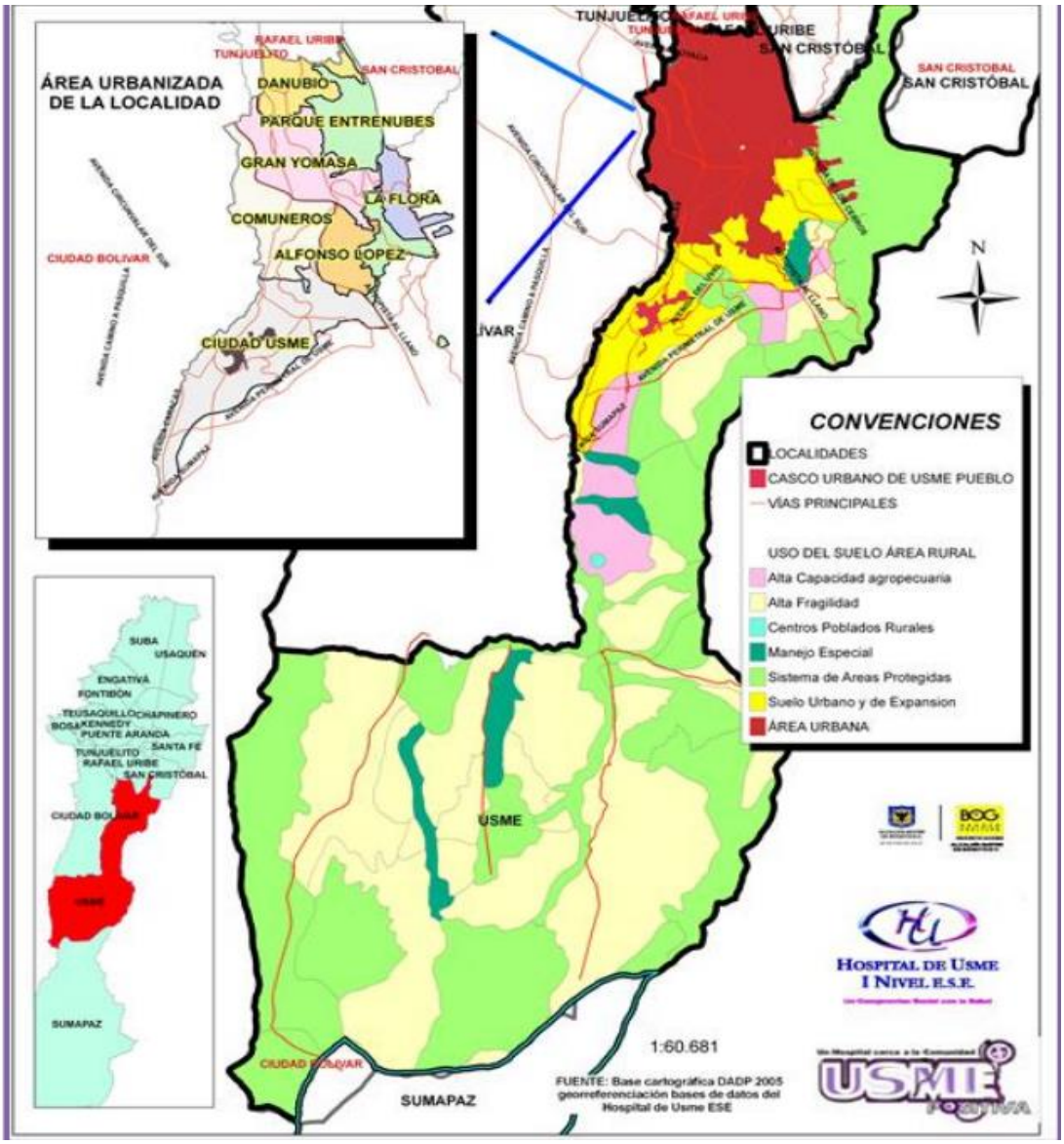
Mapa de la topografía de la localidad de Usme.



Nota. La figura evidencia la topografía para la zona de estudio. Adaptado de Mapas. (s/f). Gov.co. (http://www.usme.gov.co/mi-localidad/mapas).

Figura 20.

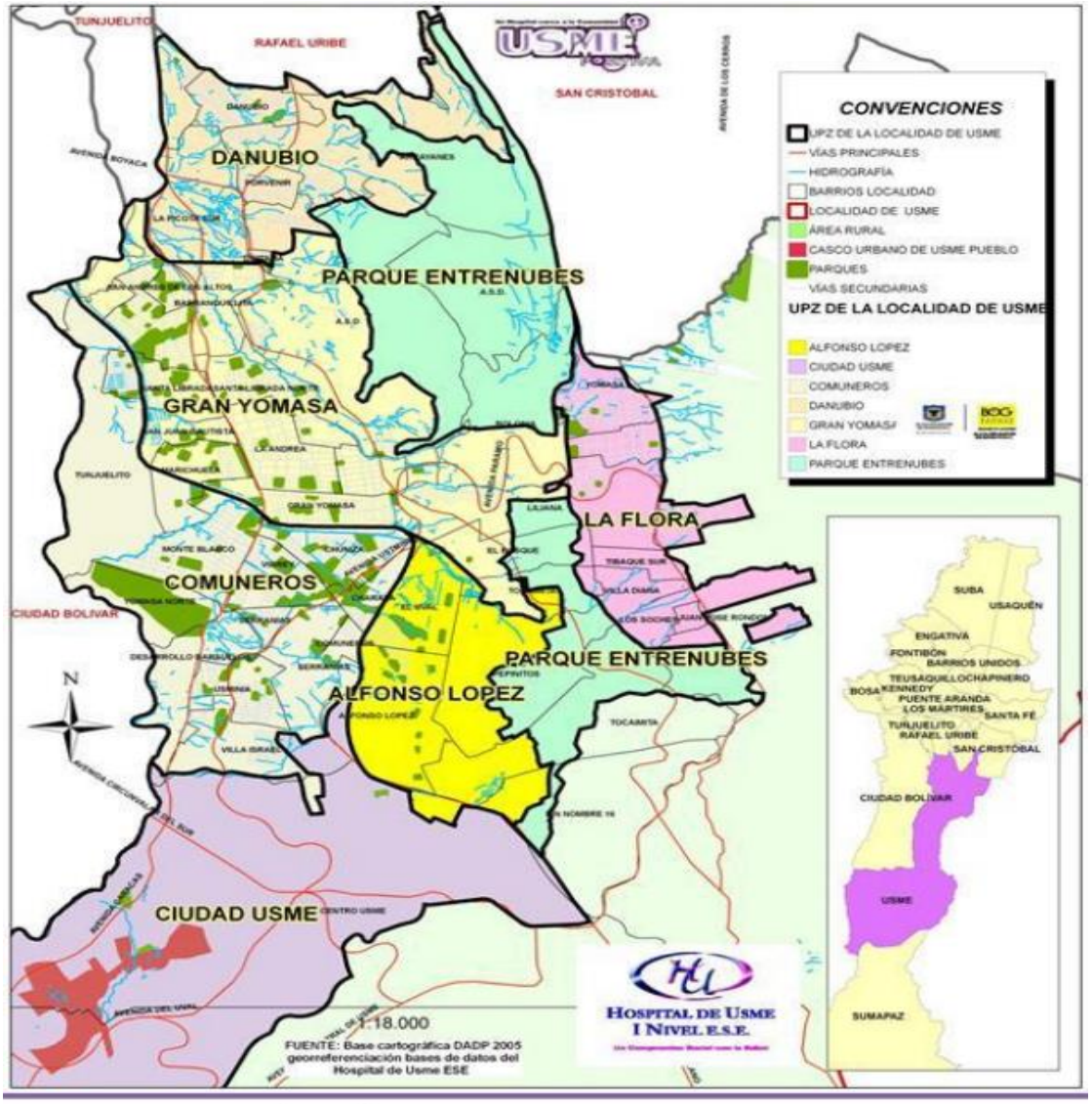
Mapa de usos del suelo rural de la localidad de Usme.



Nota. Adaptado de Georreferenciación a partir de las bases de datos del H. Usme E.S.E 2010-Base cartográfica DADP 2005.

Figura 21.

Mapa de la hidrografía de la localidad de Usme.



Fuente: Adaptado de Georreferenciación a partir de las bases de datos del H. Usme E.S.E 2010- Base cartográfica DADP 2005.

FASE III. Formulación técnica

Medición del caudal disponible

Con el fin de establecer las características óptimas que se deben considerar para la elección de la bomba de succión que permitirá conducir el suministro de agua desde la fuente de obtención hacia el sistema riego, se definió el caudal de la fuente de abastecimiento a partir del método por trazador de la sal por conductividad. Este método es característico para medir caudales en corrientes pequeñas, como arroyos, riachuelos o quebradas, por lo tanto, lo hace un método acorde a las necesidades de la zona de estudio.

Materiales:

- 1 balde
- 2 palos de escoba
- Lazo
- Metro
- Sal (1kg)
- Marcador
- Cronómetro
- Equipo multiparámetro

Figura 22.

Materiales para la medición del caudal por trazador de sal por conductividad.



Nota. Fuente: El autor

Metodología de medición

- Inicialmente se reconoce el tramo de medición, el cual debe ser lo más uniforme posible, es decir que sea recto. Para ello se tomó un tramo de 5 metros de longitud con 2 metros de ancho.
- Posteriormente, se realizó la medición de profundidad de la quebrada. En este punto se seccionó en 6 tramos (incluyendo el inicial) el ancho de la quebrada para establecer el perfil altimétrico de la misma, cada 40 cm. Para medir la profundidad se aforan los palos

de escoba para sumergirlos en el cuerpo de agua y poder visualizar la medida a través de la parte húmeda del palo.

- Después se tomó una muestra de agua de la quebrada, se midió la conductividad que lleva para luego medir la velocidad del cauce, esto se realizó a partir de la metodología de trazadores químicos, en este caso se utilizó sal de cocina como trazador e indicador (NaOH). Con la misma muestra que se tomó inicialmente se adiciona 1 kilo de sal, esto inmediatamente aumentará la concentración de sales, por ende, la conductividad de la muestra de agua. La finalidad de este paso fue determinar la velocidad que lleva el cuerpo de agua, se tomó el tiempo en que tarda en recorrer la muestra con gran conductividad hasta finalizar el tramo que se escogió inicialmente (5 metros). Se obtiene una conductividad de 30 us (Microsiemens), luego de adicionar y diluir la sal el multiparámetro marca error, esto quiere decir que la conductividad de la muestra salió del rango de medición del equipo, que puede llegar a los 8000 us.
- Una vez obtenida la solución que se esperaba se puede determinar la velocidad de la corriente del agua. Se dosifica el balde de agua en la quebrada esperando que la conductividad subiera en el punto que se fue definido al final del tramo.
- La conductividad cambió su concentración a los 7,66 segundos, tiempo que tardó en recorrer los 5 metros de longitud del tramo escogido inicialmente.

Resultados de medición

Ancho de la quebrada: 2 metros

Largo de tramo de medición: 5 metros

Tabla 2.

Profundidades por sección.

Sección 1	Sección 2	Sección 3	Sección 4	Sección 5	Sección 6
6 cm	12,5 cm	15 cm	5 cm	4 cm	3 cm

Nota. Fuente: El autor.

Profundidad media: 7,58 cm / 0,0758 m

Velocidad del cauce:

$$\frac{5\ m}{7{,}66\ s} = 0{,}653\text{m/s} \quad (1)$$

Medición de Caudal disponible

$$Ancho\ x\ Profundidad\ media\ x\ Velocidad = \frac{m3}{s}$$

$$2m\ x\ 0{,}0758m\ x\ 0{,}653\frac{m}{s} = 0{,}098\frac{m3}{s} = 98\frac{L}{S} \approx 352.800\ \frac{L}{h} \quad (2)$$

A partir del uso de esta metodología de medición de caudales, se obtuvo que la quebrada tiene un caudal de 98 litros por segundo, esto indicará que tipo de bomba es adecuada para el sistema de riego.

Teniendo en cuenta que el caudal disponible en la quebrada la Taza es mayor al caudal de suministro para el sistema de riego, se puede evidenciar que este no afectara el caudal ecológico de la quebrada, ni alterara los procesos ecosistémicos de la misma, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *"el caudal ambiental o ecológico corresponde a un insumo*

para la estimación de la oferta hídrica disponible sobre los cuerpos de agua y, por tanto, todos los instrumentos que involucran la estimación de la oferta hídrica disponible deberán armonizarse y sincronizarse hacia el futuro en un marco de prioridades acorde con las realidades regionales".

El caudal ambiental o ecológico permite mantener el funcionamiento correcto del ecosistema, teniendo en cuenta lo anteriormente indicado, si este caudal es reducido por debajo del nivel necesario para mantener el ecosistema de manera saludable esto puede traer consigo efectos negativos en el agua, fauna y flora que se hagan beneficiosos del mismo, trayendo consigo mayor concentración de contaminantes, disminución de la calidad del agua, reducción de la biodiversidad, cambios en la flora y fauna, entre otros. Por lo tanto, para efectos del proyecto se evalúa que dicho proceso no sea afectado a partir de la implementación del mismo.

Diseño Agronómico

Para realizar el diseño agronómico se tuvieron en cuenta todos los aspectos necesarios para que el sistema de riego por goteo sea capaz de satisfacer las necesidades de un cultivo, proporcionando las condiciones óptimas para el desarrollo del mismo, esta parte del diseño será clave para realizar el diseño hidráulico. En este diseño se procede a calcular la demanda hídrica para el desarrollo del sistema de riego por goteo, donde se tuvieron en cuenta los datos climatológicos de la estación más cerca de la zona de estudio, en este caso se hizo uso del software CLIMWAT 2,0 para poder obtener los datos meteorológicos de la zona, la información que se extrajo de este software permitió hacer uso del software CROPWAT 8,0 y con esta información fue calculada la evapotranspiración de referencia ETo (mm/día) mediante del uso de la ecuación de Penman-Monteith con ayuda de este software.

Figura 23.

Datos meteorológicos de la localidad de Usme.

ETo Penman-Monteith Mensual - C:\Users\ASUS\Desktop\documentos usmeka\CLIMA ETo\U...

País: Location 26 — Estación: USME

Altitud: 3120 m. — Latitud: 4,35 °N — Longitud: 74,11 °W

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	4,5	14,8	88	35	5,3	16,4	2,58
Febrero	4,3	15,3	84	35	6,5	19,0	2,97
Marzo	5,4	15,5	90	35	5,0	17,2	2,82
Abril	6,2	14,1	88	35	2,9	13,8	2,36
Mayo	6,2	14,0	89	35	3,5	14,2	2,37
Junio	5,8	13,2	89	35	3,2	13,4	2,21
Julio	5,7	12,8	88	35	2,5	12,5	2,09
Agosto	5,6	12,8	88	35	3,2	14,0	2,29
Septiembre	5,2	13,4	84	35	3,4	14,6	2,40
Octubre	5,4	14,1	89	35	3,1	13,8	2,30
Noviembre	5,6	14,4	88	35	4,4	15,2	2,44
Diciembre	5,5	14,9	90	35	5,3	16,1	2,54
Promedio	**5,5**	**14,1**	**88**	**35**	**4,0**	**15,0**	**2,45**

Nota. En la figura se puede evidenciar extraídos de la estación meteorológica en la localidad de Usme, Colombia. Adaptada de CROPWAT 8,0.

El promedio de la evapotranspiración potencial anual obtenida es 2,4 mm/día. Posteriormente se logra obtener el dato del Cálculo de la precipitación efectiva mediante Cropwat 8.0

Se procede a realizar el cálculo evapotranspiración del cultivo (ETc), este valor se obtiene con el fin de conocer las necesidades hídricas de riego para las plantaciones dado que la planta solo utiliza una pequeña parte del agua disponible en sus procesos metabólicos, el resto se pierde por la transpiración del propio vegetal y por evaporación en el suelo. Para lograr

determinar este valor se tomó como referencia la metodología propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$Etc = Eto * Kc$$

Donde Kc es una constante propia de cada cultivo determinada experimentalmente y fue obtenido de la FAO, se tomó como valor de referencia de 1,5, teniendo en cuenta que los valores de Kc para los árboles oscilan entre 0,5 y 1,5 (Agrológica Servicios, 2012).

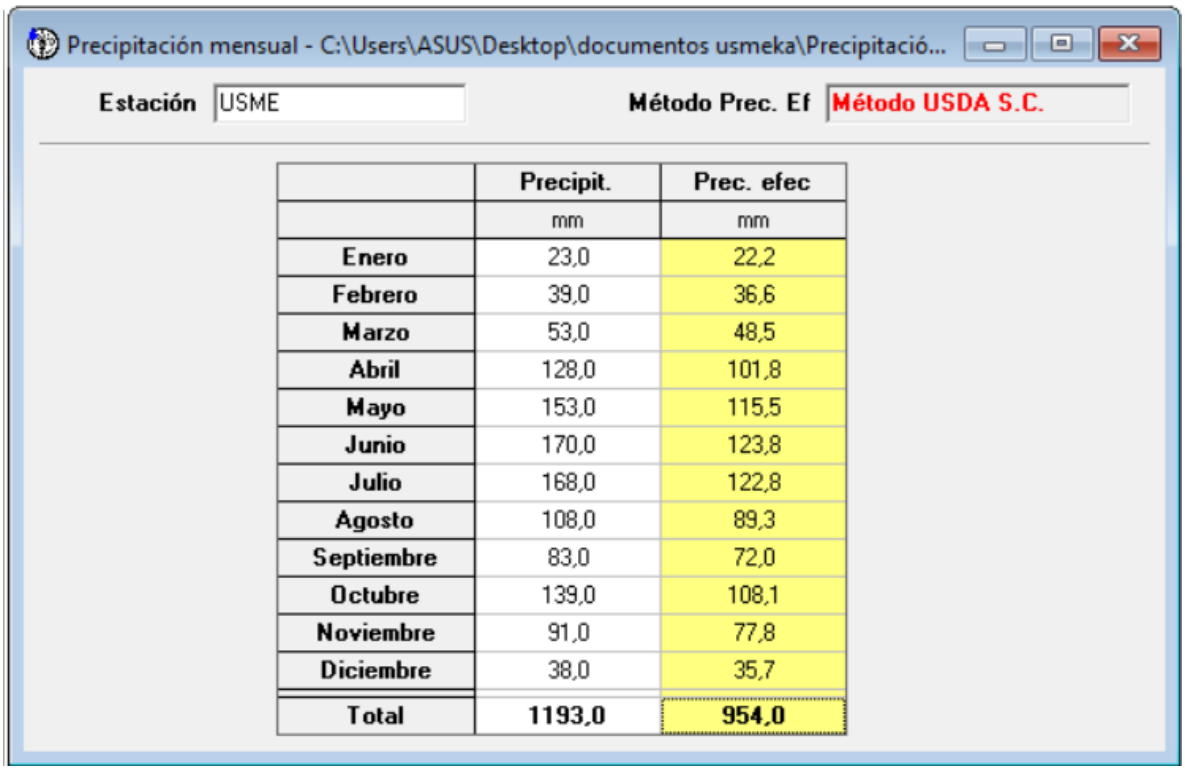
Entonces:

$$Etc = 2{,}45 \frac{mm}{día} * 1{,}5 = 3{,}675 \ \frac{mm}{día} \quad (3)$$

A partir del uso del software Cropwat 8.0, se procede a realizar el cálculo de la precipitación efectiva anual la cual es 954,0 mm para la zona de estudio, dato que se puede evidenciar en la figura 24.

Figura 24.

Precipitación efectiva anual de la localidad de Usme, Colombia



Precipitación mensual - C:\Users\ASUS\Desktop\documentos usmeka\Precipitació...

Estación USME Método Prec. Ef Método USDA S.C.

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	23,0	22,2
Febrero	39,0	36,6
Marzo	53,0	48,5
Abril	128,0	101,8
Mayo	153,0	115,5
Junio	170,0	123,8
Julio	168,0	122,8
Agosto	108,0	89,3
Septiembre	83,0	72,0
Octubre	139,0	108,1
Noviembre	91,0	77,8
Diciembre	38,0	35,7
Total	1193,0	954,0

Nota. En la figura se puede evidenciar la precipitación anual, los cuales fueron datos extraídos de la estación meteorológica en la localidad de Usme, Colombia. Adaptada de CROPWAT 8,0.

Cálculo de necesidades de riego

Las necesidades de riego (Nn) hace referencia al dato obtenido de la ETo, por lo tanto, se procede a calcular las necesidades brutas (Nb), valor que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Nb = \frac{Nn}{Ea}$$

Donde:

$Ea = Eficiencia\ del\ sistema\ de\ riego$

Para un sistema de riego por goteo, se considera una Ea del 90%.

Entonces:

$$\text{Nb} = \frac{3{,}675}{90\%} = 4{,}083\ \text{mm} \approx 4{,}08 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} \quad (4)$$

Caudal sector Qs

$$Qs = \frac{\#\ de\ ramificaciones * largo\ de\ las\ ramificaciones\ (metros) * Qemisor}{Dee}$$

Donde:

de ramificaciones= El número de ramificaciones que se proyecta para este sistema de riego por goteo es un total de 5.

Largo de las ramificaciones = Se toma un valor de 80 metros por cada una de las ramificaciones

Qemisor= Hace referencia al caudal comercial de los goteros empleados para el sistema de riego, los cuales pueden ser de 2 L/h o 4 L/h, para este diseño se tomará el de 2L/h.

Dee= Este valor hace referencia a la distancia entre emisores siendo un valor de 2 metros.

$$Qs = \frac{5*80\ m*2\ L/h}{2\ m} = 400\ \text{L/h} \quad (5)$$

Caudal Bomba Qb

$$Qb = \frac{400\ L/h}{60} = 6{,}67\ \text{L/m} \quad (6)$$

Caudal continuo Qc

$$Qb = \frac{6{,}67\ L/m}{60} = 0{,}11\ \text{L/s} \quad (7)$$

Tiempo de riego

Para determinar el tiempo de riego se debe determinar la cantidad de agua Esto dependerá de la superficie del área que se está regando y la cantidad de agua que necesitan las plantas, por lo tanto, la cantidad de agua será igual a 400 litros, teniendo en consideración la superficie a regar de 100 metros cuadrados la una tasa de aplicación de 4 litros por metro cuadrado. Posteriormente se establece la capacidad del sistema, la cual hace referencia al caudal sector, el cual es de 400 L/h.

Finalmente, se puede calcular la tasa de aplicación de agua del sistema. Teniendo en cuenta que el sistema tiene 5 ramificaciones, cada una con 40 goteros, y la distancia entre ellos es de 2 metros, y cada ramificación tiene una distancia de 4 metros, se puede calcular la tasa de aplicación de agua por metro cuadrado:

- Cada ramificación cubre una superficie de 40 goteros x 2 m = 80 m²
- La distancia total de la ramificación es de 40 goteros x 2 m + 4 m = 84 m
- La distancia total de las 5 ramificaciones es de 5 x 84 m = 420 m
- La superficie total cubierta por las 5 ramificaciones es de 5 x 80 m² = 400 m²
- La tasa de aplicación de agua por metro cuadrado es de 400 L/h / 400 m² = 1 L/h/m²

A partir de los datos anteriormente obtenidos se puede determinar el tiempo de riego haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$Tiempo\ de\ riego = \frac{Cantidad\ total\ del\ agua}{Capacidad\ del\ sistema}$$

Entonces:

$$Tiempo\ de\ riego = \frac{400\ L}{400\ L/h} = 1\ hora \quad (8)$$

Por lo tanto, el requerimiento hídrico para el sistema de riego en cuanto a la teoría será de 1 hora. Sin embargo, este valor puede ser modificado teniendo en cuenta las condiciones climáticas y la frecuencia de riego.

Diseño Hidráulico

Se realiza el diseño hidráulico teniendo en cuenta la potencia teórica de la bomba solar, para posteriormente realizar su selección, con el fin de que esta puesta suplir la necesidad del sistema de riego, a partir del cálculo de la potencia teórica se busca conocer la cantidad máxima de energía que la bomba es capaz de transferir al fluido que está siendo movido esto bajo condiciones ideales, este cálculo se realizó a partir de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q \times H \times h}{em}$$

Donde:

$Q = Caudal\ de\ suministro$

$H = densidad\ del\ fluido$

$h = perdidas\ de\ energía$

$em = rendimiento\ de\ la\ bomba$

Teniendo en cuenta la anterior ecuación se determina el caudal de suministro donde se determina que para cada uno de los individuos arbóreos se debe suministrar un caudal de 30 litros a la semana, dado que se cuenta con 100 individuos arbóreos el caudal total es de los 3000 litros por semana lo que quiere decir que diariamente se debe suministrar un caudal de 428L/h, es decir 0,1188x10−3 m^3/s.

Para conocer la densidad del fluido en este caso agua dulce, se verifica la literatura del libro mecánico de fluidos de Robert Mott, donde se establece a partir de las tablas que para agua dulce a temperatura de 10°C la densidad del fluido es de 9810 N/m^3, (ver tabla 3).

Tabla 3.

Propiedades del agua.

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m^3)	Densidad ρ (kg/m^3)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m^2/s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}

Nota. Adaptada de Mecánica de Fluidos por Robert L. Mott Sexta edición. 2006, p. 488.

Cada ramificación del sistema de riego presenta perdidas de energía, para este caso se considera que cada ramificación cuenta con un total de perdida de 9m, teniendo en cuenta que el sistema de riego cuenta con 5 ramificaciones las pérdidas totales de energía son de 45m.

Por lo general las bombas hidráulicas pueden llegar a tener un rendimiento del 60% a 80% esto considerando sus condiciones de diseño y mantenimiento, teniendo en cuenta que el rendimiento se puede ver afectado por condiciones de pérdidas de energía, se establece que la bomba tendrá un rendimiento del 70%.

A partir de los datos obtenidos, se procede a realizar el respectivo cálculo de la potencia teórica de la bomba solar que se desea implementar para el sistema de riego por goteo.

$$P = \frac{0{,}1188x10^{-3} \times 9810\ N/m^3 \times 45m}{0{,}70} = 75W \quad (9)$$

Teniendo en cuenta la potencia teórica que se requiere se realiza la busque de la bomba solar que se va a implementar en el proyecto, esta selecciono se basa a partir de la búsqueda de catálogos comerciales de empresas nacionales, se considera que para dicho requerimiento se puede considerar una bomba centrifuga pequeña, siendo ideales para aplicaciones de bajo caudal y baja altura de elevación.

Selección de la bomba

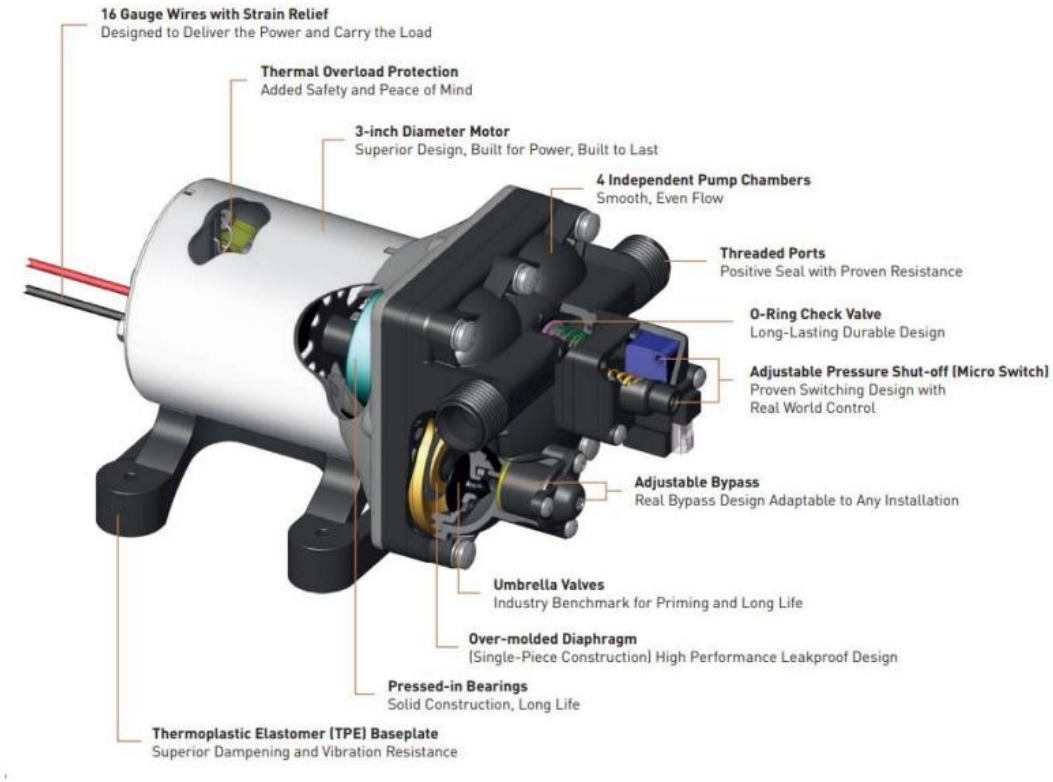
Para realizar la selección adecuada de la bomba hidráulica se realizó la previa consulta en diferentes catálogos de fabricantes, esto teniendo en cuenta los requerimientos específicos del sistema de riego, evaluando las características de las bombas disponibles, como el tipo de bomba, el rango de caudal y presión, la potencia del motor, el tamaño de la tubería de succión y descarga y otros datos técnicos que permitieron generar una selección de manera asertiva para lograr el objetivo del proyecto, donde a partir de los datos del sistema de riego se pudo generar una comparación frente a las bombas consultadas mediante los catálogos comerciales. Además de ello se tuvieron en cuenta para su selección factores de costos y presupuesto para su adquisición.

Por lo cual, se seleccionó la bomba solar centrifuga Shurflo Revolution™ Pump (A) modelo 4008-101-A65, con una potencia de 90 W, un caudal de 680L/H, 7.5 Amps, 12 V, debido a que estas características son adecuadas para la aplicación de sistema de riego por goteo usando como suministro energético la energía fotovoltaica, teniendo en cuenta que la potencia de la bomba es suficiente para satisfacer las necesidades del sistema de riego, garantizando de esta manera su funcionamiento eficiente sin consumir demasiada energía. Adicional a ello, el caudal

es adecuado para las necesidades del sistema, proporcionando la cantidad necesaria de agua. Las especificaciones técnicas de la bomba se pueden visualizar consultando la ficha técnica en anexo 2, (ver anexo 1).

Figura 25.

Fresh water pumps model 4008-101-a65



Nota. Adaptado de Shurflo RV Pumps, Filtration and Accesories. (2017). PENTAIR

Elección del panel solar

Para realizar la elección del panel solar se deben tener en cuenta diferentes factores como lo son, la radicación solar disponible en la zona de desarrollo del proyecto, la energía diaria requerida y con ello se determina la potencia del panel solar que se requiere para el proyecto.

La radiación solar disponible en la localidad de Usme, en la ciudad de Bogotá, Colombia corresponde a 4,0 KWh/ (m^2 *día) y 4,5 KWh/ (m^2 *día), esta información fue extraída a partir del uso del software ArcGIS a partir de los datos medidos en estaciones meteorológicas (ver Figura 10). Se tomará como valor de referencia 4,3 KWh/(m^2*día).

Posteriormente se realiza el cálculo de la energía requerida mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$Energia\ diaria\ (Wh) = Potencia(W) \times Tiempo\ de\ funcionamiento\ diario\ (h)$$

Para el cálculo de la potencia eléctrica de la bomba, se tienen en cuenta las especificaciones eléctricas para la bomba SH centrífuga superficial, en donde para una bomba de presión de 30 PSI, se tiene como corriente 7.5 Amperios y voltaje de 12V, a partir de esta información se determina la potencia haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$P_{mp} = V_{mp} * I_{mp}$$

Donde:

$P_{mp} = Potencia$

$V_{mp} = Voltaje$

I_{mp}= Corriente

Entonces:

$$P_{mp} = 12 * 7{,}5 = 90\ W \qquad (10)$$

Se establece que el funcionamiento máximo de la bomba por día es de 1 hora, por lo tanto, el cálculo de la energía diaria es el siguiente:

$$Energia\ diaria\ (Wh) = 90W \times 1\,h = 90\text{Wh} \quad (11)$$

Posteriormente se determina la potencia del panel solar, teniendo en cuenta los factores anteriormente calculados y asumiendo una eficiencia del panel del 15%, se establece la potencia del panel solar a partir del uso de la siguiente ecuación:

$$Potencia\ del\ panel\ solar = \frac{Energía\ diaria\ (Wh)}{Horas\ de\ sol\ diarias \times eficiencia\ del\ panel}$$

Se supone una eficiencia del panel solar del 15

Entonces:

$$Potencia\ del\ panel\ solar = \frac{90Wh}{4{,}3\ \text{KWh}/(m^2 * \text{día}) \times 0{,}15} = 133{,}33W \quad (12)$$

Teniendo en cuenta que para la selección del panel por lo general se debe considerar que la potencia del panel a seleccionar sea igual o mayor que la potencia de la bomba, ya que, de ese modo se compensa la poca o escasa generación que existirá en momentos de nubosidad. Además, esto proporciona la protección de las bombas en caso de que bajen los voltajes las bombas tratarán de aumentar las intensidades de corriente tratando de dar la potencia nominal. Por lo tanto, se selecciona un panel de 160W dado que el cálculo realizado estableció que la potencia del panel solar requerido debe ser de 133,33 W, de esta manera con dicha selección se tendrá un factor de seguridad para el sistema de riego solar.

Numero de paneles

El número de paneles se estableció a partir de la siguiente ecuación:

$$Np \geq \frac{Pp}{0{,}9 \times P_{modulo}}$$

Donde:

$$Pp = Potencia\ requerida$$

$$P_{modulo} = Potencia\ del\ modulo$$

Entonces:

$$Np \geq \frac{90W}{0{,}9 \times 160W} = 0{,}62\ \approx 1\ panel \quad (13)$$

El número de paneles es de 0,62 por ende se aproxima al valor más alto que en este caso seria 1 panel, estableciendo que para el sistema de riego por goteo se requiere el uso de 1 solo panel, con potencia de 160W.

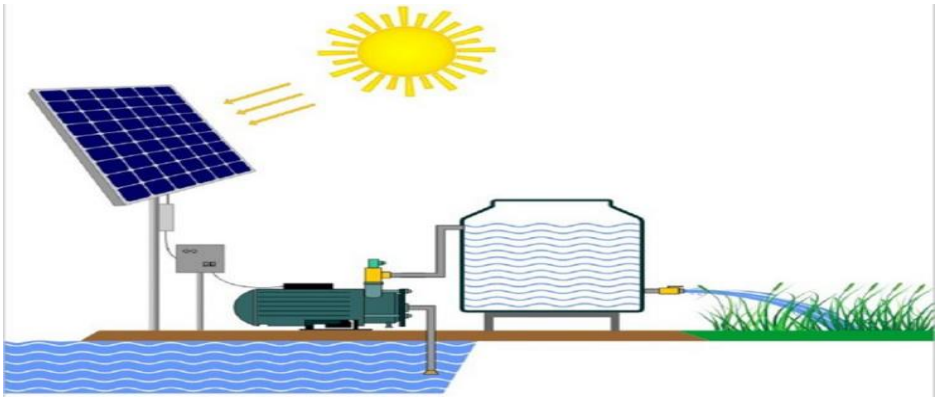
Diseño del sistema de riego con energía solar fotovoltaica

El sistema que se seleccionó para realizar el proyecto es un sistema de riego usando energía solar fotovoltaica, el cual funciona mediante placas fotovoltaicas las cuales usan la luz del sol para generar energía eléctrica. Esta transformación de la luz en energía tiene lugar en el interior de cada una de las celdas fotovoltaicas que componen la placa.

Funcionamiento de un sistema de riego solar.

Figura 26.

Sistema de riego solar



Nota. Adaptado de Riego y Drenaje de Huertas, Jardines y Muros Verdes. (2015, mayo 17). Gota Terra SAS.

Variables que influyen en el sistema de riego

Circuito o sistema

Que son el conjunto de componentes compuestos por un filtro, válvula anti-retorno o check, temporizador, regulador de presión, tuberías o mangueras principales, tuberías o mangueras ramales, o laterales, emisores de riego, fittings y otros accesorios, válvula de cierre o bien la llave de agua o grifo.

Zona o sector

Grupo de individuos arbóreos regado por un único circuito, longitud: 1 m = 1000 mm. El jardín cuenta con un área de 881.48 $\boldsymbol{m^2}$ y una extensión con un perímetro de 144.15m. Actualmente cuenta con la plantación de 100 individuos arbóreos.

Caudal

Conocer el caudal de suministro para el sistema de riego por goteo haciendo uso de energía solar es fundamental dado que de esta manera se lograra asegurar el suministro de agua que se requiere para satisfacer las necesidades del jardín, esto también permitirá conservar el equilibrio de la quebrada puesto que no se afectara el caudal ecológico del ecosistema y se optimizara el recurso hídrico de manera eficiente planificando de esta forma el sistema de manera eficiente y efectiva, el caudal con el que cuenta la quebrada la Taza es de 98L/s es decir 352.800 L/h.

Presión

La presión es el peso del aire en la atmósfera, la relación varía con el tiempo climático, es decir, entre más alta la presión más tiempo soleado y una presión más baja con tiempo tormentoso. La presión en Usme es de 1027 mbar.

Suministros del sistema de riego

Bomba

En los sistemas fotovoltaicos la potencia que proporcionan los módulos FV es directamente proporcional a la disponibilidad de la radiación solar, es por ello que la potencia generada por dichos módulos varía constantemente, y en consecuencia la potencia entregada a la bomba también. Para la elección de la bomba se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos fundamentales:

- El caudal deseado, el caudal influye en el tamaño y las dimensiones de la bomba.

- La altura de succión, altura entre la entrada del tubo de aspiración y la bomba, por lo general, la altura de succión no debe exceder los 7 metros. De no ser así, será necesario considerar el uso de una bomba sumergible.
- La altura de descarga: altura entre la bomba y la salida de la tubería de descarga.
- La longitud del circuito de descarga.
- Las pérdidas de carga debidas a obstáculos en el circuito de bombeo —válvulas, codos y goteros.
- La presencia o no de un depósito de descarga que pueda modificar la presión.

La bomba superficial es la que más se acomoda a las necesidades de riego. Tiene una entrada de succión, que es por donde absorbe el agua, y otra salida de expulsión, por donde suministra el agua al sistema. Ambos orificios son de una pulgada de diámetro. Pueden aspirar agua que se encuentre, como máximo, a 7 metros de profundidad. No debe ponerse en funcionamiento sin agua, ya que podría quemar la bomba. La elección de la bomba para el sistema fue una bomba SH centrífuga superficial, de 12 voltios, 7.5 amperios y con una capacidad de bombeo de 680 l/h, alimentada con un panel solar de 160 W. Con las siguientes dimensiones 8.1" x 4.9" x 4.3" (206 x 125 x 110mm). Se decidió que fuera superficial y no sumergible porqué de este modo se puede tener un mayor control sobre la bomba, en este caso el sistema de captación de agua se dará por medio de una válvula de pie junto con una serie de tubería que le permitirá a la bomba ser cargada de manera fácil y segura, en este caso siempre estará cebada, es decir, la válvula de pie siempre se encontrará sumergida en la fuente de agua y alimentación de la bomba SH.

Figura 27.

Bomba SH centrífuga superficial, de 12 voltios, 7.5 amperios y con una capacidad de bombeo de 680 l/h.



ITEM #	OEM MODEL #	DIMENSIONS	VOLTAGE	FLOW RATE	AMPS (MAX)	SHUT-OFF PRESSURE
4008-101-E65	4008-101-A65	8.1" x 4.9" x 4.3" [206 x 125 x 110mm]	12 VDC	3 GPM [11.4LPM]	7.5	55 PSI [3.7 BAR]

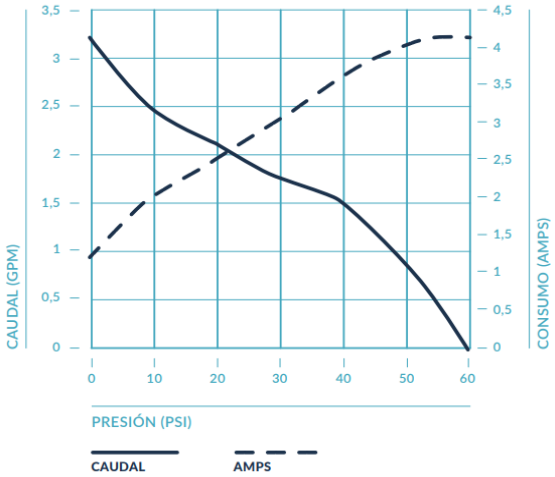
Nota. Adaptado de Riego y Drenaje de Huertas, Jardines y Muros Verdes. (2015, mayo 17). Gota Terra SAS.

Rendimiento

Rendimiento típico de una bomba SH centrífuga superficial, de 12 voltios, 7.5 amperios y con una capacidad de bombeo de 680 l/h. Este factor permite asegurar la eficiencia energética, durabilidad, productividad y seguridad del sistema de esta manera a partir del rendimiento de la bomba la selección de la misma será más objetiva con el fin de lograr suplir las exigencias del sistema.

Figura 28.

Rendimiento típico de una bomba SH centrífuga superficial, de 12 voltios, 7.5 amperios y con una capacidad de bombeo de 680 l/h.



PRESIÓN		CAUDAL		CONSUMO
BAR	PSI	GPM	LPM	AMPS
0	0	3.2	12.1	1.2
0.7	10	2.46	9.3	2.0
1.4	20	2.11	7.9	2.5
2.1	30	1.75	6.6	3.0
2.8	40	1.50	5.6	3.6
3.4	50	0.90	3.4	4.0
4.1	60	0	0	4.1

Nota. Adaptado de Instalación Solar Fotovoltaica para el Bombeo de Agua para Riego. (s/f). (Ingemecanica.com).

Kit riego directo

Un filtro, válvula anti-retorno o check, temporizador, regulador de presión, tuberías o mangueras principales, tuberías o mangueras ramales, o laterales, emisores de riego, fittings y otros accesorios, válvula de cierre o bien la llave de agua o grifo, soportes, cableado, caja con breaker y terminales temporizador electrónico a 12V.

Figura 29.

Kit de riego directo por goteo.



Nota. Adaptado de Riego y Drenaje de Huertas, Jardines y Muros Verdes. (2015, mayo 17). Gota Terra SAS.

Este sistema de distribución está organizado de tal manera que todos los individuos arbóreos sean alimentados por el sistema. Cuenta con una red de manguera que conducirá el agua alrededor del área requerida, 400 metros de manguera de polietileno de 16mm, este tipo de manguera es el más utilizado en los sistemas de riego. Posteriormente, los goteros, que son ese último accesorio del sistema de distribución, pueden ser adaptables a los requerimientos del operador del sistema, pueden quitarse y limpiarse con facilidad y tienen una capacidad de 2 lph, como su nombre lo indica, permitirá que, por medio de gotas de agua, las plantas puedan ser regadas e hidratadas constantemente, el sistema se diseñó con un total de 200 goteros ajustables para próximas plantaciones en el jardín.

Panel Solar 160W

Para a elección del panel solar se adquirió un panel solar monocristalino, ya que es un tipo de panel adecuado para un clima variable, ya que en la zona donde se implementará el

sistema de riego presenta tendencias de altas precipitaciones y este tipo de panel es capaz de absorber grandes cantidades de radiación las especificaciones técnicas del panel seleccionado se pueden visualizar en la ficha técnica del panel (ver anexo 2), teniendo en cuenta las consideraciones anteriormente mencionadas, para elección del panel solar se tuvieron en cuenta las siguientes características:

Potencia máxima

"Corresponde al máximo rectángulo que puede inscribirse al interior de la curva I-V, la que representa la potencia máxima que puede generar una celda solar. Este punto, denominado P mp, se obtiene del producto de V mp e I mp, y viene dado por la ecuación: (P mp = V mp * I mp)" (Lara Yevenes, 2007).

Eficiencia Paneles Solares

"Se define el rendimiento o eficiencia (η) de un panel solar, como el cociente entre la potencia máxima que puede dar a la carga y la potencia luminosa recibida por la celda y se encuentra dado por la siguiente ecuación: (n = V mp * I mp / P l) P l: Potencia recibida por la celda" (Lara Yevenes, 2007).

Figura 30.

Curvas de funcionamiento de módulos fotovoltaicos.

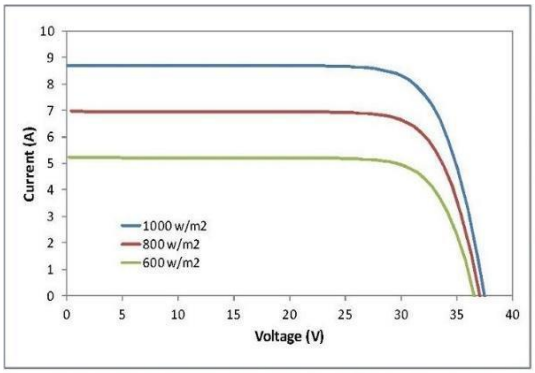


Figura Fa. Curvas I-V para distintos valores de la irradiancia solar Temperatura constante de la célula (25° C)

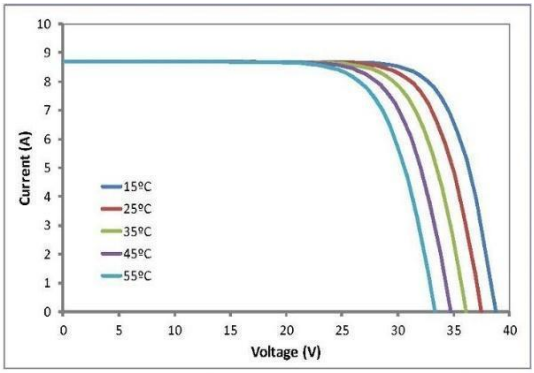
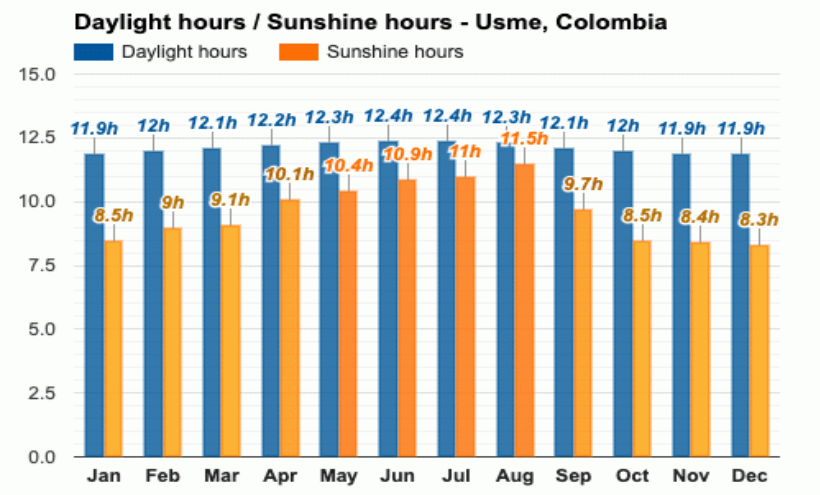


Figura Fb. Curvas I-V para distintas temperatura de la célula Valor de irradiancia solar constante (1000 W/m²)

Nota. Adaptado de Instalación Solar Fotovoltaica para el Bombeo de Agua para Riego. (s/f). (Ingemecanica.com).

Figura 31.

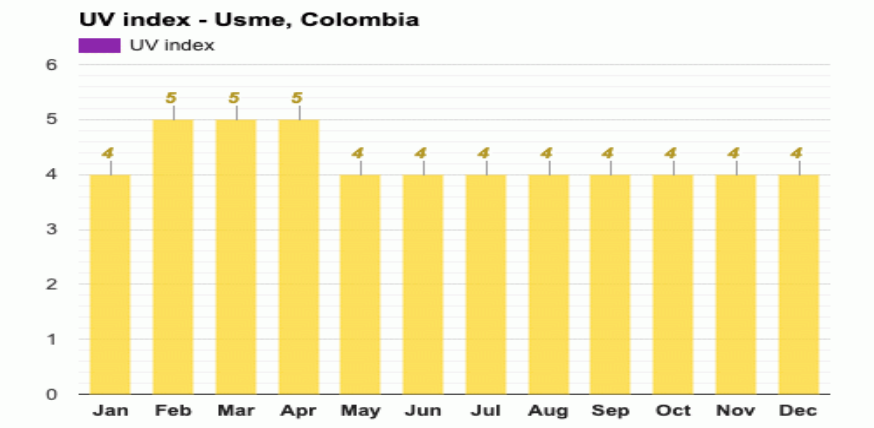
Luz diurna media / Promedio de insolación Usme, Colombia.



Nota. Adaptado de Aladin. (s/f). Usme, Colombia - Clima y Previsión meteorológica mensual. Weather Atlas.

Figura 32.

Promedio del índice UV Usme, Colombia.



Nota. Adaptado de Aladin. (s/f). Usme, Colombia - Clima y Previsión meteorológica mensual. Weather Atlas.

Figura 33.

Kit de riego directo por goteo.



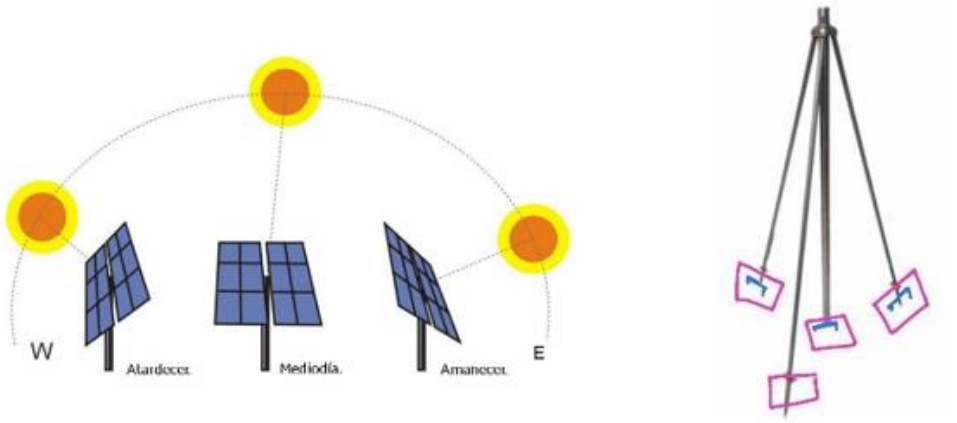
*Nota***.** Adaptado de Riego y Drenaje de Huertas, Jardines y Muros Verdes. (2015, mayo 17). Gota Terra SAS.

Estructura de soporte del panel

Estructura construida con el fin de proteger el panel de actos vandálicos y de daños mecánicos causados por la acción humana o por la acción de animales que se encuentran alrededor del predio. Se diseñó en forma de trípode ya que el área de patrimonio arqueológico tiene restricciones en cuestión de excavación del suelo para hacer una perforación de 60cm para el soporte inicialmente propuesto, por lo tanto, se sugirió hacer un trípode en acero galvanizado cubierto por una pintura anticorrosiva que le permite estar expuesto a la intemperie. Al tener 3 ejes de apoyo secundarios y un eje de soporte central, le dará mayor estabilidad a menor profundidad, el trípode tiene una altura de 2 metros y va sujeto a un soporte de concreto de 25cm de profundidad por cada eje de apoyo. El sistema de trípode tiene un cabezal rotatorio que permitirá mover el panel según la inclinación de la radiación solar a lo largo del día.

Figura 34.

Estructura del panel solar.



Nota. Adaptado de Riego y Drenaje de Huertas, Jardines y Muros Verdes. (2015, mayo 17). Gota Terra SAS.

Costos

Costos de inversión inicial

Tabla 4.

Costos de inversión inicial.

DESCRIPCIÓN	COSTO
Sistema de riego por goteo de 100 m^2 compuesto de su accionamiento por bomba solar SH Shurflo de 12V, 7,5 Ay 680Lph con su panel solar, soportes, cables y conectores, temporizador 12V, cabezal con su filtro ¾, rollo de 400m en manguera PE de 16mm y conjunto de accesorios en 16mm (codos, tées, uniones y obturadores) y 200 goteros de 2Lph, perforador e instructivo de montaje.	$1´650.000
Instalaciones y sistema de soporte para panel en acero galvanizado y caja de seguridad para bomba sh superficial	$1.070.000
TOTAL	$2´720.000

Nota. Fuente: El autor.

Costos de operación y mantenimiento

En general este tipo de sistemas fotovoltaicos demandan muy pocos gastos de operación y mantención, reduciéndose a trabajos de inspección periódica, los costos deberán ser cotizados por la entidad responsable del sistema de riego.

FASE IV. Implementación

Para el desarrollo de la fase de implementación se tienen en cuenta todas las decisiones establecidas en la fase de formulación, teniendo en cuenta el diseño, costos y suministros necesarios para la implementación. La instalación del sistema de riego solar se dividió en 4 partes, teniendo en cuenta consideraciones de tiempo y clima. La primera parte se desarrolló la adecuación del terreno, esto con el fin de garantizar que el terreno tuviera las condiciones

necesarias para instalar el soporte de panel y de la bomba. En la segunda parte, se instaló el panel y la bomba del sistema, teniendo en cuenta el manual de instalación y todo tipo de conexiones necesarias para su funcionamiento. En la tercera parte se realizó la red de distribución de suministro de agua en toda el área de plantación y, por último, se ejecutó la puesta en marcha del sistema de riego solar.

Primera parte

Adecuación del terreno

Acondicionar el suelo para garantizar un ambiente favorable para la instalación y para que el sistema de goteo directo funcione sin contratiempos. Realizar las labores de preparación del suelo, contribuye también a mejorar las condiciones de humedad y aireación del terreno. Se realizaron todas aquellas actividades que son esenciales para preparar apropiadamente el terreno para el riego. Dichas actividades son: Podar el césped de la zona del jardín donde se va implementar el riego, limpiar y aplicar correctivos para cumplir con un suelo firme y sin obstáculos. Una adecuada preparación del terreno permite localizar el riego directo a la plantación, y esto le beneficia a una penetración profunda para un crecimiento óptimo y, así mismo, la planta asimila mejor los nutrientes.

Figura 35.

Galería adecuación del terreno para la instalación del sistema de riego.



Nota. Fuente: El autor

Posterior a la adecuación del terreno para la instalación de la red de distribución del riego, se procede a realizar la adecuación del punto de instalación del soporte para el panel solar y la bomba. Para este punto se realizó la poda del pasto formando un cuadrado de

100cmx100cm, después se realizó la excavación de 4 puntos con medida de 15cm de profundidad y un área de 20cmx20cm. El primer punto de excavación será para el eje central, el cual estará ubicado en la mitad del recuadro, y en forma triangular se excavaron los otros 3 puntos del trípode para el soporte.

Figura 36.

Galería adecuación del terreno para la instalación del soporte para el panel.



Nota. Fuente: El autor

Construcción de la caja de seguridad de la bomba

Ya teniendo listo el terreno para la instalación, se procede a construir la caja de seguridad para bomba, para esto, preparando la mezcla de cemento para crear una base sólida en forma de cuadrado de 33cmx33cm, después encima de la base de cemento construyendo un cuadrado compuesto por ladrillos huecos dobles de 12X18X33. Realizando algunas perforaciones a los ladrillos para la conexión de la bomba con el panel solar y con la manguera de succión. Después se sellaron los ladrillos con cemento y afinando la superficie. Posteriormente con la tapa de la caja de seguridad, la cual es una tapa metálica, la cual se instaló con un soporte para cerradura

incrustado en la parte superficial del ladrillo, y cuenta con un ojal para insertar un candado de seguridad.

Figura 37.

Galería construcción de caja de seguridad para la bomba.



Instalación del soporte para el panel

Tomando como punto de partida las 4 excavaciones anteriormente realizadas en el cuadro de instalación, se procede a insertar 4 varillas de hierro en cada punto de excavación, específicamente en la parte inferior, se inserta 2 varillas paralelas de forma vertical y 2 varillas paralelas en forma horizontal, esto con el fin de edificar la base sobre la que se levantan las estructuras del soporte, ya que le brinda seguridad al absorber el esfuerzo de tracción y torsión que pueda estar sometido el soporte. Luego de ello, se procede por construir el soporte para el panel, para esto se le realizó la unión de las partes. El soporte está diseñado en tubería galvanizada de 2 pulgadas, el tubo central tiene una altura de 2 metros y los tubos secundarios tienen una altura de 1 metro. Se toman las medidas para la distancia exacta a la que deben ir los 3 puntos de soporte con relación al punto central, para esto se hizo uso de la herramienta llamada

nivel, la cual indicará la horizontalidad del punto de instalación. Una vez se obtuvieron las medidas exactas se procede a realizar la unión de los ejes, la unión se realiza haciendo perforaciones en la parte superficial de los tubos para que pueda pasar un tornillo de unión, los cuales tendrán dos extremos donde se sellarán con tuercas. Al tener acopladas las uniones, se continuará a insertar el trípode ya construido en los ejes ya excavados, se vuelve a nivelar para tener gran exactitud que permitirá tener mayor soporte y se procede a verter la mezcla de cemento ya lista en los puntos de eje hasta la superficie, una vez el concreto se seca se continua con la instalación del panel solar. Adicionalmente a ello, se realizan acabados en pintura anticorrosiva en la superficie de acero galvanizado para garantizar que no se vea deteriorado al estar expuesto en la intemperie.

Figura 38.

Galería instalación soporte para el panel.



Nota. Fuente: El autor.

Segunda parte

Instalación panel

Se realiza la adquisición de un panel solar mono solar de 160W, con las siguientes dimensiones: 149 cm de ancho x 66.5cm de alto x 3.5cm de espesor. Las células solares de silicio monocristalino se fabrican a partir de secciones cortadas o extraídas de una barra de silicio perfectamente cristalizado de una sola pieza. En consecuencia, los módulos solares fotovoltaicos fabricados con células de silicio monocristalino ofrecen una mayor potencia, debido principalmente a las mejores propiedades que ofrece el silicio monocristalino, un material muy uniforme.

Para poder conectar el panel con el soporte, se realizó previamente una estructura en acero galvanizado en forma de la estructura del panel que la sujetará, esta estructura tiene tiras de 1 cm de grosor en la parte trasera y delantera del panel de forma paralela para darle soporte a la estructura. En la parte posterior tiene un cabezal para conectar con la tubería central del soporte anteriormente instalada, este se ajustará con tornillos. La estructura del panel tiene una cadena en acero galvanizado que permitirá darle el movimiento giratorio al panel, esta cadena va soportada con tornillos a la estructura del panel y su funcionamiento se basa en el movimiento de la cadena según la inclinación que se desea obtener. Una vez que ya tiene instalado el panel en la estructura de soporte se procede a generar la instalación de las conexiones necesarias para su funcionamiento, para el uso específico en instalaciones fotovoltaicas, se recomienda emplear cables del tipo PV ZZ-F, que están especialmente concebidos para aplicaciones fotovoltaicas. Este tipo de sistemas viene integrado para que sea mucho más fácil su instalación, tiene un solo cable de conexión que va directo a la bomba.

Figura 39.

Galería instalación para el panel.



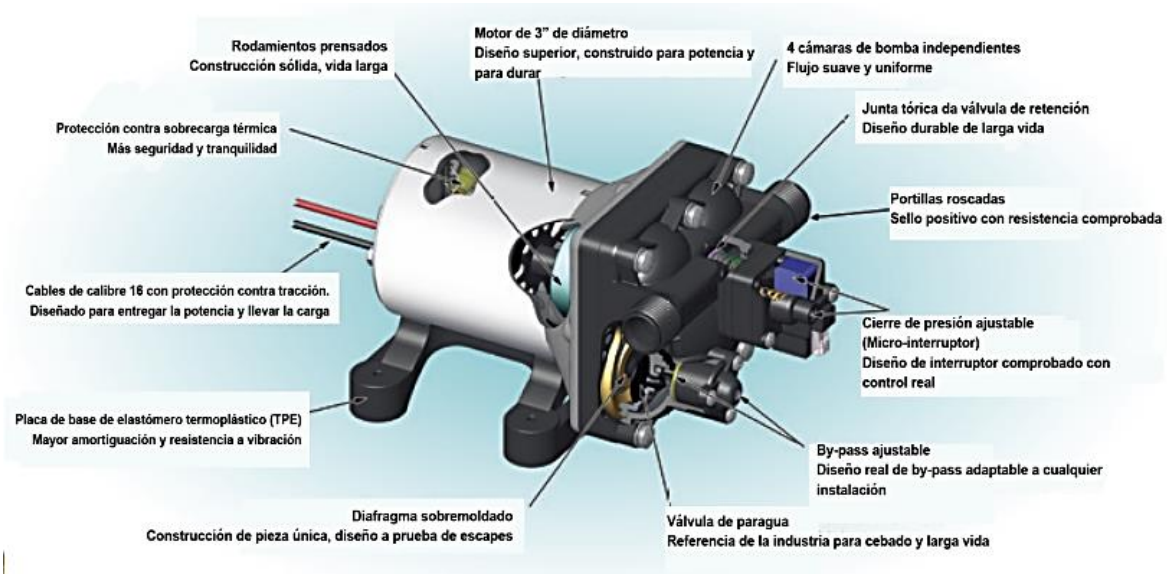
Nota. Fuente: El autor

Instalación bomba

A partir del manual de operación de la bomba, se procedió a realizar la conexión con el panel solar y la conexión con la manguera de succión y distribución. La bomba adquirida fue una bomba de marca Shurflo modelo 4008.101-A65 superficial de 12V, que garantiza una operación sin contaminación auditiva y un excelente rendimiento, mientras que proporciona durabilidad y fiabilidad. Están equipadas con un interruptor de presión interna ajustable y by-pass que permite obtener un flujo continuo a bajos caudales (min 1,8 l/min), sin pulsaciones y sin necesidad de instalar un acumulador.

Figura 40.

Ilustración de los componentes de una bomba shurflo superficial modelo 4008-101-A65.



Nota. Adaptado de Guía productos VER, Catálogo de productos, Shurflo, 2015.

Inicialmente se ubicó la bomba dentro de la caja de seguridad en la superficie lisa y firme anteriormente construida, la bomba cuenta con dos aperturas a cada costado que están dispuesta para insertar la manguera de succión, se conecta a un extremo de la bomba la manguera de succión de entrada, la cual va ir ubicada en la parte más profunda dentro del cuerpo de agua para el abastecimiento hídrico, este extremo contará con una válvula de pie. En el otro extremo de la bomba se le conectará la manguera de succión de salida, la cual estará conectada con la manguera de distribución que se encargará del riego en las plantaciones. La conexión de la bomba viene de forma integrada para facilidad en su instalación, igual que el panel, tiene un cable directo que conecta la bomba al panel. En el sistema de funcionamiento de la bomba cuenta con un taco, el cual es un interruptor automático que corta el paso de la corriente eléctrica si se cumplen determinadas condiciones, tales como altibajos de tensión. También cuenta con

una válvula anti retorno, la cual va a permitir que el sistema no se vea afectado por los cambios de los fluidos para abrir y cerrar, es decir, detectará el flujo de un proceso abriéndose a determinada presión en un mismo sentido y cerrándose en sentido contrario cuando el flujo disminuye o pierde presión.

Figura 41.

Galería de instalación de una bomba shurflo superficial modelo 4008-101-A65.



Sincronización del temporizador

El diseño del sistema de riego solar se desarrolló con base a un funcionamiento automatizado a partir de un temporizador programable modelo CN101A de 12V. Este modelo tiene un módulo temporizador con relay interno con pantalla, completamente programable. Posee las funciones de: 1. Pantalla de reloj (formato 12hr/24hr) 2. temporizador 3. Cuenta regresiva. Este temporizador se conecta a la bomba para que según las necesidades del riego se programe automáticamente para ejercer el riego en los horarios especificados. Tiene las siguientes características:

- Pantalla LCD fácil de leer, indicadores LED.
- 16 programas de encendido/apagado por día, 15 combinaciones a una semana.

- Programable 3,24 horas/7 días a la semana.
- Función de cuenta regresiva. Cuenta regresiva máxima de 24 horas.
- Batería recargable integrada para hacer una copia de seguridad de la memoria (guardar los programas que has configurado) cuando falle la energía.
- Repetir los programas con 16 ajustes de encendido/apagado y configurar el encendido/apagado manualmente.

Figura 42.

Temporizador rele relay programable modelo CN101A 12V.



Nota. Fuente: El Autor

Prueba de vacío

Se desarrolla la prueba de vacío a la bomba para garantizar su correcto funcionamiento, esta prueba consiste en poner en funcionamiento la bomba y que en un determinado tiempo llene cierta medida de almacenamiento. Es decir, la bomba garantiza 680 l/h, para verificar que la bomba funciona correctamente y en verdad bombea 680 l/h, se realiza la conversión de litro por hora a litro por minuto y se determina si está en lo correcto. La conversión indicó un tiempo de

11.3 l/min, es decir, la bomba tiene que llenar un envase de capacidad 11.3 litros en 1 minuto. Para la prueba se utilizó un balde de 5 galones, es decir, 18.9 litros, para que la prueba arrojó un resultado positivo el balde se tiene que llenar en menos de 2 minutos. El tiempo final de llenado dio como resultado una duración de 1 minuto con 53 segundos, es decir, la bomba garantiza el bombeo de 680l/h.

Figura 43.

Prueba de vacío para la bomba.



Nota. Fuente: El autor

Tercera parte

Instalación de red de distribución

Para la instalación de red de distribución se cuenta con 400 metros de manguera de polietileno de 16mm y 200 goteros regulables con sus respectivos accesorios (codos y tubos en tés). Inicialmente se marcaron líneas de manera vertical de un extremo del área al otro, en total

se asignaron 5 líneas de distribución, en la parte baja del área de plantación donde está ubicado la bomba, se realizaron las debidas conexiones de las mangueras principales para dejar una sola línea de alimentación y para de esta manera poderlas unir con la manguera de succión de salida que está conectada a la bomba. Se continua con la instalación de los goteros, para esto se usó el perforador Sacabocado 4 Mm para mangueras de riego, este perforador hará la apertura necesaria y exacta para insertar el gotero en la manguera y evitar fugas y pérdidas en la distribución.

Figura 44.

Herramientas para instalación sistema de distribución de riego.



Nota. Fuente: El autor

Figura 45.

Instalación sistema de red de distribución para el sistema de riego.



Nota. Fuente: El autor

Cuarta parte

Entrega del sistema de riego solar por goteo

Para la entrega del sistema de riego se tuvieron en cuenta las características climáticas, ya que para realizar el aforo del sistema teniendo en cuenta un potencial energético en su mejor escenario para que el panel solar pueda alimentar su capacidad energética y así mismo proporcionar a la bomba en su máxima potencia. El día que se realizó la entrega del sistema se presentaron buenas condiciones climáticas que favorecieron al potencial energético esperado. El sistema se entrega realizando un aforo completo de la línea de distribución, para garantizar las presiones en cada una de las líneas de las mangueras y así evitar pérdidas por conducción en tramos desproporcionados. El sistema se entregó sin contratiempos, evidenciando el riego en cada uno de los puntos donde se asignó un gotero. El sistema también se entregó con el funcionamiento del temporizador, evaluando que este tuviese su ejecución de manera correcta y permitiera que la bomba funcionara mediante los tiempos establecidos. Posteriormente, el temporizador se activó y puso en marcha el sistema activando la bomba, se realizó el riego por 1 minuto y se apagó, mostrando de esta manera, que tanto el temporizador como el sistema de riego funcionara eficientemente.

Figura 46.

Puesta en marcha del sistema de riego solar por goteo.



Nota. Fuente: El autor.

Se formuló y diseñó el sistema de riego solar por goteo, resaltando las ventajas de este sistema y puntualizando los elementos y consideraciones necesarias para su ejecución. Se cumplió con el objetivo general del proyecto, fue posible implementar un sistema de riego solar, haciendo uso de paneles fotovoltaicos, adicional a ello se socializa su funcionamiento y sus ventajas con el personal a cargo para que de esta manera tuvieran conocimiento sobre este tipo de energías limpias.

Conclusiones

El aprovechamiento de la energía solar reduce drásticamente la huella de carbono. Es una energía limpia que no genera gases de efecto invernadero ni contaminación, por lo tanto, ayuda a mitigar el calentamiento global.

La implementación de sistemas con energía solar se puede desarrollar en cualquier parte del territorio, ya que la radiación solar es muy abundante, aunque es más recomendable su

implementación para fines de eficiencia, en lugares donde la radiación solar es prolongada y con mayor fuerza, ya que, en lugares donde la radiación solar es baja, se hace necesario el uso de bancos de carga. Estos bancos de carga funcionan con baterías que almacenan la energía solar a lo largo del día, y se puede utilizar para días donde la radiación solar no logra incidir en los paneles fotovoltaicos y generar energía.

El sistema de riego por goteo necesita menor cantidad de agua para su proceso, esto se evidencia en un ahorro constante del suministro hídrico, ya que, proporciona agua con mucho menos escurrimiento o evaporación.

La implementación de un sistema de riego localizado genera grandes beneficios en el crecimiento de las plantaciones, este sistema suministra la cantidad necesaria de agua y en el tiempo justo para crear un ambiente favorable para el desarrollo de la plantación, también, el goteo dirige el agua a los sistemas de raíces de las plantas y reduce eficazmente las plagas, malezas y el crecimiento.

Como última conclusión, se logró indicar que para la implementación de un sistema de riego se deben tener en cuenta los aspectos topográficos, el tipo de suelo y climáticos del territorio. Basados en estos aspectos fundamentales se genera una idea clara en el dimensionamiento de los componentes del sistema. Además, presenta una eficiencia en el potencial y demanda energética para el diseño del sistema de riego solar por goteo.

Recomendaciones

El mantenimiento preventivo del sistema debe realizarse de manera periódica, de esta manera, se cuida la vida útil del sistema y se evita cualquier contratiempo en su funcionamiento.

Por las condiciones climáticas de la zona, se recomienda adquirir un banco de carga, este banco de carga estará compuesto por: un controlador, una batería, accesorios de conexión y una caja de seguridad, este sistema permitirá almacenar la energía captada a lo larga del día para que cuando se active el temporizador a la hora determinada las condiciones climáticas no se lo impidan, ya que tendrá energía almacenada para su funcionamiento.

Para el mantenimiento del césped del jardín, es recomendable contratar trabajadores con la herramienta adecuada para estos espacios, ya que la guadaña utilizada comúnmente podría dañar las mangueras de distribución y se dañaría el sistema de riego.

Mejorar las condiciones de enrejado del jardín, para que, de esta manera, no quede paso libre por las líneas de distribución de riego y no puedan sufrir ningún tipo de daño, es importante realizar limpiezas periódicas al suministro de agua del sistema de riego, ya que se puede presentar taponamiento del filtro de la bomba, ocasionando desgastes mecánicos en la bomba y disminuyendo su vida útil.

Referencias Bibliográficas

Abello García, Y. (s.f.). Obtenido de https://labagatelaptc.blogspot.com/2020/07/se-nos-fue-jaime-beltran.html

Agrológica Servicios. (26 de 06 de 2012). *Diseño paso a paso de un sistema de riego por goteo en una parcela real*. Obtenido de SERVICIOS AGRÍCOLAS SL: https://blog.agrologica.es/diseno-paso-a-paso-de-un-sistema-de-riego-por-goteo-en-una-parcela-real/

Blair, E. (1979). *IICA Seminario Latinoamericano sobre riego por goteo.* Sao Pablo, Brasil.

Castellanos Agamez, M. F. (17 de octubre de 2020). *¿Por qué la hacienda El Carmen es un predio cultural y patrimonial invaluable?* Obtenido de Bogotá: https://bogota.gov.co/mi-ciudad/cultura-recreacion-y-deporte/hacienda-el-carmen-y-su-valor-patrimonial

Departamento Administrativo de la Función Pública. (6 de febrero de 2019). Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=90526

ICANH - Instituto Colombiano de Antropología e Historia. . (08 de junio de 2014). *El ICANH declara nueva área arqueológica protegida*. Obtenido de https://www.icanh.gov.co/index.php?idcategoria=8708

Innovatione AgroFood Design. (08 de Julio de 2019). *SISTEMAS DE RIEGO I*. Obtenido de Obtenido de TECNOLOGÍA, INNOVACIÓN Y CREATIVIDAD APLICADOS AL SECTOR AGRÍCOLA Y ALIMENTARIO: https://innovatione.eu/2019/07/08/riego-agricultura/

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2014).

Lara Yevenes, F. A. (2007). *Diseño de un Sistema de Riego por medio de energía solar, a través de paneles fv.* Valdivia – Chile: UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA.

Leiton Soubannier, J. (1985). *Riego y Drenaje.* San Jose, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.

Merea, A. (1982). *EL IICA Y EL RIEGO POR GOTEO EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE.* San Jose, Costa Rica: IICA.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Cuidado y manejo de árboles urbanos. Bogotá Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). Caudal Ambiental. Obtenido de WWW.GOV.CO: https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recursohidrico/caudal-ambiental/

Moreno F, L. P. (2009). Plant responses to water deficit stress. A review. *Agron. colomb*, vol.27, n.2, pp.179-191.

Mora Osejo, L. E., & Sturm , H. (1994). *Estudios ecológicos del páramo y del bosque altoandino Cordillera Oriental de Colombia.* Bogotá Colombia .

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (12 de abril de 2018). *Buenas perspectivas para los sistemas de riego con energía solar*. Obtenido de https://www.fao.org/news/story/es/item/1116521/icode/

Richmond, J. (01 de March de 2021). *EXTENSION*. Obtenido de Obtenido de West Virginia University: https://extension.wvu.edu/lawn-gardening-pests/news/2021/03/01/how-plants-use-water#:~:text=Water%20is%20necessary%20for%20photosynthesis,release%20oxygen%20as%20a%20by

Spiegeler, C., & Cifuentes, J. (2016). definición e información de energías renovables. *Escuelo de estudios de postgrado USAC*.

Trashorras Montecelos, J. (2021). *Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas.* España: Ediciones Paraninfo, S.A.

USMEKA. (s.f.). *MESA DE PATRIMONIO ANCESTRAL, CULTURAL Y AMBIENTAL DE USME*. Obtenido de https://usmeka.github.io/index.html

Weather Atlas. (s.f.). *Climate and monthly weather forecast*. Obtenido de https://www.weather-atlas.com/en/colombia/bogota-climate

Woofter Construction & Irrigation. (2023). *The Importance of a Proper Irrigation System*. Obtenido de https://www.woofter.com/updates/importance-of-proper-irrigation/

Anexos

Anexo 1. Ficha técnica de la bomba Fresh water pumps model 4008-101-a65.

Anexo 2. Ficha técnica del Panel 160W.